

## FINECKER Plus를 이용한 도심지 진동제어 시공사례

민형동 · 정민수 · 박윤석<sup>1)</sup> · 황의진 · 박준호<sup>2)</sup>

### 1. 서 론

도심지에서 폭약을 사용한 굴착공법은 진동·소음·비산 등으로 인한 안전성문제로 사용상의 많은 제약이 따르고 있다. 이러한 이유로 폭약의 적용이 불가능한 지역에서는 유압장비 또는 팽창성파쇄재를 사용하여 암반을 절취, 굴착함으로써 기존 구조물이나 시설물 및 가축의 안전문제에 대처하고 있으나, 시공성이 극히 불량하여 공기 증가와 함께 막대한 직접 공사비를 투입해야하는 문제점이 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 일반폭약이 사용상의 제약을 받는 장소에서 미진동파쇄기(Finecker Plus)를 안전하고, 효율적이며 경제적으로 사용한 사례를 소개하고자 하였다.

### 2. 적용공법의 특징

#### 2.1 미진동파쇄기 특징

미진동파쇄기는 고열에 의한 가스팽창으로 암반을 파괴할 수 있는 화공품으로 Gas량이 적고 반응온도가 높으며 반응속도가 늦은 특수한 조성물이 사용되며 그 파괴원리는 폭굉 충격파에 대한 파괴가 아니라 주로 압축주응력에 대한 정적 파괴로 대상체를 파괴하므로 진동 및 소음(동일량의 화약에 비해 약 10%의 진동발생) 등 환경적인 측면에서 유리한 제품이다. 주 사용처는 도심지에서 근접한 시설물을 진동으로부터 보호하기 위한 장소에 사용되며, 콘크리트 구조물의 파괴에도 사용된다. 또한 건설교통부 암발파공법 설계기준 개정안(2003) Type-1~6의 표준발파패턴 중 Type-1(암파쇄굴착공법)의 경우 미진동파쇄기를 적용토록 하고 있다.

#### 2.2 미진동파쇄기를 이용한 암파쇄 설계 기준

##### 표준 비장약량 산출

미진동파쇄기의 절대 위력계수와 암석의 항력계수 및 전색계수를 이용하여 파쇄암 1.0 m<sup>3</sup>에 대한 Finecker Plus의 비장약량을 산출하기 위하여 김일중 등(2005)이 제시한 미진

1) (주)한화

2) 지토 ENG

민형동, 정민수, 박윤석, 황의진, 박준호

동파쇄기 표준비장약량 산출식을 이용하였다.

$$W_f = (2.3 \sim 2.5) \cdot f_a \cdot g \cdot d \cdot V \quad (1)$$

(1)식의 상수는 Finecker Plus의 비장약량을 산출하기 위하여 시험을 통해 결정된 수치이며, 상기 표 1에 의한 암종별 비장약량은 표 2의 범위로 나타난다.

표 1. 절대위력계수와 암석항력계수

화 약 류	절대 위력계수* ( $f_a$ )	암석 항력계수* ( $g$ )					비 고
		극 경 암	경 암	보 통 암	연 암	풍 화 암	
Finecker Plus	0.230	1.20 이상	1.00~1.20<	0.80~1.00<	0.70~0.80<	0.40~0.70<	신선 균질암

\* 기준폭약(초유폭약) 위력계수 역수의 약1/2정도

\* 암석항력계수는 암석강도의 약(0.00085±0.00015)배 범위

표 2. 표준비장약량 범위

암 분류	극 경 암	경 암	보 통 암	연 암	풍 화 암	비 고
비장약량 $W_f$ (kg/m <sup>3</sup> )	0.69 이상	0.53~0.69< (0.61)	0.42~0.53< (0.48)	0.37~0.42< (0.40)	0.21~0.37< (0.29)	( )안은 평균치임

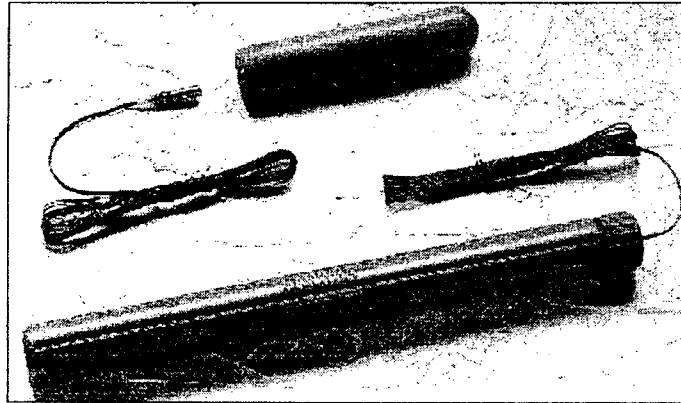


그림 1. 미진동파쇄기(FINECKER Plus)

### 3. 시공 현장 개요

당 현장은 「장충교회 신축공사」 현장으로 주변에 지하철 3호선, 상가건물 및 주택이 존재하여, 폭약에 의한 발파 굴착공법의 적용이 제한을 받는 현장으로 굴착작업은 기계

식 굴착공법으로 적용하고자 하였으나, 암반의 일축강도가 크고 Massive하여 1일 굴착량이 10m<sup>3</sup> 내외로 계획된 공사 기간 내에 굴착을 완료할 수 없는 현장이었다. 따라서 미진동파쇄기(180g, 360g)로 시험파쇄를 통하여 당 현장 암반에 적합한 패턴을 설계하였으며, 이를 기준으로 암 파쇄 공법을 시공하여 주변 대상물의 관리기준에 부합·타당한 암 굴착공사를 수행토록 하였다.

### 3.1 공사 개요

- ▣ 공사명 : 「장충교회 신축공사」
- ▣ 대상지역 : 서울특별시 중구 장충동1가 116-1외 5필지 일대
- ▣ 시공사 : 예일종합건설(주)/지토ENG
- ▣ 시험공법 : 암파쇄굴착공법

표 3. 공사 물량

총 굴착암량(m <sup>3</sup> )	무진동 암량(m <sup>3</sup> )	미진동 암량(m <sup>3</sup> )
4,250	500	3,750

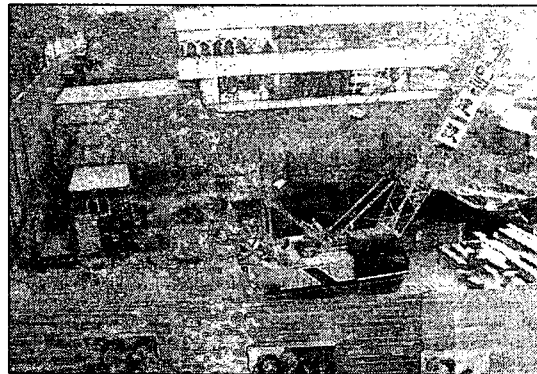


그림 2. 현장 현황

### 3.2 주변 현황

당 현장 주변에는 지하철 3호선 출입구, 빌라 등이 14~27m 거리에 위치(표 4 참조)하여 암 굴착 작업 시 진동, 소음 및 비산에 의한 제어대책이 요구되었으며, 이로 인해 일반폭약으로의 허가가 불가하여 미진동파쇄기만을 적용토록 허가된 현장이다.

표 4. 보안물건 현황

보안물건	이격거리 (m)	허용진동 (cm/sec)	비고
라임 센츄리	24	0.3	저택
빌라	14	0.3	3채 이하
지하철 3호선	27	0.3	역사는 60m이격
제일상호저축은행	23	0.3	상가빌딩

### 3.3 지질현황

당 현장의 암종은 화강암에 해당되며, 일축압축강도는 900~1,500kgf/cm<sup>2</sup>으로 보통암~경암에 해당된다. 천공방향과 평행한 절리가 약 0.2~0.6m 간격으로 발달되어 있으며, GL(-5.0m)에서는 지하수는 유출되지 않고 있으나 굴착이 진행됨에 따라 소량의 지하수는 유출될 것으로 판단된다. 입자는 조립질이다. 시험구간의 경우 일부 보통암이 혼재하나, 전체적으로 경암에 해당된다. 당 현장은 경암에 해당되므로 미진동파쇄기를 적용 시 계산된 비장약량은 식(1)에 의하여 0.53~0.69kg/m<sup>3</sup>의 범위내로 산출되었다.



그림 3. 현장 암반조사

## 4. 미진동 파쇄기(FINECKER Plus)를 이용한 시험파쇄

### 4.1 시험파쇄 현황

기존 미진동파쇄기(180g) 적용과 동시에 당 현장에서는 신제품(360g)에 대한 평가 작업 및 현장 시공시, 기존제품 대비 파쇄력, 시공성, 지반진동 등에 대한 검토가 이루어졌다. 기존제품 대비 신제품의 사양을 표 5에 나타내었다. 시험파쇄는 360g 미진동파쇄기와 180g을 같이 사용하여 공사기간을 단축할 수 있는 공법 제안과 진동 추정식을 산출하고자 총 26회를 실시하였으며 세부패턴은 표 6과 같다.

표 5. 제품비교

구 분	기존제품(180g)	신제품(360g)
약장(mm)	330	430
외경(mm)	30	36
포장수량 (ea/box)	50	50
중량(kg/box)	9	18

표 6. 미진동 파쇄기 시험파쇄 패턴

Drill hole Diameter	45 mm
K(Bench Height)	1,200 ~ 1,300 mm
B (Burden)	400 ~ 500 mm
Charge per Hole	0.54 ~ 0.72 Kg/Hole
Charge Weight per Round	0.54 ~ 0.72 Kg/Round
H(Hole Depth)	1,400 ~ 1,500 mm
U(Sub-Drilling)	200 mm
E(Hole Space)	400 ~ 500 mm
Charge per Delays	0.54 ~ 0.72 Kg/Delays
Specific Charge	0.53 ~ 0.57 Kg/m <sup>3</sup>

#### 4.2 시험파쇄 결과

총 26회의 시험파쇄로 2가지의 결과를 분석하였다. 첫 번째는 기존제품(180g) 대비 신제품(360g)의 파쇄효율, 진동속도 시공성을 비교하였다. 두 번째는 당 현장에서 적용가능 묶음수와 진동 추정식에 따른 미진동 파쇄기 파암 영역을 구분하였다. 그림 4는 동일 장약량에 따른 비교시험 결과이다.



(a)

(b)

그림 4. (a)시험파쇄장전, (b)파쇄결과

민형동, 정민수, 박윤석, 황의진, 박준호

### 기존제품(180g)과 신제품(360g) 비교분석 결과

#### 1) 파쇄효율

기존 제품(180g)의 경우 신제품에 비해 장약장이 길어지게 되므로 상부파쇄가 더 우수할 것으로 예상되었으나, 2차파쇄 실시 후 파쇄정도 관찰결과, 그 차이를 구분하기 어려워, 기존제품(180gX2ea)과 신제품(360g)의 파쇄효과는 대등한 것으로 판단되었다.

#### 2) 진동속도

동일한 지발당장약량과 거리일 때 진동속도의 비교 결과, 총 16회의 비교 시험 중 신제품(360g)이나, 기존제품(180gX2ea) 어느 한쪽이 높거나 낮음이 없어, 뚜렷한 경향을 찾아보기는 어려우며, 전열의 파쇄상태에 따라 진동속도의 차이가 나타나는 것으로 판단되었다. 따라서 자유면의 확보가 진동절감의 주요 Key로 판단되었다.

#### 3) 시공성

신제품 적용 시 약경 증가(30mm→36mm)로 인한 장전 작업 시 문제는 발생치 않았으며, 작업시간 측정결과 신제품(360g) 적용시, 기존제품(180gX2)보다 결선이 간편하며, 결선시간이 크게 감소되어 표 7과 같이 32%의 작업시간이 단축되어 시공상 편의성이 증대된 것으로 판단되었다.

표 7. 작업시간 비교(동일 작업자로 작업실시, 장약/결선시간 측정)

구 분	작업인원 (인)	작업공수 (공)	작업시간 (분)
기존제품 (180gX2ea)	2	10	19
신제품 (360g)	2	10	13

### 시험파쇄 분석 결과

#### 1) 진동 추정식 산정

사용된 계측기기는 변위 · 진동속도 · 진동가속도 · 주파수 · 폭풍압(소음수준)을 모두 측정할 수 있는 INSTANTEL(社) DS-477를 사용하였다. 당 시험 파쇄 시 획득된 진동 data를 근거로 진동 추정식을 산정하였으며 아래 표 8에 나타내었다.

표 8. 해당지역 진동 추정식

지반진동속도 (cm/sec)	입지 상수(K)	장약 지수(b)	감쇠 지수(-n)	현장관리 기준치
V <sub>50%</sub>	2.308	1/2	1.275	0.3 cm/sec
V <sub>95%</sub>	3.909			

2) 암 굴착영역 구분

시험파쇄결과에 따른 당 현장의 지질, 암반조건, 대상물의 안정성에 부합된 암 굴착 영역을 표 9와 같이 구분하였고, 공당 최대 장약량은 0.36kg/hole로 제한하고, 1회 파쇄공수는 거리별로 4~10공 이내로 제한하였다. 또한 보안물건과 6m 이상의 거리에서는 미진동파쇄기를 적용하였으며, 6m이내의 거리에서는 무진동공법을 병행하여 그림 5와 같이 시공을 실시하였으며, 그림 5와 같이 보안물건에 따른 암 굴착 영역 구분도를 나타내었다.

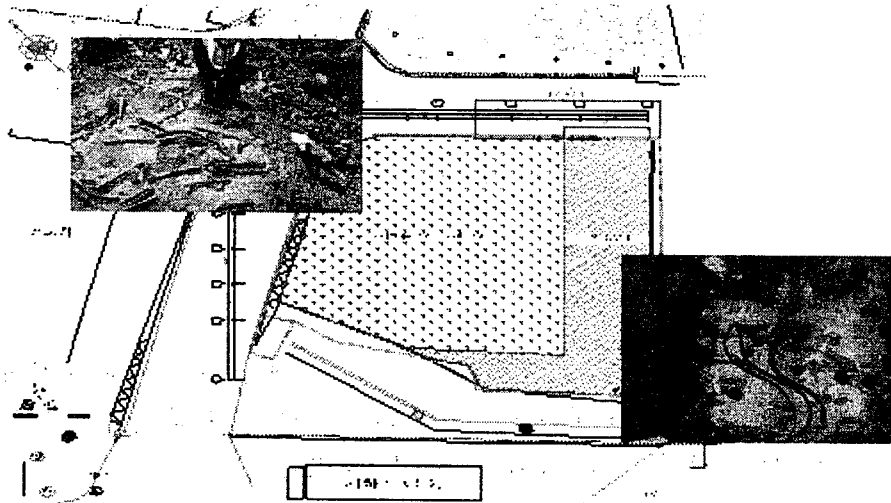


그림 5. 미진동 파쇄기 굴착영역 구분도

표 9. 암 굴착영역 구분

적용공법	대상물	공당장약량 (kg/hole)	1회당 공수 (공수/회)	적용가능거리(m)
				대상물~폭원
미진동파쇄기파암	지하철, 은행, 빌라 진동기준:0.3cm/sec 이하	0.36	무진동 4공 6공 8공 10공	6 이하
				6 이상
				8 이상
				9 이상
				10 이상

5. 시공 사례

5.1 시공현황

당 현장은 지하 굴착공법은 흙막이 공법 중 지보재로 H-Pile을 이용한 Strut 공법으로 옹벽 보강작업과 굴착작업이 동시에 이루어져 장소가 협소한 현장으로 그림 5와 같은 굴

민형동, 정민수, 박윤석, 황의진, 박준호

착영역에 따라 미진동 파쇄기를 이용하여 시공방법으로 파쇄를 실시하였다. 파쇄 순서는 그림 6과 같이 예정 천공 위치에 천공을 실시하고 전체 장전을 하는 것이 아니라 2자유면 상태에서 1열에 장전한 후 파쇄를 실시하고 자유면을 충분히 확보한 다음 2열에 장전을 하여 순차적으로 파쇄를 실시하였다. 이와 같이 적용한 이유는 자유면 확보에 따른 파쇄효율 증가와 전열발파에 의한 Cut off 방지 및 진동 절감이다.



그림 6. 시공 현황

## 5.2 장비현황

장비현황은 미진동 파쇄굴착을 위한 크롤러 드릴 1~2대와 파 무진동 구간에 적용하기 위한 유압잭 1~2대와 파쇄 후 2차 파쇄를 위한 브레이커 1대 파쇄암 상차를 위한 B/H 1대와 반출을 위한 크레인 1대가 그림 7과 같이 이용되었다.

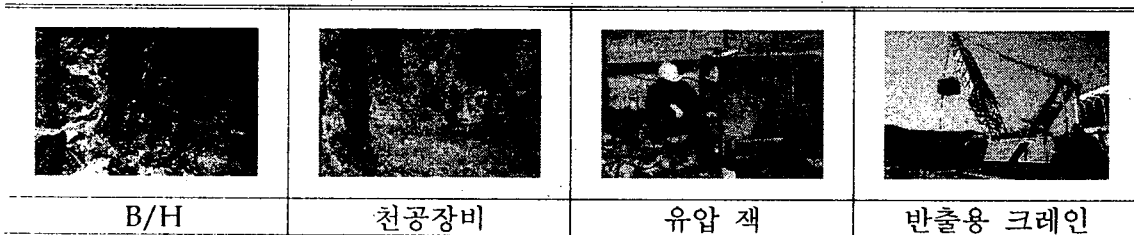


그림 7. 장비 현황

## 5.3 미진동 파쇄를 이용한 굴착 현황

미진동 파쇄기 신제품 360g/1분을 이용하여 1일 모암기준 최대 굴착량은 64.2m<sup>3</sup>로 파쇄 패턴은 표 10과 같다. 총 굴착 암량 3,750m<sup>3</sup> 중 3,000m<sup>3</sup>를 굴착하는데 소요 시간은 2달(60일)이 소요되었다. 당 현장에서 무진동공법의 경우 1일 최대 12m<sup>3</sup>로 미진동파쇄기가 무진동공법 대비 5.35배 정도 많은 1일 굴착량을 나타냈으며 60일 대비로는 미진동파쇄기가 7.69배 많은 굴착량을 표 11과 같이 나타냈다.



표 10. 미진동 파쇄기 파쇄 패턴

Drill hole Diameter	45 mm	
K(Bench Height)	1,400mm	
L (Length of hole)	1,600mm	
B(Burden)	600mm	
S(Space)	600mm	
Charge per Hole	0.36 Kg/Hole	
Charge per Delay	1.44 Kg/Round	
Explosives & Detonators	FINECKER Plus φ30mm, 점화구	

표 11. 미진동 파쇄기 파쇄 패턴

총 굴착 압량 (m³)	공법별 굴착압량(m³)		1일 최대 굴착압량(m³)		60일 굴착압량(m³)	
	무진동공법	미진동파쇄기	무진동공법	미진동파쇄기	무진동공법	미진동파쇄기
4,250	500	3,750	12	64.2	390	3,000

5.4 진동특성

당 현장의 암굴착시공시 2달간에 걸쳐 주변보안물건에 대해 상시계측을 실시하였다. 계측결과 당 현장의 진동관리 기준치인 0.3cm/sec를 초과하지 않아, 시험파쇄에서 산출한 추정식이 매우 신뢰도가 높은 것을 알 수 있었으며, 굴착 영역도의 거리별 묶음 수에 따라 파쇄를 적용하여 안전한 시공을 하였다. 표 12에는 당 현장의 주요 보안물건에서 상시 계측 시 발생된 진동수준을 나타내었다.

표 12. 주요 보안물건 상시계측 진동 수준

주요 보안물건	지발당 장약량(kg)	계측거리(m)	진동수준(cm/sec)
상호저축은행	0.18~1.80	8~14	0.03~0.10
지하철3호선 출입구	0.18~1.80	7~34	0.03~0.14

## 6. 결론

본 사례 연구에서는 일반 폭약을 적용할 수 없는 도심지 터파기 현장에서 기계식 굴착 방법보다 시공성이 뛰어난 미진동파쇄기를 적용하여 굴착작업을 성공적으로 수행한 현장 시공사례를 소개하였다. 특히 기존제품을 신제품 360g FINECKER Plus로 시험파쇄 결과를 통하여 암파쇄 굴착공법의 효과적인 시공방법을 제시하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 당 현장은 주변에 보안물건이 근접하여, 일반폭약의 사용이 제한을 받는 현장으로 최초 기계식 굴착 공법으로 시공을 하였으나, 굴착효율 저하로 미진동파쇄기를 적용하여 시험파쇄를 실시하였다. 시험파쇄 결과, 보안물건과 6m 이상의 거리에서는 미진동파쇄기를 적용하고, 6m이내의 거리에서는 무진동공법을 적용해야 하는 것으로 나타났다.
2. 신제품(360g) 시험파쇄 결과, 기존의 180g FINECKER Plus 2本장약과 비교하여 암반 파쇄력 및 소음·진동수준에서는 대등한 정도로 나타났으며, 작업시간은 32% 감소하여 시공성면에서는 뛰어난 결과를 얻었다.
3. 당 현장의 암굴착시공시 2달간에 걸쳐 주변보안물건에 대해 상시계측을 실시하였으며, 계측결과 7~34m 거리에서 0.03~0.14cm/sec의 진동수준을 나타내어, 현장관리기준치인 0.3cm/sec를 초과하지 않아 시험파쇄에서 산출한 진동 추정식이 신뢰도가 높은 것을 알 수 있었다. 또한 시험파쇄로 얻은 굴착영역 구분도에서 제안된 거리별 1회 파쇄공수에 따라 안전한 굴착작업을 수행할 수 있었으며, 진동저감 효과 또한 확인할 수 있었다.
4. 시공방법은 천공 및 장전을 모두 하고 1회당 파쇄 묶음수를 분할하여 파쇄를 적용할 때 전열 파쇄에 따른 후열의 Cut Off가 발생되어 파쇄효율이 저하되므로 이를 방지하기 위하여 열 단위로 장전→파쇄→장전→파쇄 작업을 반복적으로 실시하였다. 이는 전열 파쇄에 의한 뒤 열의 Cut off 방지를 하여 공 내 불발잔류약이 없도록 하였으며, 자유면 확보에 따른 파쇄효율이 증대되었고, 진동의 절감과 안전한 파쇄를 유도하였다.
5. 이와 같은 방법으로 미진동파쇄기를 적용한 결과 1일 최대 파쇄량은 64.2m<sup>3</sup>의 굴착이 가능하였으며, 총 3,000m<sup>3</sup>의 암량을 굴착하는데 소요 시간은 2 달이 소요되었다. 또한 무진동공법의 굴착량 대비 5.35배 정도 많은 1일 굴착량을 보이며 60일 동안의 굴착량은 7.69배의 굴착량을 나타내어, 굴착 효율면에서 우수한 결과를 나타내었다. 무진동공법(유압재)의 경우 1일 5~20m<sup>3</sup> 정도의 굴착속도를 나타내었으며, 미진동파쇄기와 병행하여

완전한 자유면 형성 후 시공결과 더 우수한 굴착효율을 나타내었다.

### 참고문헌

1. FINECKER Plus 제품설명서, 2004, (주)한화.
2. 김영근, 김일중, 기경철, 2005, 미진동파쇄기를 이용한 표준암반파쇄굴착공법에 관한 연구, 화약·발파(대한화약발파공학회지), Vol. 23, No. 1, pp. 19-30.
3. 도심지에서 암파쇄굴착공법에 관한 연구, 2006, 토목공학회 정기 학술 발표회.
4. 미진동파쇄기 파암공법 적용에 따른 시험시공결과 보고서, 2005, 예일종합건설.
5. 「장충교회 신축공사 현장」 월간계측보고서, 2006, 예일종합건설.
6. 신제품 FINECKER Plus(360g) 시험파쇄 결과보고서, 2006, (주)한화.