

터널발파 설계·시공 잠정지침(안) 제정에 관하여



이태노
(주)성보지오텍
대표이사



김선홍
(주)성진이엔씨
대표이사



임대규
(주)대영지오
발파엔지니어링
대표이사



이헌구
(주)미래이엔씨
사장



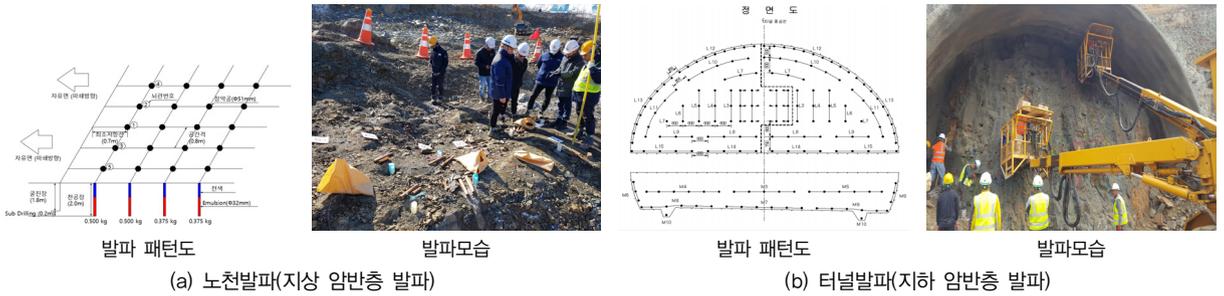
최형빈
High ENC
대표

1. 서론

1.1 제정취지 및 배경

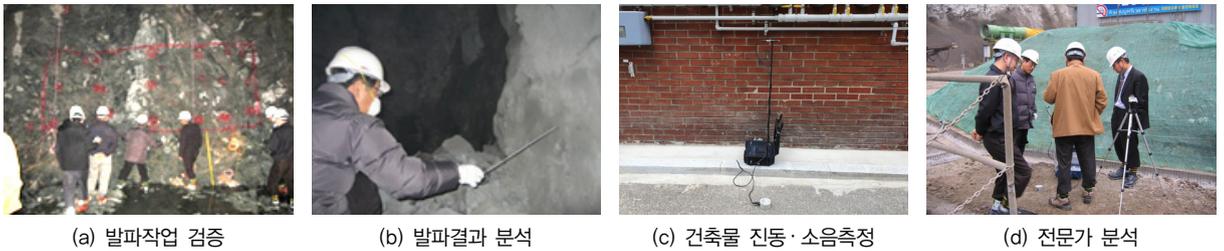
국내 노천 및 도로발파 시 진동·소음 민원해소와 원활한 공사를 위해 2006년도에 [도로공사 노천발파 설계·시공지침]을 제정하여 적용하고 있다. 그러나 터널발파에 대한 지침 부재로 터널발파 설계기준, 현장 관리기준이 발주기관별 별도로 진행되고 있기 때문에 관련기관(환경부, 지자체, 경찰청, 사업단 등)의 각각 해석과 민원대처 기준이 모호하여 사고발생과 사람들의 불신, 불안이 초래되고 있는 실정이다. 또한, 터널발파 시 진동과 소음으로 인근 주민들의 정신적 불안감과 건축물 균열 등의 피해로 시공자와 주민간의 갈등증폭과 사회적 비용발생이 심각하게 대두되고 있다.

다시 말해서, 터널발파 시 보안물건에 대한 발파진동 허용기준은 건축물 중심의 발파진동 기준(예를 들어, 문화재, 조적식 건물, RC골조 등 구조물 안전에 초점을 맞추어 규정)으로 설정되어 있기 때문에 발파진동이 허용치 이내로 전달되면 건축물은 안전하다고 볼 수 있으나, 건축물 내부에 존재하는 사람은 진동에 불안감을 느껴 많은 민원이 발생하고 있다. 또한, 터널발파 설계기준이 마련되어 있지 않아 터널발파와 성격이 다른 [도로공사 노천발파 설계·시공 지침]을 기준으로 발파패턴(화약량, 천공길이 등)을 설계함으로써 터널발파 진동의 정확한 예측, 안전발파 설계 및 공사비 산출에 모순이 발생하고 있다. 그림 1은 노천발파와 터널발파의 개념 및 방법을 나타낸다.



〈그림 1〉 노천발파와 터널발파의 개념 및 방법

또한, 터널발파 공사에 대한 시공관리 기준이 마련되어 있지 않아 터널발파 후 결과를 분석하여 다음 발파 시 적용할 수 있는 시스템 부재로 시공상의 혼선과 안전하고 친환경적인 발파작업에 문제가 발생하고 있다. 또한, 터널발파 후 발파효율과 지상에서 측정된 발파진동을 상호분석할 수 있는 전문인력과 관리체계에 대한 시스템이 존재하지 않을 뿐만 아니라 발파진동·소음 예측기준에 대한 표준이 부재하여 예측방법과 현장여건에 따라 예측값이 상이하고 시공자 편의 위주 관리로 인해 끊임없는 민원이 발생하고 있다. 그림 2는 터널 발파공사 시공관리 및 피드백 과정을 보여준다.



〈그림 2〉 터널 발파공사 시공관리 및 피드백 과정

따라서 발파진동·소음에 의한 민원을 최소화하고, 터널공사를 원활히 수행하기 위해서 터널발파에 적합한 소음·진동 기준 정립이 필요하며 발파공사에 대한 환경과 안전관리를 강화하기 위해서 시공 중 관리를 위한 지침제정이 요구되고 있다.

국토교통부는 2020년도부터 한국건설기술연구원 주관으로 추진되고 있는 [도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화 연구 사업]의 R&D 활동을 통해 [터널발파 설계·시공 잠정지침: 이하, 터널발파 지침]을 제정하고 후속적으로 건축물과 인체의 특성별 진동 감응도를 고려한 위험도 평가 시스템을 개발하여 터널발파 진동에 대한 기준과 감시기능을 강화할 예정이다.

1.2 터널발파 지침 제정 경과내용

그동안 터널발파 지침 제정을 위해 터널발파 설계와 시공에 대한 관계기관 의견수렴과 자문위원의 검토에 대하여 그동안 진행된 경과를 보면 표 1과 같다.

〈표 1〉 터널발파 설계와 시공에 대한 관계기관 의견수렴과 자문위원의 검토 경과

일자	진행내용	의견수렴 및 검토 주체
20.03.29	터널발파 지침제정 계획협의 및 착수	국토교통부, 한국건설기술연구원, 집필진
20.05.01	터널발파 지침제정 공동 집필진 구성	터널발파 전문가 5명(화약류관리기술사)
20.05.21	터널발파 지침 제정계획 보고	국토교통부 도로국
20.06.18	대한화약발파공학회 의견수렴	학회장 및 임원진
20.06.25	한국화약류관리기술사회 의견수렴	회장 및 임원진
20.06.30	지침제정 추진 경과보고	국토교통부, 한국건설기술연구원 연구단
20.11.10	지침내용 서면자문 및 보고	관련학회 회장(3명), 관련학과 교수(4명), 화약발파기술사회(1명), 전문가(4명) 총 12명
21.03.17	지침내용 의견수렴 및 조치사항	터널 및 발파 전문가(14명)
21.04.14	국토교통부 의견수렴	국토교통부 도로국, 철도국
21.06.01	관련학회 및 정부기관 추가 의견수렴	국가철도공단, 한국도로공사 외(7개 기관 및 학회)
21.07.13	정부기관 추가 의견수렴	국가철도공단, 부산광역시
21.08.	잠정지침(안) 최종자료 정리	국토교통부 도로국
22.04.14	잠정지침(안) 경과 및 계획 보고	국토교통부 도로건설과

2. 지침내용 주요골자

터널발파 지침 제정작업은 2020년 3월에 착수하여 약 17개월 동안 이루어졌으며, 수회에 걸친 정부기관, 관련학회 및 전문가들의 의견수렴과 토의를 통해 최종 안을 도출하게 되었다. 터널발파 지침은 총 4장 18조 4개의 별표로 구성되어 있으며, 주요골자를 보면 다음과 같다.

①(터널발파 설계·감리·시공관리 주체)

터널발파 설계와 시공관리 절차서를 만들고 건설기술용역사업자, 발주청, 건설사업자, 건설사업관리자의 업무범위를 명확히 설정하여 각각의 책임과 권한을 부여 하였다.

②(터널발파 진동 예측식)

국내 터널현장에서 수집한 1115개의 데이터를 이용하여 터널발파 진동을 정확히 예측할 수 있는 터널 발파진동추정식을 제시하여 발파설계 과정에서부터 정확하고 신뢰성 있게 발파진동을 예측하도록 하였다.

③(터널발파 진동 기준)

터널발파 시 건축물의 안전성 확보와 주민들의 불안감을 해소하기 위해서 터널발파 진동기준을 강화하여 제정하였으며, 발파 전문가에 의한 터널발파 패턴도 작성을 명문화 하고, 발파진동 영향검토를 사전에 실시하도록 하였다.

④(터널발파 시험발파와 발파진동 계측 시스템 구축)

터널발파를 실시하기 전에 반드시 시험발파를 실시하여 발파설계의 적합성과 안전성 확보여부를 파악하도록 하였으며, 발파공사 중에 주변 건축물에서 발파진동·소음을 측정하여 발파공사의 적정성과 피해여부를 종합적으로 평가하도록 하였다.

⑤(터널발파 집중관리 현장 선정 관리)

터널발파 집중관리 대상현장은 발파 진동·소음으로 인하여 발파 안전사고와 건축물의 피해가 발생할 수 있는 현장을 대상으로 선정하고, 발파 전문가로 하여금 발파효율과 발파진동·소음을 실시간으로 집중 관리하도록 하여 터널발파로 인한 피해와 민원을 최소화 하고 원활한 발파공사가 진행 될 수 있도록 하였다.

3. 터널 발파 설계·시공 잠정지침(안) 내용

3.1 제1장 총칙

제1조(목적)

이 지침은 터널 발파로 인하여 발생하는 진동·발파소음으로 인한 민원발생을 사전에 예방하고, 현장 여건에 적합한 경제적인 발파공법 적용 등을 체계적으로 관리하기 위하여 터널발파 설계·시공관리 등에 관한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

제2조(적용범위)

이 지침은 「도로법」 제10조에 따른 고속국도 및 일반국도, 「도로법」 제15조에 따른 국가지원지방도, 「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률」 제2조에 따른 고속철도, 일반철도, 광역철도의 건설공사 구간 중 터널 발파설계와 시공 관리에 적용하며, 발파영향권 내에 발파소음·진동에 의한 민감한 인체나 가축 또는 이와 관련된 시설이 포함된 경우에는 별도의 공법을 적용할 수 있다.

제3조(정의)

이 지침에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. “발주청”이란 「건설기술 진흥법」 제2조제6호에 따른 발주청을 말한다.
2. “건설엔지니어링사업자”란 건설엔지니어링을 영업의 수단으로 하려는 자로서 「건설기술 진흥법」 제2조제9호에 따른 건설엔지니어링사업자를 말한다.
3. “건설사업자”란 건설업을 영위하는 자로서 「건설산업기본법」 제2조제7호에 따른 건설사업자 또는 주택건설업을 영위하는 자로서 「주택법」 제4조에 따라 등록된 주택건설사업자를 말한다.
4. “건설사업관리자”란 「건설기술 진흥법」에 따라 건설사업관리 업무를 수행하는 건설기술인을 말한다.
5. “대심도 터널”이란 토지소유자가 토지를 이용함에 있어서 실질적으로 사용, 수익, 처분하지 아니하는 지하의 깊이 이하에 위치한 터널을 말한다.

6. “공당 장약량”이란 터널의 굴착 면에 천공된 1개의 발파공에 장약하는 화약량을 말한다.
7. “뇌관 배열도”란 터널발파 패턴도에서 발파공에 설치된 뇌관의 기폭순서와 분할기폭 영역 등을 상세히 표기한 도면을 말한다.
8. “발파진동 영향권”이란 발파작업 지점에서 발생하는 진동이 주변의 보호 대상물에 영향을 미칠 수 있는 지발당 장약량별 또는 적용 발파공법별 최단거리를 말한다.
9. “발파패턴도”란 지보패턴별 지보재 간격에 맞게 발파당 굴진장을 설정하고, 이에 적합한 발파패턴별 수량을 산출한 후 도면화 시킨 것을 말한다.
10. “보안물건”이란 「총포·도검·화약류 등의 안전관리에 관한 법률 시행령」 제2조(정의)에 따른 화약류의 취급상의 위해로부터 보호가 요구되는 장비·시설 등을 말한다.
11. “장약지수”란 발파진동추정식에서 진동 값에 영향을 주는 지발당장약량을 결정하는 값이며, 자승근과 삼승근을 적용한다.
12. “지발당 장약량”이란 터널발파 시 발파공에 설치된 뇌관의 동일 시간대에 기폭되는 장약량을 말한다.

제4조(터널발파 설계·건설사업관리·시공관리의 주체)

①건설엔지니어링사업자는 제2항에 따라 터널발파를 설계하고, 건설사업자는 제3항에 따라 발파시공을 수행하며, 건설사업관리자는 건설엔지니어링사업자, 건설사업자의 제2항, 제3항에 따른 설계, 시공관리의 적정 수행여부를 관리·감독하고, 발주청은 해당사항을 총괄 관리·감독한다.

②터널발파 설계는 터널 발파설계 방향설정, 터널발파 표준패턴도 작성, 발파진동 영향검토, 발파진동 저감대책 검토, 안전발파 계획수립 등으로 한다.

③터널발파 시공관리는 터널발파 설계도서 사전검토, 진동 영향권 내 보안물건 사전조사, 시험발파, 발파시공 중 소음·진동 상시계측 등으로 한다.

④발주청은 「건설기술 진흥법」 제39조, 같은 법 시행령 제58조 제2항에 따라, 터널발파 공사의 특수성에 따라 특히 필요하다고 인정되는 경우에는 건설사업관리자로 하여금 터널발파와 관련한 자격 또는 기술을 가진 사람(건설기술인이 아닌 사람으로서 발주청이 사전에 승인한 사람을 포함한다)을 건설사업관리 업무에 참여하게 할 수 있다.

⑤건설엔지니어링사업자, 발주청, 건설사업자, 건설사업관리자 등 각각의 업무범위는 별표 1, 터널발파 설계·시공관리 흐름도는 별표 2와 같다.

3.2 제2장 터널발파 설계

제5조(터널발파 설계)

①건설엔지니어링사업자는 터널노선 시추조사 결과, 지반상태, 주변환경 요소를 상세하게 조사, 분석하여 터널발파 설계를 하여야 한다.

②터널형태, 암반상태, 진동영향 등을 고려하여 별표 3을 참고하여 설계 대상 터널에 가장 적합한 터널발파 표준 패턴도를 작성한다. 다만, 필요시 별도의 진동제어발파공법과 발파패턴도 등을 작성하여 적용할 수 있다.

③터널발파로 인한 보안물건의 손상, 인체에 미치는 소음, 진동 영향 등에 대한 안전성을 확보하기 위해 시공 전 단계에서 발파진동 영향검토를 하여야 한다.

④건설엔지니어링사업자는 현장에서 터널발파가 안전하게 이루어지도록 비산방지 및 소음저감 대책, 화약뇌관 관리 방안, 작업자 안전 확보방안 등 안전발파 계획을 수립하여야 한다.

제6조(터널발파 진동 예측)

①발파진동을 예측할 수 있는 일반적인 발파진동추정식은 다음과 같다.

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

여기서, V : 진동속도(cm/sec) D : 이격거리(m) W : 지발당최대장약량(kg)

K : 발파진동 상수 b : 장약지수(1/2, 1/3) n : 감쇠지수

②제1항의 발파진동 상수, 감쇠지수는 지질조건, 발파방법, 화약류의 종류에 따라 변화하므로 설계단계에서는 터널노선의 암반층에서 실시한 모의(시추공, 실규모) 시험발파 결과에 따라 산출하는 방안을 우선 검토하여야 한다.

③건설엔지니어링사업자는 현장여건상 모의 시험발파가 어려울 경우 다음의 표에 따라 지승근과 삼승근 환산식의 발파진동추정식을 모두 적용하여 진동기준치별, 이격거리별 지발당장약량이 작게 산출되는 환산식을 사용하며, 진동 기준치별 지발당장약량 산출표인 별표 4를 활용하여 보안물건에 대한 터널발파 진동속도 기준 및 이격거리에 맞는 지발당장약량과 이에 적합한 발파패턴을 선정하여야 한다.

구분	지승근	삼승근
터널발파진동추정식	$V = 210 \left(\frac{D}{W^{1/2}} \right)^{-1.63}$	$V = 280 \left(\frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.71}$

제7조(터널발파 표준패턴도 작성)

①제5조 2항에 의한 터널발파 표준패턴도는 암반분류, 굴진장, 사용화약류 등을 고려하여 분류한다.

②터널발파 수량은 심발공법의 원리 및 구조특성, 사용화약류 특성 등을 고려하여 산출하며, 건설엔지니어링사업자는 분류된 발파패턴과 수량에 따라 천공배치도, 뇌관배열도 등 터널 발파패턴도를 작성하여야 한다.

③터널발파 표준패턴도는 시공단계에서 발파당 굴진장, 발파대상 암질의 종류, 막장상태, 사용 화약류 등 현장여건에 따라 조정하여 사용할 수 있다.

제8조(터널발파 소음·진동 기준)

①터널발파 시 보안물건의 안전 확보 등을 위해 다음 표의 발파진동속도 기준에 따라 발파 설계를 해야 한다.

구분	가축	문화재, 진동예민구조물	가옥(조적)	가옥(RC조)	공업용 건물	철골구조
최대입자속도(cm/s)	0.1	0.2~0.3	0.3~0.5	0.5	1.0	1.0~5.0

②터널 발파 시 발생하는 생활소음과 진동에 대한 관리를 위해 「소음·진동관리법」 제21조에 따라 발파 설계를 하여야 한다.

제9조(발파진동 영향검토)

①발파진동 영향검토는 발파진동 영향권 내의 보안물건을 대상으로 하며, 제8조에 따른 터널발파 진동 등을 고려하여 검토한다.

②발파진동 영향검토는 시공 시 발생하는 최대 발파진동속도를 검토하기 위해 지발당 최대 장약량, 발파지점과 보안물건 간 최단거리를 기준으로 한다.

3.3 제3장 터널발파 시공관리

제10조(터널발파 시공관리)

①건설사업자는 제5조에 따른 안전발파 계획 등 설계사항을 원활히 추진하기 위해 설계도서 사전검토를 하여야 한다.

②건설사업자는 발파시공 전·후의 소음, 진동으로 인한 보안물건의 피해 여부를 확인하기 위해 발파진동 영향권 내 보안물건 조사를 시행하여야 한다.

③건설사업자는 현장의 지반조건 및 지형특성에 적합한 발파인자, 발파공법 등을 선정하기 위해 시험발파를 시행한다.

④발파시공 시 체계적인 소음·진동관리, 안전발파 수행을 위해 발파시공 중 소음·진동 상시계측을 시행한다.

⑤건설사업자는 터널발파 시공관리 등을 위해 필요한 비용을 별도로 요청할 수 있으며, 발주청은 원활한 시공관리 등을 위하여 필요한 비용을 반영할 수 있다.

제11조(설계도서 사전검토)

① 설사업자는 발파시공 시점의 여건변화 반영, 설계도서의 적정 여부 등을 확인하기 위해 다음 각 호의 사항을 검토하여야 한다.

1. 보안물건, 암반조건 등 주변환경
2. 설계도서 상의 사용화약, 천공장비 등 발파기자재
3. 터널발파 패턴도 및 수량
4. 그 밖에 설계도서 적정여부 검토를 위한 사항

②건설사업자는 제1항에 따라 설계도서 사전검토 결과를 건설사업관리자를 거쳐 발주청에 보고하여야 하며, 발주청은 조치사항을 건설사업자에게 통보하여야 한다.

제12조(발파진동 영향권 내 보안물건 조사)

①건설사업자는 발파진동 영향권 범위 내의 보안물건에 대하여 사전조사, 중간조사, 최종조사를 실시하여야 한다.

②보안물건 조사는 다음 각 호의 사항을 포함해야 한다.

1. 보안물건의 균열

2. 보안물건의 기울기
3. 박리, 탈락, 백태 등 외관 상태
4. 그 밖에 발파 시공 전·후 변화가 예상되는 사항

③건설사업자는 건설사업관리자, 발주청이 조사시점을 알 수 있도록 조사 날짜가 기록된 시계, 텔레비전, 라디오 등의 매체 또는 조사 현황판을 보안물건과 함께 촬영하여 보고서에 포함시켜야 하며, 제1항에 따른 보안물건 조사 결과를 건설사업관리자를 거쳐 발주청에 보고하여야 한다.

제13조(터널 시험발파)

①시험발파는 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 발주청, 건설사업자, 건설사업관리자, 관할 경찰서와 발파영향권 내 시설물 소유자 또는 주민 입회하에 합동으로 실시함을 원칙으로 하며, 건설사업자는 발파에 따른 민원방지를 위해 주민설명회 개최 등을 통해 주민들에게 충분한 설명을 하여야 한다.

②시공 전 시험발파는 제6조 제1항의 발파인자를 산정하여 시공 단계에서 현장여건에 적합한 발파패턴 및 수량을 산출하기 위해 시행한다.

③시공 중 시험발파는 암반상태 등 현장여건 변화, 발파공법 변경 등이 발생했을 경우 제2항에 따라 산출한 발파패턴 및 수량을 변경하기 위해 시행한다.

④건설사업자는 시험발파 결과에 따른 발파패턴 및 수량 산출, 변경사항을 건설사업관리자를 거쳐 발주청에 보고해야 하며, 발주청은 조치사항을 건설사업자에게 통보하여야 한다.

⑤터널 시험발파는 발파영향권 내에 보안물건이 있는 경우, 터널 막장면에서 최초로 이루어지는 발파공사에서 시행하며, 시험발파 횟수는 터널발파패턴 및 지보패턴이 변화되는 지점 등 막장의 불연속면의 특성, 보안물건의 발파영향 상태 등 현장조건과 암반의 특성에 따라 증감할 수 있으며, 발주청의 승인을 얻어야 한다.

⑥건설사업자는 시험발파 시행자를 선정할 경우 3개 이상의 시험발파 수행계획서 등을 제출받아 발주청의 승인을 득해야 하며, 시험발파는 발파공사에 대한 중요도 및 위험요인을 감안하여 엔지니어링기술진흥법에 의한 용역업체(화약류관리) 또는 기술사법에 의한 화약류관리 기술사사무소 등 발파전문기관에 의뢰하여 실시하고, 발파진동과 발파소음에 대한 계측결과는 화약류관리 전문기술자에 의해 검토와 검증절차를 거쳐 분석하여야 한다.

제14조(터널 시험발파 결과분석)

①발파공사 시행 전에는 설계에 적용된 터널발파 표준패턴도에 따라 시험발파를 하되, 현장 상황이 허락하는 한 실제 시공과 유사한 조건으로 시험발파를 시행하여야 하며, 그 결과에 따라 발파진동 상수(K), 감쇠지수(n)를 구하여 터널 발파설계를 수정·보완하여야 한다.

②시험발파의 신뢰도를 높이기 위해 최소 30점 이상의 자료를 측정해야 하며, 계측결과 추정식의 상관계수가 0.70에 미치지 못하는 경우에는 시험발파를 다시 실시하여야 한다. 이 경우 변화하는 여러 단면의 암질에 대한 유효한 데이터 수집을 위해 동일 터널에서 3회 이상 시험발파 시행을 권장한다.

③건설사업관리자에게 제출하는 시험발파보고서에는 다음 각 호의 사항을 포함하여야 한다.

1. 시험발파의 목적, 조건 및 방법

2. 시험발파 위치도, 발파원 지역의 지질현황 등 주변현황
3. 발파진동·소음의 측정방법 및 결과, 허용기준치 등
4. 터널 발파진동추정식에 대한 발파진동 상수(K), 감쇠지수(n) 도출
5. 지발당 허용장약량, 터널 발파패턴 설계 등
6. 그 밖에 터널발파 시공을 위해 필요한 사항

제15조(발파시공 중 소음·진동 상시계측)

- ①건설사업자는 발파 소음과 진동을 체계적으로 관리하기 위하여 보안물건 등의 피해가 예상되는 구간에 상시계측을 실시하여야 한다.
- ②상시계측 지점은 발파지점에서 가장 가까운 보안물건에서 하며, 발파로 인한 피해가 예상되는 진동예민구조물의 위치 등을 고려하여 조정할 수 있다.
- ③건설사업자는 상시계측 결과를 건설사업관리자 및 발주청에 보고하여야 한다.
- ④상시계측 시 발파 소음·진동은 제8조에 따라 철저히 관리하여야 한다.

제16조(발파 소음·진동 계측기기)

- ①건설사업자는 계측장비를 사용할 경우에는 환경측정기기 검사기관의 정도검사 적합 또는 검교정을 필한 기기으로써, 보증기간이 유효한 것을 사용하여야 한다.
- ②발파진동측정기 센서는 발파지점을 향해야 하며, 발파진동이 보안물건에 미치는 실제 진동값을 확인하기 위해 발파 지점과 가장 가까운 지점의 보안물건 바닥부에 설치하여야 한다.

3.4 제4장 기타사항

제17조(터널발파 집중관리 현장)

- ①발주청은 다음 각 호의 현장 중 발파 소음, 진동의 피해가 클 것으로 예상되는 현장을 집중관리할 수 있다.
 1. 대심도 터널발파 사업
 2. 진동예민구조물 등이 근접하여 존재하는 터널발파 사업
 3. 그 밖에 발주청에서 집중관리가 필요하다고 인정하는 사업
- ②제1항의 집중관리 현장은 제5조에서 제9조의 결과를 검토하여 터널발파의 안전성, 발파 소음·진동의 영향, 발파 난이도 등을 종합적으로 고려하여 설계 또는 건설사업관리 발주 단계에서 선정한다.
- ③제1항에 따른 집중관리 현장은 다음 각 호의 사항을 추가적으로 검토하고 관리해야 하며, 건설사업자는 매월 건설 사업관리자와 발주청에 각각 보고하여야 한다.
 1. 설계도서에 따른 발파작업 적정성
 2. 터널 막장상태에 대한 적용 발파공법의 적정성
 3. 굴착상태와 발파 진동의 상관성 검토

④제1항에 따른 집중관리 현장은 제4조 4항에 따라 다음 각 호의 사람을 상주기술인 또는 기술지원기술인을 가급적 추가 배치 하여야 한다.

1. 화약류관리기술사
2. 화약류관리기사 자격증을 취득한 자로서 기술등급이 특급 기술자이며, 터널의 설계, 시공, 건설사업관리, 감독 등의 경험이 풍부한 자

제18조(벌칙)

건설사업관리자는 시험발파시행자가 제13조에 따른 시험발파 시행, 제14조제4항에 따른 시험발파보고서 제출을 허위 또는 소홀 등으로 인해 부실한 사실을 인지한 때에는 즉시 시정 조치하고 해당 사항을 발주청에 보고해야 하며, 발주청은 보고된 사항이 사회적인 문제를 야기하거나 국가에 손해를 끼치는 등 필요한 경우 시험발파시행자 교체 요구, 관련 법령에 의한 처분요구 등 조치를 취할 수 있다.

3.5 부칙(경과조치)

- ①이 지침은 시행한 날 이후 발주하는 터널발파 설계용역과 터널발파 시공현장에 적용한다.
- ②이 지침은 시행 이전에 발주하여 터널발파 설계중인 용역 또는 공사 중인 터널발파 현장에서는 발주기관의 장이 필요하다고 인정한 경우에는 동 지침을 적용할 수 있다.

4. 맺음말

지금까지 터널발파 공사를 위한 설계 및 시공에 관한 지침이 마련되지 않아 많은 혼선과 갈등이 발생하였을 뿐만 아니라 발파공사에 대한 민원과 분쟁으로 추가적인 공사비 낭비와 공기지연이 발생해 왔다.

따라서 터널발파 지침이 제정되면 발파공사에 대한 설계와 시공관리에 대한 방법을 제시하고, 발파진동 허용기준을 강화함으로써 발파진동으로 인한 건축물 피해를 줄이고 발파공사에 대한 불안, 불신을 해소하여 사회적 갈등을 크게 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 발파진동으로 인하여 지상에 존재하는 건축물에 대한 재산상의 피해를 줄일 수 있고 사람들의 불안감 조성과 정신적 피해로 인한 사회적 갈등을 해소할 수 있을 것으로 기대된다.

향후에, 터널발파 지침에 대한 해설서(시방서)를 후속적으로 제정하여 지침의 근거와 구체적 내용을 제시하고자 한다.

감사의 글

터널발파 설계·시공 잠정지침(안) 연구는 국토교통과학기술진흥원의 지원(과제명: 도심 지하 교통 인프라 건설 및 운영 기술 고도화 연구, 과제번호: 22UUTI-C157786-03)으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

[본 기사는 저자 개인의 의견이며 한국터널지하공간학회의 공식입장과는 무관합니다.]

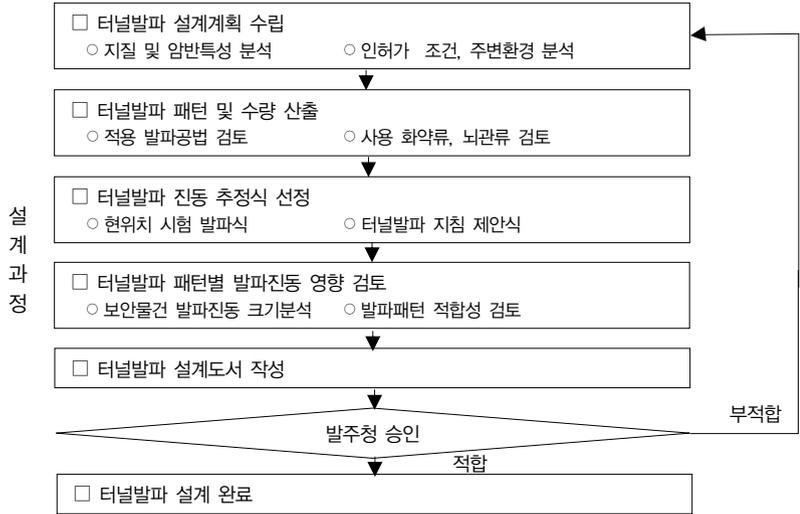
〈별표 1〉 건설엔지니어링사업자, 발주청, 건설사업자, 건설사업관리자 등의 업무범위

단계별	발주청	건설엔지니어링사업자	건설사업자	건설사업관리자	비고
주변환경 및 대상 보안물건의 상황조사		○		△	〈실시설계단계〉
발파영향권 분석		○		△	
발파설계		○		△	• 발파공법 선정·설계 • 발파 예상공사비 산출
집중관리 현장 검토 (건설엔지니어링사업자→발주청)	○	○		△	건설기술진흥법 시행령 제58조2항
시험발파업체 선정 및 승인 (건설사업자→건설사업관리자→발주청)	○		○	○	〈시공단계〉
시험발파 계약·시행			○		
시험발파 결과분석 및 결과승인 (건설사업자→건설사업관리자→발주청)	○		○	○	
발파공법 검토 및 선정			○	○	
발파설계(확정) (건설사업자→건설사업관리자→발주청)	○		○	○	• 발파공사 시방서 작성 • 계약금액 조정
발파 공사 시행			○	○	
발파공사 중 발파진동·소음 상시계측			○	○	
상주기술인 또는 기술지원기술인 선정 및 승인 (건설사업관리자→발주청)	○			○	건설기술진흥법 시행령 제58조2항

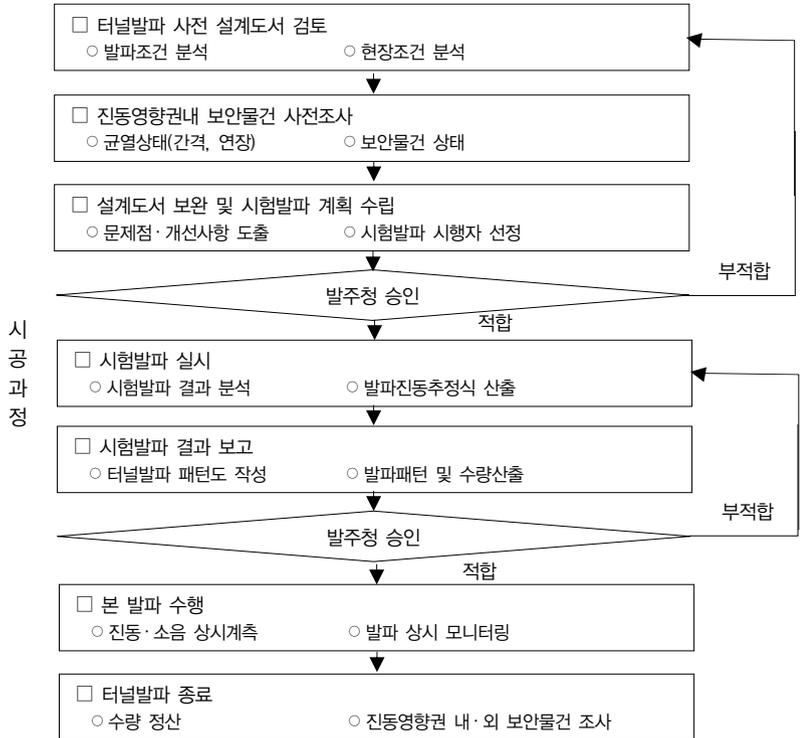
※ ○ 전담자, △ 보조자

〈별표 2〉 터널 발파 설계·시공관리 흐름도

1. 터널발파 설계 흐름도는 다음과 같다



2. 터널발파 시공관리 흐름도는 다음과 같다



〈별표 3〉 터널발파 표준패턴 분류

구분	단위	발파패턴						
		BP-1	BP-2	BP-3	BP-4	BP-5	BP-6	
암반분류(RMR)	-	81 이상	61~80	41~60	21~40	20 이하	갱구부	
심발공법(Cut)	-	Cylinder	Cylinder	Cylinder	V	V	V	
사용화약류	-	다이너마이트, 고성능 에멀전	다이너마이트, 고성능 에멀전	고성능 에멀전	일반 에멀전	일반 에멀전	일반 에멀전	
굴진장	m	3.5~4.0	3.0~3.5	2.0~2.5	1.5	1.2	1.0	
천공장	m	3.85~4.4	3.3~3.85	2.2~2.75	1.65	1.3	1.1	
천공경	mm	41~51	41~51	41~51	41~51	41~51	41~51	
저항선(확대공)	m	1.1~1.2	1.0~1.1	0.9~1.0	0.8~1.0	0.7~0.9	0.7~0.9	
공간격(확대공)	m	1.1~1.3	1.0~1.2	0.9~1.1	0.8~1.0	0.7~0.9	0.7~0.9	
발파계수(확대공)	-	0.75~0.8	0.7~0.75	0.65~0.7	0.6~0.65	0.55~0.6	0.55 이하	
공당 장약 집중도	심발공	kg/m	0.4~0.8	0.4~0.8	0.4~0.8	0.5~0.9	0.5~0.9	0.4~0.8
	확대공	kg/m	0.6~1.0	0.6~1.0	0.5~0.9	0.4~0.8	0.4~0.8	0.3~0.7
	외곽공	kg/m	0.2~0.3	0.2~0.3	0.2~0.3	0.2~0.3	0.2~0.3	0.2~0.3
	바닥공	kg/m	0.8~1.2	0.8~1.2	0.7~1.1	0.6~1.0	0.6~1.0	0.5~0.9
공당 표준장약량(확대공)	kg/공	2.8~3.2	2.4~2.8	1.2~1.7	0.70~0.80	0.48~0.56	0.32~0.40	
표준비천공장	m/m ³	1,700~1,850	1,800~1,900	1,900~2,000	2,000~2,250	2,250~2,350	2,350~2,500	
표준비장약량	kg/m ³	0,980~1,200	0,950~0,980	0,900~0,950	0,850~0,900	0,780~0,850	0,700~0,800	

〈별표 4〉 허용치별 지발당 장약량 산출표

이격거리(m)	허용치별 지발당 장약량(kg/delay)					
	0,05cm/s	0,2cm/sec	0,3cm/sec	0,5cm/sec	1,0cm/sec	5,0cm/sec
5	0,000	0,000	0,001	0,002	0,006	0,107
10	0,000	0,003	0,006	0,015	0,051	0,857
15	0,001	0,010	0,021	0,051	0,172	2,293
20	0,002	0,024	0,049	0,121	0,407	4,077
25	0,004	0,047	0,096	0,236	0,795	6,370
30	0,007	0,082	0,166	0,407	1,273	9,173
35	0,011	0,130	0,264	0,647	1,733	12,486
40	0,017	0,193	0,394	0,966	2,263	16,308
45	0,024	0,275	0,561	1,224	2,865	20,640
50	0,033	0,378	0,770	1,511	3,537	25,481
55	0,044	0,503	0,977	1,828	4,279	30,832
60	0,057	0,653	1,162	2,176	5,093	36,693
65	0,073	0,830	1,364	2,553	5,977	43,064
70	0,091	0,962	1,582	2,961	6,932	49,944
75	0,112	1,104	1,816	3,399	7,957	57,333
80	0,136	1,257	2,067	3,868	9,054	65,232
85	0,163	1,419	2,333	4,366	10,221	73,641
90	0,194	1,590	2,616	4,895	11,459	82,560
95	0,228	1,772	2,914	5,454	12,767	91,988
100	0,266	1,963	3,229	6,044	14,147	101,926
150	0,806	4,418	7,265	13,598	31,830	229,332
200	1,433	7,854	12,916	24,174	56,586	407,702
250	2,240	12,272	20,182	37,772	88,416	637,035
300	3,225	17,671	29,062	54,392	127,319	917,330
350	4,390	24,052	39,557	74,033	173,295	1248,588
400	5,733	31,415	51,666	96,696	226,345	1630,809