

고성능 Emulsion 폭약(MegaMEX)의 개발 및 경암 터널에서의 적용 사례

민형동¹⁾, 이윤재¹⁾, 박윤석¹⁾, 최경열²⁾

A Case of Application in Hard Rock Tunnel and Development of High Performance Emulsion Explosives(MegaMEX)

Hyung-Dong Min, Yun-Jae Lee, Yun-Seok Park and Kyung-Yeol Choi

Abstract : Safe and cheap emulsion explosives have recently replaced the existing GD explosives in order for people to reduce the prime cost and to prevent the safety accidents from happening in construction and civil engineering sites. However, the emulsion explosives have been in reality faced with difficulties in terms of the blasting force when using them in the tunnel constructed in the rock mass composed of hard rock. In this regards, this study is to verify their blasting efficiency and possibility of construction by applying MegaMEX, one of the high performance Emulsion explosives, to the rock mass of hard rock. In terms of their blasting efficiency such as advance ratio and fragmentation, it has turned out that they have overcome the limit of the existing Emulsion explosives and they have had the equivalent level of MegaMITE, one of the GD(Gelatin dynamite) types of explosives while they have been also advantageous to the environmental aspects.

Key words : high performance EMX, MegaMEX, MegaMITE, advance ratio, blasting efficiency

초록 : 근래 건설·토목 현장에서는 원가절감 및 안전사고를 방지하기 위하여 보다 안전하고 저렴한 폭약인 Emulsion 폭약이 기존의 GD계열의 폭약을 상당부분 대체해 가고 있는 실정이다. 그러나 현실적으로 경암 이상의 암반에 건설되는 터널에서는 Emulsion 폭약 적용시 발파위력 면에서 그 한계에 봉착하고 있다. 따라서 본 연구에서는 고성능 Emulsion 폭약인 MegaMEX를 국내 경암 이상의 암반에 적용하여 발파효율 및 시공성 등을 검증해 보고자 하였다. 적용 결과 굴진율, 파쇄도 등 발파효율 면에서 기존 Emulsion 폭약의 한계를 뛰어넘어, GD(Gelatin dynamite)계열의 폭약인 MegaMITE와 근접한 수준의 발파효율을 나타내었으며, 환경적인 측면에서도 유리한 것으로 나타났다.

핵심어 : 고성능 Emulsion 폭약, MegaMEX, MegaMITE, 굴진율, 발파효율

1. 서 론

국토의 효율적인 개발을 위해 산업용 폭약류의 사용은 필수적이라 할 수 있다. 현재 국내에서 주로 사용중인 산업용 폭약은 크게 GD계열, Emulsion계열, ANFO 등으로 나누어 볼 수 있으며, 이중 Emulsion 폭약의 경우는 건설현장에서 가장 일반적으로 사용되는 폭약이라 할 수 있다. Emulsion 폭약은 합수폭약의 일종으로 열, 마찰, 충격 및 후가스가 우수하여 일반 노천 건설현장에

서 주로 사용되고 있다.^{1,2)} 그러나 이러한 이점에도 불구하고 국내 터널현장의 경우 경암 이상의 암반에서는 GD계열의 폭약을 더 선호하는 추세이다.

이러한 원인으로는 국내 터널현장의 경우 대부분 절리가 발달된 경암내에서 건설되고, 암질의 변화가 심하며, 중경암 이상의 암반이 돌출시는 굴진율 등 발파효율 상의 문제에 봉착하게 되므로, 확실한 발파효과를 위해 경암 이상의 암반에서는 GD계열의 폭약을 더 선호하는 것으로 판단된다. 또한 현재까지 사용되고 있는 Emulsion 폭약의 경우 GD계열의 폭약에 비해 발파위력면에서 상대적으로 낮은 효율을 보이는 것이 사실이다.³⁾

따라서 기존 Emulsion 폭약의 한계를 뛰어넘는

1) (주)한화

2) 대보실업(주)

접수일 : 2005년 3월 21일

고성능 Emulsion 폭약의 개발이 요구되었으며, 현재 Emulsion 폭약의 장점인 안전성과 환경성 측면을 유지하면서, 발파위력면에서 기존 Emulsion 폭약의 한계를 뛰어넘어 GD계열 폭약의 95%수준으로 향상시킨 고성능 Emulsion 폭약(MegaMEX)을 개발함으로써 사용자들의 선택의 폭을 넓혔다.

본 연구에서는 고성능 Emulsion 폭약(MegaMEX)⁴⁾를 국내 경암~극경암 암반의 터널에 적용해 보았으며, 이에 따른 발파효율, 시공성 등을 검토하였다.

2. 현장 개요

2.1 개요

당 현장은 국토의 균형개발을 위한 서해안 개발 계획에 따라 철도시설 확충과 소송능력 증가, 취약 개소 해소로 안전운행 확보, 수송거리 단축 및 지역발전을 촉진하기 위하여 계획된 장항선 ○○~○○간 노반 개량공사의 일환이다.⁵⁾ 당 구간은 총 6개의 터널(총연장 8,270m)로 이루어져 있으며, 이중 연장 4,520m의 장대터널인 ○○터널 현장에서 당 연구가 수행되었다. 아래 Table 1 및 Fig. 1에 당 터널 현장의 현황과 표준단면도를 나타내었다.

Table 1. Present of the tunnel

터널연장(m)	갱문형식	부대시설
4,520	원통절개형	소형대피소
NATM : 4,075		대형대피소
개착 : 445		변압기굴

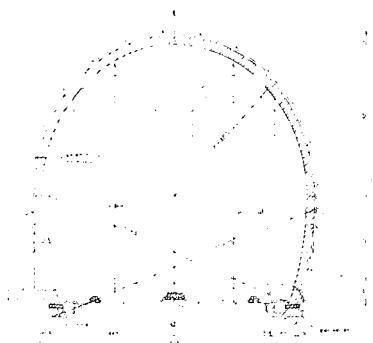


Fig. 1. Standard section of the tunnel(type-1).

2.2 현장 지질

당 현장의 지질은 서천도폭에 의하면 중생대 쥐라기의 퇴적암과 편마암류가 주를 이루고 있으며 이들을 백악기의 불국사 화강암이 관입한 양상을 보이고 있다(Fig. 2).

본 노선을 따라 광범위하게 분포되어 있는 편마암류는 퇴적암을 관입한 화강편마암과 안구상 편마암, 호상 편마암으로 구성되어 있으며, 조계리층과는 층상단층을 이루고 있다. 주향은 대체로 N40W, N30E 방향이 우세하고 본 조사지역에서는 안구상 편마암과 호상 화강편마암이 우세하게 발달되어 있다. 호상편마암은 풍부한 흑색대와 석영 및 장석으로 구성되어 있는 백색대가 서로 호상으로 무늬를 이루고 있고, 안구상 화강편마암은 조사지역의 중간부와 종점부에서 비교적 널리 분포하고 있으며 구성은 장석의 반정이 선두상으로 늘려서 마치 안구모양의 반정을 이루며 안구의 크기는 대략 직경이 3~4cm이다.

당 터널현장 구간의 기반암 분포는 중생대 쥐라기의 관입 편마암류가 분포하고 있으며, 편마암은 화강편마암 및 안구상 편마암이 우세하게 발달되고, 간혹 화강암류가 협재되어 발견되기도 하나, 그 분포 범위는 매우 미세한 편이다.⁶⁾

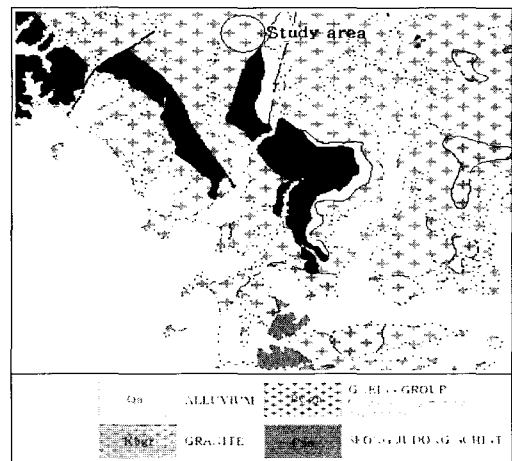


Fig. 2. Geological map of the study area.

2.3 현장 암반특성

시험지역의 암반특성은 총연장 4,520m의 구간 중 RMR 및 RQD에 의한 분류상 양호~매우 양호한 암반(Type-1)으로 분류된 495m (연장 4,520m) 구간 해당된다. 또한 상부토피고도가 100m 이상 구

간으로 암질이 매우 양호한 것으로 예상되는 구간이며, 막장면 관찰결과 매우 양호한 암반에 해당되는 것으로 조사되었다. 지반조사보고서⁷⁾ 및 막장 관찰결과에 의한 암반 상태를 Table 2~4에 나타내었다.

Table 2. Rock mass classification

위 치	암강도	RQD	RMR	Q	암반등급
터널상부 (0.5D)	경 압	95~100	74	188~198	양호~ 매우양호
터널구간	경 압	100	74~84	88~704	양호~ 매우양호

- R.Q.D : Rock Quality Designation Index, 1~100
- R.M.R : Rock Mass Rating, 1~100
- Q : Rock Tunnelling Quality Index, 0.001~1000

Table 3. Mechanical properties of rocks

위 치	탄성계수 ($\times 10^5$ MPa)	압축강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	탄성파속도 (km/sec)
터널 구간	0.446~0.677	149	10	4.2/2.3(P/S)

상기 Table 2, 3에서와 같이 지반조사보고서 상의 일축압축강도는 경압 수준으로 나타나나, 실제 막장면 관찰결과 및 실험결과에 의하면 경압~극경압 수준의 암반이 나타나고 있었다.

특히 아래 Table 4의 결과에서와 같이 일부 구간에서는 극경압 상태의 암반이 돌출되고 있어 기존의 Emulsion 폭약 사용시 발파효율상의 문제가 발생할 것으로 추정되었다.

Table 4. Results of the face mapping

위 치	암강도	슈미트해머 반발치(R)	압축강도 (Mpa)	RMR	암반등급
터널 구간	경압 ~극경압	58~70	150~244	73~91	양호~ 매우양호

3. Emulsion 폭약의 특성 및 성능

3.1 Emulsion 폭약의 정의

Emulsion 폭약은 총포 · 도검 · 화약류 등 단속

법 시행령 제2조 12항에 의하면 합수폭약의 분류에 속한다. 즉 “합수폭약이라 함은 산화제(질산암모늄 및 질산모노메틸아민 등의 질산염을 말한다)·물·예감제 및 발열제 등을 주성분으로 하고 죽상태(슬러리) 또는 맑은 목상태(엠얼져)로서 물에서 그 성질이 변화되지 아니하는 폭약은 말한다”라고 정의되어 있다.^{8,9)}

합수폭약 중 슬러리 폭약은 질산암모늄과 물을 사용하고 예감제로 TNT(혹은 Al powder)를 사용한 폭약으로써 뇌관으로 기폭 가능한 폭약을 말한다. 또한 Emulsion 폭약은 질산암모늄, 물, 기름, 유화제, GMB 등의 혼합조성으로써 TNT나 Al powder 또는 유기 예감제를 사용하지 않고 제조된 뇌관으로 기폭 가능한 폭약을 말한다.

3.2 Emulsion 폭약의 특성

액상 또는 고체상태의 초안(NH_4NO_3), 질산나트륨(NaNO_3)등의 질산염과 오일 또는 왁스 등의 연료 성분에 계면활성제인 유화제를 첨가하여 기계적으로 유화시켜 Emulsion입자의 크기를 수 μm 상태로 분산시킨 유중수적형(W/O Type)의 Emulsion으로 상온에서 비중이 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 이상인 죽상태(gel)의 혼합물이며, 유,무기질 기포보유제를 첨가하여 기폭감도를 향상시킨다. 내수성, 열, 마찰, 충격 등의 안전성, 후가스가 특히 우수한 폭약으로써 취급이 용이한 편이며, 조성은 Table 5와 같다.

Table 5. Characteristics of emulsion explosives^{9,10)}

구 분	성 분	무게(%)
산화제	AN, SN, CN, SP, AP, HNO_3 , UN	50~80
가연제	비수용성 가연물 (연료유, 왁스류)	1~10
물	H_2O	5~20
예 감 제	수용성	없거나 MMAN, MEAN, EGMN, HN
	비수용성	알루미늄, 니트로화합물
계면활성제	HLB 3~9	1~5
안정제	필수적이지 않으나 연료유, 미분말, 콜로이드화제	
기 포	무기질 기포보유제가 주재(GMB)	10~40 (부피%)

3.3 고성능 Emulsion 폭약의 특성

고성능 Emulsion(MegaMEX) 폭약은 기존 GD 계열(MegaMITE) 폭약과 발파위력면에서 대등한 수준을 요구하는 현장에 적용하기 위하여 개발된 폭약이며, Emulsion 폭약의 안전성과 친환경성을 가지는 점이 장점이라 할 수 있다. Table 6, 7에 국내산 주요 폭약류와 고성능 Emulsion 폭약의 주요 성능을 나타내었다.

Table 6. Main performance of MegaMEX

제품명	평균폭속 (m/sec)	탄동구포 (%)	가비중 (g/cm ³)
MegaMEX	6,000	160	1.2~1.3

Table 7. Major performance of some explosives produced in Korea¹¹⁾

제품명	평균폭속 (m/sec)	탄동구포 (%)	가비중 (g/cm ³)
MegaMITE I	6,100	170	1.3~1.5
MegaMITE II	6,700	175	1.4~1.6
NewMITE Plus I	5,700	120	1.1~1.2
NewMITE Plus II	5,700	135	1.2~1.3

또한 기존 연구 결과에⁴⁾ 의하면 약경 $\phi 32\text{mm}$ MegaMEX를 적용시 MegaMITE와 동일한 제원($\phi 32 \times 400\text{mm}$, 375g)에서 약 95%의 발파효율(굴진율 등)을 나타내는 것으로 알려져 있으며, $\phi 34\text{mm}$ MegaMEX를 경암 이상의 암반에 적용시는 장약 밀도의 증가 등으로 인하여 MegaMITE와 대등한 수준의 발파효율을 나타낼 것으로 판단된다.

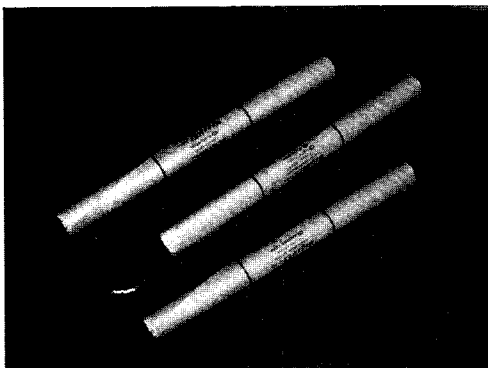


Fig. 3. Photograph of MegaMEX.

4. 발파제원

4.1 발파패턴도

당 시험발파시 적용된 표준 발파 패턴도를 아래 Fig. 4에 나타내었다. 발파패턴은 전단면 발파에 해당되며, 천공장은 4.0m, 천공수는 평균 110여공을 적용하여 발파를 실시하였다.

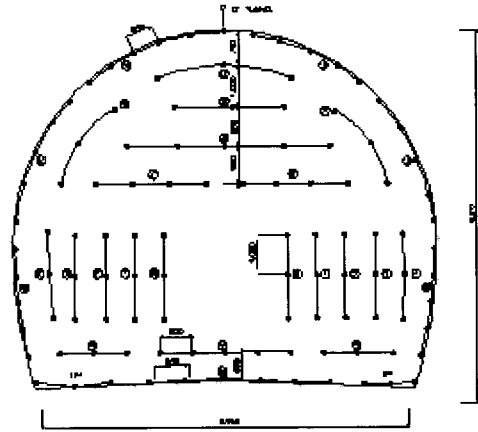


Fig. 4. Blasting and drilling pattern.

4.2 발파 제원

시험적용 구간은 총 연장 4,520m의 터널구간 중 암반등급이 양호~매우 양호한 Type-1 구간에 대하여 실시하였다. 아래 Table 8에 나타낸 발파 제원은 GD(MegaMITE)와 고성능 Emulsion 폭약 (MegaMEX) 각각 30회 발파에 대한 평균치이며, 대피소 및 소할 등의 발파에 소요된 제원은 포함하지 않았다.

Table 8. Condition of blasting design

구분	MegaMITE I	MegaMEX	
단면적(m ²)	80	80	
심발공법	V-Cut	V-Cut	
천공경(mm)	$\phi 45$	$\phi 45$	
천공장(m)	4.0	4.0	
총공수(공)	107	112	
평균 장약량 (kg)	MegaMITE	-	
	MegaMEX	-	247.5
	NewFINEX	20	20
총장약량(kg)	249.07	267.5	
비장약량(kg/m ³) (굴진장 기준)	0.873	0.933	

5. 적용 결과

5.1 발파효율

GD(MegaMITE, $\phi 32 \times 400\text{mm}$, 375g)와 고성능

Emulsion 폭약(MegaMEX, $\phi 34 \times 400\text{mm}$, 400g) 각각 30회의 시험발파시 측정된 굴진장, 화약량, 총공수 및 비장약량을 아래 Table 9, 10에 나타내었다.

Table 9. Application of GD(MegaMITE I)

횟수	굴진장 (m)	화약량 (kg)	총공수 (공)	비장약량 (kg/m^3)
1	3.75	249.00	107	0.830
2	3.75	253.50	110	0.845
3	3.75	235.00	105	0.783
4	3.75	245.00	106	0.817
5	3.25	252.50	104	0.971
6	3.25	250.00	104	0.962
7	3.50	240.00	108	0.857
8	3.25	255.00	109	0.981
9	3.25	261.50	107	1.006
10	3.75	250.00	107	0.833
11	3.75	265.00	108	0.883
12	4.00	240.00	108	0.750
13	4.00	240.00	108	0.750
14	3.50	243.00	107	0.868
15	3.50	250.00	108	0.893
16	3.50	252.50	110	0.902
17	3.50	250.00	110	0.893
18	3.75	240.00	104	0.800
19	3.75	240.00	103	0.800
20	3.25	252.50	106	0.971
21	3.25	250.00	105	0.962
22	3.50	235.00	106	0.839
23	3.50	245.00	109	0.875
24	3.50	252.50	105	0.902
25	3.50	250.00	104	0.893
26	3.50	240.00	101	0.857
27	3.50	240.00	101	0.857
28	3.50	245.00	118	0.875
29	3.50	262.50	122	0.938
30	4.00	287.50	111	0.898
합계	107.00	7472.00	3221.00	0.873
평균	3.57	249.07	107.37	0.873

Table 10. Application of MegaMEX

횟수	굴진장 (m)	화약량 (kg)	총공수 (공)	비장약량 (kg/m^3)
1	4.00	265.00	109	0.828
2	4.00	260.00	108	0.813
3	3.00	254.50	109	1.060
4	3.00	248.00	107	1.033
5	3.50	267.00	112	0.954
6	3.50	258.00	110	0.921
7	3.75	278.00	120	0.927
8	3.75	277.00	120	0.923
9	4.00	280.00	116	0.875
10	4.00	277.50	114	0.867
11	3.25	310.00	107	1.192
12	3.25	180.00	105	0.692
13	3.50	267.50	103	0.955
14	3.50	257.50	112	0.920
15	3.50	255.00	111	0.911
16	3.00	256.50	116	1.069
17	3.00	256.00	116	1.067
18	3.00	267.50	106	1.115
19	4.00	270.00	116	0.844
20	4.00	265.00	113	0.828
21	3.50	280.00	113	1.000
22	3.50	275.00	112	0.982
23	3.50	280.00	113	1.000
24	3.50	260.00	110	0.929
25	4.00	290.00	115	0.906
26	4.00	290.00	115	0.906
27	3.75	270.00	110	0.900
28	3.75	270.00	110	0.900
29	3.75	275.00	116	0.917
30	3.75	285.00	117	0.950
합계	107.50	8025.00	3361.00	0.933
평균	3.58	267.50	112.03	0.933

(1) 굴진율

매회 굴진장을 터널단면의 동일한 지점(심발공 중심부)에서 측정한 후 굴진율을 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\text{굴진율} = (\text{굴진장} / \text{천공장}) \times 100\% \quad (1)$$



Fig. 4. Measuring of advance.

Table 11. Comparison of advance ratio

구 분	MegaMITE I	MegaMEX
천 공 장(m)	4.00	4.00
굴 진 장(m)	3.57	3.58
굴 진 율(%)	89.25	89.50
증 감 율	MegaMITE 대비 0.3% 증가	

상기 Table 11에 각각 30회 시험발파에 대한 평균 굴진율을 나타내었으며, 고성능 Emulsion 폭약(MegaMEX) 적용시 MegaMITE 대비 굴진율은 0.2% 증가하여 대등한 수준으로 나타났다.

따라서 $\phi 34\text{mm}$ 고성능 Emulsion 폭약(MegaMEX) 적용시 $\phi 32\text{mm}$ MegaMITE와 근접한 수준의 굴진율을 나타냄을 알 수 있다.

(2) 비장약량

비장약량 산출은 각각 30회 시험발파 후 누적된 누적 화약량과 누적 굴진장을 기준으로 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\text{비장약량} = \text{총화약량} / (\text{총굴진장} \times \text{단면적}) \quad (2)$$

Table 12. Comparison of specific charge

구 분	MegaMITE I	MegaMEX	
폭약별 장약량 (kg)	MegaMITE I	229.07	-
	MegaMEX	-	247.50
	NewFINEX	20	20
평균 화약량(kg)	249.07	267.50	
누적 화약량(kg)	7,427.00	8,025.00	
누적 굴진장(m)	107.0	107.5	
총 파쇄체적(m ³)	8,560	8,600	
비장약량(kg/m ³) (굴진장 기준)	0.873	0.933	
증 감 율	MegaMITE 대비 6.9% 증가		

상기 Table 12에서와 같이 비장약량은 굴진장을 기준으로 계산할 때 MegaMITE 발파시 평균 0.873kg/m³으로 나타났으며 고성능 Emulsion 폭약(MegaMEX) 발파시 0.936kg/m³으로 나타나, 6.9% 증가하였다.

다만 $\phi 34\text{mm}$ MegaMEX의 경우 동일한 약장(400mm)일 경우 약경의 증가로 장약량은 이론적으로는 6.7%정도 증가하는 점은 감안하여야 할 것이다.

(3) 파쇄도

파쇄입도는 당 시험기간 중 MegaMITE 발파시와 MegaMEX 발파시 각각 모두 양호한 것으로 관찰되었다. 그러나 이는 육안 관찰에 의한 주관적 판단이므로, 이중 동일한 조건에서 이루어진 시험 발파에 대해 영상 입도 분석 프로그램인 Split Desktop ver2.0을 이용하여 발파 후 버럭처리의 용이성을 판단하였다(Fig. 5).

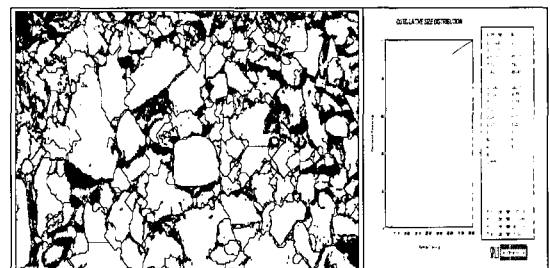


Fig. 5. Analysis of fragmentation.

아래 Table 13과 같이 파쇄입도를 분석한 결과 MegaMITE 및 MegaMEX 발파시의 50% 이내의 사이즈가 각각 26.3, 26.5cm로 나타나, MegaMITE와 대등한 수준임을 알 수 있었다.

Table 13. Comparison of fragmentation

구 분	MegaMITE I		MegaMEX	
Percent Passing(%)	P ₂₀	3.56	P ₂₀	6.4
	P ₅₀	26.3	P ₅₀	26.5
	P ₈₀	67.4	P ₈₀	50.4
	Top	125.5	Top	83.2

그러나 대파의 발생을 가늠해 볼 수 있는 Top size의 경우 MegaMITE 발파시 더 높게 나타나, MegaMEX 적용시는 밀장전으로 인한 파쇄입도의 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

5.2 발파공해

(1) 발파진동

MegaMITE와 MegaMEX 발파시 진동수준의 증감을 파악하기 위해 동일한 지점에 발파진동 측정기를 고정시킨 후 발파진동을 측정하였다. 발파진동 측정에 사용된 측정기기는 미국 PMT사의 eXAD-8 기종을 사용하였다.

아래 Table 14에 측정된 발파 진동속도를 나타내었다.

Table 14. Comparison of vibration velocity

구 분	MegaMITE I	MegaMEX
진동속도 (PVS, mm/sec)	6.680	5.875
최대 지발당장약량 (kg/delay)	18.0	19.2
총장약량(kg)	260	256
측정거리(m)	330	330
증 감 율	MegaMITE 대비 12.1% 감소	

일반적으로 심발부에서 가장 지발당장약량이 크고, 진동이 크게 발생하므로 심발부의 지발당 장약량을 기준으로 하여 MegaMITE 발파시와 MegaMEX 발파시를 비교하였다.

MegaMITE 및 MegaMEX 발파시의 진동속도를 각각 비교해보면 MegaMEX의 경우 최대 지발당 장약량이 1.2kg 증가함에도 불구하고 진동속도는 12.1% 감소하는 것을 알 수 있다.

따라서 MegaMEX 적용시 MegaMITE에 비해 상대적으로 진동을 감소시킬 수 있을 것으로 판단되어, 환경적인 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

(2) 비산거리

비산거리 또한 최대 지발당장약량 및 총장약량과 관련이 있으며, 일반적으로 비례하는 경향을 띤다. 그러나 천공상태, 절리군의 분포에 따른 변화가 심하여 정량적으로 평가하기는 어려운 점이 있다.

아래 Table 15의 측정된 결과에 의하면 MegaMITE 및 MegaMEX 발파시는 각각 45, 47m로 나타나 비슷한 수준으로 나타났다.

Table 15. Comparison of fly rock distances

구 분	MegaMITE I	MegaMEX
최대 지발당장약량 (kg/delay)	18.0	19.2
총장약량(kg)	260	256
비산거리(m)	45	47
증 감 율	MegaMITE 대비 4.4% 증가	

총장약량이 동일한 수준인 상기 발파를 비교해보면 비산거리는 MegaMEX 발파시 4.4% 증가한 것으로 나타나며, 이는 최대 지발당장약량이 MegaMITE에 비해 1.2kg 증가하였기 때문으로 판단된다.

그러나 상기 수치는 터널 발파시는 안전상 문제가 되지 않는 수준이므로 고려치 않아도 될 것으로 판단된다.

5.3 시공성

(1) 작업시간

실제 장약시간을 측정된 결과 당 현장과 같이 암강도가 경암 이상이고, 암반상태가 매우 양호한 경우에는 장약시 약포의 걸림이나 휨현상은 발생되지 않았으며, MegaMITE와 동일한 수준의 장약시간이 소요되었다.

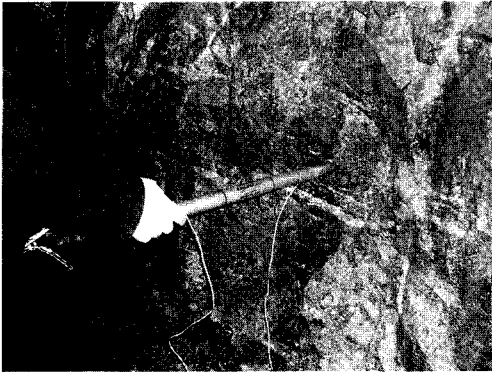


Fig. 6. Photograph of the charging.

Table 17. Comparison of working time

구 분	MegaMITE I	MegaMEX
장약 및 결선(분)	45	45
작업인원(인)	5	5
증 감 율	MegaMITE 대비 동일	

5.4 검토

각각 30회씩 이루어진 GD(MegaMITE) 및 고성능 Emulsion 폭약(MegaMEX)의 시험발파를 아래 Table 18에 요약하여 나타내었다.

Table 18. Summary of test results

구 분	MegaMITE I	MegaMEX	증감율
굴진장(m)	3.57	3.58	0.3% ↑
비장약량 (kg/m ³)	0.873	0.933	6.9% ↑
파쇄도(cm)	26.3	26.5	0.7% ↑
발파진동 (mm/sec)	6.680	5.875	12.1% ↓
비산거리(m)	45	47	4.4% ↑
작업시간(분)	45	45	0.0%

MegaMITE와 MegaMEX 발파시 발파효율을 검토한 결과 MegaMEX 사용시 굴진율 및 파쇄도는 대등소이 하였으며, 비장약량은 6.9% 증가하였다.

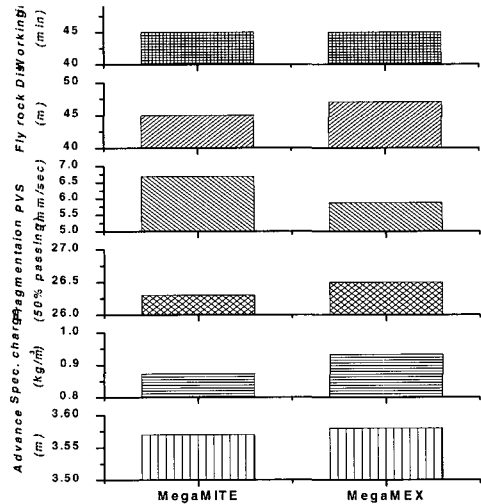


Fig. 7. Comparison of test results.

또한 발파진동은 12.1% 감소하였으며, 비산거리는 4.4% 증가하였다.

또한 작업시간은 대등소이 하여 작업성의 문제는 없는 것으로 판단된다.

6. 기존 Emulsion 폭약과의 비교

6.1 기존 Emulsion 폭약 적용 결과

아래 Table 19에는 당 현장에서 적용되었던 기존 Emulsion 폭약의 발파 결과를 나타내었다.

6.2 검토

당 현장에 적용되었던 기존 Emulsion 폭약과 GD(MegaMITE) 및 고성능 Emulsion 폭약 (MegaMEX)의 각각 30회에 대한 발파결과의 평균치를 비교하여 아래 Table 20에 나타내었다.

아래 Table 20에서와 같이 MegaMITE와 MegaMEX 및 기존 Emulsion 폭약 각각 30회의 발파결과를 검토한 결과, MegaMITE 대비 MegaMEX 적용시 굴진장은 0.3% 증가 하였으며, 기존 Emulsion 적용시는 3.9% 감소하였다. 또한 비장약량은 MegaMITE 대비 MegaMEX 적용시 6.9% 증가하였으며, 기존 Emulsion 적용시는 3.8% 증가하였다.

Table 19. Application of Emulsion

횟수	굴진장 (m)	화약량 (kg)	총공수 (공)	비장약량 (kg/m ³)
1	3.25	225.00	106	0.865
2	3.25	220.00	107	0.846
3	3.50	235.00	105	0.839
4	3.50	242.50	108	0.866
5	3.50	240.00	104	0.857
6	3.50	247.50	107	0.884
7	3.50	244.00	104	0.871
8	3.50	256.00	106	0.914
9	3.50	234.00	107	0.836
10	3.50	233.50	106	0.834
11	3.50	240.00	106	0.857
12	3.50	238.50	105	0.852
13	3.50	240.00	104	0.857
14	3.50	250.00	105	0.893
15	3.75	260.00	104	0.867
16	3.75	267.50	107	0.892
17	3.50	255.00	108	0.911
18	3.50	255.00	108	0.911
19	3.50	240.00	107	0.857
20	3.50	241.50	108	0.863
21	3.50	245.00	111	0.875
22	3.50	255.00	112	0.911
23	3.75	245.00	111	0.817
24	3.75	245.00	110	0.817
25	3.75	266.50	113	0.888
26	3.75	266.00	113	0.887
27	2.00	222.50	113	1.391
28	2.00	200.00	83	1.250
29	3.50	270.00	126	0.964
30	3.50	285.00	130	1.018
합계	103.00	7365.00	3244.00	0.906
평균	3.43	245.50	110.25	0.906

Table 20. Summary of test results

구분	굴진장 (m)	Mega MITE 대비	비장약량 (kg/m ³)	Mega MITE 대비
Mega MITE	3.57	100.0%	0.873	100.0%
Mega MEX	3.58	100.3%	0.933	106.9%
기존 Emulsion	3.43	96.1%	0.906	103.8%

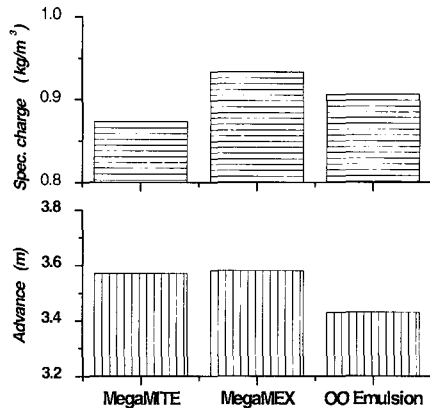


Fig. 7. Comparison of test results.

현실적으로 터널 발파의 경우 전체적인 발파효율에 미치는 영향은 굴진율, 비장약량 등에 의해 좌우되며, 이는 암반상태나 강도에 주로 영향을 받는다. 또한 발파 실패나 미굴 발생으로 인한 발파 Cycle의 지연은 전체 공기 및 안전관리 차원에서 매우 불리하게 작용하는 것이 사실이다.

상기 현장의 경우 암반상태가 양호~매우 양호한 상태이며, 강도 또한 경암~극경암의 수준의 강도를 보이는 현장으로 기존 Emulsion 폭약을 사용하여 왔으나, 극경암 암반의 돌출시 바닥부의 굴진이 제대로 이루어지지 않아 2차 발파로 인한 작업 지연, 비장약량 증가 및 상차작업의 어려움 등으로 굴진효율 및 발파 Cycle 상의 문제가 발생하였다. 이러한 원인으로는 첫째 기존 Emulsion 폭약의 경우 극경암 암반의 돌출시 발파위력면에서 한계를 보이는 것으로 판단되며, 둘째 바닥부의 경우 구속력이 크고, 지연 시차가 맨 마지막에 해당되어, 상부의 적재하중이 가장 큰 상태에서 발파가 이루어지므로, 이때 상재하중을 포함한 극경암 암반을 파쇄 및 이동시키는데는 그 위력이 부족한 것으로 판단된다.

상기의 이유로 당 현장에서는 적용 폭약을 MegaMITE로 대체하였으며, 이후 고성능 Emulsion 폭약(MegaMEX)을 적용한 결과 상기와 같은 문제가 발생되지 않아, 현재 약 350m의 굴진이 이루어져 터널 굴착이 성공적으로 완료된 상태이다.

7. 결론

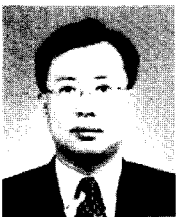
본 연구에서는 경암 이상의 암반에서 고성능 Emulsion 폭약(MegaMEX)의 시공사례를 통해 적용성 및 발파효율을 검토해 보고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 국내 경암 이상의 암반에 대하여 고성능 Emulsion 폭약(MegaMEX)을 $\phi 34\text{mm}$ 를 적용한 결과 굴진율은 GD계열인 MegaMITE와 대비하여 근접한 수준의 굴진율을 얻을 수 있었다.
2. 비장약량은 MegaMITE 대비 약 6.9% 증가하였다. 이는 약경의 증가에 따른 요인이며, 파쇄도 측면에서는 밀장전에 의해 대피의 발생율이 낮아짐을 확인할 수 있었다.
3. 발파진동은 지발당 장약량이 1.2kg 증가함에도 불구하고, MegaMITE 대비 12.1%의 감소하였으며, 비산거리는 대등하여 환경적인 측면에서 유리할 것으로 판단된다.
4. 기존 Emulsion 폭약 적용시 발생되었던 굴진효율 및 발파 Cycle 상의 문제점을 보완하고자 고성능 Emulsion 폭약(MegaMEX)을 당 현장에 적용한 결과 이러한 문제점은 발생되지 않았으며, 성공적으로 굴착이 완료되었다.
5. 본 연구에서는 고성능 Emulsion 폭약(MegaMEX)을 국내 경암 이상의 암반에 적용하여 적용성 및 발파효율을 판단해 보고자 하였으며, 적용

결과 GD계열의 폭약과 대등한 발파효율 및 적용성을 나타내었다. 또한 기존 Emulsion 폭약과 대비하여 그 우수성을 확인 가능하였다.

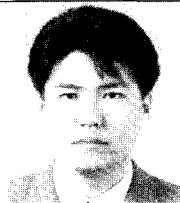
참고문헌

1. ISEE, 1998, Blaster's Handbook, 17th edition, pp. 77-84.
2. T. Urbaniski, 1984, Chemistry and Technology of Explosives, Pergamon Press, pp. 558~567.
3. 이천식, 김형섭, 2001, 국내산 주요폭약의 위력계수 산정에 관한 연구, 화약발파, 대한화약발파공학회, Vol. 19, No. 1, pp. 97-100.
4. (주)한화, 2004, 고성능 EMX(MegaMEX) 시험발파 보고서, pp. 9-12.
5. 철도청, 2001, 터널설계보고서(장항선 ○○~○○간), pp. 3.
6. 김봉균, 손석진, 1963, 서천 지질도폭설명서(1:50,000), 국립지질조사소, 대전, pp. 2-10.
7. 철도청, 2001, 지반조사보고서(장항선 ○○~○○간), pp. 155-254.
8. 총포·도검·화약류등 단속법 시행령 제2조 12항.
9. 안명석, 조명찬, 김종현, 2004, 에멀전화의 최적조건과 예감제 첨가에 관한 연구, 화약·발파(대한화약발파공학회지), Vol. 22, No. 1, pp. 1-2.
10. 김재극, 1997, 산업화약과 발파공학, 서울대학교 출판부, 서울, pp. 50.
11. (주)한화, 2004, 화약류 제품 설명서, pp. 4-18.



민형동

(주)한화 화약기술팀 팀장



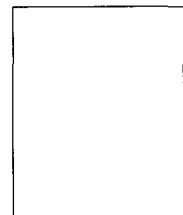
이운재

(주)한화 화약기술팀 과장



박윤석

(주)한화 화약기술팀



최경열

대보실업(주) 소장