

## 터널설계시 지하철구조물 등 지하지장물의 발파진동 허용기준 선정에 대한 고찰



**서성호**  
(주)유신 지반터널부  
부장



**김영철**  
(주)유신 지반터널부  
부장



**황영철**  
(주)유신 지반터널부  
전무



**박명렬**  
(주)삼성물산 건설부문  
지하토목팀 과장

### 1. 서론

최근 한국건설기술평가원에서 실시한 『터널건설기술 선진화를 위한 설계 및 시방기준 분석연구』에서 현재 터

널의 설계, 시공, 감리 및 유지관리 등의 각 실무분야에 종사하고 있는 기준서 사용자를 대상으로 실시된 설문조사가 그림 1과 같이 발표되었다. 이 설문조사 결과에 따르면 터널설계시 『터널설계기준』보다는 발주처의 설계지침

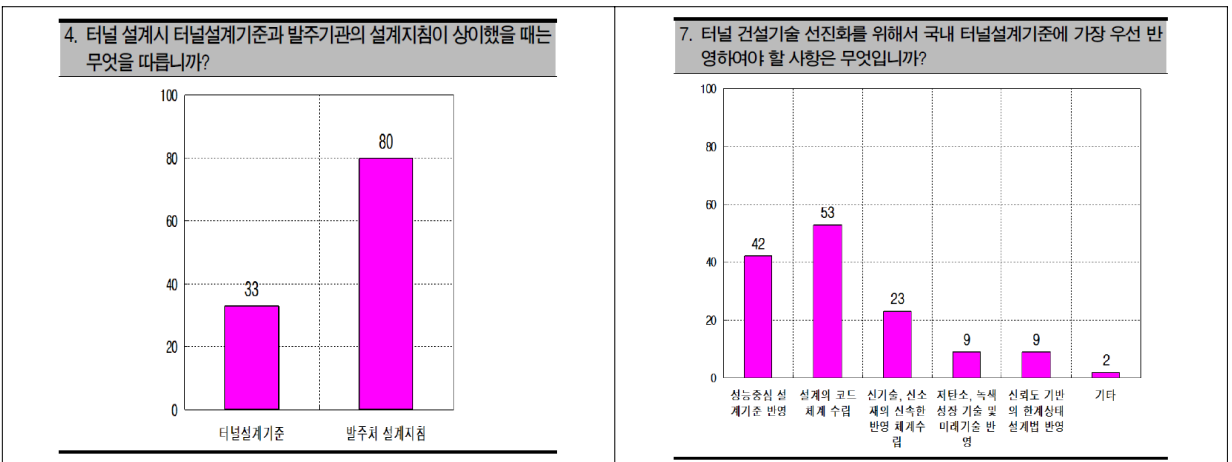


그림 1. 설문조사 결과(일부 발췌)

에 의한 설계가 지배적이며 이러한 현상은 법적 우위를 논하기 보다 발주처의 요구사항이 우위에 있음을 보여주는 것으로 평가하였다. 이러한 결과를 반영하듯 최근 설계 및 시공단계에서 터널설계기준과 해당 기관별 설계기준이 서로 상충하여 설계가 변경되고 공기지연, 공사비 증액 등의 사례가 종종 발생하고 있다.

근래 도심지 구간에서 소음진동 등에 의한 민원발생 소지를 최소화하기 위하여 터널로 선형을 계획하는 경우가 증가하고 있으며, 터널계획시 불가피하게 기존 지하철 Box구조물, 전력구 및 상하수도 터널 등 지장물을 근접하여 통과하는 경우가 발생하게 된다. 이 경우 설계시 발파진동 허용기준은 터널설계기준을 준용하여 계획하였다가 관계기관과의 협의과정에서 관계기관이 제시하는 기준으

로 변경해야 하는 사례가 많아 설계자들이 설계기준 적용에 혼란을 겪고 있다. 따라서, 본 기사는 기존 지하구조물 통과구간에 대한 설계사례를 소개하여 터널설계시 지하구조물 관리기관별 상이한 설계기준을 반영하여 지장물 통과계획을 수립토록 하고, 향후 설계시 고려할 사항과 개선방향을 고찰해 보았다.

## 2. 지하철 Box구조물 하부 통과사례

### 2.1 터널 현황

본 사례는 서울지하철9호선 ○○공구 터널설계로 단선 병렬터널로 계획되었다. 그림2와 같이 양재대로 하부에

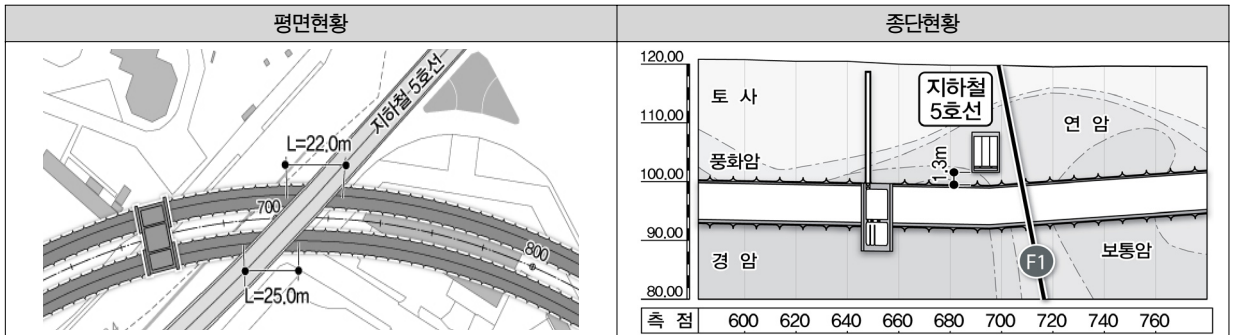


그림 2. 지하철 Box구조물 통과현황

표 1. 발파진동 허용기준

■ 터널설계기준					
구 분	진동에민 구조물	조적식 벽채와 목재천정구조물	지하기초와 콘크리트 슬래브 구조물	철근콘크리트의 중소형 구조물	철근콘크리트 및 철골의 대형구조물
허용입자속도(cm/sec)	0.3	1.0	2.0	3.0	5.0
■ 서울지하철 9호선 3단계 921공구 설계 사례					
구 분	문화재	주택, 아파트	공공건물	철근콘크리트 건물	
허용입자속도(cm/sec)	0.2	0.3	1.0	2.0	
■ 도시철도 인접굴착공사 관리실무(2007)					
구 분			도시철도 구조물(인접 발파공사시)		
허용입자속도(cm/sec)			0.3		

는 서울특별시도시철도공사에서 관리하는 도시철도 5호선이 운영 중에 있으며 5호선 Box구조물 직하부에 터널이 최소이격거리 1.3m로 매우 근접하여 통과하는 것으로 계획되어 있다.

## 2.2 설계기준 적용 현황

당초 설계시 도시철도 5호선 Box구조물의 발파진동기준은 정거장처럼 주간에 사람이 상주하거나 유동이 많은 곳이 아니므로 기존설계사례 및 터널설계기준에 따라 『지하기초 및 철근콘크리트 건물』에 준하는 2.0cm/sec으로 적용하였다. 그러나 시공시 해당 기관에서 허용진동기준을 『도시철도 구조물 인접 발파공사시 관리기준』에 따라 0.3cm/sec을 제시하여 해당구간의 통과 굴착공법을 발파

에서 무진동굴착으로 변경하게 되었다. 해당기관에서 제시한 허용진동기준 0.3cm/sec은 지하철 정거장과 차량만 운행하는 Box구간에 대한 구분 없이 모든 도시철도구간에 적용하는 것으로 되어 있다.

## 3. 전력구 터널 상부 통과사례

### 3.1 터널 현황

본 사례는 ○○○선 복선전철 설계사례로 계획노선이 시흥대로 하부 및 측면에 시공되어 운영중인 기존 전력구 터널(Ø3.5m 쉘드 및 일부 NATM 터널)이 그림 3과 같이 약 10~20m 하부에 위치한다.

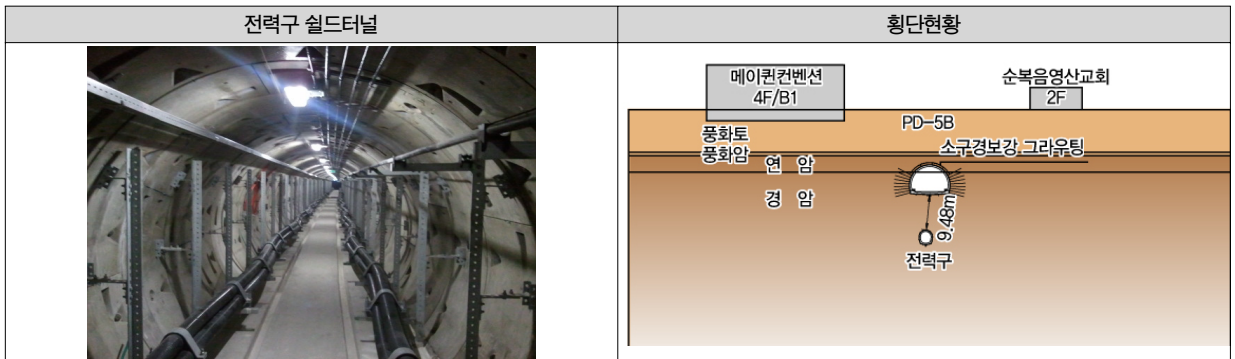


그림 3. 전력구 터널 현황

표 2. 실시설계 초기 발파진동 허용기준

구분	허용기준	선정 근거
법규 기준	-	• 소음·진동 관리법에서는 허용기준이 제시되지 않음
공공기관 및 철도설계 고시기준	1.0cm/sec	• 호남고속철도 및 노천발파 설계지침, 철근콘크리트 구조물
설계 및 시공사례	1.0cm/sec	• 철도, 지하철, 도로 및 전력구 적용사례 하한값 적용
기존터널 근접 시공관리	1.0cm/sec	• 지반특성과 발파 충격압의 고주파 특성을 반영
해외기준(스위스)	1.8cm/sec	• 발파 빈도와 주파수 특성을 반영한 암반내의 터널기준
검토 결과		• 전력구 터널 구조물에 대한 허용기준은 법규로 명시되어 있지 않음 • 국·내외 연구사례와 설계·시공사례를 참조하면 $V=1.0\text{cm/sec}$ 이 적절할 것으로 판단됨

### 3.2 설계기준 적용 현황

설계 초기 발파진동기준은 설계기준 및 설계사례를 고려하여 전력구터널의 허용진동 기준을 1.0cm/sec로 반영하여 계획하였다. 그러나, 설계 후반 해당 전력구 관리주체인 한국전력공사와 협의 중 『지중송전설비 인접굴착공사 협의기준』의 진동기준인 0.5cm/sec와 케이블 접속부는 무진동파쇄 적용을 요청함에 따라 제어발파 및 무진동 굴착구간이 증가로 굴착공사비가 증대하게 되었다.

발파진동 저감방안은 협의사항을 반영하여 1단계 선대 구경심발을 적용하고, 2단계 굴진장을 축소하고, 3단계로

무진동 굴착공법을 단계별로 적용하여 공사비 증가를 최소화 하였으며, 발파진동 상시계측시스템을 도입하여 공사중 안전관리토록 하였다.

## 4. 광역상수관 터널 근접 통과사례

### 4.1 터널 현황

본 사례는 광명, 소하택지개발사업의 일환에 따른 교통정체 완화와 지역발전 도모 및 기존 도로와의 연계를 도

표 3. 한국전력공사 협의사항

구 분	협 의 내 용	한국전력 내부방침
근거	• 지중송전설비 인접굴착공사 협의기준(2007년)	<b>지중송전설비 인접굴착공사 협의기준</b>
전력구 진동기준	• 굴착공법은 가급적 발파공법을 지양하도록 해야 하나, 부득이 발파를 해야 할 경우 발파진동 허용치를 0.5cm/sec 이하로 제한하여야 한다.	2007. 7.
근거	• 케이블 접속부 등 진동에 취약한 시설 주위는 원칙적으로 무진동파쇄 공법을 적용하여야 하나, 현장여건에 따라 별도의 보호설비를 설치할 경우 상호 협의하여 발파공법을 적용할 수 있다.	送變電本部 送變電處

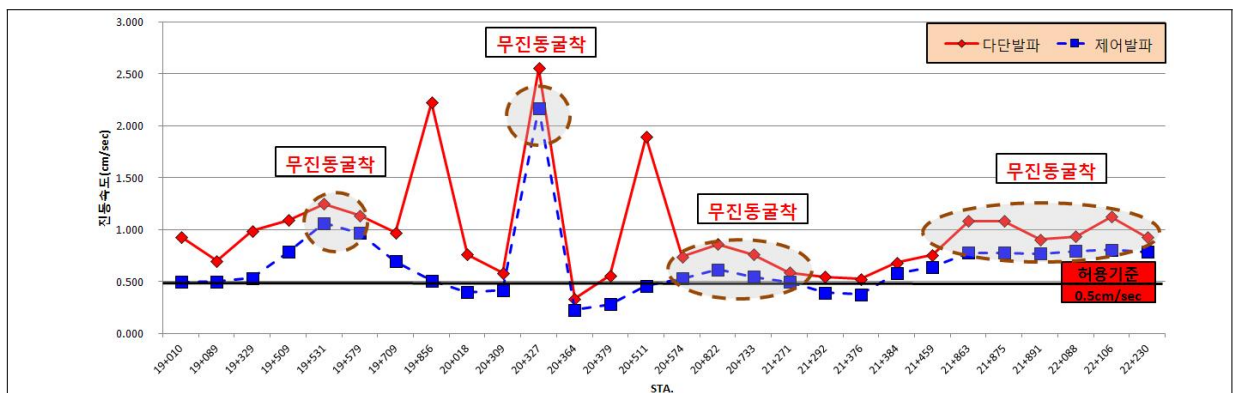


그림 4. 진동기준 변경에 따른 구간별 굴착공법 검토

모하기 위하여, 광명시 소하 1동 가리대에서 노온사동 광명로를 연결하는 시흥방향(805m)과 가리대 방향(785m)의 병렬터널을 계획하였다. 본 터널의 폭은 14.5m 이며, 기존의 수로터널과 신규 구름산터널이 대략 470m 구간에 걸쳐 평행하게 진행, 해당 구간에서 상호간섭이 발생하고 있다. 기존의 수로터널은 경기도 광명시 소하동 일대에 위치하는 수도권광역상수도 3,4단계 5터널은 인천광역시

를 비롯한 시흥, 광명, 부천 등의 인근 5개 지자체에 일일 144만 톤의 용수를 공급하는 압력 상수도 수로터널이다.

### 4.2 설계기준 적용 현황

설계 초기 발파진동기준은 수로터널의 발파진동 허용기준이 없으므로 국내 시공사례 조사결과 0.3~1.0cm/sec

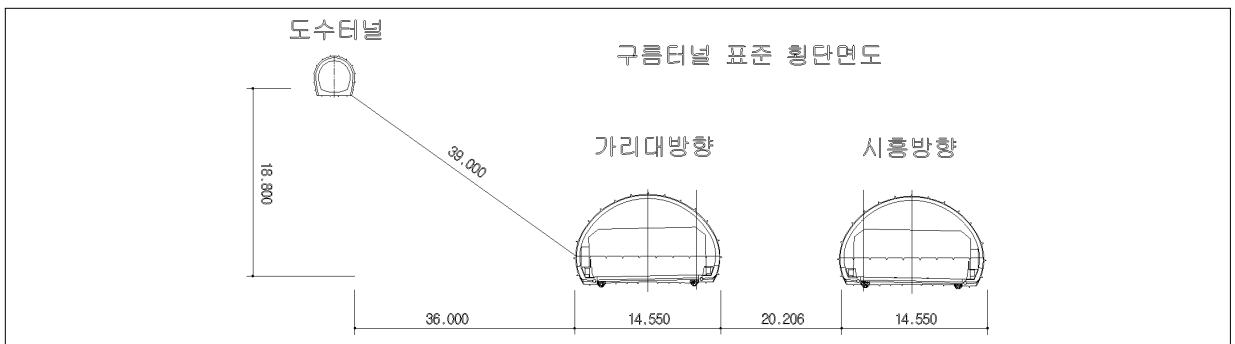


그림 5. 수로터널 현황

표 4. 실시설계시 발파진동 허용기준

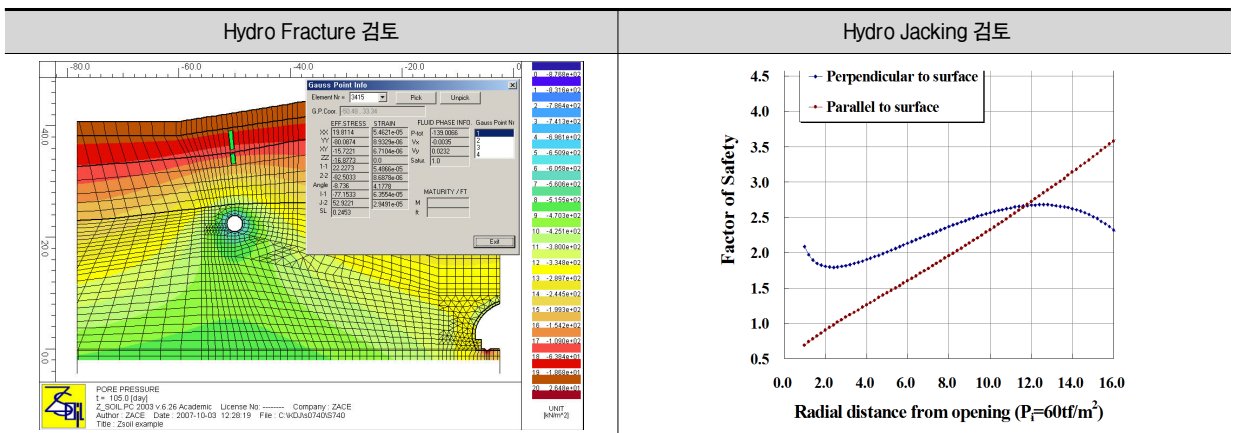
구분	부산-울산간 고속도로 건설공사	강남순환 고속도로 건설공사
개요도		
현황	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 규격 : D=2.2m, 공업용수</li> <li>• 수로형식 : 비압력관</li> <li>• 허용기준 : 1.0 cm/sec</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 규격 : D=3.2m, 상수용</li> <li>• 수로형식 : 압력관</li> <li>• 허용기준 : 0.3 cm/sec</li> </ul>
검토결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수로터널에 대한 발파진동 허용기준이 법규로 명시되어 있지 않음</li> <li>• 국·내외 설계 및 시공사례를 참조하여 1.0cm/sec이 적정할 것으로 판단됨.</li> </ul>	

이었고, 해외사례로 중국 10cm/sec, 구소련 6.0cm/sec, 스위스 3.0cm/sec로 조사되어 다소 보수적인 국내 시공 사례를 반영하여 1.0cm/sec로 설계기준을 계획하였다. 그러나, 설계 후반 해당 도수터널 관리주체인 한국수자원공사의 요구사항으로 수로터널 인근지반의 유로 생성 등에 따른 인접 지반이완 및 이로 인한 Hydraulic Fracture

/Jacking 에 대한 검토를 요청하였다.

외부전문가를 통하여 안정성 검토를 수행한 결과, 수로터널 인근을 제외하고 모두 압축응력 상태로 Hydrofracture에 대하여 안전하였으며, 구름터널과 이격거리는 38m 이상으로 안전율이 모두 2.0이상으로 나타나 Hydrojacking에 대해서도 안전한 것으로 나타났다.

표 5. 한국수자원공사 협의사항



- 수로터널 인근을 제외하고 모두 압축응력상태이며, 구름터널과 이격거리는 38m 이상으로 안전율이 모두 2.0이상으로 나타나 Hydrofracture 및 Hydrojacking에 대해 모두 안정함.
- 한국수자원공사와 협의를 통해 구간별로 0.3~0.7cm/sec를 적용하는 것으로 함.

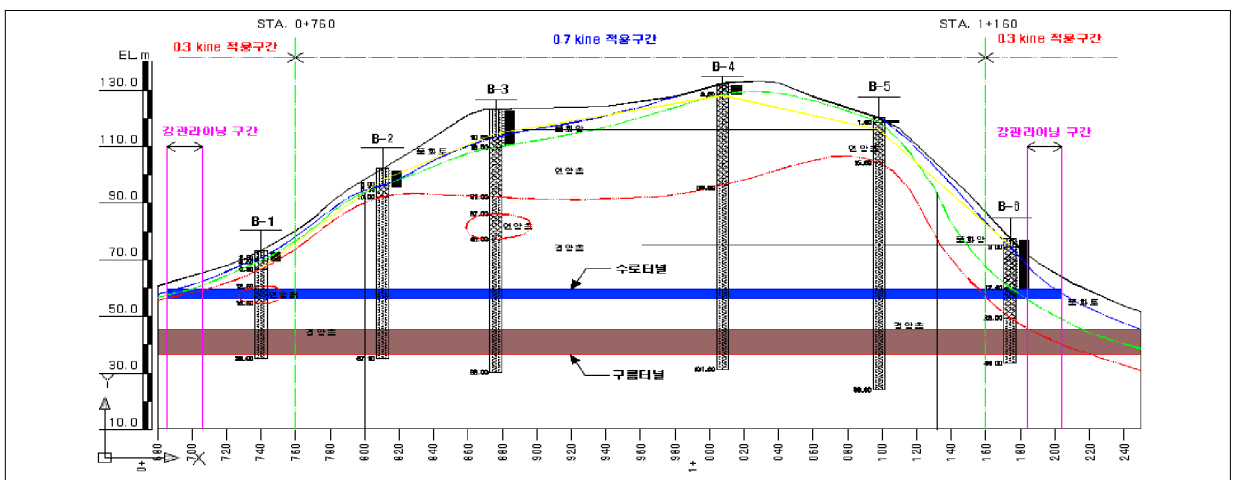


그림 6. 수로터널 구간별 허용발파 진동기준

그러나, 최종적으로 한국수자원공사와 협의를 통해 수로터널은 1종 시설물로 분류되는 국가 중요시설물이며 원활한 용수공급이 매우 중요시되는 운영관리상 특성을 감안할 때, 수로터널 인근의 굴착공사에 대한 허용 발파진동 기준치를 그림 6과 같이 구간별 0.3~0.7 kine으로 차등 적용하게 되었다.

## 5. 맺음말

지금까지 해당 기관별 구조물(지하철 Box구조물, 전력구 터널, 광역상수관 터널)에 대한 터널 통과사례를 통해 발파진동 허용기준의 결정과정을 살펴보았다. 발파진동에 대한 허용기준은 터널설계기준서나 유사구간 설계 및 시공사례를 통하여 계획하고 있으나, 해당기관과 협의과정에서 적용기준이 상충되는 부분이 발생할 경우 대부분 관계기관의 기준으로 변경되어 적용되고 있다.

설계시 유사 설계사례를 참고하여 적용할 경우, 시공시 해당기관과 협의과정에서 설계기준이 변경될 수 있으며 이렇게 변경된 사항이 설계로 Feed Back 되지 않는 경우가 많다. 따라서, 기술자들이 설계기준에 제시되지 않은 특수한 구조물인 경우 관계기관의 관리기준이나 시공 중 자료를 적극적으로 공개하여 관계기관 협의로 인한 불필

요한 시간과 노력이 소모되지 않도록 기술자 스스로 정보 공개에 대한 인식을 바꿀 필요가 있다.

시공사례를 참고할 경우에도 비록 기사공된 사례로 검증되었다고 판단할 수 있으나, 관련기관에 따라 요구하는 검토사항에 대하여 검토할 필요가 있다. 수로터널의 경우 내수압 및 외수압조건의 변화, 수로터널 인근지반의 유로 생성 등에 따른 인접 지반이완 및 이로 인한 Hydraulic Fracture/Jacking 현상의 안정성을 반드시 검토하여야만 관계기관 협의가 원만히 진행되리라고 판단된다.

끝으로, 발파진동 허용기준 선정의 문제는 굴착공법, 공사비, 공사기간 등과 연관된 중요한 사항이므로 관계기관에서 제시한 기준들도 공학적, 기술적인 근거에 의하여 구조물 특성별 기준을 세분화하여 기술자들이 수공할 수 있는 정량적인 기준 정립이 필요할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

1. 박광준, 윤경렬, 정용수 2013, "터널기술 선진화를 위한 건설 기준 관련 설문조사," 자연,터널 그리고 지하공간, 한국터널지하공간학회.
2. 김두준, 2007, "구름산터널-수로터널 안정성 연구용역".
3. 대한주택공사, 2007, "광명소하지구 광역교통도로 실시설계 일반보고서".