

# 프리캐스트 스팬 공법을 적용한 고속철도 연속교 시공 Construction of Continuous Bridges in High-Speed Railway using Precast Span Method

김 성 일\*      김 성 호\*\*      이 원 표\*\*\*      윤 철 수\*\*\*\*  
Kim, Sung Il    Kim, Sung Ho    Lee, Won Pyo    Yoon, Chul Soo

## ABSTRACT

Out of 412km long Kyung-bu high-speed railway, 302km was designed in the form of either bridges or tunnels. Most of bridges were designed to be prestressed concrete box girder type. The precast span method was selected because of good quality of bridge section secured by factory manufacturing, fast construction speed, low construction cost with mechanized construction and the safety for field workers. The precast span method has been mainly utilized in bridges consisted of repeated simple spans. However, we applied the precast span method to continuous bridge for high-speed railway. Since it was the first attempt to apply the precast span method to a continuous bridge for high-speed railway, many design and construction details were studied and implemented in the construction. Design and construction processes of a continuous bridge construction using the precast span method are briefly described in this paper.

## 1. 서론

경부고속철도는 지형특성상 국외의 고속철도 구간에 비하여 교량과 터널이 차지하는 비율이 매우 높다. 총 412km의 구간 중 302km가 교량과 터널로 구성되었으며, 현대건설이 프리캐스트 스팬 공법(Precast Span Method or Full Span Launching Method)을 적용하여 시공한 총 연장 19.5km의 2-2 공구(그림 1)의 경우에도 7.7km가 교량으로 구성되어 있다.

현재 경부고속철도의 대부분의 교량은 PS 콘크리트 박스거더 교량으로 설계되었으며, 또한 MSS(Movable Scaffolding System) 공법에 의하여 시공하기로 계획되어 있었다. 그러나, MSS 공법, 즉 이동식비계공법은 대부분이 현장작업으로 이루어지므로, 양생방식의 한계, 기후에 따른 공정진행의 불확실성 등이 상존하여 고품질의 확보가 어려우며, 공기의 단축을 기대하기 어렵다. 또한, 숙련된 기능공과 MSS 장비의 부족 시에는 안전사고, 품질저하 및 시공계획에 따른 진행이 어렵게 된다.

따라서, 제작장내 생산에 의한 고품질 확보, 25~30일이 걸리는 MSS 공법에 비하여 1일~2일로 획기적인 공기단축 (그림 2), 기계화 시공에 의한 공사비 절감, 작업자에 대한 안전성 등의 장점을 가진 프리캐스트 스팬 공법을 적용하게 되었다.

\* 현대건설 기술연구소 선임연구원, 정희원

\*\* 현대건설 기술연구소 연구원

\*\*\* 현대건설 기술연구소 책임연구원

\*\*\*\* 현대건설 경부고속철도 2-2공구 소장

프리캐스트 스팬 공법은 일반적으로 1) 제작장에서의 PS 콘크리트 박스거더 생산, 2) 특수운송장비(Straddle Carrier)에 의한 제작장에서 현장으로의 운반, 3) 특수장비(Launching Gantry)를 이용한 가설의 세 단계로 구성된다.

프리캐스트 스팬 공법은 이탈리아 등에서 단순교의 시공에 적용되어 왔으나, 국내에서는 동적거동의 안정성 확보와 유지관리비 절감을 목표로 세계 최초로 연속화 과정에 의한 연속교 시공을 시도하였다. 이 논문에서는 프리캐스트 스팬 공법의 설계와 시공에 대하여 간략히 논하고자 한다.

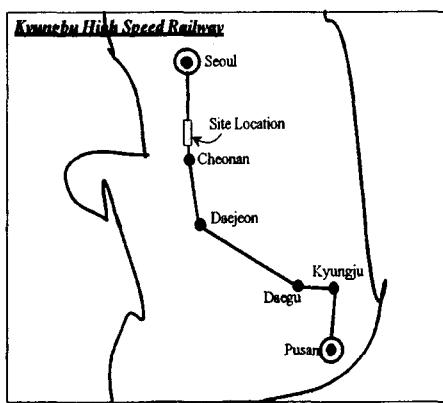


그림 1. 경부고속철도 2-2공구

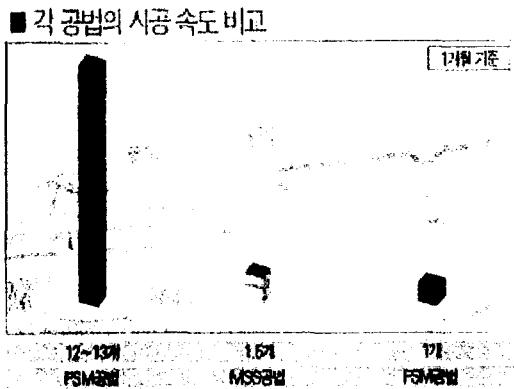


그림 2. 공법별 시공속도 비교

## 2. 설계

최초로 시도되는 단순교의 연속화 과정에 의한 프리캐스트 스팬 공법 적용을 위하여 철저한 해석 및 설계가 이루어졌다<sup>[2,4,5]</sup>. 일반적인 단순교 시공에 비하여 구조시스템과 하중조건이 시공단계별로 많은 변화를 하며, 지지조건의 변화 또한 설계단계에서 미리 고려하여야 한다. 교량 받침의 용량 및 이동에 대한 해석도 반드시 필요하다.

가설장비(Launching Gantry)와 경제성을 고려하여 교량의 경간은 25m로 결정되었으며, 대표적인 단면도는 그림 3과 같다.

고속철도 교량의 특성 상, 350km/h까지 주행하는 이동열차하중에 대한 고려와 트랙-구조물 간의 상호작용에 대한 해석도 수행하였다<sup>[6]</sup>. 참고로 25m 지간의 교량은 경부고속철도를 주행할 KTX에 대하여 다른 지간에 비하여 매우 안정적인 동적거동을 나타낼 수 있다<sup>[3]</sup>.

## 3. PS 콘크리트 박스거더의 제작

프리캐스트 스팬 공법은 제작장에서 한 경간을 제작 후 특수 제작된 트레일러를 이용하여 현장으로 이동 후 가설하는 방법으로 제작장에서의 작업 연속성이 매우 중요하다. 제작장에서의 작업은 철근가공 → 양단 거푸집 설치 → 철근조립 → Tendon 설치 → 내부 거푸집 설치 → 타설장 이동 → Pre-Tensioning → 콘크리트 타설 → 스텁 양생 → Detensioning → 거푸집 해체 → Lifting → Box Girder 적재의 순서로 이루어지며 제작 모습은 그림 4와 같다.

프리캐스트 스팬 공법은 각종 설비를 갖춘 제작장 내에서 대부분 작업을 기계화 처리할 수 있음 뿐 아니라, 작은 공간에서 단순 반복 작업을 함으로써 효율적인 작업 관리를 기할 수 있다. 제작장의 위치선정은 원활한 운반로 확보와 관련하여 매우 중요한 사항으로서 충분한 공간확보가 필수적이며 보통 교대부근에 설치하는 것이 가장 경제적이다. 그러나, 연장이 매우 긴 장대교량의

경우 교량 중간에 교량과 평행하게 공장을 설치하는 경우도 있다.

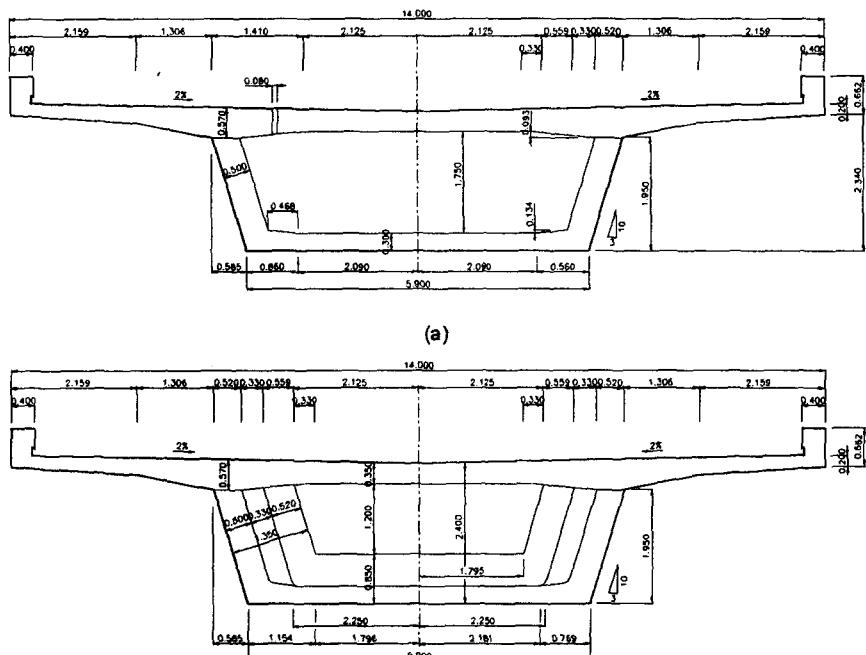


그림 3. 전형적인 박스거더 단면 ((a) 중앙부, (b) 단부)

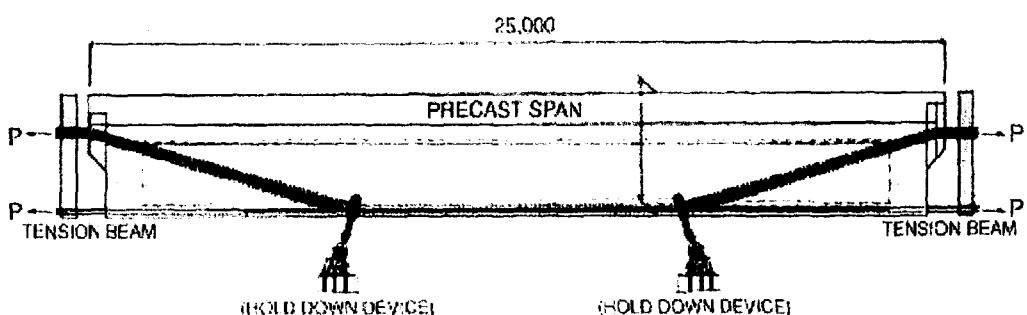


그림 4. 제작장에서의 Prestressed Box Girder 제작

#### 4. Straddle Carrier에 의한 운반

제작장에서 기 제작된 콘크리트 박스거더는 straddle carrier란 특수 운반장비에 의해 가설현장까지 운반된다 (그림 5). Straddle carrier는 길이 25~30m, 중량 600~700ton에 이르는 한 경간을 제작장에서 기설치된 상관 위를 통과하여 가설위치로 운반하는 차량으로서 제원은 표 1과 같다.

표 1. Straddle carrier의 제원

차량길이	25m
차량폭	5.2m
차량높이	3.55m
차량무게	100ton
최대 적재능력	700ton
바퀴 수	32개
바퀴 직경	1.7m

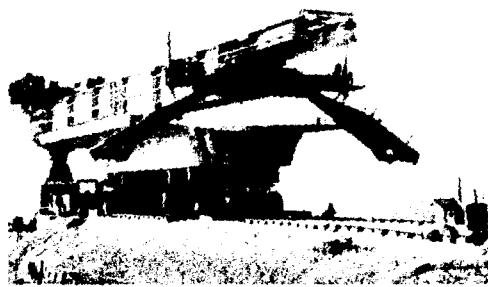


그림 5. Straddle Carrier에 의한 운반

#### 5. Launching Gantry에 의한 가설 및 연속화

Straddle carrier에 의해 운반된 박스거더 한 경간은 프리캐스트 스펜 공법의 핵심 장비인 launching gantry에 의해 기설치된 교각의 임시베어링 위에 가설된다. Launching gantry는 front, mid, rear leg로 구성되며, 장비 및 박스거더의 자중과 가설시의 관성력 및 풍하중 등을 고려하여 설계된다. 그림 6은 launching gantry의 제원과 중량을 나타낸다. Launching gantry에 의한 가설작업은 그림 7과 같이 7단계로 구성된다.

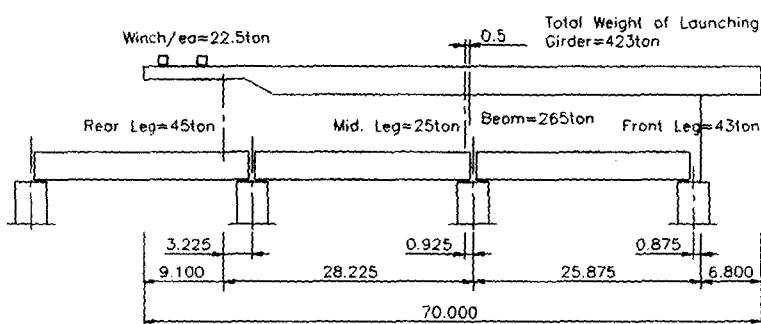


그림 6. Launching gantry의 제원과 중량

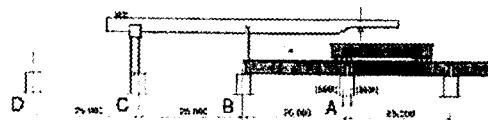
Launching gantry에 의하여 가설되어 단순지지된 PS 콘크리트 박스거더 사이를 현장타설에 의해 일체화시키고 post-tensioning을 통하여 압축력을 도입함으로써 연속교로 거동하게 한다. 이때 기설치된 임시베어링을 flat jack이나 hydraulic jack을 이용하여 5mm jack-up한 후 영구베어링에 하중을 전달하게 함으로써 단순지지에서 연속보로 변경됨에 따라 구조계의 변화를 가져오게 된다. 그림 9는 이러한 연속화 과정을 보여준다.

그림 10은 연속부 sheath pipe의 상세도를 나타낸다. Post-tensioning은 콘크리트의 강도가

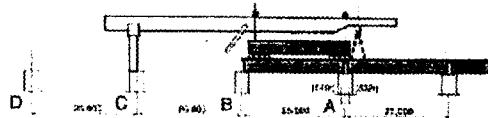
$300 \text{kg/cm}^2$ 에 도달한 후 수행되며, 정밀한 신장량 관리가 요구된다.

● BOX GIRDER의 설치도

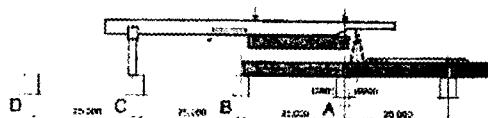
PHASE 1. Back Leg가 바깥쪽으로 밟아지고 Box Girder가 Launching Girderto 진입



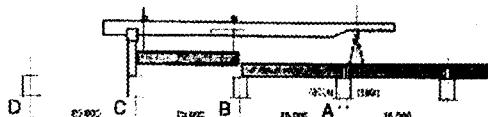
PHASE 2. Back Leg가 정상위치로 거치되고 중간 지지대가 회전시작



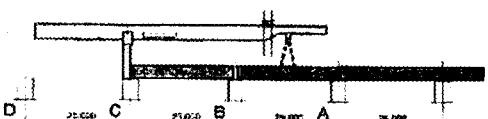
PHASE 3. 중간 지지대가 Main Beam내로 회전완료후 Box Girder가 인양되어 전방으로 이동시작



PHASE 4. Box Girder가 이동하여 최종위치에 설치



PHASE 5. Launching Girder가 Back Leg의 구동력으로 자주식 이동 시작



PHASE 6. Launching Girder 이동완료 및 중간 지지대를 교각에 정차시킴



PHASE 7. Front Leg를 다음 교각으로 이동 설치

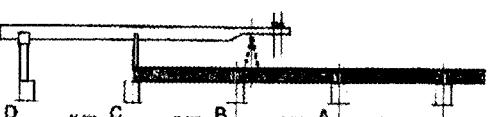


그림 7. Launching Gantry에 의한 가설



그림 8. 가설작업

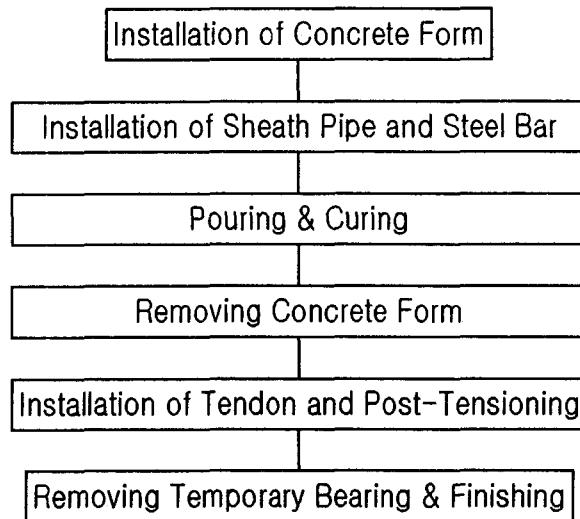


그림 9. 연속화 공정

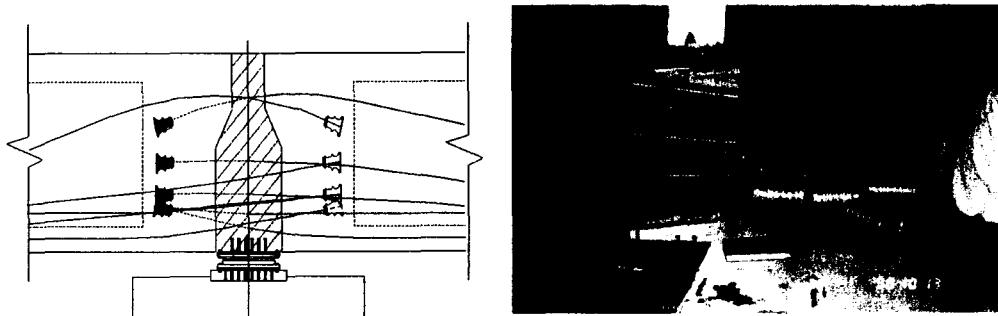


그림 10. 접속부 상세도

## 6. 결론

이 논문에서는 프리캐스트 스판 공법의 고속철도 연속교 적용에 대하여 설계 및 시공과정에 대하여 간략히 고찰하였다. 처음 시도해보는 공법이었으므로 시공초기에 hold down device에 의한 tendon의 파단, tendon의 부식, 수화열, 쉬스파이프의 손상, 임시교좌장치 위에 가설시의 문제점 등 예기치 못한 문제점 등이 발생했으나, 문제점들을 해결하고 현재 안전한 구조물을 완성하였다.

최초로 프리캐스트 스판 공법을 연속교 시공에 적용하여 신축이음 제거에 따른 열차의 주행성 및 승차감 향상을 확보하였으며, 단순교에 비하여 동적안정성을 확보하였다고 판단된다. 또한 유지관리비 측면에서의 경제성도 확보하였다.

프리캐스트 스판 공법은 일정 길이 이상의 직선구간이 확보될 경우 다른 공법들에 비하여 경제성 등에서 매우 유리한 공법이므로 앞으로 철도교 및 도로교에서의 적용 가능성이 매우 높은 공법이다. 또한, 신공법에 대한 경쟁력을 바탕으로 대만, 중국, 미국 등 새로이 고속철도를 건설하고 있거나 계획하고 있는 해외건설시장에서의 활용도도 높을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. Korea High Speed Rail Construction Authority, *Bridge Design Manual (BRDM) Final Report*, 1995.6
2. Systra, *Precast Span Method Detailed Structure Design*, 1997.1
3. 김성일, 곽종원, 장승필, “교량의 지간장과 고속전철하중 유효타격간격 사이의 관계에 따른 공진현상 (Resonance Phenomenon according to the Relationship between Span Length of the Bridge and Effective Beating Interval of High-Speed Train)”, 한국지진공학회 논문집, 제 3권 2호, pp.67-75, 1999.6
4. 서울대학교 공학연구소, *Rational Design and Construction Method for Precast Span Method Bridge*, 1997.6
5. 서울대학교 공학연구소, *Evaluation of Fatigue Resistance of PSM Box Girder Bridges*, 1998.1
6. Systra, *Dynamic Analysis Under High Speed Live Loads*, 1995.8
7. Hyundai Engineering & Construction, *Construction Plan (Continuation) Kyung-bu High Speed Railway 2-2 Section*, 1999.1