

시멘트 활용을 위한 신기술 및 신재료

김 장 호 (세종대학교 토목환경공학과 조교수)

전 경 숙 (세종대학교 토목환경공학과 박사과정)

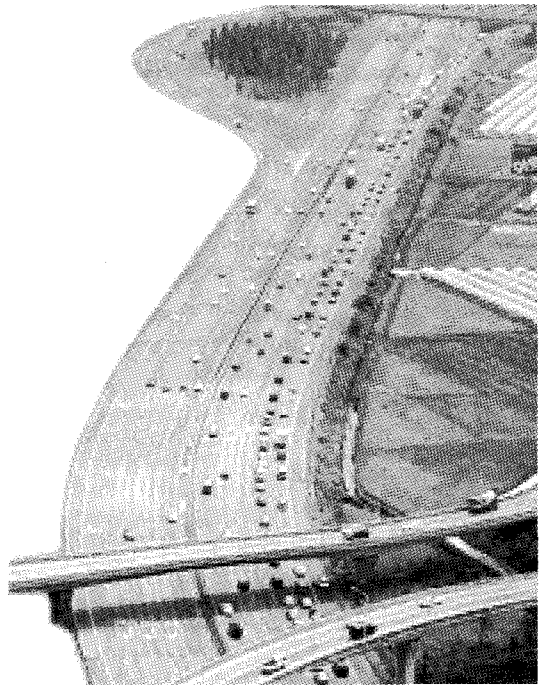
1. 서 론

현재 국내 건설업계는 물론, 세계의 많은 국가에서 급격한 인구증가로 인하여 발생하는 사회적 및 경제적 문제들에 지대한 관심을 가지게 되었다. 많은 인구를 수용·이동 가능하게 하고 생활에 필요한 모든 생필품들을 제공하기 위해서는 사회기반 시설들을 효율적으로 건설·시공하여 장기적으로 관리·운용하는 것이 필요하다.(<그림-1>)

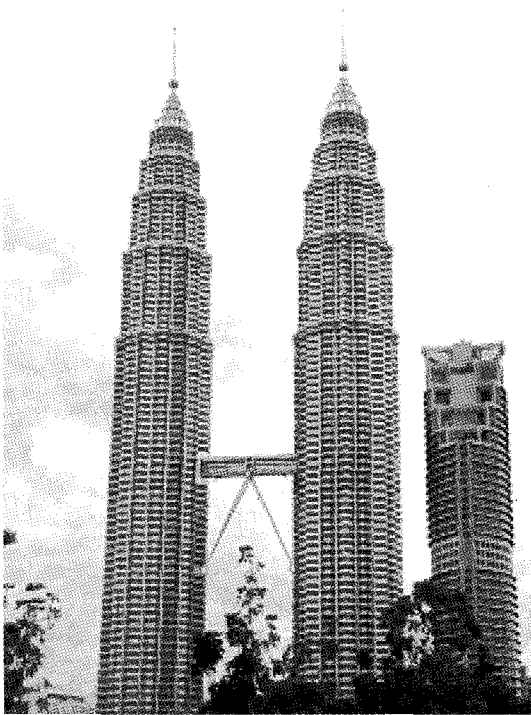
특히 현대 사회는 도시 집중화에 따른 인구 과밀화와 시설 집중화로 인한 사회기반 시설물들의 신축, 그리고 노화된 시설물들을 유지·관리하는 일들이 기하급수적으로 늘어나고 있다. 또한, 이러한 사회기반 시설물들은 일반적으로 건설비용이 적게 드는 시멘트 콘크리트 구조물로 건설되어 왔으므로 현재 사용하고 있는 일반 시멘트 콘크리트의 성능을 향상시키고 건설비용을 절감하며 친환경적인 시멘트 콘크리트 재료 및 기술 개발이 필요한 시점에 도달하였다. 이러한 요구에 발맞추어 사회기반 시설물에 대한 실용화 기술 및 장기 사용성 기술의 발전도 함께 요구되고 있으므로, 많은 요소 기술 중에서도 특히 시멘트 재료의 실용화는 건설사업 발전의 중요한 요소이다.

한 예로써 최근 건설시장의 세계적인 변화를 살펴보면 중·저층의 저밀도 건축물보다는 초고층 고밀도 건축물(<그림-2>)이나 장스팬의 대형구조물의 건설이 눈에 띄게 증가하고 있다. 특히, 국내의 경

우에는 초고층의 주상복합 아파트 및 사무실 건축물의 건설이 크게 증가하여 건축물의 전반적인 고층화·대형화 추세를 보이고 있다. 이러한 대형 구조물 건설에는 필연적으로 특수 건설재료가 필요하며 장기간의 공사기간을 요구하게 되고 환경 문제가 증가하게 된다. 초고층 장스팬 대형 구조물은 구조물의 특성상 부재의 중량이 최소화되어야 하므로 경량 건설재료나 접합부에 고탄성·고인성 건설재료가 필요



<그림-1> 세계적 수준의 도로



〈그림-2〉 초고층 빌딩

하다. 증가되는 공사기간의 문제로는 구조물 사용 개시 시기를 지연시키고 비용의 증가를 유발하여 전체 공사비 증가의 주요 원인이 되며, 이는 사업 전반의 경쟁력을 약화시키게 된다. 초고층, 초대형화로 발생하는 장기 사용성 문제로는 전통적인 유지관리 시스템과 보수·보강 공법들이 적용될 수 없으므로 초고층, 초대형 구조물에 적합한 기술들이 개발되어야 한다. 마지막으로 환경문제로는 현장주변 교통 및 통행의 불편을 초래하고, 소음·분진 등 환경문제를 야기하여 공사 관련 민원의 주요 원인이 될 수 있다.

본고에서는 현재 건설 산업이 당면한 문제들을 풀기 위하여 세계적으로 가장 많이 사용되는 시멘트 콘크리트 건설재료의 실용화 방법들에 대하여 간략하게 설명하고자 한다. 최근에 개발된 시멘트 콘크리트 건설재료의 주요 실용화 방법들은 크게 두가지로 나눌 수 있다. 친환경 사용방안과 신재료를 활용

한 공기단축형 사용방안 및 장기 사용성 사용방안이 있다.

2. 친환경 실용화 방법

현재 사회가 직면하고 있는 여러가지 문제 중 가장 심각한 문제는 환경문제라고 할 수 있다. 비자연적인 폐기물 증가는 세계 모든 국가의 심각한 문제로 대두되고 있다. 이러한 문제들을 극복하기 위한 친환경적인 시멘트 콘크리트 건설재료 사용방법들은 다음과 같다.

가. 다공성 식생블록

'다공성 식생블록을 이용한 지오그린 자연형 하천공법'은 전국 각지의 하천이나 호수 등에 적용되고 있는 생태복원 시스템이다. 기존 하천 호안 및 도로 사면 등에서 식물이 살아 움직일 수 있게 함으로써 생태계를 능동적으로 복원하는 역할을 하고 있다. 예를 들어 '지오그린셀'(<그림-3>)은 하천 제방 등을 시공할 때 사용되는 친환경 자재다.

기존의 콘크리트 호안블록과 달리 모래를 넣지 않고 일정한 입도의 조골재와 고로(철강 용광로) 슬래그로 만든 저알칼리성 고로 슬래그 시멘트 및 특수 화학처리제를 배합해 제조됐다. 골재간에 생성된 공



〈그림-3〉 다공성 블록

극(약 30%)에 의해 식물의 뿌리가 지반에 튼튼히 착상할 수 있으며 지반의 토양도 숨을 쉴 수 있다. 하천 제방의 복구에 사용되는 일반 콘크리트 제품은 생태계를 교란시키고 비콘크리트 제품의 경우 내구성에서 문제가 있으나 시멘트 콘크

리트 지오그린은 환경복원과 반영구성의 장점을 갖고 있다.

나. 친환경 돌망태 공법

최근 개발된 친환경 돌망태 공법은 다양한 식물의 파종과 동물의 서식지를 제공해 자연스러운 하천 환경 복원을 이끌어내는 친환경 공법이다. 일체형 매트방식으로 설치해온 친환경 돌망태를 능형 매트리스, 에코비온셀 등으로 업그레이드해 자연 그대로의 수변환경 구현을 앞당겼다는 평가를 받고 있다. 기존 돌망태 공법의 특징과 장점을 강화한 '친환경 돌망태 능형 매트리스'는 굴요성과 내구성이 우수해 하상구배가 급하고 유속이 급한 곳에서도 하상 세굴과 침식으로 인한 파손이 전혀없는 신기술 구조물이다. 이는 환경친화적 구축물로 어떠한 조건의 하천에서나 사용이 가능하다. 친환경 돌망태에 다공성 투수 콘크리트인 에코비온셀 블록을 채워 시공하는 에코비온셀은 초본류 및 수변 동식물의 서식지를 제공해 하천생태 보존 및 복원능력이 탁월한 것이 특징이다. 환경적인 측면 뿐만 아니라 시공면에서도 규격 제품으로 공급되기 때문에 시공이 용이하고 기 후에 관계없이 수중시공이 가능하다.

다. 칼라 투수 콘크리트

칼라콘이라는 제품은 폐기물 활용 기술로서 최근 국내 과학자가 개발한 칼라 투수 콘크리트 제품이다. 물이 잘 스며들면서 미관도 좋고 경제성이 있는 보도포장 제품을 개발하는 과정에서 시멘트 콘크리트와 점토질 마사토를 활용해 다양한 색깔을 낼 수 있는 칼라 투수 콘크리트를 개발하게 되었다.

라. 폐 PET병을 활용한 신 콘크리트

오늘날 세계 각국의 산업 폐기물의 양이 기하급수적으로 늘어나 폐기물의 재활용이 절실히 요구되고

있다. 이러한 환경문제의 심각성이 더해지는 상황에서 Poly-Ethylene Terephthalate(PET)는 새로운 건설 재료로서 폐 PET병을 이용한 폴리머 콘크리트에 대한 연구가 국내·외에서 진행되고 있다. 각종 음료수 및 식품의 용기로 사용되는 PET병은 폐자원으로서 일부 재활용되고 있으나 그 발생량이 대량이기 때문에 이를 현실적으로 이용하여 처리할 수 있는 친환경적 재활용 분야의 개발이 요구된다. 이와 같은 측면에서 그 사용량이 대량화 될 수 있는 토목 및 건축용 콘크리트 구조물에 균열제어형 보강 섬유로 재활용하여 적용하는 방법이 현재 연구되고 있다. 또한, 현재 국내외에서 PET병을 토목 및 건축용 콘크리트의 재료로서 연구 및 사용한 예는 PET병을 용해시켜 폴리머 재료로 활용한 폴리머 콘크리트와 PET병의 가벼운 중량특성을 이용하여 경량 콘크리트에 적용하는 연구가 있다. PET병 화이버 콘크리트를 활용하여 도로포장 재료의 고단가 문제와 폐기물 처리 문제를 동시에 해결하여 건설 기술을 한 차원 향상시킬 수 있으며 환경오염 방지에도 기여할 수 있게 되었다. 또한 버려지는 폐 PET병을 재활용하는 것이므로 기존의 섬유화이버 대비 85%까지 가격을 줄일 수 있으므로 환경문제 해결 뿐만 아니라 경제적인 측면에서도 매우 우수한 신공법이라고 판단된다. <표-1>은 현재 시중에서 판매되는 화이버 단가와 폐 PET병 화이버를 생산하는 예측단가를 정리한 것이다.

마. 폐콘크리트를 이용한 재생 시멘트 개발

재생 시멘트 개발로 한번 사용한 시멘트를 다시 재활용 할 수 있는 신기술이 국내 한 벤처기업에 의해 개발됐다. 국내의 한 리모델링 신소재 개발업체에서 개발한 재생 시멘트는 폐콘크리트를 이용한 것이다. 그동안 폐콘크리트의 처리는 분리과정을 거쳐 골재와 철근 일부만이 재활용되었고 대부분 매립용으로 쓰이거나 폐기 처분되고 있었다. 그러나 최근에 개발된 기술은 한번 사용한 콘크리트를 다시 활

<표-1> 화이버 단가 및 특징

종 류	단 가	특 징
ECC Fiber	12,000 원/kg	획기적인 고성능 균열제어용, 초고단가
Coating Fiber	7,000 원/kg	1회 코팅한 재료로 균열제어용, 고단가
Non-Coating Fiber	5,000 원/kg	수분 2~3% 포함되어 있으며, 약간의 균열제어용
PP Fiber	4,000 원/kg	균열발생 후 파괴거동 불만족, 저단가
폐 PET병 Plastic Fiber	2,000 원/kg	도로포장 수축균열 용

용하는 것이다. 이 기술은 폐콘크리트의 시멘트를 정밀 분쇄과정을 통해 자갈, 철근 등과 완전 분리시킨 다음 시멘트 미분말을 고온(약 700도)으로 가열 처리한 뒤 혼화재료를 첨가해 재생 시멘트를 생산하는 것이다. 이럴 경우 폐콘크리트의 1/3 정도를 재생 시멘트화할 수 있다. 고온의 가열처리와 혼화재료 첨가는 재생 시멘트의 수화성 회복과 경화성을 높여 재생 시멘트의 강도를 강화시킬 수 있는 핵심 기술이다. 재생 시멘트의 강도는 첨가하는 혼화재료의 양에 따라 일반 시멘트보다 비슷하거나 우수한 것으로 나타났다. 시공기준에서도 KS규격을 모두 통과하는 등 일반 시멘트와의 품질 차이가 없다. 또 같은 양의 시멘트를 생산하는데 드는 비용이 일반 시멘트의 절반에 불과하고, 일반 시멘트 생산과정에서 나오는 환경오염 물질인 이산화탄소(CO₂)도 방출되지 않는 장점이 있다.

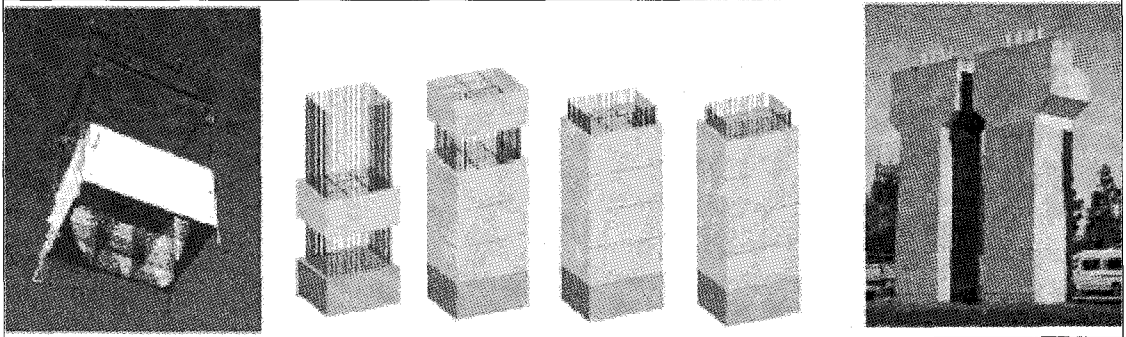
3. 신재료를 활용한 공기 단축·장기사용 방법

현재 한국 산업구조의 변화에 따라 발생되고 있는 범사회적인 건설현장 기피현상은 현장에서 양질의 건설인력 부족을 유발하여 건설공사의 품질저하와 공기지연을 초래한다. 이와 동반하여 인건비 상승을 해결할 수 있는 대안으로 현장 인력을 최소화할 수 있는 새로운 공법개발이 심각히 요구되고 있다. 단 시일에 숙련될 수 없는 건설기술의 특성을 고려할 때, 이는 앞으로 건설정책상 반드시 풀어야 할 어려운 난제로 부각되고 있다. 그러므로 시멘트 콘크리트 구조물 건설의 공기를 단축할 수 있는 방법으로

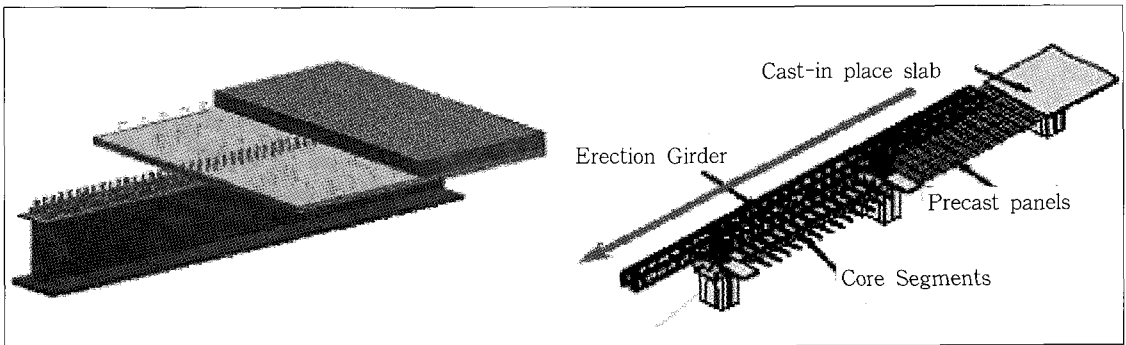
는 프리캐스트 부재들(<그림-4>)을 신구조물 건설 및 구구조물 보수·보강에 사용하는 방법이 있다. 프리캐스트 부재들은 정밀제작 되므로 품질이 우수하며 대량생산 함으로써 제작비용이 절감된다. 또한 장기 사용시 철근콘크리트 부재에서 발생하는 내구성 문제를 감소시킬 수 있다.

가. 블록쌓기형 콘크리트 타설방법

최근 건축현장의 새바람을 일으키고 있는 블록쌓기형 콘크리트 타설방법을 살펴보면 기존의 재래식 콘크리트 타설공법을 획기적으로 개선한 신공법이다. 건설제조 전문기업에서 개발한 이 공법은 'PF/R' (철근을 부착한 선조립 공법, Prefab Form/Re-Bar)이라는 기술로, 이른바 '조립식 거푸집'이라 할 수 있다. 현장에서 나무틀(거푸집)을 만들어 철근을 배열한 뒤 콘크리트를 부어넣는 기존 타설방식과 달리 'PF/R' 공법은 아예 공장에서 거푸집과 철근이 결합된 형태의 제품이 만들어지므로 현장에서는 마치 '블록쌓기'처럼 이를 조립하기만 하면 된다. 이 방식을 사용하면 공기가 절반 이상 단축됨은 물론 인력도 절감할 수 있다는 것이 최대 장점으로, 기능공의 숙련도나 생산과정 및 기후와 무관하게 균일한 품질로 시공할 수 있다는 것도 커다란 매력이다. 특히 이 방식을 활용할 경우 발주업체는 물론 하청업체까지 최소한의 현장 인력만으로도 공기를 단축시킬 수 있어 적잖은 원가절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다. 이같은 장점이 알려지면서 이 공법을 사용하는 현장도 속속 늘어나는 추세다. 현재는



(a) 프리캐스트 조립식 기둥



(b) 프리캐스트 조립식 교량

〈그림-4〉 프리캐스트 조립식 구조물

철근 콘크리트 구조의 바닥부분인 '슬래브'에 주로 사용되고 있지만 추후 아파트 벽체, 기둥, 보 등 건축물의 모든 부분으로 확대될 것으로 보인다. 이 방식이 건설현장별로 확산될 경우 향후 건설시장에 적잖은 돌풍을 몰고올 것으로 예상된다.

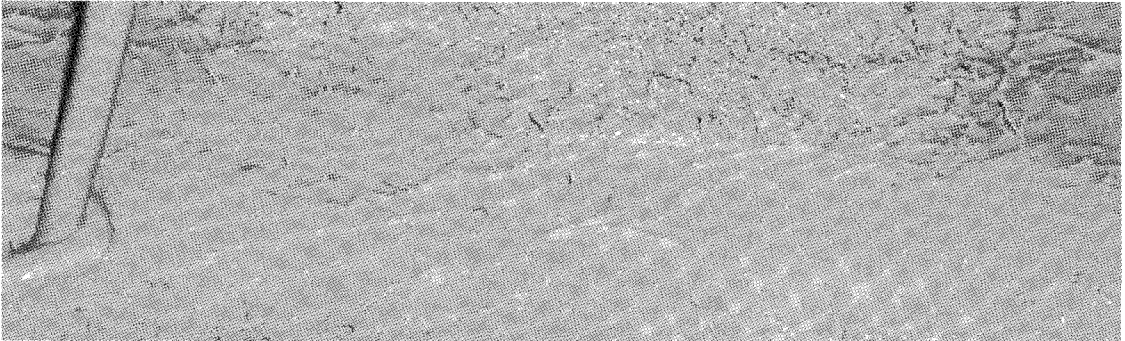
나. SIFCON, SIMCON 시멘트계 신재료

신재료 및 신공법의 일환으로 SIFCON과 SIMCON(〈그림-5〉)을 들 수 있다. SIFCON과 SIMCON은 타설시 섬유화이버 또는 강재화이버를 첨가하던 기존의 방법과는 달리 이미 일정 형태가 짜여진 상태의 화이버에 몰탈을 주입하는 방법으로 조립식 건설 및 규격화, 공장의 대량 생산화를 가능하게 하여 공기를 단축시키고 내구성을 향상시키는 효과

를 가져올 수 있다. 또한 대형 구조물의 부분적인 보수를 가능하게 하여 건설산업의 발전 뿐만 아니라 경제적인 손실을 줄이는데 크게 이바지할 것이다.

다. 초고강도 콘크리트

국내 한 건설업체는 최근 100층 이상 초고층 건축물 건설에 사용되는 초고강도 콘크리트 제작기술을 개발, 국내 최초로 실용화에 성공했다. 개발된 콘크리트는 100MPa급의 초고강도 제품으로 기존 고층건물은 물론, 100층 이상 초고층 건축물 건설에 이용된다. 초고강도 콘크리트는 순수 국내 기술진에 의해 1년 3개월의 연구끝에 개발되었다. 과거 초고층 건물을 건설할 때는 콘크리트의 강도를 높이기 위해 고가의 수입 실리카흄을 배합해 왔으나 이번



〈그림-5〉 SIFCON에 몰탈 주입 장면

제품개발로 시멘트와 일반 혼화재료의 배합만으로도 고강도를 확보할 수 있을 뿐만 아니라 경제성과 작업 용이성이 뛰어난 것이 특징이다. 또 기존 생산 설비에서 생산이 가능해 곧바로 상용화할 수 있는 장점도 있어 국내 건설 산업의 수준을 한단계 끌어 올릴 것으로 기대되고 있다.

라. 섬유보강 시멘트계 복합재료

최근 토목·건축 구조물에 사용되는 건설재료의 변화 및 발전은 매우 빠르게 진행되고 있으며, 특히 시멘트를 주원료로 하는 재료의 변화속도는 강재와 같은 건설재료의 변화속도보다 빠르게 진전되고 있다. 따라서 시멘트를 원료로 하는 건설재료의 단점인 취성적 파괴거동을 보완하기 위해서 연성이나 강도가 일반 콘크리트보다 월등한 고기능성 시멘트계 복합재료인 섬유화이버 재료 연구가 현재 활발히 진행중에 있다. 섬유화이버 재료는 기존의 재료와 달리 처음 발생한 균열이 파괴로 연결되는 것이 아니라 보강섬유의 Bridging Effect에 의해 여러 개의 미소균열(50~80 μ m)로 확산됨으로서 외부의 하중을 지속적으로 받을 수 있는 기능을 보유하고 있다. 또한 섬유화이버는 투수성, 온도팽창계수와 같은 물리적 성질과 역학적 성질이 콘크리트와 거의 동일하기 때문에 가장 바람직한 보강 재료로 간주되고 있다. 이러한 재료의 우수한 성질에도 불구하고

실질적인 사용은 현재 매우 제한적으로 비구조적인 부분에 국한되어 있는 실정이다. 미시역학적 모델을 바탕으로 개발된 고인성 복합재료 중 하나인 ECC는 재료의 탄성계수와 극한강도가 콘크리트와 유사하지만 연성은 콘크리트보다 훨씬 큰 특징을 가지고 있다. 따라서 콘크리트 구조물의 보강에 가장 적합한 재료로서 그 적용성이 확대되고 있다.

4. 결 론

건설 산업 발전의 가장 중요한 결정 요소가 되는 시멘트 재료의 실용화 방법은 크게 친환경 사용방안, 신재료를 활용한 공기 단축형 사용방안 및 장기 사용화 방안의 두가지로 나눌 수 있다. 각각의 사용방안에 대한 구체적인 내용들을 살펴보면, 친환경 사용 방안에는 다공성 식생블록을 이용한 지오그린 자연형 하천공법과 친환경 돌망태 공법, 칼라투수 콘크리트, 폐 PET병을 활용한 신콘크리트와 폐콘크리트를 이용한 재생 시멘트 활용 등이 있다. 그리고, 신재료를 활용한 공기단축 및 장기 사용화 방법으로 블록쌓기형 콘크리트 타설방법(PF/R), SIFCON 및 SIMCON 시멘트계 신재료 활용, 초고강도 콘크리트와 섬유 보강 시멘트계 복합재료 활용 등이 있다. 이러한 방안들을 적절히 활용하여 건설 산업이 당면한 문제들을 풀어나가는 것은 물론, 건설 산업의 발전을 도모해야 할 것이다. ▲