

3-1 도로공사 노천발파 설계 및 시공지침 제정에 따른 육상부 암발파 설계 및 계측 작용기준 검토

방 침
설계치-527
('07. 2. 23)

1. 검토 배경

건설교통부에서 잠정적으로 적용했던 암발파 설계 및 시험발파 잠정치침(안)(03. 3)을 보완하여 「도로공사 노천발파 설계·시공 지침」(06.12)을 제정함에 따라 우리공사 육상부 암발파 설계 및 계측 적용기준을 검토코자 함

2. 추진경위

- o '03. 2. : 암발파 설계 및 시험발파 잠정치침(안) 제정(건설교통부)
- o '04. 4.22 : 육상부 암발파 설계 및 계측 기준 (설계구10201-122)
- o '06.12. : 도로공사 노천발파 설계·시공 지침 제정(건설교통부)

3. 주요 개정사항

가. 표준발파공법 TYPE 1

기 준	변 경
암파쇄 굴취공법 · 미진동파쇄 · 브레이커 · 유압JACK 등	미진동 굴취공법 · 브레이커 · 최소단위이하 발파 · 미진동파쇄 · 유압JACK 등

나. 설계 발파진동 추정식

기 준	변 경
$v = 160 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.60}$	$v = 200 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.60}$

- v : 진동속도(cm/s)
- W : 지발당 최대장약량(kg)
- D : 폭원으로로부터 이력거리(m)

다. 거리~지발당 장약량 조건표

: 설계 발파진동 추정식 변경에 따라 거리~지발당 장약량 조건표 변경 단위 : kg

적용공법	진동속도 이력거리(m)	0.1 cm/s	0.2 cm/s	0.3 cm/s	0.5 cm/s	1.0 cm/s	5.0 cm/s	적용공법																									
		5	10	15	20	25	30		40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280
TYPE I 미진동 굴취공법	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	TYPE V																									
TYPE II 정밀진동 제어발파	25	0.05	0.11	0.18	0.35	0.83	6.21	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																										
	50	0.19	0.44	0.74	1.40	3.32	24.9																										
TYPE III 소규모 진동제어	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																										
	90	0.61	1.44	2.39	4.53	10.8	80.5																										
TYPE IV 중규모 진동제어	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																										
TYPE V 일반발파	140	1.47	3.49	5.79	11.0	26.1	195																										
	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																										
TYPE VI 대규모발파	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																										
TYPE V 일반발파	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 VI 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																										
TYPE VI 일반발파	300	6.73	16.0	26.6	50.3	120	895																										
	450	15.1	36.0	59.8	113	269	2013																										

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

- 【주】 1. 위 발파공법별 적용거리 기준 및 지발당 장약량은 실제 발파진동 추정식 $v = 200(D/\sqrt{W})^{-1.6}$ 에 의하여 설정한 것으로, 발파 대상 현장의 암반특성 및 관리 대상 보안물건의 특성에 따라 증감할 수 있다.
- 2. 발파소음의 제어는 지반진동보다 훨씬 어려우므로 만약, 발파소음에 민감한 가족 사무시설 또는 요양원, 종교시설 등이 근접한 경우에는 별도 공법을 적용할 수 있다.
- 3. TYPE별 공법 설계는 상기준에 맞게 하되 현장여건에 따라 조정할 수 있다.
- 4. 발파진동은 보안물건의 노후도나 상태, 암반상태, 진동주파수 등에 따라 달라지므로, 설계자 및 발파자는 보안물건상태, 현장 조건과 관련된 규 등을 검토하여 발파진동 허용기준치를 설정하고 이에 대한 이력거리별 지발당장약량을 산정하여야 한다.

라. 표준발파공법별 분류기준

구분	TYPE I 미진동 클락공법	TYPE II 정밀진동 제어발파	TYPE III·IV 진동제어발파		TYPE V 일반발파	TYPE VI 대규모 발파
			소규모	중규모		
공법개요	보안물진 주변에서 TYPE II 공법 이내 수준으로 진동을 저감시킬 수 있는 공법으로서 대형 브래이커로 2차 파쇄를 실시하는 공법	소량의 폭약으로 암반에 균열을 발생시킨 후, 대형 브래이커에 의한 2차 파쇄를 실시하는 공법	발파영향권 내에 보안이 존재하는 경우 "시행발파" 이 발파 규제기준을 충족시킬 수 있을 만큼 보안물 진과 이격된 영역에 대해 적용하는 공법		1공당 최대 장약량이 발파영향권 내에 보안물진이 전혀 존재하지 않는 산간 오지 등에서 발파효율만을 고려하는 공법	
주사용폭약 또는 화공품	최소단위미반폭약 미진동파쇄기 미진동파쇄약 등	에멀전 계열 폭약	에멀전 계열 폭약		에멀전 계열 폭약	주폭약: 초유폭약 기폭약: 에멀전
지발당장약량(위)(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
진공직경	φ51mm 이내	φ51mm 이내	φ51mm 이내	φ76mm	φ76mm	φ76mm 이상
진공장비	공기압축기식 크롤러 드릴 또는 유압식 크롤러 드릴 선택 사용					
표준패턴	미진동 클락공법	정밀진동 제어발파	진동제어발파		일반발파	대규모 발파
침공깊이 (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
침공간격 (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 + 대피	파쇄 + 대피
계측관리	필수	필수	필수		선택	선택
발파보호공	필수	필수	필수		불필요	불필요
2차 파쇄	대형브래이커 적용	대형브래이커 적용	-		-	-

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

다. 발파설계- 장약량별 발파패턴 선정

보안물진에 대한 발파진동·소음 허용기준치 설정



보안물진과의 이격거리⇒사거리 기준



보안물진과의 이격거리와 진동수준에 적합한 지발당장약량 산출
설계발파 진동추정식
 $V=200(D/W^*)^{-1.6}$



발파설계(실시설계) : 장약량별 발파패턴 선정

구분	TYPE-I	TYPE-II	TYPE-III	TYPE-IV	TYPE-V	TYPE-VI
발파공법	미진동 클락공법	정밀진동 제어발파	소규모 진동제어	중규모 진동제어	일반발파	대규모 발파
지발당 허용 장약량(kg/delay)	폭약기준 0.125미만	0.125이상 0.5미만	0.5이상 1.6미만	1.6이상 5.0미만	5.0이상 15.0미만	15.00이상



발파원과 보안물진과의 사거리 기준으로 발파물량을 구하여 공사비 산출

4. 지킴 적용상 문제점

- 제척비용의 설계반영 및 공사시 제척이 도공기준과 상이

기 준	변 경
계척기 3~4대 이상 설치	계척기 5대 이상 설치

사. 시험발파 결과분석

기 준	변 경(항목추가)
(1) 분석방법 (2) 시험발파에 대한 결과 분석내용 (3) 발파진동 추정식의 산출을 위해서는 통계적 의미가 있는 수의 측정 자료가 필요하므로 적어도 30점 이상의 자료를 측정하여 회귀분석의 신뢰도를 높인다.	(1) 분석방법 (2) 시험발파에 대한 결과 분석내용 (3) 발파진동 추정식의 산출을 위해서는 통계적 의미가 있는 수의 측정 자료가 필요하므로 적어도 30점 이상의 자료를 측정하여 회귀분석의 신뢰도를 높인다. (4) 계척결과 추정식의 상관계수가 0.70에 미치지 못하는 경우에는 시험발파를 다시 실시하여야 한다.

아. 발파소음·진동 규제기준 (관련법 개정)

: 「소음진동규제법 시행규칙」 개정에 따라 항목추가

기 준	변 경(항목추가)
-	<p><비 고> 7. 공사장의 규제기준 중 다음 지역은 공휴일에 한하여 -5dB를 규제기준치에 보정한다. 가. 주거지역 나. 「의료법」에 따른 종합병원, 「초·중등교육법」 및 「고등교육법」에 따른 학교 및 「도서관 및 독서진흥법」에 따른 공공도서관의 부지경계로부터 직선거리 50m 이내의 지역</p>

구분	건교부지침(06.12)	도공기준(04. 4)	비 고
시험 발파 제척	실시 설계시 반영 기준	4km마다 1회씩 반영	각 공구당 1회를 기본적으로 반영하며, Type I, II, III, IV이 적용된 경우 보안물건까지의 거리, 지형 및 암반 특성을 고려하여 추가 적용함.
	공사시 시행기준	시험발파후 설계변경 수행	1.설계시 반영한 시험발파수량의 적정성검토 후 조정 2.민원 발생시 추가 시험발파 수행 3.시험발파후 취적의 발파진동 추정식에 따라 제척성을 고려하여 설계변경시행
관리 제척	매 발파시 제척	필요시 제척	

· 시험발파제척 : 발파시 30점 이상의 제척결과를 이용하여 진동속도 측정식을

산출하기 위한 제척

· 관리제척 : 발파시 보안물건의 주요지점에서만 수행하는 제척

5. 검토결론

○ 잠정지침을 보완한 「도로공사 노천발파 설계·시공 지침」(건교부)을 적용하되

- 시험발파 제척에 대하여는 도공기준 적용 : TypeIV 추가반영

· 각 공구당 1회를 기본적으로 반영하며, Type I, II, III, IV이 적용된 경우 보안물건까지의 거리, 지형 및 암반 특성을 고려하여 추가 적용함.

- 관리제척에 대하여는 건교부 지침 적용

· 매 발파시 제척

6. 적용 방안

- 설계중인 노선 : 적용
- 설계완료된 노선 : 보완 및 발주설계시 적용
- 공사중인 노선 : 공사 주관부서 및 시행부서에서 판단하여 적용

붙임 : 1. 계측관리 기준

2. 육상부 암발파 설계 및 계측방안

[붙임 #1]

계측관리 기준

□ 계측 관리

발파시 지반의 진동속도 및 소음도는 발파방법, 기폭방법, 지반의 탄성계수, 발생한 파의 주파수, 지하수위, 각 지층의 감쇠특성 및 지형학적 조건 등에 따라 달리 나타나므로 계측비용의 설계반영 및 공사시 계측은 다음과 같이 수행함.

○ 시험발파 계측

- 실시설계시

암발파가 설계에 반영되는 각 공구마다 1회를 기본적으로 반영하며, 암파쇄확장공법(Type I), 정밀진동제어발파공법(Type II) 및 진동제어 발파(소규모·중규모, Type III·Type IV)가 반영된 지점의 위치, 보안물건과의 거리, 지형 및 암질을 고려하여 추가 필요지점을 선정하여 반영함.

- 공사시

실시설계시 반영된 위치 및 횡수를 검토하여 적정위치에 시험계측을 수행하되 발파타입에 관계없이 민원이 예상되는 구간에 대하여는 추가 수행이 가능하며, 시험발파 결과에 산출된 최대의 진동 추정식에 따라 경제성을 고려하여 발파공법 및 임시방음시설 설계변경 여부를 결정함.

○ 관리 계측

발파시 진동속도 및 소음을 확인하기 위하여 매 발파시 보안물건에 서 계측을 수행함.

육상부 암발파 설계 및 계측방안

목 차

1. 적용범위
2. 암발파 설계방법
3. 시험 발파
4. 발파진동 및 소음 계측관리

2007. 2

한국도로공사

2.1.3 환경부 소음·진동 규제법의 발파소음·진동 규제기준(제29조의 2제3항관련)

(1) 생활소음 규제기준 (2008년 12월 31일까지) [단위:dB(A)]

대상지역	소음원	시간별		낮 (08:00-18:00)	밤 (22:00-05:00)
		아침, 저녁 (05:00-08:00, 18:00-22:00)	시간별		
주거지역, 녹지지역, 관리지역중 취락지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역, 그밖의 지역안에 소재한 학교·병원·공공도서관	확성기	우의설치	우의설치	70 이하	60 이하
			우내에서 육외로 소음이 나오는 경우	50 이하	45 이하
	확성기	공장·사업장	공장·사업장	50 이하	45 이하
			공사장	65 이하	55 이하
그 밖의 지역	확성기	우의설치	우의설치	70 이하	60 이하
			우내에서 육외로 소음이 나오는 경우	60 이하	55 이하
	확성기	공장·사업장	공장·사업장	60 이하	55 이하
			공사장	70 이하	55 이하

비고

1. 소음의 측정방법과 평가단위는 소음·진동공정시험방법에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상지역의 구분은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한다.
3. 규제기준치는 생활소음의 영향이 미치는 대상지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 실외에 설치한 확성기의 사용은 1회 3분 이내로 하여야 하고, 15분 이상의 간격을 두어야 한다.
5. 공사장의 소음규제기준은 주간의 경우 특정공사의 사전신고대상 기계·장비를 사용하는 작업시간이 1일 2시간 이하일 때는 +10dB을, 2시간 초과 4시간 이하일 때는 +5dB을 규제기준치에 보정한다.
6. 발파소음의 경우 주간에 한하여 규제기준치(생산의 경우 사업장 규제기준)에 +10dB을 보정한다.
7. 공사장의 규제기준 중 다음 지역은 공휴일에 한하여 -5dB를 규제기준치에 보정한다.
가. 주거지역
나. 「의료법」에 따른 종합병원, 「초·중등교육법」 및 「고등교육법」에 따른 학교 및 「도서관 및 독서진흥법」에 따른 공공도서관의 부지경계로부터 직선거리 50m 이내의 지역

1. 적용범위

본 기준은 노천에서 시행하는 암발파 설계와 시험발파시 적용하며, 발파영향권내의 학교, 종교시설등 경은시설물과 소음에 민감한 가축등에 대하여는 별도의 기준을 적용할 수 있다.

2. 암발파 설계방법

2.1 현장 조사와 발파진동 및 소음 허용기준

2.1.1 현장 조사

암발파 영향이 미칠 것으로 예상되는 보안물건에 대하여 다음과 같은 사항을 조사하여야 한다.

- (1) 건물과 구조물의 용도와 주거 및 문화재 지정 여부
- (2) 건물과 구조물의 구조형태, 노후정도, 균열발생 상태 등
- (3) 건물과 구조물의 기초 및 지반 상태
- (4) 건물내의 특수 시설물에 대한 용도 및 기종
- (5) 가축의 종류 및 사육 두수 등
- (6) 기타 발파작업으로 인한 피해 영향이 예상되는 시설물

2.1.2 보안물건별 발파진동속도 설계 적용기준

구분	건축류등	유적, 문화재, 컴퓨터시설물	재래 주택 (조적식,목재)	주택, 아파트 (R,C조)	상업용 건축물	콘크리트 건물 및 공장
진동기준치 (cm/sec)	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	1.0~4.0

단, 발파 소음에 민감한 가축사육시설, 요양원 또는 종교시설 등 현장조사결과 상기의 기준을 적용하는 것이 곤란한 경우 별도의 설계기준을 적용한다.

(2) 생활진동 규제기준

[단위 : dB(V)]

대상지역	시간별	주간 (06:00-22:00)	심야 (22:00-06:00)
주거지역, 녹지지역, 관리지역중 취락지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역, 그 밖의 지역안에 소재한 학교·병원·공공도서관		65 이하	60 이하
그 밖의 지역		70 이하	65 이하

비고

1. 진동의 측정방법과 평가단위는 소음·진동공정시험방법에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상지역의 구분은 국토의계획및이용에관한법률에 의한다.
3. 규제기준치는 생활진동의 영향이 미치는 대상지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 공사장의 진동규제기준은 주간의 경우 특정공사의 사전신고대상 기계·장비를 사용하는 작업시간이 1일 2시간이하일 때는 +10dB을, 2시간 초과 4시간 이하일 때는 +5dB을 규제기준치에 보정한다.
5. 발파진동의 경우 주간에 한하여 규제기준치에 +10dB을 보정한다.

2.1.4 발파원과 보안물건의 이격거리 조사

공사의 효율성과 민원발생 방지를 위하여 발파원에서부터 보안물건까지의 사거리를 기준으로 산출한다.

2.2 발파진동 추정식 및 거리~지발당장약량 조건표

2.2.1 설계 발파진동 추정식

(1) 설계단계에서 적용하는 진동 추정식은 아래와 같다.

$$V = 200 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.6} \dots\dots\dots \text{발파진동추정식}$$

여기서, V : 진동속도 (cm/sec), D : 폭원으로부터 보안물건까지 이격거리(m)

W : 지발당 장약량 (kg)

2.2.2 표준 발파공법별 분류 기준

구분	TYPE I 미진동 굴착공법	TYPE II 정밀진동 제어발파	TYPE III·IV 진동제어발파		TYPE V 일반발파	TYPE VI 대규모 발파
			소규모	중규모		
공법개요	보안물진 주범에서 TYPE II 공법 이내 수공으로 진동을 저감시킬 수 있는 공법으로서 대형 브레이크로 2차 파쇄를 실시하는 공법	소량의 폭약이내 앞면에 균열을 발생시킨 후, 대형 브레이크에 의한 2차 파쇄를 하는 공법	발파영향권 내에 이 존재하는 경우 “시험발파” 결과에 의해 파쇄를 실시하여 규제기준을 준수할 수 있는 공법	1종단 최대 장약량이 발파규제기준을 충족시킬 수 있을 만큼 보안물진과 이격된 영역에 대해 적용하는 공법	발파영향권 내이 보안물진이 존재하지 않는 산간 오지 등에서 발파조출을 하는 공법	
주 사용폭약 또는 화공품	최소단위만폭약 미진동파쇄기 미진동파쇄약 등	에멀전 계열 폭약	에멀전 계열 폭약	에멀전 계열 폭약	주폭약:조유폭약 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
최공직경	φ51mm 이내	φ51mm 이내	φ51mm 이내	φ76mm	φ76mm	φ76mm 이상
최공장비	공기압축기식 크롤러 드릴 또는 유압식 크롤러 드릴 선택 사용					
표준패턴	미진동 굴착공법	정밀진동 제어발파	진동제어발파		일반발파	대규모 발파
최공깊이 (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
최공간격 (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
제측관리	필수	필수	필수		선택	선택
발파보호공	필수	필수	필수		불필요	불필요
2차 파쇄	대형브레이크 적용	대형브레이크 적용	-		-	-

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

2.2.3 거리~지발당 장약량 조건표

단 위 : kg

적용공법	진동속도 이격거리(m)	진동속도										적용공법
		0.1 cm/s	0.2 cm/s	0.3 cm/s	0.5 cm/s	1.0 cm/s	5.0 cm/s					
TYPE I 미진동 클럭공법	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					
TYPE II 정밀진동 제어발파	40	0.12	0.28	0.47	0.89	2.13	15.9	TYPE VI 대규모발파				
	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					
	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					
TYPE III 소규모 진동제어	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					
TYPE V 일반발파	240	4.31	10.2	17.0	32.2	76.6	573	TYPE VI 대규모발파				
	250	4.67	11.1	18.4	34.9	83.1	621					
	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					
	450	15.1	36.0	59.8	113	269	2013					

정밀진동제어발파 1.00 소규모 진동제어발파

0.25 일반발파

0.06 미진동 클럭공법

3.00 중규모진동제어발파

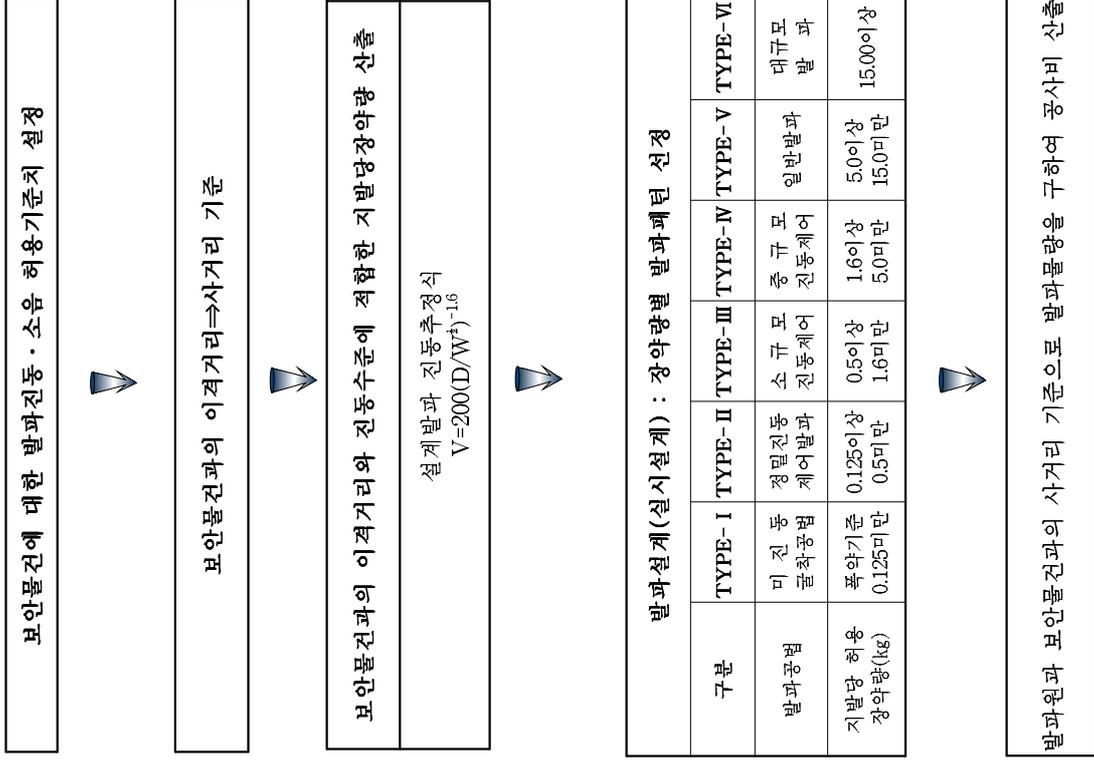
7.50 일반발파

20.0 대규모발파

1. 위 발파공법별 적용거리 기준 및 지발당 장약량은 실제 발파진동 측정식 $v = 200(D/\sqrt{W})^{-1.6}$ 에 의하여 설정한 것으로, 발파 대상 현장의 암반특성 및 관리 대상 보안물건의 특성에 따라 증감될 수 있다.
2. 발파소음의 제어는 지반진동보다 훨씬 어려우므로 만약, 발파소음이 민감한 가족 사육시설 또는 요양원, 종교시설 등이 근접한 경우에는 별도 공법을 적용할 수 있다.
3. TYPE별 공법별 설계는 장거리에 맞게 현장여건에 따라 조정할 수 있다.
4. 발파진동은 보안물건의 노후도나 상태, 암반상태, 진동주파수 등에 따라 달라지므로, 설계자 및 발파자는 보안물건상태, 현장 조건과 관련법규 등을 검토하여 발파진동 허용기준치를 설정하고 이에 대한 이격거리별 지발당장약량을 산정하여야 한다.

2.4 발파 설계절차

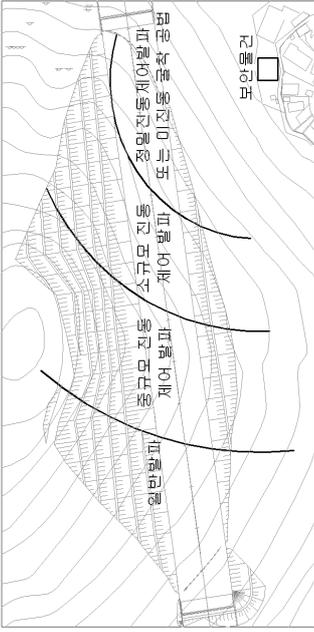
2.4.1 발파 실시설계 흐름도



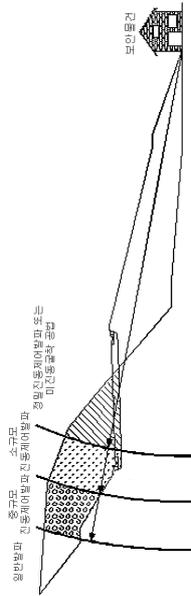
2.4.2 발파물량 산출기준

발파원파 보안물건의 이격거리는 사거리를 기준으로 산출한다.

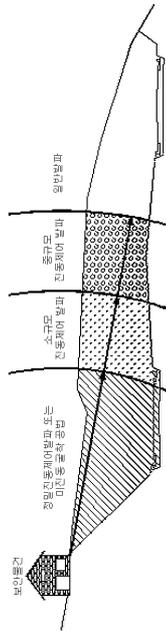
- (1) 평면도상(○○~○○○간 고속도로건설공사 STA.6+700지점 우측)



(2) 횡단면도상



[보안물건이 발파지역보다 낮은 경우]



[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. 시험 발파

3.1 시공전 사전조사

일반적으로 건축물이나 기타 시설물에 발생되는 균열은 지반침하 및 온도변화 등 여러가지 요인에 의해 자연적으로 발생되고 있다. 그러나 발파작업이 인근에서 진행될 때 추가로 발생되는 균열이 진동으로 인한 피해인지의 여부를 판정하기에는 어려움이 있고, 많은 시간이 소요되며 민원 발생시 공사지연등 막대한 피해가 예상된다. 따라서 설명회 개최 등 주민들에 대한 홍보를 실시하고, 발파진동에 따른 피해여부를 파악하기 위해 주민들과 충분한 대화를 바탕으로 주민대표, 건물주 임회하에 사전조사를 실시하는 것이 바람직하다.

발파 착수전 주변 보안물건에 대해 건물현황과 균열상황을 파악하여 발파진동이 미칠 수 있는 현황을 조사하고, 발파영향권 내에 있는 모든 시설물에 발생된 균열을 사진과 비디오로 촬영하여 추후 민원 발생시 피해여부를 판단할 수 있는 근거자료로 확보해야 할 필요성이 있다.

3.1.1 조사 내용

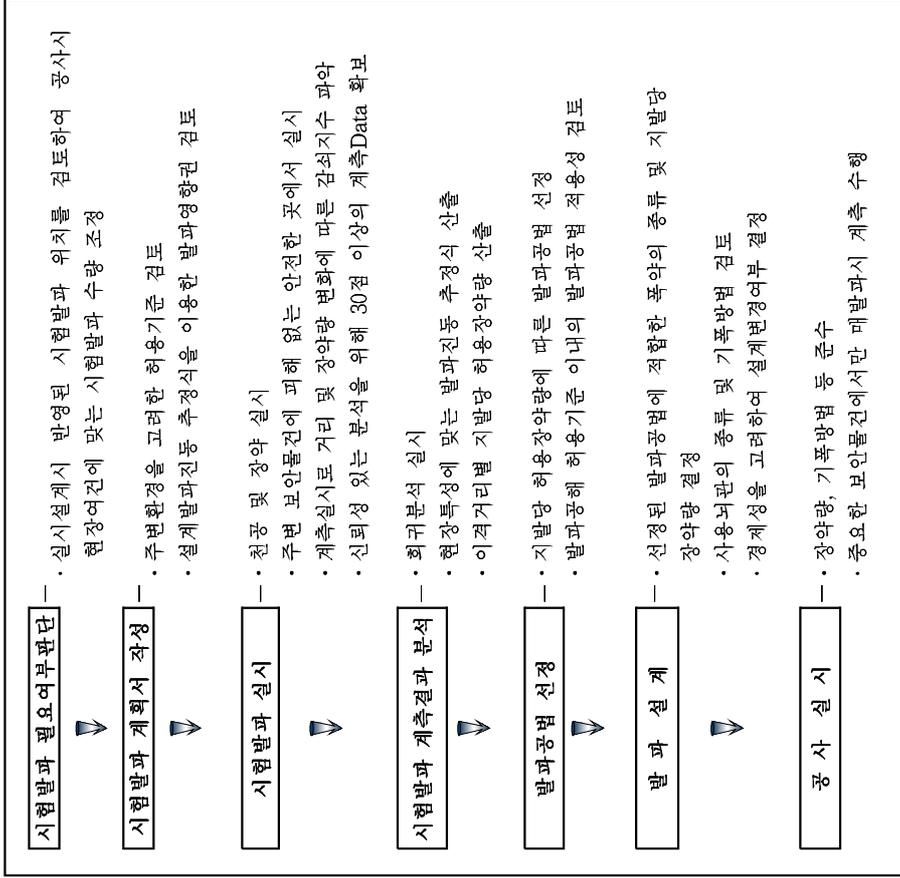
- (1) 건물의 구조형태, 노후정도, 균열발달 상태
- (2) 대표적 균열상태의 정량적 측정
- (3) 건물의 지반상태
- (4) 건물의 시설물 현황 등
- (5) 가축의 현황 및 추종 파악

3.1.2 조사 방법

- (1) 발파영향권 내에 있는 주변 보안물건에 대해 건물현황과 균열 발달 상태 및 측정결과치를 비디오와 카메라로 촬영하여 추후 민원 발생시 피해여부를 판단할 수 있는 증거자료로 활용하는 것이 바람직하다.
- (2) 조사시 날짜 등을 명시하기 위해 날짜가 기록된 간행물과 조사지역 현장에 시계와 달력 및 T.V, 라디오를 켜서 비디오에 삽입시키는 것이 좋다.

3.2 시험 발파

3.2.1 시험발파 수행시 암발파 설계 흐름도



3.2.2 시험발파 방법

시험발파는 발파공사에 대한 중요도 및 위험요인을 감안하여 발파전문기관에 의뢰하여 실시하고, 발파진동과 소음에 대한 계측결과를 전문기술자에 의해 검토와 검증절차를 거쳐 객관적인 자료를 유지한다. 시험발파 위치선정은 각종 시설물에 피해가 미치지 않는 원거리에서 실시한다. 또한, 시험발파시 신뢰성을 확보하기 위해 공사관계자, 관할 경찰관과

발파영향권내 시설물 소유자 또는 주민이 입회하여 합동으로 실시하는 것이 바람직하다. 발파진동의 크기는 공극적으로 발파조건에 좌우되며, 발파조건외의 주요 요소로는 다음과 같다.

- (1) 사용 화약류의 종류 및 특성
- (2) 지발당 장약량
- (3) 기폭방법 및 너판의 종류
- (4) 폭원과 보안물건(측점)과의 거리
- (5) 전색상태와 장전밀도
- (6) 자유면의 수
- (7) 전파경로와 지반 상태(지형, 암질, 압질, 지하수 상태)

발파진동을 예측할 수 있는 일반적인 발파진동식은 다음의 관계식을 사용한다.

$$V = K \left(\frac{D}{W^b} \right)^n \quad \text{--- (식 1)}$$

여기서, V : 진동 속도(cm/sec)

D : 폭원에서 보안물건까지 거리 (m)

W : 지발당 장약량 (kg)

K : 발파진동 상수

b : 장약 지수

n : 감쇠 지수

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. 따라서 계측기 5대 이상을 일정한 건축물이나 시설물에 대해 일직선상으로 거리를 달리하여 설치하고, 발파횟수등을 조정하여 30측점 이상의 계측 결과치를 얻어 분석을 실시하며, 거리를 고정시키고 지발당 장약량을 달리하여 측정함으로써 장약량 변화에 따른 발파상수와 장약지수 등을 파악하도록 한다. 암발파의 경우는 발파진동 지속시간과 발파 소음의 전파성향을 파악하기 위하여, 동시발파 공수 (보통 5~20공정도)를 달리하고 너판의 기폭단차도 달리하여 실시한다. 이것은 지속시간에

다른 인체의 반응이 현저히 다르게 나타나다므로, 이에 따른 분석으로 각종 민원을 예방하기 위함이다.

3.2.3 시험발파 결과분석

(1) 분석 방법

측정된 결과치를 거리별, 장약량별로 정리한 후 식(1)에서 변수 b를 1/2과 1/3로 취하고, $\frac{D}{W^{1/3}}$ 를 SD(Scaled Distance)라 놓으면 식(2)와 같이 표현된다.

$$V = K(SD)^n \quad \text{---- 식(2)}$$

측정된 진동값에 대한 회귀분석(Regression analysis)을 실시하기 위해 대수눈금 그래프에 나타내면, 직선관계가 성립되어 K값과 n값이 최종적으로 결정되며, 각 현장에 적합한 진동 추정식을 얻게 된다. 이에 대한 회귀분석시 신뢰구간 약 95%범위에서 분석한다.

(2) 시험발파에 대한 결과 분석내용

- 발파진동에 대한 회귀분석
 - 발파진동 진파추정식 산출
 - 발파진동 허용기준치 적합성 여부
 - 거리별 지발당 장약량 제시
 - 공명장약량 및 시험발파 패턴의 적합성 여부
 - 발파공해(진동, 비석, 소음등)에 대한 저감대책
- (3) 발파진동 추정식의 산출을 위해서는 통계적 의미가 있는 수의 측정자료가 필요하므로 적어도 30점 이상의 자료를 측정하여 회귀분석의 신뢰도를 높인다.
- (4) 계측결과 추정식의 상관계수가 0.70에 미치지 못하는 경우에는 시험발파를 다시 실시하여야 한다.

3.2.4 분석결과 검토 및 적용

- (1) 시험발파 결과분석에 의해 가장 적합도가 높은 발파진동 추정식을 구하여, 주변 건축물이나 시설물에 미치는 파해 영향등을 검토하여 현장에 맞는 지발당 장약량을 구한다.

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

3.2.5 시험발파 보고서 주요 수록 내용

시험발파 보고서의 주요내용은 다음과 같은 사항을 예로 들 수 있다.

- (1) 시험발파의 목적
- (2) 시험발파 위치도 및 주변 현황
- (3) 발파원 지역의 지질 현황
- (4) 발파진동 허용기준치 검토
- (5) 시험발파 조건 및 방법
- (6) 발파진동 측정방법 및 결과
- (7) 발파진동 추정식 도출
- (8) 지발당 허용장약량 결정
- (9) 발파공해 저감 대책등

4. 발파진동 및 소음 계측관리

4.1 시험발파 진동계측

4.1.1 계측 항목

진동속도의 계측에는 직교하는 세 방향의 진동을 감지할 수 있고 문체가 되는 주요 진동수 대역의 진동에 대해 선행적으로 계측할 수 있는 진동센서와 진동 주파수를 측정하고 분석할 수 있는 적절한 장치가 필요하다. 지반의 운동은 진동속도, 가속도 또는 변위 중 어떠한 것으로도 측정할 수 있다. 그러나 진동으로 인하여 발생하는 구조물의 손상은 진동속도와 관련지어 평가하는 것이 합리적인 것으로 알려져 있으므로 진동 속도로 계측하는 것이 바람직하다. 가속도 정보가 필요한 경우 가능하면 진동속도 파형의 미분보다는 직접 가속도로 계측하는 것이 좋다. 진동의 주파수 특성은 구조물 영향에 대해 중요한 척도이므로 진동의 세 방향 성분에 대한 시간적 변화가 계측되어야 한다. 단순한 진동수준의 최대값을 기록하는 것은 타월 주파수에 대한 정보를 알 수 없으며, 구조물의 반응이나 일반의 변형에 영향을 주는 상세한 정보를 주지 못한다. 일반적인 경우 적어도 진동의 최대값과 타월주파수의 동시 기록은 반드시 필요하다. 측정위치에서 진동은 직교하는 세 성분인 진행방향의 성분, 진행방향과 수직 성분 및 진행방향과 점선성분으로 측정할 수 있다.

4.1.2 계측위치 선정

진동 측정기의 위치선정은 계측 목적에 따라 좌우된다. 특정 구조물의 반응에 대한 평가를 위해 구조물을 중심으로 배치하며, 진동전파 추정식의 도출을 위해서는 전체적인 간섭 경향을 알 수 있는 지점의 선정이 필요하다. 방향에 대한 영향 및 지질조건 변화에 대한 영향을 결정할 수 있도록 측정하되, 단층과 같이 특수한 지질구조 변화가 있을 경우 그 영향을 별도로 파악할 수 있도록 측정한다.

시험 발파시 진동계측 위치는 현장의 암반 특성에 맞는 진동 추정식을 설정하기 위해 가능한 보안물건을 대상으로 거리에 따른 감쇠지수를 파악하기 위해 여러대(5대 이상)의 계측기를 이용하여 일직선상으로 20~50m정도(이격 거리는 현장 상황 및 발파 규모에 따라 설정) 이격하여 배치한다. 또 다른 방법으로는 주변 보안물건에 계측기를 설치하여 각 보안물건에 미치는 발파진동의 영향을 파악하기 위해 계측위치를 선정하기도 한다.

4.1.3 계측기 설치 및 계측 방법

(1) 계측기 설치 방법

계측기 설치하는 보안 물건을 대상으로 진동 계측에 방해되지 않는 위치를 선정하여 설치한다. 진동계측에 있어서 매우 중요한 사항은 센서의 설치방법이다. 센서설치의 기본은 센서가 진동하는 지반 또는 구조 부재의 운동을 대표할 수 있도록 설치하여야 한다. 센서 설치하는 각 센서의 특성에 적합하게 하되 일반적인 사항은 다음과 같다.

- ① 수직 최대입자속도가 0.2g이하일 때 센서는 특별히 고정시키는 장치없이 편평한 면에 놓고 계측하여도 좋다.
- ② 수직 최대 입자 가속도가 0.2g~0.1g일 때 센서는 토질속에 완전히 묻거나 모래주머니를 올려놓아야 한다.
- ③ 계측지점이 암반이나 콘크리트, 아스팔트와 같은 경우 센서는 양면 테이프, 에폭시 또는 글쎈 접착제 등을 이용하여 단단히 고정될 수 있도록 한다.
- ④ 토사에 설치하는 경우 충분히 다져져 단단히 굳은 장소에 설치한다. 특이한 지형이거나 또는 센서와 인접하여 복잡한 반사 회절현상 등의 영향을 받을 수 있는 지점은 피한다.
- ⑤ 센서는 수평을 유지할 수 있도록 설치하고 진동원의 방향 및 진동원과의 점선방향의 위치를 정확히 잡아 설치한다.
- ⑥ 센서의 설치 방향은 센서에 표시된 방향표시와 발파원의 방향이 일치하도록 설치하고, 발파원의 장소가 다른 여러 발파의 경우는 센서의 방향과 일치하지 않을 때 문에 그 상황을 기록해둔다.
- ⑦ 센서는 온도, 자기, 전기 등의 영향을 받을 수 있으므로 고압선과 같은 외부 영향을 받지 않는 장소를 선정하거나 불가피한 경우 영향을 차단할 수 있는 사전조치를 취한다.
- ⑧ 특별한 설치방법을 요하는 센서는 제작회사의 장비사양에 기술되어 있으므로 그 지침에 따르면 한다.

(2) 센서의 설치 지점

진동원 특성을 고찰하기 위한 목적이라면 구조물 자체보다는 구조물이 위치해 있는 지반에 설치하는 것이 바람직하고, 구조물이 어떻게 반응하는가를 고찰하기 위한 목적이라면 구조물을 이루고 있는 부재에 설치하여 반응을 계측하는 것이 필요하다. 이 경우 기초나 기초 벽은 지반에 의해 구속받으므로 구조적으로 가장 민감하게 반응하는 곳에 설치하는 것이 바람직하다. 허용기준과 관련된 계측지점은 진동원의 부지 경계선 중 피해가 가장 우려되는 지점을 택한다. 시설물에 대한 영향평가의 경우 일반적으로 시설물이 위치한 바닥(base)에서 진동수준을 기준으로 하고 있으므로 센서는 시설물 기초 바닥면에 설치하여야 한다.

(3) 발파진동 계측 방법

발파에 의한 지반진동의 평가에 있어서 감쇠특성은 지질조건 뿐만 아니라 발파패턴, 기폭 등 발파 방법에 따라 영향을 받으므로 새로운 기폭 시스템이 도입되었을 때에는 이에 대한 영향을 추가로 검토하여야 할 필요가 있다.

4.2 시공시 계측관리

본 발파작업시 발파진동 계측은 모든 보안물건에 대해 계측을 실시하면 좋으나, 현장 여건상 어려우므로 폭원으로부터 가장 근접하며 중요한 보안물건에서만 매 발파시 계측을 실시한다.

4.3 발파소음 계측

발파소음의 측정은 보안물건의 특성상 소음이 중요한 영향을 미치는 경우에 수행한다.

4.3.1 계측 항목

발파진동 측정기를 이용하여 계측할 경우 진동에 대해 미치는 영향을 검토하기 위해 음압 단위인 dB(L)로 설정하여 측정하는 방법과, 인체에 미치는 영향을 검토하기 위해 소음단위인 dB(A)로 기능을 설정하여 측정하는 방법이 있으며, 현장조건을 고려하여 기설정후 계측을 실시한다.

4.3.2 계측위치 선정

일반적으로 발파진동 계측위치와 동일하게 실시하며, 진동보다 소음에 의한 피해가 예상되거나 소음에 따른 민원 발생시 소음만을 별도로 계측할 수 있다.