

초고성능 콘크리트 재료 및 구조물 기술 개발 연구동향

A Trend in Research on the Material and Structure Technologies of Ultra High Performance Concrete

김병석 Byung-Suk Kim
한국건설기술연구원 구조융합연구소
선임연구위원

박종범 Jongbum Park
한국건설기술연구원 구조융합연구소
박사후연구원

1. 머리말

최근 국내 건설경기의 장기 침체로 인해 건설 산업의 영업이익률이 2013년부터 2% 이하로 떨어지는 등 많은 어려움을 겪고 있는 가운데, 이에 대한 타개책으로써 대형 건설사를 중심으로 해외 공사 수주에 박차를 가하고 있다. 이러한 노력 덕분에 해외 수주는 꾸준히 증가하고 있지만 영업이익률은 글로벌 상위 225개사의 평균인 7.8%의 절반에도 미치지 못하고 있는 실정이다. 이는 국내 해외수주가 플랜트나 건축 등 이익창출이 어려운 분야에 80~90% 집중되어 있으며, 설계엔지니어링 및 토목 등 부가가치가 높은 분야에서는 상대적으로 경쟁력이 약해서 토목 분야는 전체 계약액 중 8~14% 정도로 수주에 어려움을 겪고 있기 때문이다¹⁾. 이를 극복하기 위해서는 가격 경쟁력이 확보된 원천 기술개발이 필요하며, 제도·기준의 국제 기준화를 주도하는 등 세계시장에서의 기술 우위를 확보하여야 한다. 콘크리트 분야에서 연구되고 있는 많은 기술들이 있지만, 특히 초고성능 콘크리트에 대한 기술력의 확보는 국제 경쟁력을 갖출 수 있는 주요기술임에 틀림이 없다.

초고성능 콘크리트는 압축강도 150 MPa 이상의 초고강도와 인장강도 5 MPa 이상의 고인성을 특징으로 하는 차세대 콘크리트로서 이 용어는 1994년 프랑스 de Larrard에 의해 최초로 사용된 이후 현재는 전 세계적으로 사용되고 있다. 초고성능 콘크리트는 프랑스뿐만 아니라 미국, 일본, 독일 등에서도 차세대 건설 신재료로 인식하여 많은 연구개발이 추진되고 있으며 현재는 소규모 보도교, 건축자재 등에서부터 도로교, 철도교 등 규모가 큰 토목 구조물에 적용되는 단계에까지 와있다. 초고성능 콘크리트를 구조물에 적용하면 철근 등 보강재를 최소화할 수 있고 단면을 슬림화하여 중량 감소를 도모할 수 있으므로 설계자의 구조물 디자인 자유도를 높일 수 있다. 따라서 향후 콘크리트 구조물은 초고성능 콘크리트를 활용하여 혁신적인 디자인을 갖는 경제적인 구조물로 진화할 것으로 예상된다. 본고에서는 초고성능 콘크리트 재료 및 구조물 기술 개발을 목표로 연구를 수행하고 있는 ‘SUPER Structure 2020’ 연구단에 대한 소개와 함께 국내 기술개발 현황을 정리하고 국내외 적용현황 및 향후 전망에 대해서도 간략히 밝히고자 한다.

2. 국내 R&D 프로젝트 : 'SUPER Structure 2020'

2.1 사업개요

본 연구 과제는 '첨단 재료 기술과 핵심 설계·제작 기술의 융·복합을 통한 세계 최고 수준의 콘크리트 구조물 건설기술 개발'을 목표로 삼고 있으며, '건설·유지관리 비용 20% 절감 및 2020년까지 관련분야 해외 건설 시장 20% 점유 가능 기술'을 개발하고자 한다(그림 1). 이를 위하여 압축강도 80~180 MPa급의 현장타설 및 공장제작이 가능한 저비용·장수명·고품질 성능 맞춤형 콘크리트를 'SUPER Concrete'로, SUPER Concrete를 활용한 저비용·장수명·고품질 구조물을 'SUPER Structure'로 정의하였으며 ① 압축강도 80~180 MPa급의 저비용(제조비용 20~50% 절감), 장수명(내구수명 100% 증진), 고품질 성능 맞춤형(현장 타설 및 공장제작 가능) SUPER Concrete 개발, ② SUPER Concrete 구조 성능의 실험적 검증 및 이를 바탕으로 실증적이고 물량 절감이 가능한 SUPER Concrete 구조설계지침 개발, ③ SUPER Concrete 활용 구조(SUPER Structure) 기술 개발을 통한 콘크리트 구조물 중량 30% 저감, 건설·유지관리 비용 10~20% 절감 및 내구수명 50~100% 증진을 목표로 설정하였다.

본 연구단은 국토교통부 건설기술연구사업의 일환으로 한국건설기술연구원이 주관기관이 되어 19개의 기업과 22개의 대학이 참가하고 있다. 총 3개의 세부과제로 구성되어 있으며, 연구비는 정부출연금 기준으로 약 240억 원이고, 연구기간은 총 4년 8개월(2013. 12.~2018. 08.)이다.

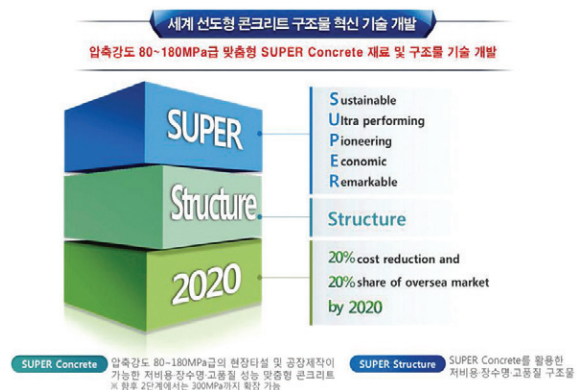


그림 1. SUPER Structure 2020 연구단

2.2 사업내용

2.2.1 연구단 목표

연구단은 총 세 개의 연구 분야로 구성되어 있다(그림 2). 1세부는 '80~180 MPa급 맞춤형 SUPER Concrete 제조기술 및 재료 모델·지침 개발', 2세부는 'SUPER Concrete 구조 성능 검증 및 설계지침 개발', 3세부는 'SUPER Concrete 활용 저비용·장수명·고품질 구조물 개발'을 목표로 하고 있으며, 3세부의 적용 구조물은 교량의 상부구조, 풍력 타워, 부유식 구조물, 건축 구조요소 등이다.

선진국과의 기술 격차가 크지 않은 현 시점에서 세계 건설시장의 주도권을 확보하기 위해 엑셀런스 전략을 기반으로 세계최고수준 기술 확보를 목표로 하고 있으며, 사업 기간 내이라도 완료된 기술의 조기 실용화를 추진하고자 한다. 이를 위해 본 연구단에서는 재료 개발, 설계 기준 작성, SUPER Concrete 활용 구조물 개발을 동시에 진행하고 있으며, 세부과제 간 순환형 연계 고리를 기본으로 하여 지속적으로 세부과제 간 피드백 및 역할 조율을 하고 있다(그림 3).

2.2.2 1세부 : 80~180 MPa급 맞춤형 SUPER

Concrete의 제조기술 및 재료모델·지침 개발

초고성능 콘크리트가 초고강도, 고인성, 고유동성, 고내구성 등 기존 재료에 비해 많은 장점을 갖고 있음에도 불구하고 아직까지 활용도가 높지 않은 이유는 비싼 가격과 공장제품에 한정된 제조기술 때문으로 분석되고 있다. 따라서 SUPER Concrete 기술을 보다 광범위한 구조물에 적용하고 해외시장에서 기술 경쟁력을 높이기 위해서는 구조물의 환경 및 기능 조건에 적합한 성능 요소가 강조된 경제적이면서 다양한 제조방법을 가진 맞춤형



그림 2. 세부과제별 연구목표



그림 3. 세부과제 간 연계성

형태의 기술 개발이 필요하다. 1세부 과제에서는 주요 핵심요소기술을 크게 '80~120 MPa급 굵은 골재 사용 맞춤형 SUPER Concrete 제조기술', '120~180 MPa급 섬유보강 맞춤형 SUPER Concrete 제조기술', 'SUPER Concrete의 표준시험법 및 재료모델'의 세 가지로 나누어 연구를 수행하고 있다(그림 4). 또한 개발된 기술은 현재 국내 현장은 물론 미국과 미얀마 등 국외 현장에서도 적용이 되고 있다.

2.2.3 2세부: SUPER Concrete 구조 성능 검증 및 설계 지침 개발

1세부와 3세부의 연구 목표는 주로 콘크리트 재료와 구조시스템을 통해 경제성을 확보하기 위한 연구이고, 2세부의 연구 목표는 경제성이 확보된 SUPER Structure의 안전성을 검증하고 이를 건설현장에 널리 적용하기 위해 구조설계지침을 작성하는 것이다. 2세부의 연구내용은 크게 SUPER Concrete 부재의 휨, 압축, 전단 및

그림 4. SUPER Concrete 제조시방

그림 5. SUPER Concrete 구조설계지침

휨전단, 비틀림, 합성부재 거동을 평가하고 이에 관한 설계지침을 작성하는 것과 SUPER Concrete 부재의 균열 및 처짐, 철근상세, 정착 및 이음, PSC 정착구역에 관한 실험을 수행하고 이에 관한 설계지침을 작성하는 것이다(그림 5).

2.2.4 3세부: SUPER Concrete 활용 저비용·장수명·고품질 구조물 개발

3세부의 연구 목표는 SUPER Concrete를 활용한 저비용·장수명·고품질 구조물(SUPER Structure)을 개발하는 것으로 개발 구조물은 ① 교량 형교 15% 축소, 경간장 20% 이상 확장형 하이브리드 상부구조, ② 공사비 10% 절감형 슬림 장지간 교량 상부 구조, ③ 상부구조 공사비 10% 절감형 사장교 구조시스템, ④ 강재타워 대비 공사비 20% 절감, 내구수명 100% 향상형 프리캐스트 풍력타워, ⑤ 건설·유지비용 10% 절감, 내구수명 50% 향상 부잔교 및 부유식 교량, ⑥ 건설·유지관리비용 20% 이상 절감, 시공기간 10% 단축 건축 구조요소 등이다(그림 6). 관련 해석 및 설계 기술, 시공 기

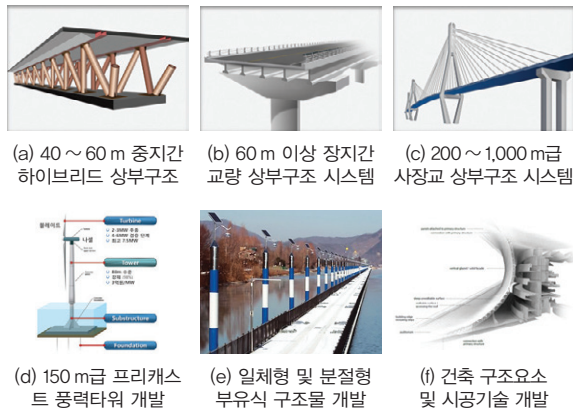


그림 6. SUPER Concrete 활용 구조물

술을 연구하며, 필요한 경우 공인기관의 인증(설계평가)을 획득하여 실용화가 즉시 가능한 기술을 확보할 예정이다. 이들에 대한 시험시공 및 테스트베드를 추진하여 현장 적용성을 평가하는 한편, 연구기간 내에 개발된 기술을 국내외 현장에 적용하는 것을 목표로 하고 있다.

3. 기술적용 추진 현황 및 향후 전망

앞서 소개한 SUPER Structure 2020 연구단에서는 사업 기간 내이라도 완료된 기술의 조기 실용화를 추진하여 해외진출 기반을 마련하고자 한다. 현재 적용 완료한 사업으로는 미국 아이오와주의 'Hawkeye UHPC Bridge(2015)'와 미얀마의 '양곤-만달레이 고속도로 상교량(2015)'이 있으며, 기술적용 중인 사업으로는 강원도 춘천 레고랜드 진입교량(2015. 07. 착공, 2017. 08. 완공예정)이 있다.

미국 내 적용 확대를 위하여 아이오와주 교통부(DOT; Department of Transportation)에서 향후 주 내의 교량 건설에 SUPER Concrete 적용을 검토하고 있으며, 연결부 등에 적용하기 위해 필요한 재료 및 구조 성능을 검증하기 위하여 아이오와 주립대(Iowa State University)와 국제협력 연구를 진행하고 있다. 이 연구를 포함하여 아이오와주 교통부에서 SUPER Concrete의 성능 검증 보고서가 2016년에 발간될 예정이다. SUPER Concrete 재료·구조 기술을 적용한 아이오와주 Hawkeye UHPC Bridge의 완공을 계기로 다른 주에서도 관심을 보일 뿐만 아니라 펜실베이니아주에서 교량 교체 사업의 연결부나 구조체 등에 SUPER Concrete를

적용하는 것을 검토하고 있으며 SUPER Concrete 기술을 적용한 시범교량을 논의 중이다. 또한 FHWA(미 연방도로청)에서도 관심을 가지고 미국내 적용을 위한 재료실험을 추진할 계획이다. 교량 선진국인 미국에서의 현장 적용 및 구조 성능 검증 결과는 추후 미국뿐만 아니라 동남아 국가 등 해외 교량 건설 수주에 있어 직접적인 도움이 될 것으로 기대된다.

동남아 국가 적용 확대를 위하여 완공된 미얀마 Pilot Bridge #1에 이어 미얀마 Pilot Bridge #2의 건설을 준비 중이고, 베트남 건설 사업에 적용성을 높이기 위해 베트남 프리캐스트 제작 공장에 본 기술의 이전을 추진하고 있다. 동남아 국가 외에도 향후 교량 건설 수요가 높은 인도 진출을 위하여 인도 아쌈주 및 비하르주의 장대교량 및 건설 사업 진출 노력도 진행 중이다. 또한 해외에 기술을 적용하기 위한 설계코드의 범용성 증대를 위하여 ISO(국제표준기구)에 HPC 위원회 신설을 타진 중이다.

건축 분야에서는 SUPER Concrete를 활용하여 개발한 고성능 패널을 적용한 테스트베드 구축을 2016년까지, 그리고 자유형상 평면패널 기술과 색상 연출 기술 및 비정형 설계기법을 적용한 테스트베드 구축을 2017년 초까지 완료할 예정이다.


이러한 연구결과를 기반으로 2018년까지 'SUPER Structure 2020'을 중심으로 한 연구가 종료된 후에도 세계적으로 관련 기술을 지속적으로 선도하기 위한 확장 연구로써 '80~180 MPa급 콘크리트의 범용 재료·구조 기술 및 설계기준 개발'을 추진하고 '200~300 MPa급 초고성능 콘크리트 및 구조물 기술 개발'을 추진하고자 한다.

4. 맺음말

국내 교량 중에서 콘크리트교가 차지하는 비율이 80% 이상이며, 이는 세계적으로도 큰 차이가 없다. 또한 교량 뿐만 아니라 다른 구조물에서도 이와 같은 경향은 유사한데, 이는 콘크리트 구조가 갖는 가격 경쟁력과 유지관리 용이성이라는 장점에 기인한 것이다. 따라서 향후 국내 및 해외 시장에서 콘크리트 구조물에 대한 수요는 점차 증가할 것으로 예상할 수 있다. 그러나 현재 국내 건설시장은 한계 상황에 놓여 있으며, 유일한 타개책은 해외시

장의 진출이라는데 이견이 없다. 이에 대형 건설사를 중심으로 하여 해외 수주에 박차를 가하고 있는 실정이다.

기술적인 우위 없이 수주액 증가에만 목표를 두고 무리하게 사업을 추진하다보면 자칫 해외 수주가 축배가 아닌 독배가 될 우려가 크다. 따라서 이와 같은 우려를 극복하기 위해서는 원천기술이 확보된 기술을 바탕으로 하여 부가가치가 높은 분야에 대한 수주에 집중하는 것이 중요하다. 즉, 다양한 SOC 시설물 분야에 대한 기술 개발을 통해 설계 엔지니어링 등 고부가가치 분야의 해외 진출이 필요하다. 또한 해외 시장 진출 시에는 원천 기술뿐만 아니라 민간기업의 설계·시공 기술과 함께 정부의 자금 조달 등 관리 기술이 함께 어우러진 패키지 형태의 진출이 이루어져야 한다.

앞으로도 ‘첨단 재료 기술과 핵심 설계·제작 기술의 융·복합을 통한 세계 최고 수준의 콘크리트 구조물 건설 기술 개발’이라는 목표 달성을 통해 SOC 시설물에 대한 국가예산 절감은 물론이며 해외 건설 시장에서의 주도권을 확보하여 해외 건설시장의 수주를 견인하는 신성장 동력을 창출할 수 있도록 최선의 노력이 필요할 것이다. 

담당 편집위원 : 강수태(대구대학교) stkang@daegu.ac.kr

참고문헌

1. 대한건설협회, 2015년 상반기 주요건설통계, 2015.
2. 국토교통과학기술진흥원, 압축강도 80 MPa~180 MPa급 맞춤형 SUPER Concrete 재료 및 구조물 기술 개발, 2015.




김병석 선임연구위원은 서울대학교 토목공학과에서 ‘프리스트레스트 콘크리트 박스거더 교량의 설계 최적화에 대한 연구’로 박사학위를 취득하였고, 1984년부터 한국건설기술연구원에서 연구를 시작하여 현재 선임연구위원으로 재직 중이다. 국토교통부 국가 R&D의 ‘SUPER Structure 연구단’의 단장을 맡아 UHPC 관련 연구를 수행하고 있다. 주관심 연구 분야는 ‘PSC 구조물’, ‘초고성능콘크리트(UHPC) 활용 구조물’, ‘장대교량’ 등이다.
bskim@kict.re.kr



박종범 박사후연구위원은 서울대학교에서 콘크리트 사장교의 크리프 영향 연구로 박사학위를 취득하였으며, 2014년부터 한국건설기술연구원 구조융합연구소에서 박사후연구위원으로 재직하고 있다. 주로 초고성능콘크리트(UHPC) 활용 구조물 및 콘크리트 사장교와 관련한 연구를 수행하고 있다.
jbpark@kict.re.kr

<http://www.kci.or.kr>



KOREA CONCRETE INSTITUTE