

특수 고강도 콘크리트의 개발동향

변근주¹⁾, 노병철²⁾, 이승열³⁾, 이용진³⁾

1) 연세대학교 토목공학과 교수

2) 연세대학교 대학원 박사과정

3) 연세대학교 대학원 석사과정

1. 서론

21세기를 목전에 두고 있는 인류는 3대과제를 안고 있다. 인구의 폭발적 증가, 도시권예의 고밀도 인구집중, 고도정보화 사회로의 급변이 그것이다. 이런 과제에 응하기 위한 콘크리트 관련자의 임무는 타 분야와 마찬가지로 신소재 첨단기술의 개발 및 응용일 것이다. 신소재 콘크리트, 신뢰도가 높은 콘크리트, 새로운 콘크리트구조 및 시스템의 개발, 그에 적합한 설계기술 및 시공기술의 체계화를 이룩해야 할 것이다. 신소재 콘크리트 분야에서는 신소재 섬유를 이용하는 섬유보강 콘크리트, 유기질 및 무기질 신소재를 이용하는 폴리머 콘크리트, 고강도 콘크리트 및 고강도 경량콘크리트, 특수 수중콘크리트, 우주 콘크리트의 개발과 이용이 관심의 대상이 된다. 또한 결함이 없고 내구성이 좋으며, 다짐이 필요없는 콘크리트 즉 신뢰도가 높은 콘크리트를 개발하고, 고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용하는 구조요소 및 시스템과 그에 맞는 설계 및 시공법이 개발되어야 할 것이다. 따라서 본 고에서는 이상의 과제들 중에서 신뢰도 높은 콘크리트, 신소재 특수콘크리

트, 설계의 체계화등에 관한 최근의 동향을 기술하고자 한다.

2. 신뢰성 있는 콘크리트

콘크리트구조에 관한 최근의 최대관심사는 콘크리트구조의 내구성이다. 현재까지의 설계개념은 부재나 구조가 충분한 강도를 갖도록 설계한 후 내구성을 검토하는 것이지만, 장차는 먼저 내구성 설계를 하고 강도를 검토하는 개념으로 전환될 것으로 예상된다. 이를 위하여는 굳지않은 콘크리트를 본질적으로 이해하고 콘크리트 공장제품의 이용을 극대화하여 설계상으로 내구성을 확보하고자 하는 내구성 설계의 확립이 첫째 개념이다.

두번째 개념은 내구성 설계를 확립하고, 다짐이 필요없는 콘크리트와 시공시스템을 개발하는 것이다. 즉 콘크리트 내외로부터의 공기나 물의 이동을 차단하고, 다짐을 하지 않고서도 충분한 강도를 가지면서 결함이 없거나 최소로 하는 콘크리트를 생산하는 것이다. 이를 위하여는 저발열, 저수축의 시멘트와 고유동성, 저재료분리성의 혼화재료를 개발하여야 한다. 물론 현재도

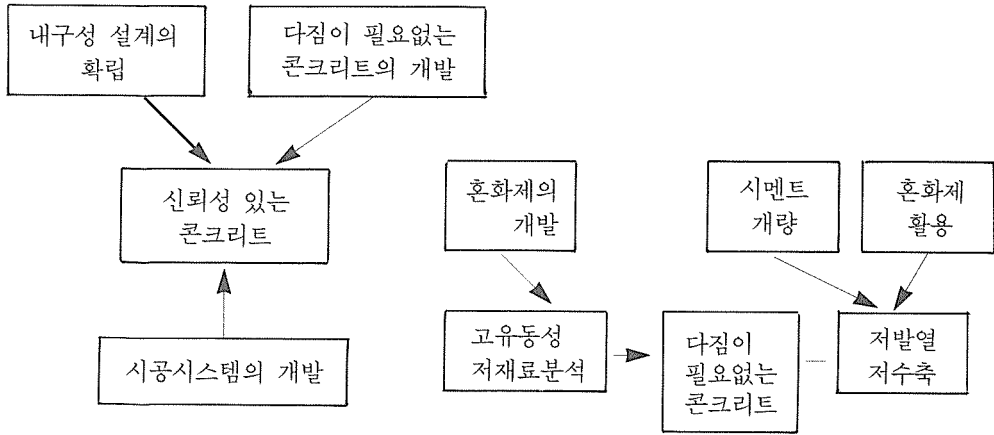


그림 1. 신뢰성 있는 콘크리트의 개발

무수축시멘트, 저열시멘트, 수축저감제등을 독립적으로 사용하여 경화수축, 경화시의 수화열, 건조수축등을 해결할 수 있는 방법이 개발되어 있지만 각각의 장단점을 모두 가지고 있는 실정이고, 개발의 여지가 많다.

3. 새로운 콘크리트 구조에의 도전

압축강도가 400kg/cm²을 넘는 콘크리트를 토목 및 건축구조물에 사용하게 되면, 콘크리트 구조분야에 새로운 바람을 안고 올 것이다. 고강도 콘크리트를 사용하는 철근콘크리트 구조에서는 고강도 철근과 고강도 전단 보강철근을 사용하는 것이 유리하다고 알려져 있기 때문에 고강도 콘크리트와 고강도 철근이 동시에 사용 될 전망이다.

현 시점에서 보면 우리는 고강도재료의 제조 및 시공, 설계기술 및 설계시방서의 체계화에 문제점을 가지고 있는 실정이다. 현 시방서는 콘크리트의 강도가 140~420kg/cm², 철근은 SD24~SD40 사이에 적용할 수 있도록 체계화 된 것이기 때문에, 이 시방서를 적용하게 되면, 고강도 재료의 특징을 살릴 수 없게 된다.

장차 우리의 관심은 콘크리트의 강도가 350~900kg/cm², 철근은 SD40~SD130인 재료에 집중될 것이므로, 재료의 제조 및 시공, 구조성능 평가기법, 설계 및 시공법의 체계화에 관한 연구가 선행되어야 한다.

현 단계에서는 프리캐스트콘크리트에 400~800kg/cm²의 고강도 콘크리트를 사용하고는 있으나, 국내의 교량에서는 400kg/cm² 이하의 콘크리트를 주로 사용하고, 일본에서는 25층의 건물에는 360kg/cm², 30층에서는 420kg/cm²을 사용하고, 중·저층에는 고강도를 사용하지 않고 있으며, 사용하더라도 주로 고층건물의 기둥에 사용하는 정도이다. 고강도콘크리트는 극한강도 이후의 내력이 급격히 저하하여 인성의 문제가 있으므로 구속철근에 의한 보강이 필요하고, 고강도 철근은 신율이 적고 이음의 문제도 있으므로 재료의 개량이 필요한 상황이다. 따라서 고강도 고품질의 콘크리트와 철근의 개발, 철근이음, 시공성, 품질신뢰도, 재료 특성, 시공기술, 프리캐스트 부재의 제조 및 시공기술, 성능평가등 재료에 관한 표준사양이 첫째로 개발되어야 한다.

두번째로는, 고강도재료의 사용으로 인한 단면축소와 강성저하, 항복시의 강성저하,

내력 및 변형능력, 보-기둥 연결부 설계, 정착길이와 이음길이등의 부착성능, 철근의 이음(압접 또는 기계식이음)과 철근의 절곡 기술, 내진설계, 구조의 성능등에 관련된 구조성능 평가기법이 개발되어야 한다.

세번째로는 고강도의 이점을 살리고, 구조의 인성, 부착, 강성의 단점을 설계기술로 보완할 수 있는 설계 및 시공기술의 체계화가 이루어져야 한다.

이상의 것들이 보완되면 구조의 품질(내구성, 기능성)이 비약적으로 향상되고, 초고층건물과 장대 콘크리트교량이 출현하며, 구조의 신뢰도가 향상되고, 기술의 체계화가 이루어지고, 기술개발을 유도하게 되고, 업계는 국제경쟁력을 갖게 되고, 활성화될 것이다.

4. 신소재의 개발과 이용

각 방면에서 신소재가 개발되어 화제가 되고 있지만, 건설분야에 깊이 침투되어 있지 않고, 고 부가가치 제품에만 편중되어 있기 때문에 아직 신소재가 건설에 널리 활용된다고 할 수 없으나, 미래에는 건설분야의 기존의 재료, 설계 및 시공기술의 개혁에 한 몫을 할 것으로 기대된다. 현재로는 신소재의 4대 개발분야는 전자기기 등 정보처리와 전달분야, 자동차의 세라믹엔진과 고속철도 등 고온 초전도체분야, 항공기, 로켓트, 인공위성 등의 고속비행체분야, 원자력, 핵융합, 태양전지 등 에너지 — 전환기기분야 등이다.

1) 최근의 신소재

20세기의 4대 소재는 목재, 시멘트, 강, 플라스틱이었으나, 최근에는 기술의 진전에 따라 고품질의 다양한 소재가 개발 이용되고 있다. 즉 (i) 새로운 에너지 산업에는 발전용의 고온고압 내력재료 Co기와 Ni기의 내열합금, 세라믹코팅재, W강화합금등이

개발되었고, 원자력용으로 Co합금, 열매체용해 NaK에 대한 내식재, 핵융합로용전도자식 (Nb-Ti계, V-Ga계), 전력용 태양전지, 수소저장 합금의 개발이 진행되고 있다. (ii) 항공 우주산업에는 항공기체의 경량화를 위해 탄소와 Aramid의 양섬유를 병용한 FRP복합재료, 우주선에 내고온성의 Boron강화알루미늄, 온도 1274℃에 견딜 수 있는 탄소복합재료 및 내열타일이 개발되고 있다. (iii) 수송에는 자동차에 효율이 높은 세라믹엔진 (질화규소, 탄화규소, 알루미늄, 사이아론등의 재료를 소결체 또는 피복재로 사용), 차체에 FRP의대폭사용, Aramid섬유 타이어, 가솔린분사의 최적화 시스템, Linear motor car등이 집중적으로 개발되고 있다. (iv) 정보통신 분야에서는 반도체소자, IC, 수광소자, 다이오드, 광섬유, 액정재, 레이저광의 응용, 고성능 전산기, OA기기, 통신망, Date-base processor, 고화질 TV, 번역시스템, 인공두뇌등이 개발중에 있다. (v) 기타의 분야에서도 초정밀가공, 기계의 NC조작, 산업로봇, 자동제어, CAD시스템, 각종센서, 가정용Faximile, 분리막에의한 탈염조수, 공기중의 산소분리, 인공장기, 인공혈액, 단백질합성, 신 의약품 및 진단시스템, bio기술의 이용, 기능성 고분자의 설계등 다양하게 개발 추진되고 있다.

2) 건설분야에 이용되는 신소재

제2차 세계대전 후 PS콘크리트, 합판, 인공경량골재, ALC의 이용 1960년대 이후의 고속도로, 지하철, 항만, 고가도로, 초고층건물의 건설, 기계화 시공, 공사의 대형화, 레미콘의 등장, 펌프카에 의한 시공, 다양한 혼화재료, 고강도강재, 자동용접, 대형 H형강, 신기초공법, 신굴착공법, pre-fab시공, 프리캐스트 부재의 활용, 각종 공장제품의 사용, 조적구조의 등장, 한편 합성수지재료, 새로운 목질제품, 알루미늄제품,

스텐레스제품, 다양한 조적제품등이 출현했고, 1973년 석유파동 이후에는 에너지 절약과 환경보전의 측면을 고려하여 제철슬래그, 탈황석고, Fly Ash, 폐지의 이용이 대두되어 왔다.

그중에서도 복합재료(Composite materials)가 등장하여 PC, 도로포장, 터널수로라이닝, 보수재, 방수사면붕괴방지, 프리캐스트부재의 이용, 탱크, FRC, 건축, 굴뚝, 조적재 등에 활용한 것은 괄목할 만한 발전이다. 섬유보강 복합재의 발전은 제1세대에서 경량화와 강성, 제2세대에서 강도와 인성, 현재 제3세대에서 다기능성, 차기의 제4세대에서는 Wisker의 이용으로 이어질 전망이다. 콘크리트계의 복합재료는 제일먼저 polymer-concrete, resin concrete, 섬유보강 콘크리트(FRC-SFRC, GFRC), ferro-cement 등이 시발점이고, 근년에는 Aramid섬유, 탄소섬유등을 이용하여 고강도콘크리트의 강도증진과 인성을 향상시키려는 시도가 행해지고 있다.

고강도 콘크리트를 제조하는 원리와 방법을 수록하면 표 4.1과 같다. 표 4.1에서 알 수 있듯이 시멘트이외에 결합재료로서 폴리머-레진을 이용하거나, 섬유등의 보강재를 이용하는 방법이 있는데, 여기서는 이 두방법에 관하여 기술한다.

5. 섬유보강콘크리트

콘크리트의 인장, 휨, 충격강도를 증대시키고, 균열에 대한 저항성을 높여 인성을 대폭 개선할 목적으로 모르타 및 콘크리트에 유리섬유, 강섬유, 탄소섬유등의 섬유질을 넣은 구조용 복합재료를 섬유보강 콘크리트(Fiber Reinforced Concrete)라고 한다.

1) 신소재 섬유의 종류

FRC에서는 높은 인성이 요구됨과 동시에 내수, 내알카리, 내기후성, 내염수, 내산성이 요구되고, 때로는 건물에서 내열성이 요구되기도 한다. 콘크리트에 사용되는 섬유로는 현재까지 주로 유리섬유와 강섬유가 주종을 이루고 있었으나 신소재 섬유로는 크게 세라믹계, 금속계, 폴리머계가 있다.

이중에서도 세라믹계와 금속계의 양섬유는 금속복합 FRM, 세라믹복합 FRC(Fiber-Reinforced Ceramic)에서 실용화되고 있다. 세라믹계 신소재섬유에는 탄화규소, 비결정질의 Tyrano, alumina, 탄소, Boron, Potassium titanate, 질화규소, Zirconia섬유가 있고, 금속계에는 Titanium Wire, Amorphous, metal, Stainless강섬유등이 있고, 폴리머계에는 Aramid, 액정 Polyarylate, 고강도 Polyethylene섬유가 있다.

표 4.1 고강도 콘크리트의 제조원리와 방법

원 리	방 법	감수제	결 합 재		활성 골재	Autoclave 양 생	가압 다짐	섬 유 보강재
			혼화재	폴리머-레진				
W/C비의 저감		0					0	
공극율의 저감			0	0			0	
골재와의 부착증대				0	0			
시멘트수화물의 개선						0		
보강재의 이용								0
시멘트이외의 결합재사용				0				

이상의 것들 중에서 콘크리트 보강용으로 Potassium titanate와 Zirconia를 제외한 것은 모두 우수한 보강효과가 있다고 알려져 있다. 세라믹계 섬유는 고강도, 고인성, 내구성이 우수하고, 금속계의 3섬유는 내식성이 강하고 변형능력이 우수하다. 폴리머계 섬유는 통상 합성섬유 즉 폴리아크릴, 폴리에틸렌, 나이론, 폴리프로필렌보다 훨씬 고강도이고 불연성의 Super fibers가 있어서 FRC의 이중효과가 기대되는 것이 있다. 이하에서는 주요섬유의 특성을 간단히 기술한다.

2) 신소재 섬유의 특징과 물성

(가) Wisker 섬유

금속세라믹의 결점을 보완하기 위하여 화학반응으로 생성시킨 전혀 격자결합이 없는 단결정체 세라믹 섬유로서, Al_2O_3 , BeO, B_4C , SiC, Si_3N_4 , Graphite 섬유등이 있는데, 직경이 1~100 μm , 길이 0.05~30mm, 인장강도는 1,000~2,000kg/mm² 정도로서, Wisker의 강도는 보통재료의 약100배, 섬유재의 약10배에 상당한다. 강도, 내식성, 내열성도 우수하지만 아직 콘크리트 보강효과와 문제가 있으므로 장차 FRC에의 적용연구가 진행되어야 할 섬유이다.

(나) Armophous 금속 섬유

비결정질의 이 섬유는 결정질보다 고강도, 고내식성, 내소성 변형능력을 가지고 있으며, 지름은 100~125 μm , 인장강도 330~380kg/mm² 비중 7.28~7.8이고, FRC로서의 보강효과가 크기 때문에 사용이 확대될 전망이다.

(다) 무기계 고강도 장 섬유

이 영역에 속하는 PAN계와 Pitch계의 탄소 섬유는 고강도용, 고성능용, 고탄성용, 범용의 4가지가 있어서 용도별로 선택할 수 있고, 탄화규소(SiC) 섬유는 1,000~1,100 $^{\circ}C$ 의 내열성이 있어서 금속복합재, 콘크리트 복합재료로도 사용하는 것이다. Tyrano 섬유

(Si-Ti-C-O)는 지름 12mm, 비중 2.4, 인장강도 250kg/mm², 내열온도는 1,250 $^{\circ}C$ 이상으로서 특히 내열, 내식성이 요구되는 FRC에 이용되고, 질화규소 섬유(Si_3N_4)는 1,200 $^{\circ}C$ 에서 계속사용이 가능하므로 인공위성, 초음속기, 터빈엔진등에의 이용이 검토될 정도로 보강효과가 크다. 또한 Boron 섬유는 강도와 내구성이 풍부하여 FRM, FRP, FRC에 이용할 수 있고, 특히 부착성이 좋고 인성효과가 크며, 결정질 알루미늄 장 섬유는 알루미늄에 첨가되는 SiO_2 의 성분비에 따라 섬유의 연성이 좌우되고 특히 내열성이 뛰어나 고온재, 방열재, 절연재, AI복합재료도 쓰이고, 내열용 콘크리트 보강재로 적합하다. Potassium titanate 섬유는 NASA가 개발한 것으로서 천연상태로는 존재하지 않는 합성화합물로서, 화학적으로 안정성이 있고, 침상 결정질이나, 미분말 상태로 존재하므로 장 섬유가 실현될 때까지는 콘크리트에 적용키 어려울 것 같다.

(라) 고분자 고강도 섬유

일반 합성 섬유로는 얻을 수 없는 고강도, 고탄성의 신소재로서, 속칭 Super fiber라 하는데, 그중 Aramid 섬유는 가벼우면서 강도는 강에 가깝고, 내식성이 있으며 온도 204 $^{\circ}C$ 까지는 안정하며, FRC로서의 보강효과가 커서, 특히 해양 콘크리트에 적용되고 있다. Polyarylate 섬유(PAR)는 고장력 섬유로서 고강도, 내충격성, 불연성이고 FRC의 보강효과는 Aramid보다도 우수한 것으로 알려져 있고, 초고분자량 폴리에틸렌 섬유(PE)는 분자량이 100만 수준을 넘는 것으로서, 분자고리를 한 방향으로 이상적으로 배치한 Super fiber의 한 종류로서 FRC에의 이용이 기대되는 섬유이다.

3) 섬유 콘크리트의 배합

보통 콘크리트와는 다르게 섬유와 매트릭스 사이의 충분한 부착을 위하여는 많은 시멘트풀이 필요하므로 시멘트량을 늘이거나,

대신에 포졸란을 사용하기도 한다. 일반적으로 시멘트 함량이 많기 때문에 공기함유량이 6~9% 정도로 많이 필요하고, 부착효과를 위하여 20mm이하의 골재를 사용하고, 작업성을 위하여 40~60%의 물·시멘트비를 채용하는 것이 일반적이다. 비비기에는 보통 믹서를 사용하고, 양생도 보통콘크리트의 경우와 동일하게 하여도 된다. 섬유콘크리트의 성질에 중요한 영향을 미치는 인자는 섬유혼입량, 섬유의 기하형상, 섬유형상비(fiber aspect ratio), 섬유의 분포등이며, W/C비, 공기량, 밀도등도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 강섬유의 경우에는 지름 0.25~0.76mm, 섬유길이 25mm이상(aspect ratio 75~100), 섬유혼입율은 1.0~2.0%정도이고, 섬유의 혼입율이 높고 섬유가 고르게 분포되면 FRC의 역학적 성질이 크게 개선되는 반면에, 혼입율과 섬유길이 증가할 수록 워커빌리티와 균등분포에 문제가 생긴다.

한편 유리섬유는 지름 0.005~0.015mm의 단선 또는 결합선이 사용되는데, 길이는 25mm정도, 섬유혼입율은 1.0~2.0%가 사용되지만, 섬유의 길이가 증가하면 휨강도는 거의 2배 이상 증가하고, 충격저항에 대한 연성과 인성이 수십배까지 증가될 수 있다.

일반적으로 섬유혼입율이 증가하면 섬유콘크리트의 역학적 특성 및 강도특성이 상당히 개선되는데, 특히 휨강도와 인성이 증가하고 후균열 저항력의 증가율이 높으며, FRC의 탄성계수가 증가하는 반면에 전단변형은 감소하는 경향이 있다. 또한 섬유길이는 인장강도에 미치는 영향은 적지만 후균열 저항에 큰 영향을 준다. 섬유간격은 섬유혼입량과 관계되는 것이지만 균열면의 단위면적당 섬유량이 많을수록 즉 섬유간격이 좁을수록 섬유보강 효과는 크다. 섬유의 분포방향은 FRC의 인장강도보다는 균열 성장저항에 영향을 크게 미치며, 섬유가 작용력과 수직으로 배열되면, 매트릭스의 인장강

도를 초과한 후에는 균열저항성이 없으며, 작용력과 평행하게 배열되면 임의 방향으로 분포된 경우보다 인성이 약30%정도 증가하게 된다.

4) 신소재 섬유보강 콘크리트의 역학 특성
강섬유의 혼입율을 2%로 하고, 길이는 20~40mm, 지름 0.3~0.6mm의 강섬유를 사용한 SFRC의 성능을 보통콘크리트와 개략적으로 비교하면 표 5.1과 같다.

표 5.1 SFRC와 보통 콘크리트의 성능비교

항 목	보통콘크리트에 대한 비
초기균열강도	1.5~2.0배
인장, 휨강도	1.5~1.8배
압축강도	1.0~1.3배
전단강도	2.5~3.0배
인성	40~200 배
피로강도	개 선
내충격성	5~10배
내열성	현저한 개선
동결융해저항성	비슷함
균열에 대한 저항성	2~10배
신장능력	약2배

표 5.1에서 볼 수 있듯이 인성, 내충격성, 균열저항성이 현저히 증대됨을 알 수 있고, 압축강도의 증가는 크지 않음을 알 수 있다. 그리고 섬유별로 휨 변형특성을 모형화하면 그림 5.1과 같고, 그림에서 볼 수 있듯이 신소재일수록 유망한 보강재임을 알 수 있다.

5) 섬유보강콘크리트의 적용

강섬유: 현장타설콘크리트: 도로 및 비행장 포장, 포장 덧씌우기, 공장바닥, 수리구조물, 터널라이닝, 암의 사면안정, 유색지붕 슬래브등

프리캐스트 부재: 맨홀, 슬래브, 해양구조, 파이프, 내화물, 기계기초, 거푸집, 계

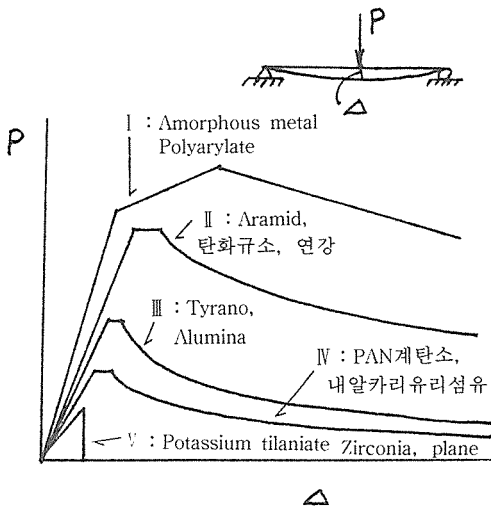


그림 5.1 FRC보의 P-Δ 곡선의 모형화

단, 내폭열 외장패널등

폴리에틸렌 섬유: 원통갱, 외장패널, 항만계류 Unit, 장식외장패널, 목재대용, 맨홀, 박판제품 등

유리섬유: 외장패널, 영구거푸집, 2차제품, 수리구조물, 해양부유구조물, 표면도포, 수조, 수영장, 곡물사이로등.

6. 폴리머 콘크리트

1) 폴리머 콘크리트의 분류

콘크리트 구조체를 결합재(matrix), 충전재(filler) 및 보강재(fiber)로 구성되는 복합재료로 정의할 경우, 폴리머 콘크리트는 시멘트풀의 일부 또는 전부를 폴리머로 치환하여 폴리머가 직접 결합재의 역할을 하도록 한 콘크리트이다.

폴리머 콘크리트는 결합재의 구성 및 제조방법에 따라서 다음과 같이 크게 3분야로 분류되고 있다.

(가) 폴리머 포틀랜드 시멘트 콘크리트: Polymer-portland-cement concrete (PPCC)

(나) 폴리머 침투콘크리트: Polymer-

impregnated concrete (PIC)

(다) 폴리머 콘크리트: Polymer concrete (PC) 또는 Rensin concrete

폴리머 포틀랜드 시멘트 콘크리트는 시멘트와 수용성 또는 분산형 폴리머를 혼합하여 콘크리트를 타설한 후, 양생과정에서 polymer network을 형성하도록 한 것으로 무기질 시멘트와 폴리머가 골재의 결합재로 작용하게 된다. 폴리머 침투콘크리트는 경화된 기존 콘크리트 표면에 폴리머 침투재를 침투시킨 후, 콘크리트내에서 중합공정을 통하여 일체화시킨 콘크리트이다. 폴리머 콘크리트는 시멘트 풀의 전부를 폴리머로 치환하여 폴리머가 직접 골재의 결합재 역할을 하도록 한 것으로 결합재로 무기질 시멘트를 전혀 사용하지 않는 콘크리트이므로 “플라스틱 콘크리트(plastics concrete)” 또는 “수지콘크리트(resin concrete)”로 불려지고 있다.

이상과 같이 분류된 폴리머콘크리트의 분야별 사용재료는 표 6.1에 제시된 바와 같다.

2) 폴리머 콘크리트의 특성

1947년 Griffiths에 의하여 폴리머의 종류, 양생조건 및 재령변화에 따른 굳지않은 폴리머 시멘트모르터의 결합특성 및 물성실험이 실시된 이후, 1950년대에 폴리머 포틀랜드 시멘트콘크리트(PPCC)와 폴리머 콘크리트(PC)가 개발되기 시작하였으며, 1960년대 중반에 이르러 교량상판, 상하수도관 및 담수화시설등에 사용하고자 폴리머 침투콘크리트의 연구가 수행되므로서 폴리머 콘크리트에 대한 본격적인 연구가 진행되어 왔다.

현재, 미국, 소련, 영국, 독일 및 일본을 중심으로 실용화를 위한 응용연구가 진행중에 있으며, 개발되었거나 개발중에 있는 폴리머 콘크리트의 특성을 요약하면 다음과 같다.

(가) 폴리머를 연속된 모세관 조직에 채움

표 6.1 폴리머 콘크리트의 분야별 사용재료

분 류	시멘트콘크리트 (CC)	폴리머포틀랜드 시멘트콘크리트 (PPCC)	폴리머 침투 콘크리트 (PIC)	폴리머콘크리트 (PC)
사 용 재 료	<ul style="list-style-type: none"> · 물 · 시멘트 · 골재 · 혼화제 · 혼화제 	<ul style="list-style-type: none"> · 물 · 시멘트 · 골재 · 모노머 · 촉진제 · 개시제 · 가교제 · 계면활성제 	<ul style="list-style-type: none"> · 경화된 시멘트 콘크리트 · 모노머 · 개시제 · 촉진제 · 가교제 · 계면활성제 	<ul style="list-style-type: none"> · 골재 · 모노머 · 채움재 · 개시제 · 촉진제 · 가교제 · 계면활성제

으로써 물, 소금, 염화칼슘, 기타 유해한 물질의 침투를 99%까지 감소시킬수 있으며, 함수비의 변화에 민감한 유전도상수 (dielectric constant)와 손실등의 특성변동을 극소화시킴.

(나) 열팽창계수 (coefficient of thermal expansion)와 열확산율 (thermal diffusivity)을 13~30%증가시킬 수 있으며, 비열 (specific heat)은 17%까지 감소시킴.

(다) 압축강도, 인장강도, 휨강도 및 충격강도를 2~4배 이상 증가시키며, 마모저항 (abrasion resistance)가 탄성계수를 1.5~2배 까지 증가된다. 특히, glassy polymer를 이용하면 고강도 콘크리트의 단점인 취성을 연성으로 전환시킬 수 있음.

(라) 폴리머의 개발에 따라 폴리머가 콘크리트 내부에서 continuous, randomly oriented reinforcing network을 형성하므로써 골재와 시멘트풀 사이의 부착력을 증대시키고, 콘크리트 부재의 변형기간 동안에 보다 많은 파괴 에너지 (fracture energy)를 흡수할 수 있고, 미세공극 (micropores)까지 침투하므로 수화된 시멘트와 미수화된 시멘트를 결합시키는 효과도 있음.

(마) 시멘트콘크리트에 비하여 조기 강도 발현이 가능하므로 양생기간을 크게 단축시

킬 수 있음.

(바) FRP와의 복합에 의한 콘크리트제품의 강도 증대 및 경량화가 가능하므로 기존 제품의 대체효과가 뛰어나고 폴리머 콘크리트의 고강도와 접착성을 이용할 경우 대형 제품의 분할 생산이 가능함.

(사) 이런 효과 때문에 폴리머 콘크리트는 교량 상판, 콘크리트포장, 수중구조 및 전력구조 (파이프, 저수탱크, 댐의 여수로와 감쇠지등), 항만구조, 기초파일, 프리캐스트 콘크리트, 상하수도관, 전력구 맨홀, 방사능 폐기물의 저장구조, 기타 수분, 염분, 유해한 화합물로서 인하여 손상을 입었거나 입을 것이 예상되는 구조, 접착제, 방식제, 미장재, 표면 덧씌우기재, 패칭재 및 각종 보수재료로 적용할 수 있음.

폴리머 콘크리트의 분야별 내부조직특성 및 물성을 요약하면 표 6.2 및 6.3과 같다.

3) 폴리머 콘크리트의 연구개발동향

(가) 폴리머포틀랜드시멘트콘크리트의 연구 개발동향

1950년대 초반 선박의 상판바닥재에 활용하기 위하여 미국에서 폴리머 시멘트모르터에 대한 연구가 시작된 이후, 폴리머 포틀랜드시멘트콘크리트는 토목, 건축분야의 보

표 6.2 폴리머 콘크리트의 분야별 내부조직 특성

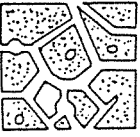
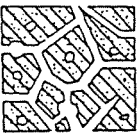
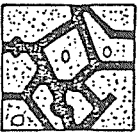
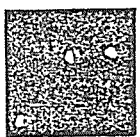
폴리머콘크리트의 분류	폴리머의 조성 (wt%)	폴리머와 결합재의 비 (wt%)	결합재의 공극율 (%vol)	폴리머의 분포형태
· PPC 	0	0	12 16	—
· PPCC 	<30	0.15 50	10 20	분 산
· PIC 	3 8	15 15	3 5	부 분 연 속
· PC 	6 20	100	≤ 5	연 속

표 6.3 폴리머 콘크리트의 분야별 물성

물 성	시멘트 콘크리트 (CC)	폴리머포틀랜드 시멘트콘크리트 (PPCC)	폴리머침투 콘크리트 (PIC)	폴리머 콘크리트 (PC)
압축강도 (kg/cm ²)	280~350	280~560	995~1500	400~1500
인장강도 (kg/cm ²)	20~252	40~65	85~115	700~1400
파괴계수 (kg/cm ²)	33~37	100~125	—	85~210
탄성계수 (kg/cm ²) · 10 ⁵	1.96~2.52	0.98~1.47	3.5~3.99	0.7~3.5
흡수율 (%)	5~6	—	0.3~0.6	—
동결융해저항 (작용회수/단위손실)	700/25	—	2000—4000/0—2	1500/0~1
내산성 (PC/CC)	—	1~6	5~10	8~10
내마모성 (PC/CC)	—	10	2~5	5~10

수재료 및 각종 프리캐스트 제품의 개발에 널리 사용되고 있다.

폴리머 포틀랜드시멘트콘크리트 및 폴리머시멘트모르타의 제조에 사용되는 주요 혼화용 폴리머로는 Epoxy Resin, Styrene Butadiene-Latex (SBR-Latex), Ethylene Vinyl Acetate (EVA), 및 Poly Acrylic Acid Ester (PAE) emulsion과 같은 분산상 폴리머 등이 있다.

최근, 폴리머 시멘트콘크리트의 휨강도 및 파괴인성을 향상시키기 위하여 강섬유, 유리섬유, 폴리머섬유 및 탄소섬유 등을 혼입하여 보강한 섬유보강 폴리머 시멘트콘크리트와 페로 (ferro) 시멘트, 초속경 폴리머시멘트콘크리트, 수중 폴리머콘크리트 및 각종 프리캐스트제품등이 연구개발되고 있다.

(나) 폴리머 침투콘크리트의 연구개발동향

폴리머 침투콘크리트는 1960년대 중반 담수화시설에 이용하고자 개발되기 시작하였으며, 1965년 미국 Office of Saline Water (OSW)의 후원하에 Atomic Energy Commission (AEC)의 Brookhaven National Laboratory (BNL)와 Department of Interior's Bureau of Reclamation (USBR)의 합동연구가 진행되므로써 침투제의 구성, 침투이론, 침투기법, 중합이론, 중합기법, 역학적 특성, 내구성 및 활용방안이 체계화되었다.

침투제의 침투기법으로는 압력법, 함침기법, 그루빙기법 및 살포법등이 있으며, 기존 콘크리트 내의 수분을 건조에 의하여 90%까지 제거시킬 경우, 콘크리트 체적의 5~15%정도 까지도 침투제를 침투시킬 수 있는 것으로 평가되고 있다.

지금까지는 methyl methacrylate (MMA), butylacrylate (BA), styrene, 에폭시 및 기타 acrylonitrile mixtures를 중심으로 침투제가 개발되었으며, 현재 콘크리트만이 아니고, 폴리머를 침투시킨 골재, 석고와 같은 다공성 무기재료에 침투시키거나, 포졸란, 석회

석, 슬래그 콘크리트 및 섬유보강 콘크리트에 침투제를 침투시켜 콘크리트를 보강하는 연구, 복잡한 침투 및 중합공정을 가능한 단순화시키는 방안, 침투제로 유향을 이용하는 연구, 폴리머를 침투시킨 철근콘크리트 구조물의 표면방수효과 및 표층물성 개선방안, 맨홀 및 홈관등의 각종 구조용 프리캐스트제품, 방사선 폐기물 저장용기의 내방사선성 등으로 연구가 확장되고 있다.

(다) 폴리머 콘크리트의 연구개발 동향

폴리머콘크리트의 연구개발은 1960년 Flandro가 polyester resin을 포틀랜드시멘트와 완전 대체하는 연구를 시도한 이후 고분자폴리머의 물성과 배합특성을 중심으로 본격화되기 시작했다. 초기에는 polyester-styrene resin, epoxy resin 및 methyl methacrylate등이 주로 활용되었으나 현재는 다양한 종류의 액상수지가 사용되고 있다.

폴리머콘크리트의 제조시 폴리머가 골재 중량의 8~25%를 차지하나 폴리머의 종류 및 사용골재의 입도분포에 따라서 변화한다. 특히 사용골재의 입도분포가 양호할 수록 폴리머의 사용량이 감소하게 된다.

폴리머콘크리트는 압축, 인장 및 휨강도, 접착성, 동결융해저항성, 내화학성, 침식성이 우수하고 초기양생(-18℃~40℃)이 가능하기 때문에 각종 프리캐스트제품에 널리 활용되고 있다. 또한, 통신케이블 관로용 및 전력케이블 관로용 맨홀, 교량상판의 음극부식시스템에 사용되는 전도성 폴리머콘크리트 뿐만 아니라 건설분야 이외도 정밀 기계부품, 위생용품 및 진동 감쇄용 바닥판재등에 폴리머콘크리트가 광범위하게 사용되고 있다.

폴리머콘크리트의 종류별 적용분야는 표 6.4와 같다.

4) 중합방법 및 중합기법

폴리머콘크리트는 보통콘크리트와는 달리 고분자폴리머의 중합공정을 필요로 한다.

표 6.4 폴리머 콘크리트의 적용분야

분 류	용 도	적 용 분 야
PPCC	바 닥 재	일반가옥, 창고, 사무실, 화장실, 체육관, 공장 및 상가의 바닥 슬래브, 통로, 계단, 플랫폼, 도로, 공항 등
	방 수 재	지붕슬래브, 모르타 및 콘크리트 블럭벽체, 저수탱크, 수영장, 정화조, 타일 등
	접 착 재	타일용 접착제, 상판재, 벽재 및 각종 단열재의 접착제, 기존콘크리트와 새로 타설된 콘크리트 경계면, 미세한 균열의 보수 등
	미 장 재	얇은 표면 도장재, 복층 표면 마무리 도재, 경량골재의 마무리 도재
	보 수 재	콘크리트 구조물의 균열 및 우각파손부, 부식된 철근의 보호부 위 등
	방 식 재	폐수처리구조, 화학공장의 바닥, 내산 타일의 이음부
	덧씩우기재	선박의 내외부 상판, 교량의 상판, 보도교의 상판, 전차 및 열차의 판재
PIC	프리캐스트 부재	전력케이블용 다공판, 외벽용 테라조 패널, 포장판, 관암거, 방사선폐기물 저장용기, interlocking블록, 영구거푸집, 세면대, 가로등, 위생용기 등
	현장침투	콘크리트 구조물의 표면경화, 수밀성, 내약품성, 중성화, 염화물이온 방지용, 고속도로의 포장, 댐의 여수로 및 보수공사, 옥상 방수용, 공장바닥의 방수용 등
PC	구 조 용	통신케이블 관로용, 전력케이블 관로용 및 프로캐스트 가스파이프 라인용, 하수도용 맨홀, 항만 제품 및 온천 및 공사용 파일, 공작기계의 기초슬래브, 건축용 강화 플라스틱복합체, 배수구 및 내식용 타일, 하수도용 및 전력케이블용 강화플라스틱 복합체, 소형수리구조물
	비구조용	U자관, 보도판, 세라믹 타일 및 패널, 건축 프리캐스트용 대형 패널, 표면마무리패널, 저장창고의 바닥판, 건물의 카운터, 정밀기계부품, 녹음기의 스피커 및 스테레오 플레이어의 스피커, 전기설비용 비전도성 및 비자성 지보공, 인조마블, 인조대리석
	현장타설	댐의 여수로 복개공, 수력발전소의 감쇄공의 보호라이닝, 취수관의 복개공, 내산성 라이닝용, 온천지의 건물 기초, 가축우리의 바닥판

고분자폴리머의 중합반응은 폴리머 성장쇄의 형성과정 및 반응기구에 따라서 축합중합, 자유라디칼중합, 이온중합 및 공중합등으로 분류되며, 이들 방법 중 자유라디칼중합반응이 널리 적용되고 있다.

자유라디칼 반응은 중합에너지의 도입방법에 따라서 복사중합법, 열중합법, 복사열중합법, 열촉매중합법 및 촉매촉진중합법 등 여러가지 방법으로 분류된다.

한편, 열중합법 및 열촉매중합법의 경우가 열방법에 따라서 대기중합, 증기중합, 수중중합, 건조로중합등으로 구분되고 있다.

5) 폴리머 포틀랜드시멘트 콘크리트

(가) 사용재료

폴리머 포틀랜드시멘트 콘크리트는 결합재로 무기질 시멘트와 유기질 복합폴리머를 사용하여 콘크리트를 제조하므로 보통시멘트 콘크리트와 그 사용재료가 유사하다.

개발초기에는 보통포틀랜드 시멘트가 주로 사용되었으나 현재, 혼합시멘트, 초속경시멘트, 알루미늄시멘트 및 고로시멘트 등이 널리 이용되고 있다.

고분자폴리머는 SBR-Latex, PAE 및 재유화성 분말 EVA와 같은 분산성 수정폴리머가 주로 사용되어 왔으나, 최근 경비는 다소 비싸지만 미장재, 접착재 및 프리팩트형 재료에서의 실용성을 고려하여 EVA, VAveoVa 재유화형 분말수지, 에폭시수지(EP), 불포화 폴리에스터 수지와 같은 열경화성 수지도 사용되고 있다.

골재는 보통시멘트콘크리트와 같이 강모래, 강자갈, 쇄사, 쇄석 및 인공경량골재 등이 이용되며, 방식용인 경우 실리카질 쇄석을 사용하기도 한다.

착색을 할 경우, 내알카리성 및 내후성이 우수하고 시멘트 혼화용 폴리머의 안정성과 시멘트의 수화반응을 저해시키지 않는 안료를 이용하여야 하며, 보강재를 사용할 경우, polyethylene섬유, 유리섬유, 강섬유,

polyamide섬유 및 polypropylene섬유가 사용된다.

(나) 제조 및 양생

폴리머포틀랜드시멘트 콘크리트(모르터)는 물/시멘트 비, 골재/시멘트 비 및 폴리머/시멘트 비에 따라 물성 및 역학적 특성이 변화하므로 사용목적에 따라 인장강도, 수밀성, 접착성 및 내약품성등을 고려하여 배합설계를 달리하여야 한다.

일반적으로 물/시멘트비는 30~60%내외이며, 폴리머/시멘트 비는 5~30%범위에서 결정하여야 하지만 폴리머/시멘트비가 증가하면 접착성, 방수성, 내마모성, 내충격성, 탄력성, 내약품성이 향상되지만 표면 경도가 낮아지는 단점을 갖는다.

시멘트콘크리트와 마찬가지로 믹서나 시공기기를 사용하며 배합하며, 폴리머와 시멘트콘크리트의 혼합후, 1시간 이내에 시공하여야 한다. 양생법으로는 초기에 습윤양생을 실시하여 시멘트의 수화반응을 진행시킨 후, 건조양생을 실시하여 폴리머 피막의 형성을 촉진시키는 것이 바람직하다. 현장의 경우, 시공후 2~5일 동안은 시공면의 온도변화 및 바람에 의한 급격한 건조를 방지하여야 한다.

사용하는 폴리머의 종류에 따라서 시공후 2~3일 또는 7~10일 내에 강도의 90% 이상이 발현되며, 한냉지 시공이나 급속시공이 요구되는 경우 경화촉진 혼화제나 초조강 포틀랜드시멘트, 초속경 포틀랜드시멘트의 사용이 가능하다.

한편, 용도별 폴리머 포틀랜드시멘트 콘크리트의 표준배합 예는 표 6.5와 같다.

(다) 폴리머 포틀랜드시멘트콘크리트의 물성

타설후 경화하기 이전에 굳지않은 폴리머 포틀랜드시멘트 콘크리트의 물성은 다음과 같다.

a) 워커빌리티가 양호하며 소정의 슬럼프를 얻기위한 물/시멘트 비가 폴리머/시멘트

표 6.5 폴리머 포틀랜드시멘트콘크리트의 배합예(슬럼프 18cm인 경우)

콘크리트 종 류	폴리머 시멘트 비 (%)	물시멘 트비 (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m ³)	중량배합 (kg/m ³)			
					시멘트	모 래	자 갈	폴리머
보통시멘트 콘크리트	0	60.0	47.4	190	316	861	957	0
SBR 콘크리트	5	53.3	40.0	160	300	734	1104	15
	10	48.3	40.0	145	300	734	1105	30
	15	44.3	40.0	133	300	730	1099	45
	20	40.3	40.0	121	300	724	1096	60
PAE 콘크리트	5	59.0	40.0	177	300	716	1078	15
	10	52.4	40.0	157	300	721	1085	30
	15	43.0	40.0	129	300	735	1106	45
	20	37.4	40.0	112	300	735	1111	60
PVAC 콘크리트	5	51.8	40.0	160	300	739	1112	15
	10	44.9	40.0	145	300	743	1118	30
	15	42.0	40.0	133	300	738	1111	45
	20	36.8	40.0	121	300	737	1114	60

비의 증가에 따라 감소된다. 이는 고강도의 조기발현 및 건조수축을 줄이는데 영향을 미친다.

b) 적절한 공기 연행성에 있어 컨시스턴시의 향상과 동결융해에 대한 저항능력을 증대시키며, 수분 보존력이 향상되며, bleeding 및 재료분리에 대한 저항성이 우수하다.

c) 폴리머분산재를 사용하는 경우, 공장 제품에 포함된 계면활성제등이 시멘트의 수화반응을 저해시키므로 다소 경화가 지연되기도 한다.

경화후의 폴리머 포틀랜드시멘트콘크리트의 물성을 분석하면 다음과 같다.

a) 장기간 수중양생을 실시하지 않더라도 강도발현이 우수하고, 제시된 바와 같이 휨강도, 인장강도 및 신축능력이 증대한다. 또한, 양생중에도 수분보존력이 우수하기 때문에 재령경과에 따라 장기간 시멘트의 수화반응이 진행되므로 장기강도의 증진이 현저하다.

b) 폴리머 피막의 형성 및 분포상태에 따라서 수밀한 조직구조를 갖기때문에 흡수 및 투수에 대한 저항성 및 동결융해에 대한 저항능력이 향상된다. 뿐만 아니라, 대기중의 이산화탄소에 의한 중성화에 대한 저항성 및 철근의 방식능력도 증대된다.

c) 시멘트콘크리트, 시멘트모르터, 석고 및 강재등의 각종 재료에 대한 접착성이 우수하다.

d) 감수효과와 장기간에 걸친 우수한 수분보존성 및 강도증진등의 복합효과로 인하여 건조수축과 크리프가 줄어드는 경향이 있으며 내충격성, 내마모성 및 내연성이 우수하다.

e) 내부조직이 수밀하므로 약산, 약알칼리, 염류 및 유류에 대한 내약품성이 개선된다.

6) 폴리머 침투콘크리트

(가) 사용재료

폴리머 침투제는 단량체(monomer), 개시

제 (initiator), 촉진제 (promoter) 및 가교제 (crosslinking agent)로 구분된다.

일반적으로 폴리머 침투제로 활용되는 고분자 폴리머분산제는 물성에 따라 고무 라텍스, 수지 에멀전 및 혼합분산재등으로 구분되며, 성질이 상이한 단량체를 공중합 (copolymerization) 시키므로서 폴리머 침투콘크리트의 물성개선에 활용하기도 한다. 최근, 아크릴수지는 과산화물계의 개시제와 반응하여 자유라디칼 생성속도가 빠를 뿐만 아니라 독특한 특성을 갖는 다른 비닐계수지와 공중합이 비교적 용이하여 폴리머의 물성개선에 가장 효율적인 고분자 재료로 평가된다.

자유라디칼의 생성속도를 가속시키기 위하여 과산화물 (peroxide) 또는 질소화합물 (azo) 계통의 과산화벤조일 (Benzoyl Peroxide) 과 아조비시소 부티로니트릴 (Azobisisobutyronitrile) 이 개시제로 주로 사용되며, 촉진제로는 환원제, 산화제, 금속화합물 및 액상의 디메틸아니린 (Dimethylaniline) 이 사용되고 있다. 또한, 중합체의 열적, 화학적 저항능력을 크게 증대시키기 위하여 Trimethylolpropane Trimethacrylate (TMPTMA) 를 가교제로 사용하기도 한다.

(나) 제조 및 양생

침투제를 콘크리트 표면으로부터 침투시키는 공법에는 구조물의 특성, 소요침투 깊이 및 콘크리트의 표면상태에 따라서 Pressure-mat Technique, Surface-drying and monomer-ponding Technique, Surface-grooving and Monomer-ponding Technique, Spray Technique 등으로 구분되며, 현장시공 과정과 프리캐스트제품의 제조과정이 다소 상이하다.

한편, 침투제의 침투공정은 건조 (drying), 침투 (impregnation), 중합 (polymerization) 의 3단계로 나뉘어지며, 이들 공법에 미치는 영향요소들은 침투제 자체의 특성, 기존콘크리트의 특성 (공급율, 강도, 함수율, 흡수

율, 양생조건 등), 건조소요시간, 침투깊이, 침투량, 중합조건과 중합방법등 많은 인자들이 있다. 이들 침투기법들중 시공성과 경제성을 고려하면 Spray Technique이 가장 편리한 방법이지만 시공 침투깊이의 균질성, 시공후의 침투상태에 등에 많은 문제점을 가지고 있다.

압력법과 Ponding기법은 침투깊이, 시공후의 내구성 및 각종 물성의 개량에 좋은 결과를 얻을 수 있으나, 침투장치와 시공에 많은 경비가 소요되는 단점이 있다.

또한 교량상판과 같이 침투깊이가 깊어야 하는 시공에서는 압력공법이나 Ponding기법 및 표면 그루빙 기법을, 교량의 교각 및 항만구조, 도로의 highway dyke등과 같은 구조에서는 Spray기법이 바람직하며 precast concrete의 경우에는 Ponding기법의 적용이 가장 효율적일 것으로 사료된다. 특히, 콘크리트포장의 경우에는 매우 넓은 면적을 가지고 있으므로 시공위치와 조건에 따라 압력기법과 Spray기법을 병용하는 것이 좋으며, 국부적인 보수 및 보강을 위해서는 grooving기법이 효율적이라고 사료된다.

침투공정이 완료되면 중합공정을 거쳐 폴리머 침투콘크리트를 제작한다. 중합방법으로는 열촉매중합법과 촉매촉진제중합법이 널리 적용되고 있다.

(다) 폴리머 침투콘크리트의 물성

폴리머 침투콘크리트의 물성은 폴리머 침투제의 침투깊이 및 중합도에 따라 상이하지만 일반적으로 다음과 같은 특성을 갖고 있다.

a) 폴리머가 침투된 부분은 기존 시멘트 콘크리트에 비하여 압축강도, 인장강도, 휨강도 및 전단강도가 2~4배 증가하며, 탄성계수도 1.5~2배 증대된다.

b) 결정성 폴리머를 사용하면 강성 및 취성이 증가하며, 비결정성 폴리머를 사용하면 강도는 다소 저하되나 연성이 크게 증가한다.

c) 콘크리트가 탄성체로 변화되므로 파괴 강도의 70%범위까지 탄성영역이 확장되며, 극한변형율이 크게 증가한다.

d) 고도의 수밀성을 갖게 되므로 방수효과가 뛰어나고, 동결융해에 대한 저항성이 크게 향상되며, 내약품성, 내충격성, 내마모성, 내산성이 향상된다.

e) 반복재하하중에 대한 피로강도가 크게 증대된다.

이상의 특성을 체계적으로 나타내면 표

6.6와 같다.

7) 폴리머 콘크리트

(가) 사용재료

폴리머 콘크리트는 결합재로 무기질시멘트를 전혀 사용하지 않고 유기질 폴리머만을 사용한 콘크리트이다. 일반적으로 주로 사용되는 폴리머재료는 액상의 열가소성 아크릴계수지 또는 불포화 폴리에스터수지 등이며, 액상 폴리머를 중합 또는 경화시키기

표 6.6 폴리머 침투콘크리트의 주요물성

특 성	보 통 시멘트 콘크리트	폴리스틸렌 침투 콘크리트		폴리메타크릴산메틸 침투 콘크리트	
		방사선조사 법에 의한 PIC	가열법에 의한 PIC	방사선조사 법에 의한 PIC	가열법에 의한 PIC
압축강도 (kg/cm ²)	370	1,034	702	1,424	1,277
탄성계수 (x10 ⁴ kg/cm ²)	25	54	52	44	43
인장강도 (kg/cm ²)	29.2	84.7	59.1	114.3	106.0
휨강도 (kg/cm ²)	52.0	167.9	81.5	185.4	160.8
흡수율 (%)	6.4	0.51	0.70	1.08	0.34
미끄럼마모 (mm)	1.26	1.01	0.93	0.41	0.37
(g)	14	9	6	4	4
공동 (mm)	8.13	0.89	0.23	1.63	0.51
투수성 (mm/년)	0.16	—	0.04	0.02	0.04
열전도율 (23℃) (Kcal/mh℃)	1.98	1.91	1.94	1.94	1.88
열확산계수 (23℃) (m ² /h)	0.0036	0.0037	0.0038	0.0038	0.0036
열팽창계수 (x10 ⁻⁶ cm/cm℃)	7.25	9.15	9.00	9.66	9.48
내동결융해성 (사이클: 중량감소 %)	490;25.0	620;6.5	620;0.5	750;4.0	750;0.5
충격경도 (L-Hammer)	32.0	48.2	50.1	55.3	52.0
내황산염성, 300일침투 (팽창 %)	0.144	0.0	—	0.0	—
내염산성, 15% HCl 84일침투 (중량감소 %)	10.4	5.5	4.2	3.64	3.49
내중유성, 97℃ 120일 침투	현저히 침 식	변화없음	—	변화없음	—

위하여 개시제 및 촉진제와 같은 반응촉매가 첨가되어야 한다.

충진재는 중량효과를 기대하기 위하여 함수율 0.5% 이하인 입경 1~30 μ m 내외의 중진탄산칼슘, 실리카, 플라이애쉬등이 사용되며, 폴리머수지의 rheology특성과 결합재의 특성을 개선시키므로서 최적의 강도가 발현되도록 보조역할을 하여야 한다.

골재는 강자갈, 강모래, 안산암이나 현무암 성분의 쇄석, 쇄사 및 인공경량골재가 주로 사용되며, 폴리머의 사용량을 최소로 하기 위해서는 골재의 형상 및 입도분포가 양호하고 공극율이 작으며, 함수율 0.5% 이하의 고강도 재료이어야 한다.

(나) 제조 및 양생

폴리머콘크리트의 제조법은 현장시공 프리캐스트제품과 공장생산의 2종류로 분류되며, 현재 폴리머콘크리트의 경우 공장생산 방식, 폴리머모르타의 경우 현장시공방식이 널리 보급되어 있다.

폴리머콘크리트의 배합시 폴리머의 고점성과 조기경화반응에 의하여 불균일한 재료의 혼합을 피하기 위하여 반드시 강제 교반믹서 또는 전용연속믹서를 사용해야 하며, 경화촉진제 및 개시제등의 조성이 폴리머의 중합율에 매우 큰 영향을 미치므로 촉매들의 계량오차를 최소로 줄여야 한다.

일반적으로 액상폴리머의 점도를 고려할 때, 폴리머모르타의 경험적인 배합은 액상폴리머 : 모래 = 1 : 3~1 : 8(중량비) 내외이며, 경우에 따라서는 액상폴리머의 50~150%중량범위 내에서 충전재를 혼합하기도 한다.

한편, 폴리머콘크리트의 양생방법은 용도에 따라서 상온양생법, 가열양생법 및 이들의 병용방식등이 있다. 이중 상온양생법은 특별한 가열장치가 필요 없으므로 대형 제품이나 형상이 복잡한 제품의 제조에 적합하나, 환경조건의 영향을 많이 받으므로 품질관리에 문제가 있다. 가열양생법은 품

질관리가 비교적 용이하고 제품의 대량생산이 가능한 반면, 성형조건에 맞는 가열장치를 설비하여야 하는 단점이 있다.

각종 폴리머콘크리트의 실용배합에는 표 6.7에 제시된 바와 같다.

(다) 폴리머콘크리트의 물성

타설후 경화하기 이전에 굳지않은 폴리머콘크리트의 물성은 다음과 같다.

a) 시멘트 콘크리트에 비하여 액상 폴리머의 고점성 때문에 워커빌리티는 현저하게 불량하다.

b) 액상 폴리머에 첨가되는 경화제나 경화촉진제의 종류와 첨가량을 적당하게 선정하면 작업가능시간과 경화시간을 광범위하게 제어할 수 있다.

c) 시멘트 콘크리트에 비하여 일반적으로 조경성이므로 통상 타설후 1~3시간 이내에 탈형 가능하다. 따라서 한냉지 또는 동절기 시공에 유리하다.

경화후의 폴리머콘크리트의 물성을 분석하면 다음과 같다.

a) 조기에 고강도가 발현되고, 또한 이 고강도 때문에 부재의 단면을 작게 할 수 있다. 성질은 표 6.8에 제시된 바와 같다.

b) 거의 완전한 수밀성 조직구조가 되기 때문에, 흡수 및 투수에 대한 저항성이 우수하고, 내부로의 물의 침입이 없으므로 동결융해에 대한 저항성도 극히 양호하다.

c) 액상폴리머의 종류에 따라 다르지만, 일반적으로 접착성이 우수하여, 시멘트 콘크리트, 석재, 금속, 목재, 기타 재료에 잘 접착된다.

d) 내마모성, 내피로성, 내약품성 및 내충격성이 우수하다.

e) 상온에서의 사용은 거의 문제가 없지만 50 $^{\circ}$ C이상에서는 강도, 탄성계수, 크리이프등의 온도 의존성이 커진다.

f) 전기절연성이 양호하다.

g) 결합재로서 폴리머를 함유하기 때문에 내화성 및 불연성이 불량하므로 적당한 내

표 6.7 각종 폴리머 콘크리트의 실용배합 예

사 용 재 료		폴리머 콘크리트의 종류와 증량배합비			
		폴리에스테르 콘크리트	에폭시 콘크리트	폴리우레탄 콘크리트	후란 콘크리트
결 합 재	액 상 폴리머	불포화폴리에스터 10	에폭시 (경화제 포함) 10	폴리우레탄 (경화제, 충전제포함) 20	모노머-FA 5.0
	충전재	탄산칼슘 12	탄산칼슘 10	—	분쇄사 32.9
골 재 (입경:mm)	세 사	0.1~0.8 20	<1.2 20	<1.2 20	— —
	조 사	0.8~4.8 25	1.2~5 15	1.2~5 15	5~20 27.0
	사 력	4.8~20 33	5~20 45	5~20 45	20~40 33.3
기 타 재 료		유리섬유 (12.7mm적량) 과산화물 축매 적량	—	—	벤젬셀폰산 (BSA) 1.6 아세톤 0.2

표 6.8 각종 폴리머 콘크리트의 물리적 특성

시험항목	폴리머콘크리트의 종류						참 고		
	후 란	폴 리 에스테르	에 폭 시	폴 리 우 레 탄	페 늘	폴리메타 크릴 산 메 틸	아스팔트 콘크리트	보 통 포트랜드 시멘트 콘크리트	
단위용적중량 (kg/m ³)	2,200 -2,400	2,200 -2,400	2,100 -2,300	2,000 -2,100	2,200 -2,400	2,200 -2,400	2,100 -2,400	2,300 -2,400	
강도 (kg/cm ²)	압축	700-800	800 -1,600	800 -1,200	650-720	500-600	800 -1,500	20-150	100-600
	인장 휨	50-80 200-250	90-140 140-350	100-110 170-310	80-90 200-230	30-50 150-200	70-100 150-220	2-10 20-150	10-50 50-70
탄성계수 (x10 ⁴ kg/cm ²)	20-30	15-25	15-35	10-20	10-20	15-35	1-5	20-40	
흡수율 (Wt%)	0.05 -0.3	0.05 -0.2	0.05 -0.3	0.3-1.0	0.1-0.3	0.05 -0.6	1.0-3.0	4.0-6.0	

화피복재 등의 개발이 요망된다. 또한 같은 이유 때문에 내후성도 문제시되는데, 실제의 옥외노출시험 결과로부터 20년 이상의 내구성이 보증된다.

7. 결론

새로운 콘크리트시대의 전환점에 있는 우리는 신뢰성있는 콘크리트의 개발, 고강도 콘크리트를 이용한 새로운 철근콘크리트 구조의 개발, 신소재를 콘크리트에 적용하여 얻어지는 신소재 복합 콘크리트 즉 섬유보강 콘크리트와 폴리머 콘크리트의 개발과 응용을 확대해야 할 것이다. 시멘트를 개량하고 새로운 혼화재료를 개발하여 결점이 없고, 다짐이 필요없는 콘크리트의 생산을 위하여 힘써야하고, 압축강도 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 이 넘는 고강도 콘크리트를 생산하여 고층건물과 장대교량에 사용할 수 있도록 재료의 표준화, 설계 및 시공의 체계화에 관한 연구를 수행해야 할 것이다. 한편 신소재 섬유를 사용한 섬유보강 콘크리트의 개발, 단위중량 $1.5\text{ t}/\text{m}^3$ 이하의 경량콘크리트의 압축강도를 $650\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 끌어올린 고강도경량콘크리트의 개발, 콘크리트의 강도와 내구

성의 증진을 목적으로 한 폴리머-콘크리트 복합체를 개발하여 활용하는 연구가 속히 진행되어야 할 것이다. 이렇게되면 콘크리트기술이 향상되고, 업계가 활성화되며, 국제 경쟁력을 갖게 될 날도 멀지 않다고 사료된다.

참고문헌

1. 大岸佐吉, 신소재의 동향과 건설에의 이용지향, JCI Vol. 26, No. 6, 1988, pp. 4-15
2. 변근주, 도로표면 침투제 및 폴리머침투공법의 개발, Proc., ICPIC, 1990, pp. 765-772
3. 김진근, 오병환 등, 고강도, 유동화 및 섬유콘크리트의 개발과 역학적 특성에 관한 연구, 과학기술처 연구보고서, 1990, pp. 1-306
4. Hannant, D.J. Fiber Cements and Fiber Concretes, John Wiley & Sons, 1978, pp. 3-212
5. 清水茂夫. 실용 레진콘크리트, 山海堂, 1979, pp. 1-125