

할암기를 이용한 무진동 암반 파쇄공법의 현장 적용 사례 최영천¹⁾

Case History of Vibration-controlled Rockmass Breakage Method by Rock Splitter

Young-Cheon Choi

ABSTRACT. Explosive blasting, hydraulic power unit and rock splitter are typically utilized for rockmass breakage and cutting in reconstruction of building structures and other construction site. Hydraulic rock cutting method, that can be utilized any weather conditions, has been applied mainly by experience for controlling damages caused by vibration, noise and rock cuttings, and reducing damage claim by protecting adjacent structures. However, it is required to understand the characteristics of rockmass to improve operation efficiency. Although every cutting method has its own advantage, but it should be applied by considering site circumstance and rockmass properties in details to maximize the operation efficiency and economic feasibility.

Key words : Rock splitter, Rockmass breakage

초 록. 국내 재개발 및 건설공사현장에서 암반파쇄 및 굴착 절취 작업의 일환으로 화약을 사용하는 발파공법과 유압장비를 이용한 무진동 절취 공법, 브레이커를 이용한 파쇄 공법이 대표적으로 사용되고 있다. 유압력을 이용한 무진동 절취공법은 진동, 소음, 비석 등의 공해를 제어하고, 현장에 인접한 보안물건을 보호하며, 기상조건에 제한을 받지 않아 민원을 예방함과 동시에 암 절취 공사의 효율성을 높일 수 있어 암반 파쇄에 따른 여러 분야에서 적용되고 있다. 그러나, 현행 무진동 절취공법은 암반의 특성을 정확하게 파악하지 않고 대부분을 경험에 의존하여 시공패턴을 설정하고, 시공이 행하여지고 있다. 이러한, 각각의 암반 파쇄 공법은 그 적용에 따른 경제적 이익과 시공성, 안전성 등을 극대화 할 수 있으나, 반대로 적절하지 못한 공법 적용은 커다란 경제적 손실과 시공성 및 안전성의 저하를 가져오므로 현장 주변 여건과 암반 상황 등 현장 여건을 종합 검토하여 공법 선정이 이루어져야 한다.

핵심어 : 할암공법, 암반 파쇄

1. 서 론

국내 재개발 및 건설공사, 구조물 해체 현장에서 암반파쇄 및 구조물 해체 방법 각종 공법에 의해서 시행되고 있으며, 이러한 각각의 공법은 화약을 사용하는 발파공법과 유압장비를 이용한 무진동 절취 공법, 브레이커를 이용한 파쇄 공법이 대표적으로 사용되고 있다.

위의 방법 중 발파공법의 경우 현재 토목공사 현장 및 건설공사 현장에서 가장 많이 적용되어 시행되고 있으나, 발파 작업시 발생하는 지반진동 및 소음에 의해 각종 민원이 야기되고 있는 실정이다. 이러한, 민원 야기로 인해 발파공법의 기술 개발이 이루어지고 있으며, 그에 따른 발파 규모 역시 각

각의 작업장에 따라 다르게 시행되고 있다.

브레이커(Power Breaker) 공법에 의한 암반 파쇄는 브레이커에 의한 단독 시공 보다는 발파 작업 또는 그밖의 암반 파쇄공법에 의해 파쇄된 모암을 2차 소할하는 작업에 사용되어 왔으나, 근래에 들어 각종 민원 야기에 따라 암반 파쇄에 적용 시행되고 있다. 이러한 브레이커에 의한 암반 파쇄 역시 지속적으로 발생하는 기계적 충격음에 의해 소음이 발생되고, 이러한 소음은 주변 민원 야기를 초래하고 있다.

상기의 민원 야기에 따른 암반 파쇄 공법 기술 개발이 이루어지고 있으며, 진동 및 비산이 수반되어 주변 보안물건 및 주민들에게 피해를 초래하여 민원 발생 지역에서의 암반 파쇄를 위한 목적으로 유압력을 이용한 무진동 절취공법이 수행되고 있다.

유압력을 이용한 무진동 절취공법은 진동, 소음,

1) 상지대학교 자원공학과
접수일 : 2004년 9월 13일

비석 등의 공해를 제어하고, 현장에 인접한 보안물건을 보호하며, 기상조건에 제한을 받지 않아 민원을 예방함과 동시에 암 절취 공사의 효율성을 높일 수 있어 도심지 암반지대 터널굴진, 빌딩신축을 위한 지하 터파기, 도로개설, 트렌치, 배수지 관로, 철근콘크리트 구조물 절개 및 파쇄 등 여러 분야에서 적용되고 있다. 그러나, 현행 무진동 절취공법은 암반의 특성을 정확하게 파악하지 않고 대부분을 경험에 의존하여 시공패턴을 설정하고, 시공이 행하여 지고 있다. 국내 지질구조는 고생대부터 신생대 제4기까지 분포하는 복잡한 특성을 가진다. 따라서 암반의 인장특성을 이용하는 무진동 절취공법에 암반의 물리적 특성의 파악이 선행되어야 할 것으로 생각된다. 이는 현행 경험에 의존하는 패턴에서 탈피하여, 암반의 특성에 따른 정확한 패턴의 개발로 공기를 단축할 수 있으며, 공사단가를 감소시킬 수 있을 것으로 생각되며, 더 나아가 보안물건 및 주변 주민들에게 피해를 주지 않는 공법으로 자리 잡을 수 있을 것으로 생각된다.

이러한, 각각의 암반 파쇄 공법은 그 적용에 따른 경제적 이익과 시공성, 안전성 등을 극대화 할 수 있으나, 반대로 적절하지 못한 공법 적용은 커다란 경제적 손실과 시공성 및 안전성의 저하를 가져오므로 현장 주변 여건과 암반 상황 등 현장 여건을 종합 검토하여 공법 선정이 이루어져야 한다. 따라서, 본 연구에서는 국내 지질학적 암반 현황 및 주변 현황에 따른 최적의 암반 공법을 선정하는 데 그 목적을 둔다.

2. 본 론

본 연구에서는 암반 파쇄공법중 도심지 내 노천에서 시행되고 있는 암반 파쇄지역을 중심으로 하였다.

2.1 유압 절개 공법

도심지 내에서 진동 제어발파 및 Breaker 등 미진동 공법의 적용이 제한되는 현장에서 주로 사용되며 그 공법 절차는 절개하고자 하는 암반에 일

정한 선을 따라 유압 크롤러 드릴로 천공(Drilling)을 하고 무진동 암반 절개 장비 작동부 (Element)를 천공 홀 속에 장착 암반을 절개(Splitting)시킨 후, Breaker나 Nipper로 절개된 암반을 모암으로부터 분리시키는 공법이다.

그에 따른 세부적 절차는 다음과 같다.

(1) 암반 파쇄 원리

유압력을 이용한 암반 절개공법은 압축강도에 비하여 인장강도가 낮은 암석의 특성을 이용하여, 암반내 천공을 실시하고 천공내에 할암봉(Element)를 삽입시켜 할암봉(Element)내에 유압력을 주어 썸기의 원리로 파쇄시키는 공법으로 도심지에서 진동 및 소음으로 인해 발파공법을 시행할 수 없을 때 사용하는 공법이다.

(2) 시공방법

1) 천 공 (Boring)

가. 분진 발생에 따른 민원을 예방하기 위하여 집진 장치가 부착되어 있고 천공속도가 빠르며 소음이 적은 유압 크롤러 Drill을 사용한다.

또한, 소음에 의한 민원발생 야기 및 민원 우려 지역에서는 드릴에 소음 방지막을 설치하여 시행한다.

나. 천공위치는 시공계획에 의해 정확한 위치에 천공한다.

다. 자유면 암반의 자연적 절리선 및 암결을 우선적으로 고려하여 천공한다.

라. 천공홀은 최대한 직선상에 위치하도록 하며, 공저선도 일직선상에 위치하도록 한다.

마. 암결선에 평행하거나 수직되게 천공선을 선정한다.

바. 천 공 간 격 : 50~80cm

사. 최소 저항선 : 50~80cm

아. 천 공 깊 이 : 270~320cm(수평 천공시)
120~150cm(수직 천공시)

자. 암반의 성질에 따라 공간격 및 최소 저항선을 설정하되 절개상황을 고려하면서 최소 저항선을 선정 한다.

차. 자연 크랙선과 천공간격에는 최소 50cm 이상의 간격을 띄운다.

카. 천공홀은 상하좌우 각도가 동일하게 한다.

다. 천공→절개→2차 파쇄→집토→반출의 전 공정이 체계적, 조직적, 연속적으로 진행될 수 있도록 장비 및 인력의 투입을 효과적으로 고려한다.

파. Power Pack이나 작동부로 부터 충분한 안전 거리를 확보하여 안전사고를 공사착수 전에 예방한다.

하. Drill Bit 현장의 암반 강도를 파악한 후 조건에 맞는 Bit 를 적용한다.



그림 2. 유압 드릴(수평천공)

표 1. 암반 강도에 따른 Bit 종류

| 암 종류 | Drill Bit의 종류 |
|---------|----------------------------|
| 연 암 | Conical Button Bit(CB Bit) |
| 보 통 암 | Normal Bit |
| 경 암 | Heavy Duty Bit (HD Bit) |
| 콘 크 리 트 | Crown Bit |

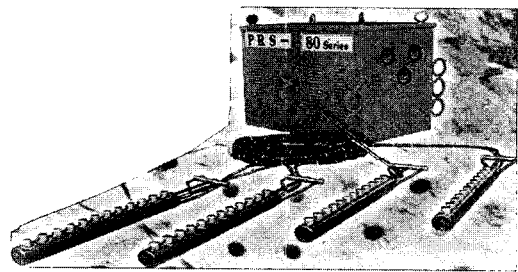


그림 3. 할암기 Power Pack

2) 절 개 (Splitting)

천공 시행후 할암기(Rock Split)를 이용하여 원지반 암반에서 분리하는 작업으로 천공된 홀(Hole:φ 95mm)내에 할암봉(φ 80mm)을 삽입하여 암반의 인장 특성과 할암기의 썬기 원리를 이용하여 암반을 분리한다.



그림 1. 유압드릴(수직천공)

표 2. 할암기 제원표

| 구분 | 제원 |
|----------|--------------------------|
| 피스톤 행정거리 | 29 mm |
| 피스톤 지름 | φ 50 mm |
| 피스톤 갯수 | 12 ea |
| 할암봉 직경 | φ 80 mm |
| 천공 구경 | φ 95 mm |
| 할암봉 중량 | 22 Kg/unit |
| 할암봉 길이 | 790 |
| 작동 유압 | 1,400 kg/cm ² |
| 할암력 | 1,319 ton |
| 할암봉 갯수 | 4 ea |
| 사용 동력 | 220 V |

절개시 적용되는 천공 방법은 수평 천공 방법과 수직 천공 방법, 수직 수평 병행 방식이 있으며, 그

에 따른 세부 사항은 다음과 같다.

가. 수평 천공 방식

수평 천공의 적용은 대단위 작업장이나 2자유면 계단(Bench)면을 유지할 수 있는 작업장에서 시행되고 있으며, 일반적으로 할암공법의 경우 수평 천공에 의한 암반 절개를 시행하고 있다.

수평 천공 방식의 경우 할암봉(Element)의 길이에 따른 1.5m 천공 방식과 다음 그림과 같이 드릴의 1 Rod 길이(2.7m 또는 3.2) 만큼 천공하는 방법으로 나눌 수 있다.

드릴의 1 Rod의 길이로 천공하는 경우 천공시 천공에 따른 시간이 많이 소요되므로 천공과 절개가 각각 시행할 수 있는 대규모 작업장에서 적용이 가능하며, 1회 천공에 따른 2~3회의 절개를 시행할 수 있어 시공성 및 경제성이 우수하다.

할암봉 길이에 따른 천공시 1회 천공에 따른 1회 절개 방법으로 1차 절개에 따른 소요 시간은 절약되나, 천공 홀의 손실률이 높고 장비의 시공 능력이 떨어지므로 작업장이 협소한 지역에서 적용한다.

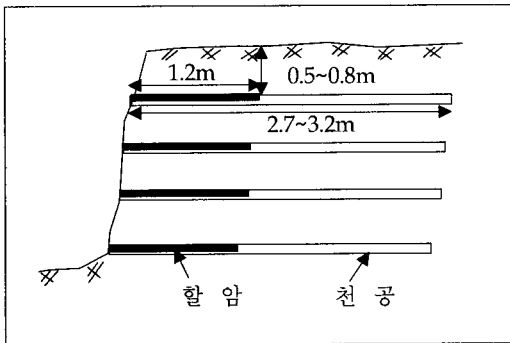


그림 4. 수평 천공방식

나. 수직 천공 방식

수직 천공 방식의 경우 작업장이 협소하여 수평 천공이 불가능한 지역이나, 소규모 작업장에서 적용되어 지며, 암반 절리가 수직으로 발달한 지역에서 효과적으로 적용할 수 있다.

수직 천공 방식의 경우 암분에 의한 공내 채움과 공 걸림 현상 등으로 인해 천공 효율이 떨어지는 단점이 있다.

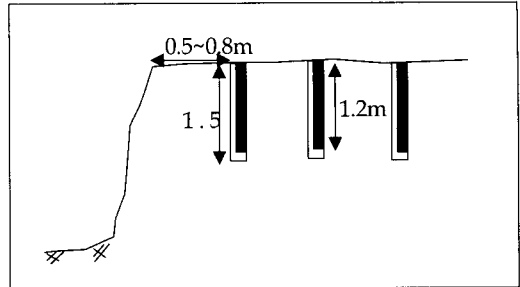


그림 5. 수직 천공 방식

다. 수직 수평 병행 천공 방식

수직 수평 병행 천공 방식의 경우 장비 및 장소에 제약을 받지 않는 대규모 작업장에서 적용되어 진다.

할암 공법의 경우 절개후 2차 파쇄에 따른 시간이 소요되는 데 대량의 물량을 1차 절개후 2차 파쇄시 Breaker 또는 Ripper 사용시 천공 및 절개에 소요되는 장비 및 작업 인원의 소실이 우려되므로 수직 수평 천공에 의한 방식 적용시 작업장 규모를 고려하여야 한다.

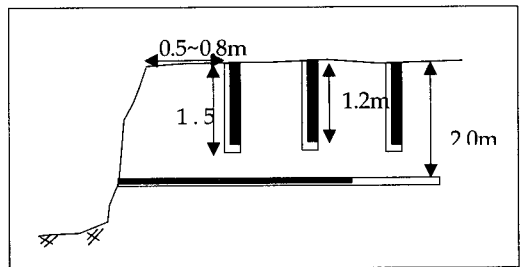


그림 6. 수직 수평 병행 천공방식

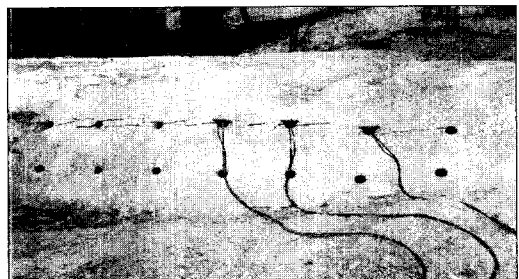


그림 7. 할암작업



그림 8. 파쇄 현황



그림 11. Ripper를 이용한 2차 파쇄

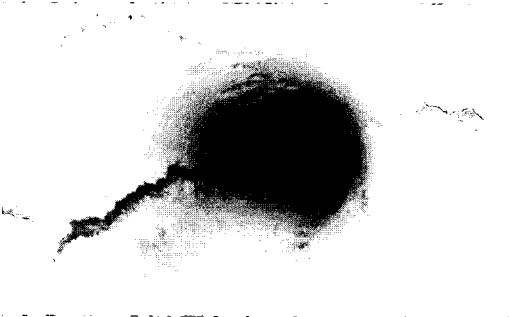


그림 9. 공내 파쇄 현황

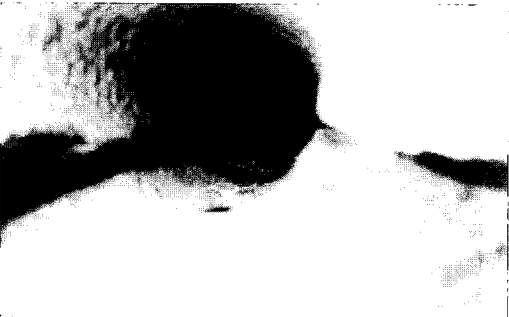


그림 10. 공내 파쇄 현황

3) 분리 및 파쇄 (Breaking)

1차 할암기에 의해 절개된 암반을 대상으로 분리 및 파쇄작업을 실시할 때 적용하며, 현장에 방음벽이 설치되어 있거나 소음과 진동의 영향이 주변 보안물건에 큰 피해를 주지 않는 작업장에서 공기단축을 요할 때는 Breaker를 사용하고, 소음과 진동에 대해 민원 제기가 우려되는 지역과 공기에 다소 여유가 있을때는 Nipper를 사용한다.

(3) 현장 적용 및 경제성

본 연구에서는 일반 도심지 노천 암반 파쇄를 기준으로 하였으며, 서울 ○○동에 위치한 재건축 아파트 건설공사에서 시행하였던 무진동 할암공법을 적용하였다.

대상 작업장의 암반 파쇄 대상 물량과 파쇄 현황 등을 고찰하였다.

표 3. 대상 작업장 현황

| 공사 형태 | 아파트 재건축공사 |
|-------|-----------------------|
| 파쇄 물량 | 40,000 m ³ |
| 대상 암종 | 화강암 |

본 대상 작업장의 경우 주변에 인접하여 가옥 및 각종 건축 구조물이 위치하여 있고, 재건축 공사에 따른 집단 민원이 공사전부터 야기되어 있는 관계로 전 공정을 무진동 암반 파쇄공법으로 설계가 되어 있어 무진동 암반 파쇄공법중 할암기를 이용한 암반 파쇄공법을 선정하여 시행하였다.



그림 12. 대상 작업장 전경

대상 작업장의 경우 작업장이 대규모로 넓게 분포하여 있으나, 2차 파쇄시 발생하는 소음에 의해 민원이 야기되어 Power Breaker에 의한 2차 소할이 아닌 Ripper를 사용한 2차 소할을 실시하였다.

또한, 버럭 반출 및 암반이 한곳에 집중으로 위치하여 절개방식은 주작업으로 수평 천공 방식을 선정하여 시행하였다.

그에 따른 투입 인원 및 장비 투입은 다음과 같다.

표 4. 투입 현황

| 구 분 | 천 공 | 절 개 | 분리 및 파쇄 | 계 |
|------|-------|------|----------------------------|----|
| 투입장비 | 크롤러드릴 | 할암기 | Ripper(1.0m ²) | - |
| 투입대수 | 4 대 | 3 대 | 1 대 | 8 |
| 투입인원 | 4 명 | 10 명 | 1 명 | 15 |
| 비 고 | | | | |

상기의 장비 및 인원을 바탕으로 시행한 시공 물량은 다음과 같다.

표 5. 시공 현황

| 구 분 | 할암공법 | 비 고 |
|-------------------------------|--------|-----|
| 1. 전체물량(m ³) | 40,000 | |
| 2. 월천공수(공/월,대) | 3,000 | |
| 3. 일굴착량(m ³ /일,대) | 51.84 | |
| 4. 월굴착량(m ³ /월,대) | 1,296 | |
| 5. 작업기간(개월/대) | 30.86 | |
| 6. 일굴착량(m ³ /일,4대) | 207.36 | |
| 7. 월굴착량(m ³ /월,4대) | 5,184 | |
| 8. 총 작업기간(개월/4대) | 7.71 | |
| 9. Pattern 기준 | 1.2 m | |

무진동 유압 암반 절개기를 사용한 암반 파쇄의 경우 발파공법에 비해 시공성 및 경제성에 대해서

는 월등히 저하되나, 안전성에 있어서는 최대의 효과를 가져옴으로써 폭약 사용이 불가능한 지역에서의 암반 파쇄 작업시 최적의 효과를 가져올 수 있다.

2.2 Power Breaker 공법

브레이커를 백호우(back hoe)등 건설장비에 장착하여 사용하며 소음이 크고 충격진동이 발생하게 되므로 시가지에서는 장기적인 주작업에 부적합하며 일시적인 소규모 공사 또는 2차 소할 등에 이용된다.

(1) 암반 파쇄 원리

유압식 Back Hoe와 Power Breaker를 조합하여 기계의 타격력을 이용한 충격파괴 이론에 의한 암반 파쇄를 시행하는 공법이다.

(2) 시공방법

Breaker 공법의 경우 주목적은 분리된 암반을 적재 등 버럭 처리에 활용하기 위한 2차 소할의 목적으로 사용되어지나, 근래에 들어와서 발파 작업시 발생하는 진동 및 소음에 의한 민원 야기로 화약 사용이 불가능한 지역에서 일부 시행되고 있다.

원지반 암반에서 Back Hoe에 Power Breaker를 장착하여 기계의 타격력에 의한 암반 파쇄를 시행하는 데, 이때 발생하는 소음도가 높아 건설 소음에 의한 민원 야기가 되고 있다.



그림 13. 브레이카 파쇄

(3) Power Breaker 공법 적용시의 건설 소음

브레이커 공법에 의한 암파쇄시 발생하는 소음은 주변 건축물에 반사되어 음의 중첩 효과에 의해 100dB이상 발생되며, 이러한 소음 수준은 직접적으로 거주민이 느끼는 음의 피로도가 더욱 증가되어 음의 특성에 따라 진동과 같은 느낌으로 감지되므로 민원야기 우려가 매우 높다.

Power Breaker 공법 적용시 발생하는 소음의 형태는 다음과 같다.

* 배기음 : 공기가 실린더에서 방출될때 급격히 팽창하기 때문에 발생하는 것으로써 브레이커 소음 중80%이상을 차지하고 있다.

* 타격음 : 피스톤과 스틸,스틸과 피파쇄물의 타격음으로서 피스톤 드의 형상 및 크기에 따라 발생하는 소음 특성은 다소 다르게 된다.

주 소음 성분은 타격속도에 관계없이 주파수 5000Hz부근이며 음압레벨은 타격속도에 관계가 깊다.

* 기계음 : 벨브,스틸의 보조기구로부터 발생하는 금속음이며, 음압 레벨은 낮다.

(4) 현장 적용 및 경제성

Power Breaker 공법에 의한 암반 파쇄는 비교적 소규모로 분포되어 있는 암반이나, 2차 소할 목적 또는 도로 사면정리를 위한 암석 제거시에 적용이 적합하며, 대규모 암반 제거나 시가지에서의 암반 파쇄시에는 1일 작업 규모나, 암반 파쇄시 발생하는 소음에 의한 민원 야기 유발 우려 등으로 타당한 공법이 아닌 것으로 판단된다.

경제성을 비교할 때 단순히 1m'를 파쇄하기 위한 비용은 저렴하나, 1일 파쇄량이 적은 관계로 작업 기간이 길어지며, 후속 공정의 지연으로 전체 작업비용은 상승하는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 암반 파쇄에 따른 각종 민원이 야기되어 그에 따른 안전성 및 효율성을 고려한 암반파쇄를 위하여 무진동 할암공법을 바탕으로 실제 현장에서 적용한 사례를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

표 6. 각종 건설 기계소음 레벨

| type | 건설기계 | 제원 | 소음레벨 |
|------|-------|---------|------|
| M | 불도저 | 4~10t | 85 |
| | | 15t | 88 |
| | | 20t | 91 |
| | | 30t | 94 |
| | | 40t | 97 |
| M | 백호우 | 0.4m | 87 |
| | | 0.7m | 89 |
| | | 1.0m | 91 |
| M | 디젤햄머 | 1.2t | 104 |
| | | 2.5t | 113 |
| M | 브레이커 | 400 | 102 |
| | | 600 | 100 |
| | 덤프트럭 | 11 | 87 |
| | | 32 | 91 |
| | | 11 | 84 |
| M | 진동롤러 | 4 | 89 |
| | | 11 | 92 |
| | | 공기식 | 106 |
| M | 크롤러드릴 | 유압식 164 | 88 |
| | | 유압식 270 | 98 |

1. 무진동 할암공법의 적용

도심지에서 무진동 할암공법을 적용하여 시행한 결과 진동 및 소음에 의한 민원 야기 없이 안전하게 작업이 이루어졌으며, 현행 시행되고 있는 Power Breaker에 의한 암반 파쇄에 비해 시공성 및 안전성에서 우수한 것으로 판단된다.

2. 도심지에서의 암반 파쇄공법의 적용

현재 도심지에서의 암반 파쇄공법의 적용은 발파공법을 배제한 무진동 암반 파쇄공법으로 전환되고 있는 실정이다.

무진동 암반 파쇄공법은 안전성에서는 우수하나, 시공성 및 경제성이 발파공법의 적용에 비해 저하되므로 무조건적인 전환은 옳바르지 못한 것으로 판단된다.

따라서, 도심지에서의 암반 파쇄공법을 선정함에 있어 미진동 암반파쇄공법 및 진동 제어 발파공법을 시행하면서 민원 대상 보안물건이 인

접한 작업장에서 무진동 할암공법에 의한 암반 파쇄를 시행하고 그에 따른 진파하는 진동을 차단하여 시행하여야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2001년도 상지대학교 학술연구 조성비에서 도움을 받아 수행되었으며, 연구비를 지원하여준 학교 당국에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 이부경, 1998, 암석역학의 원리, 대운, pp. 147~161.
2. 안전공학협회, 2001, 소음진동학, 동화기술, pp. 131~170.
3. 한국토지개발공사, 1993, 암발파 설계 기법에 관한 연구, 학림사, pp. 212~242.
4. 수호 무진동 할암기, 수호산업개발, pp. 12~18.