

카린시안공법(Carinthian cut-and-cover method) 및 그 시공사례



강기돈
대림산업(주)
기술연구소 과장
(geope@daelim.co.kr)



송치용
대림산업(주)
기술연구소 차장



이종성
대림산업(주)
기술연구소 부장



이재찬
대림산업(주)
전라선 성산-신풍간 철도
현장 부장

1. 개요

일반적으로 산악터널의 경우, 그 평면 및 종단선형, 현장의 지형특성 등에 따라 터널의 종단선형중 저토피구간이 발생하는 경우가 종종 있다. 이러한 저토피구간은 중간개착부를 형성하여 막장의 개소수를 증가시키거나, 보조공법 등을 검토하여 보강을 통해 저토피터널로 극복하는 등의 대안을 수립하게 된다.

최근, 환경훼손을 최소화하기 위한 각종 방안들이 설계 및 시공에 있어 중요한 부분을 차지하고 있다. 특히, 터널의 경우에는 갱구부에 필연적으로 형성되는 사면 및 터널 시공으로 인한 인근 지하수의 영향, 문화재구간, 생태습지 통과구간 등 다양한 조건의 환경문제들과 결부되어 때로는 공사가 중지될 정도의 중요한 요건이 되어왔다.

특히, 본 카린시안 공법의 경우는 중간개착부를 형성하되 갱구를 추가하지 않으므로, 발생하는 사면절취의 범위를 공법적용을 위한 부지정리 사면으로 최소화하는 환경친화적인 공법이라 할 수 있다. 본 공법의 실제 적용 예로서

소개하고자 하는 현장은 전라선(성산-신풍간) 1공구의 시공사례로서 현지의 지형적인 특징 및 지반조건, 작업요건 등을 고려하여 사면절취 최소화를 통한 환경 친화적 시공, 일반적으로 중간개착부 형성을 위해 추가적으로 개설하여야 하는 공사 중 진입로를 최소화하고, 공법적용에 따라 공기단축 및 경제성 확보 등을 실현함으로써 성공적인 카린시안공법을 적용하여 공사를 수행한 현장이다.

본고에서는 카린시안 공법의 성공적인 현장적용사례를 통한 공법선정, 문제점 및 개선사항, 경제성, 시공성과 등의 검토결과를 소개하고자 한다.

2. 카린시안 공법의 현장적용

2.1 공사개요 및 저토피구간 현황

과업구간은 그림 1에서와 같이 총연장 9.589km 중 3개소(NATM, 4.315km, 개착터널, 0.459km)의 산악터널구

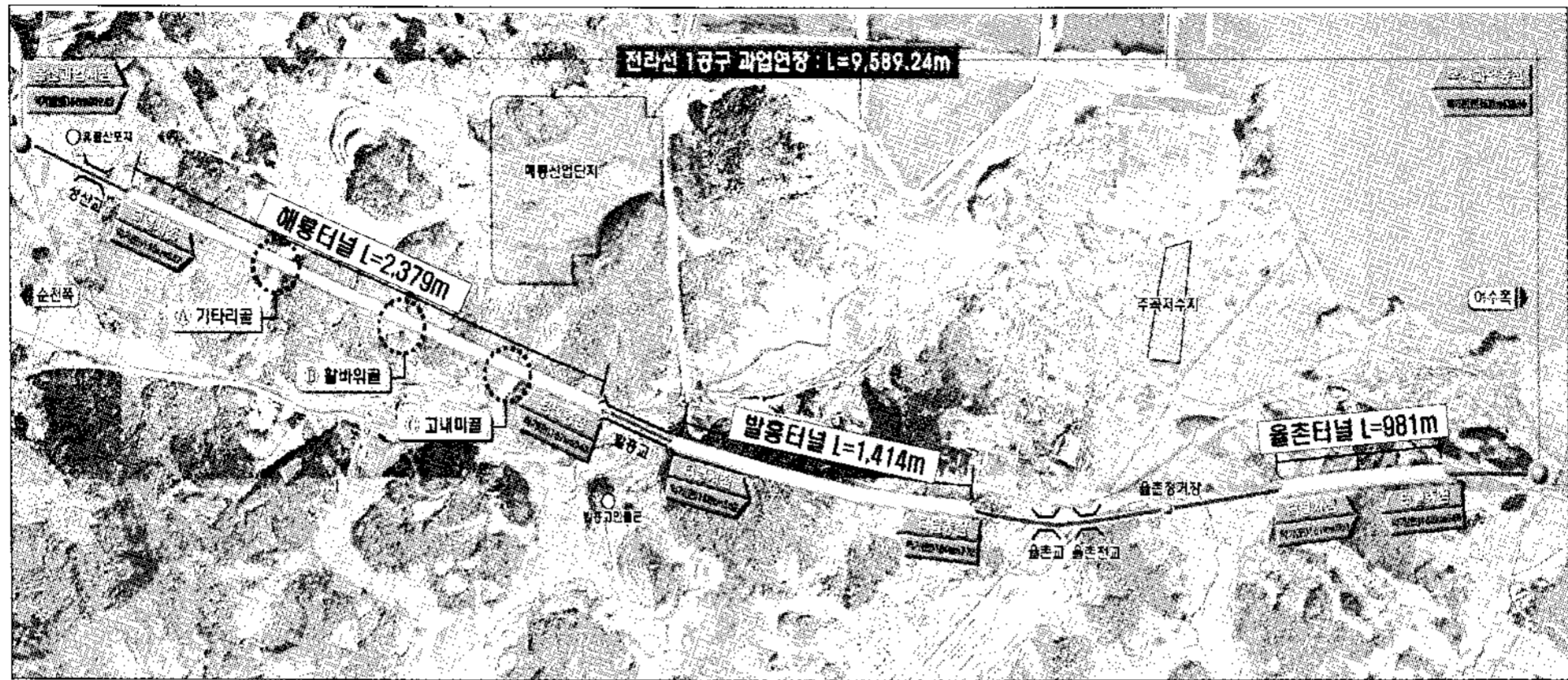


그림 1. 터널구간 현황

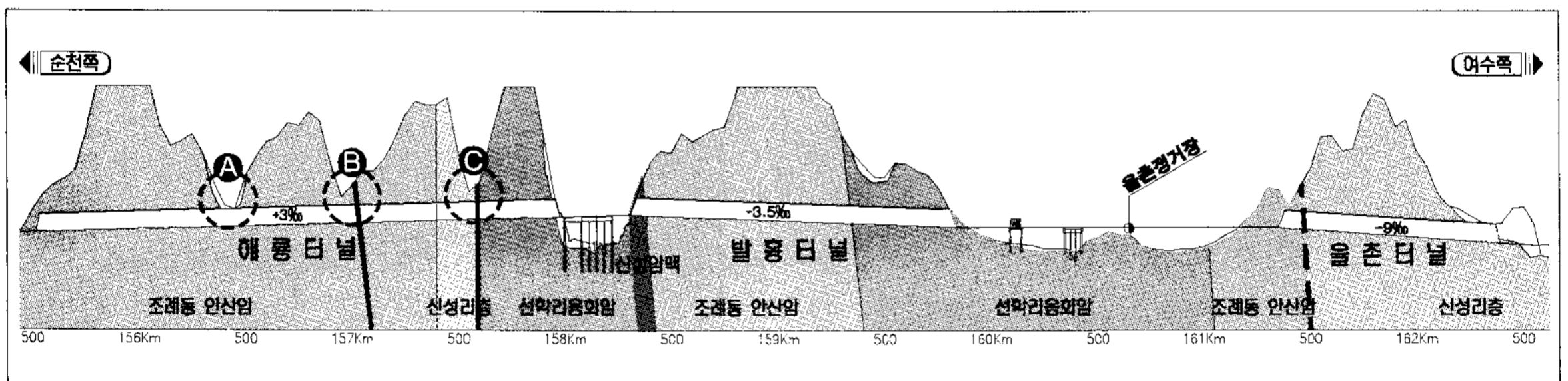


그림 2. 저토피 구간 현황 (해룡터널, 3개소)

간이 계획되었다. 특히, 그림 2의 종단선형에서 알 수 있듯이, 해룡터널의 경우, 3개소의 저토피 통과구간이 형성되었으며, 각각 기타리골(A), 활바위골(B), 고내미골(C)의 구간으로 나누어 저토피 통과 공법이 검토되었다.

2.2 공법선정

그림 2에서 해룡터널의 저토피구간 중, 카린시안 공법이 적용된 구간은 A 및 C 구간이며 공법선정사유는 표 1과 같다. 특히, 계곡부의 특성상 토피고 3M 하부에서 경암 정도의 기반암이 출현함에 따라 개착가시설의 적용성이 매우 떨어지므로, 별도의 가시설 설치없이 굴착시공이 가능하고 주변의 민원을 최소화 할 수 있는 점을 고려하여 카린시안 공법을 채택하게 되었다. A 구간은 암선의 변화에 따라 중간부에서의 개착가시설과 NATM 접속부 근처에서의 카린시안 공법을 병용하였고, C구간은 필요한 암토피가 검토구간 내에 확보됨에 따라 카린시안 공법만으로 저토피

구간을 통과하였다. B 구간의 경우, 터널 측면에 갱외탈출로가 계획되어있어 절취면적에 넓어짐에 따라 현장조건을 고려하여 open-cut 공법을 적용하였다.

2.3 현장적용

카린시안 공법의 현장적용 시공순서 및 각 단계에서의 주요 검토사항은 그림 3과 같다. 주요 공사물량은 깎기 및 되메우기, 갱구부 보조공법인 강관다단 그라우팅 및 구조물공(콘크리트, 철근, 록볼트)으로 이루어져 있으며, 작업을 위한 장비로서 굴삭기, 덤프, 크롤러드릴, 펌프카를 이용하였다. 기존 도로를 고려하여 공사중 가도로를 확보할 수 있도록 카린시안 공법의 공정을 조정하였고, 기존 및 가배수로를 이용하여 적절한 유도배수를 수행하였다. 발파암의 출현심도에 따라 개착구간은 갱구부 근처에서 카린시안 공법과 개착구간 중간에서의 일반 가시설 공법이 병행되어 진행되었다. 카린시안 공법의 적용완료 뒤, 굴착은

표 1. 저토피 통과공법의 선정

구분	Carinthian-Cut 공법	가시설 공법	개착식 공법(Open-Cut)
시공 개요도			
장·단점	<ul style="list-style-type: none"> 굴착면적 최소화로 주변 농지훼손 감소 가시설 공법에 비해 공사비 저렴 기존도로 침해기간 최소 공기증가 시공성 다소 복잡 	<ul style="list-style-type: none"> 점유면적 최소화 유지로 주변 농지훼손 최소 공사비 고가 연암층이상 지층에 시공성 불량 공사용 진입로 개설 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> 시공성 용이 시공속도가 빠름 공사비 저렴 점유면적 증가, 용지 보상금액 상승 농지훼손이 많음
적용	◎		

 ① 측량 및 벌목작업	 ② 사면절취	 ③ 토사구간 제거
 ④ 본선구간 발패(연암상단)	 ⑤ 법면보강(NATM 접속부)	
 ⑦ con'c 타설완료	 ⑧ 되메우기	
<p>※ ⑤ 법면보강시 : 수평강관다단그라우팅, L=12.0m, C.T.C 500mm, 굴착면에서 0.7m 이격시킴. ※ ⑥ 아치 con'c 시공시 : crown arch의 상부두께는 500mm, 연암에 지지되는 부위는 1,500mm 두께로 시공함. ※ ⑧ 되메우기 시공시 : crown arch의 상부의 되메우기는 arch부 con'c의 강도가 충분히 발현한 후 실시함. 되메우기시 소요의 다짐기준 준용.</p>		

그림 3. 카린시안 공법의 시공순서 및 현황

일반 구간에서와 동일하게 상·하반 굴착이 수행되었고, 본 해룡터널 구간의 저토평 구간 중 open-cut 구간으로 시공된 활바위굴(B 구간)에서 갱구를 형성한 후 양방향 굴진을 통해 터널을 관통하였다.

3. 공법의 적용성 평가

3.1 현장 적용시 개선사항

그림 2의 A구간인 기타리굴의 경우, 추정된 암반선이 설계시 보다 하부에 위치하는 것으로 현장 터파기 수행중 확인되어 crown arch 시공을 위해 별도의 보강공법을 적용하였다. 즉, 당초 연암조건으로 아치 con'c가 지지되어 시공되는 조건이었으나 풍화토정도의 지반조건으로 확인됨에

따라 아치 양 단부에서의 지지력 부족 및 침하발생을 방지하기 위해 기초 con'c(mass con'c)를 적용하였다. 검토시에는 변경된 지반조건 및 설계하중조합(자중, 수평 및 수직토압, 수평 및 수직 차량 활하중)에 따라 구조검토를 수행하였으며, 그 결과 아치 con'c의 철근보강 및 mass con'c 시공에 따라 구조적 안정을 확보할 수 있는 것으로 판단되었다. (그림 4참조)

또한, 카린시안 공법과 NATM공법의 경계를 이루는 갱구부 위치(접속부)에서 최소토평의 부족을 고려하여 그림 5 및 6과 같이 카린시안 구조물 상부와 절취사면이 맞닿는 부분으로부터 약 1.5m 높이까지 록볼트(D25, L=1.7m, CTC400mm)로 사면을 보강한 후 사다리꼴 형태로 콘크리트 옹벽을 설치하여 터널굴착시 천단부의 안정성을 확보하였다.

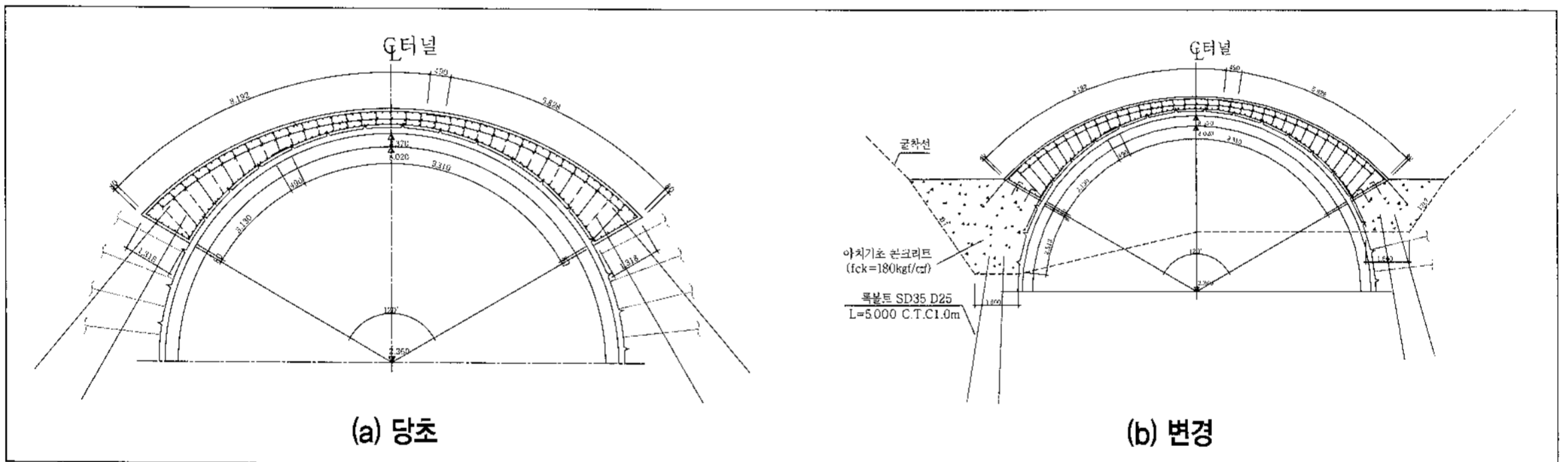


그림 4. 아치 con'c 하부 보강(중점부)

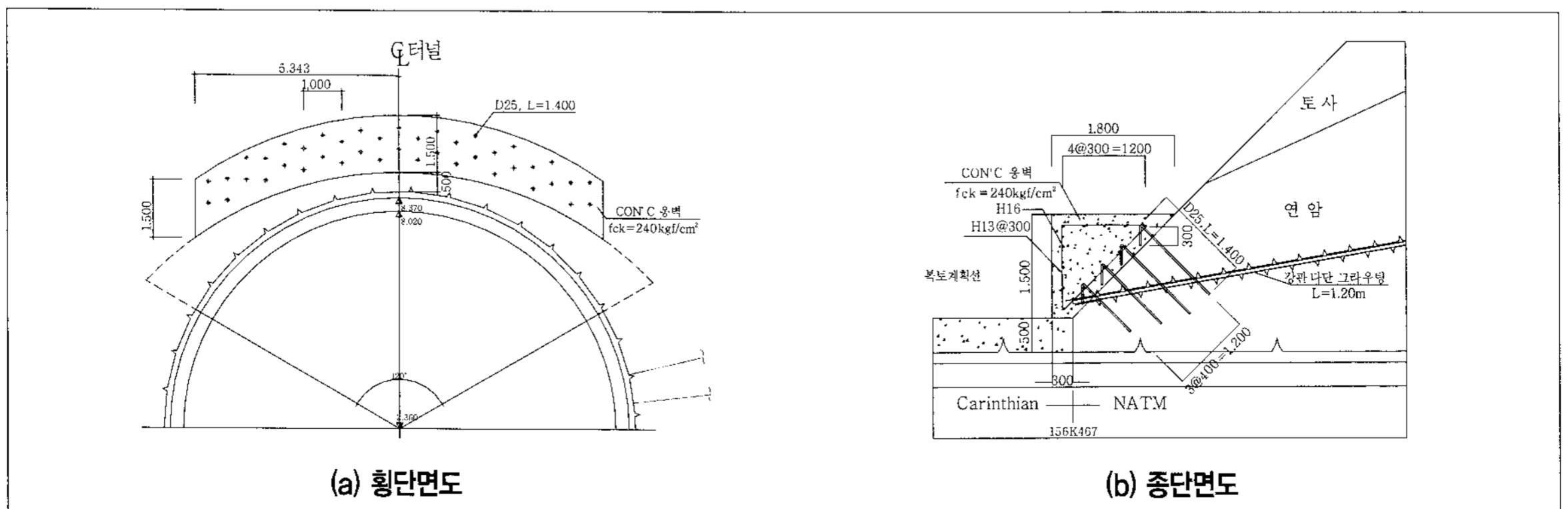


그림 5. 접속부 보강

3.2 경제성 평가

본 공법에 대한 경제성을 검토하기 위해 표 2와 같이 실제 소요된 공기 및 공사비, 현장조건에 따른 검토사항 등을 대상으로 분석한 결과, 카린시안 공법이 적용 가능한 구간

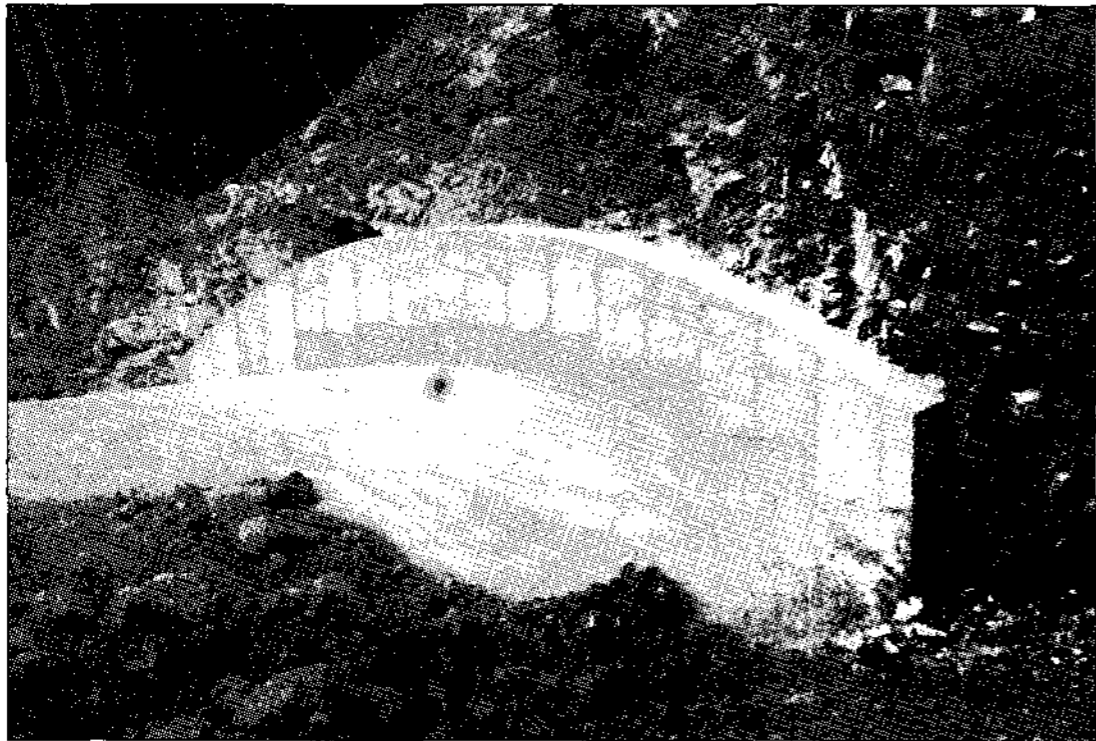


그림 6. 접속부 보강의 실제 적용 전경

에서 일반 공법대비 공기 단축효과가 매우 높음을 알 수 있으며, 공사비 또한 최소화시킬 수 있어 매우 적용성이 높은 공법으로 판단되었다. 특히, 카린시안 공법의 경우 토공사에 있어 깎기 및 터파기 물량이 비교공법들에 비해 매우 적게 발생하며, 공사중 우회도로의 형성에 있어서도 일반 공법들에 비해 공사비가 10%~20% 정도로 최소화시킬 수 있는 점 등이 경제성을 확보할 수 있는 주요요인이 된다.

3.3 계측관리

카린시안 공법의 적용후 본선 굴착에 따른 계측결과는 그림 7과 같다. 계측계획시 카린시안 공법과 NATM공법의 접속부 보강 및 기계굴착 적용 등으로 지반조건을 고려하였으며, 최초 굴진 이후, 29일~32일 정도의 기간내에 변위가 수렴되어 전체적인 터널의 거동은 관리범위 이내로 안정한 시공이 진행되었다.

표 2. 터널 저토피구간 통과공법의 경제성 검토

구분	Carinthian-Cut 공법	가시설 공법	개착식 공법
현장검토 사항	<ul style="list-style-type: none"> • 농지훼손면적 감소 • 기존도로 침해기간 최소 • 민원발생 최소화 • 신속한 원지반복구로 가설토공 유지 최소화 • 토피고 및 지반조건에 영향이 큼 	<ul style="list-style-type: none"> • 농지훼손면적 최소 • 계곡부 연암층 시공불량 • 공사용 진입로 개설 곤란 • 라이닝 완공까지 장기간 가시설 존치 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 점유면적 증가로 용지 보상금액 상승 • 농지훼손과다 • 라이닝 완공까지 장기간 절취사면 존치 필요
실소요 공기	70일/50m	135일/50m	120일/50m
실소요 공사비	100%	194%	115%

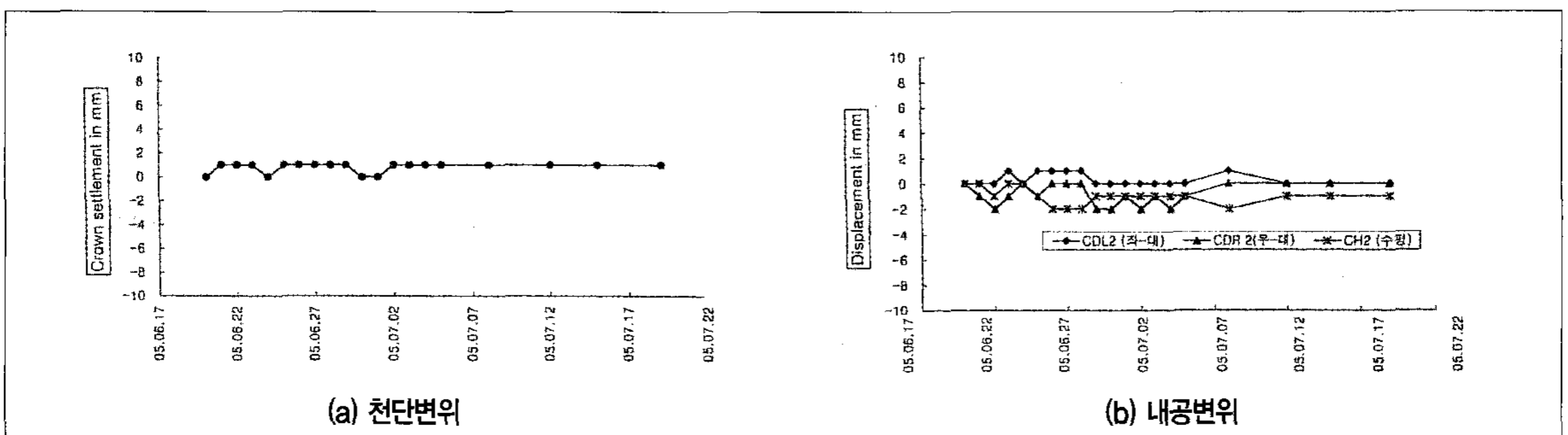


그림 7. 본선 굴진에 따른 계측결과(천단 및 내공변위, C구간)

4. 결론

1) 최근, 환경훼손을 최소화하기 위한 각종 방안들이 터널의 설계 및 시공에 있어 중요한 부분을 차지하고 있으며, 특히, 본 카린시안 공법의 경우는 중간개착부를 형성하되 갱구를 추가하지 않으므로 발생하는 사면절취의 정도를 공법적용을 위한 부지정리 사면으로 최소화하는 환경 친화적인 공법이라 할 수 있다.

2) 특히, 카린시안 공법의 적용을 통해 공사용 진입로 형성을 최소화 할 수 있고, 별도의 갱구를 설치하지 않으므로, 일반가시설공법이나 개착공법 등에 비해 공기 및 공사비를 최소화 시킬 수 있어 적절한 지반조건을 만족시키는 저토피 터널통과구간에서 유효한 공법이라 할 수 있다.

3) 카린시안 공법을 적용하기 위한 선결조건은 설계시 예측된 지반조건과 현장의 지반조건이 부합해야 하는 것이며, 그렇지 못할 경우, 일반가시설공법이나 개착공법을 적용하거나 카린시안 공법적용을 위한 별도의 보강공법을 적용해야 하므로 정확한 지반조사결과에 의한 최적의 설계가 중요한 요소라 할 수 있다.

4) 카린시안 공법의 특성상 저토피구간에 형성되므로 NATM 구간과의 접속부에서 토피가 확보되지 않는 경우가 발생할 가능성이 높다. 이러한 경우, 현장조건에 따라 접속부에 대한 별도의 보강공법이 수립되어야 한다.

5) 앞으로도 산악구간의 터널 저토피 통과에 있어 적절한 지반조사 및 정확한 측량결과에 따라 본 카린시안 공법의 적용 사례는 증가할 것으로 예상되며, 특히 중간개착부 형성을 위한 공사용 진입로 형성이 용이하지 않고, 중간개착부 갱구사면이 과다하게 절취되어 환경훼손이 심한 경우, 인접한 민가 등의 민원, 지하수위 저하에 따라 장기간 중간개착부를 형성하기 어려운 경우 등에 유효한 공법으로 판단된다.

참고 문헌

1. (사)한국터널공학회 (2002) 터널의 이론과 실무, pp. 81-100
2. (사)한국지반공학회 (2003) 구조물 기초설계기준 해설, pp. 220-225
3. Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. (1974), Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, Rock. Mech. 6(4), pp. 189-239
4. Hoek, E. (1983), Strength of Jointed Rock Masses, 23rd Rankine Lecture, Geotechnique Vol. 33(3), pp. 187-223

