

국내의 신형식 PSC 빔 거더교 개발 현황

Development of New Type PSC Beam Girder Bridges in Korea



김광수*
Kwang-Soo Kim



양인환**
In-Hwan Yang

1. 개 요

1950년대 초반에 미국을 중심으로 교량의 상부구조에 PSC I형 거더와 콘크리트 바닥판을 합성시킨 교량을 적용한 이후 그 경제성과 시공성 때문에 해당 구조형식은 널리 적용되어 왔다. 특히 1956년 미국의 Bureau of Public Roads에서 PSC I형 거더교의 표준화된 설계방법과 구조 단면이 제안되면서 단기간 및 중지간의 교량 형식으로는 가장 효율적이고 경쟁력을 갖춘 것으로 평가되어 왔다.

국내에서도 1960년대 이후에 PSC I형 거더가 도입된 이후 표준도의 제안과 함께 도로교 및 철도교의 가장 일반적인 교량 형식의 하나로 인식되어 오고 있다. 그러나 최근 들어 사회적, 기술적 환경의 변화에 따라 거더 높이 축소에 의한 형하공간의 확보와 함께 경간장 확대는 지속적으로 요구되고 있다. 하천 횡단 교량의 경우 설계 홍수량의 증대에 따라 통수능 확보가 필요하며 고가 차도의 경우 신설되거나 확장되는 도로의 폭이 30m 이상으로 계획됨에 따라 40m급의 교량에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다.

그러나 이러한 지간장을 갖는 교량에 있어서 PSC I형 거더교로 설계하는 경우 공사비 측면에서의 경쟁력은 유지할 수 있으나 소요 형고가 급격하게 증가하여 형고의 제약을 극복해야 하는 문제와 함께 미학적인 측면에서의 약점도 제기된다. 이에 대한 대안으로 평가되는 강교나 PSC 박스 거더교는 경제성에서 큰 약점이 있어 PSC I형 거더의 형고를 낮추기 위한 시도는 최근까지 지속되어 오고 있다.

형고를 증가시키지 않거나 형고를 줄이면서 지간장을 증가시키기 위하여 국내에서 개발되고 있는 방법으로는 크게 프리스트레싱의 합리화, 형강과 프리플렉션 적용, 그리고 합성 단면으로 나

눌 수 있다. 본고에서는 저형고 장경간 실현을 위하여 국내 적용이 활발한 종래의 구조 형식과 함께 비교적 최근에 국내 기술진에 의하여 개발되고 있는 신형식 빔 교량의 현황과 동향을 살펴보고자 한다. 특히 및 신기술 취득을 기준으로 하였지만 전체 형식을 망라하기에는 현실적으로 한계가 있으며, 시공 방안을 비롯한 세부 내용들은 개발자 및 개발기업의 제공 자료에 기초하여 작성되었음을 미리 밝혀둔다.

2. 신형식 저형고 장경간 PSC 빔 거더의 개발 개념

근래 국내에서 개발되고 있는 신형식의 저형고 장경간 빔 교량은 기존의 일회 긴장으로 도입되던 프리스트레스 힘을 다단계 긴장으로 나누어 빔의 저형고 장경간화를 추구하는 개념과 기존의 프리플렉스 빔 교량을 개선하여 최적화 단면의 형강 단면 도입, 프리스트레싱 도입 등을 통한 저형고 장경간화를 추구하는 개념으로 크게 구분할 수 있다.

다단계 긴장을 통한 저형고 장경간 빔 교량의 개발 개념을 이해하기 위해 우선 기존의 PSC 빔 교량의 설계 개념을 살펴보면, 기존 PSC 빔 교량 설계시, 초기 프리스트레스 도입단계에서의 응력 및 교량 공용단계에서의 응력을 <그림 1>에 나타내었다. 식 (1)과 (2)에 나타난 초기 프리스트레스 도입시의 프리스트레스 힘 P_i 는 식 (3)과 (4)에 나타난 공용중에 작용하는 거더 자중(M_0), 1차 고정하중(M_{d1}), 2차 고정하중(M_{d2}) 및 활하중(M_l)에 의해 거더 하연에 발생하는 인장응력을 허용응력 이내로 조절하기 위하여 도입된다. 따라서 초기 프리스트레스 P_i 는 거더 자중, 1차 및 2차 고정하중, 활하중을 고려하여 결정되며, 빔 제작시에 1회 일괄 긴장에 의해 프리스트레스가 도입된다. 하지만, 이와 같이 공용중 거더 하연의 응력 조절을 위하여 도입되는 프리스트레스에 의해 오히려 초기 단계에서는 <그림 1>에서 보는 바와 같이(식 (1)의 둘째 항 참조) 거더 상연에 인장응력이 유발될 수 있으며, 인장응력은 허용인장응력 이내에서 제어되

* 정회원, 현대건설 화명대교건설현장 공무부장
biocon@hdec.co.kr

** 정회원, 군산대학교 토목공학과 교수

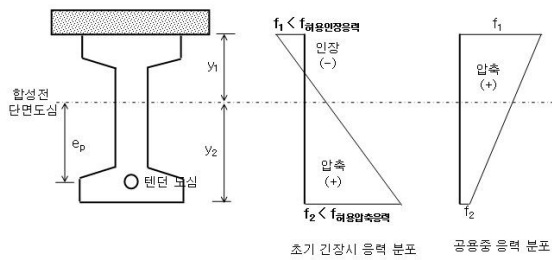


그림 1. 기존 PSC 빔교의 설계 개념

어야 한다. 따라서 기존의 PSC 빔 교량에서는 거더의 충분한 형고 확보 및 이에 따른 단면 2차모멘트 확보의 의해 초기 프리스트레스 힘 P_i 도입시의 거더 상연응력과 공용중의 거더 하연응력을 제어하고자 하였다. 따라서 기존의 PSC 빔 교량의 단면형상은 일회 일괄긴장에 따른 공법 특성상 거더 높이 감소는 제한적일 수 밖에 없었다. 따라서, 이러한 기존의 PSC 빔 형고의 제한점을 극복하기 위하여 프리스트레스의 다단계 긴장도입 및 이에 의한 거더 형고 축소 또는 경간 증대를 시도하는 빔 설계 개념이 도입되었다.

초기 프리스트레스 힘 P_i 도입시의 응력 :

$$\text{거더 상연 응력 } f_1 = \frac{P_i}{A_g} - \left[\frac{P_i e_p y_1}{I_g} \right] + \frac{M_0 y_1}{I_g} \quad (1)$$

$$\text{거더 하연 응력 } f_2 = \frac{P_i}{A_g} + \frac{P_i e_p y_2}{I_g} - \frac{M_0 y_2}{I_g} \quad (2)$$

여기서 P_i : 초기 프리스트레스 힘

e_p : 단면도심에서 텐던도심까지의 편심

y_1 : 단면 도심에서 거더 상연까지의 거리

y_2 : 단면 도심에서 거더 하연까지의 거리

M_0 : 거더 자중에 의한 모멘트

A_g : 거더 단면적

I_g : 거더의 단면2차모멘트

교량 공용중 응력 :

거더 상연 응력

$$f_1 = \frac{P_c}{A_g} - \frac{P_c e_p y_1}{I_g} + \frac{(M_0 + M_{d1}) y_1}{I_g} + \frac{(M_{d2} + M_l) y_1}{I_c} \quad (3)$$

거더 하연 응력

$$f_2 = \frac{P_c}{A_g} + \frac{P_c e_p y_2}{I_g} - \frac{(M_0 + M_{d1}) y_2}{I_g}$$

$$\frac{(M_{d2} + M_l) y_2}{I_c} \quad (4)$$

여기서 P_c : 유효 프리스트레스 힘

M_{d1} : 1차 고정하중(바닥판 하중)에 의한 모멘트

M_{d2} : 2차 고정하중(포장, 방호벽)에 의한 모멘트

M_l : 활하중에 의한 모멘트

A_g : 거더 단면적

I_c : 합성단면의 단면2차모멘트

다단계 긴장 개념의 PSC 빔 교량 설계시, 초기 프리스트레스 도입 단계에서의 응력 및 교량 공용단계에서의 응력을 <그림 2>에 나타내었다. 다단계 긴장 공법에서 프리스트레스를 두 단계로 나누어 긴장할 때, 1차 프리스트레스 힘(P_{1i})은 거더의 자중(M_0)효과에 의한 응력을 고려하여 결정되며<식 (5) 및 (6) 참조> 2차 프리스트레스 힘(P_{2i})은 1차 고정하중, 2차 고정하중 및 활하중 효과에 의한 응력을 고려하여 결정된다. 따라서 기존 PSC 빔 교량에서의 P_i 에 비해 다단계 긴장 공법 PSC 빔 교량의 P_{1i} 와 P_{2i} 는 각각 분할되어 긴장되므로 <그림 2>에서 보는 바와 같이 각 시공 단계에서 인장응력 유발 없이 효율적 응력제어가 가능하며, 이에 따라 거더 높이의 축소 및 장경간화가 가능해진다. 또한, 거더의 형고를 줄이는 대신 상·하부 플렌지 폭을 넓게 하여 단면 2차모멘트를 확보하는 개념이 추가된다. 이러한 설계 개념을 바탕으로 하여 개발된 공법으로써 IPC 거더, PnP 거더, S-preflex 빔 공법 등이 있다<그림 3>.

1차 긴장(P_{1i} 도입)시의 응력 :

$$\text{거더 상연응력 } f_1 = \frac{P_{1i}}{A_g} - \frac{P_{1i} e_p y_1}{I_g} + \frac{M_0 y_1}{I_g} \quad (5)$$

$$\text{거더 하연응력 } f_2 = \frac{P_{1i}}{A_g} + \frac{P_{1i} e_p y_2}{I_g} - \frac{M_0 y_2}{I_g} \quad (6)$$

여기서 P_{1i} : 1차 긴장시의 초기 프리스트레스 힘

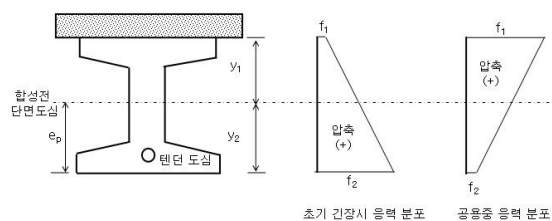


그림 2. 다단계 긴장 저형고 장경간 PSC 빔교의 설계 개념

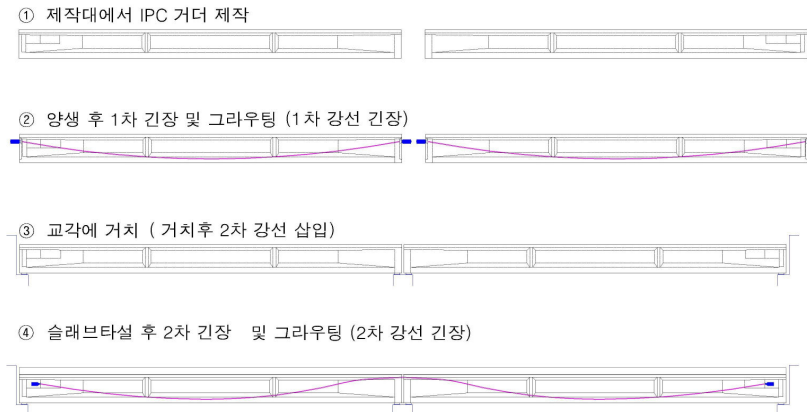


그림 3. IPC 거더의 시공 개념

교량 공용중 응력 :

거더 상연응력

$$f_1 = \frac{P_{1e} + P_{2e}}{A_g} - \frac{(P_{1e} + P_{2e}) e_p y_1}{I_g} + \frac{(M_0 + M_{d1}) y_1}{I_g} + \frac{(M_{d2} + M_l) y_1}{I_c} \quad (7)$$

거더 하연응력

$$f_2 = \frac{P_{1e} + P_{2e}}{A_g} + \frac{(P_{1e} + P_{2e}) e_p y_2}{I_g} - \frac{(M_0 + M_{d1}) y_2}{I_g} - \frac{(M_{d2} + M_l) y_2}{I_c} \quad (8)$$

여기서 P_{1e} : 1차 긴장에 의한 유효프리스트레스 힘

P_{2e} : 2차 긴장에 의한 유효프리스트레스 힘

또한, 기존의 프리플렉스 빔 교량을 개선하여 프리플렉션(preflexion)뿐만 아니라, 텐션의 의한 프리스트레싱 효과를 함께 도입하거나, 완전 긴장(full prestressing) 효과, 재긴장(represtressing)효과 적용 및 프리플렉스 형상의 단면 최적화 등을 통해 저형고 장경간화를 도모하는 개념의 공법들이 개발되었다. 이러한 개념을 기본으로 하여 개발된 공법으로써, RPF 빔, S-preflex, C-Preflex 및 Precom 공법 거더 등이 있다. 저형고 장경간 거더의 개발 개념에 의해 제안된 각 공법의 특성을 다음 장에서 구체적으로 살펴보도록 한다.

3. 다단계 긴장을 적용한 거더

3.1 IPC 거더

PSC 거더는 시공 과정에서 상재하중이 단계별로 부가되어 제

하되므로 제작 과정에서 도입된 프리스트레싱에 의한 단면력 분포는 교량 가설 완료후에 변하게 된다. 그러나 교량의 사용중 단면력에 따라 요구되는 긴장력 크기를 최초 PSC 거더의 제작시에 도입하는 것은 응력관리의 문제점으로 인하여 불가능하므로 일괄적인 긴장력 도입에 따른 비효율이 제기되었다.

IPC 거더는 한번의 긴장으로 모든 하중에 저항하는 기존의 PSC 빔과는 달리 시공단계에 따른 하중의 증가를 고려하여 단계적으로 긴장력을 도입함으로써 효율적인 단면의 설계가 가능하도록 개발된 형식이다. 거더를 거치하기 전에 1차 긴장력을 도입하고 바닥판과 합성한 후에 2차 긴장력을 도입하는 것이 IPC 거더의 핵심적인 사항이라고 할 수 있다.

긴장력을 일괄 도입하는 방법에 비하여 2단계로 나누어 도입하는 경우는 거더의 제작 및 거치, 그리고 교량 시공의 각 단계에서 발생하는 응력에 효율적으로 대응하는 방법이 된다.

3.2 PnP 거더

일반적인 PSC 거더와는 달리 바닥판 시공후 2차 긴장력을 추가로 도입한다는 측면에서 PnP 거더도 다단계 긴장 방식 범주에 속할 수 있다. PnP시스템(Pre-cast deck and PSC girder)은 프리캐스트 바닥판을 PSC 거더와 합성하는 형식으로서 비합성 단계에서 1차 긴장재가 도입된 PSC 거더에 대해 프리캐스트 바닥판의 선하중이 재하된다. 이후 빔의 상단 단블럭에서 2차 긴장력을 추가로 도입하고 전단 포켓부 및 볼트너트식 수평전단 연결 구조를 이용하여 PSC 거더와 프리캐스트 바닥판을 합성한 구조형식이다(그림 4).

이러한 PnP 거더의 개념은 긴장력을 1차와 2차에 나누어 도입한다는 측면에서는 다른 다단계 긴장 거더와 동일하지만 현장 타설 콘크리트 바닥판이 아닌 프리캐스트 바닥판을 적용한 것이

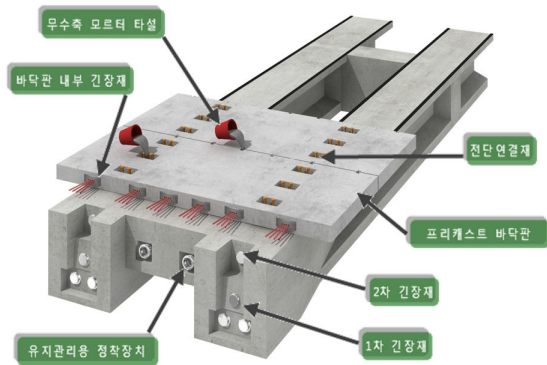


그림 4. PnP 거더의 구성 요소

특징이다. 즉, 콘크리트 바닥판을 현장타설로 적용하면 타설과 동시에 바닥판이 PSC 거더와 합성되므로 2차 긴장력 도입 과정에서 충분한 긴장력을 도입할 수 없다는 사실에 주목한 것이다. 이에 따라 바닥판의 pre-loading 효과를 최대한 활용하기 위하여 프리캐스트 콘크리트 바닥판을 적용한 것이 PnP 거더이다.

3.3 DR 거더

DR 거더는 시공단계에 따라 도입 장력을 조절하는 케이블 교량의 장력관리 개념을 활용하여 긴장력 조절 시스템을 PSC 거더에 적합하도록 개선한 형식이다. 이러한 긴장력 조절 시스템 (detensionable and retensionable system)은 base plate와 anchor head 사이에 shim plate를 삽입하여 그 높이로 긴장력의 조절이 가능하도록 한다<그림 5>.

이러한 DR 거더에 대하여 반단면 프리캐스트 바닥판 및 조립식 가로보를 함께 적용함으로써 거더의 시공 효율성을 높이고자 하는 시도가 계속되고 있다.

4. 형강과 강선을 적용한 거더

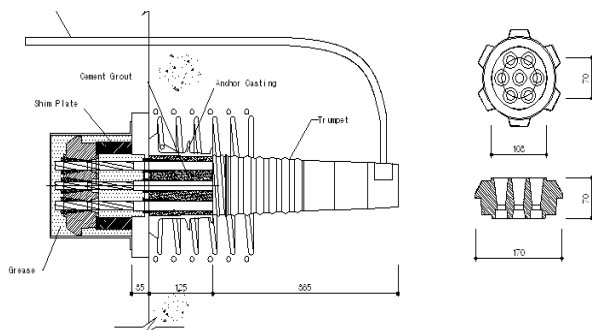


그림 5. 긴장력 조절이 가능한 정착 시스템

4.1 프리플렉스 빔

프리플렉스 빔은 PSC I형 거더의 경간장 한계와 형고 문제 해결을 위하여 가장 많이 적용된 형식중의 하나이며 개발 시점에 있어서도 가장 오래된 형식중의 하나이다. 이는 1949년 Belgium의 설계기술자인 A. Lipski에 의해 처음으로 고안되어 L. Bases 교수와 공동으로 교량 형식으로 제안되었다. 프리플렉스 합성형은 솟음을 갖는 강형을 제작하고 탄성한계의 80%까지 프리플렉션 하중을 작용시켜 체결한 후 인장축 플랜지에 콘크리트를 타설함으로써 강형과 일체로 합성이 되도록 하는 것이다. 콘크리트가 경화된 후 강형에 작용시킨 인장력을 풀어줌으로써 하부플랜지 콘크리트에 압축력이 도입되도록 한다.

국내에서는 1980년대 중반에 국내 기업이 기술도입을 통하여 국내에 적용하기 시작하였는데 관련 시방서와 설계지침의 제정에 힘입어 활발하게 보급되었다. 특히 1990년대까지 고속도로를 중심으로 경간장 30~50m 교량에 다수 적용되었는데 경간장 및 형고에 따른 장점이 인정되어 왔다. 여러 사례에 따르면 형고/지간장의 비는 1/25~1/35의 범위에서 경제적으로 적용되고 있으며 최대 1/45의 경우와 함께 최소 500mm의 형고도 실현 가능한 것으로 보고되고 있다.

4.2 RPF 빔

RPF(represtressed preflex) 합성형은 프리플렉스 빔의 균열에 대한 저항성을 높이기 위하여 개발되었다. 기존의 프리플렉스 빔은 형고 문제에 대한 대응으로 부분 프리스트레싱으로 설계함으로써 인장균열의 발생 가능성이 제기되고 있는데 RPF 빔은 이러한 문제점을 개선하기 위하여 PS 강재를 이용한 추가 긴장력을 도입하는 것이다. 하부 플랜지 콘크리트에 압축력을 추가로 도입하기 위하여 재긴장(represtress)을 함으로써 완전 프리스트레싱의 효과를 얻고 기존 프리플렉스 빔의 문제점을 극복하는데 그 개발 배경이 있다. 이와 함께 프리플렉스빔에 의해서 하부플랜지 콘크리트에 압축응력을 도입하는 경우 요구되는 강재량 증가에 따라 단면의 경제성이 떨어진다는 점에도 주목하여 개발된 형식이다<그림 6>.

4.3 S, C-preflex 빔

S, C-preflex 빔은 기존 RPF 빔을 개량한 것으로 곡선형 강선 배치와 함께 다단계의 긴장력 도입과 경간 연속화가 그 특징이다. 프리플렉션을 도입하고 하부 플랜지 콘크리트를 타설하여 강선을 도입하면 바닥판 콘크리트와 보가 합성되기 이전의 단계이므로 이 단계에서 도입할 수 있는 긴장력은 한계가 있다. 또한

단계	하중재하 상태	응력저항 단면	비고
(1) 강형의 완성			소정의 제작솟음을 준 상태의 강형이 제작 완료된 상태
(2) 프리플렉션 하중재하			하중 P_f 를 재하 하여 설계모멘트 만큼의 휨모멘트를 발생
(3) 하부플랜지 콘크리트 타설			(2)의 상태에서 하부플랜지에 콘크리트를 타설
(4) 릴리즈			하부플랜지 콘크리트가 경화된 후 하중 P_f 를 제거하고 하부플랜지 콘크리트에 압축력을 도입
(5) 프리스트레싱			하부플랜지 콘크리트에 긴장재를 이용하여 압축력을 추가도입
(6) 슬래브, 복부 가로보의 콘크리트 타설			프리플렉션을 가설하여 슬래브, 복부, 가로보의 콘크리트 타설
(7) 합성 후 사하중 작용			프리플렉스 합성형에 2차 사하중 재하
(8) 합성 후 활하중 재하			활하중 재하

그림 6. RPF 빔의 시공 과정

제작 단계에서의 상향 솟음량을 일정 범위 이내로 관리하기 위하여 시공관리에서의 어려움이 수반되기도 한다. 결국 프리플렉션과 하부 플랜지 콘크리트 시공 이후에 강선을 일괄 긴장하게 되면 강선의 효율이 떨어질 수 있을 뿐만 아니라 강재량의 감축도 일정 수준 이하로는 기대할 수 없다.

S-preflex 빔은 플랜지 콘크리트에 대하여 강선에 의한 2단계의 프리스트레싱을 도입함으로써 총 3차의 프리스트레싱에 의한 저항 시스템을 구현하는 것이다. 결국 S-preflex는 기존 RPF의

시공 단계에서 슬래브와 복부 가로보 콘크리트를 타설하여 합성 후 사하중을 작용시킨 후 활하중 재하전에 2차 프리스트레싱을 도입하는 것이 주요 특징이다. C-preflex은 이러한 프리플렉션과 프리스트레싱을 이용하여 연속화 교량을 구현한 것이다. 하부 플랜지 콘크리트의 시공을 완료한 단순 프리플렉스 보를 교각 위의 임시 지점에 거치한 후 내부 지점부의 강재를 강결시키면 영구지점에 설치될 수 있다. 이후 상부 슬래브의 타설과 연속강선의 긴장을 거쳐 연속교의 시공이 완료된다.

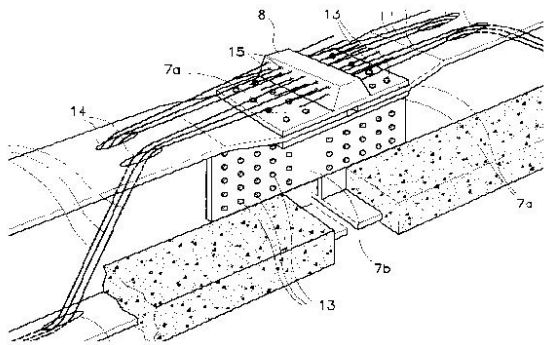


그림 7. 중간 지점부의 강재연결 및 긴장재 배치

4.4 Precast 거더

빔 내부에 형강을 매입하여 합성하는 측면에서 precast 거더는 프리플렉스와 RPF 등과 유사하지만 휨 복원력은 도입하지 않고 PS 강선에 의한 프리스트레싱 효과를 활용한다. 이에 따라 매입 강재량을 절약할 수 있는데 단면의 효율성 증대를 위하여 콘크리트의 거푸집을 강재 거더에 매달아 콘크리트를 타설한다는 점이 가장 큰 특징 중의 하나이다.

이러한 방법으로 콘크리트는 무응력으로 타설되므로 프리스트레스의 도입 없이 제작장치로부터 분리하여 적치하는 것이 가능해진다. 이를 통하여 압축응력의 도입 시기를 가설 직전을 비롯한 임의의 시점으로 결정할 있으므로 콘크리트의 장기거동에 의한 프리스트레스의 손실을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 제작장치의 효율성도 높일 수 있다. Precast의 내부 강재는 상부플랜지의 경우 활하중 작용시의 압축력에 저항할 수 있는 단면으로 결정되고 하부플랜지는 강재 자중과 하부 케이싱 콘크리트의 자중 및 거푸집을 지지할 수 있는 단면으로 설계된다. 이에 따라 하부 케이싱 콘크리트 타설시에 강재의 하부플랜지는 허용응력에 도달하며 콘크리트는 무응력 상태를 유지하게 된다. 콘크리트 양생 후 거푸집을 제거하면 하부 케이싱 콘크리트에 일정 규모의 압축력이 도입되는데 적치 과정에서 발생하는 크립 및 건조수축과 상쇄되는 수준으로 평가된다.

강선에 의해 하부플랜지 콘크리트에 도입되는 압축력은 콘크리트의 허용압축응력 수준까지 작용시키고 교각 거치 후 복부 및 바닥판 콘크리트를 타설하여 잔여 고정하중과 2차고정하중까지 작용시키게 된다.

이러한 완전합성 단계에서 콘크리트의 장기거동과 활하중을 고려한 경우, 하부 케이싱 콘크리트는 전단면 압축을 구현할 수 있고 내부 강재의 플랜지 응력도 허용응력에 도달할 수 있어 단면 효율성이 높은 것으로 평가되고 있다<그림 8>.

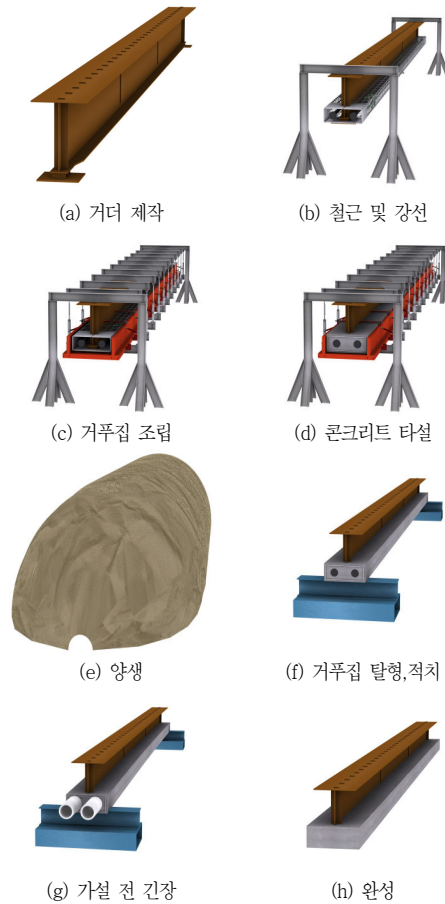


그림 8. Precast 거더의 제작 단계

5. 합성단면 및 기타

5.1 e-beam

AASHTO에서 제안된 표준형 PSC 거더는 상부플랜지가 하부플랜지의 약 77% 수준이었으나 최근의 PSC 거더의 개발 방향은 하부 플랜지보다 상부플랜지를 확대하여 구조 효율성을 높이고 있다. 그러나 회전반경을 비롯한 단면상수가 최적인 단면을 채택하더라도 교량의 바닥판 슬래브 설계와 연관되어 상부플랜지의 폭원을 단면의 효율에 맞게 단순하게 증가시킬 수는 없다.

PSC e-Beam은 거더의 중앙부 단면을 강관과 콘크리트의 합성단면으로 구성하여 상부 플랜지의 폭원을 일정 규모로 제한하면서도 단면의 구조 효율성을 높인 형식이다. 이와 같은 횡단면의 압축구역을 강관과 확대된 콘크리트 플랜지로 보강함으로써 단면의 강성증대와 함께 PS 강재의 편심거리를 확대할 수 있는 효과가 있다<그림 9, 10>.

시공은 단순교의 경우 빔 제작과 단부에 설치된 1차 강선의 긴

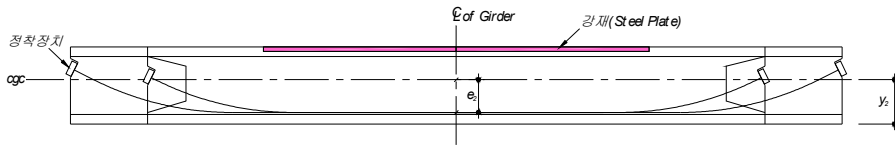


그림 9. PSC e-beam의 개요

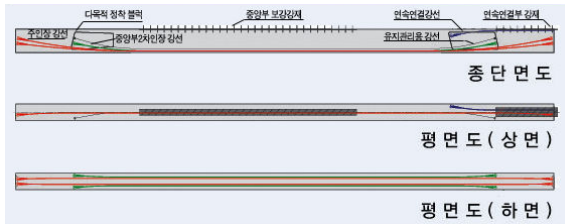


그림 10. PSC e-beam의 단면 상세

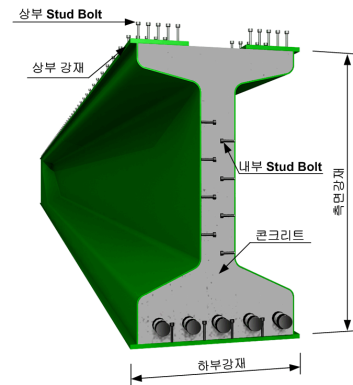


그림 11. SCP 합성거더의 단면 형상

장, 그리고 크레인을 이용한 빔 거치의 단계 등 일반적인 PSC 빔과 동일하다. 그러나 PSC e-beam도 최근의 국내 개발 동향과 동일하게 다단계 긴장이 가능하도록 개발되었는데 슬래브와 가로보 콘크리트를 타설한 후 중앙부에 배치된 2차 강선을 긴장하는 시공 단계를 채택하고 있다.

연속교의 경우에는 강관을 강결하여 연결하고 지점부에 배치되는 PS 강재를 이용하여 긴장력을 도입함으로써 연속화하게 된다. 이 경우에는 상부 슬래브 콘크리트의 경화 후에 긴장되는 연결부 강선이 2차 강선이며 이후 중앙부 강선을 긴장하고 임시 받침을 제거하여 최종 시공을 완료하게 된다.

5.2 SCP 거더

합성거더로 개발된 SCP 거더는 I형상의 강재로 구축된 프리스트레스트 콘크리트 충전 합성거더(steel-confined prestressed concrete girder)로 명명되었다. I-거더 형상으로 강재를 제작하고 내부에 PS 강재를 배치한 후 콘크리트를 타설하여 외부 강재와 일체화시키는 개념으로써 외부 강재를 거푸집으로 사용하였던 종래의 방식을 변형한 복합구조 단면이다. 이러한 콘크리트와 강재의 합성작용을 통해 단면 효율을 개선하고 강성을 증진시켜 경간장의 증대는 물론 치짐과 진동을 비롯한 사용성 측면에서의 성능개선도 기대되고 있다<그림 11>.

콘크리트가 외부에서 둘러싸고 있는 강관에 의해 구축되고 내부에 배치된 전단연결재에 의하여 합성됨에 따라 콘크리트 내부에는 별도의 철근 배근이 필요하지 않다. PS 강재가 배치되어 경간장의 증대와 함께 단면의 효율을 높이는데 최근에는 정착부의 개선을 위한 시도가 있었는데 이는 정착부에 필수적으로 요구되는 나선철근이나 격자형 철근은 거더의 단면 축소에 있어서 제

약사항이 된다는 점을 극복하기 위한 것이다.

5.3 PPC 거더

프리캐스트로 공장제작된 단일 거더가 현장으로 운반되어 종방향 및 횡방향 강선에 의해 결합되는 PPC(prefabricated prestressed concrete) 거더는 교량의 형식으로는 PSC 거더교와 중공 슬래브교가 접목된 것으로 평가될 수 있다. 현장타설되는 것은 거더 사이의 채움 콘크리트에 한정되며 바닥판도 별도의 현장 타설이 필요 없으므로 공사기간의 단축 효과도 기대할 수 있다. 가설된 단일 거더는 전단기와 종방향 및 횡방향 프리스트레싱에 의하여 일체화됨으로써 하중 분배의 효율이 높으며 프리캐스트 콘크리트에 의한 조립식 교량을 구현할 수 있다. 특히 종방향 프리스트레싱을 포스트텐션에 의하여 도입할 경우 거더는 분할 제작이 가능하다. 분할 제작된 거더는 현장으로 운반한 후 거더를 접합하고 종방향 강연선을 배치하고 긴장력을 도입하면 일체화된 거더는 가설이 가능하다. 가설된 거더와 거더 사이에 채움 콘크리트를 타설하고 PS 강재이나 강봉을 교축직각방향으로 체결하여 상부구조에 대한 일체화 시공을 완료하게 된다<그림 12>.

6. 맺음말

국내 교량의 절대 다수는 단, 중지간의 교량이 차지하고 있으므로 이에 대한 합리적인 설계는 교량 건설과 관련한 전체적인

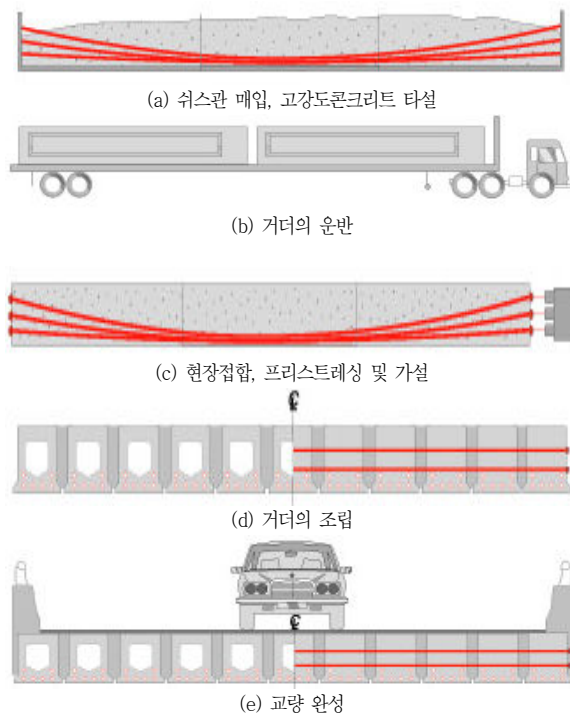


그림 12. 포스트텐션 방식의 PPC 교량 시공 순서

효율성을 높이는데 있어서 그 파급효과가 가장 크다고 할 것이다. 단기간 교량의 구조 형식이 PSC I형 거더로 대표되어 오면서 경제성은 일정부분 확보되었다고 할 수 있으나 제한된 시간장에 따른 문제점은 해결되어야 하는 과제이다. 이에 따라 형고를 증가시키지 않거나 오히려 줄이면서 교량의 경간장을 확대하는 것은 기술적인 측면에서는 물론 사회적으로 지속적으로 요구되어 왔다.

이러한 사회적 수요를 바탕으로 최근에 저형고 장경간 거더에 대한 국내의 기술개발은 매우 활발하여 알려진 구조 형식만 하더라도 10여개를 상회하고 있다. 이러한 신형식 거더의 개발 방향은 긴장력 도입의 효율화와 강재의 활용으로 구분될 수 있으며 현장 적용에 있어서도 일정 수준의 성과를 내고 있다.

본고에서는 저형고 장경간 교량의 구현을 위하여 국내에서 개발된 콘크리트 거더를 제시하고 그 특징들을 분석하고자 하였다. 구조형식의 효율성과 함께 투입물량을 기준으로 한 형식별 경제성 분석을 시도하였으나 객관적 검증이 불가능하여 이번 원고에서는 다루지 않았음을 밝혀둔다. 이러한 신형식 구조는 여러 기술자들의 노력을 통하여 개발되었으며 그 결과 교량 건설에 소요되는 사회적 비용을 절감한 것은 큰 성과라 할 것이다. 그러나 개발된 형식들이 다단계 긴장과 형강의 활용이라는 측면에서 크게 벗어나고 있지 못하고 있다는 점은 아쉬운 부분이라 할 것이다.

특히 형고의 감축과 투입물량의 절감에 집중한 나머지 미학적 측면의 개선에 있어서는 그 효과가 제한적이라는 것도 개선해야 할 부분으로 지적될 수 있다.

최근들어 콘크리트와 강재의 고성능화는 예측이 불가능할 정도로 급속도로 진행되고 있다. 앞으로의 신형식 구조의 개발은 이러한 고성능 재료를 적극적으로 활용하기 위한 시도도 필요하다고 할 것이다. 이와 함께 관련 분야의 활발한 기술개발을 유도하고 기술 경쟁력을 높이기 위해서는 실 구조물 적용이 원활할 수 있도록 수요자인 발주기관의 개방적인 방향으로의 인식전환이 무엇보다 요구된다고 할 수 있다.

감사의 글

자료 요청에 응해준 개발자나 개발 기업의 임직원들께 지면을 빌어 깊이 감사드립니다.

참고문헌

1. 동양종합건설(주), 저형고 장경간 S, C-Preflex 빔, 2008. 3, 39pp.
2. 비엔지건설터트, <http://www.bng.co.kr>.
3. 삼표산업, <http://www.sampyoenc.com>.
4. 삼원피에프, <http://www.precom.co.kr>.
5. 신성건설, <http://www.sscorp.co.kr>.
6. 서울대학교 공학연구소, C-Preflex 연속 합성교량공법 개발 및 내하력 평가 연구보고서, 2002. 12, 188pp.
7. 아주대학교 토목기술연구센터, 장경간 IPC 거더 개발 연구, 1999, 198pp.
8. 양인환, 어준, PSC 거더교의 연속화에 관한 연구, 대림산업기술연구소, 2001. 12, 94pp.
9. 엄영호, 황윤국, 김정호, 권재, 이우중, "I형상의 강재로 구축된 프리스트레스트 콘크리트 충전 합성거더 시공기술 (SCP 합성거더)", 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 15권, 1호, 2003, pp.601~608.
10. 우경건설, <http://www.wkcos.com>.
11. 인터콘스텍, <http://www.interconstech.com>.
12. 장현산업, <http://www.jangheon.co.kr>.
13. 조병완, 김정호, 조태준, 김도, "리프리스트레스트 프리플렉스 합성형의 최적설계에 관한 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 10권, 2호, 1998, pp.712~717.
14. 조효남, 교량공학, 구미서관, 2002, 841pp.
15. 한만엽, 김진근, 황의승, 이차돈, 박상일, "세계 최저의 형고/경간비를 실현한 IPC 거더", 콘크리트학회지, 12권, 1호, 2000, pp.50~59.