

뉴 화이넥카를 이용한 발파패턴 실용화 방안

Practical Use of Blast Pattern Utilizing New Finecker

이 천식, 이 윤재, 김 형섭, 송 영석, 권 오성

Chun-Sik Lee, Yun Jae Lee, Hyung-Seob Kim, Yung Seok Song, Oh Sung Kwon

(주) 한 화

초 록

시가지 또는 중요한 구조물, 시설물 가까이에서 암반 또는 콘크리트를 파쇄해야 할 경우 제어발파공법 및 기계식 파쇄공법이 사용되고 있으나 기계식 파쇄공법은 발파보다 경제적인 효율이 다소 떨어진다. 따라서 도심지역에서는 제어발파의 발달과 미진동 및 저진동 발파방법이 활용되고 있다. 그 방법 중에 주변 환경에 악영향을 미치지 않고 정적으로 파쇄를 실시할 수 있는 방법으로서 (주)한화에서 개발한 뉴 화이넥카를 이용한 건설 토목현장에서의 실용성을 위하여 뉴 화이넥카의 개선 성능과 적합한 발파패턴을 제시하는데 목적이 있다

핵심어 : 뉴 화이넥카, 제어발파, 미진동 발파

1. 서 론

우리 나라와 같이 산악이 발달된 곳에서의 건설·토목공사는 대체적으로 암반 굴착작업이 수반된다. 발파작업은 화약류를 사용하는 작업의 총칭으로 발파작업이 실시되는 작업현장은 깊은 산속에서 부터 건물이 밀집하는 도심지역 까지 위치하게 되며 발파작업에 따른 안전과 환경에 미치는 영향은 무시할 수 없다. 요즘 증가하고 있는 시가지 또는 중요한 구조물, 시설물 가까이에서 암반 또는 콘크리트를 파쇄해야 할 경우 제어발파공법 및 기계식 파쇄공법이 사용되고 있으나 기계식 파쇄공법은 발파보다

경제적인 효율이 다소 떨어진다. 따라서 도심지역에서는 제어발파의 발달과 미진동 및 저진동 발파방법이 활용되어지고 있다. 그 방법 중에 주변 환경에 악영향을 미치지 않고 정적으로 파쇄를 실시할 수 있는 방법이 있다. (주)한화에서 개발한 뉴 화이넥카를 이용한 건설 토목현장에서의 실용성을 위하여 뉴 화이넥카의 개선 성능과 적합한 발파패턴을 제시하는데 목적이 있다.


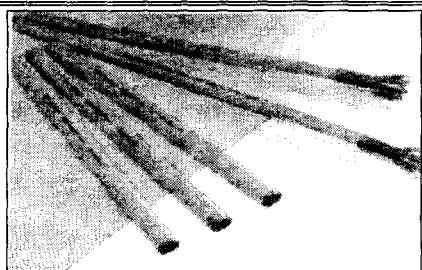
2. 기존 생산 제품 소개

(주)한화에서 기존에 생산되는 제품은 Table.

1과 같다.

Table. 1 (주)한화의 화약류 생산 품목 및 특성

	MegaMITE	NewMITE PLUS	ANFO PLUS
구분			
특징	<ul style="list-style-type: none"> ●현재 국내 폭약 중 위력 최대. ●발파효율을 증대 시킬 수 있음. ●함수폭약, 에멀전폭약에 비해 내압성이 가장 우수 ●순폭도가 가장 우수(4 ~ 8) ●폭발속도가 우수하여 타폭약의 Primer로서 월등한 효과 발생 ●경암 등의 동적효과를 요하는 발파장소에서 효과적임. ●국내에서 약 70년 동안 사용한 폭약으로 사용자들이 편리하게 사용 	<ul style="list-style-type: none"> ●안전성 폭약으로 마찰, 불 또는 기타 기계적 자극을 통한 우연한 기폭에 대해 극히 둔감 ●연료와 산화제간에 밀접한 접촉으로 신속하고 완전한 폭약 연소를 하게 됨. ●내수성이 우수. (물기가 많은 곳에서도 효과적임) ●혹한, 혹서에 안정. (-20℃~60℃의 온도 범위내에서 영향을 받지 않음) 	<ul style="list-style-type: none"> ●연암 적용 ●석회석채굴에 많이 사용 ●용출수가 있는 지역에서 적용이 어려움 ●큰 대피가 발생
단점	<ul style="list-style-type: none"> ●후가스가 다소 불량. ●1년이상 장기 보관시 흡습등으로 위력이 다소 감소 	<ul style="list-style-type: none"> ●경암~극경암지역에서는 발파효과가 저하된다 ●순폭도 저조(1 ~ 2) ●사압현상 발생. ●정기폭, 중기폭시 잔류약 발생 	<ul style="list-style-type: none"> ●터널발파시 장전불량 ●경암 발파에 부적합 ●후가스가 불량 ●수공 및 흡공 사용곤란

	도 폭 선	정 밀 폭 약
구분		
특징	<ul style="list-style-type: none"> ●SB용이나 사면 발파용으로 사용 ●뇌관 기폭성 폭약에 의해 기폭 가능 ●모암의 균열, 여굴 방지용 ●방수 및 내마모성이 우수하고 취급간편 	<ul style="list-style-type: none"> ●여굴 억제를 위한 제어발파용, 터널 설계 굴착선공 등에 사용 ●대절토 사면 굴착 경계부의 암반 균열이나 이완영역 억제용

3. 뉴 화이넥카 제품 특성

3.1 개요

미진동 파쇄기는 고열 반응에 의한 순간적인 열팽창으로 암석에 균열이 발생하는 원리를 이용한 제품으로써 미진동 파쇄기 전용의 점화구를 사용하여 발파를 하고, 최근 도심지나 보안 건물에 있는 곳에서 콘크리트, 암반 및 교각 등을 발파 시 진동, 소음제어와 비산물 방지를 위한 발파현장에서 사용되는 화공품이다. 미진동 파쇄기의 적용 범위가 제한되는 단점 및 철폐 현상을 보완하기 위하여 위력을 30% 향상하여 콘크리트 파쇄는 물론 암반의 파쇄도 원활히 할 수 있는 뉴 화이넥카를 개발하였다.

3.2 원리

콘크리트, 암반, 돌등의 폭파에 관계된 파괴 이론은 크게 동적파괴 이론과 정적파괴 이론의 두 가지로 나눌 수 있으며, 발파에 의한 파괴는 진원지에서의 폭발압력이 피파괴체의 압축강도보다 크기 때문에 진원지 주변에는 분쇄권이 형성된다. 정적파괴 이론에 의하면 압축 주응력의 방향으로 분쇄권 외곽에서 균열이 일어나며, 동적파괴 이론에 의하면 충격파의 반사인장과 때문에 균열이 일어난다. 일반적으로 압축 주응력은 저폭속이나 폭연하는 성질이 있는 화약 사용 시에의 파괴에 지배적이고, 반사 인장파는 고폭속과 고맹도의 폭약발파 시 지배적이다. 그러므로 정적파괴 이론은 전자, 동적파괴 이론은 후자에 적용 될 수 있다.

미진동 파쇄기는 가스량이 적고, 반응온도가 높으며 반응속도가 늦은 특수한 물질이 사용되며 그 파괴원리는 다른 화약류와 같이 폭발 반응의 충격파에 의한 파괴가 아니라 주로 압축 주응력에 의한 정적파괴에 근거하고 있다.

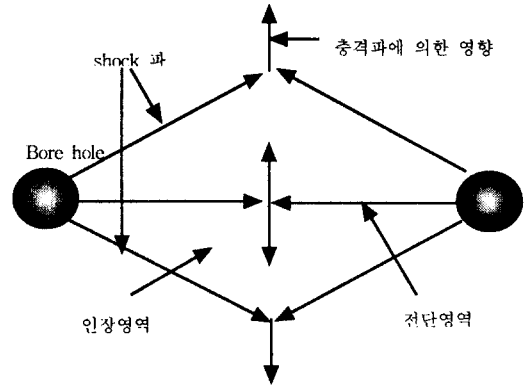


Fig 1. 정적 파괴 원리

3.3 특징 비교

기존 생산하던 화이넥카와 뉴 화이넥카를 비교하였다. Table. 2에서와 같이 개방연소속도는 1.2cm/sec연소열량은 134cal/g, 가스발생량은 190 l/kg정도 높이고, 발화점은 60℃, 용융점은 5℃를 낮추었으며 낙추감도 및 마찰감도는 동일하게 생산한다. 따라서 전체적으로 기존의 화이넥카보다 30%의 안정도를 향상하였다.

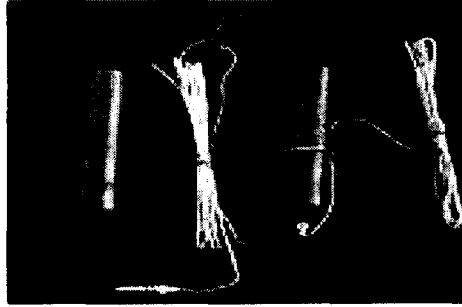

3.4 타 폭약과의 비교

(다이너마이트와 미진동파쇄기 발파에 의한 지반진동속도 비교에 대한 내용의 일부)

- 전북대학교 김일중교수

발파작업상 주변건물과 시설물 등으로부터 근거리에서 있는 2자유면 상태의 암반을 대상으로 한 시험발파를 실시하여 다이너마이트발파에서 120개, 미진동파쇄기발파에서 68개의 지반진동속도 계측치를 얻었다. 이 계측자료를 근거로 폭원과의 거리와 지발당장약량의 변화에 따른 지반진동속도의 변화경향과 주변 구조물로부터의 안전한 발파 시공거리에 대해서 고찰하였다.

Table 2. Specification each Products

구 분	기존 제품	뉴 화이넥카
제 품 사 진		
개방 연소속도 (cm/sec)	2.3 ~ 3.4	3.5 ~ 4.8
연소열량 (cal/g)at n ₂	566	655 ~ 712
가스발생량 (l/kg)	150 ~ 160	320 ~ 350
발화점℃	390	322 ~ 330
용융점℃	19 % 200℃	14 % 200℃
낙추감도 (cm)	17	17
마찰감도 (kg)	36 이상	36 이상

시험결과는 다음과 같이 정리할 수 있다. 0.12kg을 사용한 다이너마이트발파의 지반진동 폭원과의 거리 7.4m 이상에서 지발당장약량 속도는 지발당장약량 0.96kg을 사용한 미진동과

Table 3. 7개 장소에서 채취한 암석시료의 시험결과

Site	Uniaxial compressive (kg/cm ³)	Tensile Strength (kg/cm ³)	Elastic modulus (×10 ³ kg/cm ³)	Specific Gravity	Porosity (%)
A	1250~1430	116~130	4.2~4.7	2.60~2.68	0.85~0.95
B	1350~1480	120~135	4.1~4.9	2.63~2.69	0.80~0.92
C	1200~1450	108~128	3.8~4.6	2.64~2.70	0.78~0.98
D	1280~1420	110~130	4.0~4.5	2.65~2.70	0.77~0.93
E	1380~1440	120~135	3.9~4.9	2.60~2.69	0.85~0.92
F	1250~1450	110~140	4.2~5.1	2.64~2.68	0.88~0.96
G	1320~1410	115~133	3.9~4.8	2.63~2.68	0.79~0.98

쇄기발파의 지반진동속도보다 높고, 지발당장약량 1.33kg 미만을 사용한 발파의 경우에 폭원과 10m 거리에서 미진동과쇄기발파의 지반진동속도는 다이너마이트발파의 20m 거리에서의 것보다 낮다. 지발당장약량 0.12kg을 사용한 발파의 경우 폭원과 10m 거리에서 미진동과쇄기발파의 지반진동속도는 다이너마이트발파의 5.5%에 해당한다.

Table 4. 진반진동 측정결과

Explosive	distance(m)	Charge per delay (kg)	Ground vibration velocity	Remarks
Dynamite	17.0~50.2	1.250	3.56~36.83	
	30.2~73.2	1.000	1.87~14.03	
	29.5~77.2	0.625	1.60~6.78	
	37.5~76.3	0.500	2.22~6.14	
Finecker	20.4~53.0	0.960	0.32~2.59	Change per cycle
	23.0~45.6	0.720	0.27~1.19	
	30.0~39.8	0.480	0.27~0.60	
	16.5~23.5	0.240	0.27~0.86	

4. 시험 파쇄

4.1 콘크리트 파쇄력 시험

기존의 화이넥카와 뉴 화이넥카의 파쇄력을 확인하기 위하여 동일 조건(콘크리트 공시체)에서 시험을 실시하였으며 기존 화이넥카의 단점인 철판현상에 대하여 뉴 화이넥카도 발생이

될 수 있는가에 대한 시험을 위하여 전색을 모래와 EPOXY로 구분하여 시험을 실시하였다.

4.1.1 시료제작

콘크리트(강도 220 ~ 350kg/cm²)를 100 × 100 × 100(cm) 정사각형의 시료 가운데에 30mm의 천공구멍을 40cm의 길이로 성형하여 장약을 30g을 실시하고 전색을 일반모래와 EPOXY 구분하여 파쇄의 형태를 보았다.

전색제

- 일반 모래
- EPOXY AT-100
(주제 : 경화제=1 : 2, 6시간 경화)

Table 5. Concrete Mix Ratios

Mix Type	Ratio (중량비)	일축압축강도 (kg/cm ²)	비고
물: 시멘트 : 모래 : 감수제	0.4 : 1 : 2.45 : 0.01	348	감수제 : 시멘트 몰타르 유효성을 갖게함

4.1.2 시험결과

기존의 화이넥카 30g과 전색제를 일반 모래로 하였을 때는 Fig. 2에서처럼 철판현상과 함께 파쇄가 거의 일어나지 않는 것으로 나타났

Table 3. 7개 장소에서 채취한 암석시료의 시험결과

구 분		장약량	천공길이	메지방법	발파 결과
기존 화이넥카	# 1	30 g	40 cm	일반모래	- 철판 발생 및 파쇄 불량
	# 2	30 g	40 cm	EPOXY	- 파쇄 양호, 비산거리 0.5m
뉴 화이넥카	# 3	30 g	40 cm	일반모래	- 파쇄 우수, 비산거리 1.5m
	# 4	30 g	40 cm	EPOXY	- 파쇄 가장우수, 비산거리 3m

으며, EPOXY 사용시에는 Fig. 3와 같이 최대 비산거리 0.5m에 파쇄도는 양호하게 나타났다. 또한 뉴 화이넥카를 일반 모래로 사용했을 때는 Fig 4에서 처럼 파쇄도가 우수하며 최대 비산거리는 1.5m이며, 전색제를 EPOXY로 사용시 파쇄도는 가장 우수하며 최대비산거리는 3m로 나타났다. 이 결과에 따라 뉴 화이넥카를 일반 암반발과 현장에서 별도의 경화제 없이 일반 모래로 작업을 하여도 공발에 대한 위험이 적어짐을 알 수 있다.

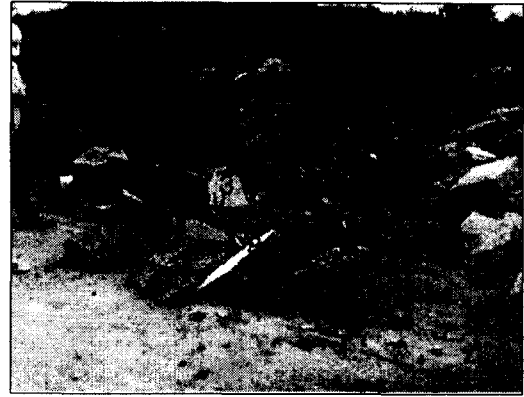


Fig. 4 Result of #3 Test



Fig. 2 Result of #1 test



Fig. 5 Result of #4 Test



Fig. 3 Result of #2 test

4.2 암반 파쇄력 시험

실 공사현장에서 뉴 화이넥카의 실용성 여부와 기존의 화이넥카와의 위력을 비교하고 최소 전색길이에 따른 철포발생 유무를 확인하고 적합 발파패턴을 제시하기 위하여 시험을 실시하였다.

4.2.1 공사 현황

가. 일 자 : 2001년 6월 20일

나. 장 소 : 진주 - 통영간 고속도로 제 22 공구

4.2.2 발파 현황

총 4회에 걸쳐 시험발파를 실시하였으며 Fig.6과 같이 A,B,C,D 4개의 site로 구분을 하였으며 A site는 최소 전색 길이에 대한 철폐발생유무의 확인이고, B site는 기존 화이넥카와의 동일한 조건에서의 발파위력을 비교하고자 하며, C site는 A site와 비교하기 위하여 기존의 화이넥카를 사용하였고, D site는 B site와 비교하기 위하여 기존의 화이넥카를 사용하여 시험을 실시하였다. 시험 전날 호우로 인하여 A site와 B site 지점에서는 수공이 발생하였다. 현장으로부터 약 150m 거리에 민가가 있고 진동 및 소음 계측은 각각의 발파지점으로부터 약 15m에서 40m 이격된 구간에서 실시하였다. 현장 조건에 따라 천공경은 51mm로 실시하였고, 전색은 모래비닐과 현장 주위 암분을 사용하여 다짐을 실시하였다.

4.2.3 발파 결과

과대한 천공경(51mm)사용에도 불구하고 뉴 화이넥카의 현장 적용성은 양호하게 분석되었다. Table 7에서와 같이 A site의 경우 최소전색길이를 1m로 하여 시험을 하였으며 철폐 현상은 일어나지 않았다. B site에서 보면 수공에서 장약을 못한 공에서 저항선으로부터 이격거리가 멀어짐에 따라 1공에서 철폐현상을 나타내었다. 기존의 화이넥카는 철폐현상이 3공과 8공으로 일반 모래와 암분으로 전색을 하였을 경우 그 발생율이 높은 것으로 나타났다. 또한 뉴 화이넥카를 적용한 A site와 B site의 파쇄 형태는 양호하게 나타났으나 기존의 화이넥카를 사용한 C site와 D site는 부분적 균열만 발생하였다.

진동 및 소음은 측정 거리 30m에서 40m 구간에서 0.3 cm/sec, 80dB이하로 계측이 되었으며, A site에서는 Trigger가 되지 않았고 C site와 D site는 공발에 의한 소음치가 높게 발

생되고 진동은 암반에 균열을 진행시키지 못하여서 B에 비하여 낮게 측정이 되었다.



Fig. 6 Test Site



Fig. 7 Test Site



Fig. 8 Charge



Fig. 9 Tamping

Table 7. Specifications of Test

발과 제원	A site	B site	C site	D site
암반 종류	세일층(연암)	변성 안산암(중경암)	세일층(연암)	변성 안산암(중경암)
자유면 수	1 자유면	2 자유면	1 자유면	2 자유면
천공경(mm)	51	51	51	51
천공수	5공 (수공 : 1공)	13 공(수공 : 3공)	6공(수공 : 無)	20공 (수공 ; 無)
천공길이(m)	1.4	2.0	1.4	2.0
천공간격(m)	0.8 ~ 1m	1.2 ~ 1.5m	0.8 ~ 1m	1.2 ~ 1.5m
최소저항선(m)	0.8 ~ 1m	1.2 ~ 1.5m	0.8 ~ 1m	1.2 ~ 1.5m
적용폭약	뉴 화이넥카	뉴 화이넥카	기존 화이넥카	기존 화이넥카
장약량/공	180g × 1본	180g × 2본	60g × 3본	60g × 6본
총 장약량	0.9kg	4.68kg	1.08kg	7.2kg
전색 종류	모래 + 암분	모래 + 암분	모래 + 암분	모래 + 암분
전색길이	1 m	1.3 m	1 m	1.3 m

Table 8. Result of Test

구 분	A site	B site	C site	D site
철포 발생공수	無	1 공	3 공	8 공
암반 파쇄형태	양호	양호	부분적 균열 발생	자유면쪽 모암 파쇄 및 암반의 부분적 균열
공당 장약량	180g	360g	180g	360g
1회 총장약량	0.9kg	4.68kg	1.08kg	7.2kg
계측 거리	30 m	40 m	30 m	40 m
발과 진동	N/A	0.149	0.148	0.23
발과 소음	N/A	70.7	72	79.2



Fig. 10 Fragmentation of A Site



Fig. 12 Blow-Out Shot of D Site



Fig. 11 Blow-Out Shot of B Site

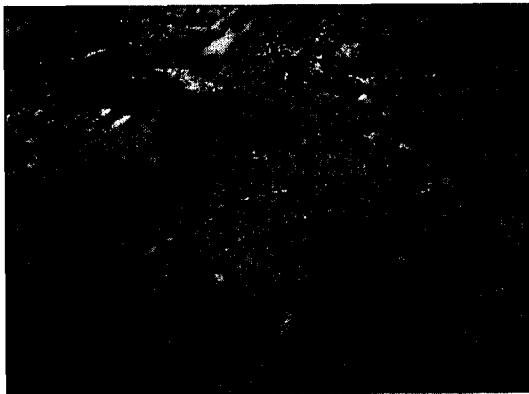


Fig. 11 Fragmentation of C Site

5. 대안 발파 설계

뉴 화이넥카의 실제 암반 발파설계시 고려사항은 천공장, 전색장, 최소저항선, 공간격, 장약량이며 암반의 조건과 자유면의 수에 따라 발파패턴이 결정된다.

5.1 전색(Tamping)

미진동 파쇄기는 열을 이용한 GAS 팽창으로 암석파괴가 주로 이루어지며 점화 후 파쇄가 완료될 때 까지 공구로부터 가스가 새어 나오므로 단단히 밀폐 할 필요가 있다. 밀폐가 불완전하면 철포현상이 일어나 비석의 원인이 되고 파쇄효과가 저하된다.

Table 10. 모래 전색과 시멘트 몰타르 전색의 경우 전색장

구 분	수 량	모 래	몰 탈
60 g	1 本	90 cm 이상	80cm 이상
	2 本	100cm 이상	90cm 이상
180 g	1 本	100cm 이상	90cm 이상
	2 本	120cm 이상	110cm 이상

주. 1) 상기표의 수치는 여러공을 동시에 발

파하는 경우이며 1공만 발파시는 철포 현상이 생기는 경우가 있다.

2) 미진동 파쇄기의 점화구 각선길이는 2.0m이며, 천공장 1.5m 정도에서 능률적인 작업 수행이 가능하다.

5.4 공경(Hole Diameter)

미진동파쇄기는 약경이 $\phi 30\text{mm}$ 이므로 전색 효과, 파쇄효과, 천공능률을 고려하면 $\phi 38\sim 45\text{mm}$ 의 Bit를 사용하는 것이 바람직하다.

5.5 장약량 계산

5.2 천공 (drilling)

Table 9. 대안발파시의 천공도

구 분	평면도	단면도
일자유면		
이자유면 (이상)		

5.3 최소저항선(Burden), 공간격

저항선이 짧으면 파잉에너지가 비석을 발생 시키므로 알맞은 저항선이 필요하다. 공간격은 최소저항선과 동일하게 하여야 한다.

장약량 계산은 암반의 성질에 따라 결정되어진 발파계수에 의한 상수로 결정이 되어진다.

$$\text{장약량}(L) = C \cdot D^2 \cdot W$$

Table 11. 공간격과 최소저항선

구 분	수 량	최소 저항선
60 g	1 本	40 cm ~ 50 cm
	2 本	50 cm ~ 70 cm
180 g	1 本	60 cm ~ 80 cm
	2 本	80 cm ~ 100 cm

Table 12. 장약량 계산

구 분	일자유면	이자유면
	c 값	c 값
경 암	0.37 ~ 0.64	0.28 ~ 0.4
보통암	0.29 ~ 0.46	0.22 ~ 0.28
연 암	0.23 ~ 0.34	0.18 ~ 0.2

5.6 설계 예

Table 13. 실 설계 예

구분 압질	일자유면			이자유면			
	천공장(m)	공간격(m)	장약량(gr)	천공장(m)	저항선(m)	공간격(m)	장약량(gr)
경 압	1.2	0.5	180	1.2	0.5	0.5	120
	1.5	0.6	240	1.5	0.6	0.6	180
	1.8	0.7	360	1.8	0.7	0.7	300
	2.0	0.8	420	2.0	0.8	0.8	360
보통압	1.2	0.6	180	1.2	0.6	0.6	120
	1.5	0.7	240	1.5	0.7	0.7	180
	1.8	0.8	360	1.8	0.8	0.8	300
	2.0	0.9	420	2.0	0.9	0.9	360
연 압	1.2	0.7	180	1.2	0.7	0.7	120
	1.5	0.8	240	1.5	0.8	0.8	180
	1.8	0.9	360	1.8	0.9	0.9	300
	2.0	1.0	420	2.0	1.0	1.0	360

5. 결론

기존의 화이넥카의 단점을 보완하는 차원에서 뉴 화이넥카를 생산 이를 비교 실험 한 결과, 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

가. Tamping(메지)에 따라 철폐현상 및 파쇄도에 큰 영향을 미친다.

즉, 기존의 제품이라 할 지라도, 메지의 정도에 따라 철폐 현상 방지 및 파쇄도가 양호할 수 있으며, 신제품인 뉴 화이넥카는 메지에 의한 영향을 줄임으로써 발파의 효과를 증대 시켰다.

나. 저항선, 공간격이 멀 때에는 파쇄도가 좋지 않아서 철폐 현상이 발생하였다.

다. 1회 발파 시 4.68kg을 사용한 경우 발파 진동은 0.149 kine이 나왔으며, 소음은 70.7 dB로 매우 적게 나왔으며, 철폐현상도 기존의 폭약보다 현저히 줄어들음을 알 수 있다.

또한 철폐 현상이 발생을 하더라도, 기존의 화약을 사용했을 때보다, 그 소음이 적음을 알 수 있다.

라. 2자유면 발파 시 패턴대로 시험한 결과, 진동, 낮은 소음강도 등 양호한 결과를 얻을 수 있었다.