

조립식 교량 구조시스템 개발



한만엽 아주대학교 건설시스템공학과 교수

1. 연구 배경

최근 교량 건설은 재료의 발달과 신형식의 개발로 많은 발전을 이루어 왔으나, 현장에서 대부분의 공정이 이루어지는 기본 틀을 탈피하지 못하고 있다. 이와 같은 현장 타설 방식으로 인하여 여러 가지 단점이 발생하는데, 도심지의 경우 교통 차단 및 민원 발생 등으로 인하여 간접비용이 상승한다. 또한, 최근 건설시장에서 노무비의 비율이 다른 재료비들에 비해서 상대적으로 크게 증가하였다. 재료비의 절감을 위한 공법이 많은 발전을 이루어 왔지만, 노무비 비율이 상승하면서 재료절감을 통한 공사비의 감소율이 상대적으로 미미해지고 있는 실정이다.

이러한 단점을 극복하기 위해서 공기단축이라는 명제 아래 첨단 공사 기법들이 활발히 개발되고 있는데 그중에서 가장 효과적인 방법이 바로 프리캐스트 공법이다. 프리캐스트 공법은 부재를 현장에서 직접 제작하지 않고, 현장의 여유 공간이나 공장에서 부재를 미리 제작한 후 현장에서 조립 시공하는 공법이다.

하부 구조의 경우 프리캐스트 조립 공법은 미국 등에서 많은 수의 교량에 적용되었지만, 국내에서는 기술 개발 뿐만 아니라 현장적용이 미비한 실정이다. 하부구조가 교량 전체 공기의 50% 이상을 차지하고 있기 때문에 프리캐스트 조립 공법을 도입한다면, 공기단축으로 인한 공사비와 간접비용의 감소가 가능한 장점이 있다.

현재 국내에서 지간 50m 이상인 장경간 교량 중 지간이 50~70m인 교량의 상부구조는 강박스 거더 또는 PSC 박스 거더가 주를 이루고 있으며, 거더의 형고가 문제가 되는 경

우에는 프리플렉스(preflex) 거더가 제한적으로 사용되기도 한다. 그 이상의 지간이 요구될 경우에는 엑스트라도즈교(extradosed bridges), 아치교, 트리스교 등의 교량 형식도 시공되고 있다.(도로 교량 및 터널 현황조사, 2009)

하지만, 이들 교량 형식은 모두 공사비가 고가라는 단점이 있으며, 강재 거더를 이용한 교량의 경우 시공 당시에는 품질의 신뢰성을 확보할 수 있으나 시공 후 유지관리비용이 콘크리트 거더에 비하여 크다는 단점이 있다. 이에 반해 프리플렉스 또는 PSC 박스 거더로 시공한 교량은 유지관리 측면에서 유리하지만, 이 역시 PSC I형 거더 교량에 비하면 공사비가 상대적으로 높고, 공정이 복잡한 단점이 있다.

따라서 기존 교량의 단점을 극복하고, 시공성 및 경제성, 그리고 유지관리의 효율성을 모두 갖춘 새로운 형식의 조립식 교량 구조시스템 개발이 요구되고 있는 실정이다.

2. 개발기술 연구내용

2.1 조립식 내부 구속 중공 CFT 교각 개발

본 연구는 교량 건설 공기의 대부분을 차지하고 있는 교각을 프리캐스트화 함으로써, 현장에서 간편하게 조립시공이 가능하도록 하여 공기를 현저하게 단축시킬 수 있는 조립식 교각에 관한 것이다. 조립식 교각의 단면 형식은 그림 1과 같이 내부 구속 중공 CFT(Internally Confined Hollow CFT) 부재를 사용하였으며, 외측과 내측의 강관 사이에 콘크리트가 충전 된다. 중공 CFT의 취성파괴를 방지해 주고 연성도를 상승시켜주기 위하여 내부에 강관을 삽입한 구조이다.

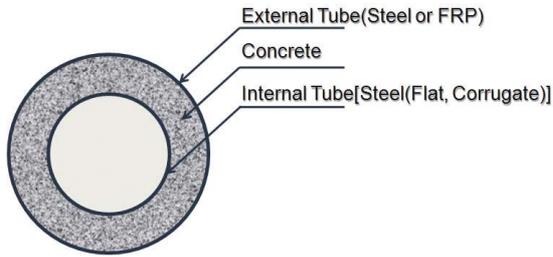


그림 1. 내부 구속 중공 단면

1) 교각-코핑 접합부

조립식 ICH CFT 교각에서는 최상단 교각 세그먼트와 코핑부가 접합을 하게 되는데, 기존의 교각-코핑부 접합방법을 용이하게 적용하기 위해서 최상단 교각 세그먼트의 형태를 그림 2 (a)와 같이 기존의 무근 콘크리트에서 철근콘크리트 형태로 변경하였다. 이와 같은 형태는 기존의 교각-코핑부 접합 설계 방법과 연계 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

2) 분절형 코핑부

코핑부는 그림 2 (b)에서와 같이 분절된 세그먼트에 긴장력을 도입 할 수 있도록 하며, 각 세그먼트의 콘크리트 접합면에는 전단키와 에폭시 수지로 접합하는 방법을 사용한다. 또한 코핑부의 안정성을 위하여 다수의 철근을 커플러로 접합하고 그 부분을 모르타르로 타설하여 시공한다. II형 교각이나 문형 교각의 경우 다수의 코핑 세그먼트를 조립하여 T

형 교각과 동일한 방법으로 시공이 가능하다.

3) 교각 세그먼트 접합부

강관부의 접합에서 가장 중요한 점은 용접이다. 강제 사용시 용접의 영향이 내구성에 큰 영향을 주기 때문이다. 용접 방법은 그림 2 (c)와 같이 사전에 제작된 내·외부 강관을 먼저 맞댐용접 한 후 세로판을 외측과 내측에 덧대어 필릿용접함으로써, 상·하부 교각 세그먼트가 일체화 거동하도록 한다. 콘크리트 접합면에는 전단키를 두어 전단에 대한 저항성을 확보하고 세그먼트 조립시 가이드 역할을 하도록 한다. 접합부는 고강도 콘크리트를 적용하며, 접합용 에폭시 수지를 사용한다.

4) 교각-기초 접합부

교각-기초 접합에 적용되는 베이스 플레이트법은 강도로 교 상세부 설계지침의 8.4절과 합성 강교각 설계요령(RIST, 포스코 강구조 연구소)을 이용하여 설계한다. 그림 2 (d)에서 오른쪽 조립 모형의 하부는 앵크프레임으로서 기초부에 시공하며, 교각부와 접합하게 된다. 또한 내부 강관은 필릿 용접으로 하부 플레이트와 접합하며, 중공부는 교각 외부와의 일체 거동을 위해서 고강도 콘크리트를 베이스 플레이트 높이의 1.2배 높이로 설정하여 타설한다.

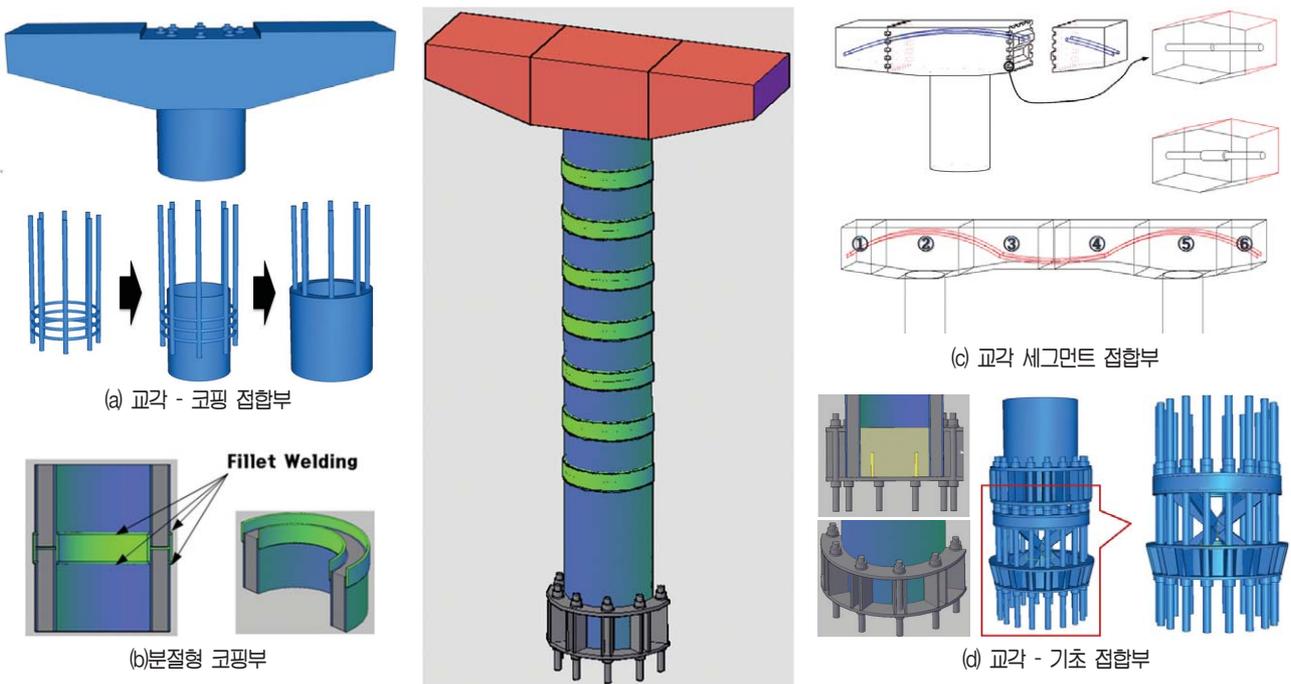


그림 2. 조립식 교각 구조시스템 요소기술

2.2 조립식 교량 상부구조 시스템 개발

본 연구에서는 교량 상부구조 공기를 단축하기 위하여 교량 수요의 90%를 차지하고 있는 20~50m 경간의 중소형교량을 기준으로 장경간 교량까지 적용 가능한 조립식 교량 상부구조 시스템을 개발하였다. 이를 통하여 상부구조 공사기간의 단축, 공사 중 교통통제의 최소화, 공사비 절감뿐만 아니라, 건설된 교량의 내구성 증진을 도모하였다.

1) 중공형 프리스트레스 분절 거더

복부에 개구부를 도입한 복부 중공형 프리스트레스 콘크리트 거더, 즉 HWPC(Holed Web Prestressed Concrete) 거더는 여러 가지 새로운 설계 개념을 포함하고 있다. 먼저 그림 3 (a)와 같이 복부에 중공을 도입함으로써 거더의 자중이 줄어들게 되어 이로 인한 설계 모멘트가 감소한다.

또한 그림 3 (b)와 같이 HWPC 거더는 중공부에 정착장치 설치가 가능하므로, 거더의 휨모멘트 분포에 따라 강선을 최적화하여 분산 배치 할 수 있다. 이로 인해 하중단계에 따른 다단계 긴장이 용이하며, 기존 PSC 거더 공법들과 달리 단부에 응력이 집중되는 것을 감소시킬 수 있다. 이는 할렬균열의 발생 가능성과 정착부 보강량을 감소시킬 수 있으며, 단부단면을 중앙부와 동일한 I형 단면으로 제작 가능하므로 사

하중을 크게 줄일 수 있는 장점이 있다.

분산 정착과 사하중의 감소는 기존 공법에 비하여 최장 경간, 최저 형고(1/25 이하의 형고비)를 가능케 하였다. 경간 증가는 연속교 시공시 교각 개수를 절감할 수 있고, 형고 감소는 성토 및 토공량을 최소화함으로써 추가적인 공사비 절감 효과를 얻을 수 있다.

중공부 도입은 거더로 차단 될 수 있는 조망권을 확보하도록 하며, 심미성을 한층 높였다. 또한 횡방향 풍하중에 대한 위험성이 감소하였으며, 이상 기후로 인한 홍수 시에는 비상 통수 공간 기능으로 작용 가능하다.

HWPC 거더는 공장에서 그림 3 (c)와 같이 세그먼트로 제작 후 현장으로 운반되며, 운반된 세그먼트는 긴장작업을 통해 조립된다. 각 세그먼트의 분절 접합면에는 전단에 저항하기 위하여 전단키를 두며, 접합 시 에폭시 수지를 사용하여 접합한다. 그림 3 (d)와 같이 중앙부 세그먼트 연결 시에는 중공부와 중공부를 연결하는 강선을 긴장하고, 전체 세그먼트 조립 시에는 단부에서 단부로 연결되는 강선을 긴장하여 조립한다.

그림 3은 위에서 언급된 HWPC 거더 기술개발의 핵심요소를 보이고 있다. 현재 거더의 내하력을 고려한 중공의 적절한 크기 및 배치에 관한 연구, 분절부 전단키의 최적화 방안 연구, 최적 강선 배치 및 다단계 긴장에 따른 설계법 등의

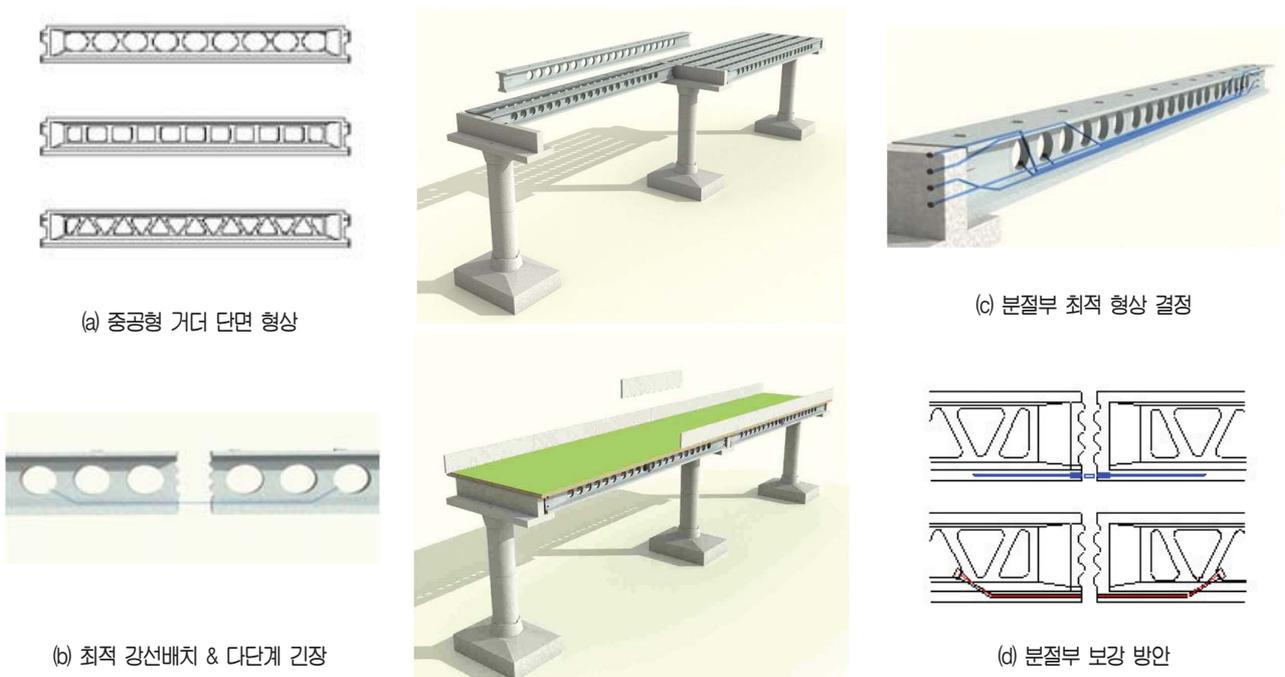


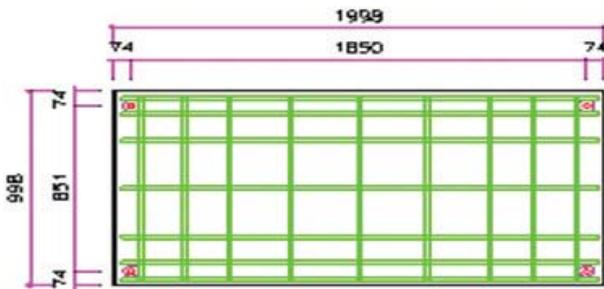
그림 3. 중공형 프리스트레스 분절거더 요소기술

연구가 수행되었으며, 실용화에 필요한 실험 연구 수행을 통해서 다양한 조건에 대한 거더의 거동 특성 검증이 완료되었다.

2) 조립식 바닥판

본 연구에서 개발한 조립식 바닥판은 현장에서 모든 공정이 이루어지는 종래 철근 콘크리트 바닥판의 제반 문제점을 개선한 건식 조립식 바닥판 공법이다. 이 공법은 그림 4 (a)의 조립식 바닥판 평면도와 같이 미리 제작된 바닥판을 현장으로 운반, 볼트 조립만으로 설치함으로써 지보공의 가설재가 필요 없고 시공성이 우수하다. 그림 4 (b)는 실험 시 강거더와 바닥판 세그먼트를 합성한 모습이며, 바닥판 세그먼트 하부의 거더 접합부는 볼트접합 외에도 전단키를 두어 수평 전단력에 충분히 저항하고 거더와 바닥판이 합성거동 할 수 있도록 하였다.

조립식 바닥판은 손상된 부분만 교체 가능하므로, 교체시간이 짧아 교통통제로 인한 불편을 줄일 수 있고 인력의 최소화 가능 등 보수보강 측면에서도 유리하다.



(a) 조립식 바닥판 평면도



(b) 조립식 바닥판 합성

그림 4. 조립식 바닥판

3. 결론

본 연구는 위와 같이 조립식 내부 구속 중공 CFT 교각과 교량 상부구조 시스템 개발을 위해 다양한 이론과 방법을 정립하고 실험 연구를 통하여 그 성능을 검증하였다.

본 연구가 추구하는 목표인 프리캐스트 조립 공법에 의하여 교량을 시공할 경우 인건비를 최소화 하면서도 강교량 공사와 유사한 품질확보가 가능하며 공기 단축으로 인한 간접비 절감 효과를 기대할 수 있다. 또한 프리캐스트 조립 공법은 공정의 자동화를 가능케 하며, 우수한 품질의 제품 생산, 건설 현장의 청정화 및 환경피해 최소화 뿐만 아니라 불리한 현장 여건에서도 건설이 가능하며, 도심지의 경우 교통 흐름 차단에 따른 기회비용의 절감 등 전반적인 국내 건설 기술의 향상으로 이어질 것으로 판단된다. 또한 조립식 콘크리트 교량은 CO2 배출량이 강거더 교량 등에 비해서 상대적으로 적기 때문에 최근 국가적인 이산화탄소 배출량 규제 노력에도 부합되는 친환경 건설기술이다.

· 한만엽 : myhan@ajou.ac.kr