

## 벤치발파 설계에서 발파계수 설정에 관한 연구

김희도<sup>1)</sup>, 김정규<sup>2)</sup>, 고영훈<sup>2)</sup>, 노유송<sup>2)</sup>, 신명진<sup>2)</sup>, 양형식<sup>2)</sup>\*

### Blast Coefficient for Bench Blasting

Hee-Do Kim, Jung-Kyu Kim, Young-Hun Ko, You-Song Noh,  
Myeong-Jin Shin, Hyung-Sik Yang

**Abstract** In this study, the domestic bench blasting sites were researched to set the blast coefficient  $C$  according to the type of rock and type of industry. With the use of the experimental data on the representative industrial explosives and the data of the manufacturers' data on explosives, powder coefficient  $e$  was set up. The blast coefficient  $C$  was 0.21~0.30 when the average value for 5 representative kinds of rocks including granite was searched. The blast coefficient  $C$  for quarrying, mining and construction sites were 0.22, 0.13 and 0.26 respectively. On the other hand, powder coefficient  $e$  was obtained in four elements such as reactive energy, ballistic mortar test, VOD, Langefors's strength per unit weight.  $e$  value for emulsion which is one of the representative explosives was found to be 1 while those of high performance emulsion and ANFO were found to be 0.9 and 1, respectively.

**Key words** Blast coefficient, Powder coefficient, Ballistic mortar test, VOD, Langefors's strength per unit weight

**초 록** 본 연구에서는 국내 77개소의 벤치발파 현장을 조사하여 암석의 종류 및 산업별로 발파계수  $C$  값을 설정하였고, 대표적인 산업용 화약류에 대한 실험데이터와 화약류 제조사의 데이터를 이용하여 폭약위력계수  $e$  값을 설정하였다. 그 결과로 발파계수  $C$  값은 화강암 등 대표적으로 조사한 암석 5종에 대한 평균적인 값의 범위가 0.21~0.30이었다. 그리고 석산, 광업 및 건설현장의 산업별로 산출한 발파계수  $C$  값은 각각 평균 0.22, 0.13 및 0.26이었다. 한편, 폭약위력계수  $e$  값은 화약류의 반응에너지, 탄동구포비, 폭발속도 및 Langefors 단위 중량당 강도 등 4가지로 산출하였고, 대표적인 화약류인 일반에멀전은 1, 고성능에멀전은 0.9 그리고 ANFO는 1로 산출되었다.

**핵심어** 발파계수, 폭약위력계수, 탄동구포시험, 폭속, Langefors' 단위중량당 강도

## 1. 서 론

국내 벤치발파 현장에 대한 발파계수  $C$  값을 설정하기 위하여 대표적인 노천발파 현장 77개소를 대상으로 발파제원을 조사하여 산업별로 석산과 광업 및 건설현장으로 구분하였다. 해외에서는 상기의 3가지 산업별

로 발파장소를 구분하여 생산성, 발파 영향권 및 경제성 등의 발파결과를 분석하는 경향이 있다. 즉, 다양한 국내 발파현장의 여건을 감안하여 광업, 석산, 도로, 터널, 터파기 및 부지정리 등의 현장으로 분류할 수 있으나 본 연구에서는 벤치발파 현장의 발파계수  $C$  값을 산출할 목적으로 발파현장의 종류를 위와 같이 3가지로 구분하고 각 현장에 대하여 업종, 천공경사, 천공직경, 벤치높이, 천공장, 저항선, 공간격, 공당 생산량 및 월 생산량을 조사하였고, 이와 함께 폭약의 직경, 폭약 및 뇌관의 사용량 그리고 암석의 종류 등 13개 발파변수를 통하여 비장약량, 비천공장 및 비뇌관량을 산출하

<sup>1)</sup> (주)고려노벨화약 기술영업팀

<sup>2)</sup> 전남대학교 에너지자원공학과

\* 교신저자: hsyang@jnu.ac.kr

접수일 : 2015년 3월 16일

심사 완료일 : 2015년 3월 23일

게재 승인일 : 2015년 3월 25일

였다.

벤치발파 설계에서 발파계수 C값을 산출하기 위하여 발파현장별로 국내의 다양한 암석의 종류 12개를 대상으로 현장 조사를 실시하였으나, 데이터 수가 불충분한 현장들은 제외하고 대표적인 암석 5가지의 화강암, 안산암, 화강편마암, 편마암 및 셰일 등에 대하여 현장 조사한 13개의 발파변수로부터 발파계수와 파쇄도계수를 산출하였다.

또한, 폭약위력계수 e값의 경우에 조사대상 현장의 사용화약류는 국내 발파현장에서 주로 사용하고 있는 에멀전폭약과 ANFO폭약이 산업별 대상현장에 관계없이 대부분을 차지하고 있다. 따라서 기준폭약을 대표적인 에멀전폭약의 한 종류인 New Emulite 제품으로 선정하여 국내 산업용 화약류에 대하여 제조사별 대표적인 폭약위력계수 e값을 산출하였다.

## 2. 발파계수의 설정

### 2.1 암종별 발파계수의 설정

암석의 종류에 따른 발파계수 C값을 설정하기 위하

여 대표적인 발파현장 77개소를 대상으로 발파제원을 조사한 결과 벤치발파 현장의 대상암종으로 규암, 화강암, 안산암, 섬록암, 화강편마암, 편마암, 유문암, 반려암, 응회암, 석회암, 퇴적암, 고령토 등의 12개 암종에 대하여 16개의 발파변수들을 조사하였고, 이를 토대로 데이터 수가 불충분한 7개 암종의 현장들을 제외하고 대표적인 암석인 화강암, 안산암, 화강편마암, 편마암 및 셰일 등 5개 암석에 대하여 국내 벤치발파 현장의 실제적인 발파계수와 파쇄도계수를 산출하였다.

Table 1은 조사현장에 대한 각 암석의 종류별로 발파계수 C값에 대한 범위와 평균 및 표준편차를 나타낸 결과이다.

### 2.2 산업별 발파계수의 설정

전체 77개소의 벤치발파 조사현장에서 산업별로 석산과 광업 및 건설현장에 대하여 각각 36개소, 2개소 및 39개소의 산업별 발파계수를 산출하였다. Table 2는 조사 현장에 대하여 석산과 광업 및 건설현장 등 산업별로 3가지로 분류하고, 발파계수 C값을 산출하여 범위와 평균 및 표준편차를 나타낸 결과이다.

**Table 1.** Blast coefficient by the types of rock

암종	Data (n)	발파계수 C (kg/m <sup>3</sup> )			파쇄도 계수 <sup>1)</sup> f(W)		
		범위	평균	표준편차	범위	평균	표준편차
화강암	33	0.08~0.43	0.21	0.10	0.75~5.06	1.72	0.77
안산암	14	0.09~0.33	0.22	0.07	1.26~3.83	1.97	0.79
화강 편마암	7	0.18~0.42	0.30	0.10	1.65~3.08	2.11	0.54
편마암	13	0.17~0.45	0.30	0.09	1.01~2.15	1.46	0.33
셰일	3	0.25~0.29	0.27	0.02	1.45~2.03	1.65	0.32

<sup>1)</sup> 파쇄도계수는  $L=CW^3$ 로 산출, L:월폭약사용량, W<sup>3</sup>:월생산량,  $C=g*e*d*1*$  f(W)에서 (d=1,l=1), 파쇄도 계수  $f(W)=A/W+B+CW$ , B값 범위는 벤치발파에서 벤치각도(65°~90°)에 따라서 6단계로 구분하였으며, A=0.3, B=0.15~0.37, C=0 (일본공업화약협회, 1976).

<sup>2)</sup> 총 77개 자료 중 1개 이하의 암석 자료를 제외한 70개 자료를 사용함.

**Table 2.** Blast coefficient by the industry

산업	Data (n)	발파계수 C (kg/m <sup>3</sup> )			파쇄도 계수 <sup>1)</sup> f(W)		
		범위	평균	표준편차	범위	평균	표준편차
석산	36	0.06~0.45	0.22	0.11	0.75~2.65	1.51	0.36
광업	2	0.03~0.23	0.13	0.14	1.03~1.15	1.09	0.08
건설	39	0.10~0.44	0.26	0.08	0.90~5.08	1.96	0.84

<sup>1)</sup> 파쇄도계수는  $L=CW^3$ 로 산출, L:월폭약사용량, W<sup>3</sup>:월생산량,  $C=g*e*d*1*$  f(W)에서 (d=1,l=1), 파쇄도 계수  $f(W)=A/W+B+CW$ , B값 범위는 벤치발파에서 벤치각도(65°~90°)에 따라서 6단계로 구분하였으며, A=0.3, B=0.15~0.37, C=0 (일본공업화약협회, 1976).

### 3. 폭약에 따른 위력계수의 설정

폭약위력계수  $e$ 값을 산출하기 위하여 국내 벤치발파 현장에서 주로 사용하고 있는 에멀전폭약과 ANFO폭약을 포함하여 국내 산업용 화약류에 대한 제조사별 대표적인 화약류 제품을 대상으로 비교를 실시하였으며, 기준폭약으로는 대표적인 에멀전폭약 제품인 New Emulite 제품에 대비하여 국내 화약류 제품에 대한 폭약의 위력계수를 산출하였다.

폭약의 위력계수를 산출한 방법은 화약류의 반응에너지(김재극, 1986)로 산출된 비에너지와 폭발압력을 통해 계산한 위력계수( $e_1$ )와 동적 작용에 의한 탄동구 포비로 비교한 위력계수( $e_2$ ), 화약류 제조사별로 제공된 데이터와 폭속실험에 의한 실험데이터를 이용한 위력계수( $e_3$ ) 및 Langefors의 단위 중량당 강도를 통해 비교한 위력계수( $e_4$ )를 각각 산출하여 기준폭약과의 비교를 실시하였다. 따라서, 국내에서 제조한 산업용 화약류 제품에 대한 위력계수를 위와 같은 4가지 방법으로 산출하여 폭약별 위력수준을 수치상으로부터 확인할 수 있도록 이를 제시하였다.

#### 3.1 화약류의 반응 에너지

##### 폭발에너지

폭발온도:  $T_1$  (K)

폭발온도는 식 (1)과 같이 표시된다(김재극, 1986).

$$T_1 = T_0 + \frac{Q}{nC_v} \quad (1)$$

$T_0$ : 폭발전의 온도 (K) = 273 K

$Q$ : 화약 1 mol의 반응 발열량 (cal)

$n$ : 화약 1 mol이 반응할 때 발생하는 가스의 mol 수

$C_v$ : gas의 평균 정용비열  $\approx 10 \text{ cal/K} \cdot \text{mol}$

원칙적으로는 온도의 함수이고 가스의 종류에 따라 차이가 난다.

화약의 힘, 비에너지:  $f$  (atm · l/kg)

비에너지의 계산은 식 (2)와 같이 표시한다(김재극, 1986).

$$1f = p_1 v_1 = nRT_1 \quad (2)$$

$p_1, v_1$  : 폭발 gas의 압력과 부피

가스비용(比容):  $v_0$  (l/kg)

화약 1 kg으로 발생하는 표준상태의 gas 부피는 식 (3)과 같다(김재극, 1986).

$$v_0 = 22.4(l/mol) \times n(mol) \times \frac{1,000(g/kg)}{\text{화약분자량}(g)} \quad (3)$$

그러므로

$$f = nRT_1 = \frac{p_0 v_0}{T_0} T_1 = \frac{v_0}{273} T_1 \quad (p_0 = 1 \text{ atm}) \quad (4)$$

식 (4)에서 계산된 값들은 생성가스량이 많거나 폭발 온도  $T_1$ 이 높으면 정적효과가 크다는 것을 의미한다(김재극, 1986).

##### 폭발압력

이론폭발압력

이론폭발압력은 식 (5)와 같이 계산한다(김재극, 1986).

$$p_1 = \frac{f}{v_1} = \rho_0 f \text{ (atm)} \quad (5)$$

$v_1$ : original volume, 1 kg 화약의 용적 (l/kg)

$\rho_0$ : charging density (kg/l = g/cc)

covolume과 실제 폭발압력

식 (5)의 계산은 고온, 고압에서의 폭발생성가스를 이상기체로 취급하여 계산한 것으로 진정한 값보다 대단히 적다.

고체인 폭약의 부피를 그대로 하고 폭발을 하여 기체로 되었을 때 기체분자가 자유로운 운동을 할 수 있는 공간은 가스분자 자체가 차지하는 실용적만큼 적어지게 되므로 폭발압력은 식 (6)과 같이 수정되어 표시된다(김재극, 1986).

$$p_1(v_1 - \alpha) = f \quad (6)$$

$\alpha$ : covolume

$v_1 - \alpha$ : 기체분자의 자유운동 공간

$$p_1 = \frac{f}{v_1 - \alpha} = \frac{\rho_0 f}{1 - \alpha \rho_0} \quad (7)$$

여기서,  $\alpha$ 는 코볼륨(covolume)이라 불리는 보정값이다. 식 (6)과 식 (7)은 Abel의 상태방정식으로 코볼륨을 정하는 인자는 여러 가지 있으나, 이것을 장약밀도의 함수로 표시한 그래프는 Fig. 1과 같다(김재극, 1986).

Table 3과 Table 4는 국내에서 생산된 대표적인 화약류 제품으로 각 제조사에서 제공한 데이터와 실험한 데이터를 이용하여 비에너지를 산출하고, 기준폭약인 New Emulite 제품을 기준으로 위력계수( $e_1$ )를 산출한 값이다. 여기서 (주)고려노벨화학의 화약류 제품은

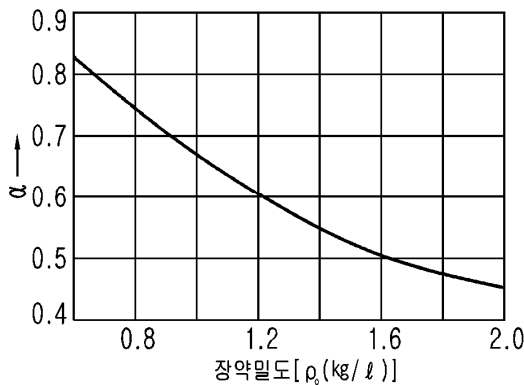


Fig. 1. Charge density and covolume.

Nitrodyn 프로그램을 이용한 출력값이며, (주)한화의 화약류 제품은 제조사에서 제공한 데이터에 대하여 폭발압력과 가스비용, 밀도 및 코볼륨(covolume)이라 불리는 보정값을 이용하여 계산한 반응에너지이다. Table 3에서 기준폭약인 New Emulite와 (주)한화 제품과의 위력계수 비교는 동일한 산출근거의 값이 아니므로 상대적인 위력의 비교값은 아니며 수치상 대비를 위한 것이다.

### 3.2 탄동구포비를 이용한 위력계수 설정

탄동구포시험은 탄동진자와 구포시험의 장점만을 따서 시험하는 방법으로서, 소형구포를 진자로 하고 여기에 10g정도의 시료폭약과 약 16kg의 원주탄환을 넣는다. 폭약에는 뇌관을 끼우고, 도화선은 탄환의 중심축의 구멍을 통해서 끼운다. 폭약이 폭발하면 폭발 에너지의 일부는 탄환에 미치고, 다른 부분은 구포진자에 주어진다. 따라서 구포진자의 전후 움직임각도를 측정하여 기준폭약과 비교해서 시험폭약의 에너지를 구한다. KS규격에서는 탄동구포시험의 위력비교값을 다음과 같이 계산하여 RWS(Relative Weight Strength)로 채택하고 있다. 즉, 블라스팅 젤라틴(NG=92%, NC=8%)을 기준폭약으로 하고, 시료폭약의 위력을 식 (8)과 같이 계산한 값을 RWS로 나타낸다(김재극, 1986).

$$RWS = \frac{1 - \cos\theta}{1 - \cos\theta_0} \times 100 \quad (8)$$

$\theta$ : 시료폭약이 움직여준 각도

$\theta_0$ : 블라스팅 젤라틴이 움직여준 각도

Table 3. Powder coefficient produced from reaction energy for the product of Koryo Nobel Explosives

폭약종류	비중 d (kg/l)	가스비용 $v_0$ (l/kg)	폭발온도 <sup>1)</sup> $T_1$ (K)	폭발압력 $P_1$ (atm)	비에너지 <sup>2)</sup> f (atm · l/kg)	위력계수 <sup>3)</sup> $e_1$
NE(기준폭약)	1.18	888	2,405	29,479	7,823	1.00
NE150	1.20	830	2,827	32,987	8,595	0.91
NE200	1.22	812	3,006	35,165	8,941	0.87
NSE100	1.22	770	3,067	34,639	8,651	0.90
NSE200	1.24	675	3,444	35,992	8,515	0.90
KINEX-I	1.14	900	2,294	27,759	7,563	1.04
ANFO	0.85	975	2,488	7,140	8,840	1.00

<sup>1)</sup> 폭발온도, 폭발압력의 측정값(ANFO제외)은 (주)고려노벨화학의 Nitrodyn 프로그램 사용

<sup>2)</sup> 비에너지 계산은 식 4, 7을 이용

<sup>3)</sup> 위력계수 계산은 식  $\frac{1}{e} = 0.85 \frac{f}{f_0} + 0.15 \frac{P}{P_0}$  을 이용 (일본공업화학협회, 1976)

**Table 4.** Powder coefficient produced from reaction energy for the product of Hanwha

폭약종류	비중 <sup>1)</sup> d (kg/l)	폭발압력 <sup>1)</sup> P (atm)	코볼륨 <sup>2)</sup> $\alpha$	비에너지 f (atm · l/kg)	위력계수 <sup>3)</sup> $e_1$	비 고
NE(기준폭약) <sup>4)</sup>	1.175	29,479	0.53	7,823	1.00	
NMP I	1.197	10,669	0.53	8,910	0.98	
NMP II	1.216	11,449	0.52	9,420	0.92	
MM I	1.320	13,444	0.50	10,190	0.85	
FINEX I	1.029	6,962	0.57	6,760	1.30	
ANFO	0.808	7,140	0.64	8,840	1.00	

<sup>1)</sup> 비중, 폭발압력은 국내산 주요폭약의 위력계수 산정에 관한 연구의 데이터(이천식, 2001)

<sup>2)</sup> 코볼륨은 Abel의 상태방정식  $\alpha = \frac{1.5}{1.33 + 1.26\rho_c}$  으로 계산

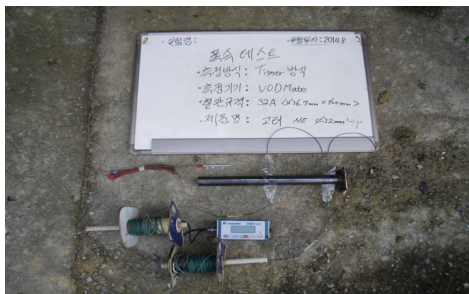
<sup>3)</sup> 위력계수 계산은 식  $\frac{1}{e} = 0.85 \frac{f}{f_0} + 0.15 \frac{P}{P_0}$  을 이용(일본공업화학협회, 1976)

<sup>4)</sup> 기준폭약인 NE와의 위력계수 비교는 동일한 산출근거의 값이 아니므로 상대적인 비교값은 아님

**Table 5.** Powder coefficient by the ballistic mortar test

폭약 종류	탄동구포값 <sup>1)</sup>	위력계수 $e_2$	비 고
기준폭약	TNT	100	1.00
(주)한화	New Mite Plus I	120	1.20
	New Mite Plus II	135	1.35
	MegaMite I	170	1.70
	FINEX I	90	0.90
	ANFO	145	1.45

<sup>1)</sup> 탄동구포값은 화약류 제조사의 데이터를 이용



(a) New Emulite



(b) New Emulite 150



(c) New Super Emulsion

**Fig. 2.** VOD measurements of industrial explosives in the iron pipe.

**Table 6.** Comparison to the VOD test for product of Koryo Nobel Explosives

폭약 종류	폭발속도 평균 <sup>1)</sup> (m/s)	e <sub>3</sub>	비 고
New Emulite <sup>2)</sup>	5,900	1.00	기준폭약
(주)고려노벨화약	New Emulite	5,288	0.90
	New Emulite 150	5,158	0.87
	New Super 100	5,200	0.88

<sup>1)</sup> (주)고려노벨화약 폭속실험은 철관직경 36.7mm에서 Timer측정방식으로 3회 측정한 평균값

<sup>2)</sup> 기준폭약 폭발속도는 화약류 제조사의 데이터를 이용

**Table 7.** Comparison to the VOD test for product of Hanwha

폭약 종류	폭발속도 평균 <sup>1)</sup> (m/s)	e <sub>3</sub>	비 고
New Emulite <sup>2)</sup>	5,900	1.00	기준폭약
(주)한화	New Mite Plus I	5,705	0.97
	New Mite Plus II	5,718	0.97
	MegaMite I	6,087	1.03
	FINEX I	4,211	0.71
	ANFO	3,164	0.54

<sup>1)</sup> (주)한화의 폭속실험은 강관을 이용한 전기식 Ion gap법을 사용한 평균값

<sup>2)</sup> 기준폭약 폭발속도는 화약류 제조사의 데이터를 이용

**Table 8.** Powder coefficient by the VOD test for product of Koryo Nobel Explosives

폭약종류	폭발속도(V) <sup>1)</sup> (m/s)	위력계수 e <sub>3</sub>	비 고
New Emulite	5,900	1.00	기준폭약
New Emulite 150	5,900	1.00	
New Emulite 200	5,900	1.00	
New SuperEmulsion 100	6,000	1.02	
New SuperEmulsion 200	6,000	1.02	
KINEX I	4,200	0.71	
ANFO	3,300	0.56	

<sup>1)</sup> 폭발속도는 화약류 제조사의 데이터를 이용

**Table 9.** Powder coefficient by the VOD test for product of Hanwha

폭약종류	폭발속도(V) <sup>1)</sup> (m/s)	위력계수 e <sub>3</sub>	비 고
New Emulite	5,900	1.00	기준폭약
New Mite Plus I	5,700	0.97	
New Mite Plus II	5,700	0.97	
MegaMite I	6,100	1.03	
FINEX I	4,400	0.75	
ANFO	3,300	0.56	

<sup>1)</sup> 폭발속도는 화약류 제조사의 데이터를 이용

이때 시료는 각각 10g을 사용하며, 기준폭약의 위력을 100으로 잡고 위력을 비교한다. Table 5는 탄동구포

비의 측정값을 이용한 기준폭약에 대한 위력계수(e<sub>3</sub>)를 정리한 것이다.

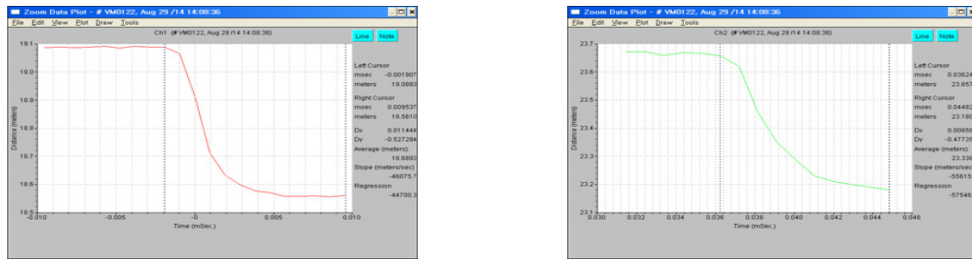
### 3.3 폭발속도를 이용한 위력계수 설정

화약류의 동적위력에 대한 비교를 위하여 국내에서 생산되는 화약류 제품들 중에서 대표적인 폭약제품을 대상으로 폭발속도를 측정하였다.

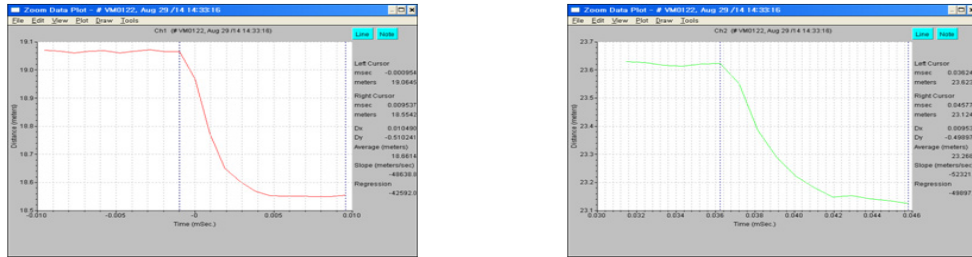
먼저 (주)고려노벨화약의 화약류 제품은 3가지를 선정하여 각각 3회의 폭발속도를 직경 36.7mm의 철관 속에서 타이머 방식으로 측정하였으며, (주)한화의 화약

류 제품은 5가지 폭약제품의 측정값을 기록하였다.

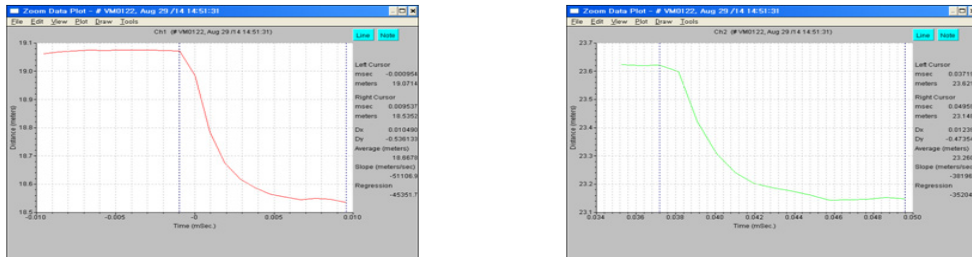
그러나 화약류 제조사에 따른 상이한 측정법과 측정 기준(철관직경, 장전밀도 등) 및 측정시점으로 인하여 상대적인 위력계수를 비교하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다. Fig. 2는 지름 36.7mm의 철관 속에서 폭발속도를 측정하기 위하여 준비한 사진으로 대상폭약은 New Emulite, New Emulite 150 및 New Super Emulsion



(a) New Emulite 1회 입력(좌), 1회 출력(우)

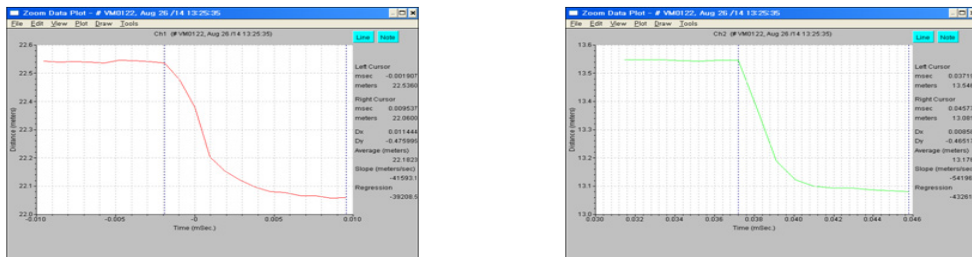


(b) New Emulite 2회 입력(좌), 2회 출력(우)

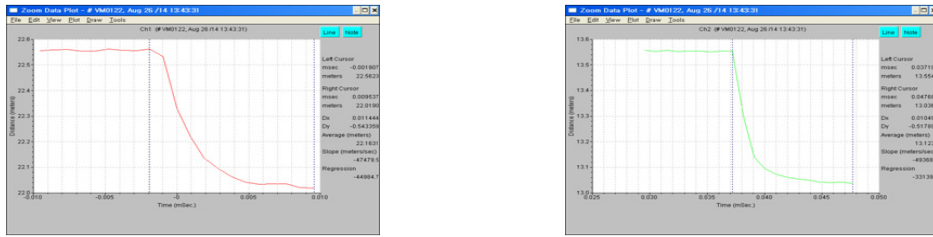


(c) New Emulite 3회 입력(좌), 3회 출력(우)

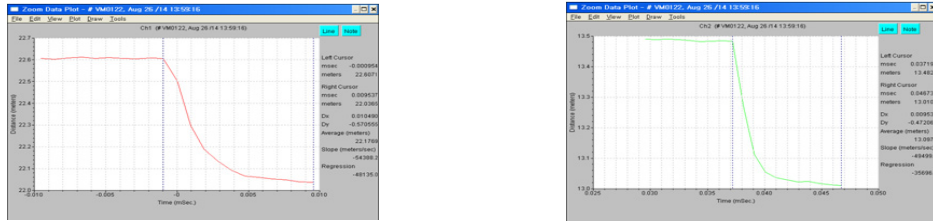
Fig. 3. Result of output to the VOD test (New Emulite).



(a) New Emulite 150 1회 입력(좌), 1회 출력(우)

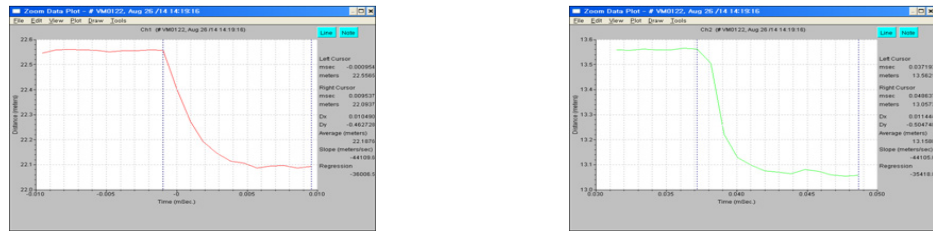


(b) New Emulite 150 2회 입력(좌), 2회 출력(우)

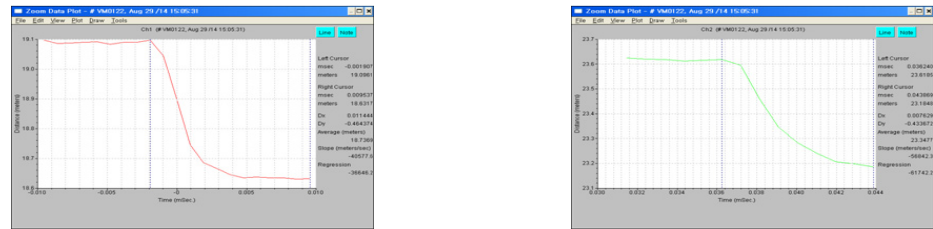


(c) New Emulite 150 3회 입력(좌), 3회 출력(우)

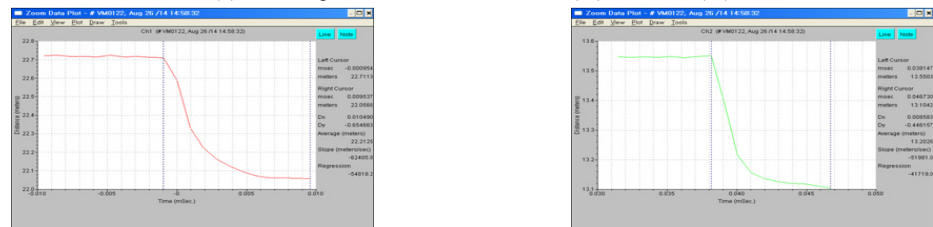
Fig. 4. Result of output to the VOD test (New Emulite 150).



(a) New Super Emulsion 100 1회 입력(좌), 1회 출력(우)



(b) New Super Emulsion 100 2회 입력(좌), 2회 출력(우)



(c) New Super Emulsion 100 3회 입력(좌), 3회 출력(우)

Fig. 5. Result of output to the VOD test (New Super Emulsion 100).

100제품에 대하여 각각 (a), (b), (c)로 나타내었다. Fig. 3, Fig. 4 및 Fig. 5에서 (a), (b), (c)는 동일한 제품들의

3회에 거쳐 실험한 입력과 출력데이터이다. Table 6과 Table 7은 기준폭약인 New Emulite 제품을 기준으로 측



**Table 10.** Powder coefficient by strength per weight of unit for product of Koryo Nobel Explosives

폭약종류	폭발열 (kcal/kg)	가스량 (l/kg)	S	위력계수 (e <sub>4ANFO</sub> )	위력계수 (e <sub>4NE</sub> )
New Emulite	950	888	0.847	0.87	1
New Emulite150	1,100	830	0.942	0.97	1.11
New Emulite 200	1,165	812	0.985	1.02	1.16
NewSuperEmulsion100	1,310	770	1.079	1.11	1.27
NewSuperEmulsion200	1,398	675	1.123	1.16	1.33
New Emulite 1000	690	976	0.680	0.70	0.80
New Emulite 2000	680	1,020	0.682	0.70	0.81
KINEX-I	870	900	0.792	0.82	0.94
KINEX-II	980	840	0.859	0.89	1.01
KINEX-III	735	870	0.691	0.71	0.82
Super Primer	1,120	840	0.959	0.99	1.13
Prillit ANFO	1,100	975	0.970	1	1.15
KINECKER	695	720	0.633	0.65	0.75

**Table 11.** Powder coefficient by strength per weight of unit for product of Hanwha

폭약종류	폭발열 (kcal/kg)	가스량 (l/kg)	S	위력계수 (e <sub>4ANFO</sub> )	위력계수 (e <sub>4NE</sub> )
기준폭약 (NE)	950	888	0.847	0.87	1
New Mite I	880	950	0.910	0.94	1.07
New Mite II	1,100	888	0.953	0.98	1.13
MegaMEX	1,300	865	1.091	1.12	1.29
MegaMite I	1,200	880	1.022	1.05	1.21
New VEX 28mm	780	896	0.729	0.75	0.86
New VEW 50mm	880	950	0.809	0.83	0.96
HiMEX 700	990	996	0.897	0.92	1.06
HiMEX 1000	850	988	0.796	0.82	0.94
ANFO Plus	1,100	970	0.969	1	1.14
New FINEX	800	850	0.734	0.76	0.90

정된 폭약제품에 대한 위력계수(e<sub>3</sub>)를 나타낸 결과이다.

Table 8과 Table 9는 국내 화약류 제조회사의 데이터를 이용한 기준폭약과의 상호 비교한 위력계수(e<sub>3</sub>)의 결과이다.

여기서,  $e$ : energy factor =  $A/500 = Q_v/1176$

$v$ : volume factor =  $V/850$

$V$ : gas volume at 0 °C and 1 atm.

$A$ : work factor =  $0.425 Q_v$

$Q_v$ : explosion heat (kcal/kg)

### 3.4 Langefors의 단위중량당 화약류 강도 약산법

Langefors에 의한 단위중량당의 강도는 다음식으로 나타낼 수 있으며, ANFO대비 상대강도는 다음 식 (9)와 같다(김재극, 1986).

$$\text{단위중량당 강도}(S) = \frac{5}{6}e + \frac{1}{6}v \quad (9)$$

Table 10과 Table 11은 국내의 화약류에 대한 단위중량당 강도와 기준폭약을 ANFO(e<sub>4ANFO</sub>)와 New Emulite (e<sub>4NE</sub>) 제품으로 대비했을 때 위력계수의 값이다.

### 3.4 폭약제품별 특성값

국내에서 생산되는 산업용 화약류에 대하여 전반적

Table 12. Reaction energy by the product of explosives

폭약 종류		비중 d (kg/l)	가스비용 V <sub>0</sub> (l/kg)	폭발열 Q <sub>v</sub> (kcal/kg)	폭발온도 T <sub>1</sub> (K)	폭발압력 P <sub>1</sub> (atm)	비 고
(주)고려 노벨 화약	NE	1.18	888	950	2,405	29,479	
	NE150	1.20	830	1,100	2,827	32,987	
	NE200	1.22	812	1,165	3,006	35,165	
	NSE100	1.22	770	1,310	3,067	34,639	
	NSE200	1.24	675	1,398	3,444	35,992	
	KINEX I	1.15	900	870	2,294	27,759	
	ANFO	0.85	975	1,100	2,488	7,140	
(주)한화	NMP I	1.20	950	880	2,560	10,670	
	NMP II	1.22	880	1,100	2,922	11,450	
	MMite I	1.32	880	1,200	3,161	13,450	
	FINEX P	1.03	850	800	2,171	6,960	
	ANFO P	0.81	970	1,100	2,488	7,140	

Table 13. Explosive characteristics by the product of explosives

폭약 종류		비에너지 f (atm l/kg)	탄동 구포 (%)	폭발속도 <sup>1)</sup> VOD (m/s)		단위 중량당 강도 S	비 고
				제조사 VOD <sub>t</sub>	측정값 VOD <sub>r</sub>		
기준 폭약	NE	7,823	-	5,900		-	
	TNT	-	100	-		-	
	ANFO	-	-	-		1	
(주)고려 노벨 화약	NE	7,823	-	5,900	5,288	0.847	
	NE150	8,595	-	5,900	5,158	0.942	
	NE200	8,941	-	5,900	-	0.985	
	NSE100	8,651	-	6,000	5,200	1.079	
	NSE200	8,515	-	6,000	-	1.123	
	KINEX I	7,563	-	4,200	-	0.792	
	ANFO	8,840	-	3,300	-	0.970	
(주)한화	NMP I	8,910	120	5,700	5,705	0.910	
	NMP II	9,420	135	5,700	5,718	0.953	
	MM I	10,190	170	6,100	6,087	1.022	
	FINEX I	6,760	90	4,400	4,211	0.734	
	ANFO	8,840	145	3,300	3,164	0.969	

<sup>1)</sup> 폭발속도의 VOD<sub>t</sub>는 화약류 제조사의 데이터이며, VOD<sub>r</sub>은 실험데이터

으로 반응에너지와 특성값 산출, 탄동구포실험 및 폭발속도실험 등을 실시하고자 하였으나, 화약류 관리의 특수성과 업무협조의 어려움으로 제한된 실험과 필요한 관련 데이터의 누락 요인이 있었다. 그러나 이와 같은 데이터를 면밀히 분석하여 국내 화약류 제조사별 제품에 대한 반응에너지와 특성값의 계산, 탄동구포비,

폭발속도 및 Langefors의 단위중량당 강도 등의 측정값과 계산값을 산출하여 Table 12와 Table 13에 나타내었다.

#### 4. 폭약제품별 위력계수 설정

국내 화약류 제조사별 화약류 제품에 대한 반응에너지

**Table 14.** Comparison to powder coefficient by the product of explosives

폭약 종류	비에너지 (f) 대비 $e_1$	탄동 구포 (%) 대비 $e_2$	폭발속도 (VOD) 대비		단위중량당 강도(S) 대비 $e_4$	비 고
			제조사 $e_{3r}^{1)}$	측정값 $e_{3r}^{1)}$		
기준 폭약	NE	1	-	1		-
	TNT	-	1	-		-
	ANFO	-	-	-		1
(주)고려노벨화약	NE	1	-	1	0.90	0.87
	NE150	0.91	-	1	0.87	0.97
	NE200	0.87	-	1	-	1.02
	NSE100	0.90	-	1.02	0.88	1.11
	NSE200	0.90	-	1.02	-	1.16
	KINEX I	1.04	-	0.71	-	0.82
	ANFO	1.00	-	0.56	-	1
(주)한화	NMP I	0.98	1.20	0.97	0.97	0.94
	NMP II	0.92	1.35	0.97	0.97	0.98
	MM I	0.85	1.70	1.03	1.03	1.05
	FINEX I	1.30	0.90	0.75	0.71	0.76
	ANFO	1.00	1.45	0.56	0.54	1

<sup>1)</sup> 폭발속도의  $e_{3r}$ 는 화약류 제조사의 데이터에 의한 위력계수,  $e_{3r}$ 은 실험데이터의 위력계수

지와 탄동구포비, 폭발속도 및 Langefors의 단위중량당 강도 등의 특성값을 이용한 폭약위력계수  $e$ 값을 산출하였고, 기준폭약인 New Emulite, TNT 및 ANFO 등과 비교한 위력계수  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  및  $e_4$ 는 Table 14와 같다.

### 5. 결론

본 연구에서는 국내 77개소의 벤치발파 현장을 조사하여 암석의 종류 및 산업별로 발파계수 C값을 설정하였고, 대표적인 산업용 화약류에 대한 실험데이터와 화약류 제조사의 데이터를 이용하여 폭약위력계수  $e$ 값을 설정하였다.

그 결과로 화강암 등 대표 암석 5종에 대한 발파계수 C값의 평균은 0.21~0.30이었고 산업별로 석산, 광업 및 건설현장 등 3개 업종의 발파계수 C값의 평균은 각각 0.22, 0.13 및 0.26이었다. 그리고 국내 산업용 화약류에 대한 폭약위력계수  $e$ 값을 산출하기 위하여 대표적인 화약류인 에멀전폭약과 ANFO를 포함하여 현재 생산되고 있는 제품들에 대하여 실험데이터와 제조사의 데이터를 이용하여 화약류의 반응 에너지, 탄동구포비, 폭발속도 및 Langefors 단위중량당 강도 등의 4가지에 대한 폭약위력계수  $e$ 값을 산출하였다. 이 결과를 기준

폭약인 New Emulite 제품에 대하여 폭약위력계수  $e$ 값을 비교한 결과 (주)고려노벨화약의 폭약제품별 반응 에너지에 대한 위력계수의 범위는 0.87~1.04이고, (주)한화의 폭약제품은 0.85~1.30으로 나타났다. 그리고 대표적인 폭약종류인 일반에멀전의 경우는 1, 고성능에멀전은 0.9 및 ANFO는 1로 나타났다. 향후 국내 벤치발파의 설계에서 암반의 강도에 따른 화약류의 선정시 상기의 발파계수 C값과 폭약위력계수  $e$ 값을 적용하면 보다 생산성이 향상된 효율적인 발파작업을 실시할 수 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 김재극, 1986, 산업화약과 발파공학, 서울대학교 출판부, pp. 16-22.
2. 이천식, 김형섭, 2001, 국내산 주요폭약의 위력계수 산정에 대한 연구, 대한화약발파공학회 화약발파 Vol. 19, No. 1, pp. 100.
3. 일본공업화약협회, 1976, 발파핸드북, 산해당, pp. 23-27.
4. (주)고려노벨화약, 2014, 화약류 제품 설명서, pp. 6-23.
5. (주)한화, 2014, 산업용화약 제품설명서, pp. 7-23.
6. Stig O Olofsson, 1990, Applied explosives technology for construction and ining, Nora Boktryckeri AB, pp. 62-65.



**김희도**

(주)고려노벨화약  
기술영업팀

Tel: 02-756-2863  
E-mail: nonelgim@hanmail.net



**김정규**

전남대학교 대학원  
에너지자원공학과 박사수료

Tel: 062-530-0824  
E-mail: evangelong@hanmail.net



**고영훈**

전남대학교 대학원  
에너지자원공학과 박사수료

Tel: 062-530-0824  
E-mail: dddd8401@nate.com



**노유승**

전남대학교 대학원  
에너지자원공학과 석사과정

Tel: 062-530-0824  
E-mail: nomoosong@hanmail.net



**신명진**

전남대학교 대학원  
에너지자원공학과 석사과정

Tel: 062-530-0824  
E-mail: mjshinetm@naver.com



**양명식**

전남대학교  
에너지자원공학과 교수

Tel: 062-530-1724  
E-mail: hsyang@chonnam.ac.kr