

프리캐스트 모듈러 교량의 시공

Construction of Precast Modular Bridges

이상윤 Sangyoon Lee
한국건설기술연구원
전임연구원

송재준 Jaejoon Song
한국건설기술연구원
연구위원

이영호 Youngho Lee
한국건설기술연구원
수석연구원

김형열 Hyeongyeol Kim
한국건설기술연구원
선임연구위원

1. 머리말

프리캐스트 모듈러 교량은 교량 상부구조의 대부분을 표준화된 프리캐스트 모듈로 제작하여 현장에서 빠른 시간 내에 조립해 교량을 완성하는 형식으로 2010년부터 ‘모듈러 교량 기술개발 및 실용화’ 연구단의 세부연구과제로 연구가 수행되고 있다. 프리캐스트 모듈러 교량은 중량의 90% 이상 즉, 대부분의 부재가 표준화된 프리캐스트 모듈로 제작된다는 점에서 기존의 프리캐스트 교량과 차이를 갖는다고 할 수 있다. 프리캐스트 모듈러 교량의 이러한 특징으로 급속한 시공이 요구되는 현장에서 프리캐스트 모듈러 교량을 적용할 경우 큰 효과를 기대할 수 있다. ‘도로교량 및 터널 현황(국토해양부, 2010)’을 기준으로 우리나라 준공이후 30년 이상 경과된 교량은 전체 교량의 약 7%인 약 2,000개소인 것으로 나타나 향후 10 ~ 20년 후부터 노후교량에 대한 교체수요가 증가할 것으로 예상되는데, 교량의 노후화로 인한 교체수요가 증가할 경우 모듈러 교량은 교량의 교체에 의해 발생하는 사회간접비용을 최소화 할 수 있는 효과적인 대안이 될 수 있을 것이다.

‘도로교량 및 터널 현황(국토해양부, 2010)’을 기준으로 준공이후 30년 이상 경과된 교량의 86%가 지간장 20 m 미만의 교량이며, 이들 교량의 절반을 넘는 교량이 RC 슬래브 형식인 것으로 나타났다. 또한, 준공이후 30년 이상 경과된 교량 중에서 20m에서 40 m 사이의 지간장을 갖는 교량은 대부분 PSC I형 거터교인 것으로 나타났다. 프리캐스트 모듈러 교량은 노후 교량의 교체 수요에 대응할 수 있도록 지간장 20 m 이하의 단지간 교량은 슬래브 형식, 지간장 20 ~ 40 m의 중지간 교량은 PSC 거터 형식(Bulb Tee 거터 형식)으로 계획되어 개발되고 있다.

본 고에서는 PSC 슬래브 형식과 PSC 거터 형식으로 개발되고 있는 프리캐스트 모듈러 교량의 시공 개요를 소개하고, 급속시공을 위하여 적용된 기술을 소개하고자 한다.

2. 슬래브 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 시공

2.1 슬래브 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 시공단계 및 시공기간

슬래브 형식 프리캐스트 모듈러 교량은 <그림 1>과 같이 내측 모듈과 외측 모듈로 구성되며, 현장으로 운반된 모듈들을 횡 방향으로 연결하여 교량을 완성하는 형식이다. 각각의 모듈은 공장에서 프리캐스트로 제작되며, 별도의 운행허가

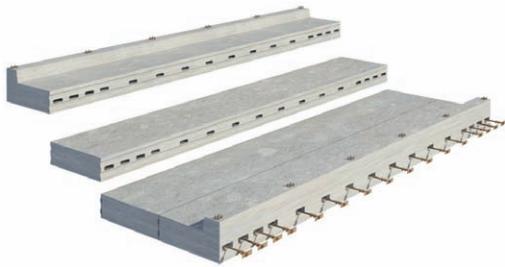


그림 1. 슬래브 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 개요

를 필요로 하지 않도록 모듈의 중량은 25 tonf를 넘지 않도록 계획되었다. 횡 방향 연결은 포스트텐서닝에 의해 이루어지며, 하부구조 시공을 제외하고 교면포장 이전까지 소요되는 시공기간이 7일 이내가 되도록 계획하였다.

〈표 1〉은 슬래브 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 시공단계를 정리한 것이다. 슬래브 형식 프리캐스트 모듈러 교량은 모듈 운반, 거치, 연결부 모르타르 타설 및 양생, 그리고 횡 방향 긴장의 단계로 시공되며, 모듈 운반에서 연결부 모르타르 타설까지 모두 하루에 이루는 것으로 계획되었다. 연결부 모르타르의 재령이 7일이 되는 때에 횡 방향 긴장을 실시하여 상부구조 설치 공정이 마무리 된다.

표 1. 슬래브 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 시공단계 및 기간

공정	개념도	소요기간(일)
모듈 운반		• 7일(모르타르 양생: 7일)
모듈 거치		
연결부 모르타르 타설		
횡 방향 긴장		• 1일
교량 완성		-

2.2 슬래브 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 특징

슬래브 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 시공기간은 연결부 모르타르 타설 이후 횡 방향 긴장력이 도입되기까지의 양생 기간에 의해 결정된다. 즉, 시공기간을 최소화하기 위해서는 7일의 양생기간내에 프리스트레스의 도입이 가능한 수준의 모르타르 압축강도가 발현되어야 한다. 모르타르의 설계압축강도는 연결부 내의 균열을 방지하고 내구성을 향상시키기 위하여 프리캐스트 모듈의 설계압축강도(50 MPa)의 1.5배를 상회하는 80 MPa로 설정하고 폴리아미드 섬유를 혼입(1.5%)하였다. 프리스트레스 도입 시점은 모르타르 압축강도가 설계압축강도의 80% 수준이 되는 시점으로 설정하여 목표 시공기간인 7일 이내에 소요 강도가 발현될 수 있는 고성능 모르타르를 개발하여 적용하였다.

특히, 모르타르 타설 공정을 간편하게 하기 위하여 충분한 작업성(플로(flow))을 확보할 수 있도록 개발하였으며, 상대적으로 고가의 재료인 고성능 모르타르를 효과적으로 사용하기 위하여 〈그림 2〉와 같이 최적화된 연결부 단면을 제시하였다. 제시된 연결부 단면에서 프리캐스트 모듈간의 간격은 10 mm에 불과하며, 실험체 제작을 통해 연결부 고성능 모르타르 타설의 작업성과 채움 성능을 확인 할 수 있었다.

3. 거더 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 시공

3.1 거더 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 시공단계 및 시공기간

거더 형식 프리캐스트 모듈러 교량은 〈그림 3〉과 같이 세그먼트로 분할된 내측과 외측 거더 모듈로 구성되며, 현장으로 운반된 거더 모듈 세그먼트를 현장에서 연결해 완성된 거더 모듈을 횡 방향으로 연결하여 교량을 완성하는 형식이다. 각각의 모듈 세그먼트는 제작공장에서 프리캐스트로 제작되며, 별도의 운행허가를 필요로 하지

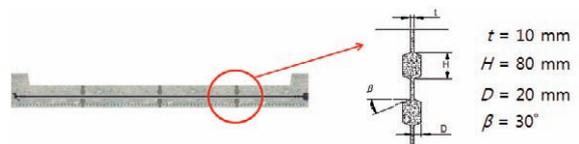


그림 2. 종 방향 연결부 단면 제원 - 지간장 10m, 슬래브 높이 450mm



그림 3. 거더 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 개요

않도록 거더 모듈 세그먼트의 중량은 25 tonf, 모듈의 길이는 13.7m을 넘지 않도록 계획되었다. 세그먼트의 연결은 포스트텐셔닝에 의해 이루어지며, 모듈간의 횡방향 연결은 철근 겹침 이음과 연결부 콘크리트 타설에 의해 이루어진다.

〈표 2〉는 거더 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 시공단계를 정리한 것이다. 거더 형식 프리캐스트 모듈러 교량은 크게 거더 모듈 세그먼트 운반 및 조립, 거더 모듈 거치, 가로보/격벽 설치, 그리고 연결부 타설 및 양생 단계

표 2. 거더 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 시공단계 및 기간

공정	개념도	소요기간(일)
모듈 세그먼트 운반		• 조립대 설치: 7일 • 운반: 1일
모듈 세그먼트 연결 (거더 모듈 완성)		• 2일
모듈 거치 및 가로보/격벽 조립		• 3일
연결부 타설		• 12일(거푸집 설치, 철근조립, 양생, 탈형 포함)
교량 완성		

로 시공되며, 거더 모듈 세그먼트 운반에서 연결부 거푸집 탈형까지 총 25일의 시공기간이 소요되는 것으로 계획하였다.

3.2 거더 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 특징

거더 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 시공은 급속시공을 위하여 거더 모듈 간의 연결부를 제외한 모든 부재가 모듈로 미리 제작되어 현장조립으로 시공된다는 특징을 갖는다. 거더 모듈의 단면은 Bulb Tee 형상이 적용되고, 확폭된 상부 플랜지가 바닥판의 역할을 하도록 하여 별도의 바닥판 타설 공정 없이 교량이 완성되도록 하였다. 또한, 기존의 콘크리트 가로보/격벽 대신 강재 가로보/격벽을 적용하여 현장 타설을 배제하였다.

거더 형식 프리캐스트 모듈러 교량의 시공기간의 상당 부분은 연결부 시공에 소요된다. 즉, 연결부 시공기간의 단축이 급속시공의 가장 큰 전제가 된다. 기존의 프리캐스트 바닥판 연결부에는 대체로 루프이음이 적용되는데, 루프철근의 철근상세규정(구부림반경)으로 인해 슬림화된 상부플랜지의 단면에 적용할 수 없는 한계가 있었다. 연구/개발 결과, 상부플랜지 연결부는 〈그림 4〉와 같이 철근의 단순 겹침 이음과 초고강도 콘크리트(120 MPa)가 적용되는 형식으로 개발되었다. 이러한 형식을 적용함으로써 슬림화된 상부플랜지의 두께를 유지하고, 단순 겹침 이음의 적용으로 인해 과도하게 길어지는 연결부 폭을 크게 감소시킴으로써 교량의 효율과 경제성을 향상시킬 수 있었다. 특히 단순한 철근 겹침 이음을 적용함으로써 기존 루프철근을 적용한 겹침 이음에 비해 철근 조립 공정이 단순해지는 장점이 있으며, 초고강도 콘크리트를 적용함으로써 조기에 충분한 강도를 확보할 수 있기 때문에 후속 공정을 착수하는 시기가 빨라지는 장점이 있다.

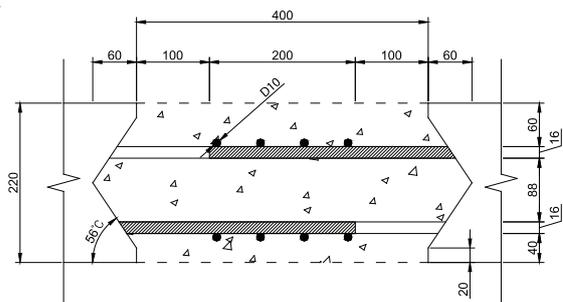


그림 4. 종방향 연결부 단면 제원 - 거더 형식 프리캐스트 모듈러 교량

거더 형식 프리캐스트 모듈러 교량은 단순교 형식으로 개발되었으며, 연속화 공법을 적용하여 연속교에 적용하게 된다. 거더 형식 프리캐스트 모듈러 교량에 적용되는 연속화 공법은 전단면을 연결하고 추가적인 긴장력을 도입하는 기존 PSC 거더 교량의 연속화 공법과 달리 <표 3>과 같이 바닥판(상부플랜지)만을 연결하여 경제성 및 시공효율(작업성 및 시공기간)을 향상시켰다.

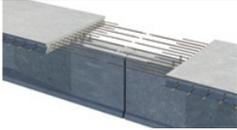
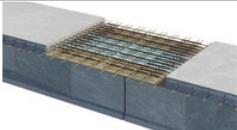
4. 맺음말

상당부분의 인프라 구조물이 확충된 우리나라와 같은 경우, 향후 다가올 구조물의 유지관리 수요를 대비하기 위한 수단으로서의 급속시공 기술은 유지관리 행위에 의해 야기되는 사회간접비용의 지출을 감소시키는 측면에서 매우 유용한 기술이라 할 수 있다. 이러한 의미에서 기존의 프리캐스트 교량 기술과 교량 구조 및 재료 분야에 축적된 기술을 바탕으로 개발되고 있는 프리캐스트 모듈러 교량은 급속시공이 요구되는 노후화된 콘크리트 교량의 교체 수요에 대비한 적극적인 대책이라고 여겨진다.

본 고에서 소개한 프리캐스트 모듈러 교량은 기존의 프리캐스트 교량에 비해 진보된 기술이며, 향후 급속시공이 필요한 현장에 유용하게 적용할 수 있는 기술이라고 할 수 있다. 하지만 아직까지도 개선될 수 있는 여지가 충분한 것으로 판단되며, 교량 구조 및 재료 분야의 기술 발전을 바탕으로 콘크리트 교량의 급속시공 기술이 보다 획기적으로 발전되기를 기대한다. 

담당 편집위원 : 조재열(서울대학교) jycho@snu.ac.kr

표 3. 연속화 슬래브 시공 개요

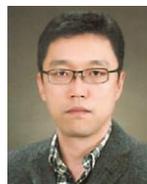
공정	개념도
거더 모듈 거치	
철근 배근	
연속화 슬래브 타설	



이상운 전임연구원은 한양대학교 토목환경공학과에서 석사학위를 취득하고, 고려대학교 대학원 사회환경시스템공학과에서 박사를 수료하였다. 현재 한국건설기술연구원 인프라구조 연구실에서 재직 중이며, 주요 연구 분야는 PSC 구조 분야, 강-콘크리트 합성구조 분야, 확률구조 분야이다.
sylee@kict.re.kr



송재준 박사는 독일 Aachen 공과대학에서 석사를 취득한 후 (주)삼우기술단에서 교량설계업무와 (재)포항산업과학연구원에서 강구조 관련 연구를 수행하였으며, 독일 Darmstadt 공과대학에서 합성구조 전단연결재의 피로손상 예측에 대한 연구로 박사학위를 취득하였다. 2003년 부터 한국건설기술연구원 인프라구조연구실 연구위원으로 재직 중에 있으며, 교량분야의 연구 개발 업무를 담당하고 있다.
jjsong@kict.re.kr



이영호 박사는 Osaka 대학교에서 복합재료를 이용한 RC 교각의 내진보강 방법에 관한 연구로 박사학위를 취득하였으며, 주요 관심 분야는 내진보강, 복합재료 구조물, 프리캐스트 구조물 등이다. 현재 한국건설기술연구원 인프라구조 연구실에서 수석연구원으로 재직하고 있다.
lyh205@kict.re.kr



김형열 선임연구위원은 유타주립대에서 박벽구조물 해석 관련 연구로 박사학위를 받았으며, 한국건설기술연구원 인프라구조연구실장으로 재직하고 있다. 주요 연구 분야는 강합성구조, PSC 거더, FRP 활용, 구조물 유지관리이며, 현재 한국구조물진단유지관리공학회 부회장으로 활동 중이다.
hykim1@kict.re.kr