

표준 형식 PSC 빔 거더교의 저형고 장경간화

Extending Span Range of the Standard PSC Beam Girder Bridge with Shallow Girder Depth



박영하*
Young-Ha Park



김우종**
Woo-Jong Kim

1. 서론

PSC 빔 거더교는 <그림 1>과 같이 프리캐스트로 제작된 PSC 빔들을 교대 및 교각에 인양, 거치하고 가로보와 바닥판 및 방호 울타리 등을 시공하는 것으로 완공되는 교량을 의미한다. 이러한 PSC 빔 거더교는 건설비가 저렴하고 시공이 신속, 간편하며 내구성, 안전성, 사용성이 우수하다는 장점으로 국내를 비롯하여 전 세계적으로 가장 많이 사용되는 교량이 되어 왔다. 특히 <그림 2>와 같은 I형 또는 bulb-T형의 단면 형상을 갖는 빔 거더가 가장 일반적으로 사용되어 왔기 때문에 “PSC 빔 거더교”라고 하면 이러한 단면을 갖는 빔 거더교를 의미한다고 할 수 있다.

최근 국내에서는 PSC 빔 거더의 형고를 낮추기 위해 바닥판 시공 후에 추가 긴장을 하거나 거더 내부에 철근 이외의 강재를 삽입하여 응력 분포를 개선하는 등의 아이디어를 추가한 PSC 빔 거더교들이 등장하였다. 따라서 비록 전통적으로는 “PSC 빔 거더교”라는 용어가 <그림 1>과 같은 공법으로 건설되는 교량을 뜻하기는 하지만 상기와 같은 국내의 상황을 고려하여 이 글에서는 “표준 형식 PSC 빔 거더교”라는 명칭으로 전통적 방식의 PSC 빔 거더교를 지칭하는 것으로 하였다.

국내에서 개발되어 온 신형식 PSC 빔 거더들의 개발은 형고 저감이 주목적이었다. 그러나 동일 경간장에서 형고를 낮춘다는 것은 동일 형고에서 경간장을 증대시키는 것과 동일하므로 신형식 빔 거더들은 경간장 증대를 목적으로 했다고도 할 수 있다. 그렇다면 국내의 기존 표준형식 PSC 빔 거더교는 형고를 더 낮추거나 경간장을 더 길게 할 수 없는 교량이었는가라는 물음이 제기될 수 있는데, 그렇지 않다는 것이 그에 대한 답이다.

국내에서의 신형식 거더 개발 상황은 표준형식 빔 거더의 역학적 한계나 기술적인 문제에 이유가 있는 것이 아니고 개발 업체들

의 수익 창출 동기에 따른 것이기 때문이다. 이 글은 표준형식 PSC 빔 거더교의 저형고화 및 장경간화에 관한 국내외의 연구 과정과 건설 사례를 소개한다.

2. 역사적 배경

1937년 고강도 긴장재의 등장으로 PSC 교량이 본격적으로 건설되기 시작한 때부터 약 10 여 년 뒤인 1951년, 미국의 필라델피아에 최초의 PSC 빔 거더교인 Walnut Lane Memorial Bridge가 건설되었다<그림 3>. 이 후 미국을 중심으로 PSC 빔 거더교의 건설이 대규모적으로 이루어짐에 따라 표준화를 통해 경제성을 향상시키기 위하여 1956년 미국의 도로국(Bureau of

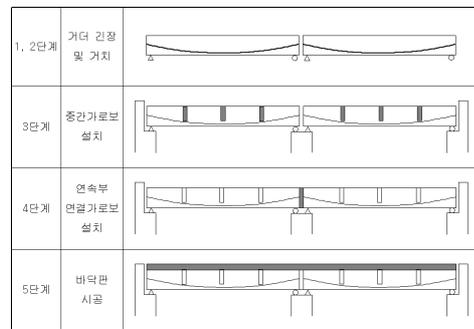


그림 1. 표준 형식 PSC 빔 거더교의 시공 단계

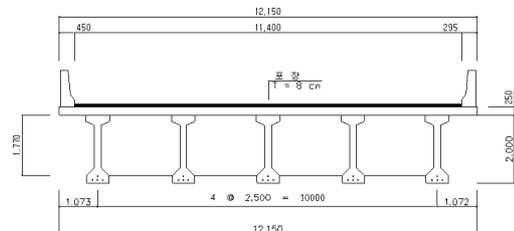


그림 2. 한국도로공사의 경간장 30 m 표준 PSC 빔 거더를 사용한 교량 횡단면

* 정회원, 한국도로공사 도로교통연구원 수석연구원

younghp@freeway.co.kr

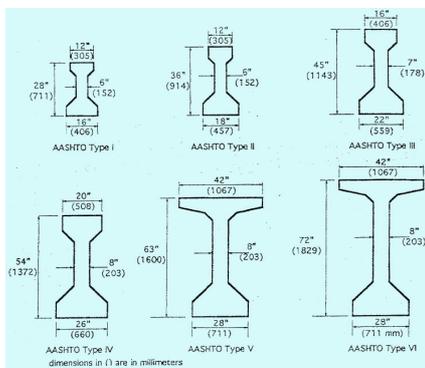
** 정회원, (주)DM엔지니어링 사장



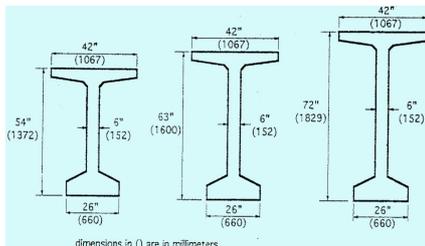
그림 3. 세계 최초의 PSC 빔 거더교 Walnut Lane Memorial Bridge (미국 펜실베이니아 주 필라델피아 소재)

Public Roads, 연방도로청(FHWA)의 전신)과 AASHTO(현재의 AASHTO), 그리고 PCI(Precast/Prestressed Concrete Institute)가 공동 작업으로 AASHTO Type I, II, III, IV라는 4개의 표준단면을 개발하여 제시하였고¹⁾ 1960년대부터는 이탈리아를 비롯한 유럽 각국에서 PSC I 거더교의 건설이 일반화되기 시작하였다. 1965년에는 추가적인 연구를 통해 상부플랜지의 폭을 넓힌 AASHTO Type V와 VI이 제시되었다<그림 4 (a)>.

국내에서는 1968년 경인고속도로에 경간장 18m의 도화대교

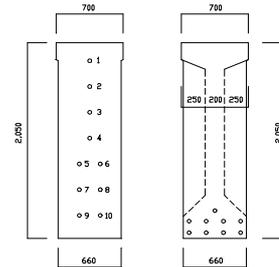


(a) 초창기 AASHTO Type 단면(1956년-I,II,III,IV/1960년대 중반-V,VI)

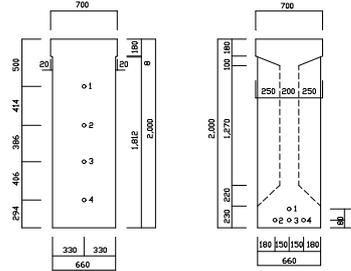


(b) AASHTO/PCI Bulb-T 단면(1988년)

그림 4. AASHTO 표준단면



(a) 건설교통부 표준단면



(b) 한국도로공사 표준단면(30m)

그림 5. 국내의 PSC 빔 거더 표준단면

가 국내 최초의 PSC 빔 거더교로 건설되었고 이후 국도 및 고속도로에 폭넓게 사용되어 왔다. 국내에서도 1979년 건설교통부에서 PSC I 거더의 표준도<그림 5 (a)>를 제정하여 “도로교 상부구조 표준도”에 포함시킴으로써 이 교량의 효과적인 활용을 위한 조치가 있었으며, 1990년대 초 한국도로공사에서 거더의 높이를 약간 낮추고 긴장재 배치 및 개수와 연속부 가로보 규격을 변화시키는 등의 개선을 통해 현재와 같은 PSC I 빔 거더의 표준도<그림 5 (b)>를 갖추게 되었다.

그러나 이 표준 거더의 단면은 초창기 표준단면인 AASHTO Type IV 단면을 수정하여 만든 단면으로서 응력 거동 효율이 좋지 않은 단면이다. 즉, 국내에서는 현재까지 표준 형식 PSC 빔 거더교에 대한 연구나 실질적 개선이 없었다고 할 수 있다. 국내에서 많은 건설 실적이 있었음에도 단면 개선을 위한 연구가 없었던 것은 표준 거더가 주는 편리함과 경제적 이점 및 표준 거더의 성공적 활용에 주된 이유가 있었던 것으로 평가될 수 있는데, 미국에서의 역사적 과정에서도 유사한 상황을 볼 수 있다.

미국에서도 AASHTO 표준단면의 사용을 통한 건설비용 절감 효과, 거푸집 및 생산 시설의 재사용을 원하는 프리캐스트 업체들의 요구, 그리고 강교보다 저렴한 PSC 빔 거더교의 활용성 등의 이유로 최근까지도 많은 주에서 AASHTO 표준단면을 지배적으로 사용하여 왔다는 것이다²⁾. 표준 거더의 사용에서 얻는 여러 이점들은 비효율적인 단면을 그대로 사용하게 할 만큼 가치가 있다는 것을 보여 주는 예라 할 수 있다.

그런 중에도 미국에서는 몇몇 주에서 지역적 특성에 더 잘 맞기

나 효율성이 더 높은 거더를 개발하는 노력을 함으로써 독자적인 표준단면을 개발하여 사용하기도 하였다. 이에 따라 1970년대 말 FHWA는 AASHTO 표준단면을 포함한 미국 여러 주의 표준 단면을 비교, 검토하는 연구를 실시한 결과 플로리다 주와 워싱턴 주의 bulb-T 거더가 효율성이 우수하다는 결과를 얻게 되어³⁾ 1988년 기존 AASHTO 단면을 개선한 AASHTO/PCI bulb-T 단면을 제시하게 되었다⁴⁾. 이 후 여러 주에서 기존 단면과 함께 이 단면을 사용하게 되었고 뒤에서 소개하는 바와 같이 플로리다 주와 네브래스카 주 및 뉴잉글랜드 주에서는 경간 장대화 및 저형 고화에 초점을 맞춘 bulb-T 단면을 개발하여 적용하는 등 표준형 식 PSC 빔 거더교를 발전시키는 노력이 이어져 왔다.

3. PSC 빔 거더교에 대한 주 연구 방향

지금까지 PSC 빔 거더교에 관한 연구 성과는 거의 대부분 미국 각 주의 DOT를 중심으로 이루어져 왔고 ASCE와 PCI를 통해 발표되어 왔으며 이런 성과들에 기초한 많은 건설 실적이 미국에서 있어 온 만큼 미국에서의 연구 방향이 이 교량에 관한 주 연구 방향이라 할 수 있다.

3.1 거더 제작 비용 최소화

PSC 빔 거더에 대해 초기부터 이루어진 주요 연구 방향은 거더 제작비의 최소화라 할 수 있다. AASHTO 표준단면들과 함께 미국 각주의 표준단면들을 비교 검토한, B. G. Rabbat 등의 연구³⁾에서는 각 표준단면의 효율성 계수(efficiency factor)와 효율성 비(efficiency ratio) 값을 형고를 기준으로 비교하고 설계 교량의 비용지수(cost index)를 경간장을 기준으로 비교함으로써 bulb-T 단면이 효율성이 가장 좋은 단면이라는 결론을 내놓고 있다. 즉, 형고 저감이나 경간 장대화에는 그다지 관심을 두지 않고 거더 제작비에 주로 관심을 두었다는 것이다.

1990년대 후반 인디애나 주에서는 5개로 구분된 경간장 범위 별로 거더 재료비가 작게 설계되는 단면 순으로 등위를 정하는 방법으로 최선의 단면을 결정하는 연구가 수행되었다⁵⁾. 즉, 이 연구에서도 거더 제작비의 최소화가 주요 관심사였다. 심지어 이 연구에 관계했던 인디애나 주 DOT에서는 형고-지간비가 너무 작은 단면은 최종 선택에서 제외하도록 권할 만큼 형고 저감이나 경간 장대화에는 관심을 갖지 않았었다. 뒤에서 소개하듯이 이 때에는 이미 몇몇 주에서 장대 PSC 빔 거더교에 관심을 가지는 때였음에도 미국의 많은 주에서는 여전히 거더 제작비 최소화가 설계를 결정하는 주된 인자가 되어 왔던 것이다. 1990년대 중반 까지 발표된 논문들 대부분이 거더 제작비 최소화와 관련된 논문들이었다⁶⁻⁹⁾. 1970년대까지는 이러한 연구 방향이 필연적이었다고 할 수 있다. 이 때 까지는 건설 장비 규모의 한계로 인해 장

대 PSC 빔 거더를 설계하더라도 건설이 불가능하였기 때문이다. 이에 따라 주로 경간장 25 m 이하의 무게가 가벼운 PSC 빔 거더만이 교량 건설에 사용될 수 있었고 거더의 재료비나 무게 또는 교량 건설비가 단면 최적화의 기본 대상이 된 것이었다.

건설 기술과 장비가 발전한 이후인 1990년대까지도 미국의 많은 지역에서 여전히 비용 최소화가 연구의 관심사로 이어져 왔는데 이는 선긴장(pre-tensioning) PSC 빔 거더가 지배적으로 사용되어 온 데에 따른 것이라고 설명될 수 있다. 선긴장 강연선은 대략 40 mm 이상의 간격으로 배치해야 하기 때문에 거더 단면에 배치할 수 있는 강연선 개수는 하부플랜지의 크기에 의해 제한되고 이에 따라 선긴장 거더의 경간장도 하부플랜지의 크기에 의해 제한되게 된다<그림 6>. 그런데 단면 형상에 따라 정해지는 특정 경간장 값 이상의 경간장에서는 하부플랜지 크기의 증가에 따른 거더 제작비의 증가율이 최대 경간장의 증가율보다 급격히 커지기 때문에 하부플랜지 크기를 무작정 크게 할 수는 없다. 미국 표준단면들의 하부플랜지는 대략 이러한 범위에서 크게 벗어나지 않도록 정해졌으며, 이에 따라 미국 표준단면을 적용한 선긴장 거더의 최대 경간장은, 거더 간격을 2.5 m로 하는 경우, 대략 40 m를 넘지 못하는 것으로 나타나고 있다⁵⁾. 즉, 선긴장 거더를 사용해야 하는 상황에서는 45 m 이상의 PSC 빔 거더 설계가 불가함으로써 거더 제작비에 관심이 기울어질 수 밖에 없었다는 것이다. 현재에도 미국에서는 많은 프리캐스트 생산 업체들이 선긴장 거더의 지속적인 사용을 원하고 있다.

선긴장 거더는 운반 문제와 관련해서도 거더의 최대 길이를 제한하게 된다. 선긴장 거더는 강연선 긴장 시설이 있는 공장에서 제작해야 하므로 많은 경우에 트럭 등을 이용하여 현장까지 거더를 운반해야 하는데, 미국의 경우 트럭으로 운반할 수 있는 최대 길이는 약 37 m로 제한되고 있다²⁾. 따라서 미국 각 주에서 정한 표준단면들의 최대 경간장이 대략 40 m 정도가 된다는 것은 이와 무관하지 않다고 할 수 있다. 1990년대를 지나 현재에 와서

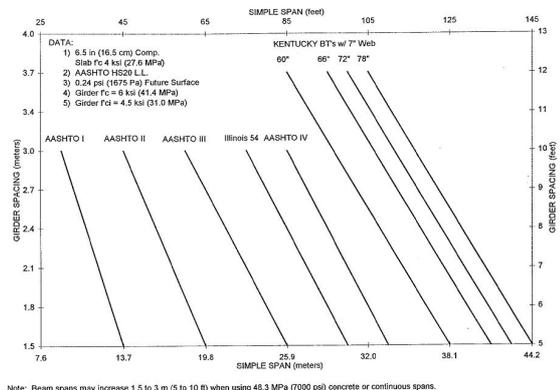


그림 6. 선긴장 거더로 설계할 경우, 미국 표준단면들의 거더 간격 별 최대 경간장⁵⁾

는 미국 전체적으로 PSC 빔 거더교의 장대화에 관심을 갖게 되었는데 이에 대해서는 4장에서 소개하도록 한다.

3.2 지역 특성에 기초한 표준단면 연구

PSC 빔 거더교에 대한 또 다른 연구 방향은 미국 각 주의 표준단면 설정에 대한 연구라 할 수 있다. 즉, 각 주에서 필요로 하는 요구 사항이나 지역적 환경에 맞는 표준단면의 상세를 결정한 연구 과정이다. 워싱턴과 콜로라도 주에서는 고강도콘크리트를 제작하는 데 용이한 골재와 지역 제작자들의 우수한 다짐기술로 복부를 상대적으로 얇게 결정하여 거더 단면의 효율을 높게 할 수 있었고 펜실베이니아와 같은 동부 지역의 주에서는 형하 공간이 결정적인 곳에서 강교와 경쟁하기 위해 형고가 매우 낮은 거더를 필요로 함으로써 큰 긴장력을 가할 수 있는 매우 큰 하부 플랜지를 갖는 단면을 표준단면으로 정한 것이 그러한 예들이다²⁾.

이렇게 각 주마다 고유의 환경에 따라 표준단면을 정한 결과, 현재 미국에서는 형상이 상이한 매우 다양한 표준단면들이 사용되고 있는 상황이 되어 왔다. 이러한 상황은 어떤 단면을 사용하는 것이 합리적일까 하는 고민을 하게 만들었는데, 인디애나 주에서의 연구⁹⁾는 이러한 고민 중의 한 예이며 최근에 FHWA에서 수행된 연구도¹⁰⁾ 또 하나의 예라 할 수 있다.

4. 저형고 장경간화 연구 및 적용

4.1 미국에서의 현황

상술한 바와 같이 미국에서의 PSC 빔 거더교에 관한 연구와 관심은 비용 최소화 문제에 주로 기울어져 왔으나 1980년대부터 장경간 PSC 빔 거더교에 관심이 생기기 시작했는데 미국 플로리다에서 발생한 교량 파괴 사고가 계기가 되었다고 할 수 있다. 1980년 5월 9일 Summit Venture라는 벌크선이 미국 플로리다 주의 Lower Tampa Bay에 있는 스카이웨이 교(길이 24m AASHTO 빔 사용)에 충돌하는 사고가 발생하였다. 이에 따라 더 긴 경간장의 교량으로 개축하여 교각 수를 감소시키는 대책이 요구되었고 해안선이라는 가혹한 조건으로 인해 강교는 부적합한 것으로 평가되어 장경간 PSC 빔 거더교의 건설이 선택되게 되었다. 이로부터 플로리다 주에서는 FTB로 불리는 bulb-T 거더가 개발되었고 경간장 44m까지의 표준형식 PSC빔 거더교들과 haunched 거더(또는 hammer head 거더)를 사용한 캔틸레버 공법으로 경간장 76m에 이르는 PSC 빔 거더교들이 건설되어 왔다¹¹⁾(그림 7).

플로리다 주에서의 이러한 장경간 PSC 빔 거더교가 건설되기 시작한 이후 1980년대 후반부터 미국의 다른 주들에서도 PSC 빔 거더교를 장경간화 시키거나 형고를 낮게 하는데 관심을 갖게 되었다. 미국의 고속도로 횡단육교는 통상 18~24m 경간장의 4경간 PSC 빔 거더교로 건설되는 것이 통상적이었는데 연방도로청에



그림 7. 경간장 44 m의 Eau Gallie 교(over the Indian River near Melbourne, Florida, USA)¹¹⁾

서 안전상의 이유로 2경간의 횡단육교를 요구하게 되자 건설비가 저렴한 PSC 빔 거더교를 계속 사용하기 위해 구조적으로 더 효율적인 거더 단면의 개발과 교량의 연속성 활용 설계 또는 거더의 구조적 연속화에 대한 연구들이 이루어지게 되었다. 1980년대 후반부터 연구가 이루어진 네브래스카 대학교(Nebraska Univ.)의 NU 거더²⁾가 대표적인 연구 성과인데, 이는 플로리다에서의 장경간 PSC 빔 거더교의 성공적인 건설과 때를 같이 하고 있다.

형고 저감 및 경간장 증대를 주목적으로 이루어진 중요한 성과 중의 하나로 NEBT 거더¹²⁾가 있다. 1990년대 들어서서 뉴잉글랜드 주에는 교체가 필요한 노후화된 교량이 많이 발생하게 되었는데 도로 체계가 오래 되어 교하공간이 높지 않아 기본적으로 거더 높이의 상한을 제한할 필요가 있었다. 그리고 도로의 회전반경이 짧고 교각이 강하지 않아서 거더의 길이와 무게를 최소화할 필요가 있기도 하고 교량 밑 도로에서의 안전을 확보하고 불안정한 지반에 교각이 놓이지 않도록 경간을 길게 할 필요도 있었다.

이에 따라 뉴잉글랜드 주에서는 거더의 최대 높이가 1.83m이고 경간장 38.1m까지의 단순교에 적용할 수 있는 고효율의 NEBT(뉴잉글랜드 bulb-T) 거더를 개발하였다(그림 8). 이 거더의 연구진은 플로리다와 켄터키 및 PCI와 NU의 bulb-T 단면들을 검토하고 이들의 장점들을 통합할 수 있는 방향으로 플로리다 bulb-T 단면을 변경하는 방법으로 NEBT 단면의 각 부위 치수를 결정하는 연구를 수행하였다¹²⁾. 1990년대 말부터는 장경간 PSC 빔 거더교의



그림 8. NEBT 거더를 사용한 경간장 38.1m의 Jetport Interchange 교¹²⁾

기술적 혁신성과 필요성에 대한 관심이 크게 높아졌는데 Twisp River 교와 Bow River 교가 그 예이다<그림 9, 10>.

워싱턴 주에서는 일찍부터 거더 단면의 고효율화에 관심이 있어서 AASHTO/PCI bulb-T 단면이 발표되기 이전부터 이에 필적하는 고효율의 표준단면을 사용하여 왔으며 이러한 배경의 결과로 2001년에 경간장 60m의 단순지장대 PSC 빔 거더교를 건설하게 되었다¹⁴⁾. 1937년에 4경간 T형교로 건설된 Twisp River 교를 2경간 교량으로 개축하는 것으로 계획하였다가 강 수위가 낮은 7~8월에만 교각 시공이 가능하다는 문제 때문에 단경간 교량으로 계획을 수정하게 되었고 FHWA의 “혁신적 교량 연구 및 건설 프로그램”으로부터 지원을 받아 프리캐스트 콘크리트 교량 기술의 발전을 목적으로 강관형교 대신 형고 2.4m, 경간장 60m의 단경간 PSC 빔 거더교를 건설하게 된 것이었다. 이는 PSC 빔 거더교의 장경간화에 대한 미국 연방도로청의 관심이 반영된 결과라 할 수 있다.

또 하나의 장경간 PSC 빔 거더교의 대표적인 예인 Bow River 교는 프리캐스트 콘크리트 교량의 건설 기술 향상과 교량 계획 대

안의 유연성을 높이는 것을 목적으로 건설된 교량으로서 2003년에 캐나다 앨버타 주의 캘거리(Calgary)에 완공되었다¹⁵⁾.

네브래스카 대학교의 NU 거더를 사용하여 형고 2.8m에 54m-65m-65m-54m의 경간 구성으로 건설된 이 교량은 당초 강관형교와 PSC 빔 거더교를 두고 검토가 이루어졌으나 가격이 저렴한 PSC 빔 거더교가 선택되었고 다시 캔탈레버 거더를 갖는 분절(spliced) PSC 빔 거더교와 표준형식 PSC 빔 거더교에 대한 검토 후 교량 기술의 발전을 목적으로 후자가 선택되게 되었다.

이상 소개한 바와 같이 1990년대부터 미국에서는 표준형식 PSC 빔 거더교의 장대화 및 형고 저감에 관심이 높아져 왔으며 현재 이에 관한 연구, 개발과 건설 노력이 계속되고 있다.

4.2 국내 현황

PSC 빔 거더교의 저형고화 및 장대화에 대한 미국에서의 관심과 건설이 본격화된 시기인 1990년대 중반부터 국내에서도 PSC 빔 거더교의 저형고화에 대한 관심이 일어나기 시작했다. 그러나 미국과는 달리 국내에서는 프리플렉스 거더교의 대체를 주목적으로 연구가 이루어졌고 방법 또한 추가 긴장이나 강제 삽입 등, 표준형식 PSC 빔 거더에 추가적인 아이디어를 도입한 새



(a) 철거된 4경간 T형교



(b) 완공된 교량 전경

그림 9. 경간장 60m의 단경간 Twisp River 교



그림 10. 경간장 65m Bow River 교의 건설 과정¹⁵⁾

로운 형태의 거더를 개발하는 방향으로 이루어져 왔다. 그러나 이러한 아이디어의 추가는 추가적인 공정을 필요로 함으로써 건설비를 다소 상승시키는 요인으로 작용하는 측면도 있고, 매우 최근에 개발된 관계로 IPC 거더를 제외하고는 아직은 활용도가 높지는 않다. 이러한 시도들과는 다른 관점에서 PSC 빔 거더의 저형고화 및 장대화 연구가 한국도로공사에서 진행되고 있다. 표준형식 PSC 빔 거더의 단면 최적화를 통해 구조적 효율성과 비용 효율을 향상시켜 거더의 형고를 낮추거나 경간장을 증대시키는 연구이다. 이 연구는 국내에서 지배적으로 사용되어 온 한국도로공사의 표준 PSC 빔 거더가 구조적으로 효율성이 낮다는 지적에 따라 시작된 연구였으나 건설비가 저렴한 표준형식 PSC 빔 거더교의 활용 범위 확대를 통한 국가 건설 예산 절감 효과가 매우 크다는 점에 주목하여 연구의 최종 목표를 장대 PSC 빔 거더교의 실용화로 수정하게 되었다.

상술한 바와 같이 PSC 빔 거더의 단면 최적화를 통한 효율 고도화는 미국에서의 주 연구 방향이었으며 이를 통한 거더의 저형고화 및 장경간화는 1990년대부터 미국에서 관심이 높아진 분야이다. 따라서 한국도로공사에서의 이 연구는 새로운 것이 아니며 이에 따라 연구진은 미국의 표준단면을 도입하는 것을 검토하였었다.

그러나 다양한 미국의 여러 표준단면들 중 어느 단면을 도입할 것인가? 하는 물음부터 시작하여 미국과 국내의 표준설계기준 규정치의 차이, 활하중 크기의 상이성, 국내의 후긴장 사용 선호 환경, 거더 제작 업체의 실태 차이(국내 업체의 영세성과 미국의 체계화된 선긴장 업체들의 차이) 등으로 인해 미국 단면을 적용하는 것 자체의 타당성 여부 및 미국 단면의 올바른 적용 방법에 대한 근거를 마련할 필요가 있었다. 이에 따라 형고 최소화 또는 경간장 최대화를 주목적으로 하는 최적화 개념을 정의하고 이를 위한 수학적 단면 최적화를 통해 최적단면을 정식화하는 방법으로 미국의 표준단면들을 평가하였다. 그리고 국내 설계기준 등 국내 여건에 최적인 단면과 거더를 설계하는 연구가 수행되었다.

한국도로공사에서는 올해 이 연구에서 설계된 60m 길이의 실물 거더를 제작하여 운반, 인양의 시공 과정에 대한 모사 실험을 수행하고 정, 동적 하중에 대한 탄성 및 균열 거동과 극한하중에 의한 파괴 거동을 평가하는 실험을 실시함으로써 표준형식 장대 PSC 빔 거더의 건설 가능성을 확인하고 수 년 내에 경간장 50m 이상의 시험 교량을 시공할 계획에 있다.

5. 맺음말

국내에서는 표준형식 PSC 빔 거더교의 거더 단면 개선이나 이를 통한 형고 저감 또는 경간 장대화 등에 대한 연구가 사실상 거의 없었으나 미국에서는 초창기부터 꾸준히 연구가 있어 왔으며 최근에는, 특히 표준형식 PSC 빔 거더교의 장대화에 큰 관심을 보이고 있다. 표준형식 PSC 빔 거더교의 저렴한 건설비를 고려

할 때 이 교량의 장대화를 통한 활용 범위 확대는 국가 건설시장의 경제성을 크게 향상시킬 것이므로 관련 연구와 개발에 적극 나설 필요가 있는 것으로 판단된다. □

참고문헌

1. *Standard Plans for Highway Bridges*, US Department of Commerce, Bureau of Public Roads, Washington, DC, 1956.
2. K. Lynn Geren and Maher K. Tadros, "The NU Precast/Prestressed Concrete Bridge I-Girder Series", *PCI Journal*, Vol.39, No.3, 1994, pp.26~38.
3. Basile G. Rabbat and Henry G. Russell, "Optimized Sections for Precast, Prestressed Bridge Girders", *PCI Journal*, Vol.27, No.4, 1982, pp.88~104.
4. *Standard Plans for Highway Bridges, Concrete Superstructure*, Vol.1, US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC, Jan. 1990.
5. Joseffa V. Meir, Michael R. Cicciarelli, Julio A. Ramirez and Robert H. Lee, "Alternatives to the Current AASHTO Standard Bridge Sections", *PCI Journal*, Vol.42, No.1, 1997, pp.56~66.
6. D. Morris, "Prestressed Concrete Design by Linear Programming", *Journal of the Structural Division*, ASCE, Mar. 1978, pp.439~452.
7. M. Z. Cohn and A. J. MacRae, "Prestressing Optimization and Its Implications for Design", *PCI Journal*, Jul.-Aug. 1984, pp.68~83.
8. Gary Alan Klevens, "Prestressed Concrete Bridge Design and Optimization", *Proceedings of the 10th Conf. on Electronic Computation*, ASCE, 1991, pp.82~89.
9. M. Z. Cohn and Z. Lounis, "Optimum Limit Design of Continuous Prestressed Concrete Beams", *J. of Structural Engineering*, Vol.119, No.12, 1993, pp.3551~3570.
10. H. G. Russell, J. S. Volz, and R. N. Bruce, *Optimized Sections for High-strength Concrete Bridge Girders*, RHWA-RD-95-180, Aug. 1997.
11. Antonio M. Garcia, "Florida's Long Span Bridges: New Forms, New Horizons", *PCI Journal*, Vol.38, No.4, 1993, pp.34~49.
12. Alexander K. Bardow, Rita L. Seraderian and Michael P. Culmo, "Design, Fabrication and Construction of the New England Bulb-Tee Girder", *PCI Journal*, Nov.-Dec. 1997.
13. Roland Lavalley and Ken Cadman, "New England Bulb Tee Girder Brings Strength, Elegance and Economy to Jetport Interchange Bridge", *PCI Journal*, Nov.-Dec. 2001.
14. John A. Van Lund, Paul D. Kinderman and Stephen J. Seguriant, "New Deep WSDOT Girders Used for the Twisp River Bridge", *PCI Journal*, Vol.47, No.2, 2002, pp.20~31.
15. *Record-Breaking Precast Nu Girders Installed In Alberta, Row River Brides, Calgary, Alberta*, CPCI PROJECTS OF THE MONTH-2002, Canadian PCI, 2002.