

# 에멀션 계열의 New FINEX 특성 고찰

## A Study on Characteristic of The New FINEX of a Emulsion Explosives

이 천식, 정 민수, 송 영석, 양 난주

Chun Sik Lee, Min Su Jung, Young Suck Song, Nan Joo Yang

(주) 한화

### 초 록

터널의 1차 슛크리트 라이닝의 설계선 외측 부분에 발파시 주변에 방사상으로 발생하는 균열들을 제어하기 위하여 Smooth-Blasting 공법 적용하여 외곽공에 정밀폭약(FINEX)을 사용한다.

(주)한화에서는 Smooth-Blasting 공법의 중요사항인 폭약선정 사항에서 기존의 G/D 계열의 FINEX를 동일 발파조건에서 여굴 및 미굴의 발생을 최소화시키기 위해 에멀션 계열의 New FINEX를 개발하여 약종 별로 동일 발파 패턴을 적용하여 터널에서 시험발파를 실시하여 천단 및 좌, 우 측벽의 여굴의 발생범위를 계측장비와, Half Casting을 측정하였다.

현장 시험발파를 통한 결과 흑운모 편마암(일축강도 1500 Kg/cm<sup>2</sup>)에서 여굴제어는 G/D계열의 FINEX 보다 EMX 계열의 New FINEX가 15~50% 정도 감소가 되었다,

핵심어 : 여굴제어, 균열 반경, Half Casting, EMX 계열 New FINEX, 흑운모 편마암

### 1. 서 론

터널의 1차 슛크리트 라이닝의 설계선 외측 부분에 여분으로 굴착된 것을 여굴이라 하며 굴착되지 않은 부분을 미굴이라 한다. 이러한 여굴과 미굴의 발생은 Breaker 작업의 지연, 버력 반출량 증가, 슛크리트 타설량의 증가를 초래하게 되어 공사비 증가의 원인이 된다. 따라서 여굴과 미굴을 제어하여 미려한 파단선을 확보함과 back break를 최소화하며 터널의 안정성 확보를 목적으로 Smooth-Blasting등과 같은 제어

발파 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 이는 폭력의 제어를 약경과 공경과의 최적 관계를 나타내어 Decoupling 효과를 이용하여 설계굴착선 외곽공에 정밀폭약(FINEX)을 사용한다. 따라서, (주)한화에서는 정밀폭약으로 인한 여굴 및 미굴의 발생 인자를 최소화시키고 기존 제품의 문제점을 개선하기 위해 에멀션 계열의 New FINEX를 개발하게 되었다.

본 연구에서 동일 압중 및 발파 패턴을 적용하여 폭약의 주요 성분 및 특성에 따라 G/D 계열 FINEX와 EMX 계열의 FINEX를 적용하여 현장 시험을 실시하였다.

## 2. 실험 방법 및 현장

본 연구는 이종의 폭약을 이용하여 동일 압질, 발파 패턴에서 균열 반경에 따른 여굴을 측정을 실 터널에서 실시하였다.

이종의 폭약을 적용한 발파현장 실험은 강원도 000 복선화 전철 6공구에서 실시하였으며 구성 암반은 광역변성작용을 받은 흑운모 편마암이 분포하고 있다. 실험 순서는 기존의 FINEX를 적용하여 외각선공에서 0.6m의 공간격과

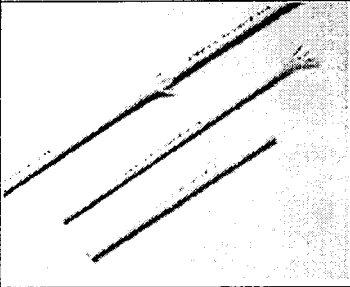
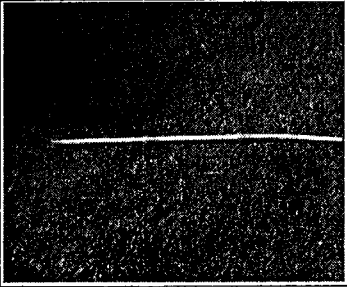
0.7m의 저항선으로 천공하여 공당 장약량은 기폭약포로 MegaMITE I을 0.375kg과 FINEX 0.7kg, 7분을 장약하여 전색을하고 발파를 하여 여굴 및 미굴 발생현황을 분석하였고, New FINEX를 적용하여 동일 발파 패턴과 동일 압반에서 발파를 적용하여 폭약별 여굴 및 미굴 발생현황을 분석 및 비교를 하였다.

### 2.1 기존 FINEX와 New FINEX 제품 비교

표 1. 규격 비교

구분	약경 (mm)	약장 (mm)	분당중량 (g)	상자당 포장수량 (EA/box)	상자당순중량 (kg/box)	포장형태	색상
G/D 화이넥스 (FINEX-I)	17	425	100	250	25	plastic pipe	노란색
EMX 화이넥스 (New FINEX-I)	17	425	100	200	20	plastic pipe	노란색

표 2. 제품성능 비교

구분	G/D FINEX	EMX FINEX	비 고
제품사진			case 연질⇒경질, case T2mm 증가, 날개 연결부위 개선
성분계열	NG 계열	에멀션 계열	두통 발생 개선
약 상	분상	겔상	흡습 개선
폭속(m/sec)	4,400	4,500	감폭능력 개선
내수성	보통	최우수	최초 충격파 증가
순폭도	1	1	유출수로 인한 흡습 개선
순폭도는 대등하나 순폭 영향인자 개선			
case 변화	연질	경질	case T2mm 증가 case 연질⇒경질

2.2 기존 제품 문제점 개선 및 개선 사항

① 공내 유출수, 천공 작업시 공내 잔류하는 물 등의 원인으로 흡습에 의한 불발.(그림 1)

☞ 개선사항

분상 ⇒ 에멀션 계열로 개선함으로써 내수성을 향상시켜 약포의 흡습에 의한 불폭을 감소.



그림 1. 천공 후 공내 잔류하는 물

② 연결의 플라스틱 파이프로 포장되어 취급시 꺾임이나 전열공 발파에 의한 사압발생으로 불발.(그림 2)

☞ 개선사항

플라스틱 파이프 재질의 두께를 2 mm 정도 두껍게 가공하여 파이프의 꺾임이나 사압 등에 의한 영향 감소.

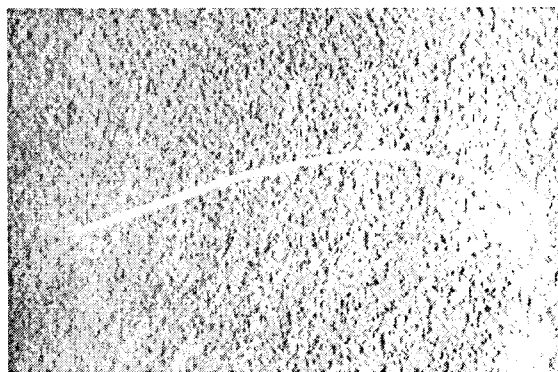


그림 2. 약포의 휨

③ Channel effect(측벽효과)에 의한 약포의 사압발생으로 불발.(그림 3)

☞ 개선사항

플라스틱 파이프의 재질의 두께를 2 mm 정도 두껍게 가공하여 channel effect(측벽 효과)에 의한 영향 감소.

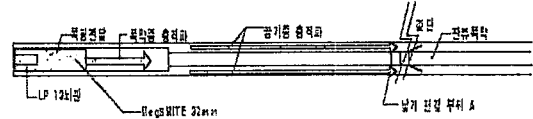


그림 3. Channel Effect

④ 날개 연결 부위가 느슨해 작업 시 또는 전열공 폭발시 약포의 연결부 이탈로 불발.(그림 4)



그림 4. 기존 Finex 연결부분

☞ 개선사항

날개 연결 부위에 홈을 만들어 연결부 이탈 방지.(그림 5)



그림 5. New Finex 연결부분

⑤ NG계열의 원료 사용으로 인한 두통 및 후 가스 발생 문제.

☞ 개선사항

기존 NG계열의 FINEX를 에멀션 계열의 FINEX로 대체.

### 2.3 지질 및 암석상황

본 현장의 암석은 그림 6과 같이 흑운모 편마암이 주종을 이루며, 일축 압축강도는 1400~1700 kg/cm<sup>2</sup>이며, 탄성과 속도는 4500~5200 m/sec이고 기타 물성은 표 3과 같다. 발파위치는 그림 7과 같이 측면도상 계곡지역을 통과하고 있으므로 암반의 풍화로 인한 절리의 발달 및 용수 발생 등의 영향을 많이 받을 것으로 예상된다. 따라서 Face Mapping을 통한 RMR 평가를 적용하여 암반의 등급을 평가하고 발파암 분류를(Lilly) 통하여 발파의 용이성을 평가하여 암반에 따른 표준 발파 패턴을 그림 8과 같이 적용하였다.

표 3. 당 현장 흑운모 편마암의 물성.

물 성	평균값
탄성계수	59.7 GPa
프와송비	0.26
일축강도	1500 kg/cm <sup>2</sup>
탄성과 속도	4800m/sec
비중	2.6g/cc

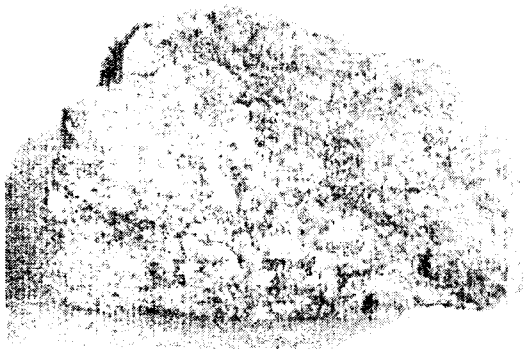


그림 6. 당 현장 암석 사진

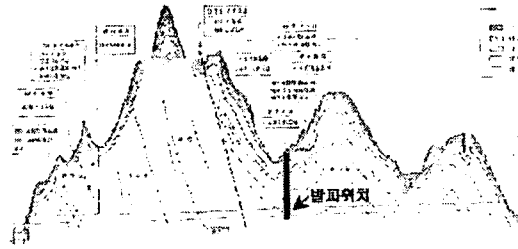


그림 7. 현장 측면도

### 2.4 막장 관찰

본 시험 구간의 막장 현황은 크게 세 개의 절리 군으로 형성이 되어 있으며 보통 45°의 경사를 가지고 막장에 존재하고 있다.

부분적으로 파쇄대가 존재하므로 파쇄대에 의한 파굴착이 예상되며 조절발파면에 절리 등 암반의 틈이 어느 정도 있으면 이는 인장응력에 의해 파괴가 좀더 수월하게 이루어지나 파쇄대처럼 많은 틈이 존재하는 경우에는 파 굴착의 원인이 될 수 있으며, 당 현장은 측면에 틈의 발달로 발파에 파 굴착이 국부적으로 예상되는 부분도 있으므로 폭약별 이 구간에서 여굴 분석을 실시하였다.

절리면에 많은 충전물이 채워져 있으면 이는 발파효과에 악영향을 미치나 당 현장에서는 절리 사이의 충전물이 거의 없으므로 절리에 대한 발파의 악영향은 없을 것으로 판단된다.

당 현장의 막장 Face mapping은 표 4와 같으며, RMR 분류는 지반 역학적 분류라고도 알려져 있는 방법으로 암반 등급을 평가하는 분류법으로 표 5와 같이 나타나며, Lilly가 제안한 발파계수를 변형하여 한국자원연구소에서 1996년에 발표한 발파암 분류법은 6가지 인자를 결정하여 나타낼 수 있으며, 이를 100점이 되게 점수를 배분하여 발파 용이성은 표 6과 같다.

표 4. Face Mapping

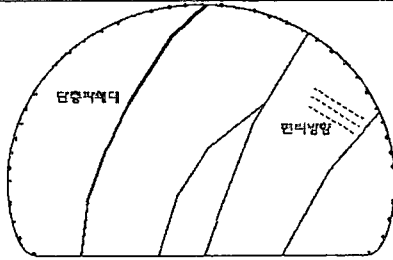
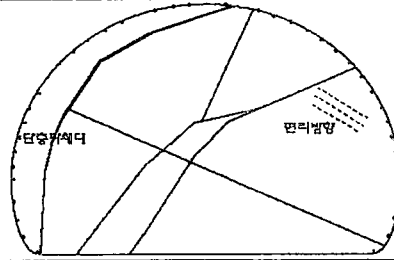
구 분	G/D FINEX(1회)	NEW FINEX(2회)
막장 mapping		
암석명	흑운모편마암	흑운모편마암
RQD(%)	58	63
암반경도	경암	경암
암반 설명	본 막장은 대체로 양호한 암반상태를 보이나 단면좌측 단층파쇄대 부분으로 과굴이 예상된다.	본 막장은 전 막장의 단층 파쇄대가 좌측 상부로 이동하는 경향을 보이고 대체로 양호한 암반상태를 보임. 단면좌측 단층 파쇄대로 과굴 우려.

표 5. RMR 분류

구 분	1차 시험결과		2차 시험결과		비 고
	상 태	RMR점수	상 태	RMR점수	
단축압축강도	1,561kg/cm <sup>2</sup>	12	1,682kg/cm <sup>2</sup>	12	3m정도의 간격을 두고 RMR평가를 한 것이므로 큰 차이는 보이지 않았다. 즉, 암석의 차이에서 오는 시험결과에의 영향은 없는 것으로 판단된다.
RQD	58%	13	63%	13	
절리의 간격	1.5m	15	1.8m	15	
절리면의 상태	다소 거칠며 이격이 없고 풍화의 진행이 없다.	25	다소 거칠며 이격이 없고 풍화의 진행이 없다.	25	
지하수의 상태	젖어 있음	7	젖어 있음	7	
분류점수	72(우수)		72(우수)		

표 6. 발파용이성 분류

인 자	최대배점	1차 시험결과	2차 시험결과
Rock Mass Description	18	9	9
Joint Plane Spacing	27	15	15
Joint Plane Orientation	25	12	12
Specific Gravity Influence	20	6	6
Joint Plane Aperture	7	3	3
Water Inflow	3	1	1
분류 점수	100	46	46
평가		Fair	Fair

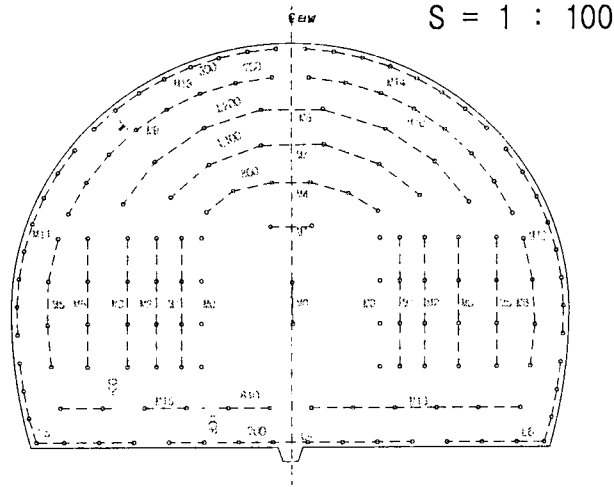


그림 8. 발파 단면도

### 2.5 예상 파쇄범위

암반을 발파시 나타내는 부분은 Failure zone, Damage zone, Disturbed zone으로 나타낼 수 있으며, Failure zone은 암반으로부터 암반 블록이 완전히 분리되는 것이며, Damage zone은 미소파괴가 발생하여 변형계수의 감소, 투수계수의 증가 등과 같은 암반특성의 영구적인 변화가 발생하는 영역이다. 그리고, Disturbed zone은 굴착 및 발파에 의한 응력 재분배 등으로 인하여 응력 또는 수리적 특성과 같은 상태 변화가 발생하는 영역이며 손상영역과는 암반 특성의 변화는 크지 않거나 회복 될 수 있는 영역으로 정의된다. 따라서 폭약의 특성과 사용 약량 및 전달 매개체인 암반을 대상체로 하여 표8에서와 같이 근거리 진동 모델인 QED model를 근거로 하여 발파 전용 프로그램인 BlastAZ R3을 이용하여 파쇄대를 예측하였다. 암반의 입력 제원은 표 7과 같이 입력을 하였고 입력 폭약은 G/D 계열 FINEX와 EMX 계열 FINEX로 기본 입력 DATA로 적용을 하였다.

G/D FINEX를 사용하였을 때 장약공 중심으로부터 34 cm로 파괴 범위가 나타났고, EMX 폭약 적용시는 27 cm로 파쇄 범위가 나타났다.

표 7. 암반의 입력 제원

일축 압축강도	1500 kg/cm <sup>2</sup>
탄성파속도	4800 m/sec
암석 비중	2.6 g/cc
탄성 계수	59.7 GPa
K, n	1600, 1.7

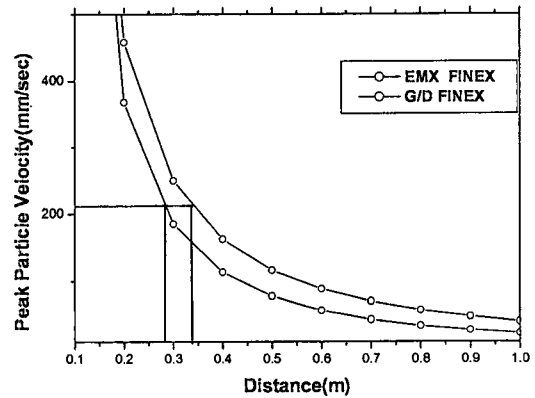


그림 8. 균열 범위

표 8. Crack이 발생하는 진동 범위

최대 진동 범위	1050 mm/sec
최소 진동 범위	210 mm/sec

## 2.6 시험 발파 방법

질리의 형태가 다소 다르게 존재하고 있었으나 시험발파는 총 2회를 실시하였으며, G/D계열 발파에 큰 영향을 주지 않는 범위 내에 존재하  
의 FINEX로 1회 발파를 실시하였고, EMX 고 있었으므로 두 번의 시험발파의 패턴의 조절  
FINEX를 사용하여 1회 발파를 실시하였다. 조 은 불필요하여 천공경, 천공장, 공간격 등의 변  
질발파 방법으론 Smoothing Blasting방법을 채 화는 주지 않고 시험발파를 수행하였다. 시험발  
택하였으며, 심발은 V-Cut공법을 선택하였으며, 파 제원은 표 9와 같다.

표 9. 발파 제원


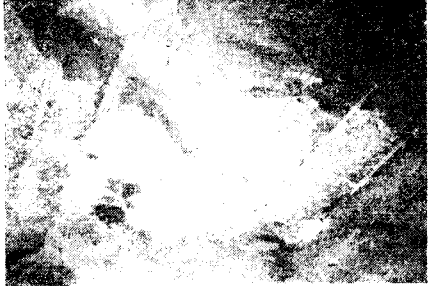
구 분	G/D FINEX(1회)	EMX FINEX(2회)
터널단면적 (m <sup>2</sup> )	83	83
천공장(m)	3.8	3.8
SB공간격(m)	0.6	0.6
SB저항선(m)	0.7	0.7
SB/총공수	38/135	36/132
SB공 사용약량	MegaMITE I - 1본 FINEX I - 7본 1.075 kg	MegaMITE I - 1본 New FINEX I - 7본 1.075 kg
사용폭약(kg)	MegaMITE I - 307.5kg G/D FINEX I - 26.6kg	MegaMITE I - 301.5kg EMX FINEX I - 25.2kg

## 3. 실험 결과

### 3.1 실험 발파 현황

의 발생량이 많음을 알 수 있다. 이 영향으로 1차, 2차 시험발파의 경우는 예상대로 파쇄대 터널의 측면에 과굴착이 일어났음을 알 수 있  
가 존재하는 구간에서는 과굴착의 정도가 많았 며, 미굴이 없는 것으로 보아 천공상태 및 정밀  
으며 EMX FINEX 보다는 G/D FINEX 여굴 발파가 이루어진 것으로 판단된다.(표 10.)

표 10. 여굴 및 미굴 분포도

구 분	기존 FINEX(1회)	New FINEX(2회)
여굴/미굴 분포도		
여굴	0.32	0.21
미굴	-	-

### 3.2 결과 및 고찰

설계 단면이 제대로 얻어졌는가는 단면의 형상을 간단히 평가하는 방법으로는 발파 후 남아있는 것을 측정할 수 있는 계측장비로 얻어질 수 있으며, 천공 흔적을 조사하여 평가하는 방법인 Half Casting이 있다. 이 방법을 통하여 G/D 계열의 FINEX와 EMX 계열의 FINEX의 파쇄범위를 가를 하여 주벽에 대한 발파 영향을 측량 이외에 예측 값 대비 실험 값과 비교하고 약종별 여굴 범위를 비교하였다.

표 11. 계측장비에 의한 여굴 분포

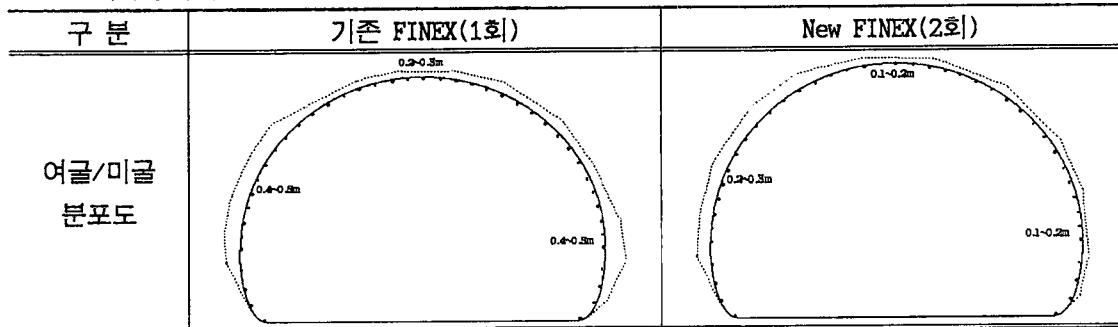


표 12. Half Casting에 의한 여굴 분포



구분	1회			2회		
	좌측 측벽	우측 측벽	상부 천반	좌측 측벽	좌측 측벽	상부 천반
측정 위치						
발파공 길이 합	1900 mm	1900 mm	1900 mm	1900 mm	1900 mm	1900 mm
남아있는 발파공 길이 합	1750 mm	1760 mm	1811 mm	1850 mm	1845 mm	1880 mm
HCF	0.920	0.926	0.953	0.974	0.971	0.989

표 12와 같이 G/D 계열의 FINEX를 적용한 여굴제어가 약 4.5% 효율이 좋다는 것을 알 수 있다. 또한 발파 후 터널의 굴착 단면과 막장면 좌우 측벽은 5.4%, 3.6%, 천반부는 4.5%로서 의 측량에 의해 계측된 Data로 상부 천반부와



표 13. 예측값과의 실험값과의 비교

구 분	1회 발파	2 회 발파
실험값	0.32	0.21
예상값	0.34	0.27

좌, 우 측벽을 측정을 하였고 이 값을 평균을 내어 실험 값으로 나타내었고 예상 값과의 비교는 표 13과 같이 나타났다. 이는 실험값과 예상 비교치가 유사하는 것을 알 수 있으며, 폭약의 성분 에 따라 Smooth Blasting의 효과를 더욱 정밀하게 나타낼 수 있다는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

이중의 G/D 계열 FINEX와 EMX 계열의 FINEX 폭약을 이용한 흑운모 편마암지역의 터널 발파결과 주요 성분과 조성에 따라 Smooth Blasting의 효과를 최대화 할 수 있음을 알 수 있었다. 본 터널 시험발파에서 얻어진 결과를 요약 정리하면,

- 1) 두 번의 시험발파의 암석의 일축강도 등 암석의 역학적 특성의 차이는 없는 것으로 보아 이로 인한 발파결과에 영향은 거의 없는 것으로 판단할 수 있다.
- 2) 파쇄대에 따라 국부적으로 여굴이 증가되는 것을 알 수 있었다.
- 3) EMX 계열의 폭약 적용시에 좌우 측벽에서의 파쇄대에서 여굴 발생이 최대 0.4 m에서 0.2 m로 50% 정도로 감소되는 것을 알 수 있었다.
- 4) Half Casting에 의한 효율은 EMX 계열의 FINEX를 적용하였을 때 4.5%의 효율이 증가되

는 것을 알 수 있었다.

정밀폭약의 주요 성분 차이 외에 발파에 영향을 주는 모든 요소가 동일하였으며 이로 인하여 사용 폭약류에 기인한 여굴의 범위를 판단할 수 있었다. G/D계열 정밀폭약을 대체하여 EMX 계열 정밀폭약을 사용 시 여굴의 발생범위가 줄어드는 것으로 나타났으며, 여굴의 방지를 위하여 Smooth Blasting 공법을 이용하여 미려한 터널 벽면을 얻을 수 있었으며, EMX 계열의 정밀폭약 사용시 G/D 계열 FINEX보다 여굴을 15~50% 정도 감소시킬 수 있으며, Half Casting에 의한 발파 효율은 4.5% 증가하는 것을 알 수 있었다. 차후 암반 내에 존재하는 절리 단층 등의 불연속면이 다수 존재할 경우 정량적인 여굴제어를 추가적인 연구를 수행 할 예정이다.

#### 참 고 문 헌

1. 기경철, 김일중 “ 산학인을 위한 발파공학”, 기전사,(1998)
2. ISEE, “ Blaster’ Hand book ” , 1998 ~ 2001
3. Per Arders Persson, “Rock Blasting & Explosives Engineering”, (1992)
4. Singh Goel “ Rock Mass Classification”