

암 발파설계 프로그램 개발에 관한 연구

강 추 원¹⁾

A Study on Development of Rock Blasting Design Program

Choo-Won Kang

ABSTRACT In this study, RBD(Rock Blasting Design) program was developed to perform easily on plans of rock blasting. This program has abilities as follows, that is, the test blasting plan, the bench blasting plan, and the blasting vibration analysis. The value of geological property and blasting constants was offered by database, input value of variety constants repeatedly is planned out, faster and easier. And a value of input constant may be used by user for necessity.

Key words : Rock blasting, Rock blasting design program, Vibration analysis

초 록 : 본 연구에서는 발파 설계를 쉽게 하기 위하여 RBD(Rock Blasting Design) 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 시험 발파 설계, 벤치 발파 설계, 그리고 발파 진동 해석의 기능을 가지며, 지질 특성 값과 발파 상수를 데이터베이스로 제공하고, 여러 상수 값을 재 입력함으로써 보다 빠르고 간편하게 설계할 수 있고 한번 입력한 상수 값을 사용자가 재사용 할 수 있도록 하였다.

핵심어 : 암 발파, 암 발파 설계 프로그램, 진동해석

1. 서 론

본 연구에서는 발파지역에 정확한 발파설계를 실시하기 위하여 암 발파설계 프로그램 Rock Blasting Design (RBD)를 개발하였다. Rock Blasting Design(RBD)는 RBD 공통 인자와 RBD 변수로 구성되어 있다.

RBD의 공통 인자에는 일반적인 지역의 지질적 특성^{1,7)}과 국내의 산업용 화약류에 대한 폭약특성⁹⁾을 database로 구성하였으며, RBD 변수에는 시험발파^{9,10)}, 벤치발파¹¹⁾ 및 진동측정^{5,10)} data를 입력하여 실무에 적용할 수 있도록 구성되어 있다.

RBD 프로그램은 지역적 지질특성들에 대한 정확한 data를 얻지 못하는 지역에서라도 본 RBD 프로그램을 이용하여 비교적 쉽게 발파설계를 할 수 있도록 제안해 준다. 또한 전문가가 아닌, 발파에 대해 약간의 기초적인 지식을 갖춘 작업자들도 손쉽게 발파설계를 할 수 있도록 VISUAL BASIC 5.0으로 Graphic을 최대한 활용한 프로그램을 구성하여 광주·전남일대의 각종 발파 공사현장에서 발파설계 적용이 손쉽게 이루어질 수 있도록 하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 프로그램

RBD(Rock Blasting Design)는 기본적으로 GUI (Graphic User Interface) 방식에 따라 한글 윈도우 95 운영체제를 바탕으로 설계되었다. RBD는 한글 윈도우 95 운영체제 사용 경험자나 사용자에게 친숙하게 접근이 가능하며, 또한 프로그램을 한글화하여 암 발파 설계를 손쉽게 할 수 있다. 그러나 RBD에 사용되어진 graph는 엑셀에서 제공하는 컨트롤을 사용하여 Programing 하였기 때문에 운영체제에 반드시 엑셀이 제공되어야 한다.

2.1 RBD 구조

RBD 프로그램은 크게 시험발파 모듈, 벤치발파 모듈 및 진동측정 모듈로 나누어져 있다. 시험발파 모듈은 현장계측을 실시하여 암석계수를 구하기 위한 계산모듈로 되어 있으며, 벤치발파 모듈은 시험발파를 실시한 후 시험발파에서 얻어진 data를 활용하여 발파설계를 할 수

1)정희원, 조선대학교 자원공학과 교수
접수일 : 2000년 2월 10일
심사 완료일 : 2000년 6월 22일

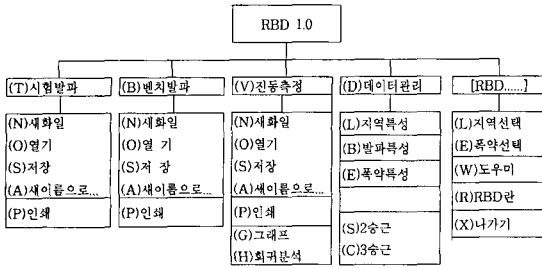


Fig. 1. The Structure of RBD Program.

있도록 설계되어 있는 모듈이다. 또한 시험발파를 통하지 않고도 프로그램에서 제공하는 여러 가지 인자 및 변수를 가지고 그 지역에 알맞은 발파설계를 할 수 있도록 하였다.

진동측정 모듈은 시험발파를 통하여 계측된 최대진동 속도 및 주파수의 각 성분을 통하여 회귀분석하고 이를 발파설계에 적용할 수 있는 모듈이며, 이 외에 보조모듈로는 기본적인 데이터 관리를 위해 데이터 관리모듈과 사용자를 도와주는 도우미 기능을 살린 마법사 모듈로 구성되어 있다.

RBD의 내용은 Fig. 1의 구조도와 같다.

2.2 RBD의 공통 인자

2.2.1 지역특성

본 프로그램에서는 기본적인, 공통적인 지역 특성값들을 database로 구축하여 제공하고 있다. 지역 특성값으로는 암중, 암석의 강도, 변질정도, 절리, 지하수의 유무, 단층 등 여러 가지 상수들이 있겠지만, 본 프로그램에서 사용하는 상수는 지역에 분포되어 있는 암중 및 강도, 그리고 현재 증명된 지질시대¹⁷⁾이고 이 세가지 인자를 가지고 암석의 항력계수값을 유추하여 발파설계에 이용하고 있다.

발파 설계에 있어서 암석의 항력계수는 폭약의 위력계수(e)가 1인 폭약을 사용하여 시험발파가 표준장약일 때의 $W=R=1$ m가 되고 이때 완전전색 $d=1$ 을 하면 장약량의 식이 $L=g$ 가 되어 약량 L에 의해서 암석의 항력계수를 비교할 수 있게 된다⁹⁾.

Fig. 2는 지역 특성값이 프로그램상에서 활용되는 과정을 도식화하였고, 지역 특성값은 Main menu bar에서 결정하여 프로그램에 적용하도록 설계되어 있으며, 또한 사용자의 편의를 위해 시험발파 또는 벤치발파에서도 사용할 수 있고, 도우미를 통해서도 사용할 수 있도록 병

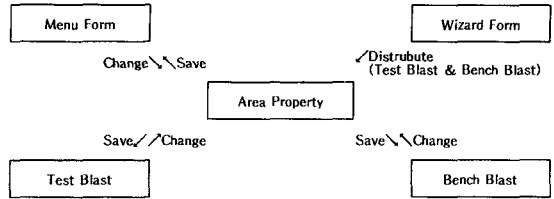


Fig. 2. The Structure of area property.

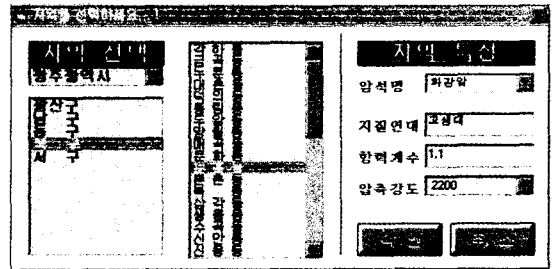


Fig. 3. The input bar of district option.

렬식으로 처리하였다. 이와 같이 프로그램을 병렬식으로 처리함으로써 지역 특성값을 어디서든 자유로이 사용할 수 있는 이점이 있으며 첨가되는 특성값은 데이터 관리를 통하여 사용자가 재입력하여 사용할 수도 있다.

지역 특성값은 지역을 선택하면 그 지역에 일반적으로 분포되어 있는 암중 및 암석의 강도값들이 출력되며 그에 알맞은 암석의 항력계수값이 산출되어 나오게 된다.

Fig. 3은 RBD 프로그램에서 지역 선택을 할 수 있는 입력창이다.

이 프로그램에 사용된 암석의 암중강도와 암석항력계수를 Table 1에 나타내었다. Table 1에 사용된 항력계수값은 Lares의 실무에 의해 계측된 값으로서 Nitroglycerin 75% Dynamite를 사용하여 계측된 값이다.

2.2.2 폭약특성

폭약의 상태는 교질, 분말, 고형, 입상 Slurry 상의 5 종류로 나눌 수 있다. 교질이란 생고무처럼 가소성의 상태를 말하며 N/G의 함유량이 25% 이상인 Dynamite가 이것에 해당된다. 분상이란 분말상의 폭약을 말하며 N/G 20% 이하의 것과 N/G를 전혀 포함하지 않는 2종류가 있다. 고형이란 폭약을 압착 혹은 용융하여서 일정한 형상으로 고형화한 것이다. ANFO 입상이란 폭약처럼 직경 0.5~2 mm 정도로 입상으로 한 것이며, Slurry 상이란 Slurry 폭약처럼 Gel 상태를 말한다. 그러므로 폭약의 상태는 운반, 장진 등과 깊은 관계를 갖는 인자가 되는 것이다.

Table 1. Relation between compressive strength and resistance of rocks.

Rocks	compressive strength (kg/cm ²)	resistance of rocks(g)
건경 규암	3,00	1.6
현무암	2,800	1.4
각섬암, 현무암, 휘록암, 화강암, 흑분암	2,600~3,000	1.3~1.5
현무암, 휘록암, 섬록암, 포도암, 석미반암	2,400	1.2
화강암, 규질편암, 석미반암, 사문암	2,200	1.1
화강암, 사력질 경질암석	2,000	1.0
편마암, 화강암, 분암	1,800	0.9
편마암, 화강암, 운모질편암	1,600	0.8
안산암, 사문암, 거정질편암, 운모질편암	1,400	0.7
편마암, 결정질석회암, 분암, 극경편암, 운모질편암, 황철광	1,200	0.6
백운모, 결정질석회암, 대리석, 운모질편암, 경질사암	1,000	0.5
석회암, 사암, 이회암	800	0.4
점토편암, 점토질석회암, 응회암, 암염, 콘크리트 1:4	600	0.3
석고, 규사, 콘크리트 1:6, 요연외벽	400	0.2
콘크리트 1:9, 연외, 몰탈혼합벽	200	0.1
콘크리트 1:12, 이회	100	0.05
연질편암, 점토, 이회암, 혼사점토	-	0.2
입상사암, 갈탄	-	0.1

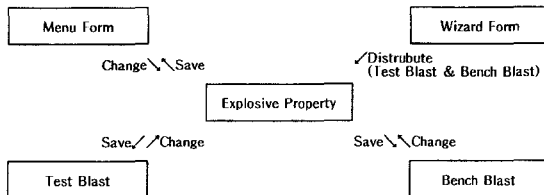


Fig. 4. The Structure of explosive property.

또한 폭약의 성능은 무엇보다 중요하다. 폭속, 가비중, 폭발열, 가스량, 순폭도 등 폭약의 성능⁸에 따라 고비중 고폭속의 폭약 또는 저비중 저폭속의 폭약, 고비중 저폭속의 폭약, 저비중 고폭속의 폭약 등을 사용할 장소가 결정되기 때문이다¹⁰. 따라서 본 프로그램에서도 폭약의 특성을 databasc화 하여 다음과 같이 사용할 수 있게 구성하였다.

Fig. 4는 RBD 프로그램에서 폭약특성이 활용되는 과정을 도식화하였다. Fig. 4에서 보여 주는 바와 같이 폭약특성 또한 지역특성과 같이 병렬식으로 구성하였다. 폭약 특성값은 데이터베이스를 이용하였으며 그 값은 고정된 값이 된다. 또한 새로운 폭약의 등장으로 재입력을 필요로 할 경우를 고려하여 데이터 관리 모듈에서 새로운 폭약을 입력하여 재구성할 수 있게 하였다.

Fig. 5는 RBD 프로그램에서 폭약을 선택할 수 있는 입력창이다.

암 발파에 있어서 발파계수는 $C=g \cdot c \cdot d$ 로써 폭약에

Fig. 5. The input bar of explosive property.

관계되는 상수는 폭약의 위력계수(e)이다.

폭약의 위력계수^{9,10}는 어떤 특정한 폭약을 기준으로 하여 이것과 타 폭약과의 폭약효력을 비교하는 계수이다. 따라서 폭약의 폭발력을 고려해야 되지만 일반적으로 갱도굴진에서는 맹도를, 연질석회암 또는 석탄 등의 연암 및 대발파, 대형 Bench cut에서는 비에너지를 고려해야 한다⁹.

그러나 맹도는 폭속에 의해서 변화하고 그 시험법 또한 외부장약법이므로 맹도의 이용가치는 극히 적다 할 수 있다. 따라서 폭발압력은 비 energy 및 장진도 등에

관계되는 예로서 이것으로부터 독립된 독자적인 특성치로서는 비 energy로부터 산출하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 그러므로 본 프로그램에서는 비 energy로부터 폭약의 위력계수(c)를 산출하였다. 이 또한 이론치에 의존하여 산정한 수치이므로 국내에 폭약을 제조하는 회사들이 정확한 폭약의 제원을 발표하여 사용자에게 정확한 data를 공급해야 할 것이다.

2.3 RBD의 변수

2.3.1 시험발파의 변수

파괴하려는 암석의 암석계수를 구하기 위해서 발파작업의 시행에 앞서 대상 암반에 시험발파를 시행하여 파쇄암석의 크기 및 비산의 정도, 채석목적, 채석량, 주위 상황에 대한 안전도 및 경제적인 면을 고려하여 가장 이상에 가까운 표준발파를 채택하여 표준장약량과 최소저항선의 실험치를 구한다.

이를 바탕으로 암석 및 폭약에 대한 계수를 구하고 최소저항선 및 장약량을 계산하여 기타의 발파계획을 수립해야 한다¹²⁾.

Fig. 6은 시험발파를 실시한 후 장약량과 공간격, 최소저항선, 공간간격, 누두공 지름 등을 입력하여 주면 암석계수 및 폭약특성을 산출하여 준다. 본 RBD 프로그램은 여러번의 시험발파를 동시에 처리할 수 있고 재입력할 수 있게 프로그래밍 되어 있으며 사용자의 선택사항을 미리 볼 수 있도록 하여 잘못 입력한 상수값을 직접 확인할 수 있어 수정이 가능하도록 프로그래밍 되어 있다.

시험발파에 사용된 수식은 Hauser 공식을 그대로 사용하였으며 최소저항선이 바뀌는 경우는 Rares 식(f(W))을 사용하여 장약량을 수정하였다^{9,13)}.

$$L = f(W) \cdot C \cdot W^3 = f(W) \cdot e \cdot g \cdot d \cdot W^3 \quad (1)$$

$$C = e \cdot g \cdot d$$

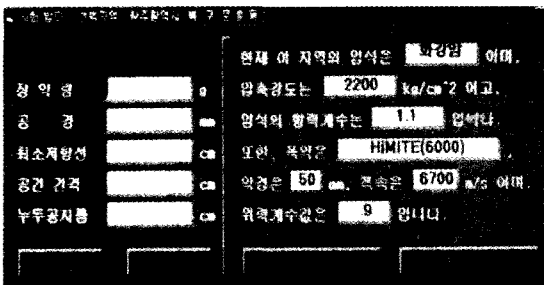


Fig. 6. The input bar of test blasting.

- L : 표준장약량
- W : 최소저항선
- f(W): 발파규모수정항
- C : 폭파계수
- e : 폭약위력계수
- g : 암석항력계수
- d : 전색계수

이 식은 최소저항선 W가 변하여도 폭파계수 C가 일정할 때의 장약량 수정식이다.

2.3.2 벤치발파의 변수

벤치발파작업은 자유면을 향하여 1열 또는 2열 이상을 수직 또는 수직에 가깝게 발파공을 천공하여 여기에 장약한 다음 발파를 시행한다. 대단면 터널에서 분할 발파시 Bench cut가 이용되고 있으며, 최근에는 Pipe line 매설을 위한 Trench blasting 등에도 이용되고 있다.

벤치발파에서도 다른 발파법과 같이 시험발파를 하여 대상 암질에 적합한 폭약의 최적량을 산출하여 그 결과를 활용해야 한다. 또한 중요한 것은 파쇄된 암석의 크기를 채석목적에 적합하게 해야 한다.

벤치발파 모듈 또한 일반적인 지질특성 및 폭약특성을 병렬식으로 구성하였다. 이 또한 사용자의 편의에 의한 것이며 시험발파를 행한 후 그 값을 벤치발파에 이용하도록 하였고 진동 측정치를 계산하여 벤치설계에 이용하였다. 따라서 설계시 범할 수 있는 오류를 최소화하였다.

Fig. 7은 RBD 프로그램에서 벤치발파의 구조도이다. RBD 프로그램에 사용된 벤치발파시 계산식은 Langefors가 제안한 장약 설계방법 계산식^{21,23)}을 택하였다.

이는 많은 실험에 의해 결정된 식이며 현재 국내에서 가장 많이 활용하는 공식이다.

$$B_{max} = \frac{d}{33} \sqrt{\frac{P \cdot S}{g \cdot f \cdot D/W}} \quad (2)$$

여기서, B_{max}는 저항선의 최대거리(m)이고, d는 공경(mm)으로 장약공의 하부를 나타내며, P는 장전비중(g/

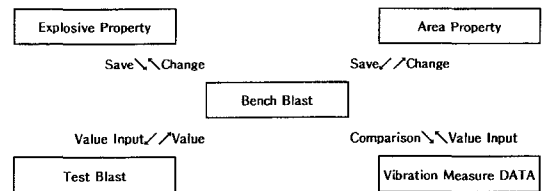


Fig. 7. The Structure of bench blast.

Table 2. The modification coefficient of charge weight according to number of freeface on the surface blasting.

No. of freeface	村田, 田中식	Daw' law
1	f_1	f_1
2	$f_2 = f_1$	$f_2 = 0.8f_1$
3	$f_3 = 0.66f_1$	$f_3 = 0.57f_1$
4	$f_4 = 0.5f_1$	$f_4 = 0.44f_1$
5	$f_5 = 0.4f_1$	$f_5 = 0.33f_1$
6	$f_6 = 0.25f_1$	$f_6 = 0.17f_1$

Table 3. The modification coefficient of charge weight according to number of freeface and drilling angle. (Lanfegors).

Incline	∞:1	3:1	2:1	Free Bottom
Bench, one Row of Holes	1	0.9	0.85	0.75
Relievers, one Row of Holes	1	(0.9)	10.85	0.75
Downward stoping one Row of Holes	0.8	0.7	0.65	0.6
Relievers, single Holes	1.45	1.3	1.25	1.1

cm³)이고, S는 폭약밀도로서 보통 폭약위력계수의 역수로 나타낸다. 또 g는 암석의 평균 항력계수(kg/m³)이고, f는 자유면의 수에 따른 수정계수이다.

노천발파 시 자유면 수에 따른 장약량 수정계수와 자유면수와 천공각도에 따른 장약량 수정계수를 각각 Table 2, 3에 제시하였다.

본 RBD 프로그램에서는 자유면 수에 따른 장약량 수정계수를 Daw의 계산식을 이용하여 프로그래밍하였으며 천공각도에 따른 수정계수는 벤치발파시 이용하는 상수로 프로그래밍하였다. 벤치발파 모듈에서는 Lanfegors가 제안한 계산식을 이용하여 식의 변수인 계단높이, 장약량, 천공수, 공당장약량 등을 출력하여 주며 개략적인 설계패턴을 보여준다.

Fig. 8은 RBD 프로그램에서 벤치발파시의 입력문이다.

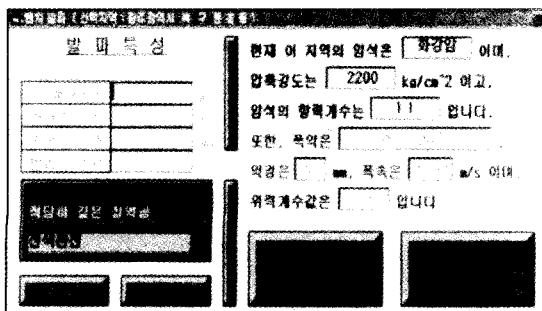


Fig. 8. The input stage of bench blasting.

2.3.3 진동측정의 변수

발파진동의 전파특성을 이론적으로 파악하려는 여러 학자들에 의해서 발파현상에 관련된 변수의 차원해석과 발파진동의 측정 경험을 토대로 발파진동식을 제안하고 있으며, 현재 국내외로 가장 많이 적용하고 있는 경험식은 다음과 같다.

$$V = K \left(\frac{D}{W^b} \right)^n \quad (3)$$

여기서,

V : 진동속도 (cm/sec)

D : 폭원으로부터 측정 지점까지의 거리 (m)

W : 지발당 최대 장약량 (kg)

K : 자유면의 상태, 폭약의 종류, 암질 등에 따른 상수

n : 감쇄지수

b : 장약지수

식(3)에서 거리와 지발당 장약량의 관계로부터 D/W^b를 환산거리(scaled distance, SD)라고 하며, b의 값이 1/2 이면 자승근 환산거리(square root scaled distance), 1/3 이면 삼승근 환산거리(cube root scaled distance)라고 한다. 일반적으로 근거리에서는 삼승근 환산거리가, 그리고 원거리에서는 자승근 환산거리가 잘 맞는 것으로 알려져 있다¹¹⁾.

지금까지 연구된 바에 의하면 발파진동은 주로 지발당 장약량(kg)과 거리(m)에 의해 결정되고, 기타의 요인들은 지반의 성질이나 발파조건에 의해 결정된다. 따라서 발파 설계를 위해서는 대상 지역에서의 시험발파를 통한 K, n 상수값을 정의하는 것이 매우 중요하다. K, n 값이 결정되고, 허용진동속도가 주어지면 발파 진동식에서 폭원로부터의 거리가 지발당 장약량과의 관계를 나타내는 노모그램을 작성할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 지역에 알맞은 암 발파의 설계를 용이하게 하기 위하여 RBD 프로그램을 개발하였다. 지질 특성 값과 발파상수를 데이터베이스로 제공하고, 나아가 여러 상수값을 재입력 함으로써 보다 빠르고, 간편하게 발파 설계에 임할 수 있게 되었다. 또한 한번 입력한 상수를 사용자가 재사용 할 수 있도록 하였다. 더 세밀한 데이터베이스의 제공이 이 설계 프로그램의 정밀도를 좌우

할 것으로 생각하며, 앞으로 더 많은 데이터베이스의 수집과 이 적용성 검토가 뒤따라야 되리라 생각한다. 또 향후 절리나 불연속면 등의 지질조건에 따른 설계, 도심지 발파설계, 제어발파설계 등 보다 폭넓은 범위에 적용할 수 있고, 광범위한 지역적 특성에 맞는 프로그램이 개발되고, 또한 단가산출 및 암량에 따른 기간산출 등 일반적인 제반사항도 프로그래밍되어 국내특성에 알맞은 발파 설계가 이루어질 수 있도록 많은 연구가 요망된다.

사 사

본 연구는 1997년도 조선대학교 학술연구비의 지원으로 수행되었으며, 연구비를 지원해 준 조선대학교에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김규봉, 이병주, 1990, 광주도폭 지질보고서, 한국동력

- 자원연구소
2. 홍승호, 윤 욱, 1986, 송정도록 지질보고서, 한국동력 자원연구소
 3. 홍승호, 황상구, 1984, 구례도록 지질보고서, 한국동력 자원연구소
 4. 홍승호, 최범영, 1990, 나주도록 지질보고서, 한국동력 자원연구소
 5. 정창희, 김길승, 1996, 한국지질도 능주도폭, 국립지질 조사소
 6. 최용구, 윤정대, 1968, 한국지질도 장흥도폭, 국립지질 조사소
 7. 이상만, 김형식, 1996, 한국지질도 복내도폭, 국립지질 조사소
 8. HANWHA Corporation 카다로그, 1997, (주)한화
 9. 橋本清, 김웅수, 1977, 암석발파에 있어서의 표준장약량 설정에 관한 연구, 대한 광산학회지, 13, 10-18.
 10. 양형식, 1995, 발파진동학, 구미서관, 224-263.
 11. 한국토지개발공사, 1993, 암발파 설계 기법에 관한 연구, 345-516.
 12. A.A. Chernigovskii, 1985, Application of Directional Blasting in Mining and Civil Engineering, 318p.
 13. Stig O. Olofsson, 1988, Applied Explosives Technology for construction and Mining APPLEX, 121p.



강 추 원

- 1973년 조선대학교 공과대학 자원
공학과 공학사
1981년 조선대학교 대학원 자원공
학과 공학석사
1999년 강원대학교 대학원 자원공
학과 공학박사

Tel : 062-230-7117

E-mail : cwkwang@mail.chosun.ac.kr

현재 조선대학교 공과대학 자원공학과 교수