

진동제어발파공법의 변천과정과 적용 전망에 관한 연구

안명석^{1)*}, 신창용²⁾

Review of the History of Vibration Controlled Blasting Method and its Future Applicability

Myung-Seog Ahn and Chang-Yong Shin

Abstract R.O.K's explosive manufacturing source was first black powder (B.P) introduced into Korea Dynasty from China. In 1890, black powder was first used for mining blasting in Masan. Nowadays, a vibration control blasting method using the emulsion explosive has been applied to explosive demolition of building structure, subway and road construction sites. In December, 2006, Korean Government and professional society (KSEE) established the blasting guidelines of Modern Vibration Controlled Blasting Method (MVCBM) which is an unprecedented in the world.

Key words Emulsion explosive, Blasting guidelines, MVCBM

초 록 대한민국의 화약생산 기원은 고려시대에 중국으로부터 흑색화약이 처음으로 전수되었으며, 1890년 경남 마산에서 흑색화약이 채광발파에 처음 사용되었고, 최근에는 지하철굴착·도로굴착·건물폭파해체 등 거의 대부분의 건설시장에 에멀전폭약을 사용하는 진동제어발파공법 기술이 자리를 잡게 되었다. 2006년 12월에는 세계에서 처음으로 진동제어발파공법을 위주로 한 발파설계·시공지침을 국가와 전문학회의 주도로 완성하였다.

핵심어 에멀전폭약, 발파지침, 진동제어발파공법

1. 서 론

우리나라는 고려시대에 중국으로부터 흑색화약 제조기술이 전수되었으며 1890년 경남 마산에서 흑색화약을 사용한 채광발파가 처음 시도되었다. 해방이후 1950년 전후에 한국기술자에 의해 처음으로 경남에서 연화가 제조되었고 경무대에서 발사한 기록이 있다.

1951년 부산에서 한광화약이 설립되었고, 1952년 한국화약(주)가 설립되었으며, 1976년 고려화약(주)가 설립되었다. 1958년 한국화약(주)에 의해 다이너마이트

트가 생산됨으로써 화약제조 및 발파산업은 완전히 자립하였고, 다이너마이트와 초안폭약을 위주로 하는 고전적 제어발파공법이 적용되기 시작하였으며, 현재는 에멀전폭약을 주로 사용하는 현대적 진동제어발파공법이 주류를 이루고 있다.

고전적 제어발파공법(Traditional controlled blasting method : TCBM)은 주로 노천이나 터널굴착시 평활한 파단면을 얻기 위해서 오래전에 외국에서 개발·계승 되어왔으나 우리나라의 경우 좁은 국토에서 인구의 증가와 건설기술의 발달로 주거지와 거리가 가까워지면서 발파작업으로 인해 발생하는 진동·소음으로 인한 민원 발생을 예방하고 더욱 경제적인 발파공법의 필요성이 대두 되었다(안명석 외, 1998).

이러한 문제점을 해결하고자 천공장·간격·저항선·지발당 장약량 등을 기준으로 한 현대적 진동제어발파공법(Modern vibration controlled blasting : MVCBM)

¹⁾ 동서대학교 에너지생명/건축토목공학부 겸임교수

²⁾ 동서대학교 일반대학원 건축토목공학부 석사과정

* 교신저자 : amspeoff@chol.com

접수일 : 2009년 5월 12일

심사 완료일 : 2009년 6월 13일

게재 승인일 : 2009년 6월 19일

이 개발되었으며 발파작업에서의 가치가 더욱 커져가고 있다. 본 연구에서는 과거의 고전적 제어발파공법과 최근에 정립된 현대적 진동제어발파공법의 현황과 향후 전망에 대해 고찰하였다.

2. 제어발파 공법의 발전 현황

2.1 고전적 제어발파공법의 개념

고전적인 제어발파공법(TCBM)은 굴착선에 평행하게 접근하여 배치한 무장약 또는 약장약의 주변공을 최후의 단계에 기폭시켜 평할한 굴착면을 얻도록 하는 발파공법이다. 보통 발파공법은 여굴이나 미굴이 생기는 것을 피할 수 없다. 이러한 결함을 될 수 있으면 적게 하기 위하여 개발된 것이 제어발파 또는 조절발파이다.

제어발파는 라인드릴링(Line drilling)공법, 쿠션 블라스팅(Cushion blasting)공법, 프리스프리티팅(Pre-splitting)공법과 스무스블라스팅(Smooth blasting)공법을 들 수 있다(남상욱, 2007; Dick et al., 1975). 개요도를 Fig. 1, 2, 3에 나타내었다.

2.2 현대적 진동제어발파공법의 단계별 발전 현황

1단계 : 산업사회를 거쳐 고도산업으로 성장하는 단계의 1980년 중반 이후의 한국의 건설산업은 각종 환경성 민원이 빚발쳤으며 그중 발파로 인한 진동·소음·비산먼지에 대한 민원이 더욱 극심하였다.

이러한 한계점을 극복하기 위하여 1987년경부터 기존의 한국도로공사 공법지침인 미진동·확장·신설·일반발파공법과 고전적 제어발파의 개념에서 진동·소음 제어가 주요 포인트인 진동제어발파공법이 H사(부산)에서 시작하여 전국으로 확산되었다. 당시에 사용된 공법명칭별 제원은 Table 1과 같다.

2단계 : 1990년 이후 토목공사의 설계·시공 발주기관에서 민원 대체를 위한 적정 기준의 필요성이 증대되어 여러 공공기관에서 지침이 마련되기 시작하였으며 그중 공공기관과 대학교 및 전문가의 참여하에 마련된 중기의 지침은 Table 2(한국토지개발공사, 1993), Table 3(영남건설기술교육원, 1993) 및 Table 4(대한 화약발파공학회, 2002), Table 5(류창하 외, 2002)와 같다.

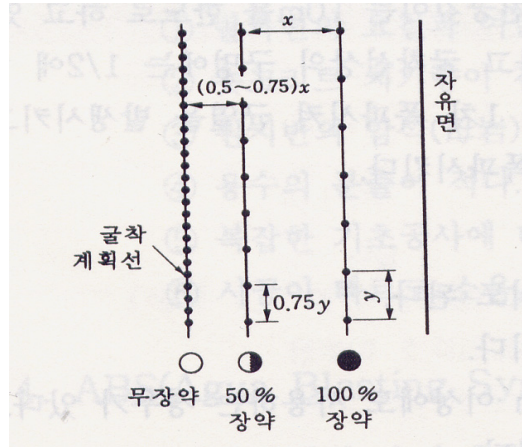


Fig. 1. Line drilling method.

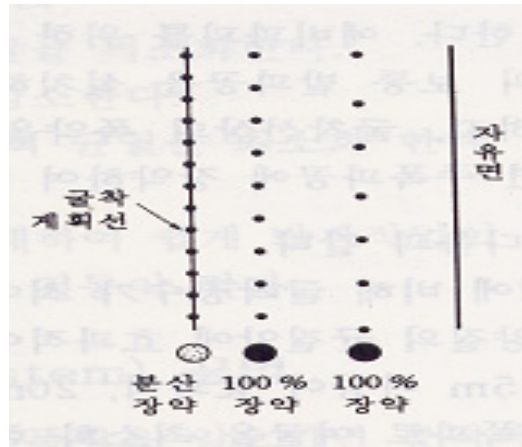


Fig. 2. Cushion blasting method.

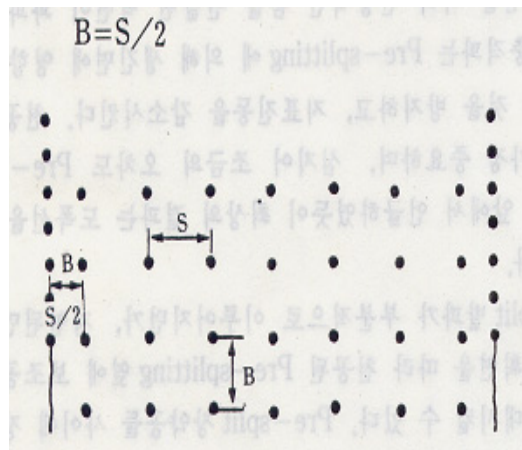


Fig. 3. Pre-splitting method.

Table 1. Example of vibration controlled blasting method

공법명 제원	진동제어 발파공법 I	진동제어 발파공법 II	진동제어 발파공법 III	진동제어 발파공법 IV	진동제어 발파공법 V
천공장(m)	1.0	1.5	2.0	3.0	5.0
장약량(kg)	0.125	0.175	0.25	2.5	7.0

Table 2. Standard of blasting method in Korea land development minister

발파원과의 거리(m)	30m이내	30~50m	50~100m	100~300m	300m이상
구분	무진동발파	특수발파	소규모 진동제어발파	중규모 진동제어발파	일반발파
적용공법	팽창성파쇄제 +기계굴착	C.C.R 혹은 선행이완발파	진동제어발파	진동제어발파	재래식발파
천공장비	SINKER DRILL+RIPPING	SINKER DRILL+RIPPING	SINKER DRILL	CRAWLER DRILL	CRAWLER DRILL+소할
천공직경	∅40mm이내	∅40mm이내	∅40mm이내	∅51~75mm	∅75mm
사용폭약	팽창성 파쇄기	미진동파쇄기 혹은 합수폭약	∅25mm폭약	∅32~50mm 폭약	∅50mm폭약
BENCH높이 (천공장)	1.0m	1.0m	1.5m(1.9m)	3.0~6.0m	15m이내

*한국토지개발공사의 암발파 설계기법에 관한 연구(1993.3, p.526)

Table 3. Standard of blasting method in Yung-Nam construction technic education

발파원과의 거리(m)	30m이내	30~50m	30~100m	80~300m	300m이상
구분	무진동파쇄	특수발파	제어안전발파	소발파	일반발파
적용방법	팽창성파쇄제 +기계굴착	CCR 혹은 선행이완발파	진동제어발파	진동제어발파	재래식발파
천공장비	SINKER DRILL+RIPPING	SINKER DRILL+RIPPING	SINKER DRILL	CRAWLER DRILL	CRAWLER DRILL
천공직경	∅40mm이내	∅40mm이내	∅40mm이내	∅40~75mm	∅75mm이상
사용폭약	팽창성 파쇄제	미진동파쇄기 혹은 에멀전폭약	∅25mm폭약	∅28~50mm 폭약	∅50mm폭약 ANFO폭약
BENCH높이 (천공장)	1.0m	1.0~3.0m	1.2~2.4m	3.0~6.0m	15m이내
장단점	무소음, 무진동파쇄, 경압, 수공에 적용곤란, 2차파쇄 필요	진동양호, 철포, 비산 우려	소음진동양호, 시공단가가 높다	대체로 소음 진동 양호, 시공단가 적당함	소음, 진동, 비산에 불리. 시공단가가 낮다

*영남건설기술교육원의 건설기술자 교육교재, “암반분류·파쇄공법과 계속관리”(1999.3, p.74)

Table 4. Workshop education report of KSEE

보안물건과의 거리(m)	공법 구분	시공방법
30m 이내 (진동기준 0.1cm/sec 이하)	무진동파쇄	팽창성파쇄제 사용법, HRS, SRS 등 활암공법, Breaker, Ripper, Road head 등 기계굴착법
10~50m (진동기준 0.2cm/sec)	무진동발파	CCR 등 ∅17~25mm 진동제어용 화약사용, Pipe 완충제공법, Line Drilling 공법, Pre-splitting, Smooth blasting, 천공장 0.6~2.0m, 장약량 0.06~0.25kg

Table 4. Workshop education report of KSEE (continued)

보안물건과의 거리(m)	공법 구분	시공방법
30~100m (진동기준 0.3cm/sec)	진동제어 안전발파	Ø17~32mm 에멀전폭약 사용, 지발전기뇌관 사용, SBM 공법, NONEL 공법, 핸드드릴 사용, 천공장 0.9~3.0m, 장약량 0.125~0.5kg
80~300m (진동기준 0.5cm/sec)	진동제어 소발파	Ø25~50mm 에멀전폭약 사용, 지발전기뇌관 사용, SBM 공법, NONEL 공법, 크롤라드릴 사용, 천공장 3.0~6.0m, 장약량 0.5~8.0kg
200m 이상 (진동기준 0.5cm/sec)	일반발파	Ø50mm이상 일반폭약 사용, ED 및 지발전기뇌관 사용, 천공장 6.0~15m, 장약량 8.0~25kg

*대한화학발파공학회 워크샵 교재(2002. 8. P63)

Table 5. Publication report of KSEE

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
보안물건과 이격거리	30m이내	10~50m	30~50m	50~80m	80~300m	200~300m	200~300m	300m 이상
공법개요	<ul style="list-style-type: none"> · 팽창성파쇄제를 사용한 압파쇄와 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 	<ul style="list-style-type: none"> · CCR를 사용한 발파 50%, 브레이커50% 적용공법 · Ø17~25mm화약을 공당(지발당)장약량 0.06~0.25kg을 사용한 저진동 공법 · 0.2cm/sec 이내로 제어할 수 있는 저진동 신기술 발파공법 등 	<ul style="list-style-type: none"> · 0.2~0.3cm/sec 이내로 제어 가능한 조절 발파공법 혹은 저진동 신기술 발파공법 · 저폭속 에멀전계 혹은 정밀 폭약을 사용한 공당(지발당) 장약량 0.125~2.0kg이내, 수동착암기 내지 소구경 크롤라 드릴(천공경 Ø32~51mm)을 사용한 발파공법 	<ul style="list-style-type: none"> · 발파영향권내에 보안물건이 존재하지 않는 경우의 발파공법 · 피보안물건이 200m이상 지점에 존재할 때 진동안전 기준치 0.5cm/sec 이내로 제어할 수 있는 경제성 있는 대규모발파(대발파)공법 · 고품속·저단가 폭약을 사용한 공당(지발당)장약량 4~16kg이상(인력식 발파는 천공장 1m이상, 공당 0.25kg 이상 사용), 대구경 크롤라 드릴(공압, 유압) 사용공법 				
천공장비 및 천공직경		핸드 드릴 Ø45mm이하	핸드 드릴 혹은 소구경 크롤라 드릴 Ø45~76mm			대구경 크롤라 드릴 Ø76mm 이상		
천공장		0.6~2.0m	0.9~6.0m			6.0~15m, 혹은 그 이상		
사용화약		CCR 등 Ø17~25mm의 정밀·특수 화약 사용 혹은 유사물질 사용	Ø17~50mm 정밀, 에멀전계 폭약 사용			Ø50mm이상 고품속, 저단가 폭약 사용		
파쇄정도	균열만 생성 (2차 파쇄 필요)	균열만 생성 (2차 파쇄 필요)	파쇄 및 균열 생성 (일부 2차 파쇄 필요)			파쇄 및 대괴 생산 (2차 파쇄 불필요)		
방호매트 및 계측여부		<ul style="list-style-type: none"> · 특수방호재 사용 (타이어, 철판 매트 등) · 공인화약 전문가에 의한 정밀계측 관리가 필수적임 	<ul style="list-style-type: none"> · 특수방호재 혹은 일반 방호재 사용(타이어, 철판, 고무판, 다다미 등) · 공인 화약전문가에 의한 계측관리가 필수적임 			<ul style="list-style-type: none"> · 방호 매트는 원칙적으로 불필요함 · 민원 및 안전시공의 중요도에 따라 공인화약전문가 혹은 자체 계측관리가 선택적으로 필요함 		
기준 설계단가 ²⁾ (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 실시시 화약 전문가에 의한 시험발파 및 패턴 확정 후 보안이 필요함.

3) 화약류 단가는 02. 1. 1 대리점 판매 단가 기준으로 계산하였으므로 감독원 승인 후 시행해야 함.

*대한화학발파공학회 “미진동발파공법 적용사례에 관한 연구”(2002.9, p.41)

3. 현대적 진동제어발파공법의 적용 현황

3.1 암발파설계·시공 잠정치침

국내의 건설공사 중 노천에서의 암발파 작업은 오랜 역사를 지니고 있음에도 불구하고 암반의 특성, 지형적 여건, 지장물의 현황 및 발파방법 등의 여러 가지 변화가 많은 특성을 지니고 있으나, 설계기준도 없이 ‘60년대 제정되었던 건설공사 표준품셈 만을 거의 변경 없이 적용하여 왔다.

‘03년부터는 설계자가 보안시설물의 진동허용기준과 발파원간의 이격거리만 현장조사하면 쉽게 현장에 적용할 수 있는 패턴별 표준발파공법을 건교부 주관으로 제정하였다(건설교통부, 2003). Table 6에 장약량별 표준발파 패턴을 제시하였다. 그 후 TYPE I 암파쇄굴착공법에 대한 검토가 있었고, 저진동굴착공법으로의 명칭 변경 제안 및 검토가 있었으나 확정지침에 반영되지는 못하였다(안과 양, 2006).

이때 발파진동 추정식은,

$$v = 160 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.60} \text{을 사용한다.}$$

3.2 도로공사 노천발파 설계·시공지침

우리나라는 1972년 경부고속도로 건설을 시작하여 본격적인 도로건설은 30여년 밖에 되지 않았으나, 2005년 말까지 102,000km의 도로를 건설하여 전국토의 균형발전과 원활한 물류 수송으로 국가 경제에 크게 기여하고 있다.

그러나 전국토의 70%가 산지로 구성된 지형의 특성상 도로공사에서는 필연적으로 소음 및 진동에 따른 민원이 많았다. 발파현장에서 민원을 최소화하고 안정성과 시공성을 확보하기 위해 발파 작업의 표준

절차 제정의 필요성이 절실하게 요구되어 산, 학, 연, 관의 전문가들이 모여 그동안 시행되어 오던 3.1의 잠정치침을 검토하고 지난 3년간 적용한 발파자료를 분석하여 민원문제를 최소화하고 안전성을 높여서 합리적으로 설계, 시공할 수 있도록 “도로공사 노천발파 설계·시공지침”을 Table 7과 같이 제정하였다(건설교통부, 2006).

이때 적용하는 설계 발파진동 추정식은,

$$V = 200 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.60} \text{이다.}$$

4. 진동제어발파공법의 적용요령과 시공지침

4.1 일반발파, 고전적·현대적 제어발파공법의 기본적용요령

일반발파는 발파암반 주변의 보안물건이나 민원대상물이 발파암(폭원)과 아주 원거리에 위치함으로써 많은 지발당장약량을 사용하여 가장 경제적이고 효율적으로 발파작업을 수행할 수 있는 공법을 의미하며, 진동제어발파는 이들 이 근거리에 위치 할 때 적은 지발당 장약량을 사용하여 발파하는 공법을 의미한다. 또한 고전적 제어발파는 암이 양호한 경우 여굴을 최소화하며 법면을 수직으로 깨끗하게 파단하는 목적에 주로 사용한다. 반면 현대적 진동제어발파는 지발당 장약량 등을 기준으로 하여 보안물건별 허용진동기준과 이격거리에 따라 장약량을 조절함으로써 진동소음 안전기준에 맞추어서 설계·시공하는 공법을 말한다.

4.2 고전적·현대적 제어발파공법의 장점

제어발파의 기본원리는 적은 장약량으로 공 주위에 균열을 발생시켜 공과 공을 연결하는 원하는 파단면

Table 6. Standard blasting pattern to explosive charge

발파설계(실시설계) : 장약량별 표준발파패턴 선정						
구분	TYPE-I	TYPE-II	TYPE-III	TYPE-IV	TYPE-V	TYPE-VI
발파공법	암파쇄굴착 공법	정밀진동 제어발파	진동제어 (소규모)	진동제어 (중규모)	일반발파	대규모발파
허용지발당 장약량(kg/delay)	0.25이하	0.25~0.50	0.51~1.59	1.60~4.99	5.0~14.99	15이상
설계지발당 장약량(kg/delay)	0.25이하	0.32	1.0	2.0	5.0	20.0

Table 7. Classification of standard blasting method

구 분	TYPE I 미진동 굴착공법	TYPE II 정밀진동 제어발파	TYPE III-IV 진동제어발파		TYPE V 일반발파	TYPE VI 대규모 발파
			소규모	중규모		
공법개요	보안물건 주변에서 TYPE II 공법 이내 수준으로 진동을 저감시킬 수 있는 공법으로서 대형 브레이크로 2차 파쇄를 실시하는 공법	소량의 폭약으로 암반에 균열을 발생시킨 후, 대형 브레이크에 의한 2차 파쇄를 실시하는 공법	발파영향권 내에 보안물건이 존재하는 경우 “시험발파” 결과에 의해 발파설계를 실시하여 규제기준을 준수할 수 있는 공법		1공당 최대 장약량이 발파 규제기준을 충족시킬 수 있을 만큼 보안물건과 이격된 영역에 대해 적용하는 공법	발파영향권 내에 보안물건이 전혀 존재하지 않는 산간 오지에서 발파효율만을 고려하는 공법
주 사용폭약 또는 화공품	최소단위미만폭약 미진동파쇄기 미진동파쇄약 등	에멀전 계열 폭약	에멀전 계열 폭약		에멀전 계열 폭약	주폭약:초유폭약 기폭약:에멀전
지발당장약량범위 (kg)	폭약기준 0.125 미만	0.125 이상 0.5 미만	0.5 이상 1.6 미만	1.6 이상 5.0 미만	5.0 이상 15.0 미만	15.0 이상
천공직경	φ51mm 이내	φ51mm 이내	φ51mm 이내	φ76mm	φ76mm	φ76mm 이상
천공장비	공기압축기식 크롤러 드릴 또는 유압식 크롤러 드릴 선택 사용					
표준패턴	미진동 굴착공법	정밀진동 제어발파	진동제어발파		일반발파	대규모 발파
			소규모	중규모		
천공깊이(m) [*]	1.5	2.0	2.7	3.4	5.7	8.7
최소저항선(m) ^{**}	0.7	0.7	1.0	1.6	2.0	2.8
천공간격(m) [*]	0.7	0.8	1.2	1.9	2.5	3.2
표준 지발당 장약량(kg)	-	0.25	1.0	3.0	7.5	20.0
파쇄 정도	균열만 발생 (보통암 이하)	파쇄 + 균열	파쇄 + 균열		파쇄 + 대괴	파쇄 + 대괴
계측관리	필 수	필 수	필 수		선 택	선 택
발파보호공	필 수	필 수	필 수		불 필 요	불 필 요
2차 파쇄	대형브레이크 적용	대형브레이크 적용	-		-	-

* 천공 깊이, 최소저항선, 천공간격 치수 등은 평균적으로 제시한 수치이며, 공사시행 전에는 시험발파에 따라 현장별로 검토·적용할 것.

** 건설교통부 “도로공사 노천발파 설계·시공지침” (2006.12, p.11)

을 형성하는 것으로써,

- (1) 고전적 제어발파공법의 장점은 Table 8과 같다.
- (2) 현대적 진동제어발파공법의 장점은 다음과 같다.

건설공사에 있어 불가피하게 수행되어지는 발파작업은 발파의 영향으로 폭음, 진동, 비석 등 환경피해가 발생함에 따라 각종 민원이 발생하고 있는 점을 감안하여, ① 환경피해를 절감시킬 수 있는 적정 발파공법의 적용기준을 설정하고 ② 효율적인 설계 및 공사추진을 도모하며 ③ 민원발생을 사전에 예방하고, ④ 예산을 절감시킬 수 있다.

4.3 국토해양부 설계·시공 지침에 의한 진동제어발파공법의 적용

현행 발파설계시 발파원과 보안물건 간의 이격거리로만 구분하여 적용하던 암발파공법을 지발당 장약량 등을 기준으로 하여 미진동 굴착, 정밀진동제어발파, 소규모진동제어, 중규모진동제어, 일반발파, 대규모발파의 6가지 Type으로 표준화했다. 이중 현대적 진동제어발파는 정밀진동제어발파, 소규모진동제어, 중규모진동제어발파 3가지 Type로 분류된다.

(1) 정밀진동제어발파공법

정밀진동제어발파공법(Precision vibration controlled

Table 8. Merit of controlled blasting Method

	장점
Line drilling	① 경암 굴착에 있어서 우수한 효과를 낸다. ② 발파할 때 후방으로 전달되는 폭발 에너지의 일부가 굴착 예상면에 천공된 공들에 의해 차단되어 뒤쪽 암반에 영향을 주지 않기 때문에 매끈한 면을 얻을 수 있다.
Cushion Blasting	① 공간격이 넓어서 천공은 줄어든다. ② 좋은 암질이 아니더라도 좋은 결과를 얻을 수 있다.
Pre-Splitting	① 라인드릴링에 비해 굴착공수가 적어도 된다. ② 화강암 등 양질의 균질암에 효과적이다
Smooth Blasting	① 발파면의 요철과 여굴을 최소화한다. ② 슛크리트 타설량이 감소하여 공사비용이 적게 든다. ③ 원지반의 암석의 균열을 최소화한다.

blasting method : PVCBM, TYPE II)은 0.125kg 이상 0.5 kg 미만의 소량의 폭약으로 발파하여 암반에 균열을 발생시킨 후, 대형 브레이커로 2차 파쇄를 실시하는 공법이다. 최소포장단위는 제조 회사에 따라 다르며 대개 100~125g으로 되어 있다(Fig. 4 참조).

표준패턴의 장약량은 0.25kg으로 하였다. 사용 폭약은 에멀전폭약을 기준으로 하고 대상 암반은 보통 암으로 하여 표준패턴을 제시하였다.

이 공법에서는 대형브레이커를 적용하며 이때 화약에 의한 1차 파쇄 및 균열 발생과 브레이커에 의한 2차 파쇄 작업을 70:30으로 적용한다.

이 공법은 화약류의 힘을 충분히 발휘하지 못하게 조절하여 비장약량이 0.3kg/m³에 미치지 못한다. 따라서 발파 에너지의 대부분이 파쇄에 사용되지 못하

므로 약장약에 의한 폭음의 발생이 우려된다. 또 불안 전발파로서 예기하지 못한 진동의 발생도 가능하므로 계측과 발파 보호공이 필수적이다. 특히 극경암이나 경암에서는 자유면이 형성되지 않으면 암반의 파쇄가 불가능하거나 공발현상이 일어나 표면암반만 발파되어 비석우려가 있으므로 적용에 주의해야 한다.

(2) 소규모 진동제어발파공법

소규모 진동제어발파공법(Small scale vibration controlled blasting method : SVCBM, TYPE III)은 발파 영향권내에 보안물건이 존재하는 경우 시험발파 결과에 의해 발파설계를 실시하여 규제기준을 준수할 수 있는 공법이며 0.5kg 이상 1.6kg 미만의 폭약을 사용한다. 표준패턴에 사용되는 장약량은 1kg으로 하였고 에멀전 계열 폭약을 기준으로 한다(Fig. 5 참조).

발파는 폭약에 의한 파쇄와 균열의 발생을 유도한다. 계측관리가 필수적이며 발파 보호공도 필수적이다. 대형브레이커에 의한 2차 파쇄는 필요하지 않다.

(3) 중규모 진동제어발파공법

중규모 진동제어발파공법(Middle scale vibration controlled blasting method : MVCBM, TYPE IV)은 발파 영향권내에 보안물건이 존재하는 경우 시험발파 결과에 의해 발파설계(Fig. 6 참조)를 실시하여 규제기준을 준수할 수 있는 공법이며 1.6kg 이상 5kg 미만의 폭약을 사용한다. 표준패턴에 사용되는 장약량은 3kg으로 하였고 에멀전 계열 폭약을 기준으로 한다.

발파는 폭약에 의한 파쇄와 균열의 발생을 유도한다. 계측관리가 필수적이며 발파 보호공도 필수적이다. 대형브레이커에 의한 2차 파쇄는 필요하지 않다.

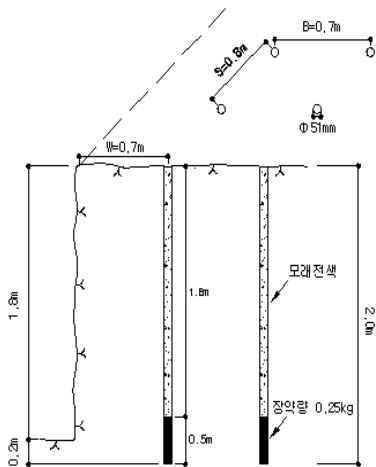


Fig. 4. TYPE II : Precision vibration controlled blasting method.

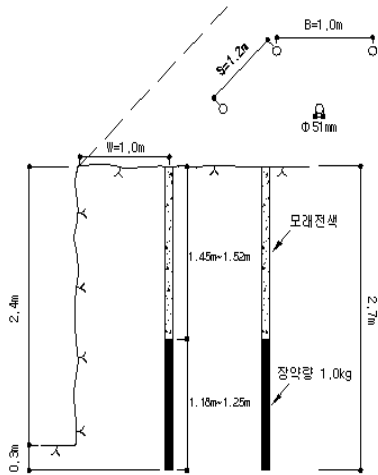


Fig. 5. TYPE III : Small scale vibration controlled blasting method.

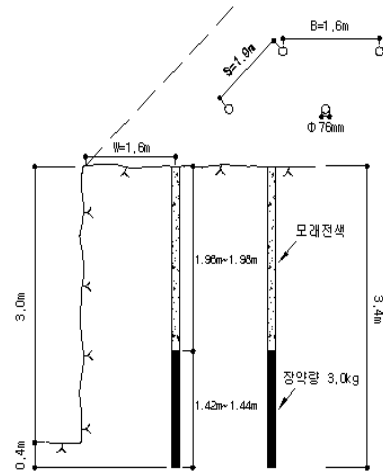


Fig. 6. TYPE IV : Middle scale vibration controlled blasting method.

5. 진동제어발파공법의 활용전망과 추가 연구방향

일반적으로 알려진 제어발파공법은 고전적 제어발파공법(TCBM)이라고 구분할 수 있으며 주로 노천이나 터널굴착시 평활하고 미려한 파단면을 얻기 위한 목적이었다. 최근에는 진동·소음·비산먼지 공해를 저감하기 위한 건설환경 민원의 감소와 구조물 피해방지 및 평가·설계·시공의 목적이 추가되므로 인해 새로운 개념 정립이 필요한 시점이 되었다. 때문에 우리 학회와 건설교통부(현재 국토해양부)에서 정립 완료된 “도로공사 노천발파 설계·시공지침”중 TYPE II, III, IV의 3가지 진동제어발파공법에 대하여 현대적 진동제어발파공법(MVCBM)으로 정리하였다.

그러나 지침 연구 중 충분한 의견 수집과 연구기간의 부족으로 인해 일부 미흡한 점도 있었다. 향후 보완이 요구되는 부분인 미진동 파쇄공법(Low vibrating breaking method; LVBM; TYPE I)에서는 미진동파쇄와 미진동발파의 구분 정리와 저진동·신기술 발파공법의 범위와 학회 검증방법 및 인정 가산점수 부여가 추가되어야 할 것이며, 일반발파공법(General blasting method; GBM; TYPE V)에서는 도로사면 굴착시 인력식 발파공법의 추가 필요성 등 대규모발파공법(Large scale blasting method; LBM; TPE VI)의 현장 적용 필요성 등에 대한 심층 검토와 추가 연구가 필요한 실정이다.

또한 PPV와 PVS는 동전의 양면과도 같으므로 허용수준만 설정된다면 어느 것이든 기준으로 사용할 수 있지만 PPV와 PVS 등 어느 하나로 통일할 필요성을 검토해야하며, 통일된 보안물건별 허용수준 검토, 한국형 자승근과 삼승근 교차범위 연구(안명석, 2005) 주파수 대역별로 PPV 적용방법 검토 등 추가적인 연구와 검토가 필요할 것이다(최병희 외, 2009).

그리고 향후 현대적 진동제어발파공법은 원자력 발전소 등 정밀시공 필요 공사장과 도심지 안전정밀 시공필요 공사장 등 더욱 높은 수준의 정밀하고 안전한 발파시공이 필요한 곳에서는 사용 빈도가 더욱 높아질 것이며 터널 및 수중, 건물발파 설계·시공 지침에도 필수적으로 추가 연구되고 그 내용이 산입되어야 할 것이다.

6. 결론 및 제언

- 1) 오래전 외국에서 개발·계승되어 왔던 고전적 제어발파공법(TCBM)은 주로 노천이나 터널 굴착시 평활한 파단면을 얻기 위해서 개발되었으나, 최근에는 진동·소음저감 등 민원발생을 사전에 줄일수 있는 현대적 진동제어발파공법(MVCBM)이 주 공법으로 되어 있는 국토해양부의 설계·시공지침을 사용해야 하며, TYPE I의 경우 장비굴착과 신기술 적용이 가능하며 폭약의 최소단위 이하로 정의하

였으므로 별도의 상세한 설계가 필요하다. 시험발파는 반드시 공인 전문기관에 의한 시험발파와 회귀분석 및 설계를 하여서 시공되어야 한다.

- 2) 국토해양부 제정 “도로공사 노천발파 설계·시공지침” 중 TYPE II, III, IV의 3가지는 현대적 진동제어발파공법으로 분류 할수 있으며 대체로 보안물건이 인접한 지역에 적용할수 있는 노천발파공법이다. 그러므로 향후 터널·수중발파 등 유사한 타분야 지침 제정시에는 본 지침을 모델로 하여 필히 기초연구와 품셈적용 요령 등의 추가 연구를 통하여 얻은 기술을 더하여 더욱 발전시키고 적용해야 할 것이다.
- 3) 도심지 등 정밀 안전시공이 중요한 공사장은 공법을 더욱 세분화할 필요가 있으므로 향후 국내암반의 등급별 분류와 통일된 허용수준 검토, 기초이론 재정립, 현장 적용 및 실사 등으로 TYPE I과 V, VI의 경우 더욱 상세하게 연구되고 분류하여 향후 제정지침에 보완·산입되어야 하며, 이러한 보완되고 강화된 기술수준을 기반으로 하여 세계 건설시장으로 진출해야 하며, 외국의 지침마련 연구에도 우리기술진이 적극 참여할 필요가 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 건설교통부, 2003, 암발파설계·시공 잠정 지침(안), pp.3.
2. 건설교통부, 2006, 도로공사 노천발파 설계·시공지침, pp.11, pp.1-32.
3. 남상욱, 2007, 토목시공학, 청운, pp.202-204.
4. 대한화약발파공학회, 2002, 워크샵 교재, pp.63.
5. 류창하, 안명석, 이천식, 윤성현, 박주연, 2002, 미진동발파공법 적용사례에 관한 연구, 화약·발파, Vol. 20, No. 3, pp.41.
6. 안명석, 박종남, 배상근, 1998, 도심지 미진동 제어발파에서 진동분석을 통한 안전발파설계에 관한 연구 (I), 대한토목학회논문집, Vol. 18, No. 3, pp.373-380.
7. 안명석, 양형식, 2006, 저진동굴착공법(TYPE-I)의 검토와 채택, (사)대한화약발파공학회 논문집(2006년 추계학술발표회), pp.229-234.
8. 안명석, 2005, 암발파설계에서 교차점 분석 및 적용에 관한 연구, 제 3회 한화 발파기술심포지엄, pp.136-156.
9. 영남건설기술교육원, 1993, 건설기술자 교육교재 암반분류·파쇄공법과 계측관리, pp.74.
10. 최병희, 류창하, 황현주, 최용근, 안명석, 2009, 제어발파의 설계 및 관리 과정에서의 PPV와 PVS의 역할, 화약·발파, Vol. 26, No. 2, pp.1-10.
11. 한국토지개발공사, 1993, 암발파 설계기법에 관한 연구, pp.526.
12. Dick, R.A., L.R. Fletcher and D.V. D’andrea, 1975, Explosives and Blasting Procedures, International Society of Explosives Engineers, pp.59-66.



안 명 석

동서대학교 응용/건설공학부 겸임교수

Tel : 011)558-2593
E-mail : amspeoff@chol.com



신 창 용

동서대학교 건설공학부

Tel : 010)9381-6032
E-mail : explosifs@nate.com
holee@gdsu.dongseo.ac.kr