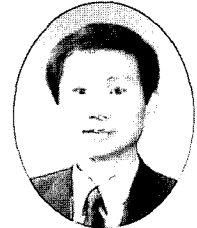


콘크리트 기술의 향후 발전 방향

- Future Perspective of Concrete Technology -



오병환*
Oh, Byung Hwan

1. 머리말

콘크리트는 이 세상에서 인간이 만든 것 중에 가장 많이 사용되고 있는 물질로서, 아마도 물 다음으로 널리 이용되고 있을 것으로 사료된다. 전세계적으로 매년 사람 1인당 1톤 이상의 콘크리트가 생산되고 있으며, 전체적으로는 약 60억 톤 이상이 생산되고 있는 것으로 보고되고 있다. 우리나라에서는 최근 들어 국가기술길지도(NTRM: National Technology Road Map)를 각 기술분야 별로 작성하여 이용하려는 노력이 이어지고 있다. 미국에서도 최근에 콘크리트 분야의 기술길지도를 전략개발위원회에서 발표한 바 있다.

본 논단의 원고 청탁의뢰를 받고 고심하던 끝에 본 필자가 그동안 연구하면서 생각하고 느껴왔던 콘크리트 분야의 향후 펼쳐질 기술발전방향을 기존의 발표내용들과 함께 간략히 전망해 보기로 하였다. 콘크리트 분야의 기술발전방향을 콘크리트 재료분야의 요소기술, 구조분야의 요소기술, 시공분야의 요소기술, 유지관리분야의 요소기술 등으로 구분하여 요약기술하기로 한다.

2. 콘크리트 재료분야의 필요요소기술

2.1 새로운 재료의 개발

금속재료, 유·무기재료, 고분자재료 등 어느 분야를 막론하고 신소재 및 신물질 개발을 위한 노력은 끊임없이 이어지고 있다. 콘크리트 분야에서도 새로운 재료와 고성능화된 재료를 개발하기 위한 노력은 지속적으로 이루어지고 있다.

이러한 노력은 우선 콘크리트를 이루는 각 구성재료의 고품질화와 최적화로부터 출발해야 할 것이다. 시멘트도 특정성능을 발휘할 수 있도록 고품질화 연구가 필요하며, 새로운 혼화재료의 개발 또한 지속적으로 이루어 질 것이다. 각 분야마다 스마트 재료(smart materials)개발이 화두로 떠오르고 있는 바, 콘크리트 분야에서도 콘크리트 구조물의 성능과 사용수명을 향상시키기 위하여 스마트 재료의 개발이 필요하다. 즉, 환경의 변화에 능동적으로 대응하게 할 수 있게 한다면, 손상이나 파괴 또는 안전의 위험을 사전에 경고하게 할 수 있게 하는 재료, 더 나아가 이러한 위험한 문제에 도달할 때 문제해결에 능동적으로 대처하게 할 수 있는 재료 등이 모두 이 스마트 재료의 범주에 들것이다.

우리나라에서는 최근 들어 잔골재, 굵은골재 모두 골재난에 부딪히고 있는바, 이것이 골재의 고품질화를 저해하는 요인이 되기도 한다. 따라서, 새로운 골재원의 개발, 경량골재의 사용 활성화 등이 적극적으로 필요하다. 미국 등 주요 국가에서는 고층건물의 중량을 줄이기 위하여 바닥슬래브 및 보 등에 경량 콘크리트가 활발하게 활용되고 있으나, 우리나라에서는 아직도 이 분야에 눈을 돌리지 못하고 있다.

시공의 용이성과 함께 품질의 일관성을 향상시킬 수 있는 자기충전 콘크리트(self-compacting or self-consolidating concrete) 그리고 자기수평 콘크리트(self-leveling concrete)를 보편 타당하게 적용하려면 이들에 대한 안정적 배합특성 연구와 품질이 보증된 혼화재료 그리고 현장적용성 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

우리나라에서 선유도 보도육교 교량시공에 최초로 적용된 반응성 분말 콘크리트(RPC: Reactive Powder Concrete)는 압축강도 180 ~ 800 MPa의 경이적인 초고강도 콘크리트가 가능하며 철근의 사용을 배제하고, 프리스트레싱을 함께 적용하여 시공된

* 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

세계적으로 몇 개 안 되는 구조물 형태이다. RPC는 시멘트, 실리카 폼, 규사, 미세섬유, 그리고 고성능 혼화제가 어우러져 상상을 초월하는 고강도를 발휘하며 따라서 단면을 매우 작고 얇게 할 수 있는 특수소재로 볼 수 있다. 필자가 알기로는 현재 캐나다에 보도교 그리고 프랑스의 발전소 구조물의 보에 적용된 사례가 보고되고 있으나 앞으로 상당한 가능성을 가진 첨단 소재이다.

콘크리트 구조물에 발생하여 손상과 내구수명 단축 등 여러 가지 문제를 일으킬 수 있는 균열을 감소 및 제어하기 위한 노력은 지금까지 끊임없이 이루어져 왔으나, 이러한 노력은 앞으로도 지속될 것이다. 따라서, 건조수축과 균열을 방지하기 위한 선진화된 재료 및 배합기술 연구가 중요한 과제로 떠오를 것으로 사료된다.

또한, 내구성이 중요한 고려인자로 떠오르게 됨에 따라 내염해성, 내황산염, 내산성, 내열성 등에 대처할 수 있는 재료설계 또는 신재료의 개발연구가 필요하다. 철근의 부식이 구조물의 안전과 내구수명에 절대적 영향을 주기 때문에 부식이 되지 않는 스테인리스 철근 또는 섬유보강 플라스틱 보강근(FRP bars), 또는 코팅철근의 사용에 관한 연구도 지속적으로 증가할 것이다. 이러한 철근 대체 재료는 현재로는 고가이므로 사용에 제한이 있고 또한, FRP 보강근은 성질이 취성이고 보의 거동도 연성이 작고 취성파괴를 보여 앞으로도 상당한 연구가 필요하다. 또한, 고온 및 내화성에 저항력이 작은 문제도 해결해야 할 숙제로 남아 있다.

2.2 새로운 재료의 물성평가 및 모델링기술

상기에서 설명한 새로운 재료를 개발하여 보편 타당하게 사용하려면 이들에 대한 물성평가기법 및 모델링기술이 확립되어야 한다. 즉, 고품질화 된 소재 또는 새로운 소재의 초기재령 성질에 대한 시험방법 및 평가방법, 자기건조수축에 대한 시험 및 평가, 재료 과학의 미세한 나노 스케일 모델링으로부터 출발하여 메소 스케일(meso scale) 그리고 매크로 또는 엔지니어링 성질(macro or engineering properties)까지의 관련 모델링 등 많은 사항들에 대한 연구가 필요하다.

특히, 내구성 설계가 부각됨에 따라 환경인자로부터의 콘크리트의 성능, 투수성, 균열, 내구성시험 및 모델링이 필요한 요소기술로 떠오르고 있다. 부식 방지를 위해 사용하는 에폭시 코팅철근 및 스테인레스철근 등에 대한 시험방법과 모델링도 필요하다.

현장에서의 기존 품질관리시험을 보완 또는 대체할 수 있는 사전예측방법이나 모델링 또한 필요한 요소기술이다.

2.3 재료의 재활용기술

앞으로 모든 산업분야에서 환경문제는 매우 심각한 고려사항이 될 것이다. 사회가 그것을 요구하고 있기 때문이다. 따라서, 시멘트 및 콘크리트의 생산과정에서 발생하는 모든 부산물들을 재처리하거나 가급적 재활용해야 하는 방안이 모색될 것이다. 즉, 시공현

장에서 발생하는 레미콘 세척수의 알칼리 처리문제 및 재이용 문제, 슬래그와 플라이 애쉬 등 다른 산업분야에서 발생하는 부산물의 재활용문제, 재건축 및 재개발로 인해 발생하는 폐콘크리트와 그 속의 골재의 재활용문제 그리고 이들 재활용 재료에 대한 품질 기준 및 물성평가 기법의 정립, 재활용재료를 사용한 부재의 거동 평가기술까지 하나하나 기술을 정립해 나가야 할 것이다.

3. 콘크리트 구조분야의 필요 요소기술

3.1 구조물의 정밀 설계를 위한 거동모델링 기술

콘크리트 구조물의 보다 정밀한 설계를 위한 노력은 계속 이어질 것이다. 이를 위해서는 우선 시공초기 단계에서의 부재거동과 물성평가 및 모델링이 필요하다.

초기재령에서의 수화온도와 습도변화에 따른 변형 및 응력측정과 이들의 해석모델링, 그리고 초기재령에서는 크리프가 크게 발생할 수 있는바 이들에 대한 거동 규명 및 모델링이 활발히 전개될 것으로 사료된다.

시공이 완료된 후 시간이 지남에 따른 거동 즉, 리렉세이션, 크리프, 건조수축에 대한 모델링은 지속적인 연구가 필요하며 특히, 신재료 및 고성능 콘크리트가 개발됨에 따라 이들에 대한 시간에 따른 거동은 새로이 연구 확립되어야 할 것이다.

고성능 콘크리트의 개발에 따른 배합의 최적화, 고성능 콘크리트의 각종 시험방법, 휨 및 전단에 대한 거동 및 해석 기법 등은 새로운 설계기준 정립을 위해 꼭 필요한 연구분야이다.

고성능 콘크리트와 더불어 새로운 재료로 자리잡고 있는 섬유 콘크리트의 거동 모델링과 부재설계기법 또한 보편 타당하게 확립되어야 한다. 섬유의 종류에 따른 거동의 차이와 휨 및 전단보강효과가 규명되어야 설계기법이 확립될 수 있게 된다. 즉, 필자를 비롯한 몇몇 연구자들의 연구결과에 따르면 강섬유가 보강된 경우 전단보강효과가 커서 전단철근을 크게 줄일 수 있는 것으로 나타나고 있다.

또한, 새로운 공법의 부재형태(예를 들면, 무철근 교량슬래브 시스템)가 개발되는 경우 이에 대한 거동평가 및 설계기술의 확립이 필요하다. 아울러 신소재 즉, FRP 보강근 등을 사용한 부재거동평가와 연성평가 및 연성확보기술이 정립되어야 한다.

3.2 내구성평가 및 내구수명 설계기술

사회 공공 핵심구조물의 공용년수가 오래됨에 따라 내구수명평가가 필요하며, 또한 잔존수명의 정확한 예측이 필요하다. 따라서, 기존 콘크리트 구조물의 내구성 평가 기술의 개발과 확립이 필요하며, 신설 구조물에 대해서는 내구수명을 예측할 수 있는 예측기술이 개발 정립되어야 한다. 내구수명은 각종 환경인자 즉, 염해, 동결융해, 황산염해, 탄산화 등을 고려하여야 하고 아울러

하중인자 즉, 피로와 활화중 등을 고려하여 결정되어야 한다.

본 학회에서도 최근에 「콘크리트표준시방서 내구성편」을 제정하고 있으나 앞으로 구조물 종류에 따른 구체적인 내구성 설계 기법에 대한 연구가 뒤따라야 할 것으로 사료된다. 아울러 구조물 종류와 환경에 따른 적정 목표수명 설정연구도 수반되어야 한다.

3.3 계측 및 센서기술

서해대교 등 중요 구조물에는 공용중의 거동을 계측하기 위한 계측시스템이 설치되어있다. 이러한 계측시스템은 구조물의 거동을 어떻게 정확히 측정하는가가 중요한 생명이다. 특히 콘크리트 구조물은 계측이 어려운 것이 특징이며, 더욱이 지속적으로 물성이 변하는 관계로 매립형 센서가 적용되고 있는데 이들에 대한 장기적인 작동성과 측정의 정밀성 등이 보장되어야 한다.

앞으로 스스로 모니터링하고 예측할 수 있는 스마트 재료의 출현과 더불어 구조거동을 모니터링하고 감지하는 계측 및 센서기술이 활발히 전개될 것으로 전망되고 있다. 그러나, 여기서 중요한 것은 이들 계측시스템의 신뢰성과 함께 구조거동을 정확히 모사 할 수 있는 측정항목과 측정위치선정, 그리고 계측결과의 분석기술, 나아가 계측결과로부터 손상과 안전도 평가기술이 정립되어야 한다.

4. 콘크리트의 시공요소 기술

4.1 생산과 시공의 자동화기술 및 시공단계의 성능평가기술

콘크리트의 생산 및 시공기술의 자동화 및 로봇트화는 지속적으로 개발될 것이다. 혼합 및 타설의 자동화와 함께 마감기술의 자동화도 고품질의 콘크리트 구조물을 위하여 필요한 요소기술이다. 운반중의 품질을 모니터링 할 수 있는 모니터링 시스템, 시공초기 소성 콘크리트의 레올로지(rheology)측정, 양생중의 콘크리트의 모니터링 및 시험기술, 시공된 콘크리트의 비파괴 검사기술 등의 연구가 앞으로 필요한 요소기술이다.

4.2 콘크리트 시공의 정보화 및 전문가시스템

수요자가 요구하는 특정품질 및 특정사양의 콘크리트를 공급할 수 있는 제조 및 배합전문가시스템(expert system)의 개발이 필요하며, 온라인 제어기술이 확립되어야 할 것이다. 초기물성을 예측하고 제어할 수 있는 전문가시스템도 필요하며, 이로부터 장기적인 성능평가도 예측할 수 있게 될 것이다. 아울러 생산과 시공에 대한 종합적인 지식기반의 정보시스템 구축이 필요하

게 될 것이다.

5. 콘크리트의 유지관리 요소기술

5.1 공용중인 구조물의 모니터링 및 비파괴 검사기술

공용중인 콘크리트구조물의 성능평가를 위한 장기 모니터링기술 확립이 필요하며, 이를 위해 합리적이며 정확한 비파괴 검사기술의 개발이 필요하다. 이로부터 잔존수명의 평가기술도 확립되어야 한다.

5.2 새로운 보수재료 및 공법개발과 보수 후 성능평가 기술

구조물의 성능평가결과 보수가 필요한 경우 적절한 보수재료가 필요함바 기존 모체와의 접착이 완전하며 내구성이 우수한 보수재료의 개발이 필요하다. 현재에도 폴리머계의 보수 모르타르, 내염 및 탄산화(carbonation) 방지를 위한 침투 및 코팅 보수재료, 보강을 위한 섬유슈트, 에폭시코팅 철근 및 스테인리스 철근 등에 의한 단면보강 공법 등이 개발되고 있으나, 무엇보다 중요한 것은 이들 보수·보강 공법의 성능과 적용성 평가기법이 확립되어야 한다는 것이다. 즉, 보수·보강 후 제대로 보수·보강효과가 있는지 성능을 검증하고 평가할 수 있는 기법이 개발 정립되어야 한다.

또한, 손상과 열화의 종류에 따른 최적의 보수·보강시스템이 개발될 수 있어야 한다.

6. 맺는말

본 소고에서는 콘크리트 분야의 발전을 위하여 앞으로 지속적으로 개발 및 정립되어야 할 요소기술을 각 단계별로 요약하여 기술하였다. 즉, 소재로서 콘크리트 재료분야의 요소기술, 구조물 분야에서의 요소기술, 시공단계 그리고 유지관리 단계의 요소기술을 요약하였다. 그러나, 지면관계상 여기서 요약한 내용 이외에도 더 많은 요소기술들이 필요하게 되어 개발될 것으로 전망된다. 한가지 분명한 것은 콘크리트 분야의 요소기술이지만, 인접분야, 예를 들면, IT분야, 유기 및 무기재료 그리고 고분자 재료분야, 측정 및 센서기술분야 등의 각 분야의 기술이 함께 접목되어 재료개발과 재료거동 그리고 구조거동을 평가하고, 또한 신설 및 보수분야의 신소재로 활용될 것이라는 것이다. 이에 따라, 설계방법과 설계기준, 그리고 표준시방서 등의 내용도 새로이 발전되어야 할 것이다. □