

# 터널발파에 있어서의 폭약위력 개선 및 경제성

이 천 식<sup>1)</sup>, 김 형 섭<sup>2)</sup>

## Economic Aspects of Improving Explosive Power in Tunnel Blasting

Chun-Sik Lee and Hyung-Seob Kim

### 1. 서 론

국내 발파 여건과 소비자의 요구에 가장 부합하는 효율적인 제품이 되도록 개발한 신제품을 출시 하면서 이 신제품에 대한 제반 성능 및 위력, 사용상의 문제점, 현장 적용성 등을 기존제품과 비교하여 실 발파현장에서 시험발파를 통해 적용해봄으로써 개선된 제품의 위력점검, 효율증대에 의한 경제성을 분석해보고 실수요자들의 사용상의 문제점 등을 사전점검해 보고자하는 것이 그 목적이다.

상기 목적을 위하여 실시된 시험대상 폭약류는

1) MegaMITE I-32mm(지포장) 이며, 시험대상 현장은 1)김해 퇴래-농소간 우회도로공사(2차선 도로터널 전단면발파), 2) 화순 동면-용포간 도로확포장공사(2차선 도로터널 성부반단면) 등이다.

### 2. 본 론

#### 2.1 시험대상 화약류

##### 2.1.1. 제품규격

(1) 기존제품

제 품 명	포장형태	약경 (mm)	약장 (mm)	날본중량 (g/EA)	상자당 포장수량 (EA/Box)	상자당 순중량 (kg/Box)
HiMITE	지포장	25	218	125	200	25
		28	271	200	125	25
		32	400	375	60	22.5
		36	400	500	50	25
		50	400	1,000	25	25
NewMITE 5500	지포장	25	248	125	200	25
		32	296	250	100	25
		50	400	833	30	25
NewMITE 5500	필립포장	32	530	500	50	25
		50	540	1,250	20	25
		65	630	2,500	10	25
		75	485	2,500	10	25

1)(주)한화 화약사업부 부장 2)(주)한화 화약사업부 대리

원고접수일 : 2000. 6.15

심사완료일 : 2000. 6.17

(2) 신제품

제 품 명	포장형태	약경 (mm)	약장 (mm)	날본중량 (g/EA)	상자당 포장수량 (EA/Box)	상자당 순중량 (kg/Box)
MegaMITE	지포장	25	220	125	160	20
		28	180	125	160	20
		32	400	375	60	22.5
		36	400	500	40	20
		50	400	1,000	20	20
NewMITE Plus I, II	지포장	25	250	125	160	20
		32	295	250	80	20
		50	380	800	25	20
NewMITE Plus I, II	필립포장	32	530	500	40	20
		50	430	1,000	20	20
		65	630	2,500	8	20
		75	485	2,500	8	20

2.1.2. 제품성능

(1) 기존제품

제 품 명	평균 폭발속도 (m/sec)	평균 탄동구포 (%)	가비중 (g/cc)	폭발열 (Kcal/kg)	가스량 (ℓ/kg)	낙추감도 (cm)	내한성 (℃)	내수성
HiMITE6000	6,700	175	1.4~1.6	1,230	880	35~45	-20	우수
HiMITE5500	5,600	155	1.3~1.5	1,135	906	50	-20	우수
NewMITE II 5500	5,500	115	1.1~1.3	836	821	100	-20	최우수

(2) 신제품

제 품 명	평균 폭발속도 (m/sec)	평균 탄동구포 (%)	가비중 (g/cc)	폭발열 (Kcal/kg)	가스량 (ℓ/kg)	낙추감도 (cm)	내한성 (℃)	내수성
MegaMITE II	6,700	175	1.4~1.6	1,230	890	50	-20	우수
MegaMITE I	6,100	170	1.3~1.5	1,152	880	50	-20	우수
NewMITE Plus II	5,700	135	1.2~1.3	1,100	736	100	-20	최우수
NewMITE Plus I	5,700	120	1.1~1.2	880	826	100	-20	최우수

- 註 1. 제품의 성능은 제조 직후 시험값이며 오차범위는 ±1~2%임.  
 2. 폭발속도는 32mm 강관초요폭약은 50mm 강관기  
 준이며 구포값은 TNT를 기준으로 상대 비교한  
 값임.

### 2.1.3. 폭약의 위력

#### (1) 정적위력

탄동 진자, 탄동 구포, 연주시험으로 대표되며 화약의 힘(F) 즉 유효일 에너지로 계산을 할 수 있다.

##### 가. 탄동진자시험

폭약의 위력 특히 탄광폭약의 일 효과를 비교 하는데 사용.

표준폭약은 60% GD를 기준으로 진자각을 측정하는 것이다.

##### 나. 탄동구포시험

10gr 폭약을 넣고 17kg의 원주탄을 삽입하여 폭발시 비교하는 시험이다.

##### 다. 연주시험

일정한 연주의 축에 10gr 폭약을 8호뇌관으로 기폭시킨 후 용적 V를 측정

블라스팅 젤라틴 550-660cc,  
젤라틴 다이아마이트 300-330cc  
초안폭약 280-320cc,  
탄광용분상다이아마이트 250-300cc

#### (2) 동적위력

가. 폭속으로 나타내며 도트리쉬법, 메데강법,

오실로그래프법, 흐름 카메라법등이 있다.

※ 폭속이 같으며 f가 큰 쪽, f가 동일하면 폭속이 큰 쪽이 일반적으로 위력이 크다. 다만, 비중이 커지면 장전 비중이 커지므로 발파효과도 크게 된다. 폭속은 약경, 약량, 밀도, 흡습도, 뇌관의 강도 등에 좌우된다.

##### 나. 맹도

폭약의 폭발 단위의 붕괴하는 속도 즉 분해하여 최대 압력을 나타낼 때까지의 시간 균배를 말한다.

### 2.1.4 폭약류의 특성

#### (1) 폭 속

화약이 분해되며 순간적으로 2,000~5,000°K의 온도와 10~200Kbar의 압력을 발생시키며, 일반적으로 이 에너지는 보통 4MJ/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 폭속이라고 하는데, 압력-시간 곡선에 단위시간당 발생하는 압력의 기울기가 큰 것이 고 폭속의 화약이며, 적은 것이 저 폭속이다.

따라서 폭속은 시간에 따른 압력의 변화를 의미하므로 우리는 이러한 폭속을 동적인 효과라 한다.

#### (2) 화 약 력

화약력이라 함은 에너지를 의미하는데, 열역학적으로  $PV=nRT$ 로부터 계산된 수치로 생각할 수 있다.

화약이 폭발했을 때, 고압이 발생하고 다량의 가스가 발생되는데 이 PV의 일 효과를 화약력이라고 하며, 그 단위는  $l\text{-kg/cm}^2$ 이다.

시간에 따른 함수가 아니므로 이 화약력을 정적인 일 및 효과라고 한다. 보통 화약의 시험시, 탄동구포시험을 하는데 이것은 정적인 위력의 측정시험이 되며 절대적인 수치로 표시되지 않으며 기준폭약을 TNT 또는 Blasting gelatine을 기준으로하여 상대위력으로 나타낸다.

#### (3) 탄동구포

$$RWS = \frac{1 - \cos \theta_2}{1 - \cos \theta_1} \times 100(\%)$$

여기에서  $\theta_2$ 은 기준 화약의 각도

$\theta_1$ 은 시험 화약의 각도

RWS(Relative Weight Strength)

#### (4)폭발열(kcal/kg)

각 성분 물질 1kg의 연소열에 해당 성분 물질의 조성을 곱해 얻은 값들을 모두 더한 후, 이 값에 해당하는 폭약의 1kg의 총 Gas량/40을 더한다.  
총 Gas량/40은 후Gas의 팽창에 따른 일에 대한 열량 값으로

$$\text{총 Gas량}(\ell/\text{kg}) \times 1(\text{atm}) \times 24.3(\text{cal}/\ell\text{-atm}) \times 0.001(\text{kcal}/\text{kg}) = \text{총 Gas량}/40(\text{kcal}/\text{kg})$$

(5) 가스량(ℓ/kg)

폭약은 폭발에 의해 완전 연소를 하며 생성물은 가장 안정된 상태의 화합물로서, 예를들면 폭약 성분 중 C, H, N은 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>로 NaNO<sub>3</sub>와 같은 알카리 금속염은 Na<sub>2</sub>O로, CaCO<sub>3</sub>와 같은 알카리 토류 금속염은 CaO와 같은 산화물로 각각 바뀐다는 가정하에서 폭약의 1kg에 해당하는 각 성분 물질들이 폭발 후 방출하는 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>의 양을 계산하여 해당 성분물질의 조성을 곱하여 더한다.

(6) 비중

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

(7) 후가스

후가스란 발파 후 발생하는 유해가스의 정도를 말하는데, 이러한 유해가스에는 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO등이 있으며 이들 가스의 생성량이 많을 때, 후가스가 나빠 탄광이나 터널에서는 매우 불리하다고 할 수 있다.

보통 이 시험은 10m<sup>3</sup>의 폭발실내에서 폭약 100gr을 기폭시킨 후 가스 시료를 채취하여 분석한다.

후가스 측정 DATA는 주변 환경에 따라 차이가 심하며, 따라서 측정할 때와 장소에 따라 변한다.

(8) 낙추감도

화약의 취급 안전성의 척도를 나타내는 것으로 화약의 추 무게는 5kg 이다.

(9) 내수성

물에서도 기폭될 수 있는 정도를 말하며, 일반적으로 함수계열이 내수도가 좋다.

내수성은 EMX > KOVEX > GD > 초안 > 초유폭약 등의 순서이다.

시험DATA에 의하면 EMX가 약72시간, KOVEX가 약 32시간, GD가 약 19시간 정도의 내수성을 갖는다.

(10) 내한성

어느 정도의 저온에서 까지 사용할 수 있는나 하는 척도이다.

일반적으로 O/W 시스템의 KOVEX는 물이 노출되어 있기 때문에 내한성이 취약한 편이다.

(11) 계산방법

가. 화약력(ℓ · kg/cm<sup>2</sup>) = 총Gas 발생량(ℓ/kg) × 폭발온도(°C) × 0.00379

나. 폭발온도(°C) =

$$\frac{\text{폭발열량}(\text{kcal}/\text{kg}) + \text{비열 } B(\text{kcal}/\text{m}^3 \cdot \text{kg})}{\text{비열 } A(\text{kcal}/\text{m}^3 \cdot \text{kg})}$$

다. 폭발열량(kcal/kg) = 연소열량(kcal/kg) + (총 가스발생량(ℓ/kg)/40)

라. 연소열량(kcal/kg) = 각 조성분 1kg의 연소열 합.

마. 총GAS 발생량(ℓ/kg) = 폭약 1KG에 해당하는 각 성분 물질들이 폭발 후 방출하는 O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O의 양을 계산한 값.

바. 비열(A) =

$$\frac{O_2 + N_2 + CO_2 + H_2O}{1000} \quad (\text{kcal/m}^3 \cdot \text{kg})$$

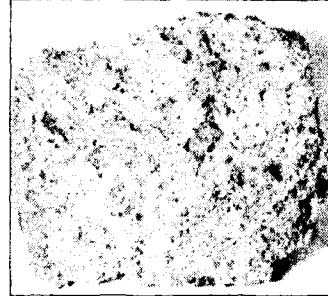
(가스 발생량 × 각 상수(A))

사. 비열(B) =

$$\frac{O_2 + N_2 + CO_2 + H_2O}{1000} \quad (\text{kcal/m}^3 \cdot \text{kg})$$

(가스 발생량 × 각 상수(B))

마. 암질 : 안산암(Andesite)



## 2.2 시험대상현장

### 2.2.1 시험현장선정

본 신제품 시험을 위한 현장 선정은 대상 지질 조건 및 암반 여건 등을 고려하여 기존에 하이마이트와 뉴마이트를 각각 사용하고 있는 터널현장, 노천현장 등으로 여러 곳을 선정하였다.

### 2.2.2 선정현장

#### (1) MegaMITE I 32mm 시험발파현장

경남 김해 퇴래-농소간 우회도로공사 김해 터널 현장

가. 현장명 : 경남 김해퇴래-농소간 우회도로공사 김해터널 현장

나. 업체명 : 원청-(주)대우,협력-대미건설(주)

다. 터널제위 : 터널종류 : 편도 2차선 도로 터널

터널크기 : 7m×13m(전단면 굴착)

터널길이 : 1,500m(복선)

단면적 : 83.786㎡

라.지질현황 : 본 현장의 지질은 화성암류와 변성암류가 대부분을 차지하고 있으며 풍화가 많이 되어 있으며 수직절리 및 균열이 많이 발달되어 있음.

화학조성	규장질과 고철질의 중간
주구성 광물	사상석 (안데신 내지 라브라도라이트), 흑운모.
부구성 광물	각섬석, 휘석, 자철석, 일메나이트, 석영, 유리질.
특성	흑갈색 내지 녹색을 띠며, 반상조직을 보이기도 한다. 암체는 괴상을 보이기도 하지만, 때로 유상조직을 보이기도하며, 종종 포회암을 갖고 있다.
산출	관 활동이 활발한 지역에서 현무암에 수반되어 용암으로 또는 도출상으로 많이 산출된다.
사진	갈색의 조면암.

#### (2) NewMITE Plus II 시험발파 현장

가. 현장명 : 전남 화순 동민-용포간 확포장공사 구암터널 현장

나. 업체명 : 원청-동아건설산업(주) 협력-우원개발(주)

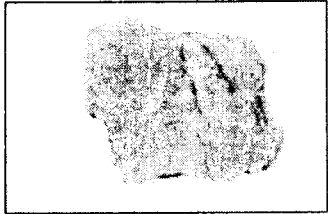
다. 터널제위 : 터널종류 : 편도 2차선 도로터널  
터널크기 : 5.5m×12.0m(상부반단면)

터널길이 : 670m(복선)

단면적 : 53㎡

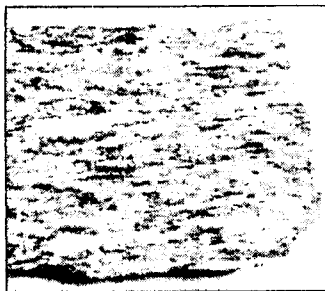
라. 지질현황 : 본 현장의 지질은 쇄설성 퇴적암류가 대부분을 차지하고 있으며 탄층이 발달되어 탄질사암과 탄질세일이 주를 이루고 있음.

마. 암 질 : 사암(sandstone), 셰일(shale)



셰 일(shale)

조 성	이암과 같음.
특 징	대개 이암과 같으나, 엽층리가 잘 발달하여 잘 쪼개지는 것을 셰일이라 함.
형성환경	이암과 비슷함
사 진	엽층리를 잘 보이는 셰일



사암(sandstone)

조 성	사암의 입자는 암석의 파편일 수도 있고, 하나의 광물로 이루어져 있을 수도 있다. 이들 광물은 주로 석영이며, 이 밖에 장석, 운모 방해석 등도 자주 관찰된다. 그 양이 많지는 않지만, 사암을 구성하고 있는 광물 입자로 중광물(저어콘, 모나자이트, 자철석 등)이 대부분의 경우 관찰된다. 이들 사암 입자를 서로 교결시키는 교결물로는 규질, 방해석질 및 점토질 물질 등이 있으며, 황철석, 석고 및 glauconite 등은 퇴적후 만들어지기도 한다.
특 징	사암 구성 입자의 크기는 1/16 내지 2 mm 정도이다. 사암의 색은 흰색에서부터, 녹색, 노란색, 갈색 등 다양하게 나타나며, 평행한 층리를 비교적 잘 나타내나, 유수의 흐름을 지시하는 사층리도 흔히 관찰된다.
형 성 환경	강이나 해류와 같은 유수에 의해 주로 퇴적되며, 천이대에서 역암의 위에 그리고 이암이나 탄산염암의 아래 점이적인 경계를 가지며 산출된다.
사 진	사암의 일종인 정사암 (arenite)

### 2.3 시험방법

- (1) 기존 현장에서 실시하고 있는 패턴대로 기존화약을 사용하여 발파를 실시하고 굴진장, 파쇄도, 발파압량, 비장약량, 여굴정도, 후가스정도 등을 파악한다.
- (2) 기존 현장에서 실시하고 있는 패턴(천공장, 저항선, 공간격, 장약량) 대로 폭약 신제품을 사용하여 시험발파를 실시하고 위의 결과 Data

를 파악한다.

- (3) 위 (2)에서 파악된 자료를 근거로 하여 저항선, 공간격, 천공수, 장약량 등을 조정하여 시험발파를 실시한다.
- (4) 위 결과를 종합하여 폭약의 성능 개선정도, 사용상의 문제점, 실현장 적용성, 효율증대에 의한 경제성 등을 분석해본다.

### 3. 시험결과

#### 3.1 발파제원

##### (1) Mega MITE I 시험발파

항 목	기존발파	시험발파	
		1회발파	2회발파
일 시	10월5일	10월5일	10월6일
장 소	하행선	하행선	하행선
사용폭약	HiMITE 5500	MegaMITE I	MegaMITE I
사용뇌관	HiDETO Plus	HiDETO Plus	HiDETO Plus
심발방법	Cylinder-cut	Cylinder-cut	Cylinder-cut
기폭방법	역기폭	역기폭	역기폭
천 공 경	45mm	45mm	45mm
천 공 수	159공	159공	154공
천 공 장	3.8m	3.8m	3.8m
단 면 적	83.786m <sup>2</sup>	83.786m <sup>2</sup>	83.786m <sup>2</sup>
공 당 장약량	심발공	3.0kg	3.0kg
	확대공	2.625kg	2.625kg
	바닥공	3.0kg	3.0kg
	외각공	0.975kg	0.975kg
폭약별사용량	HiMITE-363.375kg FINEX -17.4kg	MegaMITE-363.375kg FINEX -17.4kg	MegaMITE-351.75kg FINEX -18.0kg
	총장약량	380.775kg	369.75kg
천공소요시간	4시간45분	4시간45분	4시간25분
장약소요시간	1시간30분	1시간30분	1시간20분

### 3. 2 발파결과

#### (1) NewMITE Plus II 시험발파

항 목	기존발파		시험발파		
	1회발파	2회발파	1회발파	2회발파	
일 시	10월5일	10월8일	10월6일	10월7일	
장 소	하행선	하행선	하행선	하행선	
사용폭약	NewMITE 5500	NewMITE 5500	NewMITE Plus II	NewMITE Plus II	
사용뇌관	HiDETO Plus	HiDETO Plus	HiDETO Plus	HiDETO Plus	
심발방법	V-cut (Baby-cut)	V-cut (Baby-cut)	V-cut (Baby-cut)	V-cut (Baby-cut)	
기폭방법	역기폭	역기폭	역기폭	역기폭	
천 공 경	45mm	45mm	45mm	45mm	
천 공 수	88공	86공	88공	85공	
천 공 장	3.5m	3.5m	3.5m	3.5m	
단 면 적	53m <sup>2</sup>	53m <sup>2</sup>	53m <sup>2</sup>	53m <sup>2</sup>	
공 당 장약량	심발공	2.0kg	1.75kg~2.0kg	2.0kg	1.75kg~2.0kg
	확대공	2.0kg	1.75kg	2.0kg	1.5kg~1.75kg
	바닥공	2.0kg	1.75kg~2.0kg	2.0kg	1.75kg
	외각공	0.75kg	0.75kg	0.75kg	0.75kg
폭약별사용량	NewMITE 5500 -135.0kg FINEX -11.0kg	NewMITE 5500 -117.5kg FINEX -12.0kg	NewMITE Plus II -135.0kg FINEX -11.0kg	NewMITE Plus II -115.0kg FINEX -12.0kg	
총장약량	146.0kg	129.5kg	146.0kg	127.0kg	
천공소요시간	2시간	2시간	2시간	2시간	
장약소요시간	1시간	55분	1시간	55분	



#### 4. 결과 분석

##### 4.1 효율 분석

※ 동일조건발파 : 공수, 저항선, 공간격, 장약량 등의 조건을 동일하게 하여 사용폭약만을 변경.

※ 변경조건발파 : 공수 5공 줄이고, 장약량 11kg을 줄여서 발파 실시.

항 목	기존발파	시험발파		분석자료	
		동일조건	변경조건		
진행장	천공장	3.8m	3.8m	3.8m	천공장은 동일하게 실시
	굴진장	3.3m~3.4m	3.6m~3.7m	3.5m~3.6m	1.동일조건발파 : 30~40cm 증가 2.변경조건발파 : 20~30cm 증가
	효 율	88%	96%	93%	1.동일조건발파 : 약 8%증가 2.변경조건발파 : 약 5%증가
발파압량	280.68m'	305.82m'	297.44m'	1.동일조건발파 : 25.14m' 증가 2.변경조건발파 : 16.76m' 증가	
비장약량	1.356kg/m'	1.245kg/m'	1.243kg/m'	1.동일조건발파 : 0.111kg/m' 감소 2.변경조건발파 : 0.113kg/m' 감소	
파쇄도	50cm이하 size :40%	50cm이하 size :60%	50cm이하 size :60%	1.동일조건발파 : 20%파쇄효율 증가 2.변경조건발파 : 20%파쇄효율 증가	
후 가스	양 호	양 호	양 호	기존 폭약과 동일한 후가스 발생	

##### (2) New MITE Plus II

※ 동일조건발파 : 공수, 저항선, 공간격, 장약량 등의 조건을 동일하게 하여 사용폭약만을 1

※ 변경조건발파 : 장약량을 19kg 줄여서 발파 실시

항 목	기존발파	시험발파		분석자료	
		동일조건	변경조건		
진행장	천공장	3.3m	3.3m	3.5m	천공장은 동일하게
	굴진장	3.2~3.3m	3.4~3.5m	3.4~3.5m	1.동일조건발파 : 20~30cm 증가 2.변경조건발파 : 30~40cm 증가
	효 율	93%	98%	98%	1.동일조건발파 : 약 5%증가 2.변경조건발파 : 약 5%증가
발파압량	172.25m'	182.85m'	182.85m'	1.동일조건발파 : 10.6m' 증가 2.변경조건발파 : 10.6m' 증가	
비장약량	0.847kg/m'	0.789kg/m'	0.694kg/m'	1.동일조건발파 : 0.049kg/m' 감소 2.변경조건발파 : 0.153kg/m' 감소	
파쇄도	30cm이하 size :70%	30cm이하 size :90%	30cm이하 size :80%	1.동일조건발파 : 10%파쇄효율 증가 2.변경조건발파 : 20%파쇄효율 증가	
후 가스	양 호	양 호	양 호	기존 폭약 대비 후가스 양호	

## 4.2 경제성분석

### 4.2.1 제품가격

구분	제품명	규격	단가 (공장도대비 20% 적용가)
폭약류	HiMITE 5500	375g×60본,400mm	2,426원/kg
	MegaMITE I	375g×60본,400mm	2,800원/kg
	NewMITE 5500	250g×110본,296mm	2,352원/kg
	NewMITE Plus II	250g×80본,295mm	2,766원/kg
	FINEX- I 호	100g×250본,425mm	4,800원/kg
화공품	HiDETO Plus	4.5m	1,750원/개

### 4.2.2 비용산출

#### (1) MegaMITE I

구분	기존발파	시험발파		분석
		동일조건	변경조건	
1회 발파비용	1,243,318원	1,379,220원	1,340,800원	※신제품 가격조정 의해 m <sup>2</sup> 당 화약대는 80원 상승되나 효율 증대에의해 공사비는 697원~1,337원절감 효과를 보임
m <sup>2</sup> 당 화약대	4,430원/m <sup>2</sup>	4,510원/m <sup>2</sup>	4,508원/m <sup>2</sup>	
m <sup>2</sup> 당 공사비	18,389원/m <sup>2</sup>	17,052원/m <sup>2</sup>	17,692원/m <sup>2</sup>	

#### (2) NewMITE Plus II

구분	기존발파	시험발파		분석
		동일조건	변경조건	
1회 발파비용	524,320원	580,210원	524,440원	※연암이나 보통암에서 는 신제품 사용시 약량을 줄여서 발파 하여도 효율이 좋으 므로 m <sup>2</sup> 당 화약대도 절감되고 공사비도 871원~1,391원절감 효과를 보임
m <sup>2</sup> 당 화약대	3,044원/m <sup>2</sup>	3,173원/m <sup>2</sup>	2,868원/m <sup>2</sup>	
m <sup>2</sup> 당 공사비	24,064원/m <sup>2</sup>	23,193원/m <sup>2</sup>	22,673원/m <sup>2</sup>	

## 5. 결 론

구 분	MegaMITE I	NewMITE Plus II
발파효율	1. 굴진장 : 5%~8% 증가 2. 비장약량 : 1.356 → 1.243kg/m' (0.113kg/m' 감소) 3. 파쇄도 : 약20% 효율증가	1. 굴진장 : 5% 증가 2. 비장약량 : 0.847 → 0.694kg/m' (0.153kg/m' 감소) 3. 파쇄도 : 약10~20% 효율증가
경제성	1. m'당 공사비 : 697원~1,337원 절감 2. 1,000m 굴진시(83,786m') : 83,786m' × 1,337원/m' = 112,021,882원 절감	1. m'당 공사비 : 871~1,391원 절감 2. 1,000m 굴진시(53,000m') : 53,000m' × 1,391원/m' = 73,723,000원 절감
현장의견	1. 후가스 : 양호 2. 약상 : 양호 3. 발파효과 : 우수 4. 작업성 : 우수	1. 후가스 : 우수 2. 약상 : 양호(개선효과 큼) 3. 발파효과 : 우수 4. 작업성 : 우수

## 참 고 문 헌

- (주)한화 “발파기초편” 1983.
- 기경철, 김일중, “발파공학” -기공사- 1999.
- 일본 “발파핸드북” -신해당 공업화학협회- 1976.
- 윤지선 “최신발파기술” -구미서관- 1993. 6
- 강대우 “알기쉬운 발파공학” -구미서관- 1998. 2
- 김응수 “발파핸드북” -구미서관- 1994. 4
- 김재극 “산업화약과 발파공학” -서울대학교 출판사- 1986. 8
- 황덕상 “화약학개론” -(주)한화- 1999. 7
- Rune Gustafsson “BLASTING TECHNIQUE” Sept. 1981
- ISEE “Blasters' Hand Book” 1998
- Perry H. RAHN “ENGINEERING Geology” Nov. 1995
- Per Arders Persson “Rock Blasting & Explosives Engineering” Dec. 1992