

터널발파설계에서 적정장약량산정에 관한 연구

A Study on the Determination of Suitable Specific Charge in Tunnel Blasting Design



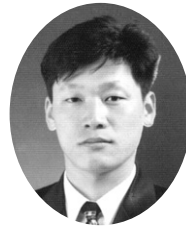
정동호*1
Jeong, Dong-Ho



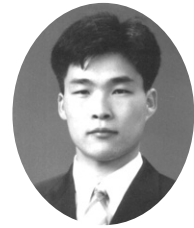
김선홍*2
Kim, Seon-Hong



배효진*3
Bae, Hyo-Jin



석진호*4
Seok, Jin-Ho



추용범*5
Choo, Yong-Beom

Abstract

Till now a lot of studies has been performed to increase the efficiency of tunnel blasting. Nevertheless there are still uncertainties of input parameter to determine the specific charge. In order to solve this problem, the rock types and the charges of 17 road tunnel sites were analyzed. As a result of these analyses an empirical formula depending on rock type and charge was developed. Through this formula rational tunnel blasting will be designed by quantitative method rather than by assumption.

Keywords: Tunnel blasting, Quantitative design, Input parameter, Rock class, Specific charge

요 지

터널발파의 효율성을 높이기 위하여 지금까지 많은 연구가 이루어져 왔다. 그러나 막상 터널발파 설계에 적용할 가장 기본이 되는 단위체적당 폭약량을 정량적으로 산정하기에는 아직 입력변수 선정이 모호하여 어려운 실정이다. 이와 같은 근본적인 문제 점을 해결하기 위해 17개소의 도로터널 현장에서 암종 및 굴착패턴별 사용된 폭약량을 조사 분석하여 암종과 암반등급을 감안한 관계식을 도출하였다. 이 관계식으로 가정보다는 현장 실용성을 내포한 정량적인 터널발파 설계가 이루어 질 수 있을 것이다.

주요어: 터널발파, 정량적설계, 입력변수, 암반등급, 단위체적당 폭약량

*1 정회원, (주)유신코퍼레이션 터널부 부장

*2 정회원, (주)유신코퍼레이션 터널부 부장

*3 정회원, (주)선산토건 기술개발부 부장

*4 정회원, (주)유신코퍼레이션 터널부 대리

*5 정회원, (주)유신코퍼레이션 터널부 대리

1. 서론

터널 암굴착을 위한 발파는 그 대상이 되는 굴착단면의 크기에 따라 다르지만 일반적으로 단일자유면 발파라고 할 수 있다. 이와 같은 단일자유면 발파의 효율성을 높이기 위하여 현장기술자들의 끊임없는 연구는 물론 몇몇 학자의 연구결과가 보고되고 있다.(고려화약주식회사, 2000; 한국지반공학회, 2001; 한국화약주식회사, 2000) 그러나 막상 터널발파 설계에 적용할 가장 기본이 되는 단위체적당 필요한 폭약량을 정량적으로 산정하기에는 입력변수 선정이 모호하여 어려운 실정이다.

이런 이유로 본 연구에서는 지금까지 소개된 약량산정 이론식(한국지반공학회, 2001; Langefors & Kihlstrom, 1997; Kim, 1986)등을 재검토함과 동시에 우리나라 17개 소의 2차선 도로터널 현장에서 암굴착 공사기간 동안 암종은 물론 굴착대상 지반의 RMR 의미를 부여한 패턴별 실제 사용된 폭약량을 조사·분석하였다. 이의 결과로 RMR값이 내포된 암종별 적정 단위체적당 장약량 산정식을 제시함으로써 현장에 바로 적용할 수 있는 발파패턴 설계에 기여코자 한다.

2. 약량산정 이론식의 재검토

터널발파 설계에서 주로 사용되는 이론적 장약량 산정식은 W.S.Kim 및 Stig O. Olofsson 박사가 제안한 식 (Albert & Zacharias, 1972; Gustafsson, 1973)이지만 이들 식에 필요한 input 자료가 불명확하여 설계자의 주관적 개념이 종종 개입됨에 따라 현장의 적용성과는 멀어지는 경우가 있다. 암굴착 발파에서 사용될 폭약량의 결정중 가장 큰 변수는 굴착대상 지반의 특성이라 하겠다. 이들 식중에서 굴착대상 지반특성 즉 암석계수를 상세하게 고려한 식은 전자에 속하고 이의 단위체적당 및 1발파당 폭약량 산정식은 다음과 같이 제시되었다.

$$L = \left(1 + \frac{W}{\sqrt{A}}\right)^2 \cdot C \cdot W \cdot A \quad (1)$$

$$C = g \cdot e \cdot d \quad (2)$$

$$\therefore L = \left(1 + \frac{W}{\sqrt{A}}\right)^2 \cdot g \cdot e \cdot d \cdot W \cdot A \quad (3)$$

여기서, L: 1발파당 폭약량

C: 폭파계수

$\left(1 + \frac{W}{\sqrt{A}}\right)^2$: 굴착단면계수

W: 희망굴진장

A: 굴착단면적

그러나 이 이론식의 요소인 암석항력계수(g), 폭약위력계수(e), 전색계수(d), 굴착단면계수중 가장 큰 변수가 되는 암석의 항력계수는 암종에 따라서만 분류되어 있는 실정이다. 실제 지반상태는 동종의 암석이라도 암반의 RMR 등급에 따라 사용되는 폭약량이 다름에도 불구하고 보정할 수 있는 계수는 미흡한 실정이다. 현재 발파에 미치는 각 요소 및 개선의 여지가 있는 문제점은 다음과 같다.

2.1 암석의 항력계수 (g)

암석을 발파할 때 생기는 저항에는 암석의 경도와 암석의 인성이 있다. 발파작업에 있어서 천공에 해당하는 저항이 암석의 경도이고, 발파할 때 저항이 암석의 인성이 다. 예를 들면 점판암은 경도가 적으므로 천공하기가 쉽지만 인성이 비교적 크므로 발파가 잘 되지 않는다. 반대로 규암이나 사암은 경도가 크므로 천공하기는 어렵지만 인성이 적어 발파가 잘 된다. 화강암은 경도와 인성이 크므로 천공하는데 시간이 많이 걸리고 폭약의 사용량도 많아진다. 이 2가지 특성을 합하여 항력계수라 한다. 일반적으로 Aoyama, Lares, Mori 등의 암석 항력계수가 있는

Table 1. Comparison of Lares' and Aoyama's rock coefficients for various rocks

Lares' value (A)		Aoyama's value (B)		B/A
Rocks	g	Rocks	kg/m ³	
Extra hard Quartzite	1.4	Extra hard Quartzite	3.26	2.33
Basalt	1.2	Hard Hornblend Quartzite	2.88	2.40
Hard Granite	1.1	Hard Granite	2.68	2.43
Gneiss	1.0	Granite	2.46	2.46
Gneiss, Granite	0.9	Granite	2.26	2.51
Gneiss	0.8	Diorite, Granite	2.08	2.60
Andesite	0.7	Gneiss	2.07	2.96
Hard sandstone	0.7	Andesite	1.80	2.57
Sandstone, limestone	0.5	Limestone	1.62	3.24
Sandstone, shale	0.4	Sandstone	1.44	3.60
Limestone, Soft sandstone	0.4	Clay slate	1.33	3.33
Shale	0.3	Tuff	1.26	4.20

Table 2. Properties of the domestic explosives

Explosives	Specific gravity (g/cc)	Mortar test (%)	Gas volume (l/kg)	Detonating heat (Kcal/kg)	Detonating velocity (m/sec)
Dynamite-1	1.3~1.5	170	880	1,152	6,100
Dynamite-2	1.4~1.6	175	890	1,230	6,700
Emulsion-1	1.1~1.2	120	826	880	5,700
Emulsion-2	1.2~1.3	135	736	1,100	5,700
Finex-1	1.0	-	640	650	4,400
Finex-2	1.0	-	740	920	3,900

데 Table 1은 H. Lares와 Aoyama의 항력계수이다. 현재 Lares의 암석 항력계수가 주로 터널 암굴착 발파에 사용되지만 이 계수 역시 동종의 암석일지라도 풍화정도, 절리의 크기 및 절리군의 수 등이 미 고려된 상태이다.

2.2 폭약의 위력계수 (e)

폭약의 위력계수는 어떤 특정한 폭약 즉, 니트로글리세린 60%를 함유한 젤라틴 다이나마이트를 e=1로 하고, 이것을 기준으로 하여 타 폭약과의 폭발력을 비교하는 계수로써 화약제조회사에서 발표해야하는 계수이다. 폭약의 폭발력을 비교하여 판정할 때는 폭속, 비에너지, 맹도, 폭발압력 등을 고려해야 하지만 일반적으로 폭약의 위력계수는 비에너지로부터 산출하고 있다. Table 2는 우리나

라에서 제조 판매되는 폭약의 특성으로 위력계수 등은 아직 명시되지 않고 있다.(고려화학주식회사, 2000; 한국지반공학회, 2001)

2.3 전색계수 (d)

굴착할 암석에 천공한 후 폭약을 장전하고 자유면 가까운 쪽으로 장약되지 않는 빈 구멍에 모래, 점토, 물, 종이 등을 전색물로 사용한다. 전색을 충분히 하면 폭약이 폭발할 때 발생하는 고열가스가 발파공으로부터 적게 빠져나가므로 적정한 폭약량으로 큰 폭파효과를 얻을 수 있다. 전색계수는 발파법에 직접 관계되는 중요한 변수로서 폭약의 장전밀도를 높이고 파괴에너지를 파괴할 주변 암반에 전달해 주는 역할도 한다. 현재 전색물로서는 모래+

Table 3. Relationship between tamping status and degree of tamping

Status of tamping		Degree of tamping
Very deep loaded hole	complete tamping	d=1
	incomplete tamping	1.0<d<1.25
	no tamping	d=1.25
Loaded hole	mudcapping	d=1.5
	no mudcapping	d=2.0
External loading	generally	2.0<d<4.5
	special case	d=9

점토의 전색물을 주로 사용하고 있으며 완전히 전색된 경우를 d=1로 하고 있다. 그 외의 여러가지 경우는 Table 3과 같다.

2.4 굴착단면계수

굴착단면계수는 터널단면적(A)과 1발파당 희망굴진장(W)에 관련되며, $(1 + W/\sqrt{A})^2$ 으로 표시된다. 그리고 지금까지 경험에 의하면 단위체적당 필요한 폭약량은 터널의 단면적이 증가할 수록 감소하나 어느 단면적 이상이 되면 단위체적당 폭약량의 변화가 거의 없는 것으로 알려지고 있다.(Albert & Zacharias, 1972; Gustafsson, 1973)

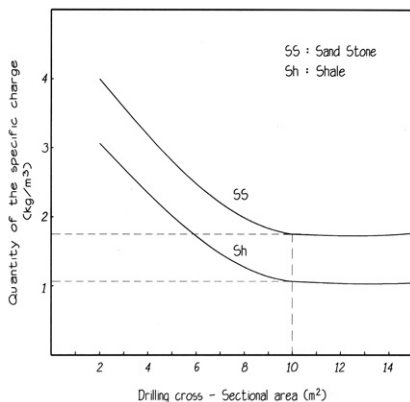


Fig 1. Relationship between cross-section area and specific charge

Fig 1에서 사암굴착시 터널의 단면적과 사용 폭약량과의 관계를 보면 터널단면적 약 10 m² 이상 일때는 단위체적당 폭약량의 변화는 거의 없음을 알 수 있다. 2차선 도로터널의 경우 이 보다 5~8배 이상 큰 단면으로 굴착되므로 굴착단면 계수의 영향은 거의 없음을 확인할 수 있다.

3. 암종 및 RMR등급별 비장약량 조사

17여개소의 2차선 도로터널 현장에서 터널굴진시 암종별, RMR등급별 1발파당 폭약 사용량을 3년동안 조사하였다. 조사방법은 발파결과가 양호했을 때 각 굴진대상 암종별, 굴착단면적, 천공장, RMR 등을 기본으로 하여 총 사용 폭약량을 조사하였으며 이로부터 실제 사용된 단위체적당 폭약량을 구하였다. 터널별 관통이 이루어질 때까지의 조사자료를 통계처리한 결과는 Table 4와 같다. 각 패턴별 굴착방법은 I~Ⅲ패턴의 경우는 전단면으로 그 이하의 패턴은 상하 반단면으로 하였다. 또한 1발파당 굴진장은 I~Ⅱ패턴 3.5 m, Ⅲ패턴 2.0 m, Ⅳ패턴 1.5 m, Ⅴ패턴 1.2 m로 계획되었으며, 이때 굴착단면은 전단면의 경우 92 m² 상부 반단면의 경우 58 m² 정도였다.

4. 결과분석 및 고찰

조사대상의 터널은 주로 산악지역으로서 1발파당 굴진장이 1.2~3.5 m까지의 장굴진장과 굴착대상 암종이 주로 화강암 및 화강암질 편마암에 속하므로 젤라틴다이아마이트 또는 폭력이 강한 에멀전 폭약을 사용하고 있었다. 전색은 발파효율을 최대한 높이기 위하여 점토와 모래의 혼합재로 전색하였다.

Fig 2의 경우는 7개소 화강암질 도로터널 현장에서 조사후 통계처리된 RMR등급별 사용된 단위체적당 폭약량

Table 4. Research data of RMR and specific charge in several road tunnels

Tunnel Name	Rock Type	Pattern- I (RMR/SC)	Pattern- II (RMR/SC)	Pattern- III (RMR/SC)	Pattern- IV (RMR/SC)	Pattern- V (RMR/SC)
Kyeong An	Granite	85/1.37	67/1.19	50/0.90	32/0.72	18/0.65
Ju Chon		81/1.32	70/1.16	55/1.10	37/0.73	15/0.67
Go Gun		85/1.36	67/1.19	50/1.06	32/0.68	18/0.58
Won Ju		81/1.20	69/1.20	55/0.95	37/0.72	15/0.57
Nam Myeon		85/1.34	67/1.17	50/0.97	32/0.78	18/0.65
Eul Jin		82/1.22	71/1.20	55/0.98	37/0.80	15/0.69
Dong Hea		84/1.35	72/1.23	55/0.95	37/0.72	18/0.63
Bo Eun	Gneiss	83/1.25	66/1.10	50/0.95	32/0.75	15/0.63
Hyun Dong		81/1.21	69/1.02	55/0.91	37/0.75	15/0.63
Go Lyeong		84/1.25	67/1.10	50/0.95	32/0.75	18/0.65
Yea San		81/1.21	69/1.02	55/0.91	37/0.75	15/0.63
Gang Chon		83/1.25	67/1.10	50/0.95	32/0.75	18/0.65
Beag Yang		81/1.21	70/1.02	55/0.91	37/0.75	15/0.63
Ha Ga		85/1.25	66/1.10	50/0.95	32/0.75	18/0.65
Hong Seong	Sandstone	85/1.12	66/0.99	51/0.85	33/0.69	17/0.64
Young Gwang- I		81/1.09	69/0.91	55/0.82	37/0.75	15/0.63
Young Gwang- II		83/1.09	71/0.94	53/0.85	33/0.71	18/0.65

SC: Specific Charge (kg/m³)

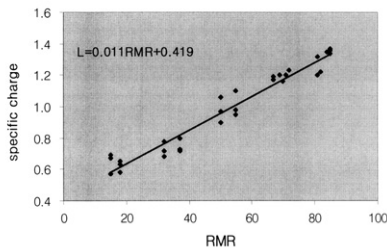


Fig 2. Relationship between RMR and specific charge on granite

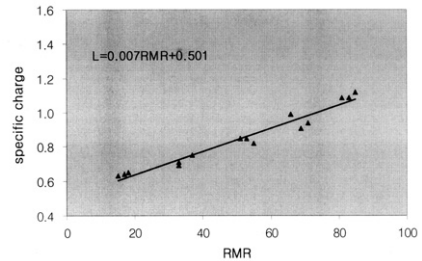


Fig 4. Relationship between RMR and specific charge on sandstone

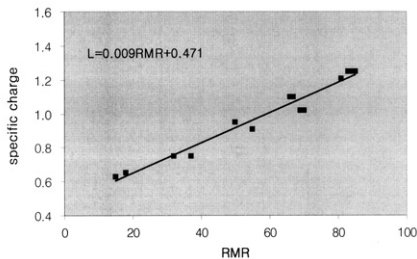


Fig 3. Relationship between RMR and specific charge on gneiss

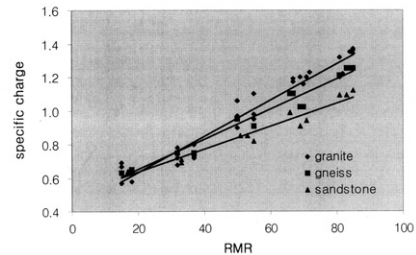


Fig 5. Relationship between RMR and specific charge on three rock types

의 관계이다. Fig 3은 7개소의 화강암질 편마암 도로터널 현장에서 조사된 RMR과 비장약량의 관계이고 Fig 4는 대상암반이 사암인 도로터널 암굴착 발파현장의 조사 분석자료이다. 이 분석결과 각 암종의 RMR 요소를 감안한 관계식은 화강암의 경우 $L(\text{kg/m}^3) = 0.011\text{RMR} + 0.419$, 편마암의 경우 $L(\text{kg/m}^3) = 0.009\text{RMR} + 0.471$, 사암의 경우 $L(\text{kg/m}^3) = 0.007\text{RMR} + 0.501$ 의 관계식을 도출할 수 있었다.

Fig 5는 화강암, 화강암질 편마암 및 사암 지반을 가진 터널의 암굴착 발파에서 RMR과 단위체적당 폭약량과의 관계이다. 동종의 암종이라도 풍화정도, 절리간격 및 절리군의 수를 포함한 RMR값이 낮아짐에 따라 단위체적당 폭약량이 적어지는 경향을 나타내고 있다. 또한 암석의 경도, 인성 등이 높다고 하는 암종 즉 화강암 및 화강암질 편마암의 경우는 상대적으로 항력계수가 낮은 사암에 비하여 단위체적당 폭약량이 많음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 터널발파설계법 개선의 일환으로 총 17개소의 도로터널 현장에서 암석의 종류 및 RMR등급에 따른 1발파당 사용된 단위체적당 폭약량과 발파결과 등을 조사 분석하였다. 그 결과 잘 알려진 바와 같이 암석내 존재하는 각종 불연속면, 강도, 경연도, 인성등 다양한 차이로 인하여 터널굴진시 소비되는 폭약량은 상당한 차이를 보이고 있었다. 이런 요소 등을 정량적으로 고려할 수 있도록 하기 위해 다음과 같은 결론을 제시하고자 한다.

- 1) 우리나라 터널굴착 현장에서 다수 출현되어지는 암종인 화강암, 편마암, 사암을 발파하기 위해 RMR인자를 고려한 적정 1발파당 폭약량 산정식을 추천한다.

화강암의 경우 :

$$L_{\text{total}} = (0.011\text{RMR} + 0.419) \times e \times d \times W \times A$$

편마암의 경우 :

$$L_{\text{total}} = (0.009\text{RMR} + 0.471) \times e \times d \times W \times A$$

사암의 경우 :

$$L_{\text{total}} = (0.007\text{RMR} + 0.501) \times e \times d \times W \times A$$

- 2) 암석의 항력계수가 높은 암석은 낮은 암석에 비하여 단위체적당 필요한 폭약량이 많고, 같은 종류의 암종이라면 풍화정도, 절리간격 및 절리군의 수를 포함한 RMR값이 커지면 커질수록 단위체적당 폭약량이 많아지는 경향을 이루고 있다. 이런 이유로 설계상에서도 실제 사용되고 있는 암종 및 패턴별 단위체적당 폭약량을 감안한 정량적 설계가 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

1. 고려화약주식회사 (2000), “공업용 폭약과 화공품 설명서”, pp. 2~15.
2. 사단법인 한국지반공학회 (2001), “지반공학시리즈 터널편”, 구미서관, pp. 258~274.
3. 한국화약주식회사 (2000), “공업용 폭약과 화공품 설명서”, pp. 2~12.
4. Albert, W. D. and Zacharias, W. D. (1972), “The Blasting of Rock In Mines”, Quarries, Tunnels, Etc., pp. 33~61.
5. Gustafsson, R. (1973), “Swedish Blasting Technique”, SPI, Sweden, pp. 124~162.
6. Langefors, U. and Kihlstrom, B. (1997), “The Modern Technique of Rock Blasting”, John Wiley and Sons Inc, Sweden, pp. 180~228.
7. Kim, W. S. (1980), “Study on the effect of rock blasting”, Korea Inst. of Mining Geology, Vol. 13, pp. 27~48.
8. Kim, W. S. (1986), “Determination of the charge quantity of the blasting standard in rock blasting”, Chinese Inst. of Mining and Metallurgical Engineers, Taipei Taiwan, pp. 23~31.