

암반발파시 환경안전대책

안 명 석*
Myung-Suk Ahn

1. 폭약 취급시 안전준수사항

발파작업에서 적합한 폭약의 선택과 적정 장약량 산출은 매우 중요하다. 특히 적정 장약량 산출은 발파안전 및 경제성 측면에서 매우 중요한 요소이므로 다음과 같은 사항을 충분히 고려하여 설계 및 시공할 것을 권장한다.

1.1 폭약 선택과 장약량 산출

1. 적정폭약의 선택은 현장상황을 충분히 감안하여 강한 암석에는 고폭력의 화약을, 연한 암석에는 저폭력의 화약을 선택하는 등 <별표 1>을 참조한다¹⁾.

2. 수중발파시는 수중용 젤라틴다이ना마이트, 터널 및 수공예는 함수폭약, 여굴방지 및 미려한 발파에는 정밀폭약, 노천의 계단식발파에는 초유폭약 사용 등으로 보다 경제적이고도 사용용도에 적합한 것을 사용한다.

3. 계절과 기후를 감안한다면 겨울에는 부동 혹은 난동다이ना마이트, 여름이나 습지에는 젤라틴다이ना마이트나 함수폭약을 사용한다.

4. 장약량 계산은 여러학자에 의한 여러가지 방

법이 있지만 본질에서는 비장약량의 개념 도입을 권장한다. 예를 들면 계단식발파에서는 비장약량을 $0.33\sim 0.50\text{kg/m}^3$, 터널발파에서는 $1.0\sim 1.5\text{kg/m}^3$, 서브레벨 벤치발파에서는 $0.41\sim 0.53\text{kg/m}^3$ 이 적당하다²⁾.

5. 수중발파에서는 $0.9\sim 1.0\text{kg/m}^3$, 소할천공발파에서는 $0.08\sim 0.1\text{kg/m}^3$, 소할복토법은 1.0kg/m^3 정도로 함이 적당하다고 한다²⁾.

6. 도심지 건물발파시에는 저폭속·저비중폭약이 적당하다고 하나 꼭 적용할 필요는 없음이 시공결과 판명되었으며, 비장약량은 무근콘크리트의 경우 $0.15\sim 0.40\text{kg/m}^3$ 이 적당하고 철근콘크리트의 경우 $0.40\sim 1.50\text{kg/m}^3$ 이 적당하다^{3,29,30)}.

7. 연구자료에 의하면 일반적으로 우리나라의 광산은 50%이상, 심한 곳은 2배이상의 과장약이 습관화 되어 있으므로 사용하는 화약량을 줄이도록 노력한다⁴⁾.

1.2 폭약 취급시 안전준수사항^{2,5)}

1. 폭약 취급용기는 목재 등의 절연물질로써 견고한 용기를 사용할 것.

2. 폭약과 뇌관의 흔적은 절대 금하며 사용전에

* 대구화약기술사 사무소 소장/기술사

이상유무를 꼭 확인할 것.

3. 폭약은 어떠한 경우에도 난로, 스팀, 온돌 등의 높은 열원에 접촉시키지 말 것.

4. 사용후 남은 폭약이나 사용불가품은 취급소 혹은 유치고에 임시 보관하고 가능한 즉시 반납 혹은 폐기 처리 할 것.

5. 폭약 취급시에는 관계자와 접근을 엄금하고 도난·탈취 위험에 적극 대처할 것.

6. 발파전에 미리 부근의 지형과 건물·도로 등 보안물건을 확인하고 대피 및 파난장소를 선정하고 교육·시행·관리한다.

7. 발파 계획시에는 일시·장소·시간·암질·최소 저항선·장약량·발파방법·발파방향·인원 및 경계 계획·안전교육 등을 계획·실시하고 기록·유지한다.

8. 장약 및 발파전에 낙석 등의 위험사항을 점검하고 지주보강·대피방안 등을 재검토한다.

9. 천공각도와 최소저항선 등을 충분히 고려하여 정확하게 계산하고 장약하여 비석의 위험을 방지한다.

10. MSD지발전기뇌관, DSD지발전기뇌관 등으로 지발발파시는 발파공의 배치와 지발순서 등에 특히 유의하고 정확히 천공하고 장약한다.

11. 잔류약이 생기지 않도록 하고 특히 전회의 발파공 이용은 절대 금하도록 한다.

12. 작업시에 낙석·출수·절리 등은 발파안전사고 및 작업능률에 중대한 역할을 하므로 충분히 관찰하고 필요시에는 재설계 및 시공토록 한다.

13. 초유폭약의 장진시는 충분히 접지하여 정전기·미류전류에 의한 사고를 예방하여야 한다.

14. 메지는 공발사고 및 발파 효율에 큰 영향을 미치므로 전색계수를 참조하여 충분히 다진다.

2. 뇌관 취급시 안전준수사항

폭약에 비해 뇌관에 의한 폭발사고는 제조공장에서 뿐아니라 사용현장에서 더 많이 발생되고 있다. 화약류 안전관리의 핵심인 뇌관의 안전한 취급을 위해 다음과 같이 안전준수사항을 권장한다.

2.1 전기식뇌관의 안전준수사항⁶⁾

1. 사용전에 필히 도통시험이나 저항측정시험

을 하고 발파전 점검시에는 꼭 총저항을 확인한다. 시험전류는 0.01암페어를 초과하지 않도록 한다.

2. 우천·습지 등으로 낙뢰 및 미류전류의 위험이 있을 때는 전기뇌관과 관련되는 작업을 하지·말 것. 꼭 필요할 때는 도화선발파나 비전기식발파를 한다.

3. 뇌관취급장소와 주변에는 누설전류를 차단시키고 동력선과 고압선 등을 피하고 가능한 주위의 전원을 모두 차단(15m이내 전원은 완전 차단)할 것.

4. 뇌관을 취급하거나 결선시는 미리 손 등 인체를 습지나 접지판에 접촉하여 인체내의 정전기를 완전히 제거할 것.

5. 각선을 풀때 뇌관부분을 잡아 당기면 불발의 요인이 되므로 삼가할 것.

6. 발파공에 장진 밀봉시는 각선에 손상이 가거나 뇌관이 빠지지 않도록 주의할 것.

7. 각선결선시는 5회이상 꼬아서 확실히 접촉하고 이상유무를 꼭 확인할 것.

8. 수중발파시는 가급적 빨리 작업하고 장시간 소요시는 특별방수 조치를 할 것(연결부분을 최소화하고 총저항을 꼭 확인한다).

9. 결선부분은 지면이나 물에 접촉되지 않도록 테이프 등으로 절연처리를 완벽히 할 것.

10. 결선완료후는 도통시험을 하여 결선의 이상유무를 꼭 확인할 것(더욱 정확함을 기하기위해 저항측정기의 사용을 권장함).

11. 발파하는 뇌관수는 발파기용량의 80%이내로 하고 발파능력측정기로 수시로 확인하여야 하며 이상이 발견되면 건전지 및 부품교체 혹은 용량에 적합한 발파기로 교체하여야 한다.

12. 뇌관을 약포에 삽입시는 단락각선 끝부분의 꼬임상태를 확인하고 뇌관봉으로 삽입구를 내고 서서히 밀어넣고 삽입구를 오무린후 각선으로 잘 묶어 장진하여 장진 및 발파시에 뇌관이 빠지지 않도록 한다.

13. 발파통전후 불발발생시는 15분 이상 경과한 후 출입하고, 불폭뇌관 수거시는 뇌관부분에 절단 혹은 충격을 가하지 말고 재통전은 엄금할 것.

14. 뇌관은 건조한 곳에 보관하고 제조일 1년경과 제품은 성능검사후 사용하고 가급적 장기간 보관은 피할 것.

2.2 비전기식뇌관의 안전준수사항⁷⁾

1. 비전기식뇌관은 천공에 장전시 시그널튜브가 손상되지 않도록 주의할 것.
2. 시그널튜브를 잡아늘이거나 지나친 압축을 가하거나 밟거나 차량이 지나는 등 물리적 손상을 입거나 변형된 뇌관은 사용하지 말 것.
3. 시그널튜브의 밀봉된 끝부위는 스타터 사용 전에는 절대 잘라내지 말 것.
4. 사용전에 시그널튜브에 매듭이 진 것이나 비틀린 것이 없는지 확인할 것.
5. 천공내의 온도가 50도를 초과하거나 -25도 이하일때는 시그널튜브의 변형으로 불폭 가능성이 있으므로 사용하지 말 것.
6. 적재하역시 항상 주의하고 운반시 던지는등

난폭하게 다루지 말 것.

7. 운반시 뇌관이 노출되지 않도록 운반용기를 사용할 것.
8. 포장이 개봉된 뇌관은 장기간 보관하지 말고 가능한 1년이내 사용할 것.
9. 결합된 연결용 콘넥터는 메지물이나 흙으로 덮은후 사용할 것.
10. 시그널튜브와 도폭선을 연결시 시그널튜브가 짧을때 억지로 늘려 연결하지 말 것.
11. 도폭선크립 연결부위외에 시그널튜브와 도폭선이 접촉되지 않도록 연결할 것. (Fig. 1 참조)

3. 암반 발파시 안전대책

3.1 개요

원시시대부터 우리 인간은 보호의 수단으로써 생계의 수단으로써 돌을 제일 먼저 활용했으리라고 추측된다. 즉 동굴생활을 통해 자신과 가족보호의 수단으로 사냥을 위한 무기로서 돌무기를 제일 먼저 사용했을 것이다. 돌과 화약 그리고 돌출 암석의 제거와 지하공간의 건설을 화약과 뿔 수 없는 사이가 되었다.

근처에는 군사목적으로 암반 속에 군사시설 및 비축시설을 건설하기 시작했고, 주택을 짓기 위한 부지조성공사, 위락시설로서 골프장·랜드 등의 조성, 또한 국가 산업용으로 대규모 지하유류비축시설, 지하철, 지하고속도로, 고속철도의 건설등 암반발파를 통한 위대한 인간역사는 계속될 것이다.

이러한 대규모 건설은 화약의 사용을 불가피하게 하고 있으나 보관·운반·사용 등에서 화약은 꽤 까다롭다고 할 수 있다. 물론 전문가에 의해 조심만 한다면 안전에 대한 우려는 없다고 하지만 조심이란 두글자가 안전으로 이어지기에는 많은 노력이 필요하다. 기본안전수단은 통상적인 상식에서부터 시작된다. 취급시 상식이 벗어나지 않게 생각하고 행동하고 관리한다면 그리고 새로운 안전한 공법을 더 많이 연구하고 도입하고 접목시키는 노력을 항상 하도록 관계자 모두가 힘을 합할때 화약에 의한 대소형사고는 절대 일어나지 않을 것이다. 먼저 도로와 터널개착시 안전을 위한 소음진동안전기준을 정리하면 다음과 같다.

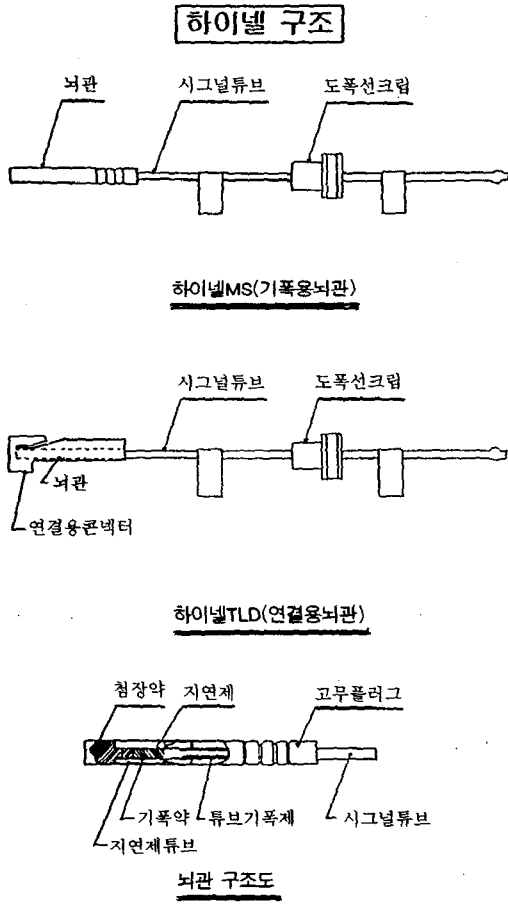


Fig. 1 The Structure of Non-electric detonator

3.2 안전기준

3.2.1 발파시 소음안전기준

소리의 크기는 압력의 크기로 정의되고 사람들이 들을 수 있는 소리의 크기는 최저가청압력인 2×10^{-5} Newton/m²에서 200Newton/m²까지 광범위하다. 따라서 소음은 Log값을 이용한 음압도 decibel로 표시된다. 일반적으로 타자기 소음은 60dB, 차량소음은 80~90dB, 착암기소음은 100~110dB, 비행기이륙소음은 120~130dB 정도이며 사람이 고통을 느끼기 시작하는 소음은 140dB 정도다. 현행 소음진동규제법에 의하면 생활소음 규제기준의 경우 <별표 2>와 같이 45~80dB(A)¹⁰로 설정되어 있다(공사장의 경우 55~70dB(A)). 건설소음의 경우 정확한 규제기준은 되어있지 않으나 소음진동규제법에 의한 운행자동차의 배기소음기준을 들면 경자동차 105dB(A)이하, 중량자동차 110dB(A)이하, 이륜자동차 115dB(A)이하, 경적소음 115dB(A)이하로 규제되어 있다. 또한 미국뉘푹사에서 제시한 소음공해한도도 115dB이므로 자체역제기준은 115dB(A)로 함이 적절할 것이다.

3.2.2 발파시 진동안전기준

대체로 발파진동은 구조물에 미치는 영향이 소음보다 크다. 진동의 표시단위중 변위(D, cm), 입자속도(V, cm/sec), 가속도(A, cm/sec²), 주파수(f, cycle/sec)중에서 입자속도는 발파진동의 허용기준을 표시하는데 주로 사용되고 있다. 발파진동의 피해여부는 입자속도(혹은 최대속도, 변위속도, 단위: cm/sec, Kine, inch/sec)로 표시하고 있다. 우리나라는 발파시 진동기준은 설정되어 있지 않다. 외국의 예와 우리나라에서 지하철공사현장의 적용 예를 들면 미국은 <Table 1>과 같이 5cm/sec¹¹, 독일의 경우는 <Table 2>와 같이 2.0~5.0cm/sec¹², 일본은 <Table 3>과 같이 0.03~0.15cm/sec, 혹은 인구가 밀집된 지역에서는 0.2cm/sec¹³이하를 발파진동 허용기준으로 삼고 있다. 우리나라는 서울지하철 건설시 <Table 4>와 같이 설정·시공하여 좋은 결과를 얻었다¹⁴. 그리고 S대학교 공학연구소의 발파진동에 의한 구조물 상호영향평가보고서에 의하면 2.5cm/sec를 한계 허용진동속도치로 설정하였을 때 정상적인 지상구조물일 경우 충분하다는 결론을 얻었다¹⁵. 그러므로 우리나라의 경우 미국등의 선진국의 예와 국내

연구결과를 정리해 보면 정상적인 일반구조물일 경우 한계허용진동속도치는 2.5cm/sec가 적당하며, 도심지내에서의 발파는 0.5cm/sec, 문화재나 고주택 혹은 노후아파트밀집지역이나 지반이 특히 약한 곳 등의 보안발파는 0.2cm/sec를 적용함이 적절할 것이다. 그러나 Siskind의 보고내용과 독

Table 1 Peak vibration velocity and damagelevel (Dupont Co.)

최대진동속도(cm/sec)	피 해 정 도
30.5	터널암반의 낙석 유발
19.3	회벽에 커다란 피해
13.7	회벽이 갈라지기 시작
7.6	밀폐지역 발파의 규제치
5.0	미광무국이 추천한 안전한계

Table 2 Blasting vibration permitted value of germany (DIN 4150)

건물의 종류 민감지역 Particularly Delicate	안 전 기 준 (cm/sec)		
	주 진 동 주 파 수		
	0.3	0.3~0.8	0.8~2.0
주택지역 Residential	0.5	0.5~1.5	1.5~2.0
공업지역 Industrial	2.0	2.0~4.0	4.0~5.0

Table 3 Regulation depended on vibration velocity of japan 오모사카

지역구분	주 간	야 간
공 업	7-22시 0.15cm/sec	22-7시 0.07cm/sec
상업, 준공업	7-22시 0.10cm/sec	22-7시 0.05cm/sec
주 거	8-20시 0.05cm/sec	20-8시 0.03cm/sec
공 장 적 지	7-22시 0.10cm/sec	22-7시 0.05cm/sec
기 타	8-20시 0.05cm/sec	20-8시 0.03cm/sec

나라가와겐

지역구분	안 전 기 준 (cm/sec)		
	주 간	야 간	심 야
	8-18시	18-23시	23-6시
주 거 전 용	0.03cm/sec	0cm/sec	0cm/sec
주 거	0.06cm/sec	0.03cm/sec	0cm/sec
상업, 준공업	0.09cm/sec	0.06cm/sec	0cm/sec
공 업	0.12cm/sec	0.09cm/sec	0.03cm/sec
공 업 전 용	0.12cm/sec	0.12cm/sec	0.09cm/sec
기 타	0.06cm/sec	0.03cm/sec	0cm/sec

일기준을 참고하면 같은 진동속도치라도 40Hz이하의 저주파수에서는 더 까다로운 기준을 적용하여 발파시에 더욱 주의를 해야할 것이다.

Table 4 Blasting vibration permitted value affected adjacent buildings when seoul and pusan subway construction

구 분	I	II	III	IV
건 물 분 류	문화재	주택, 아파트 (실금이 나타 나있는 정도)	상 가 (금이 없 는 상태)	무근콘크 리트빌딩 및 공장
건물기초에서의 허용진동치 (cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0-4.0

3.3 시험발파

최근 발파현장에서 급증하고 있는 공해성민원발생 및 안전사고를 예방하기 위해서는 현장에 대한 사전정밀조사를 통해 안전사고 요인을 미리 정확히 파악하여 그 대책을 수립하는 일이라고 할 수 있다. 그중 시험발파는 암반의 성질을 정확히 파악하여 발파공법을 채택하거나 사용화약의 선택, 적정 장약량산정, 천공설계 등을 결정하는데 가장 중요한 일이며 안전하고 경제적인 발파를 위한 기초자료라고 할 수 있다. 시험발파의 계산 예를 들면 다음과 같다.

(1) 암반발파시 시험발파의 계산 예¹⁶⁾

최소저항선을 60cm로하고 장약량을 500g으로하여 발파하여 누두지수 $n=1.02$ 를 얻었다. 이때의 적정 장약량은?

[계산법]

$$f(n) = (\sqrt{1+n^2} - 0.41)^3$$

$$= (\sqrt{2.04} - 0.41)^3 = 1.054$$

$$L = \frac{L_1}{f(n)} = \frac{500}{1.054}$$

$$= 474.38g$$

3.4 환경공해 대책^{17,18,19)}

3.4.1 소음 방지 대책

1. 발파대상 암반의 종류, 강도, 규모 등의 특성을 파악하고 주변지형과 지질, 보안물건과의 거리, 풍속, 풍향 등을 고려하여 발파설계를 한후 시험발파를 하고 그 결과를 참고하여 설계를 제조정

한다.

2. 사용화약류는 저폭속 저비중의 에멀진폭약이나 함수폭약, 초안폭약, 미진동파쇄기 등이 좋으며 암반이 강할때는 다이나마이트 등 고폭속화약의 사용도 불가피하다. 이경우 분산장약 및 메지방법에 특히 유념하여야 한다.

3. 착암기의 소음은 약 110dB(A) 정도이며 유압착암기의 경우는 약 10~20dB(A) 정도 감소되므로 가능한 유압착암기 사용을 권장한다. 최근에는 캐빈석유압착암기 사용으로 소음과 먼지로부터 작업자 및 인근주민에 대한 피해를 현저히 줄이고 있다.

4. 착암 작업시 발생하는 소음의 외부유출 감소를 위해서 그라스울, 스폰지, 담요, 스티로폴 등 구하기 쉽고 간단히 설치가 가능한 흡음재의 사용을 권장한다.

5. 착암 작업시는 작업자에게 귀마개, 귀덮개 등의 방음보호구를 꼭 착용토록하고 장시간 작업시에는 작업시간 조정이나, 휴식을 취하도록 한다. (<Table 5> 청력보호를 위한 허용폭로시간 참조)

6. 소음방지조치에도 불구하고 학교, 병원 등이 인접한 소음발생이 심한 작업장에는 방음울타리나 방음벽을 설치하고 흡음재를 부착하는등 특별한 조치를 하고 필요시 소음방지시설업체를 통한 전문차음시설을 한다. 시간대 혹은 일, 주 단위로 작업시간의 조정도 고려한다.

7. 착암작업과 발파작업중에 작업환경에 대한 소음을 정기적으로 측정하고 주기적으로 청력검사를 하는등 소음성 난청작업자 발생이나 만원발생 우려가 없도록 한다.

Table 5 Permission time in japan

dB(A)	시간(H)	dB(A)	시간(H)
115	0.5	90	4.0
95	1.0	85	8.0

3.4.2 진동 방지 대책

1. 주변지형과 지질, 암반의 상태, 거리 등을 잘 고려하여 적절한 화약류를 선택하고 적당한 약량을 사용토록 설계시공한다. 대체로 저폭속화약류는 진동경감에는 유리하나 상대적으로 발파효과는 나빠진다.

2. 시험발파시에는 가능한 주요 보안물건이나 만원발생 가능지역 2~3개소에 진동측정을 실시하고 그 결과를 참고하여 장약량을 조절하는 등의 조치를 한다.

3. 1회 발파약량이 많은 대발파에는 MSD나 DSD의 지발발파를 실시한다. MSD 지발발파의 경우 동수·동약량의 발파공에 대한 재발발파보다 지반진동을 1/3이하로 줄일 수도 있으므로 설계시에 참고한다.

4. 약장약은 발파 효과가 감소되고 과장약은 진동과 폭발이 증가하면서 파파쇄와 비산을 일으킴으로 진동제어를 위해서는 적당한 비장약이 필요하다.

5. 측면발파는 디커플링 효과(Decoupling Effect)를 이용한 저폭속 저비중의 소약경폭약을 사용한다(슬러리폭약, 에멀전폭약, 정밀폭약 등).

6. 진동의 전파경로에 인공적인 균열이나 도랑을 설치하여 전파되는 탄성파를 흡수 감소시킨다.

7. 암반중에 천공 혹은 균열을 주어 발생하는 지반진동을 흡수, 경감시키는 프리스프리티팅(Pre-Splitting), 라인드릴링(Line Drilling)등의 조절발파공법을 적용한다.

3.4.3 분진 방지 대책

1. 지형과 기후, 풍향, 풍속 등을 고려하여 분진대책을 세우고 설계시공한다. 기온차가 적은날을 택하고 피해우려지역에 반대되도록 풍향을 고려하고, 흐린날이나 비온후가 분진공해 측면에서는 유리함을 감안하도록 한다.

2. 착암작업자의 건강관리를 위해 방진마스크 등의 보호장비 착용의 습관화와 작업시간을 조정하고 습식착암기의 사용을 권장한다.

3. 분진 발생이 심할때는 작업장의 내외부와 인근에 살수하는 방법이 가장 쉽고 좋은 방법이다. 심할때는 강제통풍이나 이동적 집진기의 설치도 고려할 수 있다.

분진 피해 예상 주변지역에 대해 세탁물, 음식물 등의 관리요령을 홍보하고 발파완료후에는 주변에 대해 대청소를 실시하는 등 작업장 내외의 청결대책도 세운다.

3.4.4 비석 방지 대책

1. 암반의 상황·단층·지질 등을 미리 잘 조사하여 천공위치·약량 등을 정확히 산출하고 표준암반

에 대해 시험발파를 하여 적정약량을 정하는 등 발파계획을 철저히 수립한다.

2. 발파계획시의 최소저항선과 실제천공한 최소저항선이 꼭 같도록 채굴면과 천공방향과의 각도가 틀리지 않도록 주의한다.

3. 적정약량을 장약하더라도 장약위치가 알게 되면 과장약이 되고 깊게 되면 약장약이 되므로 계획된 위치에 장약의 중심을 잡을 수 있도록 한다.

4. 과장약이나 자유면에 부석이 있는 경우 최소저항선의 방향으로 비석발생이 우려되므로 방호구는 가능한 무겁고 질긴 것으로 겹치거나 엮어맨다.

5. 약장약, 메지재질불량, 전색불충분, 연한암반 천공시 구멍주변에 절리가 있는 경우 등에는 천공한 방향으로 비석이 생길 수 있으므로 주의한다.

6. 천공후 구멍속을 깨끗이 하고 작은돌이나 토사유입을 방지하기 위해 마개를 잘하여야 하며 장약시에는 구멍입구로 유입되는 토사나 천공속의 절리 등으로 인해 떨어지는 작은돌의 걸림에 유의하여 장약하도록 한다.

7. 비석을 방지하기 위해서는 발파대상 암석위에 방호구를 직접 씌우는 방법이 가장 유효하다. 방호구로는 보통 다다니마 현가마니 등을 쓰고 있으며 최근에는 고무판 사용이 확산되고 있다. 브라스팅매트(Blasting mat), 그로스매트(Gros mat), 링매트(Ring mat) 등의 사용도 고려한다.

3.5 기타 안전 대책^{20,27,28)}

1. 하부암반으로 내려갈수록 동일 폭파공장에 대해서는 장약량을 증가해야 하고 장약량이 동일할 시는 폭파공장을 짧게해야 한다.

2. 대부분 회강암과 편마암으로 이루어진 서울지반의 경우 개착식의 지표상에서의 발파는 터널식지하에서의 발파보다 발파진동값이 높고 자유면이 증가할수록 그 값은 감소한다.

3. 암석의 봉압에 대한 피로한계의 차이는 각 암석의 공극율과 조암광물입자의 결합력 및 입자 자체강도의 차이에 기인하므로 공극율과 광물입자 조성을 참고하여 발파설계를 한다.

4. 맺음 말

1. 국가적으로 대형사고가 빈번하고 있는 요즘 화약제조공장은 물론이거니와 이를 취급하고 있는 화약발파작업장에서도 더욱 많은 주의를 기울여야겠다. 이를 위해서 화약류취급자는 화약의 기본성질과 성능을 잘 파악해야겠으며 취급상 더욱 안전하고 장비보관이 우수한 예발전 및 슬러리 폭약의 현장작용을 잘 검토할 필요가 있으며 장약량 산출시는 비장약량의 개념도입을 권장한다.

또한 사고시에 인체에 치명적인 피해를 입히는 뇌관취급에서는 단한발이라도 폭약취급보다 더욱 세심한 주의를 기울여야겠으며 앞에서 기술한 안전수칙준수에는 추호의 틈이 있어서는 안되겠다.

2. 도로개착과 터널개착, 부지조성공사 등 발파당 폭약사용량이 많은 현장에서는 예전의 구태의연한 사고방식에서 탈피하여 사면안정 및 내구성 유지에 더욱 과학적인 조사와 설계 및 시공이 필요하며, 굴착시에도 암반역학 등을 응용한 각종 계측에 의한 설계와 감리 등 전문기술사에 의한 관리 감독이 절실히 요구되는 시점이다.

3. 발파작업에 대한 환경안전기준설정에 대해 검토해보면 일반발파시 한계소음은 115dB(A), 진동은 일반구조물의 경우 2.5cm/sec, 도심지내의 발파는 0.5cm/sec, 문화재나 고주택 혹은 노후아파트 밀집지역이나 지반이 특히 약한 곳은 0.2cm/sec를 적용함이 적절한 것으로 사료된다(주파수 40Hz이상일 때).

4. 착암작업자에게는 작업시 귀마개, 귀덮개, 방진마스크, 방진장갑, 안전화 등을 착용토록하고 주변공해대책으로는 방음울타리, 방음카바, 소음기부착, 인공구설치, 방음막설치, 방호막설치, 살수, 청소 등 현장에 적합한 환경안전대책을 세우고 위험지역과 안전한계지역(반경 200m정도)을 설정하고 적색, 황색 등의 출입금지표시와 안내표시 등을 하고 관계자의 출입자를 통제하는 등 안전작업에 대한 관리감독을 더욱 철저히 해야할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 총포화약안전기술협회, 화약류관리기사 보수 교육교재, p. 140, 1988.
- 2) 김재극, 산업화약과 발파공학, 서울대학교 출판부, 1988.
- 3) Explosives Engineering, The journal of the Institute of Explosives, Engineers. September 93. p. 16 (Figure 2).
- 4) 김응수·민경원, 적정장약량의 산정과 표준발파설계에 관한 연구, 대한광산학회지 Vol. 18, pp. 18, 22, 1981.
- 5) 총포·도검·화약류 등 단속법 시행령, 제16조 (화약류의 취급)
- 6) 주식회사 한화, 전기뇌관 취급시 주의사항
- 7) 주식회사 한화, 비전기식뇌관 취급설명서
- 8) 이정인, 암반사면의 안정성 해석피보강, 서울대학교 공과대학 자원공학과 교수, pp. 8~32, 1992.
- 9) 이회근, 지하철공사장의 붕괴사고와 NATM 공법, 대한화약기술학회지, Vol. 11, No. 3, Sept. pp. 73~77, 1993.
- 10) 소음진동규제법시행규칙, 제57조3항[별표 15] 생활소음규제기준의 범위.
- 11) 이정인, 발파진동에 의한 구조물상호영향평가성과보고서, 서울대학교 공학연구소, pp. 10, 12, 1990. 6.
- 12) 이정인, 발파진동에 의한 구조물상호영향평가성과보고서, 서울대학교 공학연구소, pp. 10, 12, 1990. 6.
- 13) 김재극, 산업화약과 발파공학, 서울대학교 출판부, 1988.
- 14) 안명석, 화약산업의 재해분석 및 안전대책에 관한 연구, 대한화약 기술학회지, 제7권제3호, p. 18, 1988.
- 15) 이정인, 발파진동에 의한 구조물상호영향평가성과보고서, 서울대학교 공학연구소, pp. 10, 12, 1990. 6.
- 16) 기요시하시모토·김응수, 암석발파에 있어서의 표준장약량 산정에 관한 연구, 대한광산학회지, Vol. 13, pp. 16~17, 1977.
- 17) 안명석, 구조물폭파공법 시공시 발파공해안전대책, 한국산업안전학회지, Vol. 8, No. 3, pp. 91~107, 1993. 9.
- 18) 터널공사의 안전 -NATM편- 사단법인 일본터널기술협회, pp. 203~204, 소화 60년 3월.
- 19) 발파, 주식회사 한화(비매품), pp. 127~128, 1983.

- 20) 이경운외, 폭파작업이 시설물에 미치는 영향 (청평발전소 제3호 발전기 설치공사를 중심으로), 대한광산학회지, Vol. 4, No. 2, p. 92, 1967.
- 25) 안명석, 구조물폭파공법 시공시 발파공해안전대책, 한국산업안전학회지, Vol. 8, No. 3, pp. 91~107, 1993. 9.
- 27) 이경운외, 화약암석강도 및 발파유형이 발파진동에 미치는 영향 -서울도심지발파를 중심으로- 대한광산학회지 Vol. 21, 제4호, p. 338, 1984.
- 28) 이정인·임재웅, 암석의 피로수명에 미치는 최대응력 및 봉압의 영향, 한국자원공학회지, 제30권제5호(통권 133호), p. 446, 1993.
- 29) 새로운 발파기술, 임북출판주식회사, p. 287 Table 15.1, 소화 56년 2월.
- 30) Swedish Blasting Technique by Rune Gustafsson All rights reserved Published by SPI, Gothenburg, p. 285, Sweden 1973.
- 31) 윤지선, NATM공법의 조사·설계·시공, 구미서관, pp. 247~248, 1991.

〈별표 1〉

A kind and use of explosive

성능 및 용도	종류			초안 폭약		슬러리 폭약			에멀전 폭약	정밀폭약		미진 동 파쇄기 (화공품)	초 유 폭약
	젤라틴다이나마이트			갱내용	갱외용	K-100	K-300	K-700		1호	2호		
	고성능 GD	일반용 GD	수 중 다이나 마이트										
약 상	교 질	교 질	교 질	분 상	분 상	gel상	gel상	gel상	교 질	반교상	분 상	분 상	입 상
STRENGTH (RWS)	80	70	80	65	65	68	55	70	-	47	65	-	-
폭 속 (m/s)	6,000	5,300	5,500	3,500	3,600	4,500	3,500	4,500	5,000	4,400	3,900	60	2,800
순 폭 (배)	4	4	4	2	2	-	-	-	-	7	2	-	-
낙추감도 (cm)	50	50	50	50	50	100	100	100	100	40	50	60	50
화 약 력 (t kg/cm^2)	10,200	9,000	10,200	7,500	7,600	7,600	8,500	7,700		4,400	8,200	반응열 1500cal/g	9,600
극경 암 발 파	○	□	△										
경 암 발 파	△	○	□			△		△	△	□	□		
중경 암 발 파	□	○			□	△		△	△	□	□		
연 암 발 파		△			□	○	□	△	○	□	□		○
장 공 발 파	○	△						△	△	□	□		△
노 천 발 파	□	○			□			○	△	□	□		
수 증 발 파	□		○			○	○	○	○				
통 기 불 량 시				△		○	○	○	○				
대 발 파	△							○	△				○
소 할 발 파		△			△	○	□		○			△	
터 널 발 파	△	△		□		○	△		○	○	○		
진동, 제어발파						△			△			○	
모 암 보 호						□			△	○	○	△	
채 탄 발 파				△			○		△				

○ : 최적 △ : 적당 □ : 사용가

〈별표 2〉 A range of regulation level of living noise
(제57조 관련)

1. 허용기준 단위 : dB(A)

대 상 지 역	시간별		조 석	주 간	심 야
	대상소음		(05:00~ 08:00) (18:00~ 22:00)	(08:00~ 18:00)	(22:00~ 05:00)
주거지역, 녹지지역, 취락지역중 주거지구, 관광휴양지역, 자연환경보전지역, 학교·병원의 부지 경계선으로부터 50m이내 지역	확성기에 의한소음	옥 외 설 치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 방사되는 경우	50 이하	55 이하	45 이하
	공장 및 사업장의 소음		50 이하	55 이하	45 이하
	공사장의 소음		65 이하	70 이하	55 이하
상업지역, 준공업지역, 일반공업지역, 취락지역중 주거지 구외의 지구	확성기에 의한소음	옥 외 설 치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 방사되는 경우	60 이하	65 이하	55 이하
	공장 및 사업장의 소음		60 이하	65 이하	55 이하
	공사장의 소음		70 이하	75 이하	55 이하

비고 : 1. 대상지역의 구분은 국토이용관리법에 의하며, 도시지역은 도시계획법에 의한다.

2. 공사장 소음의 규제기준은 주간의 경우 소음발생시간이 1일 2시간미만일 때에는 +10dB, 2시간이상 4시간이하일 때에는 +5dB를 보정한 값으로 한다.