

## 진동제어발파공법 적용 사례에 관한 연구

손영복, 김재훈, 원연호<sup>1)</sup>

### A Case study on the Application of Vibration Controlled Blasting Method

Young-Bok Son, Jae-Hoon Kim, Yoen-Ho Won

**초 록.** 최근 도심지 굴착공법 선정시 주변환경에 대한 관심이 높아지면서 민원발생을 감안하여, 발파공법이 아닌 기계굴착공법(TBM, SHIELD 등) 등이 부분적으로 적용되고 있다. 그러나 이들 굴착공법들은 굴착조건의 변화에 따라 적용 한계성이 있고, 한계구간이 직면할시 시공성이 극히 떨어지거나 적용 자체가 불가능하게 된다. 이에 따라, 공사기간의 연장, 공사비의 증가 및 적용자체가 불가 할 경우는 공사중단에 이르게 되어 시공과정에서 다른 굴착공법으로 전환되는 사례가 빈번히 발생되고 있다. 따라서 본 사례는 도심지 터널구간으로 당초 할암공법으로 설계되었으나 암반의 강도가 높고 굴착단면적이 협소하여 할암공법이 적용될 수 없었다. 이에 대한 대안공법으로 TBM이나 기타 장비에 의한 기계굴착공법을 검토하였으나, 터널연장이 짧고 터널노선의 곡선부 반경이 작아 대형장비의 투입이 어려운 굴착조건 때문에 최종적으로 폭약을 이용한 발파굴착 공법을 선정하였다. 그러나 발파공법은 진동 및 소음이 필연적으로 수반되기 때문에, 주변 환경공해가 허용하는 범위 내에서 최대한의 시공성과 안전성 여부를 판단하기 위하여 발파진동 및 소음의 허용수준을 설정한 후 시험발파를 실시하였으며, 그 결과에 따라 진동제어발파공법을 적용하였다.

**핵심어 :** 진동제어발파, 할암공법, 시험발파, 발파공해

## 1. 서 론

○○분기 관로공사 중 터널구간의 굴착은 당초는 할암공법(GNR)을 이용하여 굴착작업을 수행하였다. 그러나, 터널구간의 암질은 매우 조직이 치밀하고 강도가 높은 암질(일축압축강도 1,500kgf/cm<sup>2</sup>)로 구성되어, 할암공법으로는 굴진효율이 매우 낮아 예정된 공사기간 내에 굴착을 완료하기 어려운 실정이었다.

이러한 상황을 고려하여 관로 공사의 나머지 구간에 대한 시공성 확보를 위하여 진동제어발파공법을 제안하였다. 그러나 작업구간은 학교내로서 학교에는 신축중인 건물, 스포츠센터가 위치하고 있으며, 학교와 인접된 곳은 축조된지 오래된 노후 구조물(슈퍼, 여관, 세탁소 등)들이 위치하고 있어, 이 구간에 발파굴착공법을 적용시에는 발파시 발생하는 진동과 소음으로부터 이들 시설물을 보호하는 것이 매우 중요하므로 진동과 소음을 허용수준 이하로 제어할 수 있어야 하며 시공성(굴진효

율)과 안전성이 확보되어야 한다. 또한 이들 시설물 관리를 위해서는 사전 발파제원, 발파규모 등 작업방법에 따른 적용성이 판단되어야 한다.

따라서, 당 현장은 발파공법의 현장 적용성 여부를 판단하기 위하여 3회에 걸친 시험발파를 실시하였으며, 본 논고에서는 시험발파를 통하여 얻은 발파관련 내용과 시험발파방법에 따른 발파효과, 현장내에서 계측한 발파진동 및 소음측정 자료들을 해석하였으며 해석결과에 따라 발파작업에 따른 공해(진동, 소음 등)를 종합적으로 평가하고 주변 보안물건에 대한 허용수준을 기준하여 당 현장에 적합한 발파패턴을 제시하였다.

## 2. 시험발파 관련 주요내용

### 2.1 시험발파 관련 현황.

#### (1)공사현황

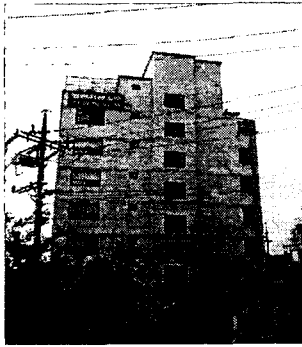
- 공사 명:○○분기 관로공사
- 발 주 처:한국전력공사 서울전력구건설처
- 공사내용:터널(메사쉴드 터널 90m), 수직구(25m)

1) 원엔비 기술사사무소

논문접수일 : 2003년 9월 22일

(2)주변현황.

공사구역은 서울시 서대문구 신촌동 134번지 일대로서 ○○대학교 구내에 위치하며 공사구역 주변에 위치한 시설물은 그림 1과 같다.



(a) 스포츠 센타 빌딩(50m)



(b) 학군단 및 신축구조물(25m)

그림 1 공사구역 주변 시설물

(3)지질개요

본 공사구역의 지질은 선캠브리아기의 변성암류와 이를 관입하고 있는 화성암류, 그리고 이들을 부정합으로 피복하고 있는 제4기 충적층으로 구분할 수 있다.

본 지역 일원에 넓은 분포를 보이는 변성암류는 호상흑운모편마암이 대부분을 점하며 이에 소규모로 화강암질편마암이 협재되어 있다. 이들을 관입하고 있는 화성암류는 본 지역 북동측 일원에 넓은 분포를 보이는 흑운모화강암(일명 서울화강암)과 국부적인 분포를 보이는 시대미상의 반상화강암

암과 그리고 백악기의 석영반암, 산성암맥(규장암) 등으로 구성되어 있다.



그림 2 발파구역의 암질

(4) 당 현장의 발파진동 및 소음의 허용수준 설정.

○진동.

국내의 발파진동 허용기준치 설정은 구조물의 경우 대부분 <표. 1> 국내 공공기관의 발파진동 허용기준에 의하여 설정된다. 그러나 해당 지역마다 구조물의 축조형태, 용도가 각기 달라 정량적으로 정하기 매우 어렵고, 인체를 평가 대상으로 할 때는 개인적인 차이에 따라 감각적인 반응정도를 달리하므로 민원발생의 원인이 되고 있다.

따라서, 당 현장은 주변상황을 고려할 때 발파진동 수준을 안정적으로 관리하기 위하여, 보인물건의 용도를 인체가 감용할 수 있는 공간으로 고려하고, 축조형태상 노후화 등을 감안하여, 발파진동의 허용기준을 서울·부산 지하철 시방 및 노동부 고시 중 주택 구조물의 기준(0.5cm/sec)의 60% 수준을 적용하여 0.3cm/sec로 설정하였다.

○소음.

발파구역의 소음은 환경부 생활 소음·진동 규제법(시행규칙 제29조의2 제3항 관련./개정00.5.4) 중 생활소음 규제기준을 적용, 주거지역 공사장에서 발생(주간)하는 소음기준치로 70dB(A)로 설정하고, 음압기준인 dB(L)로 측정할 때에는 국내법상 기준이 없으므로 Dupont (Bollinger, 1980)의 인체에 영향을 미치지 않는 음압허용수준 115dB(L)로 설정하였다.

표 1 국내공공기관의 발파진동 허용기준

구 분	진동속도에 따른 규제 기준		허용 진동치
	건 물 종 류		
건교부 구조물 손상기준 발파진동 허용기준 (터널 표준시방서) 42000-58823-67-9813	진동 예민 구조물	문화재 등	0.2
	조적식(벽돌, 석재등)벽체와 목재로 된 천장을 가진 구조물	재래가옥, 저층일반가옥 등	1.0
	지하기초와 콘크리트 슬래브를 갖는 조적식 건물	저층 양옥, 연립주택 등	2.0
	철근콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 조적식 건물	중·저층 아파트, 중·소상가 및 공장	3.0
	철근콘크리트 또는 철골조 및 슬래브를 갖는 대형 건축물	내진구조물(고층아파트, 대형 건물 등)	5.0
서울시 지하철시방기준	문화재, 정밀기기 설치건물		0.2
	주택, 아파트		0.5
	상가, 사무실, 공공건물		1.0
	RC, 철골조 공장		4.0
노동부 (노동부고시 94~26호)	문화재, 컴퓨터 등 정밀기기		0.2
	결함 또는 균열이 있는 건물		0.5
	균열이 있고 결함 없는 빌딩		1.0
	회벽이 없는 공업용 콘크리트 구조물		1.0~4.0

**비고.1 (터널표준시방서 기준)**

\*발파지점 주변의 주거민에 대한 생활공해방지를 위한 발파진동허용치는 환경부제정 진동과 소음에 관한 규정을 준용한다. 단, 가축사육 및 양식장 인접 공사의 경우에는 해당전문가의 자문을 얻어 발파진동허용치를 정하여야 한다.

\*\*발파진동치가 허용범위를 초과할 경우에는 저폭속의 폭약사용, 다단발파적용, 장약량 제한, 심발발파 방법 조정, 발파방식 변경 및 진동 전파 방지 방법 등을 활용하여 진동치가 허용범위 이내가 되도록 조치하여야 한다.

**비고.2(노동부 고시)**

\*기존 구조물에 금이 있거나 노후 구조물 등에 대하여는 상기 표의 기준을 실정에 따라 허용범위를 하향 조정하여야 한다.

\*\*이 기준을 초과할 때에는 발파를 중지하고 그 원인을 규명하여 적정한 패턴(발파기준)에 의하여 작업을 재개한다.

표 2 생활소음 규제기준단위 : dB(A)

대 상 지 역	시간별 대상소음	조석	주간	심야	
		(5-8,18-22)	(8-18)	(22-5)	
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보전지역, 기타 지역안에 소재한 학교·병원·공공도서관	확성기에 의한 소음	옥외설치	70이하	80이하	60이하
		옥내에서 옥외로 방사되는 경우	50이하	55이하	45이하
	공장 및 사업장의 소음		50이하	55이하	45이하
	공사장의 소음		65이하	70이하	55이하
기타지역	확성기에 의한 소음	옥외설치	70이하	80이하	60이하
		옥내에서 옥외로 방사되는 경우	60이하	65이하	55이하
	공장 및 사업장의 소음		60이하	65이하	55이하
	공사장의 소음		70이하	75이하	55이하

**비고:**

1. 소음의 측정방법과 평가단위는 소음·진동공정시험방법에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상지역의 구분은 국토이용관리법(도시지역의 경우에는 도시계획법에 의한다.
3. 규제기준치는 대상지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 옥외에 설치한 확성기의 사용은 1회 2분 이내, 15분 이상의 간격을 두어야 한다.
5. 공사장의 소음규제기준은 주간의 경우 특정공사의 사전신고 대상 기계, 장비를 사용하는 작업시간이 1일 2시간이하일 때는 +10dB을, 2시간초과 4시간이하일 때는 +5dB을 규제기준치에 보정한다.

**2.2 시험발파 제원 및 적용조건.****(1) 시험발파 적용조건**

○시험발파는 심발부분에 직경 102mm 대구경 4공의 무장약공을 자유면으로 활용하는 Cylinder-Cut 심배기공법을 적용하였다.

○시험발파에 사용된 폭약은 에밀전 폭약(NewMite Plus I, 한화 제품) 1개를 공저에 넣고 그 위에 충분한 장약길이의 확보를 위하여 정밀폭약 NewFinex 1개를 장약하는 형식으로 적용하였으며, 공당 장약량은 천공장과 최소저항선등을 고려하여 설정하였다.

○시험 굴착에 사용한 뇌관은 지발전기뇌관으로 발파시 MS뇌관을 사용하였고, #MS0~MS10까지 하나씩 사용하였다.

○시험발파에 사용한 화약류의 규격은 표 3과 같다.

○시험발파에 사용된 화약류의 성능은 표 4와 같다.

표 3 사용화약류의 수량 및 규격

구분	형 태	규 격
폭약	NewmitePlus I	ø32mm × 295mm, 250g(지포장)
	NewFinex I	ø17mm × 500mm, 100g (플라스틱파이프)
뇌관	Hideto Plus	# MS0~MS10 각1개씩

표 4 사용화약류의 성능

제품명	평균폭속 (m/sec)	탄동구포 (%)	가비중 (g/cm <sup>3</sup> )	폭발열 (kcal/kg)	낙추감도 (cm)	가스량 (ℓ/kg)	내한성 (℃)	내수성
Newmite Plus I	5,700	120	1.1~1.2	880	100	826	-20	매우우수
NewFinex I	4,400	90	1.0	640	100	874	-20	매우우수

(2) 시험발파와 제원

○ 시험굴착(발파) 적용 PATTERN은 그림 2와 같다.

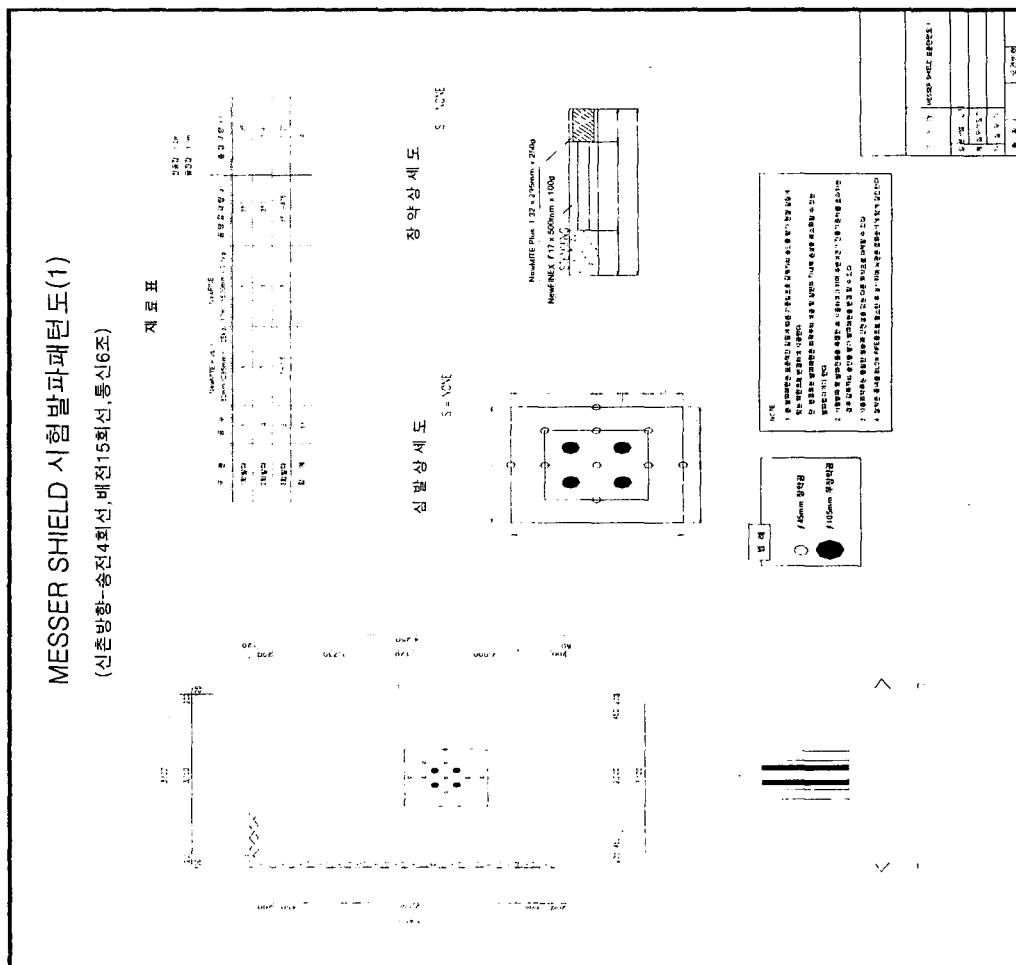


그림 2 시험발파 PATTERN

○ 그림 3은 총 3회 수행한 심발부분 시험 발파 위치와 발파공들을 나타낸 그림이다. 심발공 시험 발파는 직경 102mm 대구경 무장약공 내부를 자유면으로 활용할 수 있도록 천공하였고, 첫 번째 심발공들과 무장약공까지의 최단 거리는 약 15cm로 하였다.

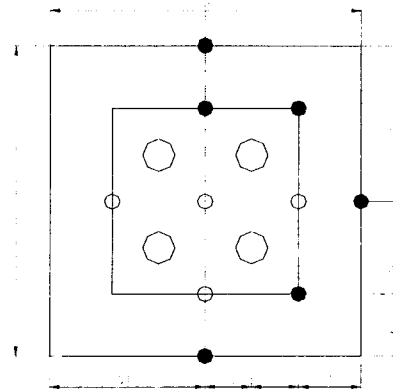
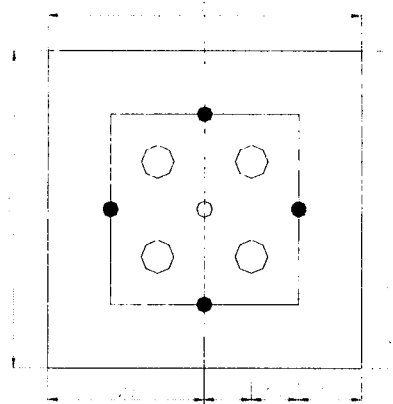
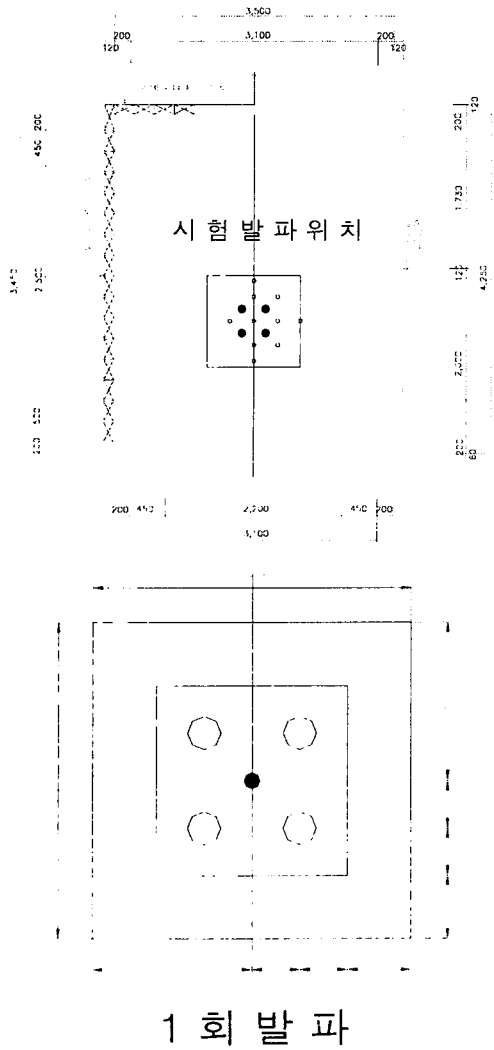


그림 3 시험발파 위치 및 발파공 모식도

○ 표 5는 3회에 걸친 각 시험 발파시 기록된 발파공수와 사용 폭약을 정리한 표 이다.

1회 발파는 1공만 실시하였고, 2회 발파는 4공, 3회 발파는 2회 발파시 암반을 파쇄시키 지 못한 1공과 저항선이 큰 공에 대해 공당 장약량을 증가 시켜 시험 발파를 수행하였다.

표 5 시험발파별 발파공수 및 사용 폭약량

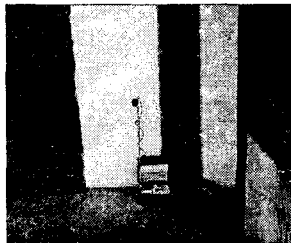
구분	발파공수	사용폭약		천공장(MAX) (m)	비고
		NewmitePlus I 0.25kg/EA	NewFinex I 0.1kg/EA		
1회발파	1	1	1	1.2m	
2회발파	4	1	1	1.2m	
3회발파	6	1~1.5	1	1.2m	

## 2.3 소음진동의 계측방법과 위치.

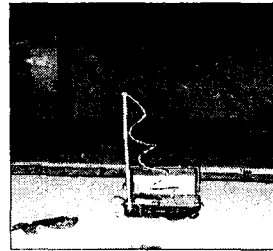
○시험발파의 소음 및 진동 계측에 사용된 계측기는 INSTANTEL사의 제품인 Blastmate Series 계측기 총 3대를 사용하였다.

○계측기의 설치위치는 보안물건에서의 진동의 영향을 측정하기 위하여 학군단, 공사중인 구조물, 스포츠센터빌딩에 위치시켜 측정하였다. 그리고, 계측기의 Trigger Level은 학군단과 스포츠센터빌딩에서는 암진동이 매우 낮아 최소로 설정을 하였지만 공사중인 구조물의 경우 건물에서 계속 작업 중에 있어 작업진동을 측정하여 이보다 높은 Level을 설정하였다.

계측기 설치위치 및 장소는 표 6, 그림 3과 같다.



(a) 학군단



(b) 공사중 구조물

(c) 스포츠센터빌딩  
그림 3 계측장소

표 6 계측기 설치위치

구분 기종명	설치장소	Trigger Source	Trigger Level	비 고
Blastmate II (DS-477)	학군단	GEO	0.013cm/sec	측점 A
Blastmate III (DS-477)	공사중 구조물	GEO	0.200cm/sec	측점 B
Blastmate II (DS-477)	스포츠센터	GEO	0.013cm/sec	측점 C

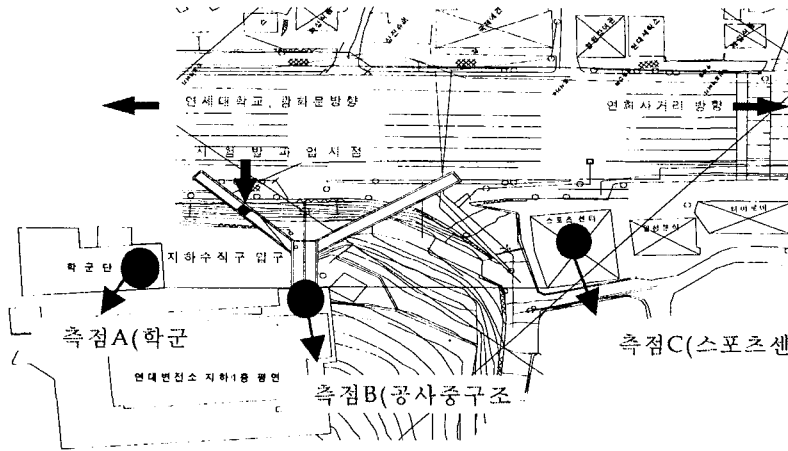


그림 4 계측위치

3. 시험발파 결과

3.1 발파상태(효율)와 발파작업에 따른 결과분석.

(1) 발파상태

○시험발파 후, 암반의 파쇄상태는 그림 5와 같다.

○시험발파 결과, 발파가 이루어진 심발부 중앙은 굴진율이 매우 양호하였으며, 그 외의 심발공은 터널 막장면에 대하여 수직면은 아니지만 전체적인 굴진장은 약 1.0~1.1m 정도로 균등하였다.

○시험발파에 따른 암반의 파쇄형태는 1회 발파 후 사각형 형태로 심발면이 확대되었으며 2회, 3회 발파는 1회 발파의 확대 자유면을 따라 충분한 암반 파쇄 형태를 확인할 수 있었다.

○그러나 2회 발파에서 1공이 암반을 파쇄시키지 못하고 공발(철포)이 발생하는데, 발파 후 확인 결과 당초 저항선을 약 15cm로 계획하였으나 공저에서 공이 수평을 이루지 못해 계획된 저항선 보다 커져서 암반을 파쇄시키기에 약량이 부족하였기 때문으로 판단된다.

따라서 3회 발파에서는 장약량을 조금 증가시켜 발파를 수행하였는데, 이 경우에는 무장약공 방향으로 충분한 암반 파쇄 효과를 확인할 수 있었다.

(2) 발파작업에 따른 결과 분석

총 3회에 걸쳐 수행한 시험 굴착 결과를 주요 작업과정별로 분석하면 다음과 같다.

○천공작업

시험발파는 심발부분 중앙에서만 이루어졌기 때문에 심발부분의 발파결과를 중심으로 천공상태를 분석하면, 비교적 천공상태는 양호하였다. 그러나 장약공과 무장약공의 공간격이 동일하지 못하였으며, 천공장의 길이가 편차를 보였다. 이는 막장면이 할암작업의 영향으로 굴곡이 심하고 자유면으로 활용하기에 부적합한 발파공들이 존재한 것으로 판단한다.

따라서 발파효율의 증대와 공해를 방지하기 위해서는 막장면은 굴곡이 없도록 수직이 되도록 막장면을 갖추고 공과 공사이의 간격을 유지한 천공작업을 수행하여야 한다.

시험발파 결과에 따라 요구된 천공제원은 다음과 같다.

- 무장약공 주변 첫 번째 심발공들에서 무장약공까지의 최단 거리 : 15cm
- 나머지 심발공들의 최소저항선 : 15~20cm
- 주변공(확대공)들의 최소저항선 : 50~70 cm
- 천공장 : 약 1.2m로 천공하되 막장면의 굴곡



를 고려하여 각 발파공의 공저부분 위치가 터널 진행방향으로 동일한 위치에 올 수 있도록 천공.

○장약작업 (1회 발파시 굴진장 1.0m를 기준으로)

· 심발공의 공당 장약량 : Newmite Plus I 1개 + NewFinex-1 1개 = 0.350 kg

(단 첫 번째 심발공들 중에서 최소저항선이 과도하게 짧은 경우나 막장면의 굴곡상태에 따라 약 1.2m 이상의 천공장을 보이는 발파공에 대해서는 Newmite Plus I 1.5개 Finex 1개 장약)

· 공저부분에 에멀전 폭약을 장약하고, 정밀폭약은 주상장약으로 활용.

· 확대공은 에멀전 폭약만으로 장약(Newmite Plus I 1.5개)하는 것이 소음저감에 효과가 있다.

○결선 및 기폭

최대 지발당 장약량이 공당 최대 장약량이 될 수 있도록 모든 발파공들의 기폭시차를 조정하고, 발파지속시간을 1초내로 줄이며, 가능한 한 MS 뇌관만으로 4~6공씩 발파하는 것이 소음저감에 효과적일 것임.

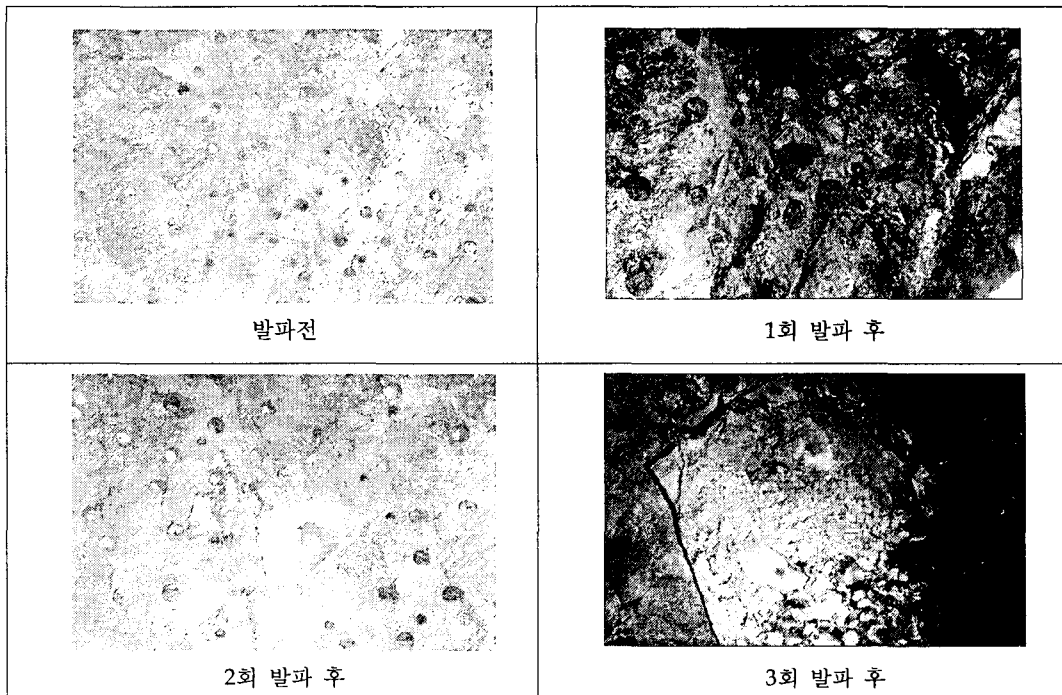


그림 5 심발부의 천공 패턴 및 발파후 암반의 파쇄상태

**3.2 발파 계측결과와 분석.**

(1) 계측결과

○시험발파에 의한 진동 및 소음의 계측결과는 표 7과 같다.

(2) 계측결과 분석

○암진동과 암소음의 측정결과, 공사중인 건물에서의 계측은 건물내 작업에 의해서 암진동 암소음이 발생되었으며 암진동 측정결과 0.018cm/sec로 측정되어 계측기의 Trigger Level을 그 이상인 0.02cm/sec로 설정한 결과 발파진동이 측정되지 않았다. 이는 발파진동이 공사중 건물까지 도달하였을 때 Trigger Level 이하로 도달하였기 때문으로 판단한다.

○대상 보안물건에서의 발파진동은 최대 실벡터 합(Peak Vector Sum)이 0.0413cm/sec로서 허용기준치(0.3cm/sec)의 약 14%수준이다. 따라서 발파진동에 의한 구조물의 물리적인 피해는 없는 것으로 사료된다.

○소음측정결과 학군단에서 1회 발파시에는 암소음과 비슷한 결과를 나타냈지만 2, 3회 발파에서는 상당히 소음이 증가하였고, 최대소음은 87.6dB(A)로 측정되었다. 스포츠센터에서는 암소음과 비슷한 결과인 최대 77dB(A)로 측정되었다. 따라서 현 시험발파조건에서는 스포츠센터빌딩의 경우에는 측정장소가 도로변에 위치하여 발파에 의한 소음이 아니라 빈번히 이동하는 차량의 소음으로 추정되어 소음에 의한 영향은 없을 것으로 판단되나 학군단의 경우는 발파소음이 상시 암소음을 상회하므로 상시 주변 소음(암소음) 이내로 관리할 수 있는 방안을 강구하여야 한다.

○발파에 의하여 발생하는 진동주파수 대역은 거리에 따른 특성상 비교적 근거리 조건에서는 우세한 고주파 파형이 매우 빠른 속도로 암반 층을 통과하고, 원거리에서는 우세한 저주파 파형이 대상물 기초부분에 도달된다.

표 7 발파 진동 계측결과 DATA

회차	지발당 장약량 (kg/delay)	발파 공수 (EA)	측정기기					
			S.N.3030 (측점A)		S.N. 6929 (측점B)		S.N. 3061 (측점C)	
			측정거리					
			25m(학군단)		25m(공사중건물)		50m(스포츠센터)	
			진동 및 소음 계측치					
PVS (Kine)	소음 (dBA)	PVS (Kine)	소음 (dBL)	PVS (Kine)	소음 (dBL)			
1	0.35	1	0.0318	74.0	N/T	N/T	0.0206	74.4
2	0.35	4	0.0365	85.0	N/T	N/T	N/T	N/T
3	0.475	6	0.0413	87.6	N/T	N/T	0.0333	77.0
암진동 및 암소음			0.00476	70.4, 69.2, 69.4	0.018, 0.022	69.5, 63.6	0.00476	84.8 70.8
비고	1. 공사중 건물 진동측정시 건물내 작업중 2. 스포츠센터 암소음 중 1회 측정 DATA는 자동차 운행이 있을 때 측정							

당 현장은 지반진동 측정결과치중 단일성분 우월 성분 최대입자속도의 주 주파수 대역은 100Hz 대역으로 분포하였는데, 이는 기폭방법을 지발 전 기뇌관에 의하여 발파를 할 경우 나타나는 전형적인 발파진동 주파수이다.

그리고 계측 결과는 독일 DIN4150규정 기준, 진동속도가 0.5cm/sec이상에서 10Hz 이하가 없고, 미국의 USBM규정 기준 진동속도가 0.5cm/sec이상에서 30Hz이하가 없는 것으로 나타나 저주파에 의한 구조물의 피해는 없을 것으로 사료된다.

#### 4. 고찰

○○분기 관로 공사 중 터널구간의 굴착은 당초는 할암공법(GNR)을 이용하여 굴착작업을 수행하였으나 암질의 조직이 매우 치밀하고 강도(일축압축강도 1500kgf/cm<sup>2</sup>)가 높아 할암공법으로는 굴진효율이 매우 낮아 예정된 공사기간 내에 굴착을 완료하기 어려운 실정이었다.

이러한 상황에서 관로 공사의 나머지 구간에 대한 시공성 확보를 위하여 진동제어발파공법을 적용하였으며 적용에 따른 발파공해(소음·진동) 여부와 시공성을 판단하기 위하여 수준 이하)을 위하여 시험굴착을 실시하였다.

시험굴착에 따른 고찰내용은 다음과 같다.

- 1) 직경이 102mm인 대구경 무장약공 4을 자유면으로 활용하는 천공장 1.2m 내외의 심발부분에 대한 시험발파 결과 첫 번째 심발공들과 무장약공 사이의 최단 거리는 약 15cm, 나머지 심발공들의 최소저항선은 약 15~20cm가 적절한 것으로 나타났다.
- 2) 발파진동 저감과 충분한 장약길이의 확보를 목

적으로 직경이 17mm인 정밀폭약을 에멀전 폭약과 함께 장약하여 시험굴착을 수행한 결과 양호한 암반 파쇄 효과를 확인할 수 있었다.

- 3) 1회 발파시 굴진장 1.0m 확보를 위한 적절한 공당 장약량은 개당 중량이 0.25kg인 에멀전 폭약 1개와 개당 중량 0.1kg 정밀폭약 1개가 적합한 것으로 판단된다.
- 4) 계측결과 진동은 25m 이격거리에서 0.0318~0.0413cm/sec 수준으로 허용수준(0.2cm/sec) 이내였다.
- 5) 계측결과 소음은 25m 이격거리에서 최대 87.6dB(A)로서 암진동(70.4dB) 및 설정된 허용수준(70dB)을 상회하였다. 따라서 본 발파에서는 수직구 상단에 소음을 저감할 수 있는 시설이 요구된다.

#### 참고 문헌

- 1) Explosives and Rock Blasting. 1987 / Atlas Powder Company.
- 2) Blasting Vibration Monitoring and Control / Charles H. Dowding
- 3) Applied Explosive Technology For Construction And Mining./Stig O Olofsson.
- 4) 발파실무 1994.4 서동열 저/ 원기술
- 5) 암발파설계 기법에 관한 연구. 1993. / 임한욱 외
- 6) 발파진동의 주변에의 영향과 대책. 1994 / 김대원 저
- 7) 굴착공학의 원리 1995. 4 이부경 저
- 8) 발파진동식 확립과 제어발파 지침 결정을 위한 연구보고서, 1983, 서울특별시 지하철공사.