

# 경인선 철도 하부 통과 도심지 대단면 NATM 터널의 시공사례



박 병 선

평화엔지니어링 상무  
토질 및 기초기술사  
(dreampbs2000@naver.com)



이 관 영

평화엔지니어링 부사장  
토목시공기술사  
(kylee1007@gmail.com)



남 궁 영 환

동아기술공사  
감리부 이사  
(yhwani1@nate.com)



고 평 국

주)한라 인천김포 설계팀  
차장  
(panggo7@hanafos.com)

## 1. 서론

도심지 하부를 터널로 통과하는 고속도로 공사의 경우 철도 및 주요 구조물 하부를 통과해야 하는 어려운 문제점이 있으나, 최근에는 경제성 등을 고려하여 도심지 하부에도 터널을 계획하는 추세이다. 특히 철도 하부를 통과할 경우 터널 안정성도 중요하지만 공사중 철도에 대한 안정성 또한 매우 중요한 사항이므로 지하철 인접 굴착공사 매뉴얼에 의한 근접도 평가를 통하여 단계별 보강방안을 수립하여야 한다. 또한 굴착에 따른 터널 안정성과 궤도 침하안정성, 철도교량이 있는 경우 철도교량 침하안정성, 발파진동 영향검토 등을 통해 사전에 안정성 확인이 반드시 필요하며, 터널 굴착중에는 터널 상부의 철도와 철도구조물, 터널 내부에 계측기를 설치하여 정밀하고 체계적인 관리가 필요하다. 본고에서는 제2외곽순환(00-00)고속도로

민간투자사업 건설사업과 관련하여 1-2공구 구간의 00터널이 경인선(부평~동인천간) 철도 하부를 도심지에서 3차로 대단면 NATM 터널로 통과함에 따라 철도보호지구내 공사시의 철도공사와 업무 협의진행 절차, 철도 및 터널안정을 위한 보강대책, 안정검토, 계측관리사항 등에 대해 정리하여 동일한 공사와 관련된 터널 기술자에게 참고 사례로서 소개하고자 한다.

## 2. 철도하부 통과현황

### 2.1 주변현황

철도와 터널과의 교차지점은 경인선 구로기점 24.7km 지점 축현교와 교차하며, 토피고는 최대 26.5m, 철도 축현교의 기초형식은 PHC 말뚝기초로

경인선 철도 하부 통과 도심지 대면면 NATM 터널의 시공사례

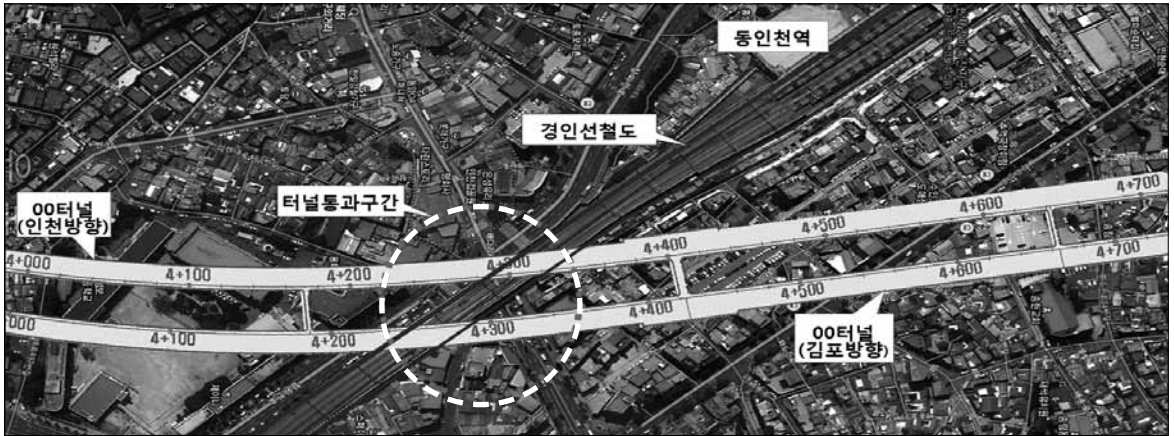


그림 1. 주변현황도

하단부터 터널 천단까지의 거리는 18.5m 이격되어 있는 상태이다. 터널 상부의 경우 동인천 역사를 중심으로 축현교, 경인선 철도가 위치하며, 주변은 학교시설, 가옥, 건물 등 도심지로 형성되어 있고, 또한 교통량이 상당한 교차로도 위치하고 있는 상태이다.

2.2 지반현황

본 구간의 지질조건은 화강암 및 화강편마암으로 구성되어 있으며, 터널이 통과되는 부분의 지층구성은 매립토~풍화암의 두께가 25.4m로 철도하부에 위

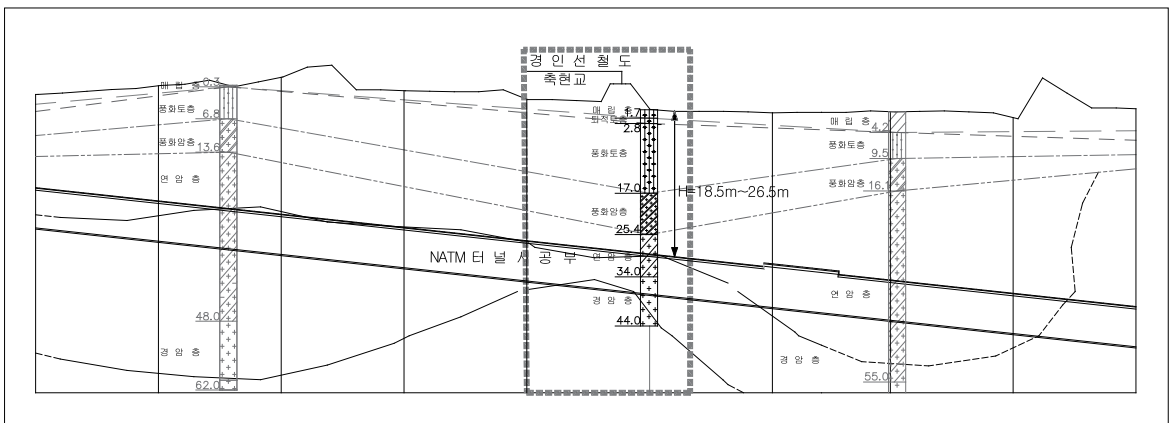


그림 2. 지층 개요도

표 1. 지층현황

지층구분	심도(m)	두께(m)	지층상태	비고
매립토층	0.0~1.7	1.70	실트질모래	
퇴적토층	1.7~2.8	1.10	실트질모래	
풍화토층	2.8~17	14.2	실트질모래	
풍화암층	17~25.4	8.40	화강암의 풍화암	
연암층	25.4~34	8.60	화강암 및 화강편마암	

치한 터널구간은 대부분 연암으로 구성되어 있다.

### 2.3 철도하부 터널횡단 현황

#### 1) 축현교 평면 및 횡단현황

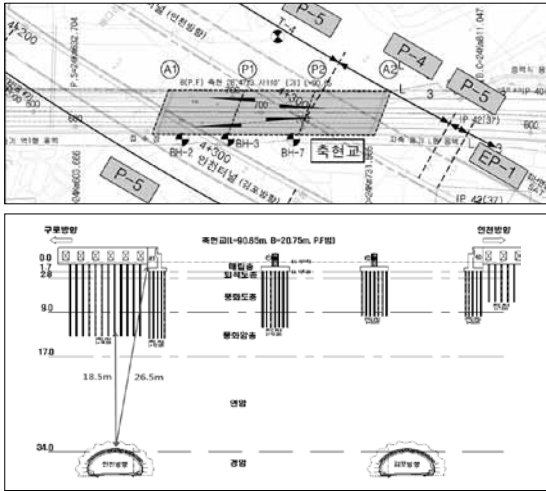


그림 3. 축현교 평면 및 종단면도

#### 2) 경인선 철도 축현교 현황

##### (1) 경인선 철도 전경



그림 4. 터널 상부 경인선 철도 축현교

##### (2) 경인선 철도 운행 현황

표 2. 철도 운행현황

횡단 위치	- 경인선 : 구로기점 24.7km 지점 - 00터널 : 4km 200~4km 320 지점(L=120m)
열차운행 시간	- 인천역 방향(하행) 첫차 05:43, 막차 24:09 (평균 10분 간격 운행) - 구로역 방향(상행) 첫차 05:04, 막차 23:47 (평균 12분 간격 운행)

### 3. 근접도 평가

#### 3.1 근접도 평가 기준

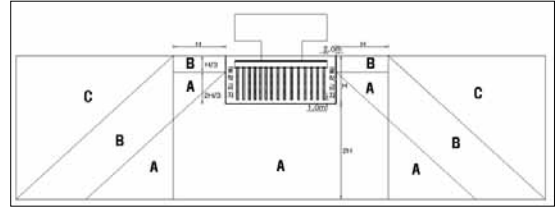


그림 5. 굴착공사 근접도 평가 기준

표 3. 지하철 인접 굴착공사 매뉴얼 기준

등급	인접공사형태	내용
A급 (대책 시공)	구조물 하단통과시	기초파일 길이(H)의 2H 이내
	인접굴착시	G.L 기초파일 길이(H) 범위내 H/3 이하 기초파일 H/3 지점에서 45° 하향구배 선 이하
B급 (주의 시공)	구조물 하단통과시	기초파일 길이(H)의 2H 이상
	인접굴착시	기초파일 H/3 지점에서 45° 하향구배 선 이상 G.L에서 수평거리 H 지점에서 하향구 배선 이하 기초파일 H 범위내 H/3 이하
C급 (무조건 범위)	구조물 하단통과시	-
	인접굴착시	G.L에서 수평거리 H 지점에서 하향구 배선 이상

#### 3.2 당 현장 근접도 평가

당 현장 철도교량 축현교 근접도 평가결과 00터널 굴착시 모두 A등급에 해당되어 시공 중 대책시공에 해당되어 철도안정 및 터널안정에 필요한 대책을 수립하였다. 당 현장 근접도 평가결과는 그림 6과 같다.

### 4. 터널보강대책

#### 4.1 지보패턴 및 보조공법 현황

경인선 철도 하부 통과 도심지 대단면 NATM 터널의 시공사례

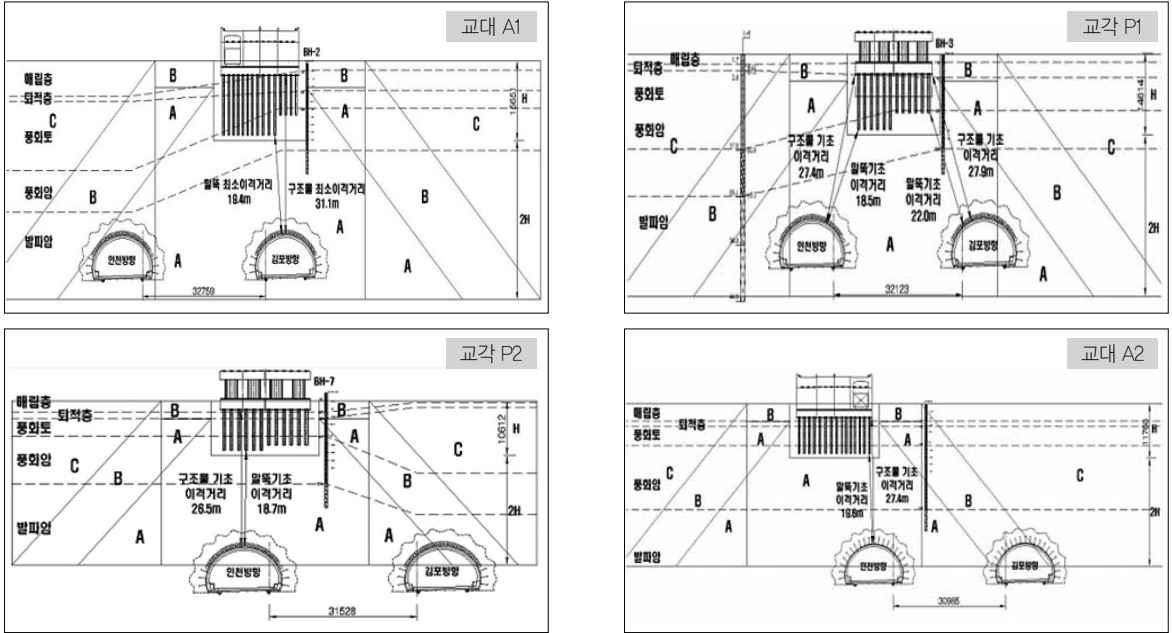


그림 6. 근접도 평가 결과

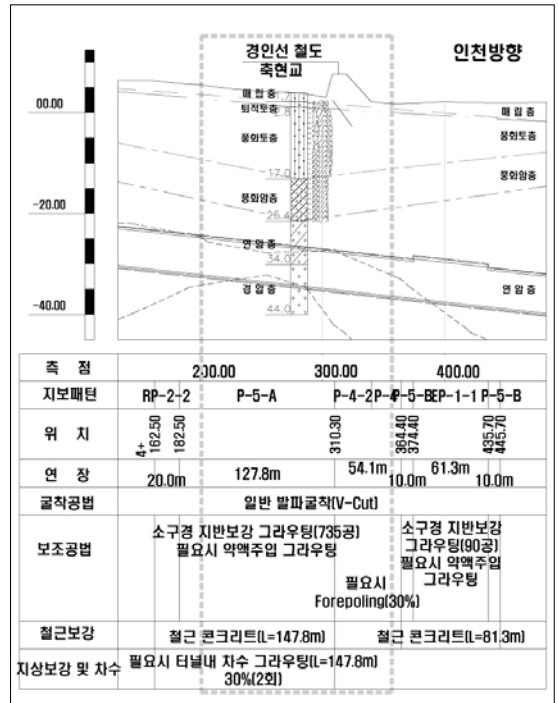
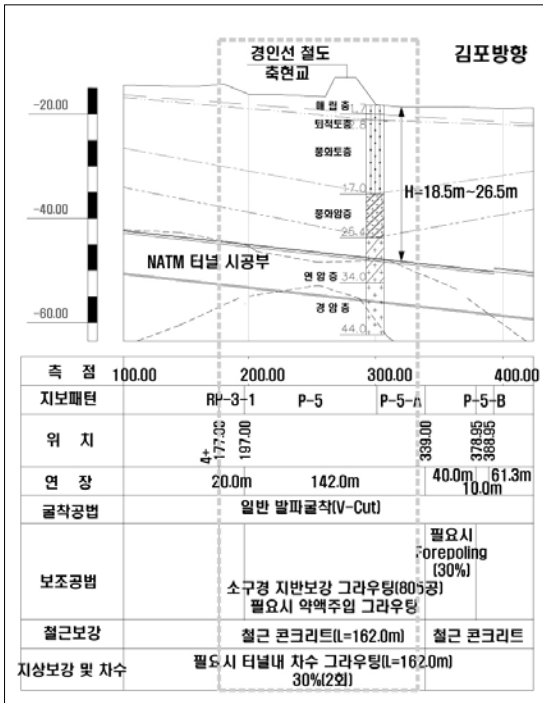
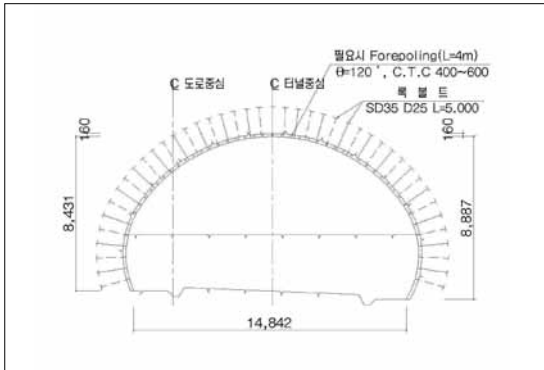
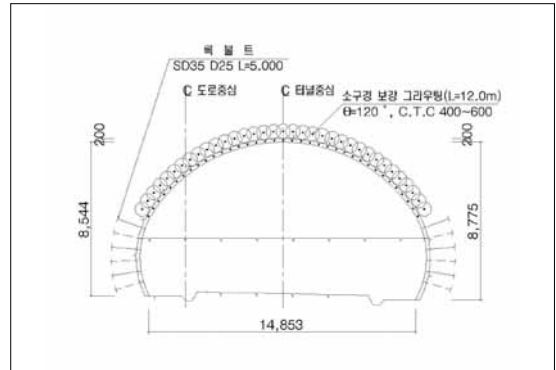


그림 7. 축원교 통과구간 지보패턴 및 보조공법

## 4.2 지보패턴 강화



지보패턴 P-4(3차로 대단면)



지보패턴 P-5(3차로 대단면)

그림 8. NATM 터널부 지보패턴도

터널 상부 지반조건에 따라 구간별로 지보패턴을 한 단계 강화시켜 P-4, P-5로 적용 하였으며, 보강공법으로는 지보패턴 P-4인 경우 필요시 포오폴링과 지보패턴 P-5구간은 소구경 강관보강그리우팅을 시공하였으며, 전구간 모두 필요시 차수그리우팅을 적용하였다.

## 4.3 차수그리우팅 적용

## 5. 철도하부 통과에 따른 안정성 검토

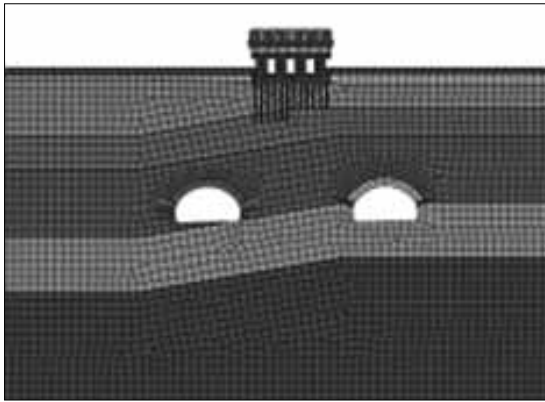
터널 상부에 있는 축현교 철도교량의 말뚝기초 안정성 판단과 터널 굴착중 터널 내부의 천단, 내공변위, 숏크리트 휨압축응력, 록볼트축력과, 또한 궤도침하량, 교량침하량 등의 안정성을 검토한 결과는 그림 10, 표4와 같다.

개요도		평면현황	
<p>목적</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 차수효과와 부수적 보강효과</li> <li>- 지반에 침투주입으로 지수효과</li> <li>- 원지반 응집력 강화로 안정확보</li> </ul>	<p>적용</p>	<p>터널 굴착중 감지공을 통해 다량의 용수 발생이 예상되는 구간에 차수목적의 차수그리우팅을 실시함</p>	

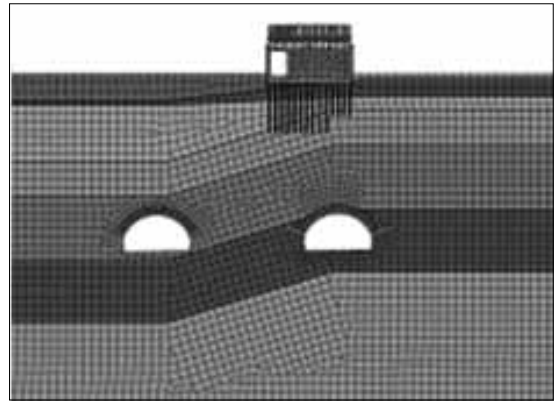
그림 9. 차수그리우팅 보강도



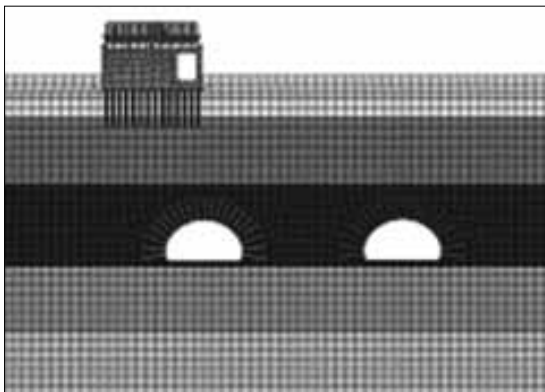
### 5.1 철도교량 축현교 안정성 검토



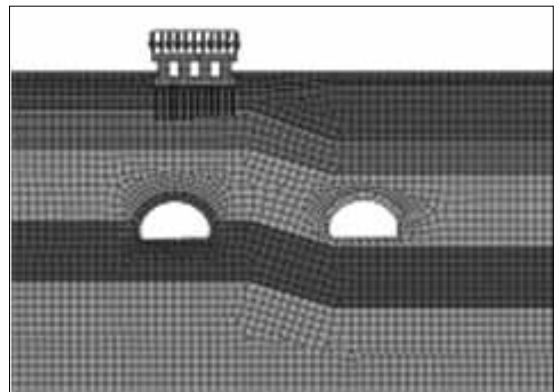
교대 A1



교각 P1



교대 A2



교각 P2

그림 10. 수치해석 모델링

#### 1) 터널 굴착에 따른 기초 안정성 검토 결과

표 4. 철도교량 축현교 기초 안정성 검토 결과

구 분	최대축력(kN)	허용지지력(kN)	검 토	비 고
교대 A1	1,329	1,650	O.K	PHC(φ500)
교각 P1	929	2,300	O.K	PHC(φ600)
교각 P2	1,035	2,300	O.K	PHC(φ600)
교대 A2	1,370	1,650	O.K	PHC(φ500)

## 5.2 터널 내부 안정성 검토

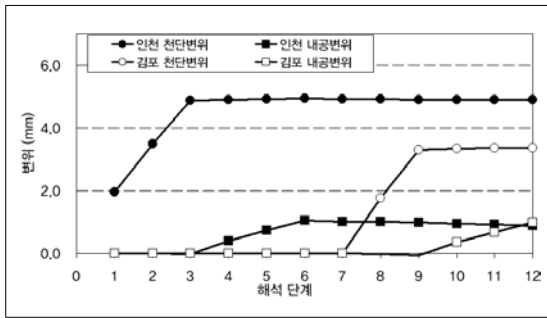
터널 굴착으로 발생하는 변위를 측정하여, 변위결과를 시공 중 또는 시공 후 계측결과 분석에 활용하기 위해 지보재인 슛크리트에 발생하는 최대 응력과 록볼트에 발생하는 최대 축력을 검토하여 지보재의 적정성 및 터널 안정성을 분석한 결과는 그림 11, 표 5와 같다.

### 1) 터널 천단침하등 해석결과

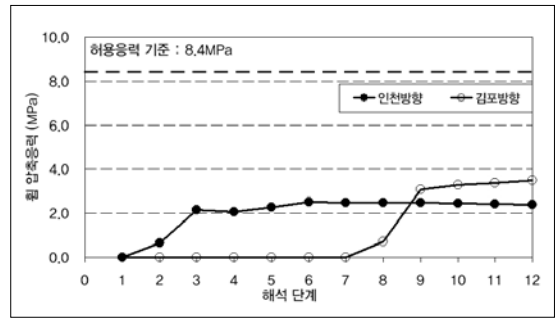
터널 내부 안정성에 대한 검토결과 허용기준 이내로 모두 안정하며, 터널굴착으로 인해 터널 상부 축현교 철도교량의 안정성에는 문제가 없는 것으로 검토된다.

## 5.3 궤도 침하 안정성 검토

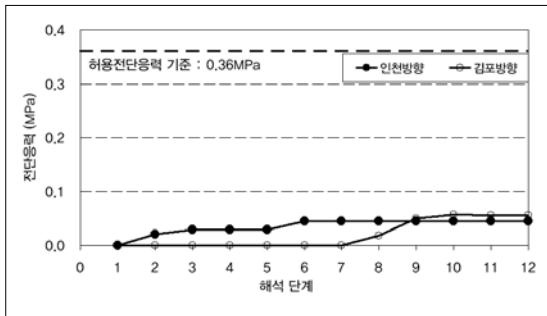
철도 궤도정비기준(선로유지관리지침)에 따른 터널 굴착중 궤도의 침하안정에 대해 검토하였으며, 그 결과는 표 7과 같다.



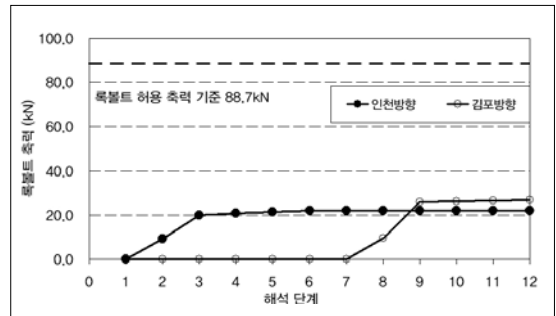
천단 및 내공변위 발생경향



스딕리트 휨 압축응력 발생경향



스딕리트 천단응력 발생경향



록볼트 축력 발생경향

그림 11. 터널 굴착시 지보재 및 터널 안정성 분석결과 값 분포도

표 5. 철도교량 위치별 터널 수차해석 결과

구 분	천단변위 (mm)	내공변위 (mm)	S/C 휨압축응력(Mpa)		록볼트축력(kN)	
			결과값	허용기준	결과값	허용기준
교대 A1	8.11	3.80	4.4	8.4	75	86
교각 P1	6.20	2.80	3.2		52	
교각 P2	7.26	1.01	3.6		77	
교대 A2	7.54	2.84	3.9		71	

1) 궤도정비기준(선로유지관리지침, 2013. 05)

표 6. 궤도정비기준

구 분	본 선	측 선
궤 간	+10 -2	+10 -2
수 평	7	9
면맞춤	- 직선 : 레일길이 10m 대해 7mm - 곡선 : 레일길이 2m 대해 3mm	- 직선 : 레일길이 10m 대해 9mm - 곡선 : 레일길이 2m 대해 4mm
줄맞춤	레일길이 10m 대해 7	레일길이 10m 대해 9
적 용	o	

2) 궤도 침하안정성 검토결과

표 7. 궤도 침하안정성 검토결과

단 면	고저(면맞춤), (mm)			수평(수평틀림), (mm)			
	최대침하량	부등침하량	허용기준	좌레일 A	좌레일 B	높이차(A-B)	허용기준
교대 A1	2.20	0.52	8.4	0.493	0.553	0.060	86
교각 P1	2.12	1.84		2.000	1.720	0.282	
교각 P2	3.25	1.33		2.340	2.480	0.140	
교대 A1	4.29	2.75		2.470	2.160	0.310	

철도 궤도정비기준(선로유지관리지침)에 의한 철도 궤도 침하에 대한 안정성 검토결과 고저(면맞춤)과 수평(수평틀림) 모두가 허용기준 이내인 것으로 검토된다.

5.4 교량 침하안정성 검토

1) 구조물 손상도 평가 기준

표 8. 구조물 손상도 평가기준

구분	허용기준	적용근거	적용구조물
최대침하량	25mm	최대 허용침하량(Sowers, 1962)	일반건물 (민가등) 고층아파트
부등침하량	0.003s(s: 두지점간 거리)	철근콘크리트 구조(Sowers, 1962)	
각변위량	1/500	철근콘크리트 구조 균열 발생한계(Bjerrum, 1963)	

$$\text{구조물 침하량 } A = \text{Max} [\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \dots, \dots]$$

$$\text{부등 침하량 } A = \omega_1 - \omega_2 (\omega_1 \geq \omega_2)$$

$$\text{각변위} = \frac{(\omega_{fA} - \omega_{fB})}{l_{AB}}$$

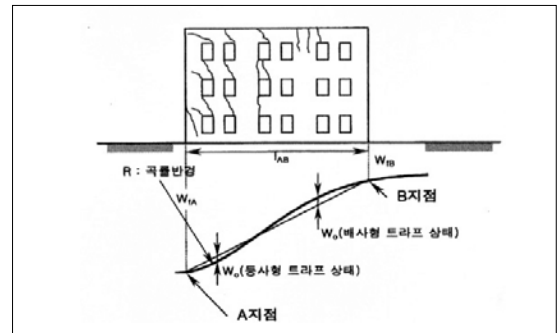


그림 12. 구조물 손상도 평가도



## 2) 철도 교량 침하안정성 검토결과

표 9. 철도 교량 침하안정성 검토결과

구 분	최대침하량(mm)	부등침하량(mm)	각변위	비 고
교대 A1	2.20	0.52	1.7E-05	
교각 P1	2.12	1.84	6.1E-05	경간장 30m
교각 P2	3.25	1.33	4.5E-05	경간장 30m
교대 A2	4.29	2.75	9.2E-05	경간장 30m
허용기준	25.0	90.0	1/500	

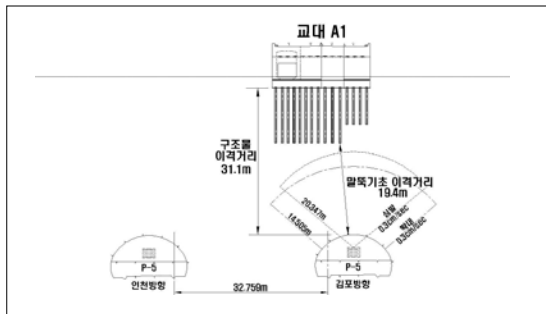
축현교 철도 교량에 대한 침하 안정성 검토결과 최대침하량, 부등침하량 모두가 표 9와 같이 허용기준 이내인 것으로 검토된다.

## 5.5 발파진동 영향검토

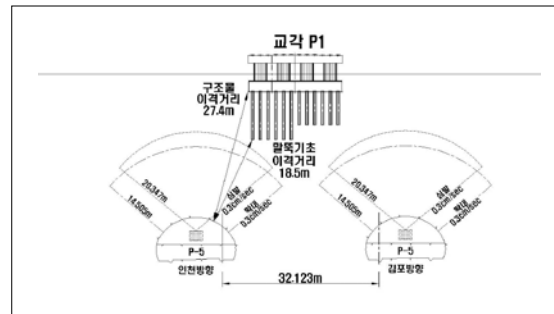
### 1) 예상문제점

표 10. 발파진동 예상 문제점 및 추정식

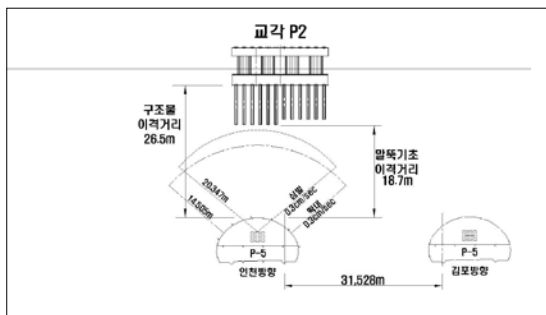
구 분	예상문제점
소음/진동	터널 굴착시 발파 진동으로 인한 철도교량의 진동영향 우려를 고려하여 진동피해여부와 대책방안 수립 필요
발파진동 추정식	$V = k \cdot W^{0.57} \cdot D^{-1.7}$ D : 이격거리(m), W: 최대지발당 장약량(kg)



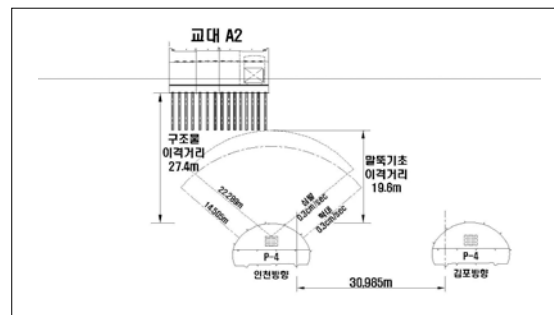
교대 A1



교각 P1



교각 P2



교대 A2

그림 13. 진동영향 검토단면도

## 2) 진동영향 검토결과

### (1) 진동영향 검토단계

진동영향 검토결과는 그림 13과 같이 제시되어 있다.

### (2) 발파진동 영향 검토결과

표 11. 발파진동 영향 검토결과

구 분		이격거리 (m)	진동예상값 (cm/sec)	허용값 (cm/sec)
교대 A1	구조물	31.1	0.146	0.3
	기초파일	19.4	0.325	1.0
교각 P1	구조물	27.4	0.181	0.3
	기초파일	18.5	0.353	1.0
교각 P2	구조물	26.5	0.191	0.3
	기초파일	18.7	0.346	1.0
교대 A2	구조물	27.4	0.211	0.3
	기초파일	19.6	0.373	1.0

터널 발파로 인한 축현교 철도 교량에 대한 발파진동에 대한 영향을 검토한 결과 표 11과 같이 허용기준 이내인 것으로 검토된다. 또한 실제 굴착시 현장에서 발파진동을 감소시키기 위하여 선대구경공법, 제어발파 적용과 발파시 마다 진동을 측정하여 철도 및 축현교 교량의 안정성이 확보 될 수 있도록 관리하였다.

## 6. 업무추진절차 및 안전관리계획

### 6.1 업무추진절차(철도청과 시공사)

표 12. 업무추진절차

추진절차	
1	철도횡단입체교차시설심의 (입체교차화시설구조기준 제5조, 국토해양부 고시제2012-516호)
2	철도횡단 입체교차시설(인천터널) 심의의견 조치계획 제출
3	철도보호지구안에서의 행위신고서 제출 (철도안전법 45조 및 동법 시행령 제46조)

추진절차	
4	착공계 제출
5	경인선 통과구간 관련 차단계획서 제출 (경인선 축현교 상부 계측기 설치공사)
6	월간시공계획 제출
7	선로작업협약서(차단계획계획서) 제출
8	철도은행안전관리자 선임
9	철도내(축현교) 계측기 설치작업
10	익월시공계획서, 안전점검, 시험발파 결과 보고서 제출
11	철도보호지구내 굴착시작
12	철도보수요원 선임

### 6.2 안전관리계획

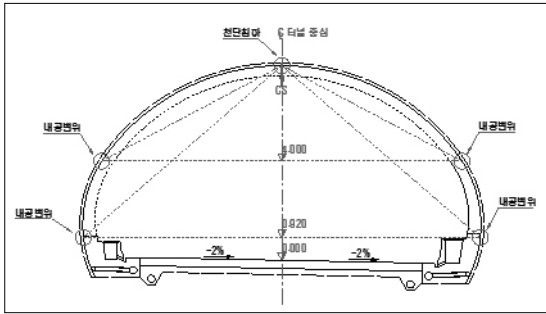
표 13. 안전관리계획

구 분	단계별 관리내용
시험발파	• 철도 진입 전 시험발파 시행(2회)
안전점검	• 공사 전, 중, 완료(총 3회 실시)
레일빔	• 2차 계측기준치 초과시 시행 • 연장 약 600m
축현교 기초보강	• 2차 계측기준치 초과시 시행
철도안전 관리자	• 철도보호지구내 공사구간 라이닝완료시까지 24시간 상주 • 2명 선임(주,야 각 1명)
선로보수요원	• 철도보호지구내 공사구간 라이닝완료시까지 24시간 상주 • 4명 선임(2명/1조, 총 2조 운영)

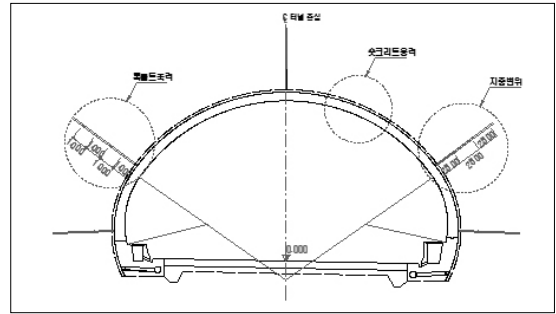
## 7. 계측관리

### 7.1 터널계측

철도하부 구간의 터널내부 계측기 설치는 일반적인 터널과 동일하게 일상계측으로 천단침하계, 내공변위



천단침하, 내공변위(일상계측)



록볼트축력, 지중변위, 숏크리트응력(정밀계측)

그림 14. 터널 내부계측 단면도

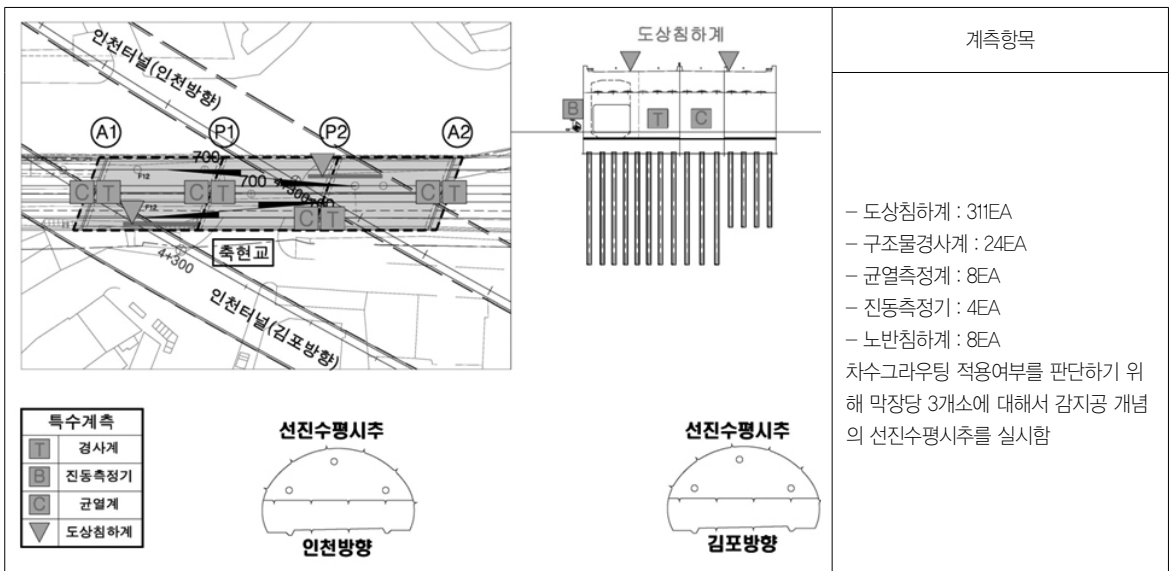


그림 15. 교량 및 철도(궤도) 계측 현황도

계를 10m 간격으로 설치하고, 정밀계측으로는 록볼트축력계, 지중변위계, 숏크리트응력계를 그림 14와 같이 설치하여 계측관리를 실시하였다. 다만, 철도에 대한 안정성을 고려 계측 측정빈도를 강화시켜 실시간 계측 데이터 수집과 분석실시로 즉각 대응토록 관리하였다.

## 7.2 교량 및 철도(궤도)계측

철도교량 및 철도궤도 변위 측정을 위해 구조물경사

계, 진동측정기, 균열계, 도상침하계 등의 계측기를 그림 15와 같이 설치하여 발파진동으로 인한 철도교량 및 궤도의 안정성을 확인하였다.

## 8. 맺음말

경인선(부평~동인천간) 철도 하부를 도심지에서 3차로 대단면 NATM 터널로 통과함에 따른 철도보호 지구내 터널 공사시 철도공사와 협의진행 절차, 철도

및 터널안정을 위한 보강대책, 안정검토, 계측관리사항등에 대해 정리한 결과는 다음과 같다.

- 1) 축현교(L=90.65m) 철도교량과 본 터널과의 최소 이격거리는 18.5~26.5m로 서울메트로 근접도 검토결과 A등급에 위치하여 대책시공이 필요하여, 그에 따른 보강방안을 검토하였다.
- 2) 보강방안으로는 축현교 철도교량 안정성 확보를 위하여 강화된 지보패턴 적용과, 강관보강그라우팅, 차수그라우팅, 진동제어발파 공법(선대구경 공법등)으로 적용 시공하였다.
- 3) 터널 굴착을 고려하여 철도교량과 궤도, 구조물에 대한 안정성을 검토한 결과 최대 침하량이 4.29mm로 기준치(25mm) 이하의 침하 및 변형이 발생하여 안정성 확보에는 문제가 없는 것으로 검토되었다.
- 4) 또한 발파진동 검토결과 최대 발파진동 예상치는 0.21cm/sec로 운행선에 대한 코레일의 발파진동 기준인 0.3cm/sec 이하로 발파진동이 발생하는 것으로 검토되었다.
- 5) 00터널 축현교 철도교량 구간 굴착 전 안전진단을 수행하여 계측계획 추가 보완과 철저한 계측관리를 수행하며, 1일 2회 시설물 점검을 지속적으로 수행하였다.
- 6) 축현교 철도교량 근접구간에서 시험발파를 수행하여 발파진동 추정식을 재 산정하고 발파영향검토를 수행하였으며, 시공중에도 지속적으로 발파진동계측을 수행하여 안전여부를 확인하면서 공사한 결과 철도와 터널 모두 안전을 확보하면서 터널 굴착을 완료 할 수 있었다.

---

## 참 고 문 헌

---

1. 건설교통부(2007), 터널설계기준 해설서
2. 실시설계보고서(2013, 3)
3. 철도횡단입체교차시설(00터널)보고서(2014)
4. 서울메트로(2007), 지하철 인접 굴착공사 매뉴얼
5. 한국철도시설공단(2008), 선로정비지침