도로공사 노천발파
설계·시공 지침

2006. 12.

건 설 교 통 부

머 리 말

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

그러나 전국토의 70 %가 산지로 구성된 지형의 특성상 도로 공사에서는 필연적으로 소음 및 진동에 따른 민원이 많았습니다. 발파현장에서 민원을 최소화하고 안정성과 시공성을 확보하기 위해 발파 작업의 표준절차 제정의 필요성이 절실하게 요구되고 있습니다.

이번에 산, 학, 연, 관의 전문가들이 모여 그동안 시행되어 오던 잠정지침을 검토하고 지난 3년간 적용한 발파자료를 분석하여 민원문제를 최소화하고 안전성을 높여서 합리적으로 설계, 시공할 수 있도록 “도로공사 노천발파 설계·시공지침” 및 “도로공사 노천발파 설계·시공요령”을 제정하였습니다.

이 지침 및 요령은 그동안 국내 도로현장에서 계측한 결과를 분석하여 도출한 설계 발파진동 추정식을 적용하고 시공성을 감안하여 표준발파패턴을 만들었기 때문에 현장에서 쉽게 적용할 수 있을 것입니다. 향후 동 기준이 널리 적용되어 안전하고 경제적인 설계와 시공이 이루어질 수 있기를 기대합니다.

앞으로 본 기준은 최신 기술을 반영하고 일선에서의 활용에 불편이 없도록 지속적으로 보완하고 발전시켜 더욱 안전하고 경제적으로 도로공사를 시행할 수 있도록 최선을 다하고자 합니다.

끝으로, 본 기준 발간에 최선을 다한 (사)대한화약발파공학회의 집필진과 자문위원, 심의위원 그리고 관계공무원의 노고에 마음 깊이 감사드립니다.

2006년 12월

건설교통부 도로기획관

권 진 봉

목 차

Ⅰ. 제정 목적 및 적용 기준 ····· 1
1. 목적 ····· 1
2. 적용 기준 ····· 1
3. 암발파 설계 및 시험발파 잠정지침과의 관계 ····· 2
4. 경과 조치 ····· 2

Ⅱ. 암발파 설계 ····· 3
1. 개요 ····· 3
2. 암발파 업무 흐름도 ····· 4
3. 발파공법 설계 ····· 5
4. 설계 발파진동 추정식 ····· 7
5. 발파공법 분류 기준 ····· 9

Ⅲ. 시험발파 및 시공 ····· 11
1. 발파 전 사전 조사 ····· 11
2. 시험발파 ····· 13
3. 시공 및 계측 관리 ····· 23
4. 자료 수집 ····· 24

Ⅳ. 수량 산출기준 ····· 25
1. 일반 기준 ····· 25
2. 평면도 및 횡단면도상 수량산출 방법 예 ····· 26
3. 유의 사항 ····· 28

도로공사 노천발파 설계・시공지침

Ⅰ. 제정 목적 및 적용 기준

1. 목적

이 지침은 도로건설공사의 암발파로 인하여 발생되는 진동・발파소음으로 인한 민원발생을 사전에 예방하고, 현장 여건에 적합한 경제적인 발파공법을 적용하기 위하여 암발파 설계 및 시험발파, 시공 등에 관한 사항을 정함을 목적으로 한다.

2. 적용 기준

1) 이 지침은 고속국도, 일반국도 및 국가지원 지방도 건설공사구간 중 노천에서 시행하는 암발파 설계 및 시공에 적용한다.

2) 이 지침은 발파진동에 의하여 발파공법을 제시한 것으로, 발파영향권 내에 발파소음에 민감한 인체나 가축 또는 이와 관련된 시설이 포함된 경우에는 별도의 발파공법을 적용할 수 있다.

3. 암발파 설계 및 시험발파 잠정지침과의 관계

이 지침은 2003년 건설교통부의 “암발파 설계 및 시험발파 잠정지침”을 보완한 지침으로서, 이 지침 시행일 이전에 잠정지침의 “암 발파 설계편”을 적용한 설계용역 또는 건설공사는 이 지침의 관련 규정을 적용한 것으로 보며, 잠정지침의 그 외 규정은 이 지침을 따른다.

4. 경과조치

1) 이 지침은 2007년 1월 1일 당시 설계용역이 진행중이거나 2007년 1월 1일 이후 발주되는 건설공사부터 적용한다. 다만, “암발파 설계편”은 품셈 3-1-3 1 「나. 정밀진동제어발파, 다. 암석절취(크롤러드릴)」 개정 이후부터 적용한다

2) 2007년 1월 1일 이전에 발주한 건설공사로서 설계시 이 지침 또는 기존의 잠정지침을 적용하지 않은 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 필요하다고 인정한 경우에 동 지침을 적용할 수 있다.

Ⅱ. 암발파 설계

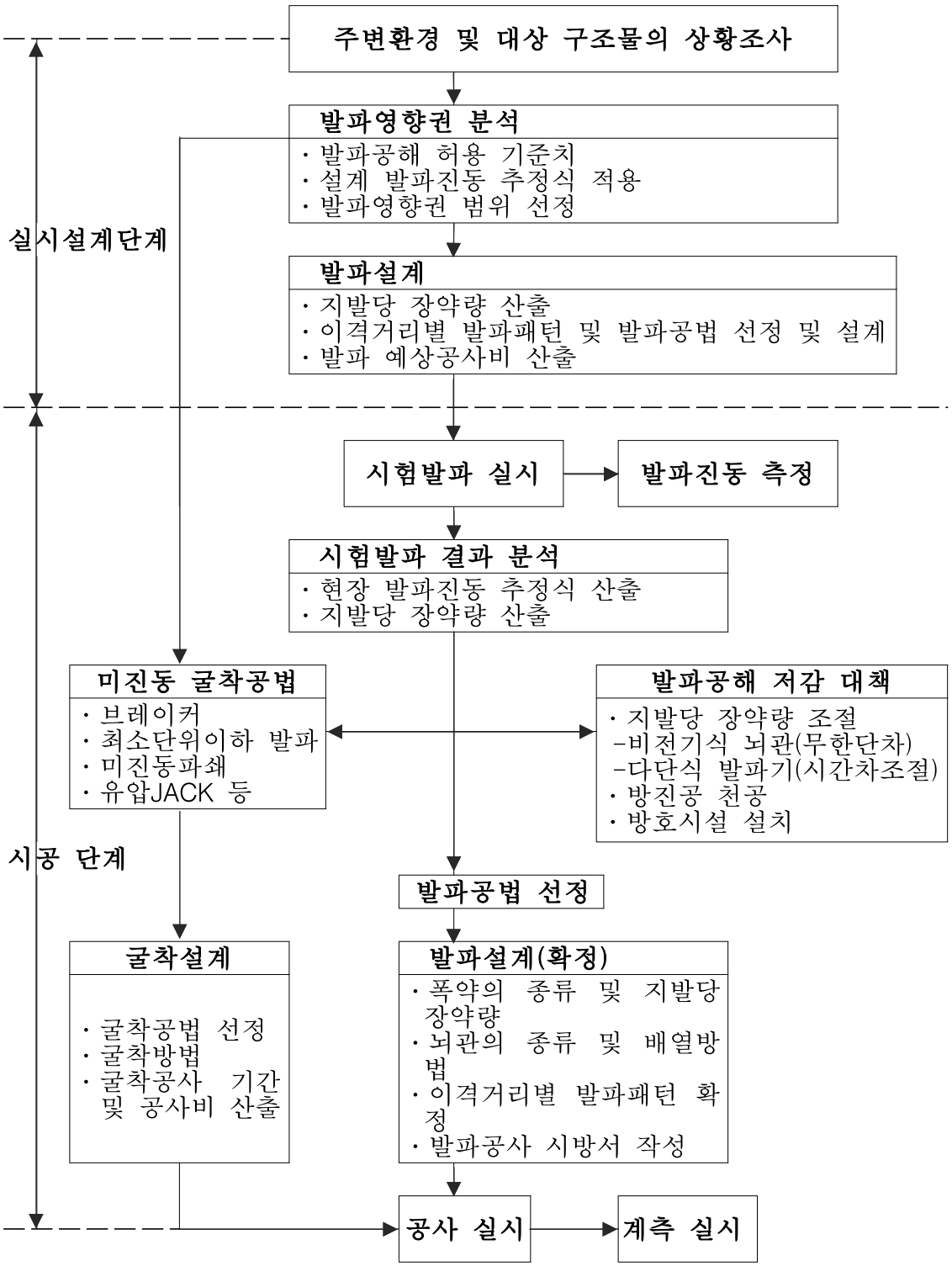
1. 개요

현행 발파설계시 발파원과 보안물건 간의 이격거리로만 구분하여 적용하던 암발파공법을 지발당 장약량 등을 기준으로 하여 6가지 Type으로 표준화하고, 보안물건의 허용진동기준과 이격거리에 따라 『거리～지발당장약량 조견표』에 의거 설계자가 쉽게 적정 발파공법을 선정할 수 있도록 한다.

도로공사에서 불가피하게 수행되는 발파의 영향으로 진동, 발파소음 등 민원이 발생하고 있는 점을 감안하여, 환경피해를 저감시키고 효율적인 설계 및 공사추진을 도모함으로써 민원을 예방하고 예산을 절감할 수 있다.

발파공사 시행 전에는 반드시 시험발파를 통하여 발파진동 추정식을 구하고, 시공성과 경제성 및 인근 보안물건의 안전성 등을 종합적으로 검토하여 적정발파공법을 적용해야 한다.

2. 암발파 업무 흐름도


주변환경 및 대상 구조물의 상황조사
발파영향권 분석
· 발파공해 허용 기준치
· 설계 발파진동 추정식 적용
· 발파영향권 범위 선정
실시설계단계
발파설계
· 지발당 장약량 산출
· 이격거리별 발파패턴 및 발파공법 선정 및 설계
· 발파 예상공사비 산출
시험발파 실시
발파진동 측정
시험발파 결과 분석
· 현장 발파진동 추정식 산출
· 지발당 장약량 산출
미진동 굴착공법
· 브레이커
· 최소단위이하 발파
· 미진동파쇄
· 유압JACK 등
발파공해 저감 대책
· 지발당 장약량 조절
-비전기식 뇌관(무한단차)
-다단식 발파기(시간차조절)
· 방진공 천공
· 방호시설 설치
시공 단계
발파공법 선정
굴착설계
· 굴착공법 선정
· 굴착방법
· 굴착공사 기간 및 공사비 산출
발파설계(확정)
· 폭약의 종류 및 지발당 장약량
· 뇌관의 종류 및 배열방법
· 이격거리별 발파패턴 확정
· 발파공사 시방서 작성
공사 실시
계측 실시

3. 발파공법 설계

- 현장조사를 거쳐 보안물건(가옥, 상가, 축사, APT 등)에 대한 허용 발파소음・진동 규제기준을 정한다.
- 이격거리는 발파원으로부터 보안물건까지의 사거리를 기준으로 측정하여 적용한다.
- 설계 발파진동 추정식 $v = 200\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-1.60}$을 이용한「거리~지발당 장약량 조견표」를 참고하여 보안물건에 대한 발파진동 허용기준 및 이격거리에 맞는 지발당 장약량을 구하고, 이에 적합한 발파공법을 선정한다.
- 설계도에는 설계에 반영한 TYPE별 표준발파패턴을 첨부하고, 발파공법별 수량산출은 Ⅳ.수량산출기준을 참고하여 공법별로 각각 발파수량을 산출한다.
- 발파공사 시행 전에는 설계에 적용된 표준발파패턴 및 공법을 기준으로 하되 현장 상황이 허락하는 한 실제 시공과 비슷한 조건으로 시험발파를 시행하여야 하며, 그 결과에 따라 현지 암반별 발파진동 추정식(K, n)을 구하여 발파설계를 수정・보완하여 변경한다.
- 시험발파 적용대상은 일반발파, 대발파를 제외한 미진동 굴착공법, 정밀진동제어, 소규모・중규모 진동

제어발파를 적용하며, 일반발파, 대발파인 경우에도 보안물건에 발파영향을 미치는 경우에는 시험발파를 실시할 수 있다.

- 시험발파는 발파영향권내에 보안물건이 있는 경우에 실시하며, 시험발파 횟수는 실시설계 단계에서 도로공사 연장 4 km마다 1회 정도를 설계에 반영하되 현장조건과 암반 특성 등에 따라 추가할 수 있다.

4. 설계 발파진동 추정식

• 발파진동 추정식은 시험발파 등을 통하여 결정되는 것이나 설계단계에서 이러한 절차수행에는 현실적으로 적용하기에 무리가 있으므로, 효율적인 설계추진을 위하여 진동예측을 위한 설계단계에서의 발파진동 추정식 결정이 필요하다.

• 설계단계에서 예비검토를 위한 설계 발파진동 추정식은 아래와 같다.

$$v = 200\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-1.60}$$

여기서, v : 진동속도(cm/s)

D : 폭원으로부터 이격거리(m)

W : 지발당 최대장약량(kg)

• 본 지침에서 제시한 상수는 국내 도로공사 현장의 실계측 자료로부터 구한 K=200, n=-1.60을 사용한다.

※ 상기 추정식은 일반적인 환경에서 예비검토를 위한 추정식으로 사용한다.

• 발파규모는「발파소음・진동・비석영향권」분석에 의해 설정한다.

【거리~지발당 장약량 조견표】

단위 : kg

적용공법	진동속도 / 이격거리(m)	0.1 ㎝/s	0.2 ㎝/s	0.3 ㎝/s	0.5 ㎝/s	1.0 ㎝/s	5.0 ㎝/s	적용공법
TYPE Ⅰ 미진동 굴착공법	5	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.25	TYPE Ⅱ
	10	0.01	0.02	0.03	0.06	0.13	0.99	TYPE Ⅲ
	15	0.02	0.04	0.07	0.13	0.30	2.24	TYPE Ⅳ
	20	0.03	0.07	0.12	0.22	0.53	3.98	
	25	0.05	0.11	0.18	0.35	0.83	6.21	TYPE Ⅴ 일반발파
	30	0.07	0.16	0.27	0.50	1.20	8.95	
	40	0.12	0.28	0.47	0.89	2.13	15.9	TYPE Ⅵ 대규모발파
TYPE Ⅱ 정밀진동 제어발파	50	0.19	0.44	0.74	1.40	3.32	24.9	
	60	0.27	0.64	1.06	2.01	4.79	35.8	
	70	0.37	0.87	1.45	2.74	6.51	48.7	
	80	0.48	1.14	1.89	3.58	8.51	63.6	
TYPE Ⅲ 소규모 진동제어	90	0.61	1.44	2.39	4.53	10.8	80.5	
	100	0.75	1.78	2.95	5.59	13.3	99.4	
	110	0.90	2.15	3.57	6.76	16.1	120	
	120	1.08	2.56	4.25	8.05	19.1	143	
	130	1.26	3.01	4.99	9.45	22.5	168	
	140	1.47	3.49	5.79	11.0	26.1	195	
TYPE Ⅳ 중규모 진동제어	150	1.68	4.00	6.64	12.6	29.9	224	
	160	1.91	4.55	7.56	14.3	34.0	254	
	170	2.16	5.14	8.53	16.2	38.4	287	
	180	2.42	5.76	9.56	18.1	43.1	322	
	190	2.70	6.42	10.7	20.2	48.0	359	
	200	2.99	7.11	11.8	22.4	53.2	398	
	210	3.30	7.84	13.0	24.7	58.6	438	
	220	3.62	8.61	14.3	27.1	64.4	481	
	230	3.96	9.41	15.6	29.6	70.3	526	
	240	4.31	10.2	17.0	32.2	76.6	573	
	250	4.67	11.1	18.4	34.9	83.1	621	
TYPE Ⅴ 일반발파	260	5.05	12.0	20.0	37.8	89.9	672	
	270	5.45	13.0	21.5	40.8	96.9	725	
	280	5.86	13.9	23.1	43.8	104	779	
	290	6.29	15.0	24.8	47.0	112	836	
	300	6.73	16.0	26.6	50.3	120	895	
TYPE Ⅵ	450	15.1	36.0	59.8	113	269	2013	

0.06	미진동 굴착공법	0.25	정밀진동제어발파	1.00	소규모 진동제어발파
3.00	중규모진동제어발파	7.50	일반발파	20.0	대규모발파

【주】 1. 위 발파공법별 적용거리 기준 및 지발당 장약량은 설계 발파진동 추정식 $v = 200(D/\sqrt{W})^{-1.6}$에 의하여 설정한 것으로, 발파 대상 현장의 암반특성 및 관리 대상 보안물건의 특성에 따라 증·감될 수 있다.

2. 발파소음의 제어는 지반진동보다 훨씬 어려우므로 만약, 발파소음에 민감한 가축 사육시설 또는 요양원, 종교시설 등이 근접한 경우에는 별도 공법을 적용할 수 있다.

3. TYPE별 공법 설계는 상기기준에 맞게 하되 현장여건에 따라 조정할 수 있다.

4. 발파진동은 보안물건의 노후도나 상태, 암반상태, 진동주파수 등에 따라 달라지므로, 설계자 및 발파자는 보안물건상태, 현장조건과 관련법규 등을 검토하여 발파진동 허용기준치를 설정하고 이에 대한 이격거리별 지발당장약량을 산정하여야 한다.

5. 발파공법 분류 기준

1) 표준발파공법별 분류 기준

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 브레이커로 2차 파쇄를 실시하는 공법	소량의 폭약으로 암반에 균열을 발생시킨 후, 대형 브레이커에 의한 2차 파쇄를 실시하는 공법	발파영향권 내에 보안물건이 존재하는 경우 "시험발파" 결과에 의해 발파설계를 실시하여 규제기준을 준수할 수 있는 공법		1공당 최대 장약량이 발파규제기준을 충족시킬 수 있을 만큼 보안물건과 이격된 영역에 대해 적용하는 공법	발파영향권 내에 보안물건이 전혀 존재하지 않는 산간 오지 등에서 발파효율 만을 고려하는 공법
주 사용폭약 또는 화공품	최소단위미만폭약 미진동파쇄기 미진동파쇄약 등	에멀젼 계열 폭약	에멀젼 계열 폭약		에멀젼 계열 폭약	주폭약:초유폭약 기폭약:에멀젼
지발당장약량 범위(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	대형브레이커 적용	대형브레이커 적용	-		-	-

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

2) 표준발파공법 패턴별 특성

Type	명칭	설계 지발당 장약량 (kg)	발파제원※ W×E×H(m)	천공경 (mm)	공당 파쇄량‡ (m^3/공)	사용폭약
Ⅰ	미진동 굴착공법	폭약기준 0.125 미만	0.7×0.7×1.3	ϕ 51 이내	0.637	
Ⅱ	정밀 진동제어발파	0.25	0.7×0.8×1.8	ϕ 51 이내	1.01	에멀젼 폭약 등 (ϕ25~32mm)
Ⅲ	소규모 진동제어발파	1.0	1.0×1.2×2.4	ϕ 51 이내	2.88	〃 (ϕ32mm)
Ⅳ	중규모 진동제어발파	3.0	1.6×1.9×3.0	ϕ 76	9.12	〃 (ϕ50mm)
Ⅴ	일반발파	7.5	2.0×2.5×4.8	ϕ 76	24.0	〃 (ϕ50mm)
Ⅵ	대규모발파	20.0	2.8×3.2×7.3	ϕ 76 이상	65.4	주폭약:초유폭약 기폭약:에멀젼

【주】※ W:최소저항선 E:공간간격 H:벤치고 ‡ 공당파쇄량은 평균값임.

1. 설계 지발당 장약량 기준은 설계 발파진동 추정식 $v = K(D/W^b)^n$에 의한 "거리~지발당 장약량" 조견표 기준임. (진동상수 K = 200, n = -1.6, b = 1/2)
2. 발파대상 암반의 강도나 지형특성 등에 따라 설계 지발당 장약량과 발파제원이 변동될 수 있음
3. 미진동파쇄기와 유압잭 및 브레이커 파쇄공법 등은 진동전파 특성에 따라 일반폭약과는 상이하므로 시험시공에 의해 지발당장약량과 천공패턴 등의 굴착방법을 설정할 것
4. 장소가 협소하거나 현장 여건상 크롤러 드릴의 사용이 곤란한 장소에서는 착암기를 사용한 발파공법을 적용할 수 있음.

3) 표준발파공법 및 진동규제기준별 적용 이격거리(m)

단위 : cm/s

TYPE	발파공법	v=0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	5.0
Ⅰ	미진동 굴착공법	40m까지	25m까지	20m까지	15m까지	5m까지	3m까지
Ⅱ	정밀 진동제어발파	40~80	25~50	20~40	15~30	5~20	3~7
Ⅲ	소규모 진동제어발파	80~140	50~90	40~70	30~50	20~30	7~10
Ⅳ	중규모 진동제어발파	140~260	90~170	70~130	50~90	30~60	10~25
Ⅴ	일반발파	260~450	170~290	130~220	90~160	60~110	25~40
Ⅵ	대규모발파	450m이상	290m이상	220m이상	160m이상	110m이상	40m이상

Ⅲ. 시험발파 및 시공

시공회사는 설계도서를 검토하고 발파영향권내 보안물건 등을 조사하여 시험발파, 본 발파, 계측관리 계획을 수립하여 시행한다.

1. 발파 전 사전 조사

발파영향권 검토를 위하여 발파현장에 대한 현황 조사와는 별도로 시공사에서는 민원방지를 위해 다음과 같이 조치한다.

일반적으로 건축물이나 기타 시설물에 발생되는 균열은 지반침하, 습도의 변화 및 온도변화 등 여러 가지 요인에 의해 자연적으로 발생되고 있다. 그러나 발파작업이 인근에서 진행될 때 추가로 발생되는 균열이 진동으로 인한 피해인지의 여부를 판정하기에는 어려움이 있고, 많은 시간이 소요되며 민원 발생 시 공사 지연 등 막대한 피해가 예상된다.

따라서, 설명회 개최 등 주민들에 대한 홍보를 실시하고, 발파진동에 따른 피해 여부를 파악하기 위해 주민들과 충분한 대화를 바탕으로 주민, 시설물소유자, 감독관 입회하에 사전조사를 실시한다.

발파 착수 전 주변 보안물건에 대해 건물현황과 균열상

황을 파악하여 발파진동이 미칠 수 있는 현황을 조사하고, 발파영향권 내에 있는 모든 시설물의 균열 상태를 카메라와 비디오로 촬영하여 추후 민원 발생 시 피해여부를 판단할 수 있는 근거자료로 확보하는 것이 바람직하다.

1) 조사 내용

⑴ 건물의 구조형태, 노후정도, 균열발달 상태
⑵ 대표적 균열상태의 정량적 측정
⑶ 건물의 지반상태
⑷ 건물의 시설물 현황 등
⑸ 가축의 현황 및 축종 파악

2) 조사 방법

⑴ 발파영향권 내에 있는 주변 보안물건에 대해 건물현황과 균열 발달 상태 및 측정 결과치를 비디오와 카메라로 촬영하여 차후 민원 발생 시 피해여부를 판단할 수 있는 증거자료로 활용한다.

⑵ 조사 시 날짜 등을 명시하기 위해 날짜가 기록된 간행물과 조사지역 현장에 시계와 달력 및 TV, 라디오를 켜서 비디오에 삽입시킨다.

2. 시험발파

시험발파는 현장조건 및 암반특성에 따라 발파횟수와 시험발파 장소를 정하여 시행한다.

1) 시험발파의 목적

실시설계한 발파공법을 적용하여 현장의 지반조건 및 지형적 특성에 맞는 현장 발파진동 추정식을 산출하는데 목적이 있으며, 이를 근거로 이격거리별 지발당 허용장약량을 산출하여 발파공법 적용구간 설정 및 발파패턴을 설계하는 자료로 활용한다.

2) 시험발파 세부 절차

시험발파계획수립	· 주변 환경을 고려한 허용기준 검토 · 설계 발파진동 추정식을 이용한 발파영향권 검토 · 설계발파패턴 검토
시험발파 및 계측	· 가급적 주변 보안물건에 근접하나, 보안물건에 피해없는 안전한 곳에서 실시 · 가능한 한 설계패턴에 가까운 천공, 장약 실시 · 신뢰성 있는 분석을 위해 30 점 이상의 계측자료 확보
자료처리	· 도면 또는 전산프로그램을 이용하여 회귀분석 실시 · 현장특성에 맞는 발파진동 추정식 산출 · 거리 및 장약량 변화에 따른 감쇠지수 파악 · 이격거리별 지발당 허용장약량 산출

영향평가	· 주변환경을 고려한 허용기준 검토 · 발파영향권 검토
발파공법 선정	· 지발당 허용장약량에 따른 발파공법 선정 · 발파공해 허용기준 이내의 발파공법 적용성 검토
발파설계	· 선정된 발파공법에 적합한 폭약 및 지발당 장약량 결정 · 사용뇌관의 종류 및 기폭방법 검토 · 이격거리별 발파공해 허용기준을 고려하여 발파패턴 설계 · 설계된 발파패턴의 안전성 검토 후 적용 · 발파공사 특별시방서 작성
공사실시	· 보안물건과의 이격거리별 설계패턴 적용 · 설계패턴별 장약량 등 천공패턴 준수 · 발파작업과 병행하여 발파계측 실시

3) 시험발파 방법

시험발파는 발파공사에 대한 중요도 및 위험요인을 감안하여 엔지니어링기술진흥법에 의한 용역업체(화약류관리) 또는 기술사법에 의한 화약류관리 기술사사무소 등 발파 전문기관에 의뢰하여 실시하고, 발파진동과 발파소음에 대한 계측결과는 화약류관리 전문기술자에 의해 검토와 검증절차를 거쳐 객관적인 자료를 유지한다.

시험발파 설계패턴이 자료와 경험에 의한 추정으로 설계되기 때문에 시험발파 위치는 가급적 보안물건과 근접된 지점을 선택하되 위험을 피하기 위하여 각종 시설물에

피해가 미치지 않는 범위 내에서 가능한 한 실시설계에 가까운 규모로 한다.

또한, 시험발파 시 신뢰성을 확보하기 위해 공사관계자(발주청, 시공회사, 감리단), 관할 경찰관과 발파영향권 내 시설물 소유자 또는 주민 입회하에 합동으로 실시함을 원칙으로 한다.

발파진동의 크기는 궁극적으로 발파조건에 좌우되며, 발파조건의 주요 요소로는 다음과 같다.

① 사용 화약류의 종류 및 특성
② 지발당 장약량
③ 기폭 방법 및 뇌관의 종류
④ 폭원과 보안물건(측점)과의 거리
⑤ 전색상태와 장전밀도
⑥ 자유면의 수
⑦ 전파경로와 지반상태(지형, 암질, 지하수상태)

발파진동을 예측할 수 있는 일반적인 발파진동공식은 다음과 같이 사용된다.

$$v = K\left(\frac{D}{W^{b}}\right)^{n} \qquad \text{식 (1)}$$

여기서, v : 진동속도 (cm/s)

D : 폭원으로부터의 거리 (m)

W : 지발당 장약량 (kg)

K : 발파진동 상수

b : 장약지수

n : 감쇠지수

이 식에서 K, n 은 정량적으로 평가할 수 없는 인자에 의한 영향을 대표하는 값으로서 지질조건, 발파방법, 화약류의 종류에 따라 변화되므로, 시험발파에 의한 계측결과를 분석하여 그 현장에 적합한 발파진동 추정식을 구하는 것이다.

지발당 장약량을 고정시키고 계측점을 달리하여 측정함으로써 거리에 따른 감쇠지수를 파악한다. 즉, 계측기 5대 이상을 일정한 건축물이나 시설물에 대해 일직선상으로 거리를 달리하여 설치하고, 30 측점 이상의 계측 결과치를 얻어 분석을 실시한다.

또한, 거리를 고정시키고 지발당 장약량을 달리하여 측정함으로써 장약량 변화에 따른 발파진동상수와 장약지수 등을 파악하도록 한다.

암발파의 경우는 발파진동 지속시간과 발파 소음의 전파 성향을 파악하기 위하여, 동시발파 공수(보통 5～20 공정도)를 달리하고 뇌관의 기폭단차도 달리하여 실시한다.

이는 지속시간에 따른 인체의 반응이 현저하게 다르게 나타나므로, 이에 따른 분석으로 각종 민원을 예방하기 위함이다.

4) 진동측정 방법

① 측정방법

측정은 원칙적으로 수직방향(V, vertical)과 상호간 직교하는 수평의 2방향 즉 진행방향(L, longitudinal)과 접선방향(T, transverse)에 대한 3성분을 동시에 측정한다.

거리에 따른 진동감쇠를 측정하고 싶은 경우에는 넓은 범위의 환산거리를 고려하여 최상의 감쇠 관계를 구하기 위해 적어도 5개 이상의 측정점에 대해 동시계측을 실시한다. 거리에 따른 감쇠 곡선은 대수 그래프에 작성하는 일이 많기 때문에 대수 그래프 상에서 등 간격이 되는 위치에 측정점을 선택하면 편리하지만, 때로는 측정지형에 따라 적절하게 운용한다.

또한 최상의 감쇠 관계를 구하기 위해서는 지질상황이 일정한 지역에 측선을 설정하여 장비를 배치한다. 이상적으로는 토층의 두께가 일정한 지역에 측선을 설정하는 것이 바람직하며, 단층과 같은 큰 구조의 지질적 불연속면을 가로지르는 것을 피한다.

구조물의 진동을 측정할 경우에는 구조물과 동시에 지반 위의 진동을 측정해두고, 지반에 대한 진동배율을 구할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

② 센서의 설치

센서와 지반운동이 같이 거동할 수 있도록 지반 위나 구조물상에 센서를 견고하게 고정시킨다. 단단한 지반에서는 센서에 부착된 스파이크(spike)를 이용하여 지반에 견고하게 설치한다.

또한 진동수준이 높지 않은 곳에서 센서의 스파이크가 지반에 삽입되지 않을 경우에는 모래주머니를 이용하여 센서를 완전히 고르게 덮어주어 하중을 가해 줌으로써 지반과 같이 움직이도록 해준다.

센서의 설치 방향은 센서에 표시된 방향표시와 발파원의 방향이 항상 일치하도록 설치하고, 발파원의 장소가 다른 여러 발파의 경우는 센서의 방향과 일치하지 않기 때문에 그 상황을 기록해둔다.

5) 시험발파 결과분석

① 분석방법

측정된 결과치를 거리별, 장약량별로 정리한 후 식(1)에서 변수 b를 1/2과 1/3로 취하고, D/W^b를 SD (환산거리, scaled distance)라 하면 식(2)와 같이 표현된다.

$$v = K(SD)^n \qquad \text{식 (2)}$$

측정된 진동값에 대한 회귀분석(regression analysis)을 실시하기 위해 대수눈금 그래프에 나타내면, 직선관계가 성립되어 K값과 n값이 최종적으로 결정되며, 당 현장에 적합한 발파진동 추정식을 얻게 된다.

이에 대한 결과치가 많으면 수계산이 복잡해지므로 도표를 작성하거나, 정확도를 높이기 위해 회귀분석 전산 프로그램을 이용한다. 발파진동 추정식은 최대치(PPV) 자료의 95%를 추세선 아래에 위치하게 하는 95 % 수준의 발파진동 추정식을 구한다.

② 시험발파에 대한 결과 분석내용

- 발파진동 및 발파소음에 대한 회귀분석
- 발파진동 및 발파소음 전파 추정식 산출
- 발파진동 및 발파소음 허용기준치 적합성 여부
- 거리별 지발당 허용장약량 제시

· 공당장약량 및 시험발파 패턴의 적합성 여부
· 발파공해(발파소음, 진동 등)에 대한 저감대책

③ 발파진동 추정식의 설정을 위해서는 통계적 의미가 있는 수의 측정 자료가 필요하며, 적어도 30점 이상의 자료를 측정하여 신뢰도를 높인다.

④ 계측결과 추정식의 상관계수가 0.70에 미치지 못하는 경우에는 시험발파를 다시 실시하여야 한다.

6) 분석결과 검토 및 적용

① 시험발파 결과분석에 의해 발파진동 추정식을 얻게 되면 시험발파에 따른 발파설계 패턴의 적합성을 판단하고, 주변 건축물이나 시설물에 미치는 피해 영향 등을 검토하여 현장에 맞는 지발당 허용장약량을 구한다.

② 지발당 허용장약량을 기준으로 장비 및 작업효율 등을 감안하여 천공장, 천공경, 천공간격, 저항선 등 발파 패턴을 설계한다.

③ 발파이론과 경험에 입각해 발파공해 저감대책 및 발파작업시 제기된 문제점을 검토하여 현장에 가장 적합한 발파계획을 수립한다.

7) 시험발파 보고서 수록내용

○ 개요

○ 시험발파의 목적

○ 시험발파 위치도 및 주변현황

○ 발파원 지역의 지질현황

○ 발파진동·소음 허용기준치 검토·설정

○ 시험발파 조건 및 방법

○ 발파진동·소음 측정방법 및 결과

○ 발파진동 추정식 도출

○ 지발당 허용장약량 결정

○ 발파패턴 설계

○ 발파공해 저감대책 등

8) 시험발파 단계별 업무 분장

① 시공회사에서는 2개 이상 시험발파업체로부터 시험발파비에 대한 견적서와 시험발파 수행계획서 등을 받아 시험발파업체를 선정한 후 감리단의 검토를 거쳐 발주청의 승인을 득하여야 한다.

② 감리단은 시공사에서 선정한 시험발파업체에 대하여 업무수행능력 등을 검토하여 적합여부를 판단한다.

단계별	발주청	시공회사	감리단	시험발파자	비 고
시험발파비용 반영(공사비)	○				<설계단계>
시험발파업체 선정		○			
시험발파업체 승인 요청 (시공회사 → 감리단, 발주청)		○	△	○	<시공단계> ·시험발파업체 선정 자료 ·시험발파 계획서 ·비상주 감리원 및 책임 감리원 의견서
시험발파업체 승인 (발주청 → 감리단, 시공회사)	○		△		
시험발파 계약·시행		○		○	
시험발파 감리			○		·발주청 입회
시험발파 결과분석 및 보고서작성		○	△	○	
시험발파 결과 승인요청 (시공회사 → 감리단, 발주청)		○	△	○	·비상주감리원 및 책임 감리원 의견서
시험발파결과 승인 (발주청→ 감리단 시공회사)	○		△		

※○전담자, △보조자

※비상주감리원은 토질 및 기초기술사 또는 화약류관리 기술사

※시험발파업체 선정자료 :

· 업태조서(책임기술자경력, 사업수행실적, 계측장비 등 보유현황)

· 시험발파 수행계획서

3. 시공 및 계측 관리

1) 시공 및 계측관리는 시공회사의 책임 하에 시행하며 매 발파 시 계측을 실시하여 발파에 따른 주변 보안물건에 대한 피해 영향을 파악하고, 계측치를 분석하여 안전한 발파 작업을 시행하여야 한다.

실제 발파작업이 진행됨에 따라 암반의 지질적 특성 및 발파조건이 현장상황에 따라 변할 수 있으므로, 시험발파에 의해 설정된 발파진동 추정식을 계측 및 분석을 실시하여 필요한 경우 현지에 맞도록 발파방법을 변경 시행하고, 공사비의 증감이 발생할 경우에는 사전에 발주청의 승인을 받도록 한다. 발주청은 발파 결과를 추후 정산 처리하고 계측관리에 필요한 분석비용 등을 설계에 반영한다.

2) 발주기관의 장은 공사감독 또는 감리원이 이 지침에 따라 발파업무의 감독·감리 등 필요한 조치를 취하게 할 수 있다.

4. 자료 수집

발주청은 시험발파 및 발파설계자료, 시공 시 계측 및 분석자료, 발파에 영향을 미치는 제 요인 계측자료 등을 보관(CD-ROM, 보고서 등)하여 추후 발파진동식 정립이나 동 지침 등 개정작업에 활용토록 한다.

Ⅳ. 수량 산출기준

1. 일반 기준

1) 암발파 깍기부 비탈면 경사는 비탈면 안정검토 결과에 따라 적용하며(소규모인 경우는 리핑암 및 발파암별로 표준경사를 적용할 수 있음), 공사의 효율성과 민원발생 방지를 위하여 발파원에서부터 보안물건까지의 사거리 기준으로 산출한다.

2) 발파 진동 허용기준치와 각 보안물건과의 이격거리를 고려하여 발파공법을 선정하고, 공사 시행시 시험발파를 실시하여 발파진동상수 및 지발당 허용장약량을 결정한 후 지발당 허용장약량을 감안하여 발파공법의 적용구간을 조정·적용할 수 있다.

- 천공 제원
- 진동허용 기준치
- 지발당 허용 장약량
- 발파원에서 보안물건까지의 사거리
- 적용 발파공법 등

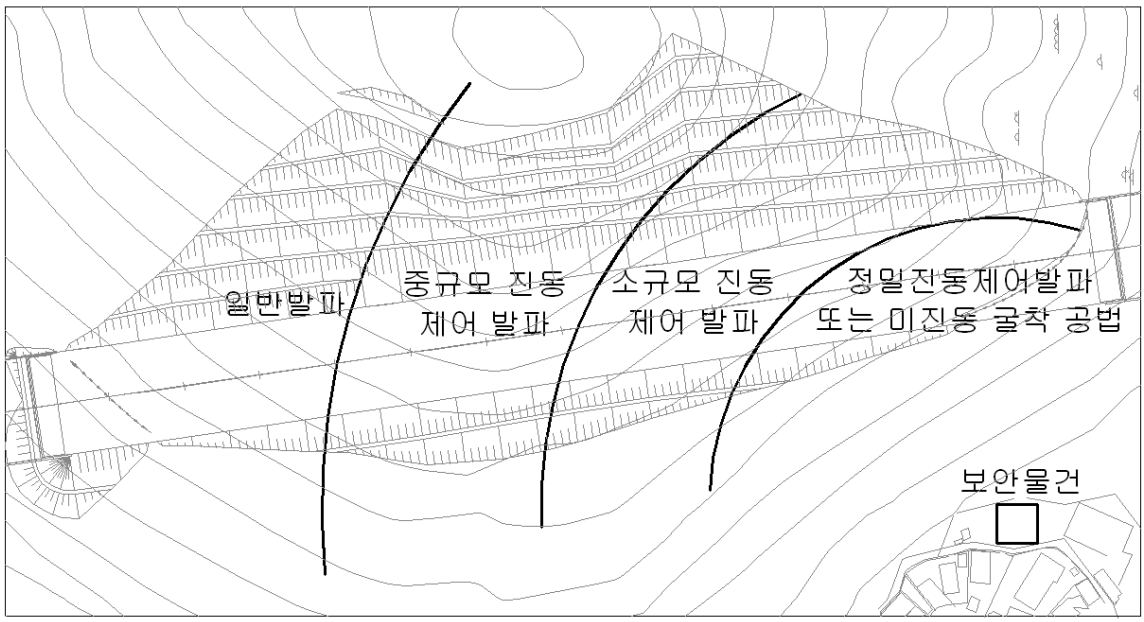
3) 표준발파 TYPE별 공법

- 미진동 굴착공법
- 정밀진동제어 발파공법
- 소규모 진동제어 발파공법
- 중규모 진동제어 발파공법
- 일반 발파공법
- 대규모 발파공법

2. 평면도 및 횡단면도상 수량산출 방법 예

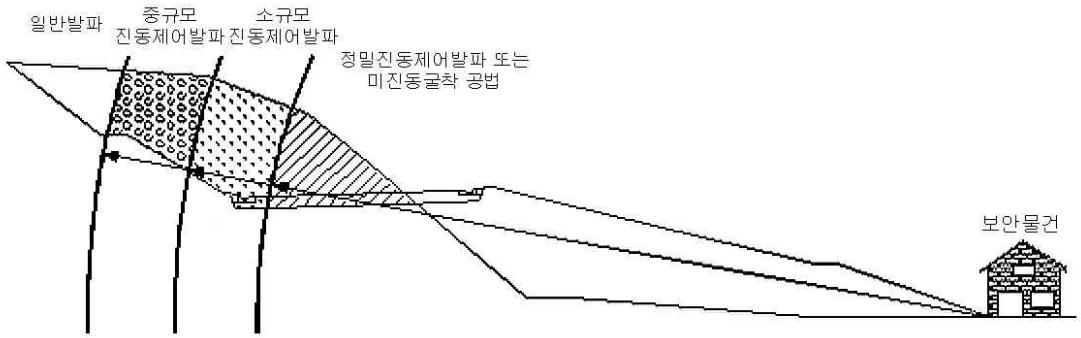
1) 평면도상

(○○～○○ 도로건설공사 STA.6+700지점 우측)



2) 횡단면도상

(1) 보안물건이 발파지역보다 낮은 경우

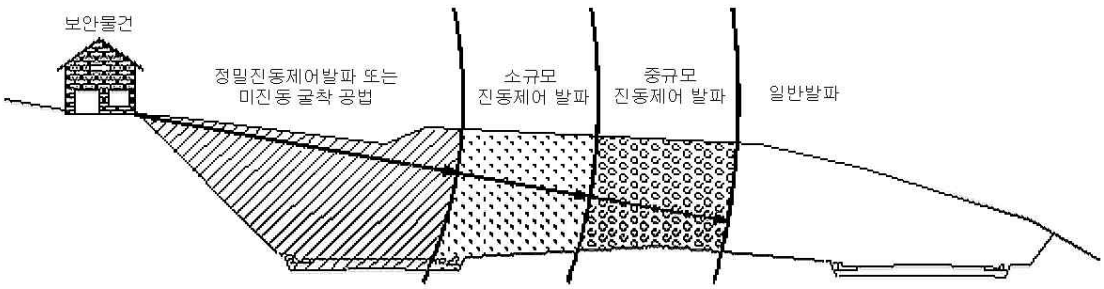


① 평면도상 발파공법별 기준에 따른 이격거리를 산출하여 횡단면도에 원호를 그린다.

② 원호로 그은 선에 의하여 발파공법별 암 발파량을 구분하여 수량을 산출한다.

③ 수량 산출을 용이하게 하기 위해 필요한 경우 원호와 계획선 및 지표선의 교차점을 잇는 현으로 직선화하여 수량을 산출할 수 있다.

(2) 보안물건이 발파지역보다 높은 경우



① 평면도상 발파공법별 기준에 따른 이격거리를 산출하여 횡단면도에 원호를 그린다.

② 원호로 그은 선에 의하여 발파공법별 암 발파량을 구분하여 수량을 산출한다.

③ 수량 산출을 용이하게 하기 위해 필요한 경우 원호와 계획선 및 지표선의 교차점을 잇는 현으로 직선화하여 수량을 산출할 수 있다.

3. 유의 사항

1) 도로건설공사의 발파공법은 보안물건으로부터 발파소음, 진동, 비석 등의 환경피해 및 민원발생의 원인이 되므로, 환경피해를 저감시킬 수 있도록 현지여건을 고려한 시공성, 경제성, 안전성 등을 감안하여 적정한 발파공법을 선정한다.

2) 공사시에는 시험발파에서 제시된 천공간격, 지발당 허용장약량, 발파패턴 등에 따라 발파공사를 시행하되, 계측관리를 철저히 시행하여 안전하게 발파하여야 한다.

3) 설계 발파공법이 변경될 경우 발주청과 협의하여 설계변경을 하여야 한다.