

# 국내산 주요폭약의 위력계수 산정에 관한 연구

A Study on Evaluation of strength Coefficient of Some Explosives  
Produced in Korea

이 천식, 김 형섭

Chun-Sik Lee, Hyung-Seob Kim

(주) 한 화

## 초 록

산업용 폭약을 이용하여 자연상태의 암반을 굴착하고자 할 때 고려해야 할 주요한 사항중의 하나로서 폭약의 위력계수를 들 수 있다. 이 값은 시험 발파는 물론 본 발파 시 적정 폭약량을 산정 하는데 중요한 요소이기 때문이다. 우리 나라는 다이너마이트 등 여러 종류의 폭약이 제조, 사용되고 있으나 지금까지 이에 관한 구체적인 보고가 전혀 이루어지지 못한 실정이다.

따라서, 본 연구는 주요 국내산 폭약에 대해 적정 폭약량 산정을 위한 폭약의 위력계수(e)와 발파 시 유발되는 진동상수(k) 추정을 위한 폭약의 위력계수의 역수(1/e)를 산정하고 그 결과를 제시하고자 하는 것이다.

핵심어 : 발파, 위력계수, 위력계수의 역수, 진동상수

## 1. 서 론

암반을 파쇄 또는 굴착하는 방법은 기계력을 이용하기도 하지만 시공의 능률성 및 경제성을 고려할 때 화약, 폭약류를 사용한 발파공법이 전 세계적으로 널리 이용되고 있다. 산업용 목적은 주로 국토개발 또는 지하자원 개발을 주 목적으로 하기 때문에 파쇄 대상물만을 깨뜨리고 주변에는 가능한한 영향을 미치지 않도록 제한해야 하는 특성을 갖는다. 따라서 산업용 목적으로 발파작업을 수행하고자 할 때는 무엇보다 적정 폭약에 의한 표준 장약량을 산정하고, 또 파쇄대상 암반에

적합한 폭약류를 선정하는 것이 중요하다.

이와 같이 국토개발과 지하자원의 개발을 위하여 많은 양이 소요되고 있음에도 불구하고 주요 폭약류의 위력계수에 관한 연구가 전혀 이루어진 바 없다. 현장 기술자들은 국내산 화약류의 위력계수를 외국제품 특히 일본의 값을 그대로 인용하거나 유추하여 사용해 오던 실정이었다. 금번 국내산 주요 폭약류의 폭발위력계수 산정과 관련하여 앞으로 이와 관련된 연구가 활발히 추진된다면 표준 장약량 산정 및 적정 폭약류의 선정에 있어 보다 과학적이고 정량적인 발파작업이 수행될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 발파계수(發破係數)와 폭약류의 성능

### 2.1 발파계수

표준 장약량을 산정할 때는 식(2.1)과 같이 하우스저(Hauser)의 식을 기본으로 하고, 식(2.2)를 일반식으로 사용하고 있다.

$$L = CW^3 \quad (2.1)$$

$$L = f(n) \cdot g \cdot e \cdot d \cdot W^3 \quad (2.2)$$

여기서, L : 장약량

W : 최소저항선

(n) : 누두공(crater)의 수정항 또는 누두지수의 함수로 자유면(n)과 관련됨

C : 발파계수로서  $f(n) \cdot g \cdot e \cdot d$ 로 표시

g : 굴착대상 암반의 항력계수

e : 폭약의 위력계수

d : 전색계수

특히 식(2.2)에서 누두지수의 함수는 여러 학자에 의해 제안된 바 있으나 최근에는 Dambrum 식이 많이 사용된다.

$$f(n) = (\sqrt{1+n^2}-0.41)^3 \quad (2.3)$$

#### (1) 암석의 항력계수 (g)

암석을 발파할 때 생기는 저항에는 암석의 경도(hardness)와 인성(toughness)이 있다. 발파작업을 할 때 천공저항에 해당하는 것이 경도이고, 발파할 때 저항이 암석의 인성이라 할 수 있다. 암석의 항력계수는 시험발파를 통해서 동일 종류의 암석 또는 암반의 항력을 계수화한 것이다.

#### (2) 폭약의 위력계수 (e)

폭약의 위력계수는 어떤 특정의 폭약, 예를 들면 니트로글리세린 60%를 함유한 젤라틴 다이너마이트의 위력(e)을 1로 설정하고, 이것을 기준으로 하여 다른 폭약과의 위력을 비교하는 계수이다.

#### (3) 전색계수 (d)

발파를 할 때 암석에 천공한 후 폭약을 장전하고, 자유면에 가까운 쪽으로 장약이 되지 않은 빈 자리에 모래, 점토, 물, 종이, 시멘트, 벚집 등의 전색물을 채운다. 이것을 전색이라 하는데 전색이 충분히 되면, 폭약이 폭발할 때 발생하는 고열 및 가스가 발파공으로부터 적게 빠져나가므로 적정 폭약량으로 큰 폭파 효과를 얻을 수 있다.

전색계수는 발파법에 직접 관계되는 중요한 수치로서 폭약의 장전밀도를 높이고 파괴 에너지를 파괴대상 암반에 전달하는 역할을 하게 된다.

#### (4) 발파규모계수 ( $f(w)$ )

시험발파 할 때 표준장약량을 계산하는 기본식은 식(2.1), (2.2) 및 식(2.3)이지만 이 경우는 최소저항선이 1m로써 일정할 때이다. 라레(Lares)박사는 누두지수(n)의 값이 최소저항선의 크기와 함께 변화한다는 관계로부터  $n^2 = 1/W$ 를 유도하여 이것을 식(2.3)에 대입하면 식(2.4)가 된다.

$$f(W) = (\sqrt{1+\frac{1}{W}}-0.41)^3 \quad (2.4)$$

따라서 식(2.2)는 식(2.5)와 같이 표기할 수

있다.

$$L = f(W) \cdot g \cdot e \cdot d \cdot W^3 \quad (2.5)$$

## 2.2 폭약류의 성능

### (1) 화약류의 성질과 안정도

#### 가. 흡습성과 내수성

대부분의 폭약은 질산암모늄을 주성분으로 하고 있기 때문에 흡습성이 강하다. 그리고 두 종류 이상의 흡습성 물질을 배합하면 흡습성이 증가한다. 그러므로 질산나트륨, 염화나트륨 등을 질산암모늄에 배합한 것은 고온, 다습한 갱내에서는 흡습 속도가 빠르다.

폭약이 흡습하면 결정상태가 변화되며, 흡습으로 인하여 배합성분이 재결정되면 알갱이가 서로 엉겨서 단단하게 굳어져 성능이 변화할 뿐만 아니라, 폭과작업에도 나쁜 영향을 미친다. 그러므로 폭약을 제조할 때에는 방습포장을 철저히 해야하며, 보관할 때에도 습기를 흡수하지 않도록 유의해야 한다.

#### 나. 안정도

화약류의 안정도는 자연분해와 안정도로 구분한다. 자연분해란 방향족 니트로 화합물과 달리 니트로 셀룰로오스나 니트로 글리세린과 같은 질산에스테르 또는 이들을 함유하고 있는 화약류는 자연분해를 일으키기 쉽다. 그리고 금속가루를 배합한 혼합화약은 습기 때문에 산화작용을 일으키고, 심지어는 자연발화 현상을 나타낸다. 따라서 오래 저장해둘 때는 화약류 단속법의 규정에 따라서 매년 정기적으로 안정도 시험을 해야 하며 불합격품은 폐기해야 한다.

### (2) 화약류의 감도

화약류를 폭발시키려면 충격, 마찰, 가열 등의 에너지를 외부에서 가해 주어야 한다. 외부작용에 대한 화약류 감도를 측정하는 시험을 감도시험이라 하며, 열감도와 내열감도, 충격감도, 기폭감도, 마찰 및 전기감도가 있다. 열감도와 내열감도의 시험종류는 정속가열 발화점 시험이 있고, 충격감도에는 충격기폭, 낙추시험, 순폭도시험을 들 수 있다.

### (3) 폭력

폭발효과는 동적효과와 정적효과로 나누어서 생각하는 것이 편리하다. 동적효과는 폭약이 폭발할 때에 주위의 고체에 대하여 충격을 일으키므로, 어떤 형태의 일을 하는 것으로 생각할 수 있다. 이와 같은 일은 폭약의 맹열도, 즉 맹도에 따라 다르며 폭발속도의 영향도 받는다.

폭발속도란 폭발과가 전파되는 속도를 말하며, 폭발속도는 약포의 지름, 폭약의 양, 폭약의 성분, 폭발할 때의 저항, 장전밀도, 뇌관의 힘, 장전방법 등에 지배를 받는다. 정적효과는 폭발생성가스가 단열팽창을 할 때에 외부에 대해서 하는 일의 효과를 말하며, 폭약의 힘과 관계가 깊다.

## 3. 폭약위력의 실험방법 및 측정

### 3.1 비에너지값(f) 계산

비에너지라 함은 화약폭발시 고압과 다량의 가스발생시 일의 효과라하여 화약력이라고도 불리며 열역학적으로  $PV=nRT$ 로부터 계산된 수치로 생각할 수 있다. 화약이 폭발

했을 때, 고압이 발생하고 다량의 가스가 발생되는데 이 PV의 일 효과를 화약력이라고 하며, 그 단위는 『L·kg/cm<sup>2</sup>』로 표시되는데, 이는 『용적×압력』의 에너지 단위이며, 이것은 『atm·L』의 단위로도 표시가능하다.

즉, 만일 임의의 화약의 힘이  $f=13,000$  『atm·L』이라면, 그 화약 1kg이 폭발했을 때 발생하는 gas를 1 Liter의 용적에 밀폐시켰을 때, 13,000 atm의 압력이 된다는 것을 의미한다.

### 3.2 폭약비중

단위 부피당의 중량을 표시하는 수치로 kg/l 또는 g/cm<sup>3</sup>의 단위로 표시한다. 일반적으로 같은 위력을 가지는 폭약을 밀 장전하여 비중을 높였을 때 파괴효과가 더 좋을 수 있다.

전자비중계 비이커에 물을 채운 후, 물의 온도를 측정하여 그 온도를 비중계에 입력한다. 물의 부피 및 중량을 확인한 후 입력한다. 측정하고자 하는 폭약 시료(약 5g 이내)를 비중계 비이커에 넣은 후, 물 속에 있는 시료 주변의 기포를 제거하고 나서, 비이커내의 물의 부피 및 중량을 확인 후 입력한다. 시료의 비중은 전자비중계가 계산한 값을 읽어서 기록한다.

### 3.3 폭발속도

폭발속도는 폭약이 폭발시 분해되는 속도로 시간에 따른 압력의 변화를 의미하며 화약이 분해되면 순간적으로 2000~5000K의 온도와 10~200 Kbar의 압력을 발생시키며, 일반적으로 이 에너지는 보통 4 MJ/kg정도로 측정된다. 화약이 분해 될 때 보통 충격파를 수반하게 되는데, 이 충격파는 화약의 분해속도가 음속보다 수십 배 이상 빠르기 때문에 엄청난 소음을 발생시키게 된다. 일반적으로

화약의 분해 속도를 우리는 폭속 이라고 하는데, 압력-시간 곡선에 단위시간당 발생하는 압력의 기울기가 큰 것이 고 폭속의 화약이며, 적은 것이 저폭속 이다. 따라서 폭속은 시간에 따른 압력의 변화를 의미하므로 우리는 이러한 폭속을 동적인 효과라 한다.

### 3.4 폭발압력

폭발압력은 장약밀도에 따른 폭발시 가스 압력을 말하며 비에너지  $f$ 로부터 구할 수 있다.

$$f = P_1 V_1$$

$$P_1 = f / V_1 = \rho_0 f \left( \rho_0 = \frac{1}{V} \right) \quad (3.1)$$

$\rho_0$ 는 kg/m(g/cc)로서 화약의 밀도에 해당되며 장약밀도(charging density)라 한다.

이상기체 상태방정식 적용에는 고체밀도를 갖는 화약류가 전부 탄용하여 기체가 되어도 밀도가 높은 가스분자는 이상기체와 같을 수가 없어 가스분자 체적만큼 적어지므로 보정을 필요로 한다.

폭발압력은 화약력에 비중을 곱해서 구하며 폭발압력의 역수는 비교폭약의 폭발압력을 기준폭약의 폭발압력으로 나누어 구한다.

### 3.5 맹도

맹도는 폭약이 폭발시 폭굉파의 전면에 있어서 충격량은 폭굉파가 진행되는 도중에 존재하는 주위물질에 작용하여 파괴적 효과를 나타내게 되는데 폭약의 동적 파쇄강도의 척도로 나타난다.

맹도는 이론적으로는 폭굉파의 압력  $P$ 에 의한 표시로, 밀도  $\Delta$ , 폭속  $D$ , 폭굉파 직후의 가스유속  $W$ 로 하면,  $P = \Delta DW$ 로 표시된다. 이 중에서 가스유속  $W$ 는 측정 곤란하기 때문에 폭속 만으로 맹도를 유추하는 것도 가능하다.

맹도를 나타내는 시험법으로는 헤스맹도계나 카스트맹도계를 사용하여 실측정치를 계산하는 방법이 있으나 이론적인 계수 값의 산정이 곤란하므로 화약력에 비중과 폭속을 곱하여 얻어지는 계산치 값으로 구할 수 있다.

### 3.6 탄동구포

탄동구포시험법은 소형구포를 진자로 하고 10g정도의 시험폭약을 사용하여 폭발시키면 17kg의 탄환은 전방으로 나가고 구포는 후퇴한다. 이 때 구포 진자의 전후 움직인 각도를 측정하여 기준폭약과 비교해서 RWS 값을 구할 수 있으며 이는 유효 일에너지로서 정적인 힘의 대표값으로 나타낼 수 있다.

### 3.7 측정 결과치의 평균

지금까지 소개한 폭약의 위력계수 산정에 관한 세부항목을 구하기 위해 시험한 각종폭약류의 비중(d), 폭속(D), 폭발압력(f×d), 맹도(f×d×D), 탄동구포RWS(%), 탄동구포

RWS(%) $\times$ d 에 대한 평균값은 아래 Table 1과 같다.

## 4. 폭약의 위력계수

### 4.1 폭약의 위력계수 산정

위력계수 e는 기준폭약 1kg과 동일한 위력을 나타내는 비교폭약의 약량을 산출하는 것으로, 이 위력계수를 구하는 공식은 식 (4.1)과 같다.

여기서 정적위력에 0.85를 곱하고, 동적위력에 0.15를 곱할 수 있는 이유는 다음과 같다.

화약의 이론가인 Langefors에 따르면, 파괴 대상물이 암반인 경우 폭약이 갖는 에너지중 폭속으로 대표되어지는 동적효과는 약15%이고, 화약력 혹은 구포비로 대표되는 정적효과는 85%로 해석가능 하다고 함에 따라, 화약의 일 효율을 동적 및 정적 위력이 비로 15:85로 배분 가능하다.

Table 1. The average strength coefficient of some Explosives

	Specific density (g/cc)	Velocity of detonation (m/sec)	Pressure of explosion (atm)	Brisance (f×d×D)	RWS(%)	RBS(%)
MegaMITE I	1.320	6087.300	13.444	81.845	169.30	223.48
MegaMITE II	1.399	6702.400	16.267	109.290	175.10	245.14
NewMITE Plus I	1.197	5705.150	10.669	60.872	125.10	150.12
NewMITE Plus II	1.216	5718.400	11.449	65.462	140.30	170.42
FINEX I	1.029	4210.700	6.962	29.291	86.00	88.39
ANFO	0.808	3164.250	7.140	22.593	147.15	119.19
KOVEX100	1.102	4648.900	8.301	38.590	118.20	130.02
KOVEX300	1.072	3628.400	8.332	31.952	117.15	125.35
KOVEX700	1.168	4808.950	10.301	49.535	118.05	138.12

$$\text{위력계수}(e) = \left| \frac{\text{폭발압력의 역수} + \text{탄동구포(RBS)의 역수}}{2} \right| \times 0.85 + [\text{맹도의 역수}] \times 0.15 \quad (4.1)$$

#### 4.2 측정결과의 해석

##### (1) 비 에너지 값

이 값은 화약류의 폭발시 생성된 고온과 다량의 가스압에 의한 일의 효과로서 실제 실험으로 구하기 어렵기 때문에 이론식에 의해 산정 하였다. 실험 결과값의 크기는 MegaMITEⅡ > MegaMITE I > NewMITE PlusⅡ > NewMITE Plus I > AN-FO > KOVEX 700 > KOVEX 300 > KOVEX 100 > FINEX I의 순서이다. 특히 초유폭약의 경우 코백스나 파이백스에 비하여 상대적으로 비 에너지 값이 크다. 함수폭약인 코백스 보다 폭속은 낮으나 비 에너지 값이 상대적으로 큰 점을 이용하여 석회석 광산의 발파 시 널리 이용된다.

##### (2) 폭약비중

폭약비중은 KS규격에 없어 (주)한화에서 사용하는 전자비중계를 이용하여 구하였으며 그 값은 MegaMITEⅡ > MegaMITE I > NewMITE PlusⅡ > NewMITE Plus I > KOVEX 700 > KOVEX 100 > KOVEX 300 > FINEX I > AN-FO의 순으로 나타났다.

##### (3) 폭발속도

폭속 시험은 KS-M-4802의 방법이 있으나 오차가 커서 강관을 이용한 전기식 Ion gap법을 사용하였다. 폭발속도는 동적인 힘의 효과로 위력이 클수록 그 값이 크게 나타

났는데 그 순서로서는 MegaMITEⅡ > MegaMITE I > NewMITE PlusⅡ > NewMITE Plus I > KOVEX 700 > KOVEX 100 > FINEX I > KOVEX 300 > AN-FO의 순으로 나타났다.

##### (4) 폭발압력

폭발압력의 값의 특이 할만한 것은 비중이 적으면 상대적으로 폭발압력 값이 작아진다는 것이다. AN-FO의 경우 화약력이 크나 비중이 작으므로 폭발압력이 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 폭발압력의 평균값 크기를 보면 MegaMITEⅡ > MegaMITE I > NewMITE PlusⅡ > NewMITE Plus I > KOVEX 700 > KOVEX 100 > KOVEX 300 > AN-FO > FINEX I의 순으로 나타났다.

##### (5) 맹도

맹도의 평균값을 보면 MegaMITEⅡ > MegaMITE I > NewMITE PlusⅡ > NewMITE Plus I > KOVEX 700 > KOVEX 100 > KOVEX 300 > FINEX I > AN-FO의 순으로 나타났으며 폭속과 폭발압력이 큰 폭약일수록 맹도가 큰 경향을 나타냄을 알 수가 있다.

##### (6) 탄동구포(RWS)

탄동구포는 유효 일 에너지의 정적인 힘의 대표 값으로 KS-M-4802의 실험실적으로 구하였다. 탄동구포의 값은 MegaMITEⅡ >

MegaMITE I > AN-FO > NewMITE Plus II > NewMITE Plus I > KOVEX 100 > KOVEX 700 > KOVEX 300 > FINEX I 으로 나타났다. ANFO의 탄동구포 값이 큰 것은 AN 자체가 보유하고 있는 가스가 많기 때문에 기인한다.

타내는 것으로 실험실적으로 구한 RWS 값에 비중을 곱하여 얻어진다. 그 값의 크기를 보면 MegaMITE II > MegaMITE I > NewMITE Plus II > NewMITE Plus I > KOVEX 700 > KOVEX 100 > KOVEX 300 > AN-FO > FINEX I 의 순으로 나타났다. ANFO의 경우 RWS 값은 크나 비중이 적으므로 상대적으로 RWS 값은 작게 나타

(7) 탄동구포(RBS)

RBS는 일정부피의 폭약의 정적위력을 나타낸다.

Table 2. The strength coefficient (e, 1/e) of some Explosives

	Specific energy (f)	Specific density (ρ)	VOD (m/sec)	Pressure of detonation		Brisance	
				f*ρ	reciprocal	f*ρ*D(*10 <sup>3</sup> )	reciprocal
MegaMITE I	10.19	1.32	6087	13.45	1.00	81.85	1.00
MegaMITE II	11.63	1.40	6702	16.27	0.83	109.03	0.75
NewMITE P I	8.91	1.20	5705	10.67	1.26	60.87	1.34
NewMITE P II	9.42	1.22	5718	11.45	1.17	65.46	1.25
FINEX	6.76	1.03	4210	6.96	1.93	29.29	2.79
ANFO	8.84	0.81	3164	7.14	1.88	22.60	3.62
KOVEX100	7.53	1.10	4648	8.30	1.62	38.59	2.12
KOVEX300	8.21	1.07	3628	8.33	1.61	31.95	2.56
KOVEX700	8.82	1.17	4808	10.30	1.31	49.53	1.65

	R.W.S		R.B.S		Strength coefficient	
	(%)	reciprocal	(%)	reciprocal	e	1/e
MegaMITE I	169	1.00	223	1.00	1	1
MegaMITE II	175	0.97	245	0.91	0.85	1.17
NewMITE P I	125	1.35	150	1.49	1.37	0.73
NewMITE P II	140	1.21	170	1.31	1.24	0.80
FINEX	86	1.97	88	2.52	2.31	0.43
ANFO	147	1.15	119	1.88	2.14	0.47
KOVEX100	118	1.43	130	1.72	1.74	0.58
KOVEX300	117	1.44	125	1.78	1.79	0.56
KOVEX700	118	1.43	138	1.62	1.49	0.67

\* 특이사항

1. 비에너지는  $f=PV$ 로 계산한 값을 1000으로 나눈 값, ( $\ell \cdot \text{kg}/\text{cm}^3$ )
2. 비중은 실측치(평균), ( $\text{g}/\text{cc}$ )
3. 폭속은 실측치(평균), ( $\text{m}/\text{sec}$ )
4. 폭발압력은 정적위력치, ( $\text{atm}$ )
5. 맹도는 동적위력치
6. 탄동구포는 정적위력치, (%) - RWS는 일정 약량으로 한 것이고 RBS는 일정부피로 환산한 수치임.
7. 위력계수는 정적위력치인 폭발압력과 탄동구포의평균치에 0.85를 곱하고 동적위력치인 맹도에 0.15를 곱해서 더한 값임 - 이 수치(e값)의 의미는 값이 적을수록 화약량이 적게 사용된다는 의미임.  
- 1/e의 값은 화약의 상대위력크기를 나타낸 값임.
8. FINEX의 위력은 메가마이트 I의 49% 수준임.

## 5. 결 론

산업용 폭약을 이용하여 자연상태의 암반을 굴착하고자 할 때 고려해야 할 중요한 사항중의 하나로서 폭약의 위력계수를 들 수 있다. 이 값은 시험 발파는 물론 본 발파시 적정 폭약량을 산정 하는데 중요한 요소이기 때문이다. 우리 나라는 다이너마이트 등 여러 종류의 폭약이 제조, 사용되고 있으나 지금까지 이에 관한 구체적인 보고가 전혀 이루어지지 못한 실정이다.

본 연구에서는 적정 폭약량 산정을 위한 폭약의 위력계수(e)와 발파시 유발되는 진동상수(k) 추정을 위한 폭약의 위력 계수의 역수(1/e)를 산정하고 그 결과를 제시한 것이다. 폭약의 위력계수는 비 에너지(f), 비중( $\rho$ ), 폭속, 폭발압력, 맹도, 탄동구포 실험에서의 RWS 및 RBS 등에 의해 결정된다. 국내에서 생산되는 특히 (주)한화에서 제조 판매되는 메가마이트 I 등 8개 품목에 대하여 위력 계수를 산정 하였다.

표 3. 국내산 주요폭약의 위력계수

폭약의 종류	위력계수 (e)	위력계수의 역수(1/e)
MegaMITE I	1	1
MegaMITE II	0.85	1.17
NewMITE Plus I	1.37	0.73
NewMITE Plus II	1.24	0.80
FINEX - I	2.31	0.43
AN-FO	2.14	0.47
KOVEX 100	1.74	0.58
KOVEX 300	1.79	0.56
KOVEX 700	1.49	0.67

위력계수 산정시 기준이 되는 폭약을 선정해야 하는데 본 연구에서는 (주)한화의 메가마이트 I 을 그 대상으로 하였다. 그 이유는 탄동구포시험시 TNT를 기준하여 169%의 위력을 나타내기 때문이다. 이와 같은 값은 일본이나 선진국에서도 이와 같거나, 유사한 값을 기준으로 설정하고 있기 때문이다.

1. 위력계수(e) 값이 적을수록 소요 화약량이 적음을 의미한다.

2. 발파진동 추정식에서 상수로 쓰이는 K값 중 E는 폭약의 위력계수 값의 역수 즉 1/e로 표기되는데 이 값이 클수록 K값이 크게 산정되는 것을 의미한다.

본 연구에서는 국내에서 생산되는 (주)한화 제품에 대하여 실시하였으므로 앞으로 국내 건설, 토목, 광산 등 발파설계에 많은 도움이 되리라 믿으며, 새로운 제품이 나올 때마다 동일한 연구가 수행되길 바란다.

## 참고문헌

1. 김용수, "최신발파공학", 구미서관, 1994. 4, pp.15~32.
2. 김재극, "산업화약과 발파공학", 서울대학교출판사, 1986. 8, pp.82~118.
3. 윤지선, "최신발파기술", 구미서관, 1993. 6, pp.2~10.
4. 일본공업화약협회, "발파핸드북", 산해당, 1976, pp.23~27.
5. 임한욱, "암발파 설계 기본에 관한 연구", 한국토지개발공사, 1993. 3, pp.169~242.
6. Per Arders Persson, "Rock Blasting & Explosives Engineering", Dec. 1992, pp.119~139.
7. Rudolf Meyer, "Explosives", 1977. pp.265~269.
8. 木才眞, 鈴木善孝, "火藥技術者必携", 일본 산업도서, 1977. pp.116~122.