

미래의 콘크리트 구조물



심 증 성*

1. 구조재료로서의 콘크리트의 등장 및 활용

건설분야에서 콘크리트와 강재는 가장 폭넓게 사용되는 구조용 재료로써 각각의 장·단점을 보완하기 위하여 동시에 사용되기도 하나, 때로는 경쟁적인 재료로서 배타적으로 인식되기도 한다. 그러나 이러한 인식은 대부분의 기술자가 구조재료로서의 콘크리트의 성질 및 특성을 완전히 이해하지 못하기 때문에 발생된다.

콘크리트의 주원료인 시멘트의 사용 역사는 고대 이집트 시대와 로마시대로까지 거슬러 올라간다. 고대 그리스와 로마에서는 생석회와 화산재 등을 혼합한 원시적인 형태의 시멘트계 재료를 사용하여 구조물을 건설하였으며, 그 중에서도 그리스의 콜로세움이나 로마의 판테온 신전 등의 구조물은 현재까지 남아있다. 현대적인 개념의 시멘트는 영국의 Joseph Aspdin에 의하여 1824년에 개발되었으나, 이때의 시멘트는 석회석과 점토를 저온에서 혼합하여 제조하는 것으로서 고온에서 제조하는 지금의 포틀랜드 시멘트와는 약간의 차이를 갖는다. 지금과 유사한 제조방법의 시멘트는 1845년 Isaac Johnson에 의하여 개발되었으며, 점

토와 석회를 고온에서 혼합하여 이를 다시 미분쇄하는 방식으로 시멘트를 생산하였다.⁵⁾⁶⁾

초기의 콘크리트 구조물은 석재 등을 대신하여 무근 콘크리트의 형태로 주로 건축구조물의 벽체로서 사용되었으며, 부분적인 보강재를 사용하여 슬래브나 아치와 같은 소규모 구조물에 시공되기도 하였다. 본격적인 철근콘크리트 구조물은 철근과 철망의 개발과 함께 탄생하게 되었으며, 1867년 프랑스의 Joseph Monier가 철망으로 보강된 정원용 튜브를 특허 신청하면서부터 철근콘크리트 구조물의 역사가 시작되었다. 또한 보, 보-기둥 접합구조 등의 기초부재와 교량 및 저장 시설 등에 대한 특허를 획득하면서 철근콘크리트 구조물의 비약적인 발전이 이루어졌다.⁶⁾ 이후 유럽과 미국을 중심으로 철근콘크리트 구조물의 건설이 활발히 이루어졌으며, 콘크리트 구조물의 경제성, 시공성 및 유지관리 등의 용이성 등으로 인하여 건설분야에서의 사용량은 급격히 증가하게 되었다. 콘크리트 구조물의 증가로 인하여 설계와 시공에 관한 기준의 필요성이 대두되게 되었고, 1906년 프랑스에서 최초로 철근콘크리트 구조에 관한 기준이 제정되기에 이르렀다.⁶⁾

그러나 콘크리트 구조물은 강구조물과 비교하여 상대적으로 약한 인장강도와 취성적인 재료특성

* 정회원 · 한양대학교 토목·환경공학과, 교수
(jongsungsim@hatmail.com)

을 갖고 있다. 따라서 많은 연구자들에 의하여 콘크리트의 낮은 인장강도를 효율적으로 극복하고 구조물의 균열강도를 증대시키기 위한 방법이 연구되었는데, 1928년에는 프랑스의 Eugene Freyssinet에 의하여 콘크리트 인장축에 압축력을 가하는 프리스트레싱 공법이 개발되었다.⁶⁾

현재 콘크리트 구조물은 뛰어난 경제성, 유지관리의 용이성 및 재료의 성형성 등으로 인하여 사용범위를 점차 확대시키면서 그 사용량이 꾸준히 증가하고 있는 상태이다. 특히 우리나라와 같이 사회간접시설의 확충이 활발한 국가의 경우에는 콘크리트 구조물을 많이 건설하고 있다. 국내의 경우 전국의 교량형식 중 콘크리트 교량이 차지하는 비율은 90% 이상이다. 또한 국내의 시멘트 생산량은 1981년에는 15,599,640ton이었으나, 경부고속철도와 주택 200만호 건설이 한창이던 1997년에는 62,785,332ton으로 16년 동안 생산량이 4배 가까이 증가하였으며, 품질면에서도 많은 종류의 시멘트가 생산되게 되었다. 또한 레디믹스트 콘크리트의 경우, 1968년 2개 공장에서 연간 $540 \times 10^3 m^3/yr$ 를 생산하던 것이 30년이 지난 1998년에는 총 728개의 공장에서 $324,396 \times 10^3 m^3/yr$ 를 생산하는 정도로 급격히 발전하였다.¹¹⁾ 이와 같은 생산량의 양적 팽창은 그동안 국내 건설시장의 확대와 사회간접시설의 확충으로 인한 결과이며, 2000년대에도 지속적인 정부시책 및 남북통일로 인한 고속도로와 철도의 건설 등으로 인하여 콘크리트 산업의 지속적인 발전이 예상된다.

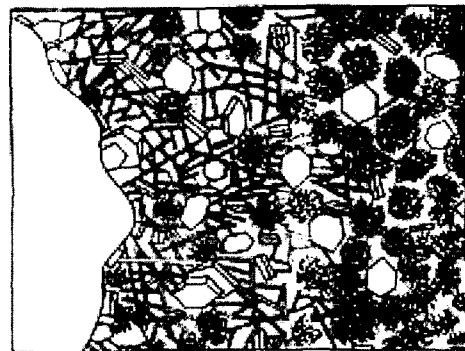
한편, 최근에는 건설기술의 첨단화로 인하여 인텔리전트 빌딩, 장대교량, 초고층 빌딩 및 특수구조물에 대한 수요가 증대하고 있으며, 이들 구조물에 적합한 고부가가치의 콘크리트 개발을 필요로 하고 있다. 또한 구조물의 안전 및 내구성 등을 향상시키기 위하여 고분자 화합물 등과 같은 신소재를 사용한 고성능의 콘크리트 및 신개념을 도입한 콘크리트 탄생의 필요성이 대두되고 있으며, 이 분야에 대한 연구가 선진외국을 중심으로 활발히 진행 중에 있다.

2. 콘크리트 구조물의 단점

콘크리트는 상대적으로 높은 압축강도와 화재

에 대한 저항성 및 공용기간동안의 낮은 유지관리 비용 등과 같이 다른 재료와 비교하여 우수한 장점을 지니고 있다. 댐 및 기초 등과 같이 높은 자중을 필요로 하는 구조물의 경우 콘크리트는 가장 효율적인 재료이며, 진동 및 처짐을 제어하여야 하는 장대 교량 구조물 또는 차폐성능이 필요한 원자력 발전소 또는 최근 시대가 요구하고 있는 고층빌딩 구조물 등에서도 상대적으로 강성이 크고, 내충격성 및 진동저항성이 뛰어난 콘크리트 재료의 사용은 계속 증가할 것이다.

그러나 분자간의 결합을 통하여 강도를 발휘하는 금속재료와는 달리, 콘크리트는 골재와 시멘트 페이스트간의 화학적 결합으로 형성된다(그림 1). 따라서 콘크리트의 품질은 골재간의 공극을 채우고 있는 시멘트와 골재의 성질 등에 의하여 복합적인 영향을 받는다.⁶⁾ 재료가 공장제작되는 강구조물의 경우는 구조물의 품질에 영향을 미치는 요소가 상대적으로 적은 반면, 콘크리트 재료의 경우에는 일반적으로 현장에서 재료가 혼합되고 제품이 생산되기 때문에 문제가 발생할 수 있는 여



골재 ↔천이영역↔시멘트 페이스트

그림 1 콘크리트의 계면

지가 상대적으로 크고, 문제 발생시 명확한 원인 규명이 어렵다. 많은 기술자들은 콘크리트의 많은 장점을 인정하고는 있으나, 품질관리 및 시공의 어려움 등으로 인하여 다루기 어려운 재료로서 인식하고 있으며, 따라서 대형교량 및 빌딩 등의 시공시 사용하지 않으려고 하는 움직임이 있는 것이 사실이다.

콘크리트 재료는 물, 시멘트 및 골재 등의 재료간의 결합이 시멘트와 물의 수화작용에 의하여 경화가 진행되고 강도를 발현하게 된다. 물과 시멘트가 반응하는 과정에서 수화열이 발생되고, 내부의 물이 증발하면서 콘크리트의 체적이 감소하는 건조수축 현상이 발생된다. 이러한 경우 재료 내부에는 인장응력이 발생하게 되어 미세한 재료적 결합이 존재하게 된다. 또한 콘크리트 재료는 각 재료간의 결합을 시멘트 페이스트에 의존하고 있기 때문에 압축강도에 비하여 인장강도의 크기가 상대적으로 작고, 재료의 파괴시 시멘트 페이스트와 골재의 계면을 따라 발생한 미세 내부균열이 진전되어 종국적인 파괴에 이르게 된다(그림 2). 이러한 특성으로 인하여 많은 콘크리트 구조물에는 시공단계에서 또는 사용하중 작용시 미세균열이 발생하게 되며, 미세균열의 진전 등으로 인하여 구조물의 열화가 가속화되고 특히, 철근콘크리트 구조물의 경우에는 철근의 부식 등으로 의한 추가균열 및 손상 등이 발생하게 된다.^{3),6)}

그림 3에는 철근콘크리트 구조물에서 염해 및 중성화 등의 이유로 인하여 철근의 부식이 발생할 경우의 구조물 손상기구를 시간의 경과에 따라

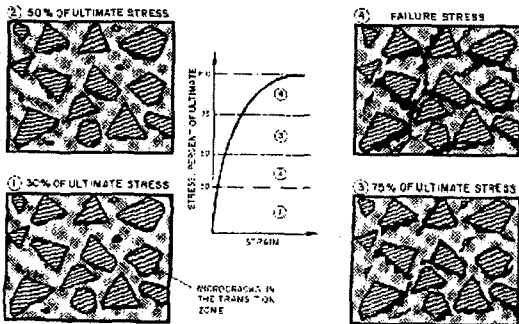
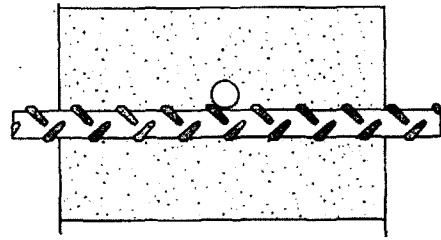
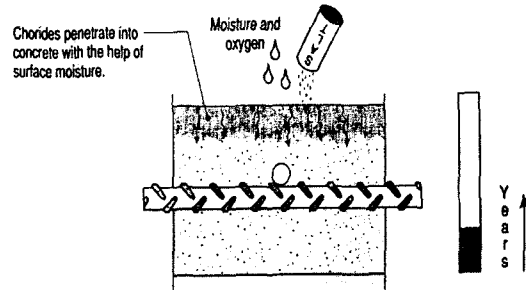


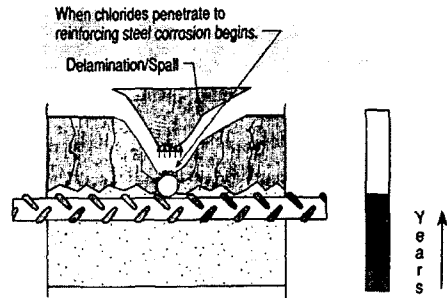
그림 2 하중단계에 따른 콘크리트의 미세 파괴 메카니즘



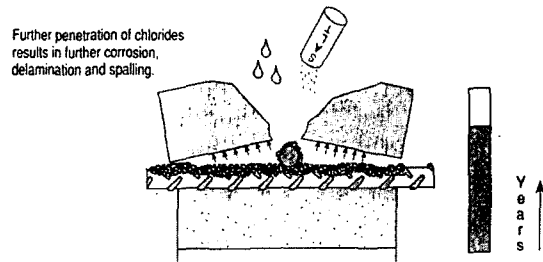
(a) 무손상 철근콘크리트 단면



(b) 염해에 의한 콘크리트의 열화



(c) 최외측 철근의 부식으로 인한 철근단면 증가 및 콘크리트 박리



(d) 균열 및 박리로 인한 철근과 콘크리트의 열화연상 가속

그림 3 철근콘크리트 구조물의 철근부식에 따른 열화기구³⁾

나타내었다. 철근콘크리트 구조물은 재료적 특성으로 인하여 손상의 위험이 상대적으로 높은 것이 사실이다. 콘크리트 구조물은 시공상의 부주의 등으로 인하여 밀실한 콘크리트가 제작되지 못하거나, 양생과정의 관리 소홀로 인하여 건조수축 등이 발생할 경우 미세균열이 존재할 수도 있다. 이 경우 콘크리트 내부의 철근은 외부의 수분 등에 노출되며 따라서 철근의 부식환경이 조성된다. 부식환경하에서는 철근단면이 부식에 의하여 팽창하게 되고, 그 팽창압으로 내부콘크리트는 균열에 의한 pop-out 현상 또는 박리가 발생하게 된다(그림 3(c) 참조). 이러한 현상은 시간이 경과할수록 더욱 가속화되며, 적절한 보수가 수행되지 않을 경우에는 그림 3(d)와 같은 치명적인 손상에 이르게 되는 경우도 있다. 또한 철근의 부식은 응력을 부담할 수 있는 철근의 단면을 감소시킴으로서 구조물의 내하력을 저하시키게 된다. 그러나 콘크리트 구조물의 내구성 및 구조적 손상의 원인은 재료자체의 원인에 기인한 경우도 있으나, 대다수의 경우가 시공 및 관리에 문제점이 있는 것으로서 적절한 관리가 수행될 경우 다른 재료에 비하여 상대적으로 우수한 역학적 특성을 갖고 있다. 그리고 재료적 단점의 경우에는 많은 연구 및 신소재의 활용 등으로 인하여 많은 단점이 극복되고 있다.

3. 고성능 콘크리트의 개발 및 활용

3.1 고성능 콘크리트의 필요성

콘크리트의 재료적인 단점을 극복하기 위하여, 새로운 콘크리트 재료가 개발되고 있으며, 개발된 재료의 활용이 점차 증가하고 있는 추세이다. 콘크리트는 시멘트 페이스트에 의한 입자간의 화학적 결합에 의하여 재료가 구성되는 재료적 특성으로 인하여 다른 균질한 재료에 비하여 강도 및 파괴거동이 상대적으로 취약하다. 또한 장대교량 및 고층구조물과 같이 구조물이 대형화됨에 따라 강재에 비하여 상대적으로 높은 자중과 낮은 인장강도 등은 무시할 수 없는 단점으로 인식되고 있으며, 경제성과 유지관리의 효율성 또한 내부식

성 강재 등의 개발로 인하여 지금까지의 장점이 상대적으로 작아지고 있다.

그러나 높은 내진성능, 내충격성 및 우수한 피로성능 등과 같이 다른 재료에서 획득할 수 없는 콘크리트 재료만의 특성을 대형화되고 특수화되는 첨단구조물에 적용, 발전시키기 위하여 많은 연구자들이 고성능 또는 고기능성 콘크리트의 개발에 관한 연구를 수행하고 있다. 예를들면, 골재의 종류와 실리카 흙 등의 혼화제의 사용량을 변화시킴으로써 콘크리트의 고강도화를 이루고 있으며, 플라이애쉬 등을 사용하여 시멘트 입자간의 미세공극을 채워주는 고수밀성 콘크리트가 등장하고 있다. 또한 근래에는 방사능 차폐용 콘크리트 및 고유동성 콘크리트를 개발하여 원자력발전소용 구조물 또는 수중 구조물의 건설이 가능케 되었다. 이러한 새로운 콘크리트의 개발은 다른 재료에 대한 경쟁적인 측면보다는 전체적인 건설기술의 발전으로 이어지고 있다.

3.2 고강도, 고수밀성 및 환경친화성 콘크리트

현재 국내·외에서는 강재와 비교하여 상대적으로 낮은 콘크리트의 강도를 증대시키기 위하여 실리카 흙과 같은 혼화제와 인공경량골재 등을 사용하고 시공방법을 개선시키는 노력들이 실행되고 있으며, 국내의 경우에도 일부 건축구조물에 압축강도 700 kg/cm^2 이상의 콘크리트를 사용하는 예가 증가하고 있다. 보통콘크리트에서는 골재와 시멘트 페이스트 계면에 그림 4와 같은 에트린자이트가 생성되게 되며, 계면의 부착성능을 저하시켜 균열이 계면을 따라 진전되도록 한다. 그러나 실리카 흙이 혼입된 콘크리트의 경우에는 그림 5와 같이 에트린자이트의 생성이 억제되고 내부 공극이 소멸 되어 계면파괴의 위험이 감소되며 경우에 따라서는 내부균열의 발전에 따라 골재가 파괴되기도 한다.⁶⁾

그러나 이러한 고강도 콘크리트는 강도 후 거동에서 보통콘크리트에 비하여 취약적인 강도특성으로 인하여 아직까지 그 사용이 증대되지 못하였으나, 근래에는 적절한 철근배근과 혼화제의

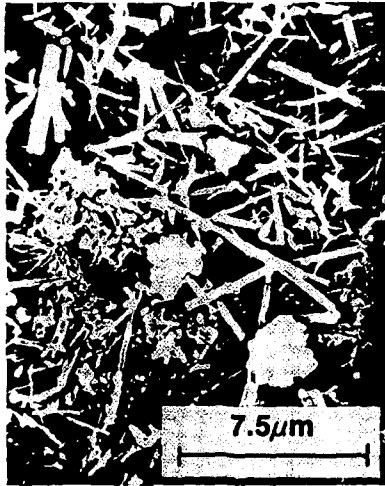


그림 4 보통콘크리트 계면의 미세사진

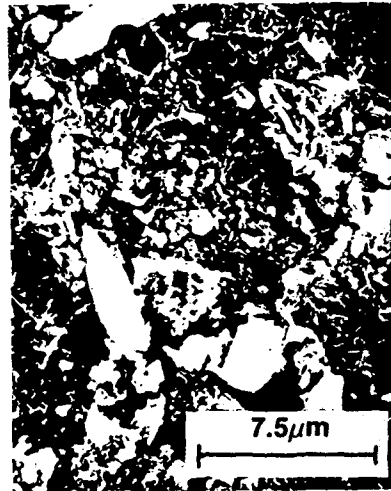


그림 5 고강도 콘크리트 계면의 미세사진

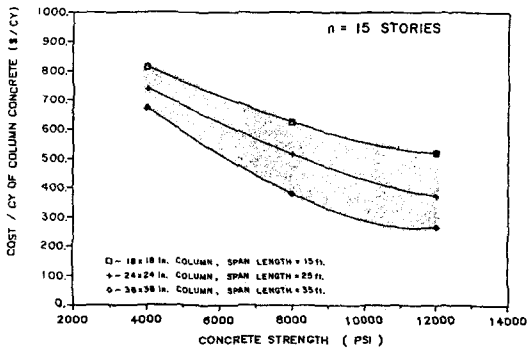


그림 6 고강도 콘크리트 기둥의 경제성 분석

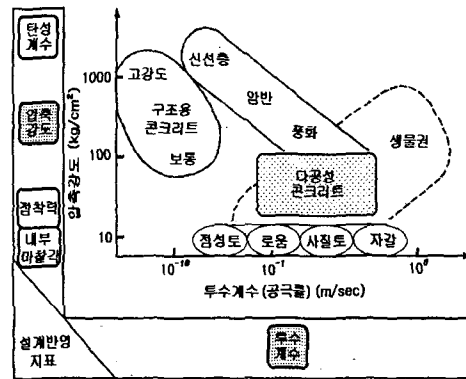


그림 7 다공성 콘크리트의 특성

사용으로 인하여 파괴특성을 변화시킬 수 있음이 많은 연구를 통하여 증명되고 있으며, 따라서 고강도 콘크리트를 사용한 구조물이 많이 건설되고 있다. 또한 지금까지는 고강도 콘크리트의 사용이 보통콘크리트에 비하여 상대적으로 경제성이 떨어지는 것으로 인식되었으나, 미국, 일본 등에서의 연구결과와 실제 활용예를 살펴보면 전체 건설비용면에서 보다 효율적인 것으로 나타나고 있다. 그림 6은 15층 건물의 기둥부 시공시의 강도에 따른 비용을 해석한 결과로써 콘크리트 압축강도가 3배 증가함에 따라 시공비용이 약 50%까지 절감되는 것으로 나타나고 있다. 이와 함께 고강도 콘크리트는 단면의 최적화 뿐만 아니라

강성 증대효과와 크리프와 건조수축에 의한 변형량을 최소화할 수 있는 장점이 있는 것으로 조사되고 있다.⁷⁾

한편 건설산업이 다양화하고 발전함에 따라 환경파괴에 대한 우려가 높아지고 있다. 특히 건설분야에서 발생하는 이산화탄소의 양은 전체 발생량의 40%를 차지하고 있다는 연구결과가 있으며, 건설분야에서도 환경보존에 대한 필요성이 급격히 대두되고 있는 실정이다. 따라서 기존 콘크리트 구조물 중에서도 지하박스구조물 및 발전소 구조물 등의 경우에는 뛰어난 방수 및 차폐성을 요구받고 있으며, 호안정지작업 및 사면정지작업 등에서는 다공성 콘크리트를 적용하여 동·식

물이 서생할 수 있는 환경을 인공적으로 제공하는 친환경성 재료의 개발 및 사용이 필요하게 되었다.

방사선 차폐 구조물 또는 지하구조물에 많이 사용되고 있는 고수밀성 콘크리트는 플라이 애쉬와 같은 미분말을 혼입함으로써 시멘트와 골재 사이에 존재하는 미세공극을 제거하여 콘크리트의 충전성과 미세 결합을 개선한 것으로서 크립프 또는 건조수축에 의한 재료적 변형을 최소화하고, 초기손상의 위험을 최소화할 수 있는 구조재료이다. 또한 수밀성 재료를 사용함으로써 화학약품용기 및 지하배수시설 등에 적용할 수 있고, 개선 발전을 통하여 수중구조물의 건설에도 사용될 수 있을 것이다.

이와는 반대로 도로포장 및 호안의 정지작업 등에 적용되고 있는 콘크리트 구조물들은 동·식물의 서식환경을 축소, 파괴하고, 건설산업에서 생산되는 산업폐기물들은 전체환경오염의 주범으로 인식되어 온 것이 사실이다. 그러나 근래에는 건

설산업의 발전과 함께 환경을 보호할 수 있는 콘크리트의 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 그 중의 하나가 환경친화적 콘크리트(Environmentally Friendly Concrete, 이하 ECO 콘크리트)의 개발이다. ECO 콘크리트의 기본조건은 기존 콘크리트의 강도 및 내구성을 갖고 있으면서 동시에 환경보존과 함께 생태계와의 조화와 경관보전 및 향상을 그 목적으로 하고 있다. 이와 같은 ECO 콘크리트의 대표적인 예가 다공성 콘크리트이다. 다공성 콘크리트는 그림 8과 같이 굵은골재 사이의 공극을 잔골재를 사용하지 않고 소량의 시멘트 페이스트만으로 결합시킴으로써 최소한의 강도를 유지함으로써 구조체로서의 기능을 수행함과 동시에 공극내부에서는 식물이 생존할 수 있는 환경을 만들어주는 것이다. 이와 같은 환경친화적 콘크리트는 하천변의 경사면 또는 산악도로의 사면 등에서 안정을 획득하면서 환경을 보호하기 위한 목적으로 그 사용이 증가하고 있는 상태이다.

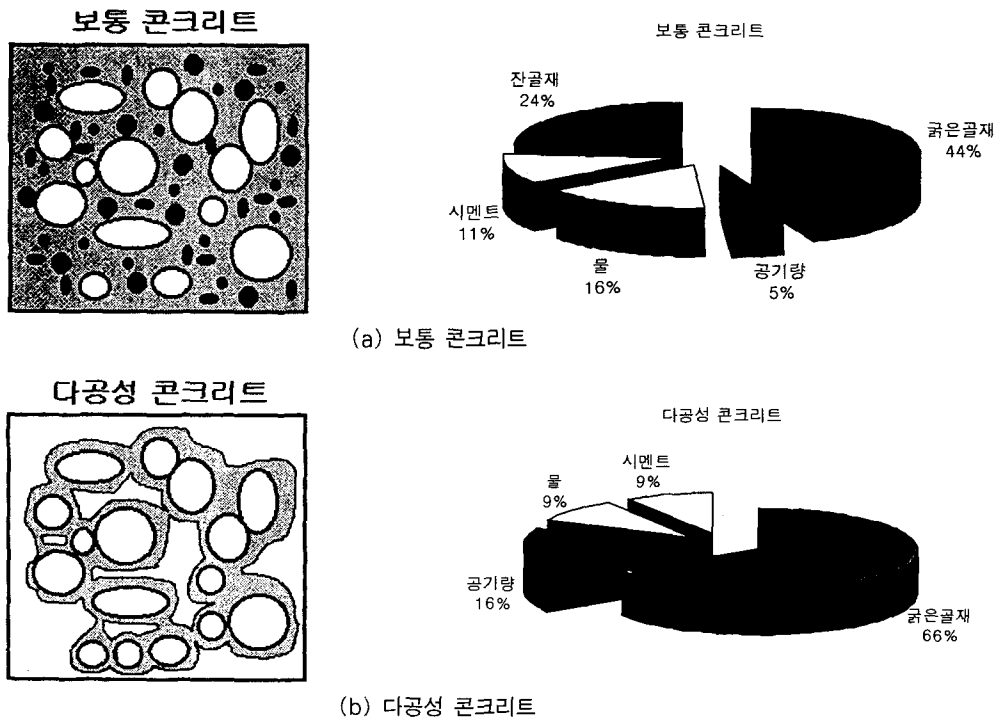


그림 8 다공성 콘크리트의 내구구성 및 용적비

3.3 섬유보강 콘크리트

콘크리트가 구조용 재료로서 가장 중요한 단점 중의 하나는 강재에 비하여 취성적인 재료라는 것이다. 인장하중을 받는 콘크리트는 최대강도후의 거동에서 급격히 파괴되는 형태를 나타내게 된다. 따라서 많은 연구자들에 의하여 콘크리트 매트릭스 내에 짧은 섬유를 혼입함으로써 정·동적 하중 및 충격하중 등에 대한 파괴저항능력인 콘크리트의 인성(toughness)을 증대시키는 방안이 연구되어 왔다.

외부 하중을 받는 일반적인 무근콘크리트의 경우 매트릭스내의 최대응력 발생부위에서 미세균열이 발생하게 되고, 하중이 증가함에 따라 미세균열이 골재계면을 따라 발전하는 주균열로 성장하게 되어 파괴된다(그림 2 참조). 섬유질 재료를 콘크리트 매트릭스 내부에 혼입함으로써, 균열발생이후 섬유의 부착응력 등으로 인하여 골재입자간의 결합이 증진되고, 따라서 콘크리트는 취성적인 파괴거동에서 연성적으로 변화된다. 그림 9는 강섬유의 형상에 따른 시험체의 하중-변위 관계를 나타낸 것으로서 1.0%의 강섬유에 의하여 구조거동이 완전히 변하는 것을 알 수 있다. 또한 그림 10은 콘크리트 매트릭스내에 탄소섬유를 혼입한 판(plate) 시험체에 충격하중 시험을 실시한 것으로서 내부 섬유에 의하여 균열이 분산되는 것을 나타내고 있다.

섬유보강콘크리트는 섬유의 종류, 형상, 혼입율 및 콘크리트 매트릭스내에서의 섬유의 분산 정도

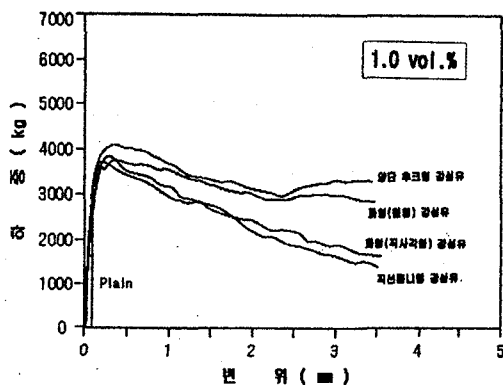


그림 9 섬유형상에 따른 하중-변위관계

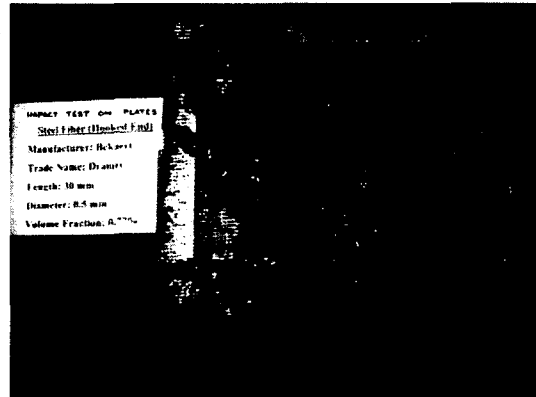


그림 10 섬유 보강콘크리트의 파괴형상

등에 따라 그 특성이 변화되며, 충격저항성 및 인성이 크게 증대되는 것으로 조사되고 있다. 지금까지 국내에서는 강섬유가 가장 많이 사용되었으나, 근래에는 탄소섬유, 유리섬유 및 폴리프로필렌 섬유 등을 사용하여 보-기둥 접합부의 내진성능 및 활주로 및 도로의 충격하중에 대한 저항성 향상을 위한 목적으로 연구가 진행되고 있다. 그러나 아직까지는 섬유보강콘크리트 자체의 사용보다는 철근콘크리트 부재의 구조적 단점을 보완하기 위한 방안으로서 사용되고 있다.

4. 신소재의 콘크리트 구조물에 대한 활용

최근 기계분야 및 항공우주분야 등에서는 탄소섬유 또는 유리섬유 등과 같은 복합소재와 폴리머와 같은 고분자 화합물의 활용이 활발히 진행되고 있다. 특히 자동차산업 등에서는 고강도 플라스틱을 사용한 자동차 차체의 개발 뿐 만 아니라 플라스틱 엔진이 개발되어 사용화 단계까지 발전되어 있다. 그러나 이러한 복합소재의 건설분야에서의 활용은 아직까지 초보적인 단계에 있으며, 기존재료의 대체 또는 기존 구조물의 성능향상재료로서만 사용되고 있다. 건설분야에서 신소재가 가장 친숙하게 사용되고 있는 분야는 유지관리 및 기존구조물의 보수·보강분야일 것이다. 에폭시와 같은 고분자화합물의 경우는 1980년대 초부터 균열 보수 등에 주로 사용되고 있으며, 탄소섬유쉬트(sheet)의 경우에는 노후화된 구조물의

특집기사

내하력 증진재료로서 사용되고 있다. 현재 국내 건설현장에서 많이 사용하고 있는 탄소섬유쉬트 보강공법은 공장에서 생산된 섬유를 현장에서 재단하여 에폭시로 구조물 외부에 접착시키는 공법으로서 신소재 활용의 기초적인 단계이다.

그러나 선진외국의 경우 외부보강재로서의 활용 뿐 만 아니라 신설구조물에서의 철근의 대체재로서의 활용방안을 모색하고 있으며, 실제 구조물에서의 사용 예가 증가하고 있는 상태이다. 특히 미국과 일본의 경우 그림 11과 같은 다양한 형태의 FRP(Fiber Reinforced Plastic)가 생산되고 있으며, 신설되는 콘크리트 구조물 내부에 철근의 대체재로 사용하고 있다.⁴⁾ 철근의 경우, 외부환경 변화에 따라 부식의 위험이 있으며, 피로에 대하여 상대적으로 취약한 것이 사실이다. 그러나 FRP의 경우에는 부식의 위험이 없고, 탄성재료로서 피로하중에 의한 강도저하가 거의 없다는 장점이 있다. 따라서 선진외국에서는 지난 10여년간 FRP를 사용한 콘크리트 구조물에 대한 거동 연구를 실험 및 해석 연구를 수행하였으며, 그 결과를 바탕으로 그림 12와 같이 탄소섬유 보강재를 사용한 PSC 거더를 제작하여 실제 교량을 시공하는 단계에 도달하였다.⁸⁾

이와 같이 복합소재의 활용에 관한 연구와 시공 예가 증가하고 있는 것은 근래에 개발되고 있는 신소재의 뛰어난 재료적 특성 때문이다. 복합소재의 경우 강재와 비교하여 높은 파괴강도를 갖고 있으며, 부식의 위험성이 없고 피로 및 충격하중 등에 대하여 상대적으로 우수한 역학적 성질을 갖고 있다. 그러나 건설분야에서 복합소재의 사용을 확대하기 위해서는 아직 많은 어려움이 있는 것이 사실이다. 탄소섬유 복합체의 경우, 전형적인 취성재료로서 최대강도 후 섬유가 완전히 파단되기 때문에 구조물에 적용할 경우 연성파괴를 위한 방안을 모색하여야 한다. 또한 폴리머와 같은 고분자 화합물의 경우에도 기존 콘크리트와 탄성계수 및 강도 특성에서 차이가 있기 때문에 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

또한 현재의 FRP의 활용은 그림 13과 같은 돔 구조물의 뼈대로서 강재의 역할을 대신하고 있는

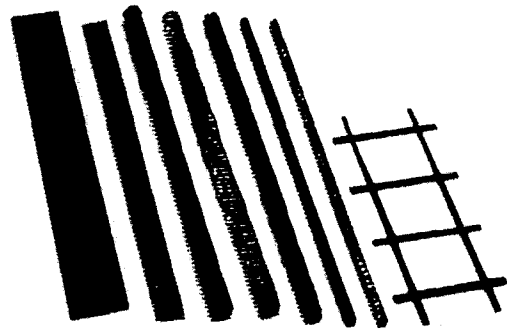


그림 11 FRP 보강재

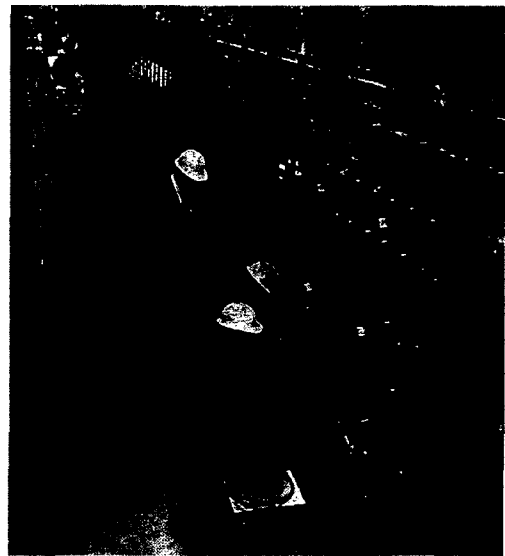


그림 12 FRP를 사용한 PSC 거더의 제작

며, 그 적용의 폭은 점차 확대될 것이다. 이와 같은 건설기술의 발전은 FRP를 적용한 콘크리트 구조물의 해석 기법이 개발되고 그에 대한 설계 방법이 제시됨에 기인한다. FRP 구조물의 개발초기에는 철근콘크리트 구조물에 대한 해석 기법 및 설계기법을 그대로 적용하여 사용하였다. 그러나 FRP 구조물의 경우에는 일반 철근콘크리트 구조물과 비교하여 보다 탄성적이고, 취성적으로 거동하기 때문에 구조물이 안전도가 상대적으로 작게 나타나게 된다. 따라서 많은 연구자들이 유한요소 해석 및 설계기법 등을 제안하였으며, 현재에는 이들을 사용하여 구조물을 설계하고 있다.



그림 13 FRP를 사용한 Truss 구조물

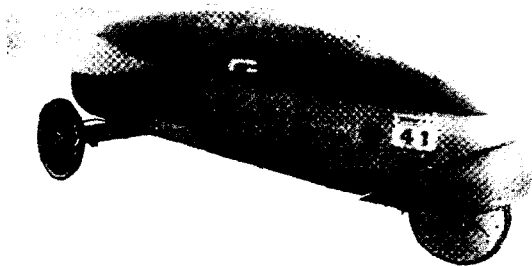


그림 14 시멘트복합체를 사용한 태양전지차의 개발

미래의 세계에서는 복합소재가 건설분야에서 활용될 뿐만 아니라, 반대로 지금까지 건설재료로서만 인식되어 왔던 시멘트계재료가 자동차와 선박 등의 제작에 그 사용이 시도되기도 한다. 일본의 경우 macro-defect-free 시멘트와 페놀레진으로 새로운 개념의 섬유보강시멘트-폴리머 복합체를 개발하여 그림 14와 같은 자동차의 차체를 시험적으로 개발하는 단계까지 발전하였다. 제작된 차체는 전체 중량과 판의 두께가 각각 33kg과 2.5mm 정도인 초경량, 초박형으로 제작되어 시멘트계 재료의 활용 분야를 첨단분야로까지 확대시키는 결과를 갖게 하였다.¹⁾

5. 프리캐스트 구조물의 활용 및 전망

강구조물이 비하여 상대적으로 많이 발생하는 콘크리트 구조물의 손상의 원인은 품질관리가 상대적으로 취약한 현장에서 콘크리트를 타설하고, 시공하는데 있다. 강구조물의 경우, 품

질관리가 철저한 공장에서 강재의 생산과 재단이 이루어지며, 품질규격에 맞는 제품만을 사용하여 현장에서 조립 시공이 이루어지는 반면, 콘크리트 구조물의 경우에는 철근 배근 및 타설이 현장에서 이루어지기 때문에 정확한 품질관리가 어렵고, 하자발생시의 보수 등으로 인하여 추가 비용이 발생하기 때문에 경제적인 손실이 발생할 위험이 많다.

따라서 구조물의 초기하자 발생 위험을 감소시키고 내구성을 향상시키기 위한 방법으로서 프리캐스트 제품을 사용하여 구조물을 시공하는 방안이 강력하게 등장하고 있다. 프리캐스트 제품은 공장에서 충분한 품질관리와 제품의 규격화를 통하여 경제성과 제품의 안전성을 최대한 획득한 것으로서 국내에서는 건축분야를 중심으로 그 사용이 급격히 증가하고 있는 상태이다. 특히 아파트 건설현장에서는 벽체 및 기둥을 프리캐스트 제품을 사용함으로써 구조를 규격화하고, 현장에서의 하자발생요인을 최소화하는 효과를 거두고 있다. 외국의 경우에도 대부분의 건설현장에서 프리캐스트 제품을 사용하고 있으며, 토목분야에서도 그 활용이 증가하고 있는 추세이다.

특히 중·소규모 교량의 경우, 미국의 교량 대다수가 거더와 상판을 프리캐스트 제품으로 사용하고 있으며, 최소한의 부분만을 현장타설로 시공하고 있다. 일본의 PSC I형 교량의 경우에서 현장타설 콘크리트와 프리캐스트 제품의 비가 20% 정도인 것으로 조사되고 있다.³⁾

현장 인건비의 상승 및 환경오염 등에 대한 관심고조 등으로 현장타설콘크리트의 사용은 점차 감소할 수밖에 없으며, 경제성과 품질관리의 측면에서도 프리캐스트 부재의 사용이 증가될 전망이다. 앞으로는 프리캐스트 제품의 종류도 벽체 또는 거더와 같이 단순 부재 뿐만 아니라, 보-기둥 접합부, 교량의 상판 및 발전소의 외벽 등과 같이 복잡한 구조물도 생산, 사용될 것이다. 그러나 이러한 프리캐스트 제품을 생산하기 위해서는 건설시장의 확대와 각 구조물의 표준화 및 규격화가 선행되어야 하며, 건설기술자의 인식 또한 전환되어야 할 것이다. 앞으로의 프리캐스트 콘크리트 부재의 생산 및 사용은 FRP 등과 같은 신소재를

사용한 구조부재의 경량화 및 단면의 최소화를 이루는 방향으로 변화될 것이며, 전체적인 구조물이 각 공장에서 생산된 단위부재들을 현장에서 기술자 의하여 단순 조립하는 형식으로 변화되어 갈 것이다.

6. 결 론

콘크리트는 재료의 특수성으로 인하여 사용된 지 180여년이 지난 아직까지 많은 건설기술자들이 다루기 힘든 재료이며, 기술적 발전이 이루어지지 않은 가장 전통적인 재료로서 인식되고 있다. 그러나 콘크리트 재료는 산업 기술의 발전과 함께 그 사용부분이 점차 확대되어 왔으며, 기술 또한 많은 발전을 거듭해 왔다. 이러한 변화와 발전은 많은 연구자와 기술자의 진취적인 노력의 결과이며, 앞으로도 이와 같은 발전은 계속될 것이다.

콘크리트 재료는 다른 재료가 갖지 못한 피로 저항성 및 내충격성 등의 기존의 장점을 극대화하고, 폴리머와 FRP와 같은 신소재를 사용하여 단점을 극복함으로써 2000년대의 건설산업의 발전에서 주도적인 역할을 할 것이다.

앞으로의 건설환경은 지금까지의 콘크리트와 강구조물이 아닌 FRP와 폴리머와 같은 복합소재에 의한 구조물의 시공으로 점차 변화하게 될 것이다. 현재의 폴리머 중합체는 부분적으로 합침시키거나, 배합시에 혼화제로서 부분적으로 사용되고 있으나, 앞으로는 폴리머가 주재료의 형태로 변화하게 될 것이며, 먼 장래에는 강재 대신 FRP, 그리고 매트릭스는 콘크리트 대신 폴리머 중합체로 변환되어 공장생산된 프리캐스트 제품만으로 초대형구조물이 건설되는 날이 올 것이다.

참 고 문 헌

1. ACBM, "Solar-Powered Car made from MDF Cement" *Cementing the Future*, Vol. 9, No. 1 spring, 1997, pp.1
2. Chung, D.D.L and Chen, Pu-Woei, "Carbon Fiber Reinforced Concretes as an Intrinsically Smart Concrete for Damage Assessment During Static and Dynamic Loading", *ACI Material J.*, 93(4), 1996, pp.341~350
3. Emmons, P. H., *Concrete Repair and Maintenance Illustrated*, R.S.Company
4. Fukuyama H., "FRP Composites in Japan", *Concrete International*, Vol. 21, No. 10, October, 1999, pp.29~32
5. Hassoun M. N., "Design of Reinforced Concrete Structures", PWS Engineering, 1985
6. Neville, A. M., *Property of Concrete*, Longman, 1995
7. Smith, G. J and Rad, F. N., "Economic Advantages of High-Strength Concretes in Columns", *Concrete International*, Vol. 11, No. 4, April, 1989, pp.37~43
8. Tadros G, et al, "The New Generation", *Concrete International*, Vol. 20, No. 6, June, 1998, pp.35~38
9. Yamane T., et al, "Short to Medium Span Precast Prestressed Concrete Bridges in Japan", *PCI J.*, Vol. 39, No. 2, march, 1994, pp.74~101
10. 강석화, "전기전도성 콘크리트", 콘크리트 학회지, Vol. 10, No.6, December, 1998, pp.34~40
11. 한국레미콘 공업협회, "레미콘, 통계자료", 통권 62호, 1, 2000, pp.122~127 