

석회석 광산에서 Bulk EMX(HiMEX)폭약의 적용성에 관한 연구

권오성¹⁾, 정민수¹⁾, 하태수²⁾, 도규문²⁾, 윤영훈³⁾, 김영덕³⁾

A Case Study of Application of Bulk EMX(HiMEX) in Lime Stone Quarry

O-Sung Kwon, Min-Soo Jung, Tae-Su Ha, Kyu-Mun Do, Young-Hun Yoon and Young-Dug Kim

초 록. 일반적으로 석회석 광산에서의 발파는 ANFO를 사용하여 주로 시행되어지고 있다. Bulk장전 시스템의 도입으로 장약, 발파가 간편하여 효과적으로 발파를 할 수 있고, 그 비용도 저렴하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 수공에서의 장약이 불가능 하고, 낮은 위력으로 인해 저항선 및 공간격의 제한이 커서 이에 따르는 발파효율의 저하가 불가피 하였다. 본 연구는 현재 해외에서 일반화 되어 사용되고 있는 Bulk EMX(HiMEX)폭약을 국내 현장에 적용함으로써 그 적용 방법과 이점을 규명하고자 시행되었다. 대규모 석회석 광산을 대상으로 적정 패턴을 산출하기 위해 기존의 발파 패턴과 비교하여 시험발파를 시행하여 저항선 및 공간격을 산정하였으며 이를 토대로 해서 성신양회, 현대시멘트 영월사업소와 함께 장기간 시험발파를 실시하고 그 자료를 검증 하였다. 그 결과 HiMEX는 초유폭약에 비해 비중이 높아 공당 장약량은 45%정도 증가하나, 1발파당 생산 물량이 증가하여 5%이상의 장약량 감소효과를 볼 수 있었다. 또한 35 ~ 50%정도의 천공비용이 감소되는 것으로 나타났다.

핵심어 : Bulk EMX, ANFO, 발파효율, 발파패턴, VOD, 수공, 비장약량

1. 서 론

국내 석회석 광산에서의 채광은 주로 화약을 이용한 발파를 시행하고 있다. 각 현장마다 최적의 벤치 발파 형태를 선정하여 작업을 하고 있으나 이는 단지 패턴의 변화만을 줄 수 있을 뿐이다. 또한 발파작업에 있어 폭약의 선택은 대상 암질 및 주변요건 등의 환경 적인 측면과 발파규모 및 경제적인 요소와 시공방법 등 발파 기술적인 측면 등을 고려하여 선정하는 중요한 요소인데, 현재 국내 석회석 광산에 사용되는 폭약은 ANFO라는 단일종이 수공을 제외한 지역에서는 사용되고 있어, 보다 적극적이고 효율적인 최적의 발파패턴을 추구 하는 데는 한계점이 있다.

보통 발파에서의 경제성이라 하면 천공, 장약과 발파, 소할, 버럭 처리, 수송운반, 분쇄의 일련의 과정을 통해서 검토하는 것이 바람직하다. 이런 경제성을 고려할 때 가장 기본이 되는 작업이 현장

에 맞는 발파 패턴의 설정이다. 획일화된 저항선, 공간격 등의 한계점을 극복하고, 보다 더 좋은 발파 효과와 경제적인 발파를 시행할 수 있도록 벌크 에멀전(HiMEX) 이라는 폭약을 적용하였고, 적합한 발파 패턴을 제안하고 경제성을 향상시키고자 하는 것이 본 연구의 목적이며 나아가서는 구해진 패턴을 가지고 현장에서 일정기간 동안 발파를 실시하여 그 경제성을 검증 하였다.

2. 시험 범위

지금까지 국내외의 여러 학자들에 의하여 벤치 발파의 효율적인 패턴의 제안이 수행되어 왔으나 이는 일정지역에 대해서 국한되어 있거나 해외 자료에 많이 의존하고 현재 일정한 패턴은 없으며 각 현장마다 상황에 맞게 발파 패턴을 설정하고 있다.

발파의 효율, 즉 경제적인 발파 시 고려되어야 할 것은 다음과 같다.

- 1) 천공
- 2) 장약과 발파
- 3) 소할 발파

1) (주)한화
2) 성신양회(주)
3) 현대시멘트(주)
접수일 : 2004년 2월 23일

- 4) 버럭 처리
- 5) 수송운반
- 6) 분쇄

일반적으로 발파 패턴은 지역적인 특성과 발파 조건에 따라 그 패턴의 변화가 있으며, 현재는 저항선, 공간격, 천공경등의 변화만 있을 뿐 특별한 대안이 없는 형편이다.

따라서 본 연구에서는 현장에서 그 조성변화와 제조가 가능한 벌크 에멀전 폭약을 사용해서 현장에서 보다 효율적인 발파를 시행할 수 있도록 하고자 한다.

이를 항목별로 보면 다음과 같다.

- (1) 국내 석회석 광산 현장의 기본 패턴의 조사
- (2) 본 실험 대상의 기본 물성조사를 통하여 암석의 특성별 발파패턴을 파악
- (3) 실측치를 통하여 기존의 사용 폭약과 벌크 에멀전 폭약의 폭속 및 파쇄 범위를 예측.
- (4) 실 시험을 통하여 파쇄도 및 전체적인 발파 효과를 비교하고 기존 현장에서의 벌크 에멀전 폭약 사용 시 적합한 패턴을 제안
- (5) 패턴의 산정 후 일정기간 현장에서의 사용으로 패턴 및 에멀전 폭약의 효과 검증

3. 시험 현장의 지질 현황



그림 1. 제천지역 지질현황

해당 실험은 제천지역의 양회업체를 대상으로 이루어 졌으며, 상기 지질도와 같이 주로 석회암을 주로 이루고 있다.

4. 사용 폭약의 특성

ANFO와 Bulk EMX를 석회석 현장에 적용하여 시험발파를 실시하였으며 제조상의 두 폭약의 특성은 그림과 같이 도식화 할 수 있다.

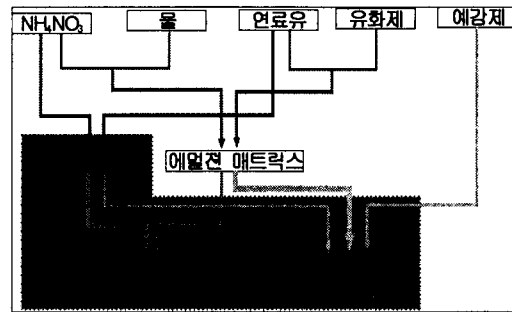


그림 2. Bulk EMX의 기본 원리

5. 시험 발파

두 폭약은 그 조성부터 상이하게 틀리고 그 특성 또한 많은 차이를 두고 있다. 기존의 사용하던 ANFO와의 특성들 차이 때문에 현장에서의 그 사용 방법 및 발파 패턴 또한 변해야 할 것이다. 현재 국외에서는 많이 대중화 되어있어 그 패턴이 정형화되어 사용하고 있지만 국내와는 발파여건이 많이 틀려 그 조건을 그대로 쓸 수 있는 조건이 되지 못한다. 새로운 폭약을 적용함에 있어 우선적으로 사용현장에 맞게 그 조건을 제시해야 하므로 본 시험발파의 목적을 이에 두고 있다.

시험은 크게 현장시험과 실내시험(현장실험 이외의 시험)으로 나누어 시행을 하였다. 현장시험은 크게 사용방법(장약 등)의 문제와 발파결과의 비교로 이루어 졌으며 실내시험은 현장암석의 특성 및

제품 사용에 있어 사전에 점검해야 할 사항 등에 대하여 시험이 이루어 졌다.

5.1 실내 시험

◆ 시험발파 지역의 암석 불성 시험

해당 시험발파 지역(제천지역)의 괴석을 채취하여 암석의 기본적인 물성에 대해서 시험을 하였으며 주요 시험항목으로는 대표적인 암석의 물성 치인 일축강도, 비중, 탄성파속도, 탄성계수, 변형률 등이다.

두 현장에서의 암석의 물성 시험 결과 일축강도가 1,117~1,185kgf/cm²이다. 비중은 2.68~2.73gr/cm³ 범위 값이 나왔다.

이러한 시험 값으로 발파패턴의 정립을 위한 두 현장을 대상으로 시험 발파를 실시하였을 때, 시험 대상간의 암석의 역학적인 특성에서 기인하는 차이는 없다고 볼 수 있으며 다만 지질학적인 특성을 고려하여 발파현장에 맞는 패턴을 정리하면 된다는 결과를 얻을 수 있었다.

표 1. 에밀전(EM)과 ANFO의 혼합비에 따른 영향

명칭	EM:ANFO	내수성	예감제 필요성	비중 (g/cc)	폭속 (m/s)	반응열 (J/g)	@1,000atm for soft rock		@2,000atm for hard rock	
							RWS	RBS	RWS	RBS
ANFO	0:100	poor	×	0.90	3,000	100% (3,700)	100% (2,384)	100%	100% (2,102)	100%
Heavy ANFO	20:80	poor	×	1.10	3,400	96% (3,537)	104% (2,348)	127%	106% (2,238)	130%
	30:70	short	×	1.18	3,500	93% (3,435)	104% (2,483)	136%	108% (2,265)	142%
	40:60	moderate	×	1.27	3,700	90% (3,339)	105% (2,511)	148%	110% (2,315)	155%
	50:50	good	◎	1.25* (1.20*)	3,800 (5,500)	87% (3,227)	101% (2,401)	140%	105% (2,205)	146%
Pumped Blends	60:40	excellent	◎	1.25* (1.20*)	5,300 (5,800)	84% (3,125)	98% (2,327)	136%	102% (2,134)	142%
	70:30	excellent	◎	1.25* (1.20*)	5,500 (5,800)	82% (3,019)	94% (2,251)	131%	98% (2,059)	136%
	80:20	excellent	◎	1.25* (1.20*)	5,900 (5,900)	79% (2,919)	91% (2,178)	126%	95% (1,991)	132%
Straight EMX	100:0	excellent	◎	1.25* (1.20*)	5,900 (6,200)	73% (2,710)	85% (2,025)	118%	88% (1,848)	122%

표 2. 암석 불성 시험 결과(평균치)

구 분	Diameter (cm)	Length (cm)	Apparent Density (gr/cm ³)	P wave Velocity (m/sec)	Uni. Comp. Strength (kgf/cm ²)	Young's Modulus (×10 ⁵ kgf/cm ²)	Poission's Ratio	Tensile Strength (kgf/cm ²)
○ ○ 현장	5.423	10.021	2.71	5,110	1,185	5.150	0.225	119
× × 현장	5.390	10.225	2.69	5,230	1,117	5.132	0.237	120

◆ 수공에서의 장약 실험

현장에서의 벤치 경사와 유사하게 파이프를 설치하여 뉴마이트 및 벌크 에멀전 폭약을 장전하여 수공에서의 장약 용이성을 파악하였다. 파이프에 일정한 간격으로 틈을 만들어 파이프 내부의 장약 진행 상황을 check하였다.



그림 3. 수공에서의 장약 모의실험

시간측정 기준은 공저 장약의 경우는 호스를 공저부분까지 들어가는 시간을 측정하였고, 공구부분 장약시는 발파가 가능하도록 폭약이 장전되는 시간까지 측정하였다. 그 결과 유효 장약 시간은 공구부분에서의 장약이 시간이 많이 걸렸을 뿐만 아니라, 불과 섞이는 현상까지 발생하여 수공에서의 장약은 공저부분에서 하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

5.2 현장 시험

◆ 공내폭속 시험

실제 두 폭약의 공내에서의 폭속을 알아보고 그 유효 폭속이 어느 지점까지 유지되는지를 알아보기 위해 현장에서 직접 폭속 측정을 하였다. VOD MATE를 이용하여 폭속 측정을 하였으며 이는 공내에 넣은 측정선의 저항치를 시간에 따라 측정함으로써 그 폭발 속도를 읽는 장치이다.

실험은 ANFO, Bulk EMX 사용 시의 두 곳에서 측정을 하였으며 HiMEX 측정 시는 수공에서도 측정을 하였다. 이 결과치로 두 폭약의 공내에서의 폭속의 변화를 측정할 수 있으며 암석을 파괴하는 유효 폭속이 몇 m인지는 파악하는데 이용하였다.

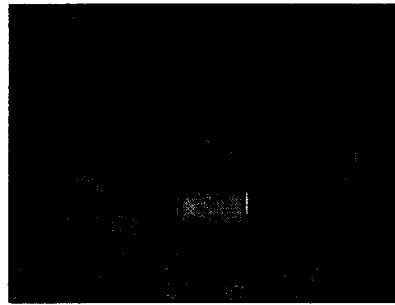


그림 4. VOD MATE

폭속 측정 결과 ANFO의 경우는 평균 폭속이 3,000m/sec 이상, HiMEX는 5,000m/sec이상의 값이 나왔다 이는 둘 다 일반적인 석회암 암석을 파괴하는데 충분한 폭속이다. 그러나 유효 폭속을 비교해 보면 ANFO의 경우는 10m이상 지점에서 폭속이 급격히 감소하였으며 HiMEX는 폭속의 변화가 거의 없었다. 이 결과 ANFO 장약시는 10m이상의 장약은 걱정하지 않은 것으로 나타났다.

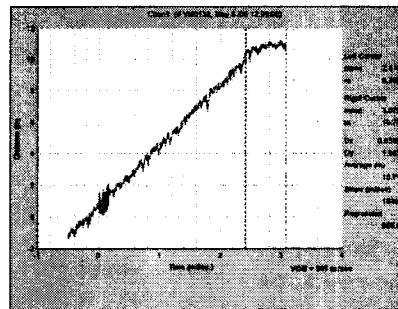


그림 5. ANFO 측정결과

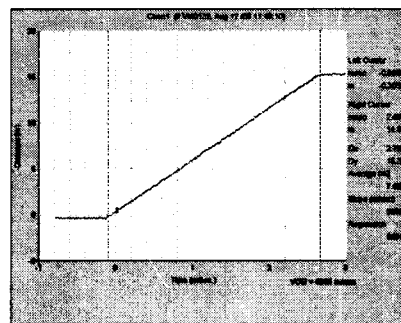


그림 6. Bulk EMX 측정결과

◆ 공동 대책 시험

시험발파를 실시하기에 앞서 공내에 crack의 존재 유무를 관찰하고, 어느 정도의 crack까지의 장약을 일반공에서와 같이 할 수 있는지의 파악을 위해서 공내 내시경 측정을 실시하였다. 매 발파마다 내시경 측정을 실시하였다.

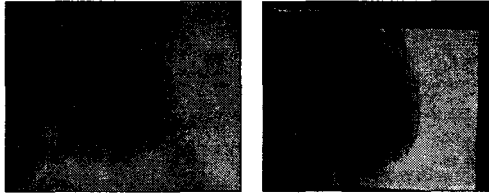


그림 7. 공내 내시경 측정

그림 7에서 보는 것과 같이 공내의 상태는 확연히 내시경을 통해서 구분해서 볼 수 있다. 왼쪽의 경우는 공상태가 양호하여 장약시 crack의 고려가 필요 없으며 오른쪽의 경우는 공동 등 거대한 crack의 존재가 확인되므로 장약 방법 시 주의를 해야 한다.

내시경 측정결과 규모가 작은 crack에서는 장약 시 특별한 조치의 필요가 없었으며 공동의 경우에는 그림 8처럼 공동 윗부분은 에어주머니로 막고 장약을 실시하였다. 장약결과 폭약의 누출 없이 원활한 발파를 시행할 수 있었다.

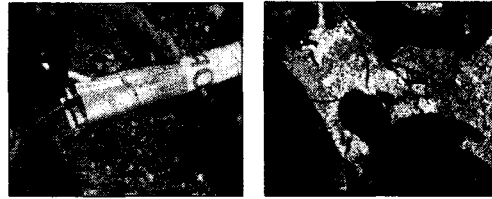


그림 8. 에어주머니 설치

◆ ○○현장 시험 발파

총 4회의 걸쳐 시험 발파를 시행 하였으며 기본 패턴과 비교하여 저항선 및 공간격을 넓혀 가면서 시험을 진행하였다. 비교 data로는 비천공장 (m^3), 비장약량(kg/m^3), 원단위(g/ton)등의 경제성을 분석 하였다. 장약의 실 사용치와 이론적 계산치는 다소차이가 있으므로 파쇄도 등의 분석으로 시험발파 패턴(저항선, 공간격)의 타당성을 검토하였으며 경제성 분석에 대해서는 이론적인 계산 결과로 비교 하였다.

◆ ××현장 시험 발파

총 3회에 걸쳐 시험발파를 시행했으며 ○○현장과 같은 방법으로 실시하였다. 단지 공경에 따른 경제성의 검토 차원에서 시험발파는 76mm 천공경으로 실시하였다.

표 3. ○○현장 시험 발파 제원

구 분	기존 패턴	1차 시험	2차 시험	3차 시험	4차 시험
벤치높이(m)	15	16.4	13.5	14.5	9.2
천 공 경(mm)	89	89	89	89	89
천공수(공)	-	12	18	11	20
저 항 선(m)	3.3	4	4	4.3	4.0
공 간 격(m)	3.5	4.5	4.5	4.8	4.5
평균천공장(m)	-	18.17	16.00	16.97	11.76
비장약량(kg/m^3)	-	0.333	0.379	0.323	0.339
비천공장(m^3)	-	0.061	0.059	0.053	0.089

표 4. ××현장 시험 발파 제원

구 분	기존 패턴	1차 시험	2차 시험	3차 시험
벤치높이(m)	15	14.5	15.0	15.0
천공경(mm)	76	76	76	76
천공수(공)	-	10	10	13
저항선(m)		3.5	3.8	3.8
공간격(m)		3.7	4.3	4.3
평균천공장(m)	-	15.53	16.84	16.28
비장약량(kg/m ³)	-	0.371	0.299	0.288
비천공장(m/m ³)	-	0.085	0.068	0.066

5.3 시험 결과

◆ 파쇄도 결과 분석

파쇄도 분석은 Split-Desktop 프로그램을 사용하였으며 기존 패턴과 파쇄량이 가장 큰 시험발파 패턴을 비교 하였다.

표 5. 파쇄도 결과

구 분	기존 패턴	시험발파 패턴
○○현장	36.4cm	33.8cm
××현장	32.6cm	31.2cm

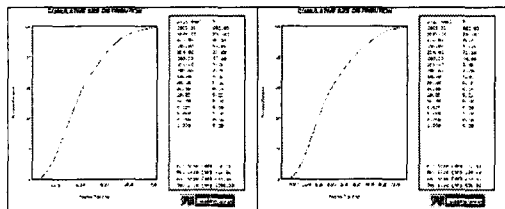


그림 9. ○○현장 파쇄도 분석 결과

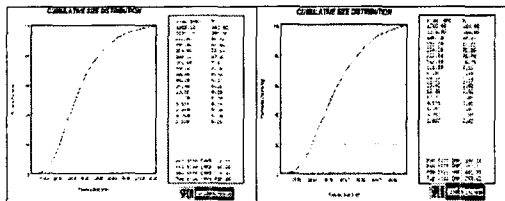


그림 10. ××현장 파쇄도 분석 결과

파쇄도 결과 분석으로 파쇄량을 가장 많이 얻을 수 있는 패턴도 현장에 적용할 수 있다는 결과를 얻을 수 있었다. 파쇄압력의 moving정도도 비슷하였다.

◆ 경제성 분석

상기와 같이 ANFO와 비교하여 국내에 처음 적용되는 HiMEX 시험발파를 통하여 현장에서의 적용성 여부를 실험하였다. 시험의 가장 큰 목적은 현장에서의 기존 패턴 대비 어느 정도의 패턴을 가지고 발파를 시행하느냐에 대한 검증이다.

실험부분에서의 비장약량, 비 천공장 등 정량적인 부분에 대해서는 현장 조건이 확실적으로 같지 않으므로 정량적인 분석이 불가하여 각 폭약의 비중과 시험발파를 통해서 구해진 발파 패턴을 가지고 비교, 분석하기로 한다

두 폭약의 비중 차이로 인해 공당 장약량은 Bulk-EMX가 많이 소요되나 저항선 및 공간격이 커지면서 파쇄량이 많아 비장약량은 오히려 감소하는 효과를 볼 수 있었다. 또한 비천공장 역시 감소되었다.

천공경이 다른 두 현장에서 시험한 결과 공경이 큰(89mm) 현장에서 그 경제적인 효과가 더 크게 나타났다. 이는 Bulk-EMX가 대규모 발파에 더 적합하다는 것을 의미한다.

분석결과는 표 6과 표 7에 나타내었다.

표 6. ○○현장 경제성 비교

구 분	ANFO	Bulk-EMX
벤치높이(m)	15	15
천공경(mm)	89	89
비 중(g/cm ³)	0.8	1.18
천공수(공)	10	10
저항선(m)	3.3	4.3
공간격(m)	3.5	4.8
메지장(m)	3	3
장약장(m)	12	12
총장약량(kg)	596.9	880.5
파쇄량(m ³)	1559.25	2786.4
비장약량(kg/m ³)	0.383	0.316
비천공장(m/m ³)	0.096	0.054
원단위(g/ton)	142	117

표 7. ××현장 경제성 비교

구 분	ANFO	Bulk-EMX
벤치높이(m)	15	15
천공경(mm)	76	76
비 중(g/cm ³)	0.8	1.18
천공수(공)	10	10
저항선(m)	3.2	3.8
공간격(m)	3.2	4.3
메지장(m)	3	3
장약장(m)	12	12
총장약량(kg)	435.3	642.0
파쇄량(m ³)	1382.4	2205.9
비장약량(kg/m ³)	0.315	0.291
비천공장(m/m ³)	0.109	0.068
원단위(g/ton)	117	108

표 8. 두 현장 결과 비교(Bulk/ANFO ×100%)

구 분	○○현장	××현장
비장약량(kg/m ³)	82	92
비천공장(m/m ³)	56	62
원단위(g/ton)	82	92

위의 결과로부터 천공수를 동일하게 발파를 할 때 천공경이 89mm인 현장에서는 파쇄물량을 178%, 천공경이 76mm인 현장에서는 파쇄물량을 160%까지 증가시켜 발파패턴을 결정할 수 있다는 분석을 할 수 있다.

6. 현장 검증

시험발파를 통하여 기본 패턴을 설정 하였는데 이는 시험발파 횟수가 불과 3~4회 정도여서 실제 적으로 현장에서 사용하였을 때 그 효과를 볼 수 있을지를 검증하기 위해 제천지역의 성신양회와 현대 시멘트에서 한달 씩 사용하여 그 결과를 검증하였다.

Data분석은 기존에 두 현장에서 ANFO사용 발 파 시의 실제 사용량과 한 달 동안의 Bulk-EMX사 용량을 비교 하였다. 두 현장의 기본 패턴은 있으나 발파가 한 달 동안에 정량적으로 이루어지지 는 않아 몰량대비 화약 소비량으로 그 결과를 비교하 였다.

표 9. 두 현장 기본 패턴(ANFO, 평균 치)

구 분	현대영월	성신양회
벤치높이(m)	15	15
천공경(mm)	76	89
저항선(m)	3.2	3.3
공간격(m)	3.2	3.5
원단위(g/ton)	127.4	130.0

표 10. 두 현장 적용 패턴(Bulk-EMX, 평균 치)

구 분	현대영월	성신양회
벤치높이(m)	15	15
천공경(mm)	76	89
저항선(m)	4.0	4.3
공간격(m)	4.0	4.8
원단위(g/ton)	126	123.0

표 11. 두 현장 결과 비교(Bulk/ANFO ×100%)

구 분	현대영월	성신양회
비장약량(kg/m ³)	99	95
비천공장(m/m ³)	50	65
원단위(g/ton)	99	95

실제 현장 검증 결과 시험발파를 통한 이론적인 계산치와는 그 효과가 떨어졌다. 76mm사용 현장에서의 원단위(g/ton)가 이론적 계산치는 92%수준이었으나 현장 사용 결과 99%수준으로, 89mm사용 현장에서는 원단위(g/ton)가 이론적 계산치는 82%수준이었으나 현장 사용 결과 95%수준으로 나타났다. 이런 차이는 오랜 기간 사용해온 ANFO보다 그 작업 능률이 좋지 않아 발생한다고 판단된다.

그러나 비 천공장은 35~50%정도 동일하게 감소되는 결과가 나왔다.

7. 결 론

본 연구는 현재 해외 대규모 발파에 사용되고 있는 Bulk-EMX를 국내에 적용하고 그 경제성을 분석하고자 시행되었다. 3~4회의 시험발파를 시행하여 국내 현장에 적당한 패턴을 설정하였으며 두 현장에서의 한 달 동안의 실제 사용을 통해 그 경제성 및 작업성 등을 평가 하였다. 위의 시험으로 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) 동일 불량 파쇄 시 비 장약량은 5%정도 감소를 보였고, 비 천공장은 최대 50%의 감소 효과를 볼 수 있었다. 비 천공장은 35~50%의 감소를 볼 수 있었다.

(2) 패턴 설정 후 이론치와 실측치의 차이가 10%정도 발생 하였는데 이는 사용상의 미숙에서 기 인하므로 사용기간에 비례하여 그 오차는 줄어들 것으로 예상 된다.

(3) 소구경(76mm)보다는 대구경(89mm)에서 경제적인 효과가 더 크게 나타났다. 현재 석회석 광산에서의 벤치 발파가 대구경(105mm)으로 바뀌는 추세이므로 그 경제성은 더 커질 것이다.

(4) 기존의 ANFO와는 달리 수공에서의 장약이 가능하므로 작업의 숙련화만 된다면 경제성 뿐만 아니라 안정성 및 양호한 발파 결과를 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 정천체, 2000, 벌크 에멀전 블랜드 폭약의 특성 고찰, 대한화약발파공학회, 제18권 제3호, pp.15~28
2. 기경철, 김일중, 2002, "발파공학" 동화기술 pp.107~128