

미진동 발파공법 적용사례에 관한 연구

A Case Study on the Application of Low Vibration Blasting Method

박 주연¹⁾, 이 천식²⁾, 윤 성현³⁾, 안 명석³⁾ 류 창하⁴⁾

Jooyoun-Park, Chounsik-Lee, Seonghyun-Youn, Myung-Seog Ahn, Chang-Ha Ryu

¹⁾(주)지앤비, ²⁾(주)한화, ³⁾동서대학교, ⁴⁾한국지질자원연구원

초 록

우리나라는 지질특성상 각종 토공사를 시행할 때 암반 절취가 필수적이다. 그러나 소음진동 규제법의 강화, 각종 건설민원 발생 및 안전관리를 강화하기 위하여 종래에 해오던 일반 발파(대발파)공법을 적용할 현장은 거의 없는 실정이므로, 미진동 발파공법과 진동제어 발파공법에 대한 기준품셈 및 시공기술에 대한 연구가 더욱 필요하다.

또한 종래의 미진동 발파공법의 품셈기준으로 되어있는 미진동 파쇄기(CCR, 상품명 Fine Cracker)를 사용한 발파공법은 기존의 암절취에 기술적 문제가 일부 대두되므로 이를 보완하기 위해 퇴적암 절취현장에서 미진동 파쇄기·정밀·에멀전 화약을 사용하여 비교실험을 하였으며, 최근에 새로운 미진동 파쇄기(상품명 : Fine Cracker Plus)를 개발 시판하게 되어 이를 비교 검토하였다. 그 결과 일축 압축강도 1623~2060kg/cm²의 경암 내지 극경암에서도 양호한 발파효과를 볼 수 있었다.

핵심어 : 건설민원, 일반발파, 미진동 발파, 진동제어 발파, 경암, 기준품셈

1. 서 론

우리나라는 지질학적으로 고생대 및 중생대의 견고한 암반이 지표면에 널리 분포하고 있으며, 지형적으로 산지와 구릉지가 발달되어 전국토 면적의 70%이상을 점하고 있어, 국도확장, 고속도로 건설, 지하철공사 등 대형국책사업과 도심지 내 아파트, 고층건물 신축 등 부지조성 공사에 불가피하게 암반굴착을 위한 발파작업이 증대되고 있는 실정이다. 이러한 대소형 공사 시 발파작업의 영향으로 진동, 소음(폭음), 비석 등의 발파공해가 발생함에 따라 피해보상을 요구하는 인근 주민

들의 민원과 저항에 부딪쳐 사업수행에 막대한 차질을 초래하는 경우가 많은 관계로, 정부는 이러한 환경에 대한 분쟁성 민원을 방지하기 위한 소음 및 진동을 규제하기 위해 소음진동규제법(1990.8.1)을 제정하였으며, 2000년 5월 4일까지 총 7차례에 걸쳐 개정하였다. 건설공사 시방서에는 미진동발파를 미진동파쇄기(CCR)를 사용하는 것으로 기술하여 놓고 품셈에서는 폭약과 뇌관을 구분하고 있으며, 전색제로 모르타르를 쓰는 등 그 사용방법이 정례화되어 있지 않는 실정이다.

소음, 진동규제 등의 환경기준은 날로 엄격해지고 있으나, 현실에 맞는 발파설계가 없

어 발파에 대한 민원은 날로 증가되고 공공 사업이 중단되는 사례가 빈번히 발생되고 있으며, 이러한 민원해결 차원에서 일반발파로 설계되어있는 공사구간은 미진동 발파공법으로 설계변경을 실시한 후 공사를 재개하고 있는 실정이다.

현재의 암발파 설계중 약 22%에 해당하는 미진동 발파공법은 미진동파쇄기(CCR)를 사용하여야 하는 것인데, 기존의 CCR의 규격 등이 최근 일부 조정되어있다. 그래서, 본 연구를 통하여 기존의 CCR(FINECKER)의 단점을 보완한 FINECKER Plus의 현장적용성을 검토하기 위하여 발파설계, 현장 시험 등의 자료를 바탕으로 적정한 발파패턴을 검토하고자 한다.

2. 미진동 발파공법의 원리

2.1 발파공법의 정의

(1) 미진동 발파공법

전통적인 미진동 발파공법은 미진동파쇄기(CCR ; Concrete Cracking Reagent, 일본명 : RCC)를 사용하여 장전된 화약(총단법에서는 화공품으로 구분)이 폭발할 때(1차) 폭발 압력에 의해 발생하는 인장 주응력으로 파쇄 균열을 유도한 후 2차로 기계적(주로 브레이커 사용)을 이용하여 파쇄하는 암석절취 미진동 제어발파 방식(천공 및 발파 50%, 브레이커 50%)이라고 정의¹⁾되어 있으나 전색작업(시멘트 : 모래 : 급결제 = 1 : 1 : 1)의 불편함과 정밀도 및 경암 파쇄에서의 철포현상의 우려로 시공에 다소 어려움이 있다. 그러나 최근에 암굴착 적용 현장에서는 각종 공법의 연구개발로 인해 피 보안물건 대상 진동안전 기준 0.2cm/sec(Kine) 이내로 제어할 수 있는 공법을 미진동 발파공법의 범주에 넣어야 할 것을 주장하고 있는 실정임으로 보완된 공식화된 정의가 요망된다. 대체로 저

폭속 화약을 사용하거나 고가의 폭약을 사용하거나 혹은 저진동의 목적을 달성하는 각종 신기술지정 공법이 미진동 발파공법의 범위에 넣어야 할 것으로 판단되며 수동착암기 사용기준 공당(지발당) 장약량 0.06~0.25kg 이내의 화약(화공품포함) 혹은 폭약을 사용하여 보안물건과의 거리 10~50m 범위내에서 발파하는 공법을 말한다.²⁾

(2) 진동제어 발파공법

고진적인 제어발파는 조절발파(Controlled blasting)의 범주에 들어가는 라인드릴링(Line Drilling), 쿠션 블라스팅(Cushion Blasting), 프리스프리팅(Pre-Splitting), 스무스 블라스팅(Smooth Blasting)등을 말하며, 여굴을 적게하고 남은 암반의 손상을 적게하는 발파공법으로 정의할 수 있다.³⁾ 그러나 우리나라의 경우 약 10년 전부터 민원방지 및 안전발파의 목적으로 진동을 줄이는 발파공법 연구와 시공에 많은 노력을 기울인 결과, 폭약제조 및 사용(발파)기술이 급속히 향상되면서 피 보안물건 대상 진동안전기준으로 0.2~0.3cm/sec(Kine)이내로 진동을 줄이는 방법을 진동제어(미진동)발파, 소규모 진동제어 발파, 제어안전발파 등의 용어로 사용하였으나 아직 공식화된 정의는 내리지 못한 상태이다. 대체로 에멀전(Emulsion)계 폭약을 기준으로 하여 수동착암기 내지 소구경 크로라드릴(천공경 Φ 32~51mm)을 사용하여 공당(지발당) 장약량 0.125~2.0kg의 폭약을 사용하여 보안물건과의 거리 50~200m 범위 내에서 발파하는 공법을 말한다. 최근 연구개발된 저진동 발파 신기술 중 일부가 이 범위에 대체로 해당된다.^{2), 4)}

(3) 일반 발파공법

암 절취를 위한 발파공법 적용시 영향권내

에 보안물건이 존재하지 않거나, 보안물건이 존재할지라도 일반적인 암굴착 시방서에서 규정한 진동안전기준 0.5cm/sec(Kine)내지 그 이상의 진동안전 기준치 이내에서 발파효율만을 극대화한 발파법으로써 많은 공당(지발당) 장약량을 사용하여 가장 경제적이고 효율적으로 발파작업을 수행할 수 있는 공법을 말한다.⁵⁾

대체로 고폭속 폭약 혹은 저단가 폭약을 기준으로 하여 대구경 크롤라 드릴(천공경 Ψ 76mm이상)을 사용하여 공당 장약량 8~25kg 혹은 그 이상의 폭약을 사용하여 보안물건의 거리가 200~300m 이상^{2), 4)} 이격되어있는 지역의 대발파 개념의 공법을 말한다.

표 1. 발파 공법의 적용 방법

공법 구분	미진동 파쇄공법		진동제어 발파공법			일반발파공법		
	미진동 파쇄	미진동 발파	정밀 진동 제어	일반 진동 제어	보통 진동 제어	인력식 발파	일반 발파	대규모 발파
제원								
보안물건 이격거리	30 m	10~50 m 5~40 가능(적합)	30~50 m	50~80 m	80~300 m	200~300 m	200~300 m	300m 이상
공법 개요	· 팽창성파쇄제를 사용한 암파쇄와 기계굴착 병용 공법 · HRS, SRS, Bigger Power Split, DARDA 등 미진동 할암공법 · Breaker, Ripper, Road head, TTM, TBM 등 0.1cm/sec 이내로 제어 가능한 미진동 암반(기계)굴착법	· CCR를 사용한 발파 50%, 브레이커 50% 적용공법 · Ψ 17~25mm 화약을 공당(지발당) 장약량 0.06~0.25kg을 사용한 저진동 공법 · 0.2cm/sec 이내로 제어할 수 있는 저진동 신기술 발파공법	· 0.2~0.3 Kine 이내로 제어 가능한 조절발파공법 혹은 저진동 신기술 발파공법 · 저폭속 에틸전계 혹은 정밀 폭약을 사용한 공당(지발당) 장약량 0.125~2.0 kg이내, 수동착암기 내지 소구경 크롤라 드릴(천공경 Ψ 32~51mm)을 사용한 발파공법	· 발파영향권내에 보안물건이 존재하지 않는 경우의 발파공법. · 피보안물건이 200m이상 지점에 존재할 때 진동안전기준치 0.5cm/sec 이내로 제어할 수 있는 경제성 있는 대규모발파 (대발파) 공법. · 고폭속·저단가 폭약을 사용한 공당(지발당) 장약량 4~16kg이상(인력식 발파는 천공장 1m이상, 공당 0.25kg이상 사용), 대구경 크롤라 드릴(공압, 유압) 사용공법				
천공장비 및 천공직경		핸드 드릴 Φ 45mm이하	핸드 드릴 혹은 소구경 크롤라 드릴 Φ 45~76mm			대구경 크롤라 드릴 Φ 76mm이상		
천공장		0.6~2.0m	0.9~6.0m			6.0~15m, 혹은 그 이상		
사용화약		CCR 등 Φ 17~25mm의 정밀·특수 화약 사용 혹은 유사물질 사용	Φ 17~50mm 정밀, 에틸전계 폭약 사용			Φ 50mm이상 고폭속, 저단가 폭약 사용		
파쇄정도	균열만 생성 (2차 파쇄 필요)	균열만 생성 (2차 파쇄 필요)	파쇄 및 균열 생성 (일부 2차 파쇄 필요)			파쇄 및 대피 생산 (2차 파쇄 불필요)		
방호매트 및 계측여부		· 특수방호재 사용 (타이어, 철판 매트 등) · 공인화약 전문가에 의한 정밀계측 관리가 필수적임.	· 특수방호재 혹은 일반 방호재 사용(타이어, 철판, 고무판, 다다미 등) · 공인 화약전문가에 의한 계측관리가 필수적임.			· 방호 매트는 원칙적으로 불필요 함. · 민원 및 안전시공의 중요도에 따라 공인화약전문가 혹은 자체 계측관리가 선택적으로 필요함.		
기준 설계단가 ⁷⁾ (원/m ³)	60,000	32,756	21,150	12,957	9,637	7,081		
※ 기준설계단가 설정 방법 1) USBM식의 K160, n-1.6, 0.3cm/sec의 공법별 평균치를 적용하였음. 2) 예정설계의 개략공사비 산출이므로 실행 시 화약 전문가에 의한 시험발파 및 패턴 확정 후 보인이 필요 함. 3) 화약류 단가는 02. 1. 1 대리점 판매 단가 기준으로 계산하였으므로 감독원 승인 후 시행해야 함.								

2.2 미진동 발파공법(CCR)의 원리

미진동파쇄기(CCR)는 고열 반응에 의한 순간적인 열팽창으로 암석에 균열이 발생하는 원리를 이용한 제품으로서 CCR 전용의 점화구를 사용하여 발파를 하고, 최근 도심지나 보안물건이 있는 곳에서 콘크리트, 암반 및 교각 등을 발파 시 진동, 소음제어와 비산물 방지를 위해 사용되는 미진동 파쇄기로서 화공품의 일종이다. 이전의 CCR에서는 그 위력이나 포장규격으로 인하여 적용 범위가 제한되는 단점을 안고 있었는데 이를 보완하기 위하여 위력을 30% 정도 향상시킨 FINECKER Plus가 개발되었다.

콘크리트, 암반 등의 폭파에 관계된 파괴는 크게 동적파괴와 정적파괴로 구분할 수 있는데, 발파공내에서 폭약이 폭발되면 기폭후 수 μsec 에서 폭굉압이 최고치에 도달하고, 발파공내의 압력은 폭약의 종류, 장전밀도, 기타 조건에 따라 다르나 통상 5만 ~ 10만 기압 정도로 추정하고 있으며 이는 피파괴체(암석 등)의 강도보다 훨씬 큰 값이다. 또 충격파면의 온도가 3000°C 이상으로 폭원에 근접한 암반을 용융시키고 충격파가 전파함에 따라 급격하게 온도가 떨어져 암반을 미세한 입자로 분쇄하게 되는 분쇄권을 형성하게 된다. 이후 암반중을 전파하고 있는 충격파가 자유면에 도달하면 다시 반사하는 인장파로 균열이 발생하게 된다.(Hopkinson효과) 이처럼 응력파의 전파와 관련한 파괴를 동적파괴라 한다.

폭약의 폭발시에는 고온고압의 다량의 Gas를 생산하는데 충격효과에 의한 파괴와 함께 생성가스에 의한 파괴도 일어나는데 균열의 발생과 함께 균열내 진입한 Gas의 효과에 의하여 파괴가 일어난다. 폭발 생성가스의 압력이 최고치에 도달한 후에는 온도저하, 팽창정

도의 감소 등이 일어나지만 비교적 상당한 시간동안 공내의 압력으로 작용하고 균열을 확장하게 된다. 이러한 파괴효과를 정적파괴 효과라 한다.

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

즉, 미진동 파쇄기의 폭발(연소)속도는 80 m/sec 내외로 음속보다 느리기 때문에 충격파가 발생하지 않으므로 동적파괴 효과는 기대할 수 없으며, 팽창하는 Gas의 작용에 의한 정적파괴 효과만을 이용하는 것이다. 발파에 의한 진동의 Peak값이 충격파에 의한 것이므로 CCR은 진동의 저감에 탁월한 효과가 있다.

3. 미진동 발파공법의 적용 사례

3.1 콘크리트 시료에 대한 실험사례

(1) 개요

기존의 화이넥카와 뉴 화이넥카의 파쇄력을 확인하기 위하여 동일 조건(콘크리트 공시체)에서 시험을 실시하였으며 기존 화이넥카의 단점인 철포현상에 대하여 뉴 화이넥카도 발생이 될 수 있는가에 대한 시험을 위하여 전색을 모래와 EPOXY로 구분하여 시험을 실시하였다.

(2) 시료제작 및 시험방법

콘크리트(강도 $220 \sim 350\text{ kg/cm}^2$)를 $100 \times 100 \times 100(\text{cm})$ 정사각형의 시료 가운데에 30mm 의 천공구멍을 40cm 의 길이로 성형하여 장약을 30g 을 실시하고, 전색을 일반모래와 EPOXY 구분하여 파쇄의 형태를 보았다.

표 2. 콘크리트 시편의 제원

Mix Type	Ration(중량비)	일축압축강도 (kg/cm ²)	비 고
물 : 시멘트 : 모래 : 감수제	0.4 : 1 : 2.45 : 0.01	348	감수제 : 모르타르 운활성 목적

표 3. 발파결과

구 분		천공길이	매지방법	발파 결과	
FINECKER	# 1	30 g	40 cm	일반모래	- . 철폭 발생 및 파쇄 불량
	# 2	30 g	40 cm	EPOXY	- . 파쇄 양호, 비산거리 0.5m
FINECKER Plus	# 3	30 g	40 cm	일반모래	- . 파쇄 우수, 비산거리 1.5m
	# 4	30 g	40 cm	EPOXY	- . 파쇄 가장우수, 비산거리 3m



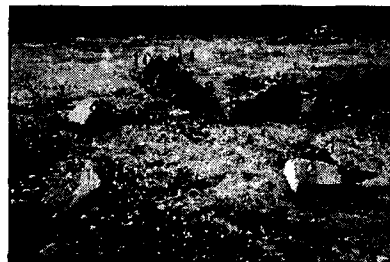
① 발파후 (시료No. 1)



② 발파후 (시료No. 2)



③ 발파후 (시료No. 3)



④ 발파후 (시료No. 4)

그림 1. 발파결과

(3) 시험결과

기존의 화이넥카 30g 과 전색제를 일반 모래로 하였을 때는 그림 1-①에서 처럼 철폐 현상과 함께 파쇄가 거의 일어나지 않는 것으로 나타났으며, EPOXY 사용시에는 그림 1-②와 같이 최대 비산거리 0.5m 에 파쇄도는 양호하게 나타났다. 또한, FINECKER Plus를 일반 모래로 사용했을 때 그림 1-③에서처럼 파쇄도가 우수하며 최대 비산거리는 1.5m이며, 전색제를 EPOXY로 사용시 파쇄도는 가장 우수하며 그림 1-④와 같이 최대 비산거리는 3m로 나타났다. 이 결과에 의하면 FINECKER Plus를 일반 암반발파 현장에서도 별도의 경화제 없이 일반모래로 작업을 하여도 공발에 대한 위험이 적어짐을 알 수 있다.

3.2 미진동 발파공법의 현장적용사례

(1) 퇴적암에서의 적용사례

1) 개요

당 현장은 고속도로 건설공사장으로써 공사장 경계로부터 20~40m지점에 저수지와 120~345m지점에 총단법상의 제 2종 보안물건이 인접해 있어서 발파 안전성을 확보하기 위하여 충격진동으로 인한 주파수 영역 표면파 해석기법(SASW)으로 안전도를 검토한 결과, 문화재 진동안정기준 0.2 kine을 미진동발파 공법의 한계로 설정하여 기존 설계의 미진동 파쇄기를 사용한 미진동 발파공법 및 정밀폭약·에멀전 폭약을 사용하는 미진동발파 공법으로 시험발파를 시행하였다. 기반암

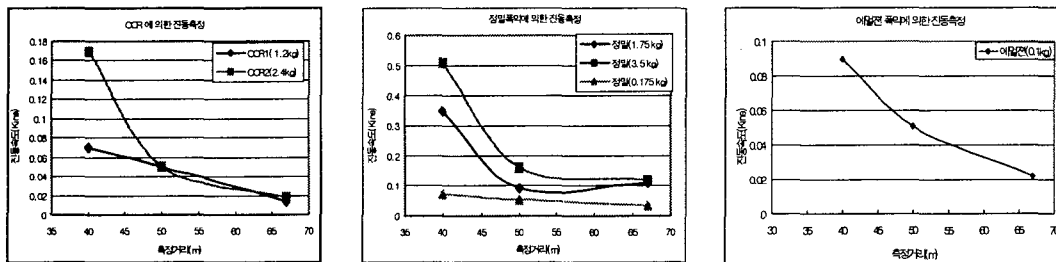


그림 2. 화약 종류별 진동측정 결과

표 4. 진동측정결과

발파진동 측정 결과 (cm/sec)											
		CCR1	CCR2	정밀1	정밀2	정밀3	정밀4	정밀5	에멀전1	에멀전2	에멀전3
측정거리	40 m	0.07	0.17	0.35	0.51	0.051이하	0.051이하	0.07	0.051이하	0.09	0.06
	50 m	0.051이하	0.051이하	0.09	0.16	0.051이하	0.051이하	0.051이하	0.051이하	0.051이하	0.051이하
	67 m	0.013이하	0.0175	0.108	0.121	0.0206	0.0143	0.0333	0.0206	0.0222	0.0159
지발당 장약량(kg)		1.2	2.4	1.75	3.5	0.175	0.175	0.175	0.10	0.10	0.10
천공수(공)		10	20	10	20	10	22	40	8	20	40
천공장(m)		1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

의 암질은 보통암 정도의 퇴적암이었다.

2) 시험발파 결과

발파 지점으로부터 측정지점까지의 거리 40~67m에서 미진동 파쇄기를 사용한 미진동 발파공법(천공장 1.2m, 지발당(공당)장약량 1.2~2.4kg, 천공수 10공)으로 시공한 결과 0.0175~0.17cm/sec이 측정되었고, 정밀폭약을 사용한 미진동 발파공법(천공장 1.2m, 지발당(공당)장약량 0.175~3.5kg, 천공수 10~40공)으로 시공한 결과 0.0143~0.51cm/sec이 측정되었으며, 에멀전 폭약을 사용한 미진동 발파공법(천공장 1.2m, 지발당(공당)장약량 0.1~0.133kg, 천공수 8~40공)으로 시공한 결과 0.0159~0.09cm/sec이 측정되었다. 측정결과 집계표는 표 4와 같으며 이를 선형그래프로 표시하면 그림 2와 같다.

(2) 안산암에서의 적용사례

1) 개요

당 현장은 도심 내 아파트 재건축현장으로, 현장주변 20m 이내에 민가들이 밀집되어 있고, 폭약의 사용이 금지되어 저소음·미진동 발파를 목적으로 플라즈마공법을 시도한 바 있으나, 소음의 발생이 크고 발파효과 및 작업성이 저하되어 미진동 파쇄기를 사용하여 시공하고 있다. 기반암의 암질은 경암 내지 극경암의 안산암으로써 일축압축강도(UCS) 1,623 ~ 2,060 kgf/cm²·탄성파 측정치(P파) 5.1~5.4km/sec에 해당하였다.(한국화학시험연구원 시험성적서 참조, 2002.1.21) 일축압축강도가 강한 암질에도 불구하고 파쇄효과가 좋았으며 장전작업이 편리하여 지난 3월부터 현재까지 사용해 오고 있는 현장이다.

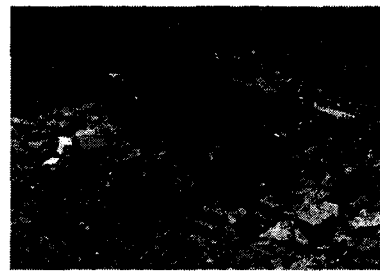
본 현장에서 화이네카(180g/분)를 사용하여 발파(약 20여공, 2~3분/공)를 한 결과, 진동 측정치가 0.3~0.4kine(at 20m) 발생함에 따

라, 진동을 더욱 감소시키기 위하여 다단식 발파기를 사용하여 10ms간격으로 4회로 발파를 실시하였을 때 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있었다.(그림. 3)

2) 시험발파결과



① 발파전 모습



② 발파후 모습

그림 3. 발파작업 전,후의 암반파쇄 형태

4. 결론

1) 미진동 발파공법 및 진동제어 발파공법에 대한 공식적인 정의가 시급한 실정이다. 현재의 미진동 파쇄기를 사용한 미진동 발파공법의 시방서 지침은 다양한 기술개발 촉진을 위해 일부 조정이 불가피하며, 진동제어 발파공법의 기준품셈 및 기술 기준 역시 시급히 확립되어야 할 것이다. 공식적인 정의와 지침이 마련되기까지 앞에서 열거한 2.1를 설계 및 현장에 적용하여도 무리가 없을 것으로 생각된다.

표 5. 발파제원 및 결과

발파 제원	7/3 1차	7/3 2차	7/4 1차	7/4 2차
암반 종류	안산암(극경암)			
발파형태	Bench Blasting	Bench Blasting	독립기초 터파기	독립기초 터파기
자유면 수	2자유면	2자유면	1자유면	1자유면
천공경(mm)	51			
천공수(공)	40	30	35	15
천공길이(m)	2.2 ~ 2.7	1.5 ~ 2.7	2.7	2.7
천공간격(m)	0.4 ~ 0.5 m	0.4 ~ 0.5 m	0.5m	0.5m
최소저항선(m)	0.4 ~ 0.5 m	0.4 ~ 0.5 m	2.7m	2.7m
공당장약량(kg)	FINECKER Plus 0.36	FINECKER Plus 0.36	FINECKER Plus 0.36 ~ 0.54	FINECKER Plus 0.36 ~ 0.54
총 장약량(kg)	14.4	10.8	15.75	6.75
최대지발당 장약량(kg)	3.6	3.6	4.32	4.32
전색 종류	레미탈 : 급결제 = 1.3 : 1			
발파회로수	4	3	4	2
발파결과	- 파쇄정도는 전체적으로 완벽하여 극경암에서도 발파패턴의 조정으로 적용이 가능 - 진동 측정 결과 : 0.3~0.4kine (20 m 이격) - 다단발파기에 의한 단차의 조절은 약 10ms 이하로 하는 것이 유리 FINECKER Plus의 발화시간(점화부터 발화까지 소요되는 시간이 10~15ms 정도이므로 인접공의 컷-오프(Cut off) 발생가능성이 있음. - FINECKER Plus는 propagation shock가 미미하여 순폭신뢰성이 낮아, 반드시 점화구와 파쇄약을 1:1로 사용			

2) 퇴적암 지역에서 미진동 파쇄기 및 정밀 폭약·에멀전 폭약을 사용한 미진동 발파공법을 시행한 결과 미진동 파쇄기를 사용한 공법이 진동 저감 효과면에서 가장 우수하였다.

3) 안산암 지역에서 새로이 개발된 미진동 파쇄기(FINECKER Plus)는 기존의 CCR(FINECKER)의 단점인 작업성을 향상시키고 발파효과를 높였다.

① 180 g/본의 제품을 사용하여 최대 2 - 3 EA/공(360 - 540 g/공)으로 장약하여 2.7m의 천공, 발파가 가능하다.

② 전색제로 모래를 사용하는 경우, 고무

Packer등 보조기구의 사용이 유리하다.

표 7. 거리별 진동측정치

거리(M)		15m	20m	30m
발파진동 (Kine, 4kg/Delay)	FINECKER Plus	0.4~0.7	0.3~0.4	미 측정
	NewMITE	1.2~1.4	1.0~1.2	0.6~1.0

③ 경암에도 발파 효과가 우수했다. 다만, 파쇄효과를 우수하게 하기 위해서는 1자유면 보다는 2자유면으로 단면을 조성하여 발파하는 것이 더욱 유리하다.

④ 기존의 화약에 비해 발파진동의 저감효

표 6. 각 공법별 특징 및 경제성 비교

적용공법		굴착방법 (파쇄원리)	천공경 (mm)	특징	경제성
미진동 파쇄공법	팽창성 파쇄제	- CaO의 수화반응에 의한 고온고압의 팽창력을 이용	35~77	- 시공후 12~24시간 경과 후 파쇄 - 작업량 : 연암 40 /일/조	80,000 ₩/m'이상
	CARDOX	- 파쇄제에 1.1~1.2m천공후 액화 CO2가스가 충전된 Tube를 삽입하고 점화하여 기화되는 과정에서 발생하는 가스압을 이용	65	- 약간의 진동, 소음발생 - 화약과 같은 형식(천공후 즉시) - 작업량 : 연암2 /Tube	70,000 ₩/m'이상
	플라즈마	- 공내에 AI계통의 발열, 팽창분말 또는 액을 주입한후, 고압의 전기를 가하면 순간적으로 팽창, 균열발생	45~64 천공장은 공경의 20배	- 약간의 진동, 소음발생 - 화약과 같은 형식(천공후 즉시) - 비용과다	4만~5만 ₩/m'이상
	DARDA	- 피스톤에 의해 유압을 발생하고, 금속쇄기를 공에 밀어 넣으면서 공을 확대, 균열발생	38~48	- 수직공에 유리(시공부분 무게가 45kg으로 수평공은 시공공란) - 작업량 : 연암50/일/대 경암30/일/대	6만~7만 ₩/m'이상
	H.R.S	- 고무튜브를 공에 투입한 후 유압을 이용하여 튜브를 팽창, 균열발생	76~102	- 수직,수평공 모두 가능 - 팽창압 1250kg/이상 - 작업량 : 경암 80/일	4만~5만 ₩/m'이상
	N-BIGGER	- B/H에 부착하여 유압력으로 암반절개 - DARDA의 대형장비	102	- 수직,수평공 모두 가능 - B/H로 자주식 이동가능 - 작업량 : 경암 150/일	4만~5만 ₩/m'이상
미진동 발파공법	폭약을 사용한 발파법	- 발파공을 천공하고 폭약(에멀전, 정밀폭약 사용)을 장약하여 암반을 파쇄함.	30~51	- 가장 보편적인 미진동 발파공법 - 이격거리 60m이상지역 - 작업량 : 경암 500~700/일	2만~3만 ₩/m'
	화약을 사용한 발파법	- 발파공을 천공하고 화약(충단법에는 화공품으로 분류, 미진동파쇄기를 말함)을 장약하여 암반을 파쇄함.	30~45	- 약간의 소음,진동 발생 - 미진동 발파공법 중 가장 효율이 높음 - 이격거리 10~60m 지역 사용	2만~4만 ₩/m'

과를 확인 할 수 있다.

⑤ 기폭시 타이어매트를 필히 사용토록 하면 비석, 소음 등에 탁월한 효과가 있으며 기타 무진동 미진동공법에 비해 경제성이 매우 우수하다.

13) Calvin J.Konya & Edward J.Walter, 1990, Surface Blast Design, Prentice-Hall Inc., pp.90~104, 217~239.

14) Sushil Bhandari, 1997, Engineering Rock Blasting operations, pp.285~310.

참 고 문 헌

1. 한국도로공사 특별시방서, 단가설명서.
2. 안명석·류창하·박종남, 2001, 건설현장에서 안전성 향상을 위한 지반진동·소음·비산먼지 측정자료의 분석에 관한 연구, 화약발파, 대한화약기술학회지 Vol. 19, No. 3.
3. 기술강좌(연재 VI), 2002, 대한화약발파공학회, pp.50~51.
4. 임한욱·이정인·민경원·강추원·원연호·황현주, 1993, 암발파 설계기법에 관한 연구, 한국토지개발공사.
- 5) 김일중·기경철·원연호, 2002, 일반발파와 진동제어 발파에 대한 연구, 대한화약발파공학회 Vol. 20, No. 2, pp.34.
- 6) 원연호·신일재·기경철·이주희·손영복, 2002, 도심지 터널에서의 암반 굴착공법선정 및 적용에 관한 사례연구, 대한화약발파공학회 Vol. 20, No. 1, pp.27.
- 7) (주)한화 발파기술팀, 2002, 건교부감사실 제공 발파공법 제안서의 개략단가 산출표.
- 8) 총포·도검·화약류 등 단속법규
- 9) Charles H. Dowding, 1984, Blast vibration monitoring and control, Northwestern University.
- 10) Du-pont, 1976, Blasters Hand Book, pp.87~202.
- 11) National Highway Institute, 1991, Rock Blasting and Overbreak control, p.55~77.
- 12) Rune Gustafsson, 1973, Swedish Blasting Technique, pp.31~56