



# 호남고속철도 2-2공구의 FSLM 몰드 개발 및 시공

## Development of FSLM Mould and Construction of HONAM High Speed Rail Way Section 2-2

계문교 Moon-Kyo Kye  
비티유 코리아(주) 대표이사

오동식 Dong-Sik Oh  
SK건설(주) 과장

최승선 Seung-Seon Choi  
비티유 코리아(주) 부장

### 1. 머리말

호남고속철도 2-2공구는 충남 논산시 노성면 호암리에서 성동면 정지리에 이르는 총 연장 10,362km의 구간을 시공하며, 그 중 갈산교를 비롯한 총 6개소 5,34km가 교량으로 설계되어 있다. 시공성 및 경제성, 안전성, 유지관리를 종합적으로 고려하여 모든 요건에 최적화된 FSLM 공법을 선택하였으며, 시공대상인 PSC 박스 거더<그림 1>의 주요 제원은 다음과 같다.

- 1) 높이(H) = 3.5m(center 기준)
- 2) 폭(W) = 12.6m
- 3) 경간장(Span L) = 35m, 30m, 25m
- 4) 최대 중량 = 960 ton

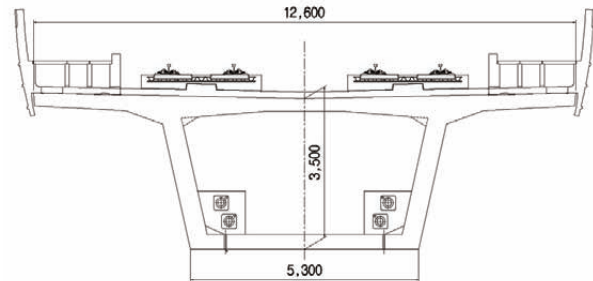


그림 1. 호남고속철도 PSC 박스 거더

### 2. FSLM(Full Span Launching Method) 공법

FSLM은 교량 상부 1경간을 육상에서 제작한 후 특수 운반 장비 및 가설 장비를 이용하여 1경간의 거더를 가설하는 공법이다. 최초 공정 분석에 의한 제작일 산정 후 제작에서 가설까지 대부분을 기계화 시공함으로써 공사기간 단축 및 고품질 확보가 가능하다. 제작장, 철근조립장, 타설 설비, 인장 및 양생 설비 등 초기 투입비가 많이 소요되는 특징이 있으나 <표 1>과 같이 경부고속철도의 경우 25m 경간 기준 4.5km 이상, 호남고속철도의 경우 35m 경간 기준 5.0km 이상 등 일정 규모 이상의 장대 교량 구간에서 경제적인 공법이다.

표 1. 공법 및 연장별 공사비 비교

교량연장		공법 및 연장별 공사비 비교							
		3.0 km		5.0 km		7.0 km		10.0 km	
		규격	경간	규격	경간	규격	경간	규격	경간
형식 및 연장	FSLM공법	35/3.5	86	35/3.5	143	35/3.5	200	35/3.5	286
	MSS공법	40/3.5	75	40/3.5	125	40/3.5	175	40/3.5	250
	FSM공법	40/3.5	75	40/3.5	125	40/3.5	175	40/3.5	250
총 공사비	FSLM공법	286억 원		477억 원		668억 원		954억 원	
	MSS공법	296억 원		494억 원		691억 원		988억 원	
	FSM공법	293억 원		489억 원		685억 원		978억 원	

## 2.1 FSLM 공법 적용 시 고려사항

### 2.1.1 동적 거동을 고려한 검토

- 1) 구조물의 안정과 관련된 규정 외에 재료의 거동, 차량 운영 조건과 관련된 요구 조건 및 운행 중인 열차를 위한 특별 규정이 설계 단계에서 반영 되어야 한다.
- 2) 고속철도 교량에 대하여 운행 한계 조건을 설정하고 동 상판의 수직 가속도 제한과 면틀림 제한, 승차감 기준 등을 <표 2>와 같이 제한한다.

### 2.1.2 단순 경간의 적정성 검토(1@35 m)

- 1) 35m 단순 경간으로 적용하는 것은 연속 경간 형식보다 중앙부 수직 가속도를 다소 증가 시키지만 콘크리트 도상 적용으로 허용치가 높아졌기 때문에 단순 경간을 먼저 설치하고 이것을 다시 연속화하는 공정을 제거할 수 있다.
- 2) 단순경간은 고정점간의 거리가 짧아지므로 장대 레일 적용성이 유리하다.
- 3) 시동 및 제동 하중 등 수평력이 모두 교각으로 분산되기 때문에 하부 구조물을 보다 슬림한 모습으로 적용할 수 있다.

### 2.1.3 PSC 박스 거더 단면 중량

<표 3>과 같이 호남고속철도 상부 단면이 경부고속철도단면에 비해 약 20% 이상 중량이 낮아 FSLM 공법 적용이 유리하다.

### 2.1.4 교량 폭원

교량 상부에 설치되는 부대시설인 전력, 통신, 신호, 전철주 기초 등 교량 구조물에서의 여유 공간과 PSC

표 2. 동적해석 시 검토사항 및 기준

구분	상판 수직가속도(g)	상판 면틀림 (mm/궤도폭/3m)	승차감기준 (35m 기준)
기준	0.5	1.5	1/1,700

표 3. 경부 및 호남고속철도 물량 비교

구분	경부고속철도(m³)	제안단면 (m³)	제안/경부 ×100(%)	비고
30m	430.42	336.66	78.217	당초 곡선형 단면 대비 콘크리트 물량
35m	492.44	386.27	78.440	
40m	554.46	434.74	78.408	

박스 거더를 운반하기 위한 장비 제원 등의 검토를 수행하여 다음과 같이 폭원을 적용하였다.

- 1) 상부 구조물 본체의 폭원 : 12,600 mm
- 2) PC 공동관로 및 난간을 포함한 폭원 : 13,400 mm

## 2.2 교량 형식 비교

35 m 이내의 경간 적용에 따른 상부 형식별 특징과 장단점을 비교 검토 하였으며 <표 4>와 같다.

## 3. FSLM 몰드(mould) 개발

### 3.1 몰드 개발 배경

지금까지는 공사의 핵심인 가설 장비와 몰드의 국산화 이루어지지 않아 FSLM 관련 기술 및 제품을 외국 기업에 의존하여 왔다. 이는 공사비의 증가와 공사기간의 지연으로 이어지는 악순환을 반복해 왔던 것이 주지의 사실이다. 상기의 문제점을 개선하기 위해 당 현장

표 4. 교량 형식별 비교

구분	비교 1안	비교 2안	비교 3안
형식	PSC 박스	상로형 PSC U-거더	하로형 PSC U-거더
단면			
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 최적화 단면형상으로 단순·간결한 외관</li> <li>• 폐단면 형상으로 비틀림 저항성 우수</li> <li>• 유지관리비 유리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 거더수가 많아 외관상 복잡</li> <li>• 다주거더로 비틀림 저항성 보통</li> <li>• 유지관리비 보통</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단순·간결한 외관미 연출 및 다리밑공간 확보 유리</li> <li>• 개단면 형상으로 비틀림 저항성 불리</li> <li>• 강선증가로 유지관리 보통</li> </ul>
가설 공법	FSLM/FSM/MSS	크레인	FSM
총공사비	7.0억 원/35m (2,000만원/m)	13.7억 원/35m (3,910만원/m)	15.3억 원/35m (4,370만원/m)
채택	◎	-	-
검토 의견	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고속철도교의 요구조건인 동적안정성확보와 사용성 확보에 유리한 단면특성을 가지며, 국내·외적으로 적용사례가 가장 많아 구조적 안전성과 우수성이 검증되었고, 다양한 가설 공법의 적용성, 경제성, 시공성 및 유지관리에 유리한 PSC 박스를 적용함.</li> </ul>		

에서는 국내 최초로 FSLM 몰드를 국내 기술로 개발하여 성공적으로 시공을 완료함으로써 외국 기업 의존에 따른 문제점을 방지하고 국내 기술의 가치를 높일 수 있었다.

### 3.2 몰드의 구성 및 단면

몰드의 기본 설치 단면은 <그림 2>와 같다. FSLM 몰드의 구성 및 수량은 <표 5>와 같으며, 몰드 주부재의

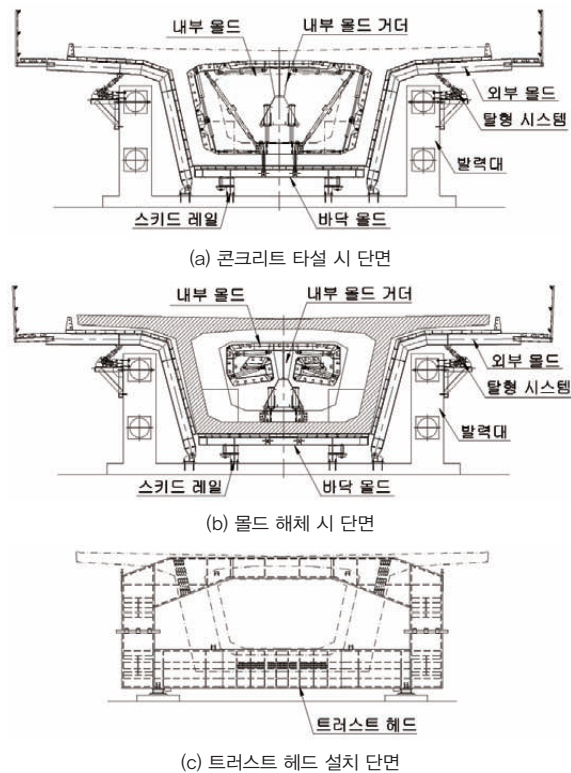


그림 2. 몰드 단면

표 5. 국산화 FSLM 몰드 중량 집계

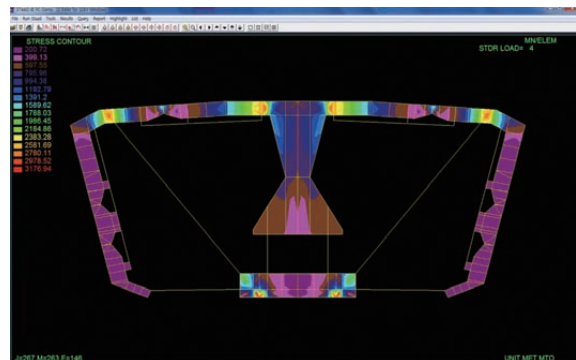
품 목	수량	단위	중량	
			단위중(kg)	총중량(kg)
외부 몰드	1	SET	95,109	95,109
바닥 몰드	2	SET	41,992	83,984
내부 몰드	1	SET	67,237	67,237
벌크헤드 몰드	2	SET	12,839	25,678
트러스트 헤드	2	EA	71,172	142,344
스키드 레일	1	SET	38,653	38,653
철근 지그대	1	SET	31,307	31,307
합 계				484,312

총 중량은 약 484 ton이다.

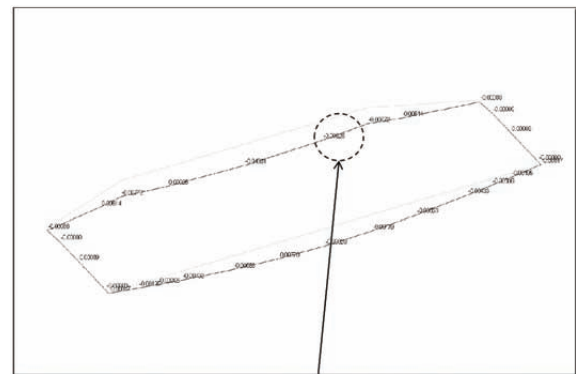
### 3.3 몰드 설계

공장제작 FSLM 몰드는 현장 타설용 거푸집과 비교하여 반복 사용 횟수가 많으므로 몰드 설계는 공사 완료시까지 변형이 발생하지 않고 원활한 동작이 지속될 수 있도록 세심한 주의를 기울여야 한다.

일반적으로 국내 교량 관련 구조물의 현장 타설 거푸집은 면판의 두께가 4.5 mm인 강판을 사용하는데 반해 FSLM 몰드의 경우에는 반복 사용 횟수를 고려하여 6 mm 강판을 사용하는 것으로 계획하였다. 강재는 모두 SS400을 사용하였으며, 프리텐션으로 인해 큰 하중이 집중되는 트러스트 헤드는 SM490으로 제작 하였다. 제작 장 내에서의 젠트리 크레인으로 이송하는 부품 중 트러스트 헤드의 중량이 가장 크므로 트러스트 헤드의 경량화는 크레인의 용량을 줄이는 효과도 기대할 수 있다. 모든 부재의 계산은 허용응력법으



(a) 내부 몰드 구조 해석



(b) 트러스트 헤드 변위 계산

그림 3. 구조 해석

로 수행하였으며, 구조 해석 프로그램 스테드 Ⅲ와 마이다스를 사용하였다(그림 3).

### 3.4 개발 몰드 장점

#### 3.4.1 외부 몰드 탈형 시스템

유압 시스템과 폴딩 브레이스를 이용하여 한번의 버튼 조작만으로 35m 길이의 외부 거푸집을 동시에 개폐하는 시스템을 구현하였으며, 약 50% 이상의 공기 단축이 가능한 시스템이다. 외부 몰드 탈형 시스템은 35m 외부 몰드 양 끝단에 설치된 2개의 유압 실린더를 작동 시키면 몰드를 지지하는 브레이스가 동시에 작동해 35m 길이의 몰드 전체가 동시에 개폐 되어 진다(사진 1).

#### 3.4.2 내부 몰드 탈형 시스템

FSLM 몰드는 타설 및 양생이 완료된 박스 거더에서 내부 몰드를 어떠한 방식으로 쉽고 간편하게 인출해 낼 수 있는지가 공사의 성패를 좌우하는 매우 중요한 요소이다. 국산 개발한 내부 몰드는 (사진 2)와 같



사진 1. 외부 몰드 탈형 시스템



사진 2. 내부 몰드 탈형 및 인출

이 유압 시스템이 장착되어 다이아프램의 좁은 단면을 자유로이 통과할 수 있는 작은 규모로 접혀져 빠져 나올 수 있다.

#### 3.4.3 런칭 시스템

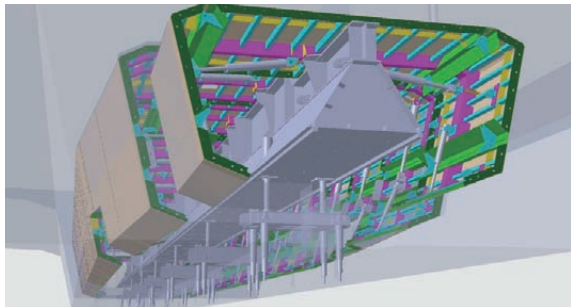
생산이 완료된 960 ton 중량의 PSC 박스 거더와 바닥 몰드를 제작장 밖으로 인출하는 시스템을 런칭 시스템이라 하며, 제작 장 조성 시 바닥에 매립한 파이프와 유압 실린더를 이용하여 중량물 이송이 가능하도록 고안된 장치이다(사진 3).

### 3.5 3차원 그래픽 모형 시험

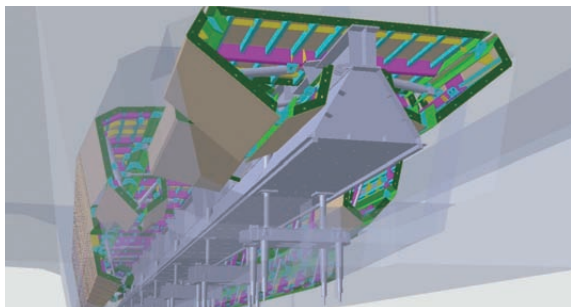
제작 및 현장 시공 시 발생할 수 있는 오류를 사전에 방지하기 위하여 카티아 프로그램을 사용하여 3차원 그래픽 모형 시험을 수행하였다. 설계 단계에서부터 모든 부품의 상세도면을 3차원으로 구현하였고, 가상공간에서 3차원으로 구현된 모든 부품을 조립, 설치하고 동작을 시킴으로써 동작상의 오류나 간섭 등 실제 시공 시에 발생할 수 있는 문제를 사전에 발견하여 보완 하였다. 내부 몰드의 경우 다양한 각도에서 제작물 치수의 정확성, 동작상의 문제점, 다이아프램 통과 여부 등을 사전에 검증 및 보완할 수 있었다. 3차원 그래픽 모형 시험을 통해 제작 및 설치 시 발생할 수 있는 여러 문제점을 사전에 발견하여 수정함으로써 공사 기간을 단축할 수 있었고 시공 시 발생할 수 있는 돌발적인 오류를 최소화 하였다(그림 4).



사진 3. 런칭 시스템



(a) 내부 몰드 설치



(b) 내부 몰드 탈형

그림 4. 3차원 그래픽 모형 시험

### 3.6 외국사례 비교

#### 3.6.1 내부 몰드 탈형 시스템

타 공구 내부 몰드는 타설후 탈형을 2회에 걸쳐 인출하는 반면에 국산 개발한 내부 몰드는 1회에 인출하였다(표 6).

#### 3.6.2 기타 사항

반복 사용으로 인한 변형으로 외국사 몰드의 경우 슬래브 끝단부 및 벌크헤드 거푸집에 추가로 써포트 지지한 사례가 많이 발생하였으나 국산화 몰드는 공사 종료 시까지 추가지지 없이 사용하였다. 국내개발 몰드의 경우 모든 콘크리트 접촉면의 강판을 레이저 절단하여 사용함으로써 절단기로 절단한 외국사에 비해 정밀도가 우수한 제품을 사용하였으며, 이는 콘크리트 품질의 향상이라는 효과를 얻을 수 있었다.

## 4. 맺음말

고속철도 노반 신설 공사 중 교량 가설 공법 선정에 영향을 주는 주요 요인으로는 사업기간과 사업비의


표 6. 내부 몰드 탈형 시스템

외국 사례	<p>내부 몰드를 2회에 인출</p>
개발 기술	<p>내부 몰드를 유압 시스템으로 접어 1회에 인출</p>

규모, 설계와 시공성 그리고 교량 제작과 가설 기술 등이 있다. 따라서 안정적인 공사기간의 확보, 균일한 품질관리 및 공정의 자동화에 따른 용이한 안전 관리 등의 장점을 가지고 있는 FSLM 공법은 향후 국내외 고속철도 노반신설 공사에도 널리 이용될 전망이다. 우리나라는 세계 5번째 고속철도 기술 보유국이지만 공사기술과 관련해서는 꾸준한 개발이 필요하다고 생각한다. 그동안 해외 기술에만 의존해 왔던 FSLM 몰드를 국산화 하여 실제 공사에 적용하였고, 외국사의 몰드와 비교 시에도 경제성은 물론이고 기술적으로도 더 좋은 평가를 받았다.

국내에 FSLM 공법이 도입 된지 20여년이 지났고, 시기적으로 늦은 느낌이 있지만 과거로부터의 축적된 기술력과 시공 노하우 등을 응집하여 한국형 FSLM 공법을 정립하는 것이 필요한 시점으로 판단된다.

세계 시장 수요 환경에 대처할 수 있는 차세대 고속철도 건설의 차별화된 기술 확보가 필수적이며, 이

에 부합하는 FSLM 공법의 몰드 국산화로 첫발을 딛는 만큼 고속철도 건설 전 분야에서 기술 우위를 위한 R&D 투자 등의 초석이 되기를 희망해 본다. 

담당 편집위원 : 김도혁(GS건설(주) 기술연구소) dohkim@gsconst.co.kr



**계문교 대표이사**는 송실대학교 기계공학과 졸업후 금강도카, 태영엔지니어링 등에서 20여년간 교량 가설장비 및 Form work의 개발과 설계 업무를 수행하였으며, 인천대교, 호남고속철도, 의정부 경전철 등의 몰드 개발에 중추적인 역할을 담당했다. 2010년 비티유 코리아를 창업해 현재 대표이사로 재직 중이다.  
moonkyo65@naver.com



**오동식 과장**은 울산대학교 토목공학과 및 동대학원을 졸업하였고, 경부고속철도 1단계 현장에서 장대교량(9.2km) 시공을 담당 하였으며, 2004년 SK건설(주) 입사 후 경부고속철도 2단계 장대터널(13km) 시공담당과 호남고속철도 장대교량(5.3km) 시공담당을 거쳐 현재 대구선 동대구~영천 복선전철화 제1공구 현장에서 근무 중이다.  
dsoh@sk.com



**최승선 부장**은 충주대학교 기계공학과 졸업 후 태영엔지니어링, 이노폼텍 등에서 교량가설 장비 및 Form work 설계를 담당하였고, 인천대교, 호남고속철도, 의정부 경전철 등의 Mould 프로젝트에 참여하였다. 2010년 비티유코리아에 입사 후 기술부 부장으로 근무 중이다.  
innosunny@naver.com

## 2012 개정 콘크리트구조기준 해설

- 저 자 : 한국콘크리트학회
- 출판사 : 기문당
- 발행일/Page : 2012-12-20/600(판형 A4변형)
- 정가(비회원가) : 45,000원
- 회원할인가 : **36,000원**
- 배송비 착불(3,000원)

### 도서 소개

건축·토목 분야 전문가로 구성된 콘크리트구조기준개정위원회의 집필과 국토해양부 중앙건설기술심의회위원회의 심의를 거쳐 개정된 콘크리트구조기준(2012)의 구체적인 해설서이다.

- ① 하중계수 조정 : 지중 구조물 설계에서 연직 및 수평 토압이 상쇄되는 효과를 고려하여 재하방법을 명시하고 하중계수를 조정.
- ② 고강도 철근 적용을 위한 관련 기준 보완 : 국내외 실험결과를 바탕으로, 고강도 철근을 구조부재에 적용하기 위하여 관련 기준을 정비함. 개정기준에서는 SD600, SD500을 휨 철근과 전단철근으로 사용함.
- ③ 철근 상세 보완 : 확대머리 이형철근 도입과 콘크리트 앵커철근 사용을 신설함.
- ④ 기존 구조물의 안전성평가 및 성능기반설계 고려사항 제시 : 국토부 R&D 결과를 반영, 기존 구조물의 안전성평가 내용을 대폭 개선하고, 성능기반 설계시 설계자가 고려해야 하는 기본 사항을 제시
- ⑤ 균열기준 개정 : EC 모델을 참조하여 균열폭 해석모델을 수정 보완
- ⑥ 국내외 주요 연구결과 반영 : ACI 318-08 등 최신 선진기준 내용 반영, 슬래브와 기초판의 뿔림전단 강도를 합리적으로 개정

