

PSC 교량의 저형고 장경간화에 대한 연구 개발

Development of PSC Bridge with Long Span and Shallow Depth

이형준*
Hyung-Joon Lee전세진**
Se-Jin Jeon김영진***
Young-Jin Kim

1. 머리말

1900년대 초에 철근콘크리트(RC) 개념이 도입되면서 경간길이 15m 정도인 슬래브 및 T형보 콘크리트 교량이 건설되어 왔으며, 2차 세계대전 이후 프리스트레싱의 개념이 콘크리트 교량에 적용되면서 경간길이가 2배 가까이 증가될 수 있었다. 특히, 1950년대 들어 포스트텐션을 이용한 PSC 박스거더 교량이 등장하여 경간길이가 50m 이상인 콘크리트 교량이 건설되기 시작하였으며, 최근에는 새로운 시공법의 개발과 콘크리트 강도의 고강도화 등 새로운 개념을 도입하여 경간길이가 150m 이상인 PSC 박스거더 교량이 건설되기에 이르렀다.

국내에는 1960년대에 프리스트레스트 콘크리트(PSC) 거더교량이 도입되어 경간길이가 35m 이내인 교량이 오늘날까지 널리 건설되고 있고, PSC 박스거더 교량의 경우 1980년대 이후 다양한 형식의 시공법에 의해 경간길이가 50m 이상인 교량이 건설되었으며, 근래에 들어서는 경간길이가 100m를 초과하는 서해대교를 비롯해 다수의 PSC 박스거더 교량이 건설되었다. 교량에서 설계 가능한 최대 경간길이는 교량 형식 선정시 가장 먼저 고려해야 하는 항목으로 경제성, 시공성, 형고 제한 등을 종합적으로 반영하여 결정해야 한다. I형 단면의 PSC 거더교의 경우 도로교에는 25~35m 경간에, 철도교에는 20~25m 경간에 널리 적용되고 있으며, PSC 박스거더 단면의 경우 그 이상의 경간도 가능하지만 여기에서는 I형 단면 또는 그와 유사한 단면에 국한하여 논하고자 한다.

해외에서는 미국과 캐나다를 중심으로 1980년대부터, 국내에서는 1990년대부터 본격적으로 PSC 거더교를 장경간화하여 고가의 강재 교량을 대체함으로써 저비용으로 고효율을 추구하려는 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 해외의 경우 분절거더

(spliced PSC 거더)가 대표적인 예로서 90m 내외의 경간을 가능케 하였으며, 국내에서는 고강도콘크리트의 적용에 대한 한국도로공사의 연구를 시작으로 2000년대에는 단단계 긴장기법이나 합성 및 복합구조 등 다양한 기법을 동원한 신형식 PSC 거더교가 다수 등장하여 최대 경간 50m 정도까지 실시공하였다.

여기에서 PSC 거더교의 장경간화 및 저형고화와 관련하여 주로 다룰 내용은 기존에 사용되어 오던 I형 단면을 장경간에 적합한 단면으로 최적화시키는 방법, 기존 PSC 거더교에 적용되었던 콘크리트 설계기준강도인 40MPa을 60MPa 이상으로 고강도화하는 방법, PSC 거더의 분절시공에 의한 방법이다. 그 외의 기법들에 대해서는 본 특집의 다른 기사에서 자세히 다루거나 이미 기존 자료에서 충분히 소개되었다고 판단되어 필요시 간략히 언급만 하기로 한다.

2. 단면의 최적화에 의한 장경간화

PSC 거더를 교량에 적용한 초기에는 상하부 플랜지의 폭이 상대적으로 작은 I형 단면을 주로 사용하였으나 강재 거더와의 경쟁력을 보유한 최적 단면을 개발하려는 노력의 결과로 현재 널리 사용되는 대표적인 것이 상부 플랜지 폭이 확장된 bulb-tee 단면이다. 한편, 1980년대에 접어들어 미국의 각 주 도로국(DOT)에서는 AASHTO I형 거더 표준단면(I~VI)을 토대로 단면의 효율성 및 경제성을 높이려는 노력을 경주하여 각 주마다 차별화되는 <그림 1>과 같은 표준단면을 보유하고 이를 적극적으로 사용하고 있다.

PSC 거더교의 장경간화를 위한 최적 단면 형상은 단면 형태만에 국한된 문제가 아니며, 거더 높이, 거더 간격, 콘크리트의 강도, 연속화 여부 등 여러 가지 복합적인 요인이 작용한다. <그림 2>는 거더 높이가 같은 경우 기존의 I형 거더(높이 1.37m)와 bulb-tee형 거더(높이 1.35m)에 대해 경간길이와 거더 간격의 관계를 분석한 것으로 bulb-tee형 거더(NU1350)가 경간길이 측면에서 더욱 효율적임을 보여주고 있다¹⁾. 이 때 분석 대상 교

* 정희원, 한밭대학교 토목공학과 부교수
leehj@hanbat.ac.kr

** 정희원, (주)대우건설기술연구원 토목연구팀 책임연구원

*** 정희원, (주)대우건설기술연구원 토목연구팀 수석연구원

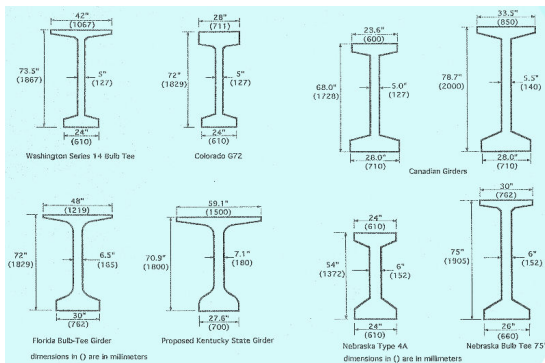


그림 1. 미주 지역의 PSC I형 거더 표준 단면

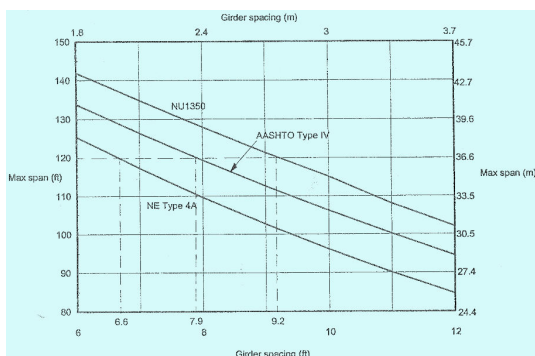
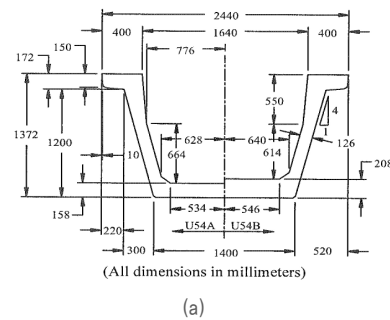


그림 2. I형 및 bulb-tee형 거더교의 경간 비교

량은 거더는 단순지지된 상태에서 바닥판을 연속철근에 의해 연속화한 교량이었다.

미국 텍사스 주에서는 <그림 3>과 같은 U형 단면을 개발하여 장경간 교량에 적용하고 있다. 이 단면은 복부두께가 150 mm, 상부에서의 거더 폭이 2.4 m, 높이가 1.37 m이며 설계기준강도가 60 MPa(실제 56일 압축강도는 69~90 MPa)인 고강도콘크리트를 사용하였다. 적용 예로 경간이 각각 37.0 m, 40.8 m, 41.4 m인 3경간의 Louetta Road Overpass 교량을 1994년에 건설하여 1995년부터 공용중에 있다²⁾. 이 교량은 고성능/고강도콘크리트를 콘크리트 교량 거더에 적용하려는 텍사스 주 프로젝트의 일환으로 건설되었으며, 설계기준강도가 55 MPa일 때 AASHTO IV형 단면(높이 1.37 m) 거더가 7개 소요되는 것을 고강도 콘크리트를 사용하여 U형 단면(높이 1.37 m) 거더 4개로 거더 개수를 대폭 절감하여 구조적 효율성을 높였으며, 또한 유선형의 외관을 갖고 있으므로 미적 요인을 크게 향상시켰다. <그림 4>는 같은 교량에 AASHTO IV 거더와 U54 거더를 적용했을 때 교량 단면도를 비교하여 보여주고 있다.

<그림 5>와 같은 더블(double) T형 교량은 경간이 30 m 이내인 교량에 주로 사용하고 있으나 최근에는 PSC 더블 T형 단면을 이



(a)

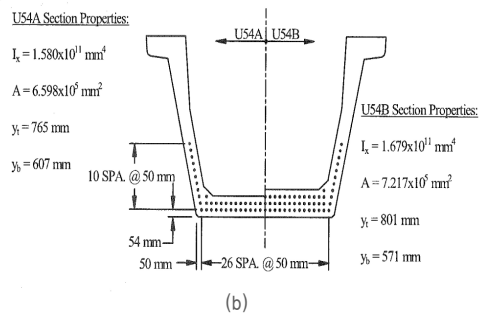


그림 3. 텍사스주 U54 단면

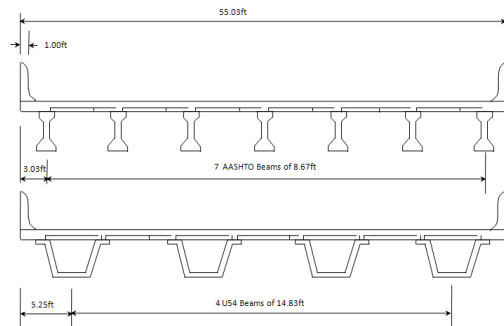


그림 4. AASHTO IV 거더와 U54 거더의 적용성 비교

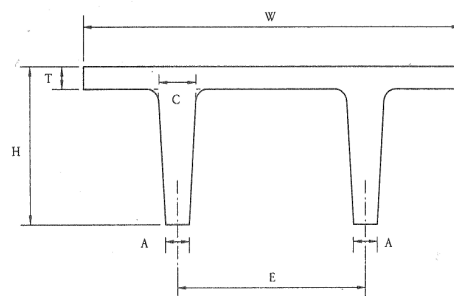


그림 5. PCI 더블 T형 교량 단면

용하여 최대 경간이 50 m인 교량을 건설하기도 한다. 해외에서는 decked bulb-tee 단면이라 하여 바닥판의 일부 또는 전부를 거더

표 1. 콘크리트의 고강도화에 의한 장경간 PSC 거더교 건설 현황 (미국, 1990년대)

교량명 및 위치	경간길이 (m)	설계기준강도 (MPa)	년도	거더 형태
Alabama Highway 199 Over Uphapee Creek, Macon County	34.7	70 @ 28 days	1998	AASHTO bulb-tee
Texas Louetta Road Overpass, State Highway 249, Houston	40	70~90 @ 56 days	1997	U-shaped beam
Texas San Angelo Bridge, U. S. Route 67	20~48	40~100 @ 56 days	1997	AASHTO Type IV
Washington Eastbound State Route 18, Over Route 516, King County	42	70 @ 28 days	1997	WSDOT girder

와 함께 제작하여 긴장시의 효율성을 높이고 가설후 바닥 시공 공정을 생략하여 급속시공을 도모할 수 있는 기법도 시도되었다.

단면의 최적화에 의한 장경간 PSC 거더의 개발은 구조적 효율성의 극대화와 더불어 가설시의 안정성을 고려하여 이루어져야 한다. PSC 거더의 운반 및 가설시 최우선적으로 고려해야 할 사항은 횡방향에 대한 안정성으로 하부 플랜지의 폭이 상부 플랜지 폭 만큼이나 중요한 역할을 하므로 최적 단면의 결정시 중요 고려 요인이 된다³⁾.

국내에서 이루어진 PSC I형 거더의 최적단면 개발에 대한 최신 연구 결과는 본 특집의 다른 기사에서 자세히 다룬다.

3. 재료의 고강도화에 의한 장경간화

미국에서는 1990년대 들어 각 주 도로국이 주관이 되어 고강도(고성능)콘크리트를 콘크리트 교량 특히 PSC 거더교에 적용하여 장경간화하려는 연구를 활발히 진행하였다. 즉, 기존 PSC 거더의 콘크리트 설계기준강도는 42 MPa 정도였는데 이를 60 MPa 이상의 고강도로 확장하여 <표 1>과 같이 경간 40m 이상의 거더 교량을 건설하기 시작하였다.

PSC 거더교에 고강도콘크리트를 적용하기 위한 연구에서 교량의 경간에 따라 경제성이 우수한 콘크리트의 강도를 제시한 사례가 있다⁴⁾. 이에 따르면 동일한 경간인 경우에 거더 높이를 작게 하고 콘크리트 강도를 크게 하면 보통강도(42 MPa) 콘크리트의 거더 높이가 큰 교량보다 더 경제적이고, 또한 보통강도 콘크리트의 거더를 여러 개 사용하는 것 보다는 고강도 콘크리트를 적용하여 거더 개수를 줄이고 거더 간격을 크게 하는 것이 경제적이고 밝히고 있다. 이 연구에서는 콘크리트 강도 증가에 따른 콘크리트 제조비용의 증가를 <그림 6>과 같이 가정하여, 거더 간격을 6.0m, 4.0m, 3.0m로 하였을 때 콘크리트 압축강도와 거더 높이 및 경간길이의 상관관계를 보여주고 있다. <그림 7>은

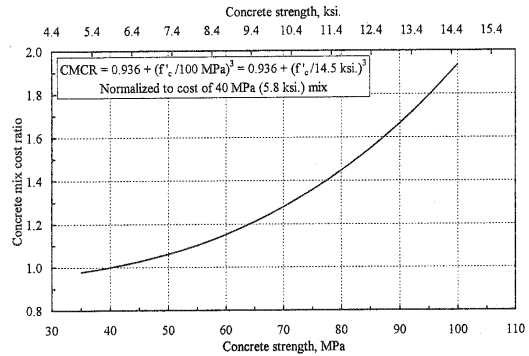


그림 6. 콘크리트 강도에 따른 제조비용 증가

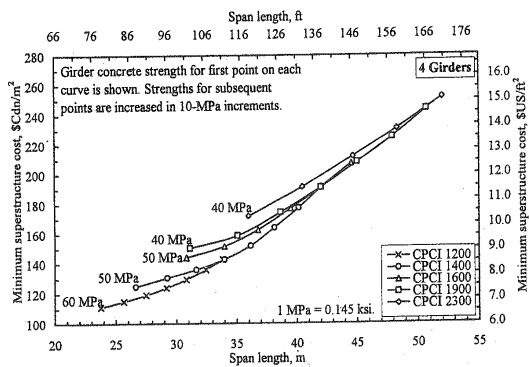


그림 7. 콘크리트 강도와 경간길이의 관계

거더 간격을 3.0m로 하였을 경우 상부구조의 비용을 최소화 하는 경간길이에 따른 거더 높이, 콘크리트의 압축강도를 보여주고 있다. 경간이 40m이고 거더 간격이 3.0m인 경우에 대해서, 거더 높이가 2.3m일 때 압축강도 50 MPa, 거더 높이가 1.9m일 때 압축강도 65 MPa, 거더 높이가 1.6m일 때 압축강도 80 MPa로 하면 재료 효율성이 높은 것으로 나타났다. 또한, 거더 높이 2.3m, 거더 간격 3.0m인 경우에 대해 경제성을 고려하여 콘크리트 강도에 따른 경간길이를 제시하고 있는데 경간길이가 36m인 경우 압축강도 40 MPa, 45m인 경우 60 MPa, 52m인 경우 80 MPa가 적절한 것으로 나타났다. 이 연구에 사용된 PSC 거더의 단면은 CPCI(Canadian Prestressed Concrete Institute)의 표준단면으로 거더 높이가 1.4m 이하인 경우 I형 단면, 거더 높이가 1.6m 이상인 경우 bulb-tee형 단면을 적용한다.

French 등⁵⁾은 미네소타 주 도로국의 표준단면인 MnDOT 81-I 거더(높이 2.06m)를 가지고 경간 48.8m, 폭 15.8m인 교량을 건설할 때 콘크리트의 압축강도가 48 MPa인 경우와 69 MPa인 경우를 비교하여 경제성을 분석하였다. 이에 의하면 PSC 거더에 사용되는 콘크리트의 강도를 크게 함으로써 거더 간

격을 75% 증가시켜서 거더 개수를 줄일 수 있으며, 비록 각 거더의 강선량은 증가하나 교량 전체적으로는 강선량이 10% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 제작비, 운반비 및 가설비를 고려하면 고강도콘크리트를 사용하는 경우가 더 경제적인 것으로 나타났다. <그림 8>은 두 가지 콘크리트 강도에 대한 거더 배치를 비교한 것이다.

미국 루이지애나 주에서는 경간길이가 40 m인 Rigolets 육교를 건설할 때 기존에 사용하던 콘크리트 압축강도(42 MPa)와 고강도(70 MPa)를 적용한 경우를 비교하였는데 bulb-tee 단면 및 고강도를 적용한 경우 거더 간격이 기존의 2.4 m에서 3.88 m로 증가되는 것으로 나타나 고강도콘크리트를 적용하여 교량을 건설하였다⁶⁾.

노르웨이의 경우 1988년에 개정된 콘크리트 설계기준에는 100 mm×100 mm인 정육면체 시험체로 측정한 콘크리트의 압축강도를 기준으로 보통골재 콘크리트에서는 105 MPa, 경량골재 콘크리트에서는 85 MPa까지 건설구조물에 사용할 수 있는 규정을 도입하여, 1990년대 초에는 압축강도가 55 MPa인 경량골재 콘크리트(단위중량 1,850~1,900 kg/m³)를 이용하여 경간 40 m의 PSC 거더교인 Eidsvoll Sundbru교를 건설하였다⁷⁾.

PSC 거더교에서 거더 콘크리트의 고강도화에 따른 구조적 효율성을 극대화하기 위해서는 바닥판 콘크리트의 강도도 함께 증가시키는 것이 바람직하다. Bulb-tee 단면을 가지고 경간이 24~43 m인 교량에 대해 PSC 거더 및 바닥판 콘크리트의 강도에 따른 비용효율 해석을 수행한 FHWA의 보고서⁸⁾에 의하면 거더 콘크리트의 강도가 42 MPa인 경우에 바닥판의 두께나 횡방향 철근의 양이 줄지는 않으나, 활하중 작용시 처짐을 감소시키고 경간길이를 소폭 증대시키는 것으로 나타났다. 그러나 PSC 거더가 60 MPa 이상으로 고강도화 될 경우에는 바닥판 콘크리트의 강도가 증가되는 것이 바람직하며 최소한 거더 콘크리트 강도의 60% 이상이 되어야 효율적인 것으로 나타났다.

국내 연구⁹⁾에 의하면 PSC 거더교에 많이 적용되고 있는 30 m 경간 교량을 압축강도가 60 MPa 이상이고 경간길이가 40 m인 교량으로 대체할 경우 각 거더의 제작비용은 증가하나 거더

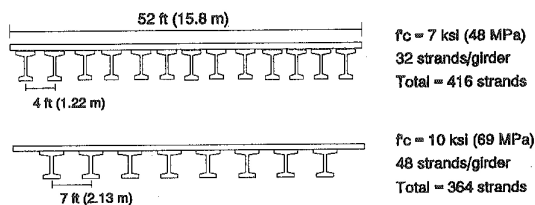


그림 8. 콘크리트의 고강도화에 따른 거더 간격 증가

개수의 감소에 따른 운반 및 가설 비용의 감소, 경간의 장대화에 따른 하부구조 시공비의 감소에 따라 전체적으로 기존의 PSC 거더교량 형식에 비해 10% 이상의 공사비 절감효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

재료 측면에서 장경간화에 기여할 수 있는 사항들은 위에서 언급한 고강도콘크리트 및 경량골재 콘크리트 이외에도 강연선 직경의 증가 및 고강도 강연선 사용, 합성 및 복합구조의 적용 등을 들 수 있다. 특히 국내에서는 최근 합성 및 복합구조의 관련 연구가 활발히 이루어져 상당 수준의 기술이 축적되었으므로 이를 장경간 PSC 거더에 활용하려는 노력이 요망된다.

4. 시공법 개선에 의한 장경간화

PSC 거더교의 시공법 및 시공단계의 개선에 의해 PSC 거더교를 장경간 및 저형고화하려는 노력 또한 활발히 이루어지고 있다. 이 중 대표적인 방법이 분절시공에 의한 spliced PSC 거더 기법이다. 일반적인 PSC 거더교는 한 경간의 길이에 해당하는 PSC 거더를 제작하여 교각 및 교대에 거치하는 시스템으로 가설되는 반면 분절시공은 PSC 거더를 몇 개의 세그먼트들로 나누어 제작한 후 현장에서 각 세그먼트들을 2차 긴장에 의해 일체로 연결하여 가설하는 것이다. 특히 <그림 9>와 같이 피어(pier) 세그먼트를 두어 교량을 연속화할 경우 그 효율성이 극대화되는 것으로 보고되었다.

PSC I형 거더를 분절방법에 의해 시공하는 것은 1960년대 미국에서 처음 시도된 후, 1970년대부터는 캐나다에서도 시도되기 시작했으며 현재까지 300여개의 교량이 성공적으로 시공되었다. 같은 분절거더 공법이라도 그동안 개선을 거듭하여 새로운 가설 공법이나 접합공법 등이 개발됨에 따라 현재에는 상대적으로 시공이 간편하고 비용효과가 좋은 공법으로 인식되고 있다. <그림 9 및 10>은 분절공법에 의해 시공된 Choctawhatchee Bay 교

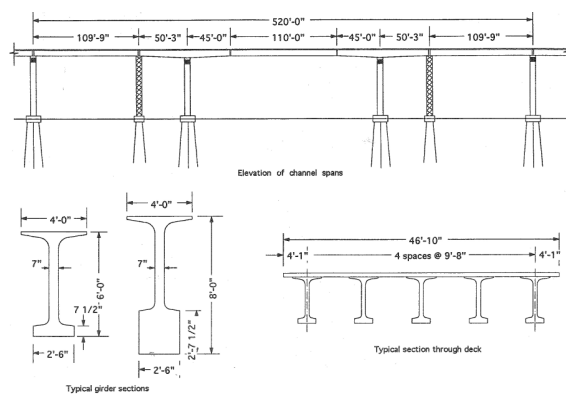


그림 9. 분절 PSC 거더교의 단면 및 시공법



그림 10. 분절 PSC 거더교의 시공



그림 11. 분절시공된 PSC 거더교

량을 보여주고 있다¹⁰⁾.

<그림 11>은 미국 네브래스카 주 도로국에서 고속도로를 횡단하는 육교에 표준적으로 적용하고 있는 분절 PSC 거더교의 모습이다. 여기에는 bulb-tee 단면이 주로 사용되며, 최근에는 PSC 거더의 강도 또한 증가시키는 추세이다. 교량길이가 305m이고 주 경간길이가 66.6m인 Shelby Creek 교량에는 설계기준강도가 55 MPa(실제강도는 78 MPa)인 콘크리트를 사용하여 높이가 2.6m이고 간격이 3.8m인 PSC 거더를 적용하였다¹¹⁾. 한편, 플로리다 주에서는 교량길이가 196 m(60 m+ 76 m+ 60 m)인 Highland View 교량을 거더 높이 3m(교각부) 및 1.8m(중앙부의 43m 구간)인 AASHTO Type IV 형식의 I형 거더를 이용하여 분절 시공하였다. 거더 콘크리트의 강도는 45 MPa였으며, 최종 공사비는 강재 플레이트 교량보다 약간 적은 것으로 나타났다¹²⁾. 분절시공에 적용할 수 있는 PSC 거더 단면은 I형, bulb-tee형, U형 등 모든 단면이 가능하며, 각 세그먼트의 접합시 <그림 12>와 같은 전단키를 설치하여 일체성을 극대화시키고 있다¹⁰⁾. <표 2>는 몇몇 대표적인 분절 PSC 거더교의 시공

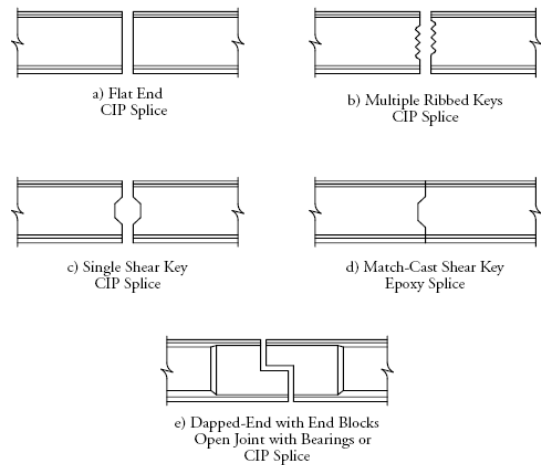


그림 12. 분절 PSC 거더 세그먼트 간 전단키 형상

표 2. 분절시공된 대표적인 PSC 거더교

교량명	주경간 길이 (m)	세그먼트 길이 (m)	거더 높이 (m)	거더 간격 (m)	단면 형태
Cockshuut Road Bridge	48.5	34.0	2.25	3.22	Bulb-tee
Kingston Road Bridge	50.6	33.0	2.25	2.78	I
Credit River Bridge	48.8	29.0	2.28	2.54	I
Annacis Channel East Bridge	70.0	50.1	2.70	2.54	I
Umpqua Bridge	67.0	37.0	2.10	2.50	I
Salt River Bridge	48.8	48.8	2.15	2.70	Bulb-tee
Choctawhatchee Bridge	61.0	43.0	1.80~2.40	2.90	Bulb-tee
Highland View Bridge	76.2	43.2	1.35~3.00	2.90	AASHTO Type IV
Shelby Creek Bridge	49.5	49.5	2.5	3.80	Bulb-tee

현황을 보여주고 있다.

시공법 개선 측면에서 장경간화에 기여할 수 있는 사항들은 분절거더 기법 이외에도 여러 가지가 있는데 한 예로 해외에서는 <그림 13>과 같이 교각 위에 거더들을 지지할 수 있는 피어 테이블



그림 13. 피어 테이블 기법

블(pier table)을 마련하여 실제 제작된 거더 길이보다 긴 경간을 구현하기도 한다.

5. 맺는말

최근 10여년 간 국내에서도 콘크리트 교량을 장경간화 및 저형고화하려는 노력이 활발히 이루어지고 있다. 그러한 기법들의 예로서 거더 단면의 최적화, 구조재료의 고강도화, 새로운 시공(가설)방법의 개발, 연속화 등 구조 시스템의 변화, 시공 단계를 고려한 단계별 프리스트레스 힘의 도입, 강제 또는 FRP(Fiber Reinforced Polymer)와의 합성 및 복합구조 등 다양한 방법들이 시도되고 있다. 이를 통해 최근 국내에서 기존 PSC 거더의 25~35m 경간을 50m까지 확장하여 시공하였으며, 해외의 경우에는 분절거더 기법을 중심으로 기존 PSC 박스거더 교량이나 강 박스거더 교량의 주 영역이었던 50~70m 경간 또는 그 이상까지 확장하는 것도 실현되었다.

장경간 및 저형고 PSC 거더가 실용화되기 위해서는 경제성과 시공효율성이 필수적으로 뒷받침되어야 하므로 한 가지 기법에만 의존하기 보다는 재료, 설계, 긴장 기법, 시공(가설)방법 등을 효과적으로 조합하는 것이 바람직하며 실제로 해외에서 PSC 거더의 획기적인 장경간화가 가능했던 이유도 분절거더 기법과 단면 최적화 기법을 적절히 병용한 결과로 생각된다. 또한, FRP와 같은 새로운 구조재료나 고강도콘크리트 및 고강도 강선을 실제 장경간 교량의 설계에 적용하기 위해서는 이들의 적용 효과를 저해하지 않고 극대화할 수 있도록 필요시 기존 교량관련 설계지침을 수정하여 정립해나가려는 노력이 필요한 시점이라고 생각된다.

여기에서는 해외 사례를 중심으로 거더 단면의 최적화, 콘크리트의 고강도화, PSC 거더의 분절시공이 PSC 거더의 장경간화에 기여했던 사항들을 정리해 보았으며 관련 연구를 수행하는데 참조가 되었으면 한다. □

참고문헌

1. Geren, K. L. and Tadros, M. K., "The NU Precast/Prestressed Concrete Bridge I-Girder Series", *PCI Journal*, Vol.39, No.3, May-Jun 1994, pp.26~39.
2. Ralls, M. L. and Carrasquillo, R., "Texas High-Strength Concrete Project", *FHWA*, Vol.57, No.4, Spring 1994.
3. Mast, R., "Lateral Stability of Long Prestressed Concrete Beam-Part 1", *PCI Journal*, Vol.34, No.1, Jan.-Feb. 1989, pp.34~53.
4. Hassanain, M. A. and Robert, E. L., "Design of Prestressed Girder Bridges Using High Performance Concrete-An Optimization Approach", *PCI Journal*, Vol.44, No.2, Mar.-Apr. 1999, pp.40~55.
5. French, C., Mokhtarzad, A., Ahlborn, T., and Leon, R., "High-Strength Concrete Applications to Prestressed Bridge Girders", *Construction and Building Materials*, Vol.12, Nos.2~3, 1998, pp.105~113.
6. FHWA, *High Performance Concrete Bridge Views: Issue Nos.1-38*, Seventh International Symposium on the Utilization of High-strength/High-Performance Concrete, Washington DC, June 20~24, 2005.
7. Melby, K., Jordet, E. A., and Hansvold, C., "Long Span Bridges in Norway Constructed in High-Strength LWA Concrete", *Engineering Structures*, Vol.18, No.11, 1996, pp.845~849.
8. FHWA, *Optimized Sections for High-Strength Concrete Bridge Girders-Effect of Deck Concrete Strength*, Publication No.FHWA-HRT-05-058, Oct. 2006.
9. 한국도로공사, 동아건설산업(주), 쌍용양회공업(주), 콘크리트 장경간보의 개발에 대한 연구, 1996~1998.
10. Abdel-Karim A. M. and Tadros, M. K., *State-of-the-Art of Precast/Prestressed Concrete Spliced-Girder Bridges*, PCI Committee on Bridges, 1995.
11. Caroland, W. B., Depp, D., Janssen, H. H., and Spaans, L., "Spliced Segemental Prestressed Concrete I-Beams for Shelby Creek Bridge", *PCI Journal*, Vol.37, No.5, Sep.-Oct. 1992, pp.44~55.
12. Janssen, H. H. and Spaans, L., "Record Span Spliced Bulb-Tee Girders Used in Highland View Bridge", *PCI Journal*, Vol.39, No.1, Jan.-Feb. 1994, pp.12~19.

학회 도서구입 안내

도서 구입은 학회 홈페이지에서 구입 가능하며, 방문 또는 전화로도 구입하실 수 있습니다.

홈페이지 및 전화로 구입하실 경우 우송료는 착불입니다.

홈페이지 : www.kci.or.kr

연락처 : TEL 02-568-5985, FAX : 02-568-1918