

시험발파 및 암발파 설계 잠정지침의 개선방향

안 명 석¹⁾

1. 서 론

건설공사에 있어 불가피하게 수행되어지는 발파작업은 발파의 영향으로 폭음, 진동, 비석 등 환경피해가 발생함에 따라 각종 민원이 발생하고 있는 점을 감안하여, 환경피해를 저감시킬 수 있는 적정 발파공법의 적용기준을 설정하고 효율적인 설계 및 공사추진을 도모하여 민원발생을 사전에 예방하고, 적정 발파공법을 적용함으로써 예산을 절감하기 위하여 03년부터는 발파설계시 발파원과 보안물건간의 이격거리로만 구분하여 적용하던 암발파공법을 지발당장약량 등을 기준으로 하여 6가지 Type으로 표준화하고, 보안물건의 허용진동규제기준과 이격거리에 따라 적용되도록 『거리~지발당장약량 조건표』에 의거 설계자가 쉽게 현지에 맞는 적정 발파공법을 선정할 수 있도록 하고 있다. 그러나 시험발파 및 암발파 설계지침(안)의 현장적용 결과 개선방안을 재검토하여 좀더 효율적인 설계를 위하여 몇 가지 논의 사항을 살펴보고자 한다.

2. 현행 발파공법의 설계기준

2.1 설계 발파진동 추정식

발파진동식은 시험발파 등을 통하여 결정되는 것이나 설계단계에서 이러한 절차수행에는 현실적으로 적용하기에 무리가 있으므로, 효율적인 설계추진을 위하여 진동예측을 위한 설계단계에서의 진동추정식 결정이 필요하다. 설계단계에서 예비검토를 위한 추정식은 아래와 같으며, 이 식에 의한 거리~지발당장약량 조건표는 표 1과 같다.

$$V = 160 \left(\frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.6} \dots\dots\dots \text{설계 발파진동추정식(설계단계)}$$

여기서, V : 진동속도 (cm/sec)
 D : 폭원으로부터 이격거리 (m)
 W : 지발당 장약량 (kg/delay)

1) 동서대학교 응용생명공학부 겸임교수

안면석

표 1. 거리~지발당 장약량 조건표

단 위 : kg/delay

적용공법	진동속도	0.1cm/sec	0.2cm/sec	0.3cm/sec	0.5cm/sec	1.0cm/sec	5.0cm/sec	적용공법
	이격거리(m)							
TYPE I 암파쇄굴착공법	10	0.01	0.02	0.04	0.07	0.18	1.31	TYPE VI 대규모발파
	20	0.04	0.09	0.16	0.30	0.70	5.26	
	30	0.09	0.21	0.35	0.66	1.58	11.83	
	40	0.16	0.38	0.62	1.18	2.81	21.02	
TYPE II 정밀진동제어발파	50	0.25	0.59	0.98	1.85	4.39	32.85	
	60	0.36	0.85	1.40	2.66	6.33	47.30	
	70	0.48	1.15	1.91	3.62	8.61	64.38	
TYPE III 진동제어(소규모)	80	0.63	1.50	2.50	4.73	11.25	84.09	
	90	0.80	1.90	3.16	5.98	14.23	106.43	
	100	0.99	2.35	3.90	7.39	17.57	131.39	
	110	1.20	2.84	4.72	8.94	21.26	158.98	
	120	1.42	3.38	5.62	10.64	25.31	189.20	
TYPE IV 진동제어(중규모)	130	1.67	3.97	6.59	12.49	29.70	222.05	
	140	1.94	4.61	7.65	14.48	34.44	257.52	
	150	2.22	5.29	8.78	16.62	39.54	295.63	
	160	2.53	6.02	9.99	18.91	44.99	336.36	
	170	2.86	6.79	11.28	21.35	50.79	379.72	
	180	3.20	7.62	12.64	23.94	56.94	425.70	
	190	3.57	8.48	14.09	26.67	63.44	474.32	
	200	3.95	9.40	15.61	29.55	70.29	525.56	
	210	4.36	10.37	17.21	32.58	77.50	579.43	
	220	4.78	11.35	18.88	35.76	85.05	635.93	
TYPE V 일반발파	230	5.23	12.43	20.64	39.09	92.96	695.05	
	240	5.69	13.54	22.47	42.56	101.22	756.81	
	250	6.18	14.69	24.39	46.18	109.83	821.19	
	260	6.68	15.89	26.38	49.95	118.79	888.20	
	270	7.20	17.13	28.44	53.86	128.11	957.83	
	280	7.75	18.43	30.59	57.93	137.77	1,030.10	
	290	8.31	19.77	32.81	62.14	147.79	1,104.99	
	300	8.89	21.15	35.12	66.50	158.16	1,182.51	

: 암파쇄굴착공법
 : 정밀진동 제어발파
 : 진동제어발파 (소규모)
 : 진동제어발파(중규모)
 : 일반발파
 : 대규모발파

【주】

1. 위 발파공법별 적용거리 기준 및 지발당 장약량은 설계발파 진동추정식(설계단계) $V=160(D/W^4)^{-1.6}$ 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 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.

발파진동식에서 K, n은 정량적으로 평가할 수 없는 인자에 의한 영향을 대표하는 값으로서 지질조건, 발파방법, 화약류의 종류에 따라 변화되므로, 시험발파에 의한 계측결과를 분석하여 그 현장에 적합한 발파진동 추정식을 구하여야 한다.

2.2 발파공법 분류기준

시험발파 및 암발파 설계 지침상의 6가지 발파공법을 표 2에 분류하였다.

표 2. 표준발파공법별 분류기준

구분	특수발파	제한발파			무제한발파	
	TYPE I 암파쇄굴착공법	TYPE II 정밀진동제어발파	TYPE III-IV 진동제어발파		TYPE V 일반발파	TYPE VI 대규모 발파
공법개요	특수 화공품인 "미진동파쇄기" 등을 사용하는 공법으로 대형 브레이커에 의한 2차파쇄를 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 산간오지 등에서 발파효율만을 고려하는 공법
주 사용폭약 또는 화공품	미진동파쇄기	에멀전 폭약	에멀전 폭약		에멀전 폭약	주폭약 : 초유폭약 기폭약 : 에멀전
천공직경	φ 51mm 이내	φ 51mm 이내	소규모 φ 51mm 이내	중규모 φ 76mm	φ 76mm	φ 76mm 이상
천공장비	공기압축기식 크로울러 드릴 또는 유압식 크로울러 드릴 선택 사용					
◆발파패턴◆	암파쇄굴착공법	정밀진동제어발파	진동제어발파		일반발파	대규모 발파
			소규모	중규모		
천공깊이(m)	1.5	2.0	2.7	3.2	5.7	11.5
최소저항선(m)	0.7	0.8	1.0	1.4	1.7	2.2
천공간격(m)	0.7	0.8	1.20	1.6	1.9	2.5

3. 발파진동, 소음, 폭음 허용기준 재검토

3.1 진동기준

1) 가축에 대한 기준

소리의 충격은 그 높이나 크기, 소리의 진동 종류, 자극부위 등이 청각신경의 반응빈도와 작용시간에 따라 차이가 있다. 소음에 대한 가축의 반응은 행동상의 변화를 수반하는 경우가 많고 중추신경계의 변화도 일어난다. 돼지, 노루 등 쌍재(우재, 발톱 두 개)동물은 진동에 매우 민감하고 미진에도 놀라 도망치는 반응을 보인다. 특히 돼지는 섬세한 신경을 가지고 있으며 후각과 청각이 발달되어 사람보다는 훨씬 예민하다고 알려져 있다. 또한 가축은 의사표시가 불가능할 뿐더러 소음·진동에 대해 그 반응과 피해가 다양하게 나타나고 있으며 그 결과 또한 일률적 또는 일시적 현상을 보고 규정할 수 없는 것이 특징이다. 따라서 가축에 대해서는 생명체라는 특수성을 감안하여 진동보다는 소음단위에 의한 규제기준이 필요하나 건설사업자와 피해자 쌍방이 서로 만족할 수 있는 결과를 도출하기란 쉬운 일이 아니다.

사육되는 가축은 종류별로 주변환경(상시 폭음, 진동), 축사환경, 서식밀도 및 공급되는 물의 오염정도 등에 따라 자연 폐사율이 상이하 며, 각 가축종별 자연폐사율에 해당되는 진동 및 폭음 수준을 허용기준으로 설정하여 실시설계 단계에서 **0.1cm/sec**를 허용기준으로 적용하고 있다. 그러나 가축 종류별 기준을 세분화하고, 가축임신, 유아기 성장기, 장성기, 노화기로 가축을 구분하여 기준을 검토해야 하며, 수중 어류에 대한 피해 연구 및 기준도 설정할 필요가 있다.

2) 문화재 및 정밀장비에 대한 기준

문화재(국보, 보물, 사적, 명승, 천연기념물 등)는 국가에서 지정한 역사적으로 보호할 가치가 있는 것들을 말하며, 독일공업규격(DIN-4105)에서는 **0.2cm/sec**를 허용기준으로 설정하고 있으며, 국내에서도 이 기준을 적용하고 있다. 그러나, 문화재의 종류별 세분화와 정밀장비 종류에 따른 기준 마련이 추가로 요구되고 있는 실정이다.

3) 주거용 건물에 대한 기준

외국의 발파진동 허용기준과 국내의 발파진동 허용기준을 비교해 볼 때 국내 기준치 0.3~0.5cm/sec로 필요 이상으로 엄격하게 설정되어 있음을 알 수 있다. 이같은 배경은 우리나라의 경우 사람이 정신적으로 또는 육체적으로 겪는 불편이나, 피해에 대한 보상에 대해서는 비교적 인색하였던 것이 지금까지의 정서였기 때문에, 민원인들이 발파진동으로 인해 발생하는 사소한 현상에 대해서도 이를 물적인 피해로 연관시켜 보상을 요구하려는데서 비롯된 결과로 추정된다.

그러므로, 노후 주택에 대한 기준, 신축 완료된 주택에 대한 기준, 건축중인 주택에 대한 기준, 다세대 주택에 대한 기준, 대형아파트에 대한 기준을 세분화하여 허용기준을 다변화 할 필요가 있다.

4) 구조물에 대한 기준

발파진동에 의한 구조물의 피해는 대상 구조물에 따라 다양하게 나타나며 국내의 통상적인 발파진동 허용기준치와 구조물 손상기준 발파진동 허용치는 표3 및 표4와 같다.

표 3. 구조물에 대한 발파진동 기준

구 분	유적, 문화재, 컴퓨터시설물	주택, 아파트	상 가	철근콘크리트 건물 및 공장
진동치 (cm/sec)	0.2	0.3~0.5	1.0	1.0~5.0

표 4. 구조물 손상기준 발파진동 허용치(대한터널협회, 1999)

구 분	진동에민 구조물	조적식(벽돌, 석재 등) 벽체와 목재로 된 천장을 가진 구조물	지 하 기 초 와 콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 조적식 건물	철근 콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 조적식 건축물	철근 콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 대형 건축물
	문화재 등	재래가옥, 저층 일반가옥	저층 양옥, 연립주택 등	중, 저층 아파트, 중소상가 및 공장	내진구조물, 고층구조물, 대형건물 등
허용입자속도 (cm/sec)	0.3	1.0	2.0	3.0	5.0

일반적인 구조물에 대한 발파진동 허용치는 어느 정도 마련되었지만 해상구조물(교각 건설용 우물통, 방파제)과 노후 교각에 대한 기준, 건물기초공사시 기둥에 대한 기준, 저층 및 고층건물, 공장건물, 조적조와 철골조 등 건축물의 구조별 안전기준 등을 검토해보아야 하겠다.

3.2 소음 및 음압기준

1) 발파소음의 특성

대기중으로 전파되는 발파폭음은 0.1Hz에서 200Hz 범위의 저주파 특성으로 20Hz이상의 주파수는 가청소음으로 인체에 전달되며 20Hz이하의 초저주파는 귀로 들을수는 없으나, 비교적 먼곳까지 에너지의 손실 없이 전파되는 특성이 있으며, 건물과 구조물을 진동시켜서 2차 소음을 발생시킨다. 여기에서, 발파음으로 인한 인체 감응은 아직도 정량적으로 계산되지 못하고 있다. 인체에 대한 발파음의 영향 중에서 건물안에 있을때가 건물밖에 있는 것보다 영향이 증가된다. 그 이유로는 건물에 초저주파로 전달되는 발파음이 건물자체를 진동시켜서 인체를 자극하기 때문이다.

▷ dB(L) : 음압의 크기 LEVEL을 표시한 것으로 폭발로 인하여 공기압으로 표출되는 폭풍압으로 인한 공기의 압력으로 그 크기가 결정된다.

(2) dB(A) : 음압의 크기도 주파수 크기가 달라지면 인체에 느끼는 감각적 크기가 달라지기 때문에 중심 주파수를 1,000Hz 기준으로 하여 등 청감도 곡선에 의거 보정된 소음치를 의미하며, 환경의 소음기준도 dB(A)를 의미한다.

2) 소음의 규제기준

환경보전법 제 157조가 규정한 일반적인 건설현장 생활소음 규제기준은 표 5와 같다.

각종 공사현장에서 발생하는 건설소음에 따른 환경오염 및 분쟁을 방지하기 위해 환경보전법 제157조에 규정한 소음규제기준을 적용하고 있으며, 발파작업에 따른 소음기준도 이를 기준으로 하고 있어 다음과 같은 문제점이 제기되고 있다. 또한 발파소음은 지속시간이 매우 짧은 일시적인 충격음으로 곧바로 소멸되고 일반적인 교통 및 공장등에서 지속적으로 발생하는 생활소음과는 다르다. 따라서 발파소음의 지속시간과 발파횟수등을 고려하고 일시적인 충격과동임을 고려한 허용기준이 조정보완 되어야 한다.

3) 발파풍압의 규제기준

현행 발파소음 규제기준은 인체감응적 기준으로 dB(A)로 제정되어 있으나, 건물 피해 기준을 고려한 dB(L)의 규제기준을 제정하여 발파폭음에 따른 관리기준을 적용할 수 있도록 해야 한다. 발파폭음은 1일에 수회에 걸쳐 극히 짧은 시간동안에 발생하는 충격음에 해당되므로 소음으로 기준하는 것보다는 구조물의 피해기준으로 Peak음압 Level로 하여 규제기준을 설정함이 타당하다고 보여진다. 그러나 인체기준으로 설정할 경우에는 현행방식인 dB(A)로 기준하여 설정함이 타당하다고 보여진다.

표 5. 생활소음 규제기준(환경법 제29조의 2 제3항)

단위 : dB (A)

대상 지역	시간별 대상소음	조 석 (5-8,18-22)	주 간 (8-18)	심 야 (22-5)	
주거지역, 녹지지역, 준도시지역중 취락지구 및 운동, 휴양지구, 자연 환경, 보전지역, 기타 지역안에 소재한 학교, 병원, 공공도서관	확성기	옥외설치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	50 이하	55 이하	45 이하
	공장·사업장		50 이하	55 이하	45 이하
	공사장		65 이하	70 이하	55 이하
기타지역	확성기	옥외설치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	60 이하	65 이하	55 이하
	공장·사업장		60 이하	65 이하	55 이하
	공사장		70 이하	75 이하	55 이하

- ※ 1. 대상 지역의 구분은 국토 이용관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다.
- 2. 공사장 소음의 규제 기준은 주간의 경우 소음 발생일이 1일 2시간미만일때는 +10dB, 2시간 이상 4시간 이하일때는 +5dB를 보정한 값으로 한다.
- 3. 규제 기준치는 생활소음의 영향이 미치는 대상지역을 기준으로 하여 적용한다.
- 4. 옥외에 설치한 확성기의 사용은 1회 2분 이내, 15분 이상의 간격을 두어야 한다.

4. 표준발파공법 분류 및 적용 재검토

1) 암파쇄 굴착공법 및 진동제어 발파공법의 명칭 재검토

정밀진동제어발파공법, 진동제어(소규모, 중규모) 발파공법 등을 더욱 간결하고 합리적인 공법 명칭으로 재검토가 필요함. 건교부 지침에 의한 현재의 공법별 명칭은 표 6과 같다.

표 6. 기존 표준발파 공법별 명칭

구 분	특수발파	제 한 발 파			무제한 발파
	TYPE I 암파쇄굴착공법	TYPE II 정밀진동제어발파	TYPE III·IV 진동제어발파 (소규모, 중규모)	TYPE V 일반발파	TYPE VI 대규모 발파

안면석

2) 주 사용폭약 및 화공품 재검토

에멀전 폭약 → 다이너마이트, 에멀전, 초유폭약, 기타폭약 등으로 다변화 필요
 미진동파쇄기, 프라즈마 등 → 세부명칭 표시 혹은 포괄적으로 명시가 필요함
 현행 지침의 공법별, 사용폭약의 종류는 표 7과 같다.

표 7. 표준발파 공법별 사용폭약

Type	공 법 의 명 칭	사용폭약의 종류
I	암파쇄굴착공법	미진동파쇄기 등
II	정밀진동제어발파공법	에멀전 폭약 (ϕ 25~32mm)
III	진동제어(소규모) 발파공법	" (ϕ 32mm)
IV	진동제어(중규모) 발파공법	에멀전 폭약
V	일반발파	에멀전 폭약
VI	대규모발파	주폭약 : ANFO, 기폭약 : 에멀전 폭약

※ 에멀전 폭약 → 에멀전 폭약으로 수정표기 할 것(오타수정)

3) 자승근, 삼승근 교차점분석 요령 검토 삽입

회귀분석 결과에 의한 자승근 및 삼승근의 교차점 분석결과를 분석할 때 우리나라의 경우 대체로 발파지점으로부터 31m 이상에서 봉상장약이론에 기초한 자승근 적용영역이 나타나고 있다. 미국의 경우 6~31m를 경계로 하여 그 이하 일 때 삼승근 적용이 더욱 보수적이고 그 이상일 때는 자승근이 더욱 보수적이라고 발표하였다. 그러므로 우리나라 암질에 맞는 건교부 암발파 설계식을 적용하도록 재검토와 함께 교차점 분석요령 및 적용 지침을 마련하여야겠다.

4) 회귀분석 프로그램의 신뢰도 검토 및 표준화

회귀분석은 폭원으로부터 측정지점까지의 거리 및 지발당 최대장약량에 대한 발파 진동값을 여러번 측정하여 얻어진 값들을 중회귀 분석방법(multiple regression analysis)에 의해 구할 수 있다. 회귀분석은 주로 전산처리를 위한 회귀분석 프로그램을 이용하며 현장의 지질 및 암반성질 등에 따라 좌우되는 발파상수인 K, n값을 결정한다. 그 결과를 통해 자승근(Square Root Scaled Distance)과 삼승근(Cube Root Scaled Distance)의 적합도를 확인하고 거리별 허용지발당 장약량을 결정한다. 보통 전산회귀분석을 실시하는 경우, 다양한 발파전산프로그램의 도입으로 인해 신뢰도에 문제가 발생할 가능성이 있으며, 표준화된 검증 프로그램의 도입이 필요하다고 생각된다.

5. 시험발파 규정과 계측관리 재검토

1) 4km 거리에 1회 시험발파규정

시험발파는 보안시설물이 있는 경우 4km 범위내에서 1회를 적용하고 있다. 그러나 현장의 지반조건 및 지형적 특성과 절취암량에 따라 탄력적으로 시험발파 적용범위와 횟수의 재검토가 요구된다.

2) 계측관리의 필요성과 불필요성 규정

일반적으로 계측관리는 대발파를 제외한 암파쇄, 정밀진동, 진동제어(소규모, 중규모) 발파에서 적용하고 있으나 대발파와 일반발파 등에서도 필요한 사례가 종종 발생하고 있으므로 계측관리의 필요성을 재검토 할 필요가 있다.

3) 단위 사용 검토

발파진동의 인체 및 구조물에 미치는 영향은 주로 진폭, 주파수, 지속시간 등의 요인에 의존 하는 것으로 알려지고 있으며, 일반적으로 건물, 시설물에 대한 물적인 피해기준은 진동속도(cm/sec)로 기준해야 하며, 인체와 가축등에 미치는 영향에 대한 피해기준은 가속도 레벨인 dB(V)로 기준하는 것이 타당하다고 판단된다. 그리고 진동속도 V를 Kine 이란 용어로 사용되고 있는데 학회 등에서는 이미 사용하지 않고 있으며 이러한 사실을 일반인에게도 인식 확산과 함께 공식기관의 용어수정이 필요한 것으로 판단되고 있다. 예를 들면, cm/sec는 "센티퍼세크"로 mm/sec는 "밀리퍼세크"로 호칭할 것을 제안합니다.

6. 결 론

최근 환경에 대한 국민들의 인식은 날로 증대하고 있으나 거기에 따른 법, 제도, 기준 등의 개정속도는 느린편이어서 국민들의 기대에 충분히 부응하지 못하고 있는 실정이다. 발파 공사장 인근의 피해대상자들의 과대한 보상기대 심리를 줄이고 사실에 준한 판정을 위해서, 또한 적정한 암파쇄굴착 공사비를 책정하기 위해 국내 자료를 정리, 보완하고자 하며 또한 선진각국의 사례를 바탕으로 하여 보다 보편적이고 현실성 있는 규제 기준과 설계 기준을 연구·수정·설정함으로써 막대한 국가예산 절감을 하기 위한 지침의 개선 방향을 위에 제시하였고, 향후 지속적인 연구와 토론 및 결과를 발표할 예정입니다.