고성능·다기능 콘크리트 개발 및 활용기술

Development and Application of High Performance and Multi-Functional Concrete

김성운*
Seong-Woon Kim

김성욱**
Sung-Wook Kim

안태송***
Tae-Song Ahn

오보환****
Bohwan Oh

1. 연구단 소개

콘크리트코리아 연구단은 건설교통부와 한국건설교통기술평가원에서 시행하는 건설기술 혁신 사업의 일환으로 2005년 12월부터 「고성능 콘크리트·다기능 콘크리트 개발 및 활용기술」 연구 과제를 수행하고 있다. 본 연구단의 연구 목표는 콘크리트 관련 핵심 기술인 초유동성, 고내구성, 초고강도 및 각종 다기능 콘크리트를 개발하고, 이를 실용화하여 구조물의 성능을 향상시킴으로서, 건설 유지관리 비용 등을 절감하는 것이다. 연구비는 5년간 정부출연금 140억 원을 포함해 총 239억 원 규모이며, 연구가 종료되는 2010년에는 선진국 대비 동등하거나 그 이상의 기술력을 확보하고, 실용화를 달성할 계획이다. 본 연구단은 대우건설, 한국건설기술연구원, 한국도로공사 등 총 87개 산·학·연의 기관이 조직적인 연계를 이루어 연구 성과를 극대화하기 위해 노력하고 있다. 본 연구단의 조직 및 수행 체계는 <그림 1>과 같다.

2. 연구 목적 및 내용

2.1 연구 목적

오늘날에는 경제발전과 더불어 다양한 건설 산업 환경 변화에 따른 구조물의 초고층화, 대형화, 특수화 경향이 뚜렷하게 나타나고 있으며, 신개념 콘크리트 개발이 절실히 요구되고 있다.

콘크리트코리아 연구단은 이러한 사회적 요구 사항에 부응하고자 고성능·다기능 콘크리트 개발 및 실용화를 목표로 연구를 수행하고 있다. 연구 목적 및 내용은 <그림 2>와 같다.

본 연구단은 산업 현장과의 연계, 높은 성장 가능성, 중추적인 연구 편재, 중장기 성과를 겨냥한 연구 수행과 통합적이고 전략적인 기술 개발을 통하여 2010년까지 고성능·다기능 콘

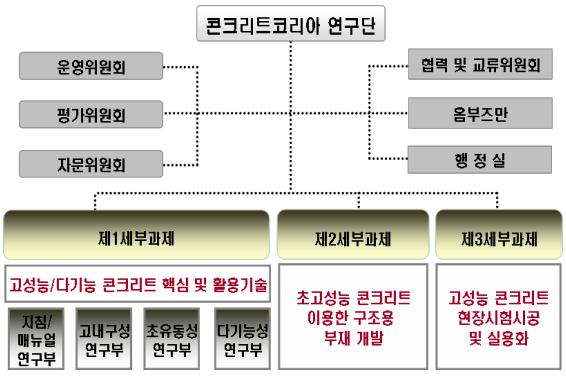

그림 1. 연구단 조직 및 수행 체계

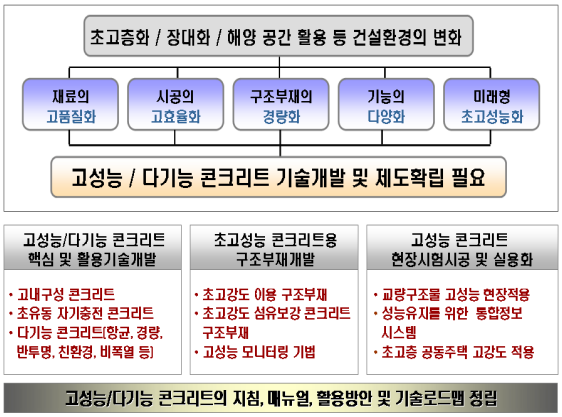

그림 2. 연구 목적 및 내용

* 정회원, (주)대우건설기술연구원 상무, 콘크리트코리아 연구단 단장
swk@dwconst.co.kr
** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원, 콘크리트코리아 연구단 2세부과제 책임자
*** 정회원, 한국도로교통기술원 수석연구원, 콘크리트코리아 연구단 3세부과제 책임자
**** 정회원, (주)대우건설기술연구원 수석연구원, 콘크리트코리아 연구단 총괄간사

크리트의 개발 및 실용화를 목표로 현재 3차년도 연구를 수행 중이며, 최종 연구 목표는 <그림 3>과 같다.

2.2 연구 내용

2.2.1 고성능·다기능 콘크리트 핵심 및 활용기술

1세부과제는 지침 / 매뉴얼, 고내구성, 초유동성, 다기능성의 총 4개 연구부로 이루어져 있으며, 각 연구부가 연계하여 고성능·다기능 콘크리트 핵심 기술 개발 및 실용화를 목표로 수행하고 있다.

지침 / 매뉴얼 연구부는 고성능 콘크리트의 배합설계 / 시공 지침 및 매뉴얼 작성, 고성능 콘크리트구조물의 구조설계 지침 및 매뉴얼 작성을 목표로 연구를 수행하고 있다.

고내구성 연구부는 콘크리트구조물의 내구연한을 높이기 위하여 내구성을 평가하는 방법, 철근의 부식을 제어할 수 있는 시스템 개발, 복합 열화에 대해 높은 저항성을 갖는 콘크리트 개발에 관한 연구를 수행하고 있다.

초유동성 연구부는 초유동 자기충전 콘크리트의 제조 및 실용화, 유동 및 시공성 평가 프로그램 개발을 통하여 현장 시공성 향상을 최종 목표로 연구 수행 중이다.

다기능성 연구부에서는 반(半)투명 콘크리트, 비폭렬 고성능 콘크리트, 투수 콘크리트, 항균 콘크리트, 경량 골재 콘크리트 및 의장성 콘크리트 등에 대한 개발이 활발히 진행 중이다.

2.2.2 초고성능 콘크리트를 이용한 구조부재 개발 및 실용화

2세부과제의 최종 연구 목표는 100 ~ 200 MPa의 초고성능 콘크리트 현장 실용화를 목표로 3개의 세세부과제로 구성되어 있다.

'초고강도 섬유보강 콘크리트를 이용한 구조부재 개발 및 실용화' 과제는 설계기준 강도 150 ~ 200 MPa 급의 초고강도 섬유보강 콘크리트 개발을 목표로 하고 있다. 이를 이용하여 교량 거더, 복공판, 박판 구조패널 등 구조부재의 단면을 30% 이상 절감할 수 있는 기술 개발과 내구수명을 2배 이상 향상시킨 경제적이고 효율적인 구조부재 개발 및 실용화를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

'하이브리드 보강기법을 활용한 실용적 고강도 구조용 부재 개발'과제는 콘크리트가 고강도화 됨에 따라 고강도 철근, 헤디드 철근과 여러 종류의 섬유를 동시에 적용하는 하이브리드 형의 콘크리트 기술을 개발하고 있다. 이 연구를 통하여 공학적으로는 구조 부재의 강성 25% 이상, 연성 30% 이상 향상시킬 수 있으며, 현장에서 고강도 콘크리트를 타설할 때 철근이 과도하게 배근되는 것을 방지하며, 표면이 매끈하고 치밀한 고품질 콘크리트를 타설하는 기술 개발을 목표로 하고 있다.

'고성능·고강도 콘크리트 시공계측 센서 및 모니터링 시스템 실용화' 과제는 고성능 콘크리트의 시공에서 정밀한 계측 자료를 제공하고 콘크리트 초기 타설 단계, 양생 중 단계 및 콘크리트 구조부재의 완성 후 사용 중 단계에 대하여 체계적이고 합리적인 계측 및 모니터링 자료를 제공함으로써, 콘크리트 구조물 건설 시 30% 이상의 시공품질 향상과 장기 유지관리 기법 제공을 목표로 하고 있다.

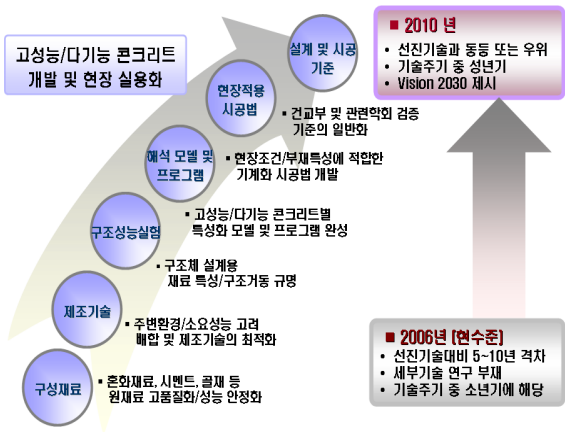

그림 3. 최종 연구 목표

2.2.3 고성능·다기능 콘크리트 설계 및 현장 시험 시공

3세부과제는 고성능 콘크리트의 현장 적용을 통한 실용화 핵심 기술 개발을 연구 목표로 3개의 세세부과제로 구성되어 있다.

'고성능 콘크리트의 교량 구조물 현장 적용 및 현장 타설 프로세스의 개선 방안 수립' 과제는 교량 부재별로 요구되는 고성능 콘크리트의 특성을 정립하고, 고성능 바닥판 및 거더 등의 현장 적용을 통한 설계 및 시공 기준 마련에 목표를 두고 연구 수행 중이다.

'고성능 콘크리트의 현장타설 프로세스 개선을 위한 통합 정보 시스템 개발'과제는 통합 정보 시스템을 활용하여 고성능 콘크리트의 생산, 운반 및 시공 프로세스를 개선하는데 목적이 있다. 또한, 품질 향상과 생산성 증가는 물론 안정된 성능을 바탕으로 고성능 콘크리트의 경쟁력 강화와 고성능 콘크리트에 대한 체계적이고 신뢰할 수 있는 자료 축적을 통하여 위험 요소를 파악한 후 대응책을 지속적으로 연구할 수 있는 기초 자료 확보에 목표를 두고 연구 수행 중이다.

'고강도콘크리트를 이용한 초고층 공동주택 적용 방안' 과제는 고강도콘크리트의 시험시공을 통하여 고강도콘크리트를 실구조물에 적용할 경우 필요한 구조 해석 기법 및 부재 설계 등과 관련된 세부 적용 기준 마련, 현장 품질 관리 기준과 고강

도 콘크리트의 특성 등을 반영한 공법 선정 및 현장 관리 기법 등을 개선하기 위한 연구를 수행하고 있다. 이러한 연구 결과를 토대로 향후 많은 수요가 예상되는 초고층 구조물의 건설 시 기본 지침으로 활용되어 국내 건설기술을 한 단계 더 발전시킬 수 있을 것으로 예상된다.

3. 연구 성과

주요 연구 성과는 고성능 콘크리트의 내화 성능을 향상 시킬 수 있는 폴리론 하이브리드 화이버(polylon hybrid fiber), 화상 처리 기술을 이용한 슬럼프플로우우 자동 측정 장치, 초고강도 콘크리트 전용 믹서기 개발 및 고성능 콘크리트의 현장 타설 프로세스를 위한 통합 정보 시스템 개발 등 많은 연구 성과를 도출하고 있다.

'인명 보호를 위한 내화성 고성능 콘크리트의 개발 및 실용화' 연구 과제를 수행 중인 1세부 다기능성 연구부에서는 기존 고강도고성능 콘크리트의 폭렬 방지 공법 중 섬유 혼합 시 발생되는 문제점을 개선하기 위한 폴리론 하이브리드 화이버를 개발하였다. <그림 4>는 폴리론 하이브리드 화이버의 시제품으로 종래의 폴리프로필렌 섬유를 0.1vol.% 혼합한 경우 유동성 및 압축강도가 저하되는 것에 반하여, 섬유의 혼입량을 절반 수준으로 줄임으로써, 재료비 절감과 함께 기존의 내화콘크리트 보다 우수한 유동성 및 압축강도를 확보할 수 있다. <그림 5>와 같이 폴리론 하이브리드 화이버는 실무 적용 시 우수한 분산성으로 배처플랜트에서 골재와 함께 직접 투입하여 사용 가능하며, 현장 조건에 따라 레미콘 1~3 m^3 당 용량으로 각각 구분하여 혼합할 수 있도록 제품화 하였다. 또한 내화 성능이 필요한 40 MPa 이상의 고강도 콘크리트에 적극 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 고강도 콘크리트의 내화규준 법제화에 따른 내화성 고강도 콘크리트에 크게 활용될 것으로 기대된다.

'초유동 자기충전 콘크리트의 재료 및 구조 특성을 고려한 시공성 향상 기술 개발' 연구 과제를 수행 중인 1세부 초유동성 연구부에서는 화상 처리 기술을 이용한 콘크리트 슬럼프플로우 자동 측정 장치를 개발하였다. 종래의 콘크리트 슬럼프플로우 시험 방법은 KS 규준에 준한 방법으로서, 콘크리트의 움직임이 종료된 후 최대로 퍼진 콘크리트의 최대 지름과 이와 직교하는 최대 지름의 평균값을 5 mm 단위로 측정하도록 정하고 있다. 그러나 이러한 종래의 시험 방법은 매우 정성적인 방법으로서, 시험자 또는 감독자의 관점에 따라 그 값이 크게 상이할 수도 있다. 현행 시험 방법은 시험 후 시공 보고 또는 자료 보관을 목적으로 최대지름이라고 판단되는 위치에 자를 대고 별도의 촬영 장비를 이용하여 시험 결과를 기록하고 있으나, 이 과정 또한 촬영자에 따라 매우 상이한 결과를 도출하게 될 뿐만 아니라, 시험과 기록 과정을 별도로 수행해야 하는 문제점을 내재하고 있다.

슬럼프플로우 자동 측정 장치는 슬럼프플로우 판에 고정된 디지털카메라를 이용하여 변화하는 슬럼프플로우를 1초당 한 컷씩 촬영된 이미지를 컴퓨터 프로그램을 이용하여 분석함으로써, 슬럼프플로우 값을 3가지 방법(KS, 다점법, 면적법)에 의하여 산출이 가능하다. 또한 500 mm 및 600 mm 도달속도, 슬럼프플로우 유동정지시간, 슬럼프플로우 변위곡선, 단위시간별 유동속도 감소곡선 등을 측정함으로써, 콘크리트의 유동 특성을 정량적으로 파악 가능하다.

- KS : 최대지름과 직교하는 선분 중 최대지름 값의 평균 값
- 다점법 : 최대지름과 직교 및 45도 선분으로 구성되는 4선분 길이의 평균 값
- 면적법 : 전체 슬럼프플로우 면적을 기준으로, 동일 면적의 정원으로 환산한 지름 값

'초고강도 섬유보강 콘크리트를 이용한 구조 부재 개발 및 실용화' 연구과제를 수행 중인 2세부에서는 초고강도 콘크리트 전용 믹서기를 개발하였다. 초고강도 콘크리트는 물-결합재비가 매우 낮고 시멘트와 고강도용 혼화재 등의 분체량이 상당히 많은 부배합 콘크리트 이다. 따라서 인성 확보를 위해 다량의

그림 4. 폴리론 하이브리드 화이버

그림 5. 우수한 분산

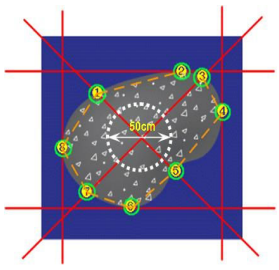

그림 6. 슬럼프플로우 측정 개념도

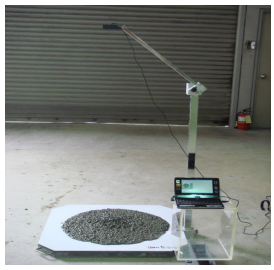

그림 7. 슬럼프플로우 자동측정 장치

그림 8. 이동식 스크류 컨베이어를 이용한 재료 투입

그림 9. 이동식 컨베이어 벨트를 이용한 강섬유 투입

섬유를 혼합함과 동시에 콘크리트 타설 시 자기충전의 효과를 나타낼 수 있도록 유동성을 확보해야 한다. 초고강도 콘크리트 제조에 있어 일반 콘크리트 믹서를 이용하면, 다량의 고성능 감수제 사용이 필요할 뿐만 아니라 낮은 물-결합재비에서 매트릭스의 점성이 매우 높아지기 때문에 제조가 어렵다. 또한, 구조물을 모사한 실험 수행, 실대형 구조부재 제작 등을 수행하기에는 믹서의 용량 부족, 반복된 믹싱 작업에 따른 콘크리트의 균질성 확보와 어려움 및 과다한 인력 투입 등의 문제가 발생되고 있다. 따라서 초고강도 콘크리트 개발 및 실용화를 위한 초고강도 콘크리트 전용 대형 믹서의 개발은 필연적이다.

초고강도 콘크리트 전용 믹서기는 고속회전으로 시멘트 매트릭스의 유동성을 확보하며, 여러 종류의 믹서 날개로 시멘트 매트릭스의 섬유와 균질한 분산이 가능하다. 또한 정치식 수평팬 믹서혼합기를 적용하였으며, 자동제어 컨트롤 방식을 도입하였다. 초고강도 콘크리트 전용 믹서기는 대량의 균질한 품질을 갖는 초고강도 콘크리트 제조가 가능하며, 초고강도 콘크리트의 연구 범위가 확대될 것으로 기대된다.

'고성능 콘크리트의 현장 타설 프로세스 개선을 위한 통합 정보 시스템 개발' 연구과제를 수행 중인 3세부에서는 고성능 콘크리트의 품질 특성 DB를 연계하여 향후 개발될 고성능 콘크리트의 현장 타설 프로세스를 위한 정보 시스템의 기반 구조가 되는 BPM 기반 정보 시스템을 개발하였다.

BPM 기반 통합 정보 시스템은 고성능 콘크리트의 현장 타설 프로세스를 위한 통합 정보 시스템의 품질 특성 DB관리 시스템으로 활용 가능할 뿐만 아니라 고성능 콘크리트의 현장 타설 프로세스를 위한 통합 정보 시스템의 생산 부문 배합설계 / 원재료 물성 시험 / 생산 모니터링 시스템으로 활용 가능하며, 건설 현장에서 쉽고 간편하게 적용할 수 있다. BPM 구축 계획은 <그림 10>과 같다.

콘크리트코리아 연구단에서는 공중파 방송 및 각종 신문사를 통한 연구단 소개와 연구 성과를 지속적으로 홍보하고 있다. 2차년도에는 대외 언론홍보 및 각종 행사를 포함하여 총 29건의 홍보를 실시하였으며, 연구 성과의 성능평가를 통한 실용화에 최우선을 두고 있다.

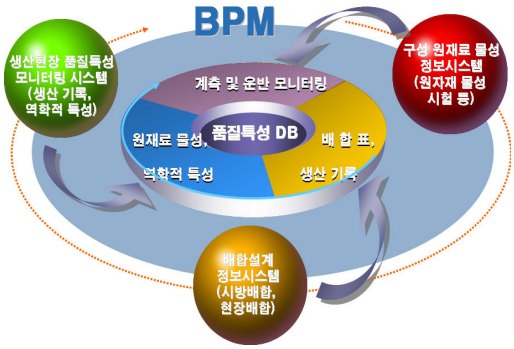

그림 10. BPM 기반 통합 정보 시스템 구축 계획

4. 연구 성과의 활용 방안

본 연구단에서 발생되는 성과는 토목, 건축 및 환경 등 여러 분야에서 활용이 가능하며, 각 연구부의 활용 방안은 다음과 같다.

- 지침 / 매뉴얼 연구부는 설계, 시공지침 및 매뉴얼 개발을 통하여 건설 산업에 활용될 것으로 기대된다.
- 고내구성 연구부는 열화거동 프로그램 개발을 통한 내구수명 / 잔존수명 및 보수보강 시점의 예측이 가능한 고저항성 콘크리트의 개발과 내구수명 200년 콘크리트 기술로 구조물의 장수명화에 크게 기여할 것으로 예상된다.
- 초유동성 연구부는 시공성 향상 및 구조 부재의 품질 안정화 / 시공성 고효율화에 기여할 것으로 예상된다.
- 다기능성 연구부는 투수, 에코, 반투명, 항균 등의 콘크리트를 개발하여 건설과 환경에 적극 활용될 것으로 예상된다.

표 1. 연구 실적

성과지표	2006년	2007년
현장적용	3	5
시제작품	8	14
프로그램 등록	2	5
특허 출원	3	11
실용신안 출원	-	2
상표 등록	-	2
SCI 논문	2	5
국내심사 논문	7	13
국내 · 외 학술발표	56	115
연구성과 홍보	7	29
인력양성	-	30
국제공동연구	1	3
국제위탁연구	-	1
총계	89	235

그림 11. 연구 성과의 활용 방안

- 초고성능 콘크리트를 이용한 구조 부재 개발 및 실용화 연구부에서는 내구성 및 장수명화가 요구되는 콘크리트구조물 또는 부재에 초고강도 콘크리트가 적극 활용될 것으로 예상된다.
- 고성능다기능 콘크리트 설계 및 현장 시험 시공 연구부는 초고층 공동주택 설계기준과 지침으로 구조 해석 및 설계 체계를 구축하는데 활용될 것으로 예상된다.

5. 기대 파급 효과

본 연구의 수행 결과로 국내 건설 산업의 기술적 측면뿐만 아니라 경제·산업적 측면에 이르기까지 매우 커다란 파급효과가 있을 것으로 예상된다. 기술적 측면에서는 콘크리트 첨단기술의 국산화로 건설기술 경쟁력 강화, 콘크리트 기술의 체계화로 현장 실용화 시스템 구축, 다양한 환경 및 구조물 건설 기회 증대 (해양 및 지하공간 등), 콘크리트 관련 평가 기술 정착 및 구조물 성능 향상, 절충형 성능기반 고성능 콘크리트의 지침 및 콘크리트 분야 Vision 2030 제시를 통하여 선진국대비 동등 또는 우위의 기술력을 확보하게 될 것으로 판단된다. 경제·산업적 측면에서는 연간 2,000억 원 이상의 콘크리트 관련 분야 시장창출 효과, 콘크리트 구조물의 장수명화로 유지관리비 대폭 절감, 콘크리트의 고성능화, 고내구화 등으로 인명 및 재산상 손실 감소, 인건비, 물류비 및 공기 절감을 통한 공사비 30% 절감, 통합정보시스템에 의한 원가절감 및 품질 향상으로 건설 경쟁력 강화가 기대된다. 이러한 파급효과는 국가 건설 산업 전반에 걸쳐 더욱 확대될 것으로 기대된다.

6. 결 언

2006년 5월 건설교통부에서는 건설 산업의 상생협력 방안의 일환으로 5개의 선도적 공동 기술 개발 과제(설계, 건축, 토목, 자재 등)를 선정하여 중점 지원하는데 여기에 본 연구단의 「고성능·다기능 콘크리트 개발 및 활용기술」 과제가 자재 분야의 공동기술 개발 과제로 선정되었다. 이로써 연구단의 참여 연구진뿐만 아니라, 국내 건설 산업의 국제 경쟁력 향상에 크게 기여할 수 있는 계기가 마련된 것이다.

본 연구단은 총 5년의 연구 기간 중 3차년도 연구를 수행중에 있으며, 연구 성과를 분석한 결과 수행 년차가 진행되어 감에 따라 현장 적용, 지적재산권 및 시제작품 제작 등 실용화 성과가 초년도와 비교하여 많이 발생되고 있다. 현재 본 연구단은 최종 연구 목표인 실용화를 달성하기 위하여 실용화 추진이 가능한 산업체를 중심으로 연구단이 구성되어있다. 연구단의 대표적 산업체인 대우건설, 한국도로공사 및 대한주택공사 등은 본 연구단의 개발 실적을 건설 현장에 적용하여 실용화의 최종 목표를 달성하기 위하여 노력하고 있다. 이러한 노력을 바탕으로 본 연구단의 연구가 종료되는 2010년에는 선진국과 동등 또는 그 이상의 콘크리트 기술을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

◇ 학회지 특집 예고 ◇

특집 기사에 집필을 희망하시는 회원은 특집주간에게 연락 바랍니다.

월 호	특집 주제	특집 주간	원고 마감
2008년 3월호	플랫슬래브 고층 건물 구조 시스템 설계 및 시공 기술	이현호(동양대학교 건축소방행정학과 교수) *hhlee@phenix.dyu.ac.kr*	2007년12월30일
2008년 5월호	저형고 장경간 콘크리트 교량 구조 시스템	박영하(한국도로공사도로교통기술원 책임연구원) *younghp@freeway.co.kr*	2008년 2월29일