

기존 하천 하부통과를 위한 카린시안공법의 적용 - 호남고속철도 O-O공구 건설공사를 중심으로 -

# Tunnelling Technology

## 기존 하천 하부통과를 위한 카린시안공법의 적용 - 호남고속철도 O-O공구 건설공사를 중심으로 -



**이인기**  
(주)하경엔지니어링  
터널지반부 사장



**박상찬**  
(주)하경엔지니어링  
터널지반부 부장



**김기태**  
(주)하경엔지니어링  
터널지반부 차장



**이명섭**  
삼성물산  
토목 ENG팀 부장



**박인복**  
삼성물산  
기반기술연구소  
선임연구원

### 1. 서론

최근 도로 및 철도노선 계획시 각종 지역민원으로 인해 기존 도로, 철도 및 하천을 터널구조물로 횡단하는 사례가 증가하고 있다. 특히, 지반조건이 불량하고 저토피 구간인 경우에는 일반적인 NATM 터널공법으로는 터널 안정성 확보가 곤란하여 대체공법 계획이 필요한 경우가 증가하는 추세이다. 현재 일반적으로 적용되는 저토피 구간의 통과공법으로는 완전 개착터널 공법이 있으나 하천하부 통과구간에 대해서는 별도의 유로확보 및 갈수기내 공사를 완료해야 하는 제한적인 시공조건이 수반되어 이를 극복할 수 있는 추가적인 보완대책이 요구된다. 따라서, 본 고에서는 호남고속철도 O-O공구 하천하부 통과구간처럼 풍화대 심도가 깊고 터널 종단심도가 낮은 저토피 구간으로서 갈수기(10월~5월)내에 개착공사 원료가 가능하고 우기시에도 터널 굴착공사가 가능한 공법으로 적용

한 카린시안 공법(Carinthian Cut and Cover Method 또는 Door Frame Slab Method)의 적용사례를 소개하고자 한다.

### 2. 카린시안 공법

#### 2.1 공법 개요

카린시안 공법은 저토피구간의 터널 통과를 위하여 터널 상부토피를 먼저 굴착하고 크라운 아치(Crown Arch) 콘크리트 구조물을 시공한 다음, 되메움을 실시한 후 터널을 굴착하는 공법이다(그림 1). 본 공법은 기존 개착공법의 비탈면 과다절취와 보강공법의 고비용 문제를 해결하고 터널 굴착시 상부토피의 붕괴를 방지하는 저토피 구간에서의 반개착 터널공법이라 할 수 있다.

기존 하천 하부통과를 위한 카린시안공법의 적용 - 호남고속철도 O-O공구 건설공사를 중심으로 -

## 2.2 적용 대상

본 공법의 적용대상은 일반적으로 다음과 같다.

- ① 터널 천단부 토피확보가 충분하지 못하여 통상적인 굴착터널의 적용이 곤란한 구간

- ② 주변여건(도로, 하천 등)에 의하여 완전개착 시공이 불가능한 구간
- ③ 터널중간 계곡부 등 대형장비 진입이 곤란한 구간
- ④ 개착으로 인한 산림훼손 문제가 심각하게 발생하는 구간 등

## 2.3 시공순서

본 공법의 일반적인 시공순서는 표 1과 같이 터널 상부를 개착하고 아치슬래브를 시공하며 되메우기를 통한 원지반 복원 후 본선터널을 굴착한다.

## 2.4 사례 검토

국내 사례로는 전라선 1공구(성산~신평) 철도개량 건설공사 내 해룡터널 및 중앙선 3공구 월문터널에서 적용

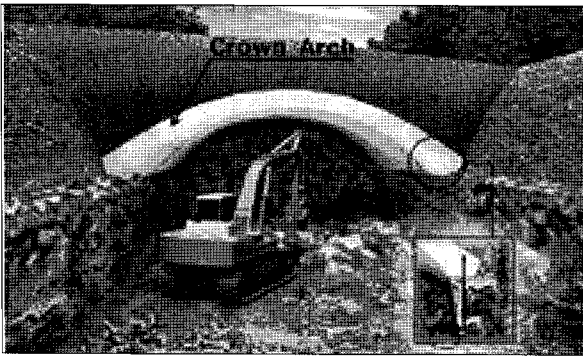


그림 1. 카린시안공법 개념도

표 1. 시공순서 (전라선 1공구 해룡터널)

(1) 상부 절토	(2) 크라운 아치슬래브 철근조립	(3) 크라운 아치슬래브 타설
(4) 되메우기	(5) 터널 굴착	(6) 굴착 완료

기존 하천 하부통과를 위한 카린시안공법의 적용 - 호남고속철도 O-O공구 건설공사를 중심으로 -

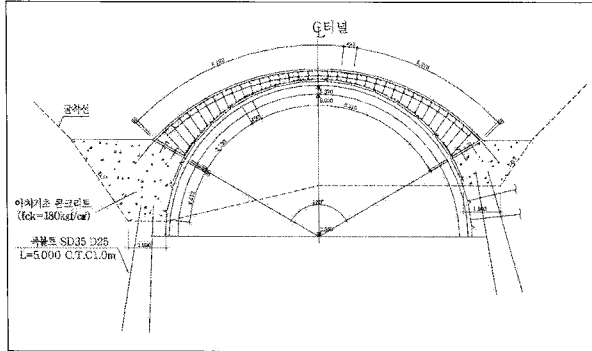


그림 2. 전라선 1공구 해룡터널 적용사례

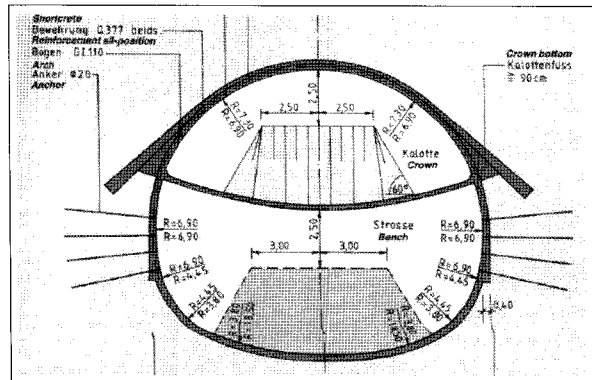


그림 3. 독일 NeuenBerg 터널 적용사례

한 사례가 있으며 해외사례로는 독일의 NeuenBerg 터널, 일본 신칸센 아에하라 터널 건설공사 등이 있다. 그림 2는 전라선 1공구 해룡터널의 적용사례이고 그림 3은 독일의 NeuenBerg 터널에서 카린시안 공법을 적용한 사례이다.

### 3. 본 과업개요

호남고속철도 O-O공구는 총연장 9,964m로 2010년에 착수하여 2013년 완공을 목표로 하고 있으며, 주요 공종으로는 터널 3개소 6,207m, 교량 3개소 2,270m, 토공 1,487m로 구성되어 있다. 특히, OO터널은 기본계획시 교량구간이었으나 지역 민원을 고려하여 터널로 지하화한 구간으로 복합화물터미널, 도로, 철도, 하천 등의 구조물이 다수 인접되어 개착터널 및 굴착터널구간이 반복적으로 계획되었다. 본 고에서 언급되는 구간은 OO터널 구간 중 하천하부를 통과하는 구간으로 카린시안 공법이 적용된 구간이다. 그림 4는 OO터널의 전체적인 종단현황을 나타낸 것이다.

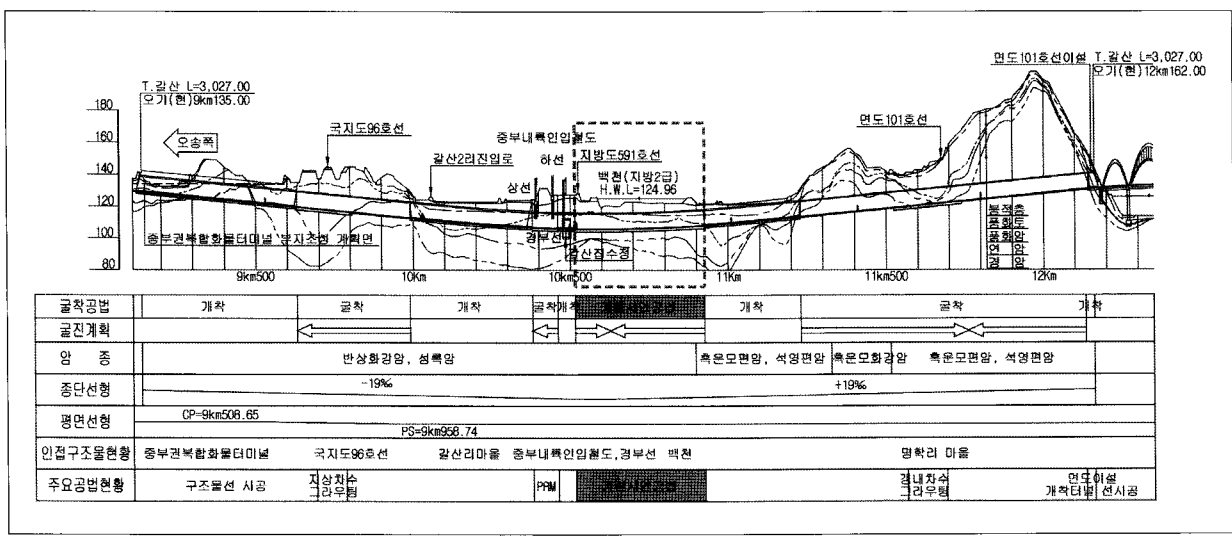


그림 4. OO터널 종단현황

기존 하천 하부통과를 위한 카린시안공법의 적용 - 호남고속철도 O-O공구 건설공사를 중심으로 -

## 4. 하천하부 통과공법

### 4.1 카린시안 공법 적용 필요성

본 구간은 그림 5와 6과 같이 터널 상부에 기존 도로 및 하천이 통과하는 구간으로 풍화대 심도가 깊고 터널 종단심도가 낮아 일반적인 NATM공법 적용시 터널 안정성 확보가 곤란하므로 지토피를 고려한 터널공법의 적용이 필요하다. 또한, 하천하부에서 이루어지는 공사 특성상 갈수기(10월~5월)내에 공사가 완료되어야 하며 공사 중에도 하천의 흐름이 유지될 수 있도록 단계별 시공계획

이 필요한 구간이다.

따라서, 지반조건이 불량한 저토피 구간에서의 터널 안정성 확보가 가능하며 개착구간의 최소화로 하천통과구간의 갈수기(10월~5월)내 개착부 공사완료가 가능한 카린시안공법을 적용하였다(표 2).

### 4.2 굴착공법 계획

양측 또는 편측 가시설을 통한 터널 아치부 위치까지 부분개착 후 아치슬래브를 시공하고 되메우기로 원지반 상태로 복원한 후에 하부에서 본선터널을 굴착하였으며,

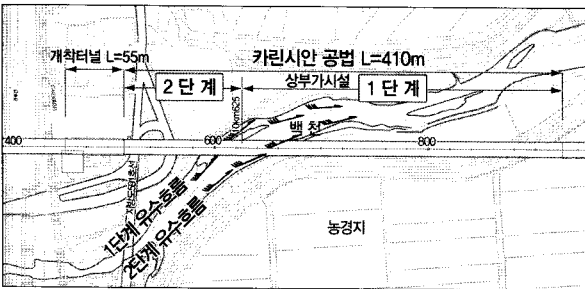


그림 5. 평면현황

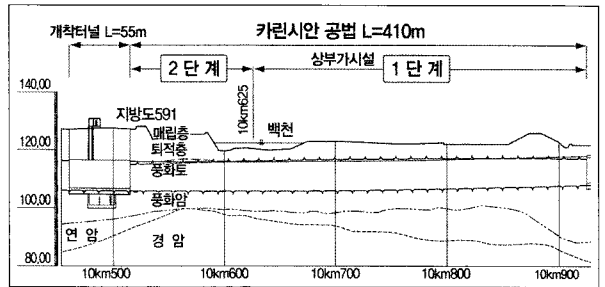


그림 6. 종단현황

표 2. 공법 비교표

구분	카린시안 공법	개착터널 공법	비고
개요도			
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개착부 점유기간 최소화</li> <li>• 지층조건에 영향 없음</li> <li>• 우기시 터널굴착공사 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시공공정이 단순</li> <li>• 시공 안정성 우수</li> </ul>	
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개착, 굴착 복합공정으로 시공성 불량</li> <li>• 본선터널 굴착 포함시 전체공기 다소 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개착부 점유기간 과다</li> <li>• 연암층 이상 시공성 불량</li> <li>• 우기시 공사 불가</li> </ul>	

기존 하천 하부통과를 위한 카린시안공법의 적용 - 호남고속철도 O-O공구 건설공사를 중심으로 -

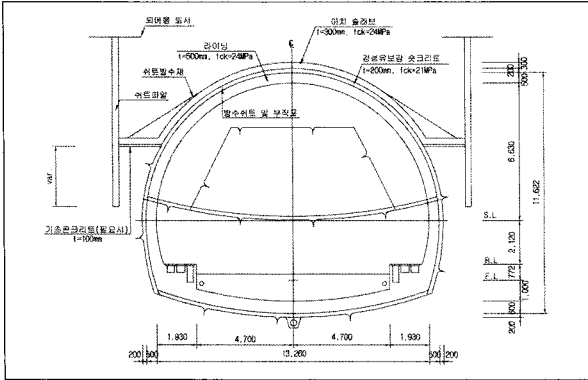


그림 7. 터널 표준단면도

본선터널은 굴착시 터널의 구조적 안정성 확보를 고려하여 그림 7과 같이 링컷분할 굴착으로 계획하였다.

본 과업에 적용한 카린시안 공법은 상부 지형현황 등을 고려하여 표 3의 시공단계에 따라 시공되도록 계획하였다.

### 4.3 보강계획

카린시안 공법의 아치슬래브 기초부 저판화대로 원지반의 지지력을 확보하였으며, 필요시에는 강관보강그라우팅 및 기초콘크리트(t=10cm)보강으로 지지력을 추가로

표 3. 카린시안공법 시공단계

1단계 공사용 진입로 및 가축도 설치	2단계 가시설 부분개착	3단계 아치 슬래브 시공
4단계 가시설 철거 및 되메우기	5단계 본선터널 굴착	6단계 방수 및 콘크리트라이닝 타설

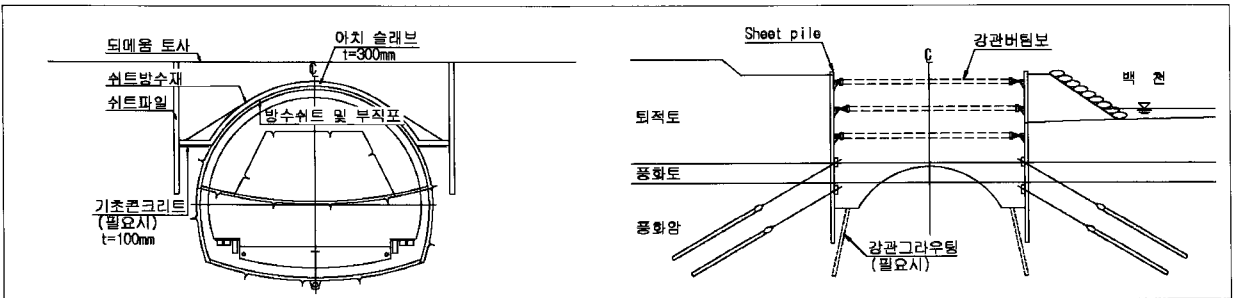


그림 8. 아치슬래브 기초부 보강계획

기존 하천 하부통과를 위한 카린시안공법의 적용 - 호남고속철도 O-O공구 건설공사를 중심으로 -

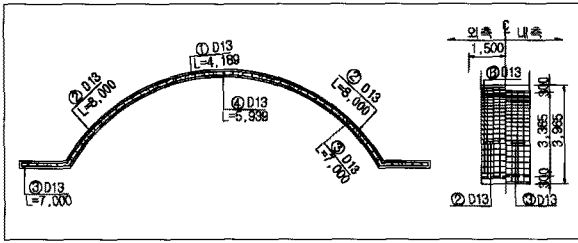


그림 9. 아치슬래브 보강계획

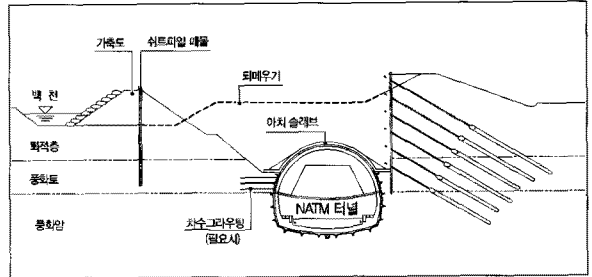


그림 11. 차수대책 수립

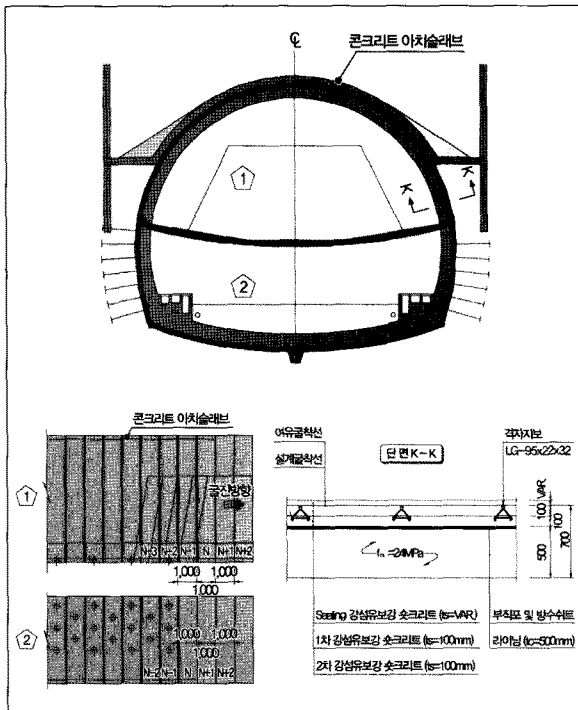


그림 10. 굴착 및 보강계획

확보도록 하였고(그림 8), 아치슬래브는 상부 퇴메우도 하중에 대해 철근배근을 하여 안정성이 확보되도록 계획하였다(그림 9).

본선터널은 굴진장 1m씩 단계별 굴착 후 즉시 격자지보 시공 및 스폿크리트, 록볼트 시공으로 터널 안정성을 확보하였으며 아치슬래브에 의해 굴착 중 천단부 침하를 최소화되도록 하였다(그림 10).

하천하부를 통과하는 구간 특성상 그림 11과 같이 효율

적인 차수대책을 수립하였다. 스킵파일을 이용한 1차적인 차수계획 및 퇴메우기시에는 스킵파일 매물을 통한 굴착 중 차수효과를 극대화하였으며, 본선터널 굴착 중 측벽부 지층이 불량하여 다량의 지하수 유입이 예상되는 경우에는 차수그라우팅을 측벽에 수행하도록 계획하였다. 또한, 아치슬래브 표면에 벤토나이트 슈트 부착을 통한 방수층을 형성하여 굴착중 지하수 유입을 최소화하였다.

#### 4.4 공기 검토

본 구간은 하천하부에서 공사가 이루어지는 특성상 갈수기(10월~5월)내에 개착구간의 공사가 완료되어야 하며 공사중에도 하천의 흐름이 유지될 수 있도록 시공계획이 필요하므로 본 과업에서는 표 4와 같이 1단계 및 2단계의 단계별 시공계획을 수립하였다.

공기 검토결과 그림 12와 같이 개착터널 공법의 경우 시공 1단계는 공사기간이 6.5개월로 갈수기내 공사완료가 가능하지만 시공 2단계는 공사기간이 11개월로 갈수기내 공사완료가 불가능한 실정이다. 그러나 카린시안 공법을 적용시에는 부분개착 단계인 1단계의 공사기간이 6.5개월, 2단계의 공사기간이 5.5개월로 갈수기내 개착구간의 공사가 가능하다. 본선터널 굴착 및 콘크리트 라이닝 타설작업은 터널 상부 개착공사 작업이 완료된 후의 작업으로 외부 기상조건의 영향을 받지 않고 우기시에도 공사가 가능하다.

# 기술강좌

기존 하천 하부통과를 위한 카린시안공법의 적용 - 호남고속철도 O-O공구 건설공사를 중심으로 -

표 4. 단계별 시공계획

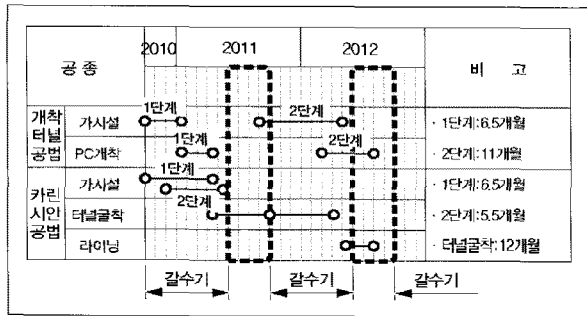
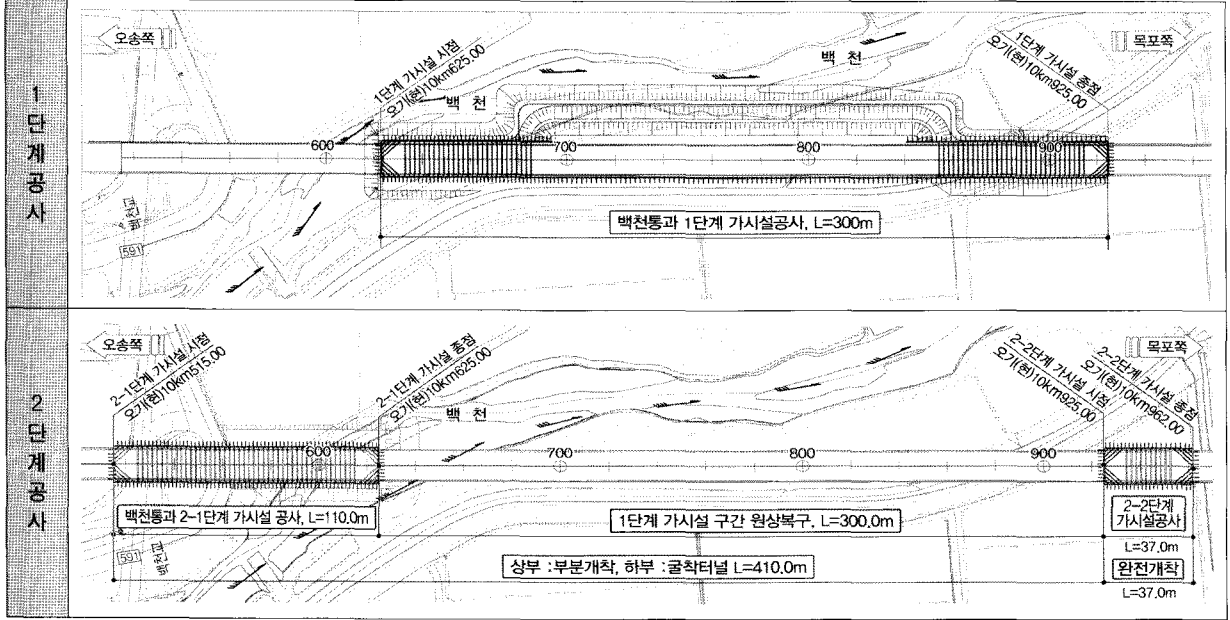


그림 12. 공기 검토

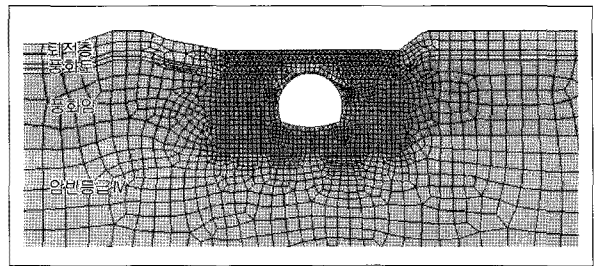


그림 13. 수치해석 모델링

표 5. 적용 지보패턴

구분	PD-6-3	
굴착방법	상·하반단면굴착(상부 링크굴착)	
굴진장(m)	1.0/1.0	
숏크리트 두께(cm)	강섬유보강 숏크리트(20)	
목볼트	길이(m)	5.0
	중/횡 간격(m)	1.0/1.2

## 5. 터널 안정성 검토

### 5.1 해석개요

하천하부 통과시 시공중 발생하는 침투압이 터널의 안정성에 미치는 영향을 평가하기 위해 응력-침투류 연계해석을 통한 터널 안정성 검토를 수행하였다(그림 13). 카린시안공법을 고려한 시공단계 구현 및 대상구간의 지형, 지

반조건, 보강공법 적용에 따른 시공순서를 최대한 고려하여 안정성을 검토하였다. 적용 지보패턴은 표 5와 같이 적용하였다.

기존 하천 하부통과를 위한 카린시안공법의 적용 - 호남고속철도 0-0공구 건설공사를 중심으로 -

표 6. 설계지반정수

구분	단위중량(kN/m <sup>3</sup> )	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비
퇴적층	18.0	5	28	20	0.35
풍화토	20.0	20	32	50	0.33
풍화암	21.0	30	33	250	0.30
암반등급Ⅳ	23.0	500	32	2,000	0.28

표 7. 해석단계

시공단계	시공내용	시공단계	시공내용
초기단계	초기응력 단계(아치 슬래브)	-	
1단계	상반 굴착단계	4단계	하반 굴착단계
2단계	상반 연한숏크리트(S/S)	5단계	하반 연한숏크리트(S/S) + 록볼트
3단계	상반 강한숏크리트(H/S)	6단계	하반 강한숏크리트(H/S)

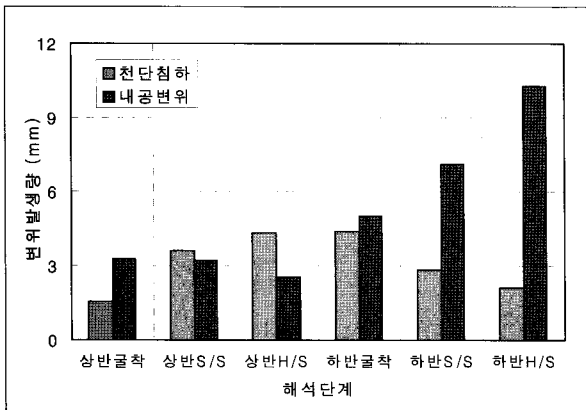


그림 14. 시공단계별 발생변위

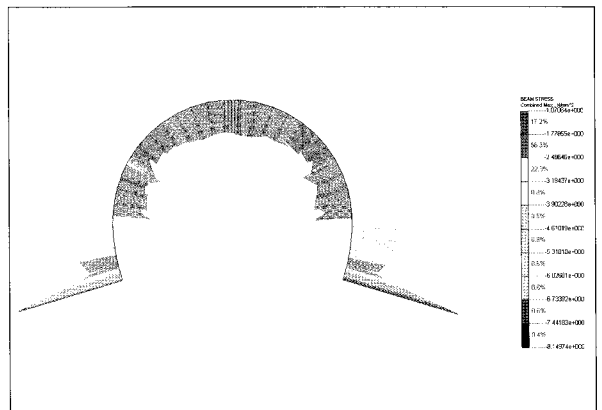


그림 15. 숏크리트 응력도

터널 안정성 해석에 적용한 지반정수 및 해석단계는 표 6, 표 7과 같다.

## 5.2 해석결과 분석

터널 상부에 계획된 아치슬래브에 의해 터널 굴착중 발생하는 천단침하는 최대 4.4mm로 내공변위에 비해 상대적으로 작게 발생하였고(그림 14) 숏크리트 휨압축응력은 4.98MPa로 허용치 8.4MPa 이내로 나타나(그림 15) 터널 안정성을 충분히 확보하는 것으로 분석되었다.

## 6. 맺음말

지금까지 지반조건이 불량하고 터널 종단심도가 낮아 일반적인 NATM터널 공법으로는 터널 안정성이 확보되지 않는 구간의 대안공법으로서 유효한 카린시안공법에 대해 기술하였다. 카린시안공법의 기본적인 개요, 적용조건 및 시공순서를 도시하였으며 호남고속철도 0-0공구에서 성공적으로 적용하였던 사례를 중심으로 본 공법의 적용 필요성 및 구체적인 보강계획 등을 중심으로 기술하였다.



이상의 연구내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 과업구간과 같이 풍화대 심도가 깊고 터널 종단 심도가 낮은 저토피 구간에서의 터널공법 및 하천 하부에서 이루어지는 공사특성상 갈수기(10월~5월)내에 공사가 완료될 수 있는 터널공법이 필요하므로 카린시안공법을 적용하였다.
- (2) 아치슬래브 보강계획으로 기초부 저판확대, 강관 보강그라우팅, 기초콘크리트보강 및 철근배근을 통해 안정성이 확보되도록 계획하였다.
- (3) 하천하부를 통과하는 구간 특성상 슈트파일 매몰, 차수그라우팅 및 벤토나이트 슈트 등 차수대책을 수립하였다.
- (4) 터널 안정성 검토결과 터널 상부 아치슬래브에 의해 터널 굴착중 천단부 침하가 최소화되었으며 지

보재에 발생하는 부재력 모두 허용치 이내로 터널 안정성을 충분히 확보하는 것으로 평가되었다.

- (5) 따라서, 지반조건이 불량한 저토피 구간 및 터널 상부 도로, 하천 등 지장물이 위치하는 특수한 구간에서의 공기 및 터널 안정성을 확보할 수 있는 유효한 공법으로 카린시안공법의 적용이 기대된다.

### 참고문헌

1. 한국철도시설공단(2009), "호남고속철도 0-0공구 노반신설 기타공사 대안설계보고서".
2. 강기돈, 송치용, 이종성, 이재진(2008), "카린시안공법(Carinthian cut-and-cover method) 및 그 시공사례", 한국지반공학회 기술기사 Vol.24, No.7.