

## 프리캐스트 아치를 이용한 개착식 터널 시공사례

A Construction Case of Cut-and-Cover Tunnel with Precast Arch Bridge(PAB) System



우혁근\*  
Hyeuk-Kun Woo



이동규\*\*  
Dong-Kyu Lee



이상만\*\*\*  
Shang-Man Lee



이정식\*\*\*\*  
Jeung-Sig Lee



이창훈\*\*\*\*\*  
Chang-Hoon Lee

### 1. 머리말

우리나라는 국토의 대부분이 산지로서 도로나 철도를 계획할 때 터널 시공이 곤란한 경우 대절토 사면으로 계획하곤 하였다. 그러나 대절토 사면은 인접한 마을 주민은 물론 주변에 서식하는 야생 동물의 이동 통로를 차단하게 되어 민원 발생과 함께 자연 환경을 훼손한다는 비판을 받아왔다.

이러한 문제점으로 인해서 이미 경부고속전철 구간의 1/3 이상은 터널구간으로 계획되어 시공되었으며 그 가운데 약 20% 정도는 개착식 터널구조물로 계획되어 시공되는 등 개착식 터널의 수요가 늘어나고 있다.

현장타설에 의한 개착식 터널 공사는 원지반 굴착, 바닥정리, 강제 거푸집 설치 후 철근조립, 콘크리트 현장 타설 및 양생 후 방수처리, 성토 등과 같은 일련의 공정을 통하여 이루어지는 시공법이다.

현장타설 개착식 터널구조물의 시공과정 가운데 강제 거푸집 설치, 철근 조립, 콘크리트 타설 및 양생 등의 공정은 1 span(약 10m) 시공에 약 2주일 정도의 기간을 필요로 하며, 이 기간 중 터널구조물의 품질은 물론 구조적 안정성에 큰 영향을 미치게 되는 등 작업의 품질관리에 만전을 기하여야 하는 어려움이 있다.

따라서 본 고에서는 기존의 현장타설이 아닌 프리캐스트를 이용한 개착터널 시공방법을 소개하고자 2008년 12월 개통을 목표로 현재 마무리 공사가 진행 중인 고속국도 65선(부산~울산)간 47.2km 구간 중 제 4공구에 적용된 프리캐스트 아치 터널(precast arch bridge system, 이하 PAB)의 시공 사례를 소개하고자 한다.

### 2. 현장 공사개요

부산시 기장군 장안읍 상리에 소재한 ‘일광터널’은 부산~울산간 고속도로를 횡단하는 개착식 생태터널 부산 및 울산으로 왕복 6차선의 병렬식 터널로 각각의 폭이 2@13.45m, 전체 연장 128m 규모로 아치형상의 프리캐스트 상부와 현장타설에 의한 기초 시공을 병행한 구조 형식이다<표 1, 사진 1>. 당 구간 터널에 적용된 세그먼트 제작 개수는 상·하행선을 포함하여 총 171개이다.

### 3. 설계상 특징

부산~울산 제 4공구(코오롱건설)에 적용된 ‘일광터널<표 2>’은 아치형상을 가지는 프리캐스트 상부와 현장타설로 시공되는

표 1. 공사현장 현황표

공사명	고속국도 제 65호선 부산~울산간 건설공사 (제4공구) ‘일광터널’
위 치	부산시 기장군 장안읍 상리 소재
발주처	부산~울산간 고속도로 (주)한국도로공사
원청사	코오롱건설(주)
시공사	진성토건(주)



사진 1. 시공 완료 후 터널 전경

표 2. 일광터널 제원

구조물 명칭	터널 형식		연장 (m)	폭원 (m)	
	상부	하부			
상리 터널	precast arch	벽식 (현장타설)	직접	128.0	27.80

\* 정희원, 진성토건(주) 기술연구소 상무

woohk65@hanmail.net

\*\* 코오롱건설(주) 고속국도 65호선 부산~울산 제4공구 현장 소장

\*\*\* 코오롱건설(주) 고속국도 65호선 부산~울산 제4공구 공사 차장

\*\*\*\* 진성토건(주) 기술연구소 부장

\*\*\*\*\* 정희원, 진성토건(주) 기술연구소 과장

기초부 및 벽체로 구성된 것으로, 기존 사각형상의 박스 구조물에 적용하는 강성설계법 대신 아치형상의 구조물과 주변 뒤편 흙의 상호작용을 고려한 연성 설계법을 채택하여 터널 구조물 벽체 두께를 줄일 수 있었다.

이로 인해 사용 자재의 절감과 인양시 인양하중의 경감을 도모할 수 있었다. 또한 아치형상 프리캐스트 상부로부터 벽체로 전달되는 축력이 현장타설 벽체와의 이음부에서는 구조물에서 뒤편 흙쪽으로 향하는 전단력으로 작용하도록 설계되어 벽체에 작용하는 뒤편 토압과 상쇄되어 경제적인 설계가 되도록 하였다<그림 1>.

3.1 역학적 특성

기존의 라멘교와 같은 강성설계법과 얇은 강관으로 구조체를 형성한 후 주변 뒤편 흙의 상호작용을 고려하는 연성설계법의 중간에 위치하도록 하여 경제적인 설계법과 더불어 구조물의 안정성을 동시에 확보하도록 하였다.

3.2 시공이음부

아치형상 프리캐스트 상부와 현장타설 벽체를 이음함에 있어서 프리캐스트 벽체로 전달되는 상부 토피 하중의 연직력 성분에 의한 마찰저항력만으로 전단력에 저항하도록 하여 별도의 기계적 체결 없이 단순히 프리캐스트 상부구조물을 현장타설 벽체부에 놓는 것만으로도 충분히 구조물의 안정성이 확보되도록 하여 시공을 단순화 하였을 뿐 아니라, 기계적 체결 부위가 있는 경우 상시 유지관리를 하여야 하는 번거로움을 처음부터 제거하였다.

아치형상 프리캐스트 상부와 현장타설 벽체의 이음부에는 어떠한 형태라도 기계적 체결이 없으므로 구조적으로는 내부 힌지로 가정하여 설계를 할 수 있어 이후 상부구조물에 어떠한 형태의 하중이 작용하여도 그로 인한 2차 응력이 발생하지 않도록 하여 유리한 구조형식이 되도록 하였다<그림 2>.

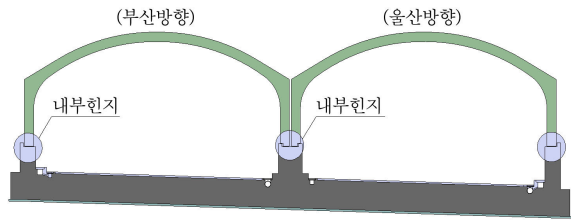


그림 2. PAB 연결부

4. 시공상의 특징

4.1 공사기간 단축

현장타설에 의한 기초부 시공과 병행하여 아치형상 상부 구조를 프리캐스트로 제작하여 절대 공기의 단축을 실현하였다<표 3>.

현장인근에서 공장 생산에 준하는 방식으로 품질관리를 엄격히 하는 프리캐스트 세그먼트를 제작하므로 내구성 높은 구조물 시공이 가능하다.

4.2 가설동바리 및 비계가 불필요

현장타설에 의한 기초부가 소정의 강도를 발현한 후 프리캐스트 상부구조물을 크레인으로 인양하여 설치하므로 상부구조물 시공을 위해 별도로 동바리 및 거푸집 시스템을 설치하여야 할 필요가 없어 공사기간을 줄일 수 있다<사진 2>.



사진 2. 현장타설 개착식 터널 시공 전경

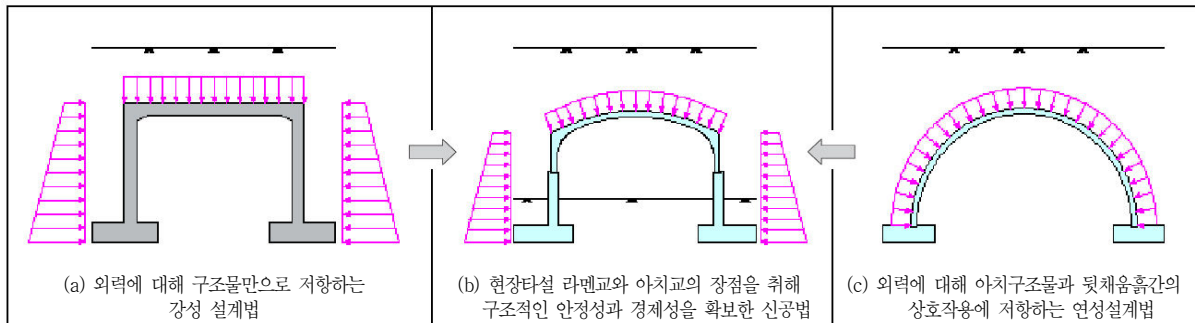


그림 1. PAB 역학적 특성

표 3. 시공 공정표

현장명 : 고속국도 65호선 부산~울산간 제 4공구

공종	월일	수량	단위	1			2			3			4			5			6			7			비고
				10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	
프리캐스트 상부 제작설치		128	m																						
기초터파기 및 검측				■																					
기초콘크리트 타설				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
프리캐스트 상부제작		171	SEG				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
프리캐스트 상부설치		171	SEG													■	■	■	■	■	■	■	■	■	
프리캐스트 상부방수																■	■	■	■	■	■	■	■	■	
마감벽시공																■	■	■	■	■	■	■	■	■	
복토				---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
조경																									

4.3 프리캐스트 제작 및 운반 가설

현장타설에 의한 기초부가 소정의 강도를 발현이 되면 아적장에 쌓아둔 프리캐스트 상부 구조물을 트레일러로 운반하고 크레인으로 인양하여 터널을 가설하는 반복적인 작업이 이루어진다 <표 4>.

4.4 프리캐스트 이음부 방수

각각의 프리캐스트 세그먼트는 그 이음부에 5mm의 유격을 두어 설치하도록 되어 있어 각각의 세그먼트가 직접 맞닿으면서 발생할 수 있는 콘크리트 접합면의 파손 및 응력발생을 사전에 방지하였다<그림 3>.

콘크리트 표면을 청소한 후 프라이머를 콘크리트 표면에 충분히 도포하고 부틸로프가 연결부위에 충분히 압착되도록 하여 시트가 구부러지거나 공기층이 없이 밀실 시공 후 상부에 시트 보호재를 시공하였다.

4.5 중앙벽체 연결부 배수

상, 하행선 중앙부 벽체 사이를 통해 배수 파이프를 설치하여 상부로부터 전달되는 우수를 하부로 배출할 수 있도록 설계하였으며 이러한 배수파이프의 동절기간내 동파 방지를 위하여 단열재(아티론)로 보강하여 시공하였다<그림 4>.

표 4. PAB 제작 및 설치 장비규격

구분		규격	시공 전경
프리캐스트 상부 제작	앵글크레인	100 ton	
프리캐스트 상부상차	하이드로크레인	120 ton	
프리캐스트 상부 운반	트레일러	60 ton	
프리캐스트 상부 설치	하이드로크레인	220 ton	

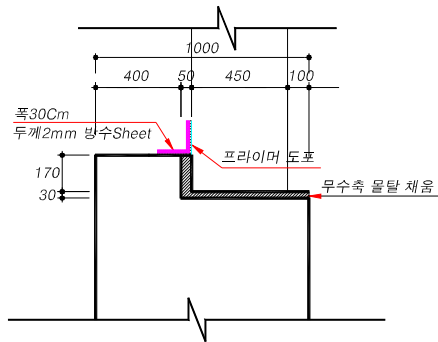


그림 3. 현장타설 벽체 및 세그먼트 연결부 방수 상세

4.6 시공 중 안정성 확보

일광터널은 평면상 곡선형의 도로상에 위치하고 있어 세그먼트 제작시 좌, 우 길이를 달리하여 사다리꼴 형상으로 제작하여 도로선형에 일치하도록 하였다<그림 5>.

본 구간의 도로선형은 1.2%의 경사를 가지고 있어 문제가 안되나 본 공법으로 7%까지는 자체적으로 자립이 가능할 뿐 아니라 양측 터널부 세그먼트를 이음하여 시공하는 방법으로 종단경사에 대해서도 세그먼트가 안정되게 설치될 수 있도록 설계하였다<그림 6>.

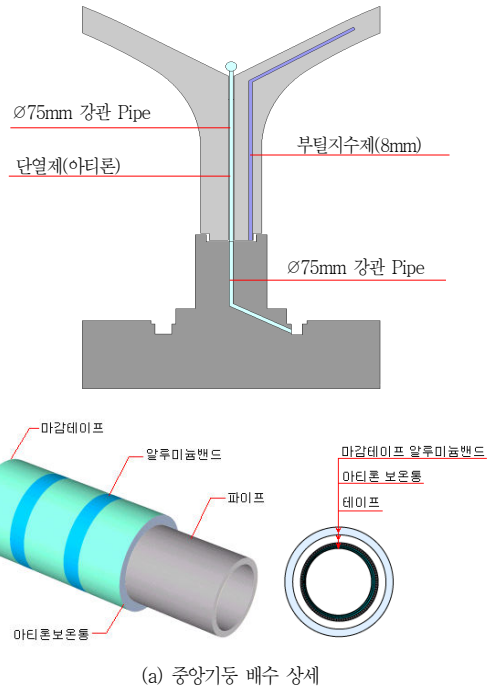
제작장에서 제작된 상부 세그먼트를 야적장으로 이동하여 설치할 때, 인양 및 설치 공종에서의 하중에 의한 세그먼트의 안정성을 확보하도록 검토한 후 시행하였다<그림 7>.

4.7 시공 흐름도

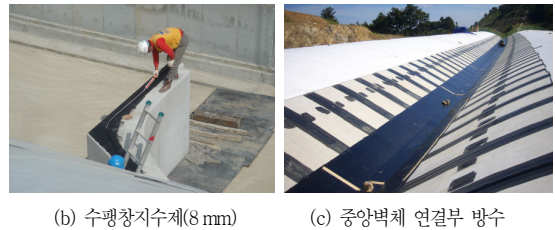
아치형상 프리캐스트 상부와 현장타설의 기초로 이루어진 일광터널의 시공순서는 <표 5>와 같고, 개요는 <사진 3>과 같다.

5. 맺음말

기존의 라멘교 및 소규모 교량, 개착식 터널을 시공함에 있어 현장타설 공법 대신 프리캐스트 세그먼트를 제작한 후 현장 조



(a) 중앙기둥 배수 상세



(b) 수평장지수제(8mm) (c) 중앙벽체 연결부 방수

그림 4. 중앙벽체 연결부 배수 및 방수

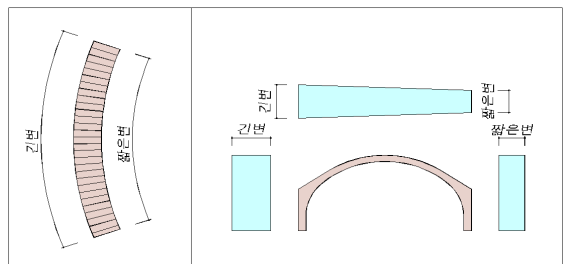


그림 5. 곡선교 단면 처리

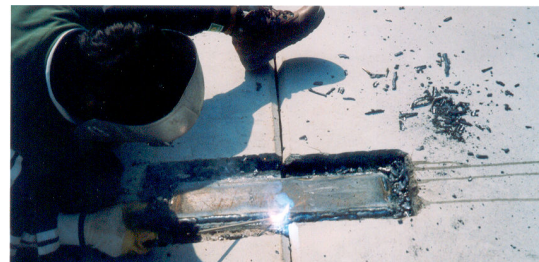


그림 6. 세그먼트 연결부 세그먼트간 용접이음



그림 7. P.A.B 인양 및 설치 전경



(a) 제작장 조성



(b) 현장타설 기초부 시공



(c) 프리캐스트 상부 철근 조립



(d) 프리캐스트 상부 콘크리트 타설



(e) 프리캐스트 상부 증기양생



(f) 프리캐스트 상부 야적



(g) 프리캐스트 운반



(h) 프리캐스트 설치



(i) 프리캐스트 상부 방수



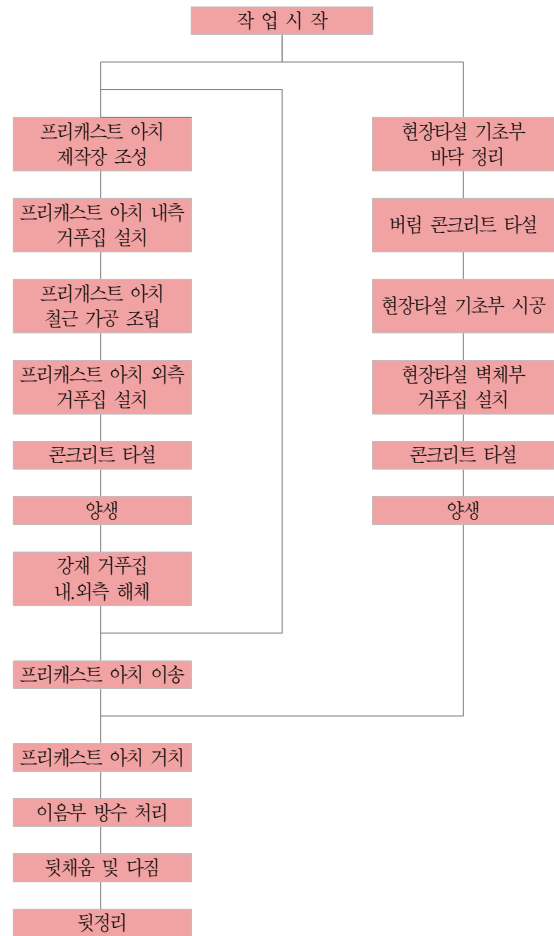
(j) 마감벽 및 뒤채움



(k) 조정마무리 및 공사완료

사진 3. 프리캐스트 아치를 이용한 개착식 터널 시공 방법 개요도

표 5. P.A.B 시공 흐름도




립하는 프리캐스트 아치 개착식터널 공법을 적용함으로써 품질이 우수하고 내구성 및 미관이 한층 개선된 구조물 시공이 가능하였다. 금번 일광터널 공사는 부산~울산간을 연결하는 고속도로라는 점에 운전자의 시각적 안정감을 주기 위해 도로바닥에서 아치 천정부까지의 형하고는 7m에 이른다. 또한 아치의 개방감으로 터널이라는 안정감과 벽체의 직선화를 통해 불필요한 도로 폭과 배면의 절토부를 최소화 할 수 있었다.

그동안 우리나라와 같이 산악지형이 많은 경우 개착식 터널의 대부분은 현장타설공법으로 시공되어 공사기간과 경제성 및 안정성 그리고 비친환경적이라는 것이 많은 문제점으로 지적되어 왔다. 그러나 일광터널은 프리캐스트로 제작하여 단순 설치하는 공법을 적용함으로써 공사기간을 획기적으로 줄였고, 또한 경제성과 친환경 및 안정성을 모두 만족하고 생태터널의 친환경 구조물의 메카로 진보하는데 그 초석을 마련하게 되었다.

철저한 품질관리하에 제작된 프리캐스트를 이용함으로써 콘크리트 구체에서 균열 발생이 줄어들었으며, 세그먼트의 수밀성이

높아 침투수가 거의 발생하지 않은 것으로 판단된다.

프리캐스트 이음부에만 적용한 2중의 방수처리만으로도 이음부에서의 방수는 충분한 것으로 입증되었으며, 기계적인 체결 없이 독립적으로 설치된 프리캐스트 세그먼트와 또 세그먼트와 현장타설 벽체부 이음부에는 시공 중 및 완공 후에도 구조 및 사용성 측면에서 아무 문제없이 설계대로 성능을 발휘하는 것으로 확인되었다. 국내 건설시장에서 기능 인력의 수급 및 각종 공사의 선진화 과정의 추세를 살펴볼 때 이러한 프리캐스트 지중 개착터널 공법을 적용함으로써 터널의 유지관리 체계개선 및 건설비용의 절감이 가능할 것으로 기대된다. 

참고문헌

1. 콘크리트구조설계기준, 한국콘크리트학회, 2003.
2. 도로교설계기준, 건설교통부, 2003.
3. AASHTO, 16th Edition, 1996.

담당 편집위원 :  
한승환(한국도로공사도로교통기술원) [hansu@freeway.co.kr](mailto:hansu@freeway.co.kr)

◇◇◇ 학회지 광고 게재 안내 ◇◇◇

콘크리트학회지는 격월간으로 발행되어 7,000여 회원을 비롯한 콘크리트 관련 업계, 학계, 유관 기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다.

귀사의 미래를 위한 광고가 저렴한 가격과 가장 효과적인 방법으로 활용될 수 있도록 광고를 모집합니다.

1. 광고게재면

게재면	광고 협찬금	게재면	광고 협찬금
표 2	80만원	간지	70만원
표 3	70만원	내지(전면)	50만원
표 4	100만원	박스 광고	30만원

2. 할인혜택 : 본 학회의 특별회원사가 게재하는 광고 또는 연간 6회 이상 게재 시 상기 협찬금을 아래와 같이 할인하여 드립니다. 단, 일시불로 납부하여야 적용 가능합니다.

- 1년 계약 : 10% 할인     2년 계약 : 20% 할인     회원사 : 추가 5% 할인