

모듈러 교량 기술 개발 현황

R&D in Modular Bridges

이필구 Pil-Goo Lee
 (재)포항산업과학연구원
 강구조연구소 책임연구원

박찬희 Chan-Hee Park
 (재)포항산업과학연구원
 강구조연구소 책임연구원

정은진 Eunjin Jung
 (재)포항산업과학연구원
 강구조연구소 연구원

1. 머리말

2010년 발생한 서울외곽순환고속도로 부천고가교 화재사고로 그 당시 이 구간을 통과하는 일평균 23만대의 차량이 정체와 통행 제한이 예상되었다. 그러나 다행히 한국도로공사의 빠른 결단력과 관련 기관들의 협력 하에 당초 4개월의 공사기간을 1개월 단축하여 교통정체 기간을 조기에 해소하였다. 또한, 화재 지점 전 후에 고가도로 진출입로가 있어 외곽순환도로 전체의 영향을 최소화할 수 있었다. 이와 같이 재해/재난 발생 시 복구 기간의 단축은 직접적인 경제적 효과뿐만 아니라 간접적인 사회비용 및 환경영향 감소에 큰 역할을 한다. 전세계적으로 손상 교량의 조기 복구, 증가하는 노후교량의 교체와 도심지 교량 건설까지 교량의 단기 건설에 대한 관심이 높아지고 있는 실정이다. 교량 교체 수요의 증가, 도심지 교량 시공 등으로 인한 교통 정체 및 통행권 제한은 단순한 불편함으로 여겨지는 국민의 삶의 질 저하만이 아닌 경제적, 사회적 그리고 환경적 손실을 야기할 수 있다. 이에 본 고에서는 교량의 총 사업기간(발주 ~ 완공 시간)을 최소화할 수 있는 모듈러 교량 기술의 개발 현황에 대해 소개하고자 한다.

2. 모듈러 교량 기술의 개념

2.1 기술의 배경

국내에서 일반적으로 알려진 교량 급속시공기술은 현장 공사기간의 최소화를 의미한다. 하지만 전 세계적으로 사용되는 교량 급속시공의 의미는 보다 광범위하게 사용되고 있다. 즉, 현장 공사기간 외에도 발주에서 완공까지 총 사업기간의 단축의미로도 사용되고, 또 공사기간 중 실제 차단되는 차선 수(및 차선 차단 시간)의 감소로 평가하여 공사 중 통행되는(또는 통행되지 않는) 차량수의 감소로도 사용되고 있다. 실제로 세계적으로는 각각의 단기 교량 공사의 정의 별 요구성능에 맞게 교량 기술이 발전되고 있다. 미국 연방도로청(Federal Highway Administration, FHWA)에서 적극 홍보 중인 교량급속시공(Accelerated bridge construction)은 prefabricated 부재의 활용 기술과 대형시공 장비(SPMT 등)를 이용한 대블록 공사 또는 교량 일괄 건설방법을 통해 공용 중인 교량의 교체에 활용되고 있으며, 일본의 도심지 급속교체 공법 중에는 교량 건설 중 낮과 밤의 차선 통제수를 달리하여 도심 내 혼잡시간에 통행 차선을 더 활용하는 기술도 존재한다. 그러나 화재, 재난 등으로 교량이 손실되어 빠른 복구가 필요한 경우라면 발주

에서 완공까지의 총 사업기간 최소화가 필요하다. 발주에서 완공까지의 총 사업기간을 단축하기 위해서는 설계, 제작, 시공기간을 단축해야 하나 무엇보다 가장 중요한 요소는 대기시간의 최소화이다. 소재 주문 후 입고를 기다리는 것이 대기시간의 예이며, 이러한 낭비 요소를 최소화할 시 빠른 사업기간 즉, 현장에 교량요소(모듈)를 빨리 시공 가능하도록 전달할 수 있을 것이다. 각각의 공정 별 소요시간을 분석해보면, 설계 시 각 현장에 맞는 맞춤형 설계를 실시하고, 표준화 설계보다는 최적설계를 실시하고 있다. 그러나 이렇게 설계된 교량은 제작 최적화가 아닌 설계 최적화가 되므로 소량의 다품종 부재들이 사용되어 소재의 수급에 어려움이 발생할 수 있다.

2.2 모듈러 교량(Modular Bridge)의 개념

모듈러 기술은 타 산업에서 사용되고 있는 기술이다. 자동차, 기계, 전자 산업에서의 모듈 기술의 정의는 각각 맞춤형 제작을 하지 않고 기존 생산라인에서 해당 부품(모듈)만을 대체하여 전체 시스템이 다른 기능을 가지게 하는 것이다. 이러한 개념이 건설로 활용되면 현장에서의 작업이 공장으로 옮겨지고, 기존의 현장별 설계, 제작되던 것이 표준모듈의 조합으로 설계되고 표준모듈이 제작되며, 각 모듈은 모듈로 현장에 운반 및 시공된다. 모듈러 교량은 이와 같이 타 산업의 성공 기술을 교량 산업에 접목하면서 사용자에게 총 사업기간의 단축과 저탄소 제작, 시공 및 건설폐기물 최소화와의 새로운 가치를 부여하는 기술이다.

모듈러 교량의 정의는 최소의 표준화된 교량 모듈을 공장에서 미리 제작한 후 조합하여 다양한 현장조건에 대응할 수 있는 교량 시스템으로 사업 발주에서부터 최소기간에 완공할 수 있다. 레고블록(lego®)처럼 1단, 2단, 3단 등의 표준모듈의 조합으로 다양한 폭, 길이의 구조물로 조합 설계할 수 있는 것이 모듈러 콘셉트(concept)이다(그림 1).

모듈러 교량은 표준모듈로 구성되어 표준화된 제작



그림 1. 모듈러 교량의 콘셉트

과 제작 최적화로 형고가 일정하고 단면의 변화가 최소화된다. 따라서 모듈 조합설계에 따른 설계시간 단축, 소재의 선 구매, 모듈의 선 제작 등 대기시간 등의 낭비 요소를 제거하여 사업기간의 최소화에 기여할 수 있다. 그러면서도 기존 맞춤형 설계 교량 대비 과다설계가 되지 않도록 하면서 최소의 모듈 조합으로 다양한 현장조건에 대응할 수 있는 것이 핵심 기술이다.

해외에서는 임시교량, 군용교량에서 모듈러 콘셉트를 활용한 예가 있다. 표준화된 다수의 트러스 부재 모듈을 조합한 시스템으로 부품의 표준화와 확장성이 가능하나 아직은 경제성 및 장기 내구성의 부족으로 응급 복구용 임시교량, 전후 복구 교량 등 제한적으로 적용되고 있는 실정이다.

모듈러 교량의 사업프로세스는 표준모듈을 생산, 판매, 유통하는 새로운 형태로 기존의 교량 사업프로세스와 다르다. 기존의 사업이 현장별 설계, 즉 현장조건에 맞게 교량을 설계하고 그 설계에 따라 자재 구매, 제작의 순으로 된다면 모듈러 교량은 표준모듈을 부분 또는 완전 선 제작 후, 표준모듈의 조합으로 현장 조건에 맞게 설계하여 표준모듈을 구매, 공급하는 구조이다. 예로, 지간 30m 현장이 발생 시 표준모듈 7+16+7m로 조합되어 7m 표준모듈 2개, 16m 모듈 1개의 주문이 이루어진다. 이와 같이 사업절차가 사전제작, 자재 선 구매 등으로 설계, 제작의 대기시간을 최소화하여 전통적 주문제작 시장에서 기성품 시장으로의 변환되는 사업구조이다.

- ① 다양한 현장조건에 대응 가능한 단면, 폭, 길이 방향으로 확장되는 표준모듈 사전제작
- ② 표준모듈 데이터베이스(이하 DB) 활용 모듈조합 설계
- ③ 표준모듈 구매
- ④ 모듈 현장운반 및 조립/현장 마무리 시공

3. 모듈러 교량 기술의 개발 현황

3.1 모듈러 교량 연구단

국토해양부와 한국건설교통기술평가원에서는 국가적 위기에 대응하면서 SOC 건설에서의 저탄소 요구에 대응하기 위해 건설기술혁신사업의 지원으로 2010년부터 (재)포항산업과학연구원(연구책임자: 윤태양) 주관의 ‘모듈러 교량 기술개발 및 실용화 연구단’을 출범하였다. 연구단은 모듈러 사업프로세스와 제작/공사 중 탄소저감의 개념을 정립하고, 교량 총 사업기간의 급격한 단축과 제작/공사 중 발생하는 탄소저감을 이룰 수 있는 영구 교량 시스템을 개발하고 상용화하는 목표를 수립하였다.

연구단은 2개의 세부연구과제(1세부: 강재 모듈러 교량 기술개발, 2세부: 프리캐스트 모듈러 교량 기술개발), ‘강합성 모듈러 상부구조’, ‘프리캐스트 모듈러 상부구조’, ‘모듈러 하부구조’, ‘모듈러 교량 통합정보화 시스템’, ‘모듈러 교량 사업지원 기술’의 5개의 핵심 activity로 구성되어 있으며, 총 34개의 기관이 참여하고 있다. 4년 10개월의 연구개발 기간 동안 교량 상부, 하부, 부대시설 표준 모듈 등의 구조시스템 개발과 현장 조립시공 및 Test bed 검증 외에도 통합정보화시스템 개발, 법/제도 개선 및 건설표준 개발, 사업모델 개발 등의 사업화지원 기술을 개발한다(그림 2). 주요 연구내용은 아래에 기술하며 프리캐스트 상부모듈은 별도 기고로 소개되는 바, 본 내용에서는 배제한다.

3.2 강합성 모듈러 교량

기존의 강합성 박스거더 교량은 부부재가 많아 절단 및 용접량이 많으며, 현장에 맞춤 설계를 실시하여 단면이 복잡하고 형고도 다변하여 부재의 종류가 많아 제작 시 자재 구

매와 제작 표준화의 어려움이 있었다. 강합성 모듈러 교량은 절곡 강거더와 강합성 반바닥판으로 구성된 표준모듈을 사용한다(그림 3). 절곡 강거더는 강판을 절곡하여 제작하므로 절단, 용접공정 없이 단면을 구현하는 ‘강재 모듈러 절곡 거더 기술’은 거더 제작비 및 제작 중 CO₂ 20% 감축이 가능하다.

본 시스템은 현재 3개의 표준모듈(7, 12, 16 m)로 구성되어 지간 40 m 이내에 표준모듈 조합 설계될 수 있으며, 표준모듈은 동일 형고를 유지하여 모듈 조합이 가능하다. 강합성 반바닥판은 강거더와 조기 합성작용으로 모듈에 강성을 보강하고 횡 방향을 볼트연결로 현장에서 급속연결이 가능하다. 공장에서 절곡 강거더와 강합성 반바닥판을 설치하여 현장으로 운반하며 각 모듈은 현장에서 볼트 체결과 상부 마무리 콘크리트 시공을 실시한다(중, 횡 구매 설치 등)(그림 4).

절곡 강거더는 Test-bed 현장시공을 통해 제작성 및 시공성을 검증하였고, 연구단에서는 모듈러 강합성 교량도 2013년 Test-bed를 통해 현장적용 및 실용화를 완성할 계획이며, 지간 40 ~ 60m급 시스템을 개발 중

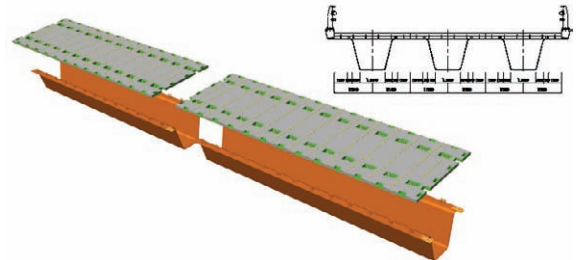


그림 3. 강합성 모듈러 교량

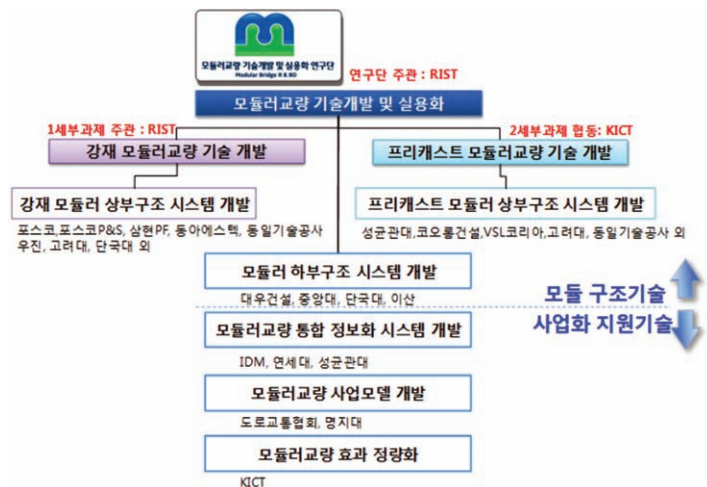


그림 2. 모듈러 교량 기술개발 및 실용화 연구단 구성 체계

에 있다(사진 1).

3.3 모듈러 교량 하부구조시스템 개발

모듈러 하부구조시스템은 표준모듈의 조합으로 다양한 차선 및 높이에 대응할 수 있는 다주식 충전강관 교각모듈(기둥모듈, 코핑모듈, 기초 연결모듈)과 벽체-교대 복합기능 널말뚝식 교대모듈로 나뉘어 개발 중에 있다. 이 중 교각모듈은 다주식 충전 표준교각으로 구성되어 표준모듈의 조합을 통해 높이 30m, 지간 20~60m, 4차선(DB-24)의 현장조건에 대응이 가능하며 공사기간 72%, 현장인력 26% 감축할 수 있는 시스템이다(현장타설 15m 기준)(그림 5).

3.4 모듈러 교량 정보화 시스템

모듈러 교량은 표준모듈의 DB를 활용한 조합설계가 가능한 시스템이다. 이를 위해 국제표준(Industry foundation classes, IFC) 호환 DB 관



(a) 강거더 모듈 운반



(b) 거더 시공



(c) 현장 재하시험

사진 1. 절곡 강거더 Test-bed(한국건설기술연구원 안동 하천실험센터)

리시스템으로 표준모듈별 DB 라이브러리를 구축하였다. 또한, 신규 모듈의 생성 시 모듈 DB에 바로 추가될

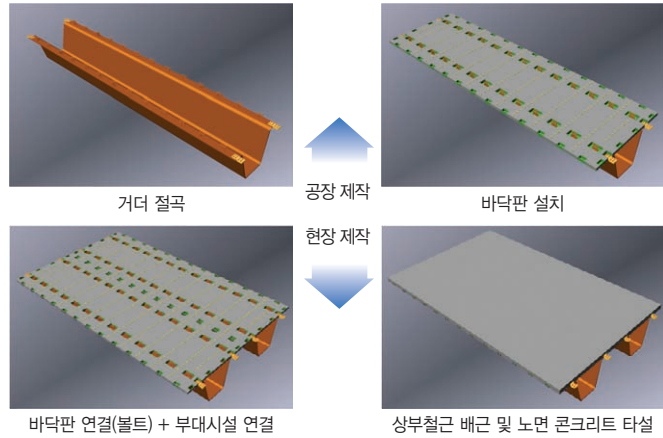


그림 4. 강합성 모듈러 교량 시공순서

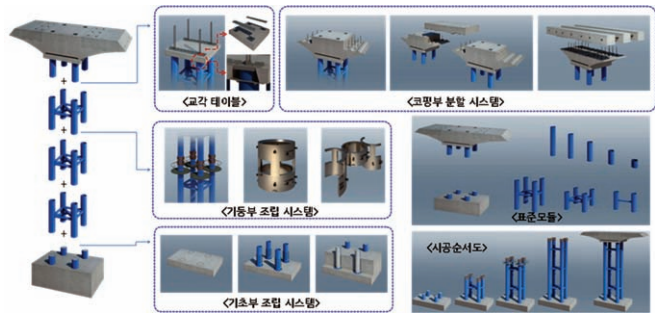


그림 5. 모듈러 교각 시스템

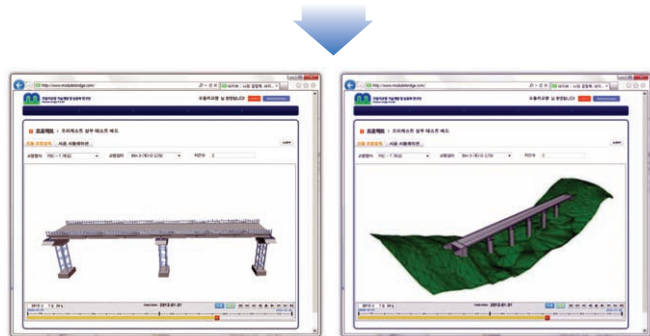
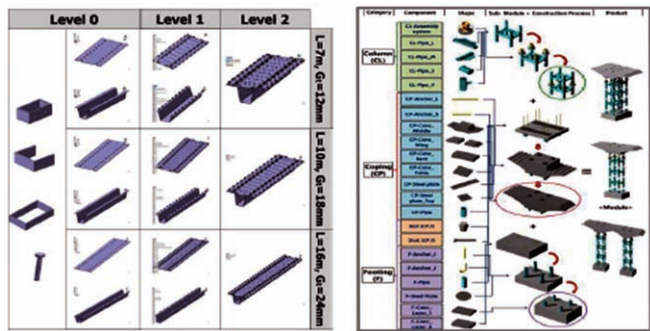



그림 6. 모듈러 교량 통합정보화시스템

수 있는 Plug-in 모듈 구조로 구성되었다. Web 기반으로 현장 조건별 DB 조합 설계시스템을 구축하고, 시공시뮬레이션 정보를 제공하여 사용자의 설계 용이성 및 시간 단축을 이룰 수 있다(그림 6).

4. 맺음말

기후변화로 인한 자연재해와 도로 위 구조물에 피해를 줄 수 있는 각종 사고 위험은 항상 존재한다. 모듈러 교량 기술은 이러한 국가적 위기에 대응할 수 있는 기술이다. 설계, 자재구매, 제작 기간을 최소화하여 발주에서 완공까지 최단기간에 수행, 시민의 삶과 경제권을 조기 정상화할 수 있으며, 표준모듈 제작 및 교량 공사 중 발생하는 CO₂와 건설폐기물을 최소화하고 정량화함으로써 녹색 교량 시장을 선도할 수 있을 것이다.

연구단에서는 산·학·연 협력의 교량기술개발 외에도 법/제도 개선, 건설표준개발, 정보화시스템(모듈 DB 조합설계, 시공시뮬레이션) 등의 사업지원 분야 연구를 추진하여 교량건설 산업의 선진화와 모듈러 교량의 조기 실용화를 이루고자 한다. 개발된 모듈러 교량 기술은 Test-bed를 통해 검증하고 연구 성과는 분야별 참여 전문기관에 기술이전을 통해 실용화를 추진할 것이며, 모듈러 교량 기술은 재해/사고에 빠른 대응 솔루션 제공과 노후교량 교체 및 해외사업 추진으로 신규시장 창출 및 확대를 모색할 계획이다. 

담당 편집위원 : 조재열(서울대학교) jycho@snu.ac.kr



이필구 박사는 서울대학교 토목공학대에서 프리스트레스트 강합성 구조의 장기거동에 관한 연구로 박사학위를 취득하였으며, 2000년부터 (재)포항산업과학연구원에 근무하고 있다. 주요 연구 분야는 교량구조물의 최적구조설계 및 합성거동 평가 등이며 우리학회 합성구조위원회 전문위원으로 활동하고 있다.

pg289@rist.re.kr



박찬희 박사는 University of Michigan 토목환경공학과에서 박사학위를 취득하였으며, 2002년부터 (재)포항산업과학연구원에 근무하고 있다. 주요 연구 분야는 모듈러 교량, 교량급속시공, 플랜트모듈러 기술 등이고 연구기획방법론 개발 등의 연구기획이다.

chanheepark@rist.re.kr



정은진 연구원은 인천대학교 건축공학과에서 석사학위를 취득하였고, 2010년부터 (재)포항산업과학연구원에서 초고층복합빌딩사업단, 모듈러 교량 기술개발 및 실용화 연구단 과제의 기획 및 연구 관리를 담당하고 있다.

eunjin@rist.re.kr



콘크리트 구조물의 환경영향 및 CO₂ 평가

- 저 자 : 한국콘크리트학회
- 출판사 : 기문당
- 발행일/Page : 2013-3-15 / 182(판형 B5변형)
- 정가(비회원가) : 15,000원
- 회원할인가 : **12,000원**
- 배송비 착불(3,000원)

도서 소개

미래의 핵심 주제를 다루고 있는 이 책은 「콘크리트와 환경」의 내용을 잇는 환경분야의 두 번째 학회 출판물이다. 총 6개의 장과 콘크리트 및 콘크리트구조물에서 CO₂ 평가 예를 포함하는 6개의 부록으로 구성되어 있으며, 본문에서 제시된 평가방법을 바탕으로 부록에서는 각 경우에 따른 콘크리트 및 콘크리트구조물에서의 CO₂ 평가 예를 상세히 보여주고 있다.

