



# IT 박스 PSC 거더 공법

## Intelligent Technology Box Prestressed Concrete Girder

최우석

Woo-Suk Choi  
(주)홍지디씨에스 설계팀장

김태균

Tae-Kyun Kim  
(주)홍지디씨에스 대표이사

어철수

Cheol-Soo Eoh  
(주)한국피시 토목부장

### 1. 머리말

PSC 거더(prestressed concrete girder) 교량은 강교량에 비해 공사비가 매우 저렴하고 유지관리의 편이성 때문에 많이 적용되고 있는 교량형식이다. 일반적으로 중·소 지간장에 사용되는 PSC 거더 교량은 사용재료의 발달과 여러 가지 사회적인 요구에 의해 다양한 형태의 기술발전이 이루어지고 있으며, 기존 PSC 거더 교량형식의 개선 목적은 다음과 같이 크게 두 가지로 분류된다.

첫째, 교량의 지간장 구성이 과거에 비해 길어져야 하는 제약조건들이 많이 발생하고 있다. 그 제약조건들은 도로선형상의 제약, 차도 폭의 횡단 길이 확대, 산악지역의 고교각의 형성, 기존 시설물들의 회피, 하천 통수단면의 확보 등이다.

둘째, 교량의 거더 높이를 과거에 비해 낮춰야 하는 제약조건들이 많이 발생하고 있다. 기존 도로선형상의 제약, 하천 홍수위의 증가, 강우강도의 설계기준 상향조정에 의한 유량의 증가, 도로선형에 따른 기존 시설물의 회피 등이다.

불과 몇 년 전까지 PSC 거더는 높은 형고와 자중의 증가로 인해 지간장 35m 이내의 교량에 적용되었으며 그 이상의 지간장이 요구되는 경우 강합성 교량이 많이 사용되었다. 그중 프리플렉스 교량은 50m의 장지간 적용과 낮은 거더 높이를 확보할 수 있는 장점으로 틈새시장 수요를 만족하였으나 일반강재를 이용하여 프리스트레스를 콘크리트단면에 도입하기 때문에 크리프 및 건조수축 등의 장기거동에 취약하며, 하부케이싱 콘크리트 및 복부 콘크리트에 균열이 발생하는 품질상의 문제가 발생하였다. 또한, 강재가격의 상승은 기존 프리플렉스 교량뿐만 아니라 개량형 프리플렉스 거더 계열 교량인 RPF 거더, 프리콤 거더, SCP 거더 등의 수요가 급감하는 원인이 되고 있다.

그러므로 최근에는 개량형 PSC 거더가 강합성 프리플렉스거더 계열의 교량시장을 대체하고 있는 상황이며, 기술개발 동향 역시 지간장 50m ~ 60m에 적용이 가능한 PSC 거더의 기술개발에 있다.

기존의 개량형 PSC 거더는 I-Type 형상의 단면이 주류를 이루고 있으나 이러한 단면형상은 50m 이상의 장경간에 적용하는 경우 처짐 및 진동이 과다하게 발생하여 사용성에 문제가 될 수 있다. 또한, 단면강성을 증가시키기 위해 거더의 높이를 크게 할 경우 가설시 전도의 위험 및 긴장시 거더의 좌굴에 대한 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 거더의 강성이 크고 전도 및 긴장력 도입시 안전성이 우수한 다양한 형식의 거더 개발이 요구되고 있다.

## 2. 박스형 단면을 갖는 강합성 프리스트레스 콘크리트 거더(IT 거더) 공법

### 2.1 개발배경

국내의 건설시장은 건설사업 규모의 축소로 상당히 어려운 상황에 처해 있으며 민간투자사업의 증가 및 강재 가격의 급등으로 공사비가 저렴한 콘크리트 교량의 수요가 증가하는 추세에 있다. 콘크리트 교량은 강교량에 비해 공사비가 저렴할 뿐만 아니라 유지관리비용 측면에서도 매우 경제적이다.

그러나 콘크리트 교량은 강교량에 비해 자중이 크기 때문에 경간이 짧은 교량에 주로 적용되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 콘크리트 교량을 장지간화 하는 기술개발이 이루어지고 있으며 이에 경제적이고, 거더 높이를 최소화하며, 장지간에 적용할 수 있는 신형식 PSC 거더 공법이 개발되고 있다.

본 고에서는 BOX형 거더 단면으로 기존교량형식의 제약조건을 개선한 IT(intelligent technology) 거더 공법을 소개하고자 한다.

### 2.2 기술특성

IT 거더의 기술적인 특성은 강박스 교량과 프리스트레스 콘크리트교량의 장점을 도출하여 경제적이고, 구조적으로 우수하며 60m 지간까지 교량시공이 가능한 범용적인 적용성이다<표 1>.

표 1. IT 박스 거더 교량의 기술특성

스틸박스교량의 특징 (경간: 40~60m)		PSC 거더 교량의 특징 (경간: 25~45m)		
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>경량구조로 장경간화</li> <li>제작공정 공장화/자동화</li> <li>거더의 곡선화</li> </ul>	+	장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>공사비 저렴</li> <li>긴장력에 의한 균열제어</li> <li>진동 및 소음 감소</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>공사비 고가</li> <li>진동 및 소음 과다</li> <li>정기적인 유지관리 필요</li> </ul>		단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>자중과다로 장지간 불리</li> <li>하부구조 개소수 증가</li> </ul>



IT 박스 PSC 거더  
(IT-Box Prestressed Concrete Girder: 지간 25~60m)

<ul style="list-style-type: none"> <li>강합성 콘크리트 교량으로 60m까지 장지간</li> <li>낮은 거더 높이의 확보</li> <li>재건설 비용 절감으로 국가재정부담 경감</li> <li>높은 단면강성 확보로 진동 및 처짐 감소</li> <li>박스단면의 비틀림 저항으로 곡선 거더 가능</li> <li>비부착강선의 유지관리 활용</li> </ul>	
---	--

## 3. IT 거더의 구성 및 구조거동 특성

### 3.1 거더의 구성

PSC 거더 교량의 장경간화와 관련하여 설계 측면에서 단면형상을 개선하여 최적화하려는 국내외의 연구개발은 다양하게 진행되어 왔다.

이번에 소개하는 IT 박스 PSC 거더는 구조적인 측면과 시공적인 측면을 고려하여 50~60m의 지간장에 적용할 수 있는 가장 적합한 박스단면으로 구성된다. 즉, 기존 I-Type 단면형상에 의한 지간의 한계를 박스단면으로 극복하였으며, 자중을 줄이고 단면 높이를 최소화하기 위해 박스단면의 상단에 H형 강재를 제작시에 합성시켰다. H형 강재의 역할은 3가지로 분류된다. 첫째, 단면 2차모멘트를 향상시켜 바닥판 타설시 발생하는 최대응력을 감소시키는 역할을 하게 되며, 둘째, 낮은 형고의 거더 설계시에 최종단계에서 거더의 압축응력을 초과하는 경우가 발생하게 되는데 이에 대한 저항단면의 역할을 하게 된다. 셋째, 콘크리트와 일체로 제작되어 H형 강재의 허용응력을 적절히 활용하지 못하는 단점을 극복하기 위해 비부착 PS강선으로 미리 압축프리스트레스를 도입한 H형 강재를 콘크리트 거더의 상면에 합성시켜 제작함으로써 교량의 성능 저하시 H형 강재에 도입된 압축력을 제거하여 거더의 하면에 압축력을 추가로 도입하여 보수보강 비용을 최소화할 수 있는 역할을 하게 된다<그림 1>.

<그림 2>는 IT 박스 거더 단면의 H형 강재에 의해 도입되는 콘크리트 하연의 추가도입 응력 개념도를 나타낸

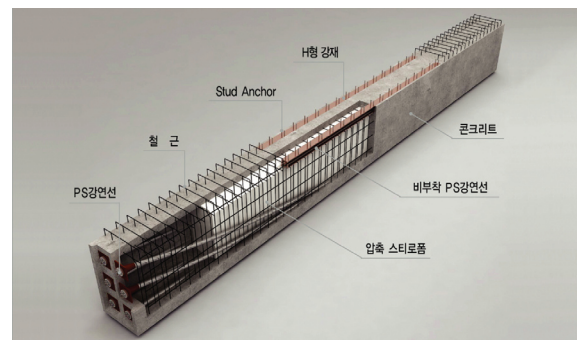


그림 1. IT 박스거더의 프리스트레스 도입 개념도

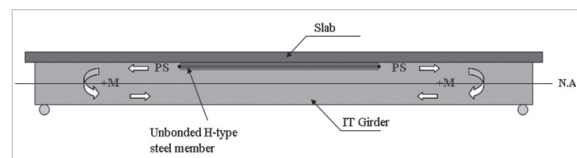


그림 2. 콘크리트 하연에 추가 도입되는 압축응력 개념도

것이다.

프리스트레스트 콘크리트 거더의 단면 상부에 <그림 2>와 같이 강재를 합성·제작하게 되면 중립축이 위로 이동하여 큰 편심 효과를 이용한 긴장력 도입을 용이하게 할 수 있고, 거더의 강성이 증가하여 바닥판 타설시 합성전 고정하중을 지지하는 역할을 한다.

또한, 바닥판 합성 후에는 바닥판과 거더가 강재의 전 단연결재에 의해 합성 상태로 저항할 수 있는 능력이 커지게 된다.

### 3.2 공법의 특징

중소지간장에 적용되는 PSC 거더 교량은 거더와 바닥판의 합성전에 발생하는 고정하중이 교량 설계시에 작용하는 전체 설계모멘트의 약 60~70%를 차지하고, 합성 후 고정하중과 활하중은 전체 설계모멘트의 약 30~40% 정도를 차지한다. 그러나 거더와 바닥판의 합성 후 단면강성은 거더의 단면강성에 비해 약 2배 이상으로 크게 증가하기 때문에 합성 후 고정하중과 활하중에 의하여 발생하는 응력은 합성 전 고정하중에 비하여 상대적으로 매우 작다. 즉, 교량설계에 있어서 합성전에 작용하는 하중과 단면강성은 교량을 설계하는데 가장 중요한 요소이다. IT 거더는 합성 전 단면저항력을 높이기 위해 콘크리트 거더 상부에 H형 강재를 합성시켜 단면 2차모멘트를 향상시켰다. 이러한 구조적인 장점을 갖는 IT 박스 PSC 거더의 특징과 장점을 살펴보면, 첫째, 폐합된 박스형상의 단면으로 단면강성이 크고 50m~60m의 장지간의 교량에 적합하다.

둘째, 콘크리트 거더 상단에 합성시킨 H형 강재는 단면 2차모멘트를 향상시키기 때문에 합성전 고정하중에 의해 발생하는 응력을 크게 감소시킬 수 있으며, 저형고의 교량설계가 가능하다.

셋째, 기존 PSC 거더의 제작과 유사한 공정을 갖기 때문에 제작이 용이하며, 지간에 따라 동일한 형상을 갖기 때문에 하나의 거푸집에서 다양한 지간을 갖는 거더의 제작이 가능하여 매우 경제적이다.

넷째, I-Type 형상의 거더교는 곡선 교량에 적용하기가 어렵다. 일반적으로 주거더의 배치는 항상 직선으로 배치하고, 바닥판을 곡선으로 처리하는 것만 가능하였다. 그러나 IT 박스 PSC 거더는 거더 자체를 곡선으로 제작할 수 있기 때문에 미관이 우수하고 다양한 방식의 곡선교 적용이 가능하다.

다섯째, 국내에 도입된 Hydro 크레인을 고려하여 거

더의 가설이 가능한 단면으로 형성되어 있기 때문에 60m의 장지간 교량에서도 고가의 스틸박스 교량 공법의 대체가 가능하다.

여섯째, 비부착 PS강선으로 미리 압축프리스트레스를 도입한 H형 강재를 콘크리트 거더의 상면에 합성시켜 제작함으로써 교량의 성능저하시 H형 강재에 도입된 압축력을 제거하여 거더 하면에 압축력을 추가로 도입할 수 있기 때문에 보수보강 비용을 최소화 할 수 있다.

### 3.3 거더의 구조성능 평가

#### 3.3.1 시험체 제작

IT 거더의 성능검증을 위한 실물시험은 경간장 50m 도로교를 대상으로 2009년 한국건설기술연구원에서 수행하였으며 시험체의 제원은 <그림 3>과 같다.

#### 3.3.2 하중재하에 따른 성능시험

변위 제어법에 따라 하중을 가한 실험체의 하중-변위 그래프는 <그림 4>와 같다.

균열이 발생 할 때까지 하중을 가(Stage 1)한 후 하중을 제거(Stage 2)하였을 때 18.7mm의 잔류변형이 발생하였다. IT 거더의 상단에 설치된 비부착 PS 강선을 절단하여 강재에 도입된 압축 프리스트레스력을 제거(Stage 3)한 결과, 거더 하부에 압축력이 도입되어서 11.0mm의 잔류변형이 회복되는 것을 확인할 수 있다.

시험체명	IT BOX 거더
길이	50m
높이/폭	2.1m, 1.2m
시험장소	한국건설기술연구원

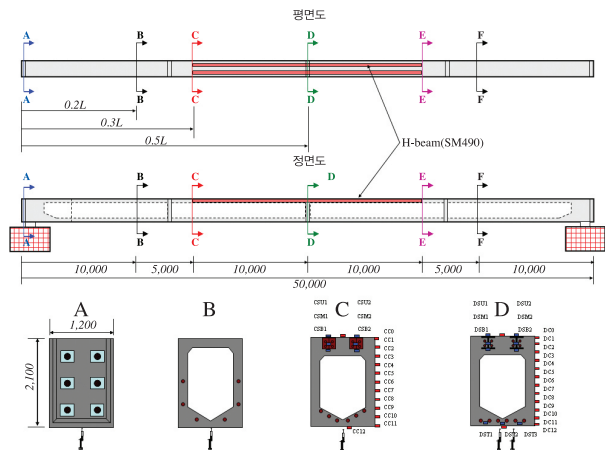
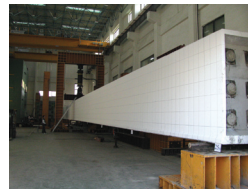


그림 3. IT 거더 실물시험

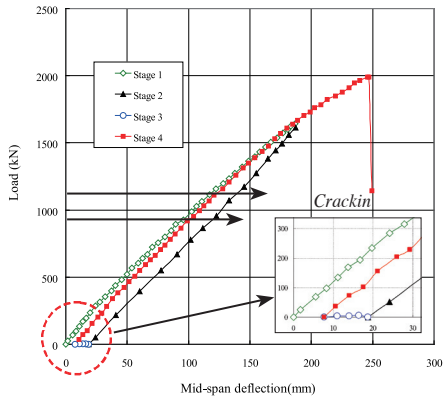


그림 4. IT 거더 하중-변위 그래프

이후 2차 하중재하를 실시하였으며, 실험체가 파괴될 때까지 하중을 가하였다. 실험체는 약 1,400 kN 재하 하중에서 1차 하중 곡선과 교차하였으며, 약 2,000 kN에서 파괴에 이르는 것으로 나타났다.

50m IT 거더의 사용하중, 균열하중, 극한하중 및 처짐에 대한 설계값과 실험값을 <표 2>에 비교하여 나타내었다. 설계값에 의한 균열하중은 1,260 kN이고, 실험에 의한 균열하중은 1,615 kN으로 나타났다. 또한, 사용하중에 해당하는 980 kN에서 탄성거동을 보여 안전성에 문제가 없는 것으로 나타났으며 실험에 의한 균열하중은 충격계수를 포함한 설계하중인 980 kN에 비해 1.7배 이상 큰 것으로 나타나 사용하중상태에서 균열이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

### 3.3.3 실험결과의 검증

IT 거더의 구조실험결과를 예측하고 구조거동을 분석하기 위하여 3D 정밀 해석을 수행하였다. 해석 프로그램은 범용 유한요소 해석프로그램인 DIANA를 사용하였으며, 사용재료에 대한 비선형거동을 고려하여 IT 거더에 대한 정밀 해석을 수행하였다. 또한, IT 거더의 특성을 고려하여 제작에서부터 실제 조건과 동일하게 설정하여 해석을 실시하였으며, 콘크리트의 모델링을 위해 IT 거더를 중공부와 다이아프레임부, 그리고 상부 H형 강재로 구분하여 8절점 솔리드(solid) 요소와 6절점

표 2. 50 m IT 거더의 성능비교

하중단계	하중(kN)		처짐(mm)
	설계값	실험값	
사용하중	980	-	-
균열하중	1,260	1,615	187.0
극한하중	-	2,000	246.8

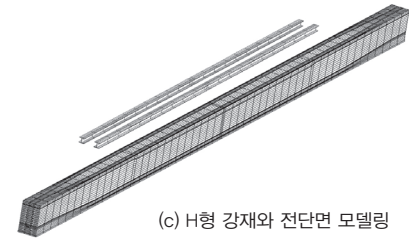
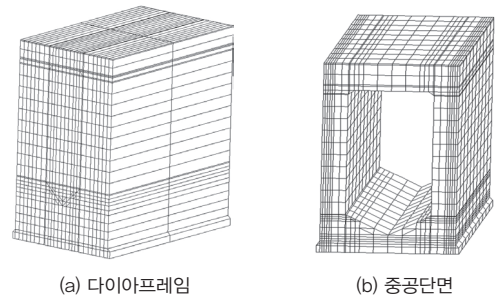


그림 5. IT 거더 실험체 모델링

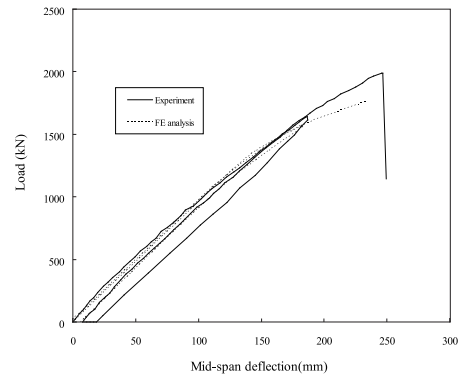


그림 6. 해석결과와 실험결과 비교

솔리드 요소를 이용하여 <그림 5>와 같이 3차원 모델링을 하였다.

<그림 6>은 IT 거더의 실험결과와 해석결과를 비교한 그래프이다. 두 개의 하중-변위 곡선을 비교한 결과 거의 일치하는 것을 알 수 있으며, 해석결과 1,800 kN에서 파괴가 발생하는 것을 확인할 수 있는데 이는 실험치인 2,000 kN보다 작아 안전성 측면을 고려한 전체적인 거동은 실험결과와 유사하게 예측하고 있다.

PSC 거더의 장경간화를 위해 개발된 IT 거더의 실제 적용성을 평가하기 위하여 50m 길이의 실물 거더에 대한 정적 성능 평가실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) IT 거더는 사용하중 상태에서 선형거동을 하는 매우 안정적인 거동을 보였으며, 고강도 콘크리트의 적용

및 바닥판 슬래브로 강재를 구속할 경우 IT 거더의 성능은 더욱 향상될 것으로 예상된다.

- 2) 상부 H형 강재에 도입된 비부착 압축프리스트레스의 제거에 의한 거더 하연의 압축응력 도입은 잔류 변형(18.7 mm)을 약 60%(11.0 mm)가량 회복시키는 성능향상을 보여 그 효과를 충분히 확인할 수 있었으며, 거더의 성능 저하 시 추가적인 보수/보강비의 소요 없이 경제적인 유지관리가 가능한 것으로 평가되었다.
- 3) 현재 개발된 IT 거더는 경간(50 m)대비 매우 낮은 형고(2.1 m)를 갖는 것으로 평가되고 있으며, 중공 단면을 사용함으로써 자중 감소효과를 보여 50 m ~ 60 m의 장경간 교량에 충분히 적용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 설계 및 시공사례

IT 거더의 대표적인 장지간 설계 및 시공사례는 다음과 같다.

· 영월~강변저류지 조성공사

발주처	강원도
교량명	청령포 IC교
지간	55.0 m
교량폭	16.0 m
거더 높이	2.40 m



· 곤지암천, 신천 수해복구 사업

발주처	경기도 건설본부	비고
교량명	신천교	설계적용
지간	2@59 m = 118.0 m	
교량폭	9.5 m	
거더 높이	2.40 m	

#### 5. 맺음말

국내 교량은 점차 장지간화 되고 있으며, 홍수위 확보의 영향으로 낮은 거더 높이를 가진 교량공법의 기술개발이 활발히 이루어지고 있다. 이러한 기술개발의 성과 중 하나인 IT 박스 교량은 일반 PSC 교량과 유사한 공사비로 낮은 형고의 교량시공이 가능하며, 프리플렉스 교

량의 약 51%의 공사비로 공사가 가능한 공법이다. 따라서 IT 거더의 적용으로 인해 다양한 제약조건을 해결하는데 도움이 될 것으로 사료된다. 또한, 장지간 제작으로 일부 스틸박스 및 PSC 박스 교량의 대체시공도 가능하며 공사비 절감이 이루어질 것으로 기대된다.

이번에 소개된 공법이 사용자의 요구와 건설시장의 여건에 적합한 교량기술로써 인정받기를 바라며, 앞으로 보다 나은 공법들이 국내교량기술의 발전을 위해서 개발되기를 바란다. ☑

#### 저자약력



**최우석 팀장**은 동국대학교 토목공학과에서 개구제형 강함성교의 수평브레이싱에 관한 연구로 석사학위를 취득하였고, 설계사인 만영엔지니어링, 삼보기술단을 거쳐 2009년부터 건설기술 연구개발 전문회사인 (주)흥지디씨에스에서 PSC 구조물, 강함성 교량등의 연구개발 및 설계를 총괄 수행하고 있다.

cos@hgdcs.com



**김태균 사장**은 동국대학교 토목공학과에서 강상자형 곡선교의 뒤틀림에 관한 연구로 석사학위를 취득한 후 (주)삼표이엔씨 기술연구소에서 교량 개발업무를 수행하였다. 2009년 부터 건설기술 연구개발 전문회사인 (주)흥지디씨에스 사장으로서 강함성 교량, 지하차도 및 터널 환기구 등에 대한 연구개발, 설계 및 시공을 수행하고 있다.

ceo@hgdcs.com



**어철수 부장**은 (주)한국피시에서 포스트텐션 거더에 대한 시공과 연구를 담당하였고 PS강연선 인장정착구 정적성능검증 시험에 참여하였으며 비부착 압축 프리스트레스를 도입한 PSC빔 거더의 거동(IT-거더)성능평가 시험을 담당하였다. 현재 (주)한국피시에서 기술영업을 담당하고 있다.

hkpc@hkpc.co.kr