

폴리머 · 콘크리트 복합체

소 양 섭

(전북대학교 공과대학 건축공학과 교수)

1. 개요

시멘트를 원료로 한 모르타르와 콘크리트는 건설 산업용으로 가장 널리 사용되고 있는 재료 중의 하나이다. 1824년 영국의 조셉 아스프딘이 포틀랜드 시멘트 (Portland Cement)를 발명한 이후로 시멘트 모르타르와 시멘트 콘크리트는 수많은 학자들의 거듭된 연구의 결과로 재질이 개선되고 내구성이 향상되는 등 괄목할 만한 발전이 이루어지고 있다. 그러나 이들 시멘트 모르타르 및 시멘트 콘크리트는 시멘트 수화물이라는 결합재로서 구성되는 취성재료로 경화의 지연, 낮은 인장강도, 큰 건조수축, 약한 내약품성 등 많은 결점을 내포하고 있다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 최근 구미나 일본 등 선진국에서는 콘크리트의 피복두께를 늘리는 등의 법적규제를 강화하고 있으며, 모르타르나 콘크리트의 내구성을 크게 하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 최근 들어 이러한 연구 노력은 모르타르나 콘크리트의 강도(압축, 인장, 휨)의 증대, 균열특성의 개선, 대기조건과 각종 열악한 환경조건에 대한 저항성 및 내구성의 증대, 불투수성 및 불투기성의 증대, 부재의 경량화와 고품질화 등을 위하여 새롭게 고안된 모르타르 및 콘크리트의 개질재료로서 폴리머(Polymer : 중합체의 넓은 의미로 유기 고분자재료 전부를 의미함)를 모르타르나 콘크리트 결합재의 일부 또는 전부로서 사용

하는 폴리머 콘크리트 복합체(Polymer-Concrete Composite)를 만들게 되었다. 이와 같은 폴리머 콘크리트 복합체의 종류는 다음과 같다.

1) 결합재로서 시멘트와 폴리머(혼화재용)를 사용하는 폴리머 시멘트 모르타르(PCM : Polymer Cement Mortar or Polymer-Modified Mortar)와 폴리머 시멘트 콘크리트(PCC : Polymer Cement Concrete or Polymer-Modified Concrete)

2) 결합재로서 폴리머(Resin : 수지) 만을 사용하는 폴리머 모르타르(PM : Polymer Mortar)와 폴리머 콘크리트(PC : Polymer Concrete)

3) 경화콘크리트에 모노머(Monomer : 단량체-플라스틱 합성과정에서 분자를 특정조건하에서 결합시키는 기본 분자 형태), 프리폴리머(Prepolymer)등을 함침(Impregnation)시켜, 중합(Polymerization)하여 콘크리트중에 폴리머를 결합재의 일부로서 일체화하는 폴리머 함침 모르타르(PIM: Polymer Impregnated Mortar)와 폴리머 함침 콘크리트(PIC: Polymer Impregnated Concrete)

이상과 같은 폴리머 · 콘크리트 복합체는 1920년대 초기에 영국에서 최초의 특허가 나온 것을 시작으로 하여, PCM과 PCC 및 PM과 PC는 1950년대에, PIM과 PIC는 1960년대에 본격적인 연구개발이 시작되었다. 그러나 이 복합체의 본격적인 이용은 1970년대 이후부터 시

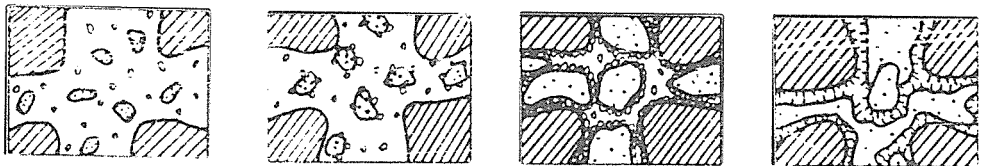
작되었다.

2. 폴리머 시멘트 콘크리트

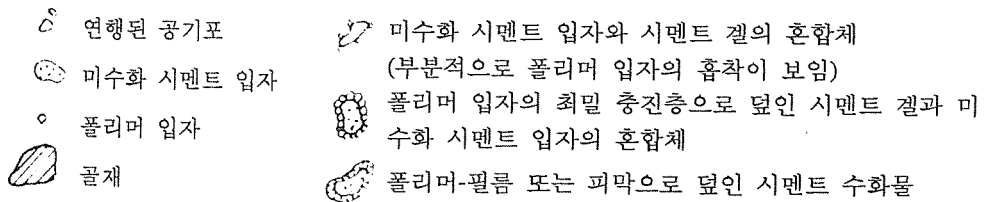
2.1 폴리머 시멘트 콘크리트의 개질 원리

폴리머 디스퍼션에 의한 개질은 시멘트의 수화와 동시에 진행되는 폴리머 필름의 형성에 의한 것이다. 일반적으로는 시멘트의 수화과정이 폴리머 필름 형성과정에 선행하지만 양 과정이 균형 있게 진행되는 것으로 되어있다. 폴리머 디스퍼션을 혼입한 시멘트 콘크리트(모르타르)

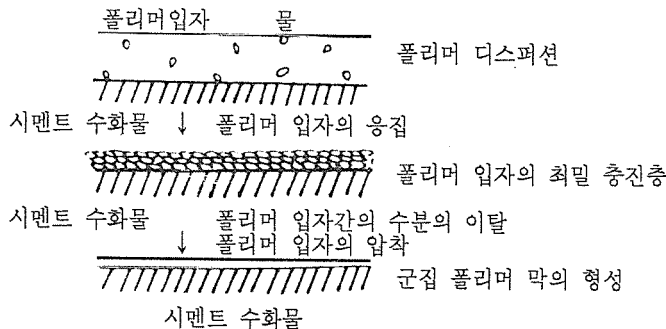
가 아직 굳지 않은 상태에서는 폴리머입자나, 연행공기포, 폴리머 디스퍼션중에 함유된 계면활성제, 폴리머 디스퍼션 자체의 친수 콜로이드적 성질 등에 의해 그의 워커빌리티(Workability), 공기연행성, 블리딩(Bleeding)과 재료분리에 대한 저항성 등이 개선된다. 최종적으로 그림 1, 2에서 보는 바와 같이 시멘트 수화물과 폴리머 필름상이 상호 혼입 형성됨에 따라 Co-Matrix상으로 형성하는 것이 큰 특징으로서, matrix의 특성에 따라 골재가 강하게 결합되기 때문에 인장강도와 취성이 개선되고 우수한 방수성, 기밀성, 내약품성, 내동결융해성 등이 개선된다.



(a) 혼합직후의 상태 (b) 제 1단계 (c) 제 2단계 (d) 제3단계(경화구조)



<그림 1> PCM 및 PCC의 형성과정



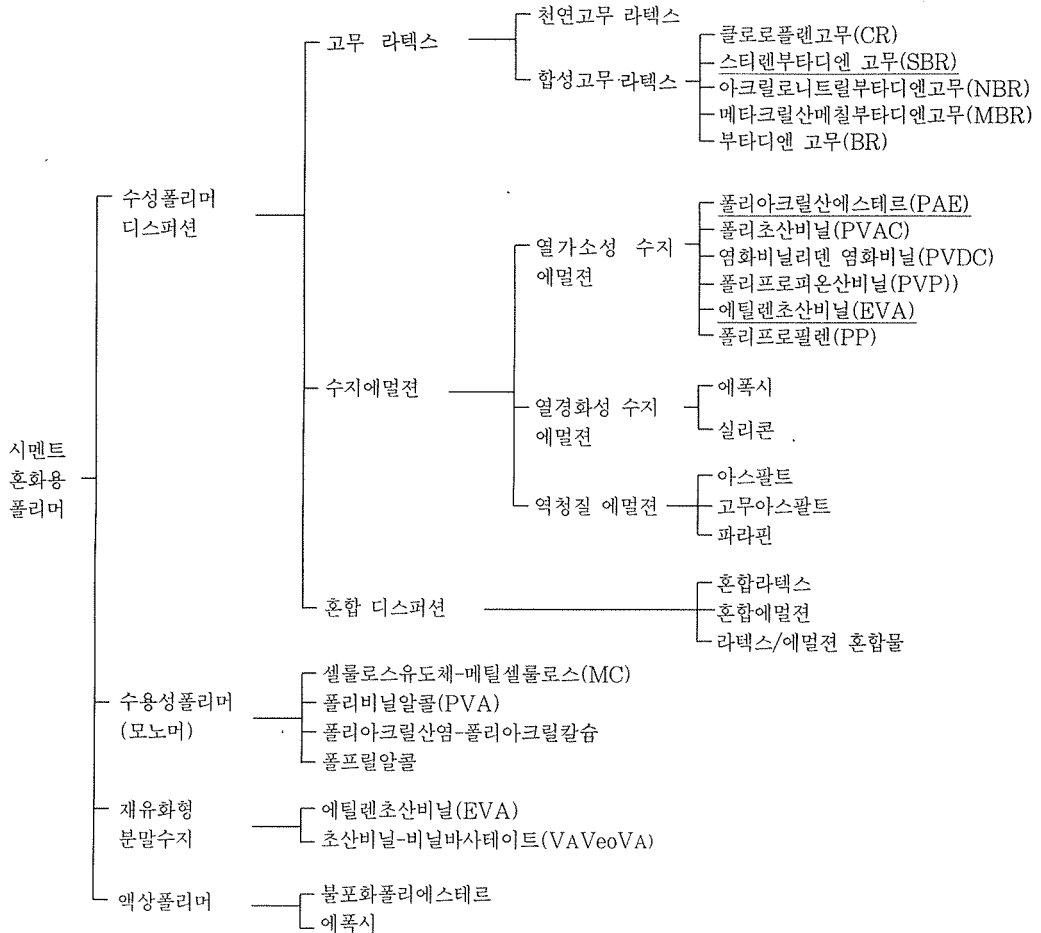
<그림 2> 시멘트수화물상에 있어서 폴리머 필름의 형성과정

2.2 시멘트 혼화용 폴리머의 종류

시멘트혼화용 폴리머의 종류로는 표1에서 보

는 바와 같이 수용성 폴리머(모노머), 재유화형 분말수지, 액상폴리머 등이며, 수성폴리머 디스퍼션은 수중에서도 폴리머 미립자(0.05~5 μ m)가

〈표 1〉 시멘트 혼화용 폴리머의 종류



균일하게 떠 있는 상태의 재료로 보통 그 미립자가 고무인 경우를 라텍스, 수지의 경우를 에멀전이라 하며 이들 모두를 폴리머 디스퍼션이라고 칭한다. 일반적으로 많이 이용되고 있는 시멘트 혼화용 폴리머는 스티렌 부타디엔 고무(SBR)라텍스, 에틸렌 초산 비닐(EVA) 및 폴리 아크릴산 에스테르(PAE)에멀전이다.

2.3 폴리머 시멘트 복합체의 제작

폴리머 시멘트 모르타르(PCM)나 콘크리트

(PCC)의 제작은 일반 모르타르나 콘크리트와 거의 마찬가지로 행해진다. 시멘트 모르타르나 콘크리트는 주로 워커빌리티의 압축강도에 주목하여 배합설계를 행하지만 PCM 및 PCC는 그 외의 성질 즉, 압축강도, 휨강도, 접착강도, 인장강도, 방수성, 기밀성, 내약품성 등을 고려하여 배합설계를 실시한다.

1) 사용재료

(1) 시멘트

사용 시멘트는 보통 포트랜드 시멘트가 가장 일반적으로 사용되며, 조강 및 초조강 포트랜드 시멘트, 혼합시멘트, 알루미나 시멘트 초속경성 포트랜드 시멘트 등이 사용된다. 최근에는 이 중에 초속경성 포트랜드 시멘트가 긴급 보수를 요하는 장소에 혼화용 폴리머와 함께 자주 사용되고 있다.

(2) 시멘트 혼화용 폴리머

사용 폴리머로는 고무 라텍스와 수지 에멀전과 같은 각종 폴리머 디스퍼션이 사용되고 있으나, 주로 SBR라텍스, 아크릴계(PAE) 및 초산 비닐(EVA)계 에멀전등이 사용된다. 폴리머 디스퍼션은 과도의 공기연행을 방지하기 위하여 제조시 적량의 소포제가 첨가되어야 한다.

(3) 골재

골재는 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 경우와 같은 굵은골재와 잔골재, 예를 들면 천연사, 자갈 또는 쇄석, 경우에 따라서는 규사와 같은 쇄사가 사용된다. 골재는 유기불순물, 먼지, 점토분(1%이하)이 포함되지 않고, 함수율 3~7% 이하의 골재를 사용한다.

2) 배합설계

PCM 및 PCC에서는 물-시멘트(W/C), 골재-시멘트(A/C) 및 폴리머-시멘트(P/C)비에 따라 성질이 변화하기 때문에 사용목적에 맞는 배합설계를 행할 필요가 있다. PCM 및 PCC의 성질은 물-시멘트비보다 오히려 폴리머-시멘트비에 의해 지배되며, 폴리머-시멘트비는 시멘트에 대한 폴리머 디스퍼션 중의 전체 고형분의 중량비로 한다.

물-시멘트비는 요구되는 워커빌리티 지표의 하나인 플로우치 또는 슬럼프치로부터 정하게 된다. 물-시멘트비의 계산은 혼합한 시멘트용 폴리머 디스퍼션 중의 수분과 거기에 첨가된 물의 양을 합한다. 물-시멘트비는 30~60%의 범위로는 가능한 한 적게 정하는 것이 필요하며,

일반적으로 폴리머-시멘트비는 5~30%의 범위로 하며 폴리머-시멘트비가 증가하면 방수성, 내마모성, 내충격성, 탄력성, 내약품성 등은 향상되나 반면 표면 경도는 적게 된다.

배합은 최종적으로 예상되는 시공 조건에서 시험 배합을 행하여 정하도록 한다.

3) 비법

비법은 시멘트 모르타르나 콘크리트의 경우와 마찬가지로 믹서를 사용한다. 시멘트와 잔골재 및 굵은골재를 먼저 손반죽하고 모르타르 믹서 또는 콘크리트 믹서에서 충분히 반죽한다. 그 다음에 소요량의 시멘트용 폴리머 디스퍼션과 소포제를 섞어서 물에 가하여 잘 혼합한 후, 반죽한 것에 한번에 첨가하고 즉시 손반죽 또는 믹서로 약 3~5분간 잘 혼합한다. 반죽이 끝난 폴리머 시멘트 콘크리트(모르타르)는 반죽후 45분~1시간 이내에 사용하는 것이 좋다.

4) 미장 및 양생

PCM의 1회의 바름두께는 5~10mm정도로 하고 그 이상의 두께가 필요할 때는 2~3회 바름으로 한다. 폴리머 시멘트 모르타르는 여러번 흠손으로 문지르는 것은 좋지 않으며, 2~3회정도 마무리하는 것이 좋다. 폴리머 시멘트 모르타르라 해도 충분히 흠손으로 누르는 것이 중요하지만 보통 시멘트 모르타르처럼 응결이 시작된 후 흠손으로 누르는 것은 좋지 않다. 미장면적이 넓은 경우에는 3~4m간격에 너비가 15mm정도의 줄눈으로 끊는 것이 좋다. PCC는 보통 시멘트 콘크리트와 같이 시공할 수 있다. PCM 및 PCC의 최적양생법은 초기 습윤 및 수중양생을 하여 시멘트의 수화를 촉진한 후 건조 양생하여 폴리머필름의 강도를 발현시키는 것이 좋다. 따라서 현장에서는 시공후 적어도 2~5일은 시공 면이 온도 변화나 바람에 의하여 급격히 건조하지 않도록 덮어두고, 그후는 보통 시멘트 콘크리트와는 달리 가능한 한 건조 상태로 방치하는 것이 좋다. 그리고 2~3일은 큰 하

중이나 충격이 가하지 않도록 주의할 필요가 있다. PCC(PCM)의 경화속도는 기상조건, 시멘트용 폴리머 디스퍼션의 종류, 폴리머-시멘트비, 물-시멘트비 등에 따라서 다소의 차이는 있으나 대개 보통 시멘트콘크리트와 같이 경화되므로 시공 후 빠르면 2~3일, 늦어도 7~10일이 지나면 사용이 가능하다. PCC(PCM)는 도장 후, 경화 상태중에 물을 뿌리던가 비를 맞으면 시멘트용 폴리머 디스퍼션이 회계 표면에 노출되어 경화 후는 표면에 약한 층을 형성하여 박리현상이 발생하는 등 전반적으로는 성능이 저하되므로 충분히 주의해야 한다. 따라서 옥외 도장의 경우는 비가 올 염려가 있으면 시공을 피하든지, 비를 맞지 않도록 적당한 조치를 할 필요가 있다. PCC(PCM)의 한냉지에서의 시공에 있어서는 경화촉진을 위해 염화칼슘의 첨가(시멘트 중량의 2%까지)나 조강시멘트, 초속경시멘트, 알루미늄 시멘트의 사용이 가능하다. 일반적으로 시공시의 온도는 5℃~30℃가 적당하다.

2.4 폴리머 시멘트 콘크리트의 성질

1) 굳지 않은 폴리머 시멘트 콘크리트의 성질

(1) 워커빌리티

일반적으로 PCM 및 PCC는 일반 시멘트 모르타르 및 콘크리트와 비교하여 양호한 워커빌리티를 얻는다. 그것은 폴리머 입자와 연행공기포의 볼-베어링(ball-bearing)작용과 폴리머 디스퍼션에 함유된 계면 활성제의 분산효과에 의한 것이다. 소정의 콘시스턴시를 얻기 위해 요구되는 물-시멘트비가 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 저감된다. 그것은 고강도의 발현과 건조 수축의 저감효과에도 역할을 한다.

(2) 공기연행성

폴리머 디스퍼션 중에 함유된 유화제와 안정제로서의 계면활성제의 작용 때문에 통상 적당

한 공기가 연행된다. 그의 공기량은 폴리머 디스퍼션 중에 함유된 소포체에 의해 제어되며 PCM에 5~20%, PCC에 2~3%로, 일반 시멘트 모르타르와 콘크리트의 경우와 같고 골재의 입경에 좌우된다.

(3) 보수성(保水性)

PCM 및 PCC의 보수성은 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 상당히 개선된다. 이는 폴리머 디스퍼션 자체의 친수 콜로이드(Colloid)적 성질과 내재한 불투수성 폴리머필름의 밀봉 효과에 의한 수분 증발의 억제에 의한 것으로, 이러한 우수한 보수성은 건조한 모르타르, 콘크리트, 콘크리트 밀바탕, 도자기질 타일 등에 의한 과도의 흡수때문에 시멘트의 수화가 불충분하게 되는 소위 드라이 아웃(Dry-out)현상의 방지에 효과적이다.

(4) 블리딩(Bleeding) 및 재료 분리

일반 시멘트 모르타르 및 콘크리트와 비교하여 PCM 및 PCC는 폴리머 디스퍼션 자체의 친수 콜로이드적 성질과 계면활성제에 의한 공기연행 및 감수효과에 의한 블리딩과 재료 분리에 대해 양호한 저항성을 갖는다.

(5) 응결 및 경화

PCM 및 PCC의 응결 및 경화는 일반 시멘트 모르타르 및 콘크리트와 비교하여 약간 늦고 그의 경향은 폴리머의 종류와 폴리머-시멘트비에 좌우된다. 폴리머-시멘트비가 증가함에 따라 경화가 지연되는 경향이 있으나 이같은 경화의 지연은 사실상 강도등 성능상의 지장은 없다.

2) 경화 폴리머 시멘트콘크리트의 성질

(1) 강도

폴리머 시멘트 모르타르는 결합재로서 포틀랜드 시멘트에 각종 폴리머 디스퍼션을 사용함으로써 포틀랜드 시멘트와 폴리머와의 상호작용에 따라서 강도를 발휘한다. 일반적으로 시멘트 모

르타르 및 콘크리트와 비교하여 PCM 및 PCC의 인장강도 및 휨강도는 현저하게 증가한다. 그것은 폴리머 자체의 높은 인장강도와 시멘트 수화물-골재간의 접착력의 증가 때문이다. 이들 강도성상은 상호간에 영향을 미치며 배합되는 각종의 요인에 의해 지배된다. 그와 같은 요인으로서의 사용재료에 있는 폴리머 디스퍼션, 시멘트 및 골재의 종류와 성질, 배합의 제어요인에 있는 폴리머-시멘트비, 물-시멘트비 및 결합재-골재비, 양생조건, 시험방법 등이 있다. 압축강도에는 폴리머 종류와 영향은 별로 크지 않다. 다음 그림3은 PCM의 압축강도를, 그림4는 휨강도를 나타낸다.

PCC(PCM)의 최적의 양생방법은 최초에 습윤 및 수중양생을 하여 시멘트의 수화를 촉진시킨 후, 건조양생하여 폴리머필름의 강도를 발현시키는 것이다. 그리고 그림3은 PCC의 건조양생 재령과 압축강도와의 관계를 나타낸 것으로 특히, 큰 치수의 공시체에서는 장기간의 건조양생을 실시하면 양호한 보수성에 의한 수화의 진행으로 건조양생 전의 2배 이상의 압축강도에 달하는 것으로 나타났다.

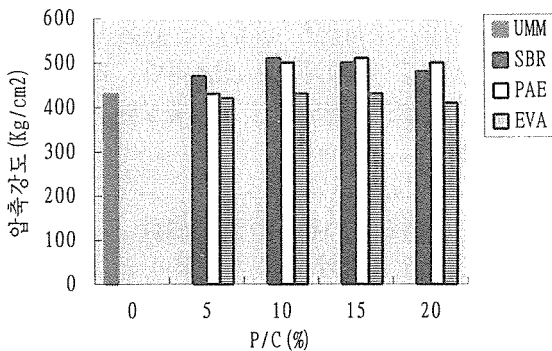
(2) 응력-변형, 탄성계수 및 포아송비

PCM 및 PCC의 응력-변형관계와 변형능력은 탄성계수가 적은 ($0.001 \sim 10 \times 10^{-4} \text{kgf/cm}^2$) 폴리머를 함유하였기 때문에 시멘트 모르타르 및 콘크리트와 비교하여 상당히 차이가 있으며 일반적으로 폴리머-시멘트비가 증가하면 신장능력은 증대하고, 탄성계수는 감소하나 포아송비는 크게 변화하지 않는다.

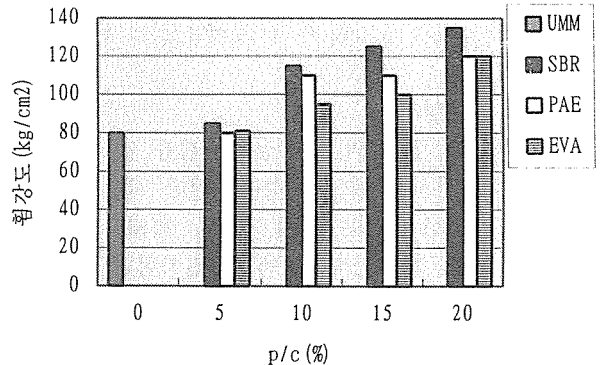
(3) 건조수축, 크리프(Creep) 및 열팽창계수

PCM 및 PCC의 건조수축은 일반적으로 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 감소하는 경향이 있다. 또한 유연성이 큰 폴리머를 함유함에도 불구하고 PCM 및 PCC의 크리프는 시멘트 모르타르 및 콘크리트와 비교하여 상당히 적다.

PCC의 크리프 변형과 재하 시간의 관계에서 크리프가 적은 이유는 3vol%정도 함유하는 폴리머에 의해 결합재의 강도와 양호한 보수성에 의해 장기간에 걸친 강도증진에 의한 것이라고 생각된다. 일반적으로 PCM 및 PCC의 열팽창계수는 $9 \sim 10 \times 10^{-6}/\text{C}$ 정도로 골재의 열팽창계수에 의해 직접적으로 영향을 받고 시멘트 모르타르 및 콘크리트에 비해 비슷하거나 약간 크다.



〈그림 3〉 PCM의 압축강도



〈그림 4〉 PCM의 휨강도

(4) 방수성, 내수성, 염화물 이온투과, 중성화 및 염소투과에 대한 저항성

PCM 및 PCC에는 내부에 존재하는 비교적 큰 세공이 폴리머로 충전되어 있고 또한 연속 폴리머 필름으로 조직구조가 형성되기 때문에 통상 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 그의 흡수 및 투과에 대한 저항성이 개선된다.

일반적으로 PCM 및 PCC의 내수성은 반드시 우수하다고 말할 수 없다. 수중에 침적하면 강도가 저하되는 경우가 많다. 그러나 수중 침적 후의 강도가 저하한다해도 일반 시멘트 모르타르 및 콘크리트보다도 상당히 크기 때문에 문제는 되지 않는다. 그러나 PVAC혼입 모르타르의 내수성 불량은 시멘트의 수화에 의해 생성되는 알카리의 존재하에 있어 부분적 가수분해에 의한 것인데, 최근에는 에틸렌의 공중합에 의해 그와 같은 내수성과 방수성을 개선한 EVA혼입모르타르가 보급되고 있다.

또 우수한 방수성을 바탕으로 염화물 이온(Cl^-)의 침투에 대한 저항성은 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 개선되어 최근 콘크리트 구조물의 염해방지에 큰 역할을 하는 것으로 생각된다. 전술한 바와 같이 PCM 및 PCC는 Co-Matrix상의 조직구조를 가지고 있기 때문에 기밀성이 우수하고 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 중성화에 대한 저항성이 향상된다. 더욱이 염해와 중성화와 같이 철근구조물 등의 부식에 관계있는 PCM의 산소(O_2)의 확산계수도 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 상당히 적게 된다.

(5) 접착성

PCM 및 PCC의 접착성은, 함유 폴리머의 높은 접착성 때문에 우수하며, 일반 시멘트 콘크리트와 모르타르는 석재, 타일, 목재, 강재, 벽돌, 등의 각종 건축재료에 잘 접착한다. 일반적으로 이들의 접착성은 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 개선되며, 폴리머의 종류, 피착체(바탕재)의 성질, 시험방법, 사용조건등에 따라 영향을 받는다. 또한, 접착강도는 수중에 침적하

면 약간 저하하나, 이때의 접착강도도 일반 시멘트 모르타르와 비교하면 몇 배 이상의 값을 나타내 실용상 문제가 되지 않는다. PCM 및 PCC의 접착제로서의 특징은 접착가능한 바탕재(피착체)의 범위가 넓고, 건습, 밀폐층을 막론하고 사용이 가능하며 상온에서 경화하는 것에 있다.

(6) 내충격성

PCM 및 PCC의 함유 폴리머의 내충격성은 일반 시멘트 모르타르와 콘크리트에 비하여 우수하고, 일반적으로 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 향상되는 경향이 있다. 탄성중합체(Elastomer)를 함유한 PCM의 내충격성은 열가소성수지를 함유한 것보다 우수하다.

(7) 내마모성

PCM 및 PCC의 내마모성은 폴리머의 종류, 폴리머-시멘트비, 사용조건 및 시험방법에 따라 크게 다르며, 일반적으로 폴리머-시멘트비의 증가에 따라 현저하게 개선된다.

(8) 내약품성

PCM 및 PCC의 내약품성은 폴리머의 종류와 성질, 폴리머-시멘트비 및 화학약품의 성질에 좌우되나, 일반적으로는 시멘트수화물과 내용제성에 결핍한 무기 및 유기산염, 또는 유기용제에 대해서는 좋지 않고, 알카리, 황산염을 제외한 염류, 유리산을 함유하지 않은 동식물 유지, 광유 등에 대해서는 양호하다. 표2에는 PCM 및 PCC의 개념적인 내약품성의 평가를 표시하였다.

(9) 온도 의존성, 내열성 및 난연성

함유 폴리머 자체의 온도 의존성이 크기 때문에 PCM 및 PCC 강도의 온도 의존성 또한 크다. 일반적으로 이들의 강도는 온도가 상승하면 급격히 저하하고 그 경향은 폴리머의 유리 전이 점보다도 높은 온도와 큰 폴리머-시멘트비에 있

〈표 2〉 PCM의 내약품성 평가(10점법)

폴리머-시멘트 모르타르 종류	약품의 종류				
	산	알카리	염	용제	유지, 광유
미 혼입	1	8~10	1~7	5~7	7~10
SBR 혼입	1~2	10	5~10	2~3	8~10
NBR 혼입	1~2	10	5~10	10	10
PAE 혼입	1~2	10	5~10	2~3	7~9
EVA 혼입	1~2	8~10	5~10	5~7	8~10
PVAC 혼입	1~2	8~10	3~7	5~7	8~10

어서 현저하다. 유리 전이점인 80~100℃를 넘어 100~150℃가 되면, 폴리머-시멘트비와 폴리머의 종류에 의해 그의 강도차는 상당히 적게 되고 일반 시멘트 모르타르와 거의 같게 된다. 대부분의 PCM의 강도는 50℃를 넘으면 20℃ 일때 강도의 50%이하로 되나, 0℃이하에서는 20℃일때보다도 상당히 높고, 그 경향은 폴리머-시멘트비가 높을때 두드러진다.

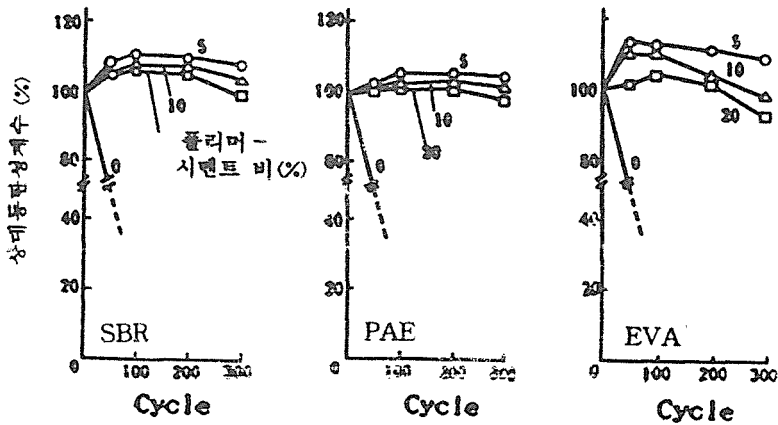
PCM 및 PCC의 내열성은 온도의존성과 같고 폴리머의 유리 전이점, 폴리머-시멘트비 및 가열온도에 좌우된다. 150℃이상에서는 단시간

의 가열에 의해서도 폴리머의 열분해가 일어나고, 강도가 급격히 저하되나, 이때의 강도도 일반 시멘트 모르타르의 강도에 비해 낮지는 않다. 따라서 온도 의존성과 내열성의 관계에서 PCM 및 PCC의 사용한계정도는 약150℃라고 말할 수 있다. 일반적으로 PCM 및 PCC의 난연성은 함유 폴리머의 화학조성과 폴리머-시멘트비에 의해 크게 다르고, CR과 PVAC와 같은 염소를 함유한 폴리머와 열분해시 다량의 초산을 생성하는 PAVC를 함유한 것, 또, 폴리머-시멘트비 5%이하의 것 등은 양호한 난연성을 가진다.

(10) 내동결융해성 및 내후성

PCM 및 PCC의 내동결융해성은 일반 시멘트 모르타르 및 콘크리트와 비교하여 현저하게 개선된다. 이것은 물-시멘트비의 감소, 세공의 폴리머에 의한 충전 및 폴리머와 계면활성제에 의한 공기연행의 상승효과에 의한 것으로 생각된다.

폴리머 시멘트 모르타르의 내동결융해성을 그림5에 표시하였다.



〈그림 5〉 PCM의 동결융해 Cycle 수와 상대동탄성 계수와의 관계

그림에서 보는 바와 같이 폴리머-시멘트비가 증가하면 내동결융해성은 반드시 향상되는 것은 아니다. 일반적으로 무기물보다도 내후성이 부족하다고 알려진 폴리머를 함유한 PCM 및 PCC의 내후성은 일반 시멘트 모르타르 및 콘크리트와 비교하여 떨어진다고 말하고 있으나, 10년간에 걸친 실제의 옥외 폭로의 실험결과, 예상 이상의 양호한 내후성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 10년간의 옥외 폭로에 의한 PCM의 접착 내구성도 일반 시멘트 모르타르와 비교하여 극히 우수하다.

2.5 폴리머 시멘트 모르타르의 용도 및 효과

PCM은 시멘트 모르타르에 비해 각종 성질이 우수하기 때문에 표3에 표시한 것과 같이 광범위하게 사용되고 있다. 한편 PCC는 거의 보급이 되고 있지 않으나 최근에는 내진벽, 방수지붕슬라브, 방식구조재, 철근콘크리트 구조물의 뿔철콘크리트공법, 도로포장재등의 이용에 관심이 높아지고 있다. 따라서 국내에서도 PCM 및 PCC의 보급과 이용이 확대 실현되면 건설재료

〈표 3〉 PCM의 용도

용도	시공장소
포장재 및 바닥재	일반가옥, 창고, 사무소, 화장실, 체육관, 공장, 점포 등의 바닥, 통로계단, 도로, 공항등
방수재	옥상슬라브, 모르타르 및 콘크리트블록벽체, 저수탱크, 푸울, 사일로
접착재	타일용 접착재, 바닥재, 벽재 및 단열재의 접착재, 신구 콘크리트나 모르타르의 타설이음등
마무리재	얇은마무리 도장재, 두꺼운마무리 도장재, 복층 마무리 도장재 경량골재 마무리 도장재, 바탕조정 도장재등
보수재	콘크리트구조물의 균열 및 충박리의 그라우팅, 기타손상부분 부식된 철근의 방청코팅등
방식재	화학공장바닥, 내산타일 줄눈재, 정화조, 기계설치, 화학실험실 바닥 약품창고, 온천의 욕조등
데크커버링재	선박 내·외부의 데크, 교량데크, 육교, 전차·열차등의 바닥등
기타	철도교의 제진재

로 대량으로 이용하게 되어 내구성능이 우수한 시멘트 결합재의 생산 및 폭넓은 활용이 이루어질 것으로 예상된다. 또한 폴리머의 사용은 구조물을 경량화 시키고 내구년한도 크게 연장시킬 수 있음은 물론 내산 시멘트 복합체의 생산으로 최근 산업공해로 말미암아 발생하는 구조물의 산성비에 의한 피해를 대폭 줄일 수 있을 것이다.

3. 폴리머 콘크리트

3.1 폴리머 콘크리트 개요

폴리머 콘크리트(Polymer Concrete:PC)는 물과 무기질 재료인 시멘트를 결합재로서 사용한 기존의 시멘트 콘크리트(Cement Concrete)와는 달리 유기 고분자 재료인 폴리머만을 사용하여 골재와 충전재인 중탄산칼슘이나 플라이애쉬 등을 결합·경화시킨 것으로, 폴리머중 레진을 주로 사용하므로 레진 콘크리트(Resin Concrete:RC)라고도 한다.

이러한 폴리머 콘크리트는 시멘트콘크리트에 비해 기계적 강도, 화학적 저항성, 접착성, 수밀성등이 우수하여 이용이 증가되고 있으며 지하구조물, 해양구조물, 파일, 보도판, 맨홀, 각종 건축장식재, 및 조경물 등으로 적용이 되고 있다. 폴리머콘크리트는 기존의 시멘트 콘크리트의 성질과 비교하여 불태 경화 시간이 짧을 뿐만 아니라 고강도의 발현이 용이하여 고강도의 제품 및 보수,보강재로서 적합성을 가지고 있다.

3.2 폴리머콘크리트의 제작

1) 사용재료

(1) 수지

폴리머 콘크리트에 사용되는 수지는 에폭시수지, 불포화 폴리에스터수지, 아클리산 에스테르, 불소수지등 여러 종류가 있다. 이중 불포화 폴리에스터수지는 경화조절이 쉽고, 값이 싸 공

장생산용 폴리머 콘크리트제품에 가장 많이 사용되고 있다. 한편, 경화 수축이 적고 경화속도의 조절을 위한 경화제의 증감의 필요성이 없는 에폭시수지는 현장 타설용으로 많이 이용되고 있다.

(2) 골재 및 충전재

충전재는 폴리머 콘크리트의 유동성 개선, 재료의 분리방지, 표면 경도의 향상을 위해 탄산칼슘, 규석분말, 플라이애쉬등이 이용된다. 골재는 쇄석, 강자갈, 강모래, 해사, 규석 등 깨끗하고 강도가 큰 것이면 사용이 가능하다. 골재 및 충전재의 함수율은 0.5%이하로 하는 것이 강도 발현상 바람직하고 보통은 기계적으로 건조된 것이 사용된다. 그리고 안료 등의 첨가제도 사용된다.

2) 배 합

폴리머 콘크리트의 재료 및 배합은 폴리머 콘크리트의 사용목적, 제조방법, 경제성등으로 부터 결정되나 일반적인 배합은 중량비로 수지:충전재:골재=1:(0.5~1.5):(7~8)로 한다.

또 폴리머 모르타르의 경우는 골재의 비율이 상기중량 비율의 반 정도로 된다. 그리고 폴리머 콘크리트에서는 수지의 비율이 커지면 분리가 생기고 비중이 큰 골재부분이 하부로 침하하고 상부는 페이스트(paste)로 채워진다. 시멘트 콘크리트에서도 같은 현상이 생기나 폴리머 콘크리트에서는 블리딩 수의 증발이나 재흡수가 없기 때문에 분리층이 생긴대로 경화한다. 폴리머 콘크리트의 다짐이 가능하고 더욱이 이러한 분리현상이 생기지 않는 범위에서 폴리머 콘크리트의 제조를 위한 폴리머콘크리트의 배합은 실용상으로 시멘트 콘크리트만큼 폭넓게 제한 조건을 고려해야 하는 것은 아니며, 수지량도 10%(체적비)전후의 비교적 좁은 범위로 한정된다. 그리고 폴리머 콘크리트의 압축강도는 일반적으로 1000~1500kgf/cm²정도이다.

3.3 폴리머 콘크리트의 특징

폴리머 콘크리트의 성질은 사용수지와 그 배합비, 골재의 성질에 따라 크게 좌우되나 시멘트 콘크리트에 비교하여 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

- 1) 압축강도, 휨강도, 인장강도가 크다.
- 2) 수밀성이 양호하고 방수성, 내동결융해성이 우수하다.
- 3) 내약품성(특히 내산성)이 우수하다.
- 4) 내마모성이 우수하다.
- 5) 진동감쇄성이 크다.
- 6) 전기 절연성이 크다.
- 7) 표면이 매끈매끈하여 광택이 있기 때문에 청소하기 쉽다.
- 8) 안료에 의한 착색이 용이하다.
- 9) 접착제로 용이하고 확실하게 구조적인 접착이 가능하다.
- 10) 경화시간을 광범위하게 조절할 수 있고, 경화종료까지의 시간이 아주 짧다.
- 11) 기본적으로는 시멘트 콘크리트와 동일한 제조방법으로 생산할 수 있다.

이 외에 고강도화에 따른 제품이 경량화로 운반성의 향상이나 제품화와 경량화에 의한 시공성의 향상 등도 폴리머 콘크리트의 한가지 특성이라고 말할 수 있다. 폴리머 콘크리트는 내구성이 우수한 재료로, 이러한 내구성은 내용적으로 많은 기능을 종합적으로 가지고 있다는 의미를 포함하고 있다.

3.4 폴리머 콘크리트의 이용

폴리머 콘크리트의 이용은 사용목적에 따라 표4와 같이 다양한 특성을 있으며 폴리머 콘크리트는 제조 방법으로 부터 현장시공과 공장제품으로 나누어진다.

1) 현장시공

현장시공으로는 도로, 교량, 수로, 댐 등의

〈표 4〉 폴리머 콘크리트의 성질

특 성		용 도	조 강 성	고 강 도	접 착 성	수 밀 성	내 산 성	내 마 모	고 감 쇠	절 연 성	미 관 성	세 척 성
현 장 시 공	도로보수	○	○	○				○				
	내마모라이닝		○	○				○				
	내식라이닝		○	○	○	○						
	텐넬라이닝	○	○	○	○							
공 장 제 품	맨홀		○	○	○	(○)						
	수납창고	○	○	○	(○)							○
	파이프		○		○	○	(○)					
	약품조		○		○	○					○	
	보도판		○					○				
	트랩덮개		○							○		
	치장판		○	○	○	○					○	○
공장기계받침		○	○					○			○	

보수공사, 내식, 라이닝 등의 바닥공사 등에 널리 이용되어왔다. 도로변 보수에서는 조기공사 완료의 목적을 포함해서 폴리머 콘크리트의 조강성, 접착성, 내마모성이 이용되고 있으며, 수로 보수에서는 이들 외에 수밀성의 특성이 이용되고 있다. 화학공장의 바닥 등의 내식 라이닝으로는 현장에서 폴리머 콘크리트를 타설하는 방법과 프리캐스트 폴리머 콘크리트 판을 현장에 접착하는 방법이 있다.

최근 한랭지의 저온 하에서의 도로포장재로서 -20℃에서도 경화 가능한 아크릴산에스테를 이용한 폴리머콘크리트를 시공한 예도 있다.

일본의 전력회사(일본 전신전화주식회사)에서는 폴리머 콘크리트의 조강성, 고강도, 방수성, 접착성을 이용하여 작은 직경의 터널 라이닝의 현장 자동시공을 실시하고 있다.

2) 공장제품

폴리머 콘크리트는 짧은 시간에 경화시켜 제품화할 수 있어 공장 생산할 경우에는 거푸집의 재사용 회수가 많아 거푸집 및 양생용 설비가 적어도 되기 때문에 설비 생산성이 높다. 공장

제품에는 고강도외에 내식성, 수밀성, 내마모성, 미관 등 제반 기능성을 이용한 예가 많다.

(1) 맨홀류

폴리머 콘크리트 공장 제품의 대표적인 것으로 선진국에서는 전신 전화용으로는 물론 전력 용으로도 이용되고 있다. 그리고 보수가 어려운 공장내의 맨홀이나 배수로, 가스, 수도, 하수도 용 등의 맨홀, 공원 등의 조경용으로도 사용된다. 이러한 맨홀의 사용상 이점을 들면 다음과 같다.

① 고강도이기 때문에 부재 두께를 적게 할 수 있고, 경량화가 가능하기 때문에 운반, 설치 등의 취급비용등이 저감된다.

② 부재두께를 얇게 할 수 있기 때문에 제품의 외부치수가 적어지고, 설치시에 터파기양이 적어진다.

③ 제품이 나누어져 있어도 접착제로 쉽게 단 시간에 일체화할 수 있기 때문에 짧은 시간에 시공을 완료할 수 있어 공사로 인한 도로 점유시간을 줄임으로써 교통장애를 감소시킬 수 있다.

④ 수밀성이 좋아서 지하수의 침투가 없다.

⑤ 내식성이 좋아 내부에 흐르는 물이나 토양의 성질을 불문하고 사용할 수 있다.

⑥ 맨홀, 핸드 홀 이외에도 도로 소화전으로 설치되어 있고, 이들의 보호박스 또는 가스나 수도 등에도 이용될 수 있다.

(2) 지하수납고

앞에서 논한 맨홀류가 토목용의 폴리머 콘크리트제 매설 구조물이라 하면, 건축용 매설구조물로는 주택용 지하 수납고로의 이용이 가능하다.

이것은 주택의 지하에 매설된 대형창고로서 지하에 매설하기 때문에 토지의 유효이용이 가능하고 경량이어서 토량공사가 줄어들고 더욱이 공기가 단축될 수 있다.

특히 폴리머 콘크리트는 양호한 수밀성을 발휘하기 때문에 방수공사가 전혀 필요없고 청소도 용이하여 유지관리상 이점이 많다.

(3) 파이프

FRP와 폴리머 콘크리트를 합성한 제품은 동일 직경의 강관과 같은 강도를 가지고 있고, 더욱이 경량이며 내식성이 우수한 장점을 가지고 있기 때문에 최대 지름 3000mm까지 실용화되고 있고 상하수도관, 전선관 등으로써 연약지반 또는 해안에 사용될 수 있다.

(4) 약품조

폴리머 콘크리트의 우수한 내식성을 이용하여 산성액의 탱크, 화학약품의 펌프대, 배수구, 약품처리조 등에 이용될 수 있다. 그리고 배수구는 오염된 하수에 의한 시멘트 콘크리트 대신에 하수에 노출된 부분을 폴리머 콘크리트로 피복하여 사용할 수 있다.

내약품성 용도로서는 수지의 종류, 등급, 골재의 성질, 약품의 종류, 농도, 온도에 의해 폴리머 콘크리트의 특성이 다르기 때문에 이들을 충분히 파악하여 두는 것이 좋다.

(5) 판 류

폴리머 콘크리트판 제품으로는 앞에서 이야기한 내약품성의 바닥재나 화장재(化粧材)용도 외에도 고강도, 착색성을 이용한 보도용 칼라판, 맹인유도 표식판, 그리고 고강도, 전기절연성을 이용한 고압송전용 트랩뚜껑 등의 용도로 이용될 수 있고, FRP와 폴리머 제진 콘크리트와의 합성판등으로도 이용될 수 있다.

(6) 화장재(化粧材)

폴리머 콘크리트 제품의 테라조는 잘 알려져 있으나 최근에는 세면대, 욕조등에도 이용이 증대되고 있다. 유럽, 미국 등지에는 비구조재인 욕실 등의 배수로 뿐만아니라 구조재적인 건물의 내외장재로서 폴리머 콘크리트 판넬이 이용되고 있다.

(7) 기계부재

폴리머 콘크리트는 진동 감쇄특성이 크기때문에 (주철의 10~20배)공작기계 등의 정밀기계 받침 또는 부품등의 용도로 개발되고 있다. 이러한 용도로서는 독일, 스위스, 일본 등에서 개발되어 사용되고 있고, 골재로 피어라이트를 사용한 폴리머 콘크리트의 일종이 제진대(除振台)로서 사용되고 있다. 지금까지는 폴리머 콘크리트가 건설분야를 중심으로 사용되어 왔으나, 금후로 산업계의 정밀화로의 경향이 두드러지고 있다.

3) 폴리머 콘크리트의 구조 이용과 설계

폴리머 콘크리트의 용도와 사용은 다양하나, 그 대부분은 구조체로서 외력을 받고 있음은 물론 목적에 따른 제반기능을 발휘하고 있다. 즉, 폴리머 콘크리트의 구조설계와 기능성 설계가 확립되는 것이 바람직하다.

그러나 실제 이용하는 차원에서, 구조설계에 있어서는 폴리머 콘크리트의 재료특성에 기초한 설계보다는 오히려 시멘트 콘크리트에 대한 설계를 그대로 이용하고 있고, 구조물의 기능성

설계는 아직 확립되어 있지 않다. 폴리머 콘크리트의 재료적 특성을 살린 구조설계에 대하여 고려해 볼 때, 이것은 주로 힘을 받는 면부재로서 지하에 매설되어 이용이 되고 있는 경우가 많다.

한편, 폴리머 콘크리트는 알칼리성이 아니고 중성이기 때문에 시멘트 콘크리트보다도 균열이 발생한 후 강재의 방식보호성능은 전혀 기대할 수 없다. 따라서 폴리머 콘크리트의 휨부재는 철근콘크리트와 같이 콘크리트의 압축강도와 보강재의 인장강도를 이용하는 것이 아니고 오히려 폴리머 콘크리트의 높은 휨 강도를 이용하여 균열발생 전의 단계에서 사용되는 구조설계가 되어야한다. 그리고 균열 발생 후의 내력 저하가 문제가 되는 경우에는 그에 대한 보강을 하게 되나, 이 경우에도 균열내력을 유지시키기 위한 정도의 보강이면 충분하고 철근 콘크리트와 같이 균열 발생후의 내력까지 기대할 필요는 없다. 또, 폴리머 콘크리트의 경화수축이 큰 경우에는 보강이 있음으로써 오히려 균열내력을 떨어뜨리게 되기 때문에 보강재의 양을 적게 하여 부재의 인성을 확보하는 것이 좋다. 그리고 폴리머 콘크리트는 접착성이 양호하고 수지를 이용한 균열보수가 양호한 점도 장점이 된다.

폴리머 콘크리트 구조물의 구조 해석이 필요

한 경우에는 탄성이론에 근거하고 있고 강도 설계방법은 다음 4종류로 분류된다.

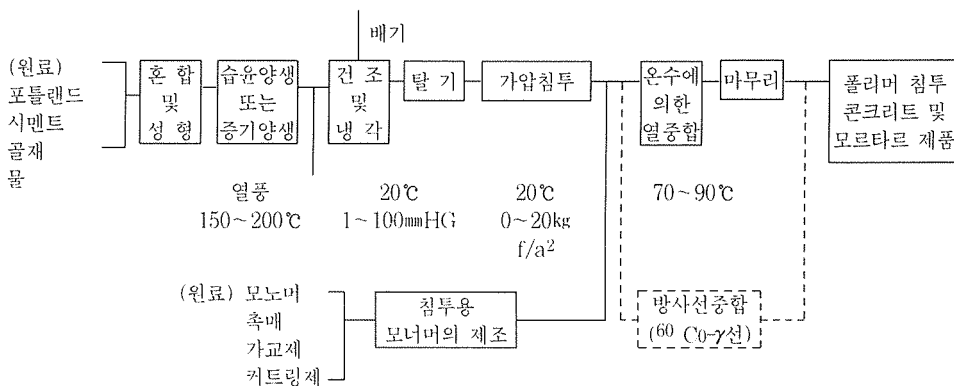
- (1) 폴리머 콘크리트의 휨강도를 이용한 휨부재
- (2) 폴리머 콘크리트의 압축강도를 이용한 휨부재
- (3) 폴리머 콘크리트의 압축강도를 이용한 압축부재
- (4) 기타 부재

현재는 주로 상기의 (1)항의 휨부재로의 이용이 대부분이다. 이 경우 재료를 선형탄성체로 생각해서 콘크리트 구조물의 설계와 같이 허용응력도법에 의해 강도 설계를 하는 것이 좋다. 그리고 극한강도는 균열발생후 인성을 확보하기 위해서 인성설계가 필요하다.

4. 폴리머 침투 콘크리트

4.1 개요

다공질 재료인 시멘트 콘크리트 제품에 침투용 모노머(Monomer, 단량체)를 침투중합시켜 높은 수밀성과 고강도를 발휘하도록 한 것이 폴리머 침투 콘크리트 및 모르타르(Polymer Impregnated Concrete or Mortar, PIC or PIM)이다.



〈그림 6〉 폴리머 침투 콘크리트 및 모르타르 제품의 제조공정

이러한 시멘트 콘크리트 및 모르타르의 폴리머 침투재에 의한 개질(改質)효과는 시멘트수화물에서 얻어지는 매트릭스 및 골재 사이의 공극을 폴리머 침투재료로 완전하게 혹은 부분적으로 충전하여 얻어진다. 따라서 PIC 및 PIM은 시멘트 콘크리트 및 모르타르에 비교하여 강도, 수밀성, 내동결융해성, 내약품성, 내마모성 등의 성질이 크게 개선되거나 내열성이나 내화성 등이 약한면이 있다.

4.2 폴리머 침투 콘크리트 및 모르타르의 제조 및 시공

일반적으로 폴리머 침투 콘크리트 및 모르타르의 제조법으로는 프리캐스트 제품으로 공장생산방식과 현장 폴리머 침투공법으로서 현장시공방식이 있다.

1) 재 료

(1) 폴리머 침투재

폴리머 침투용으로 메타크릴산 메칠이나 스티렌 등의 점도가 낮은 비닐계 화합물의 중합체가 이용되고 있다.

(2) 피침투재

프리캐스트 제품으로는 시멘트 콘크리트 및 모르타르 성형물, 파이프, 파일, 보오드 등의 콘크리트 2차제품, 석면슬레이트, 웨로 시멘트 제품, 석고제품등이 이용되고 있다. 현장 폴리머 침투공법으로 신·구 콘크리트에 관계없이 경화시멘트 콘크리트 현장 자체가 피침투재료로 이용될 수 있다.

2) 제조·시공

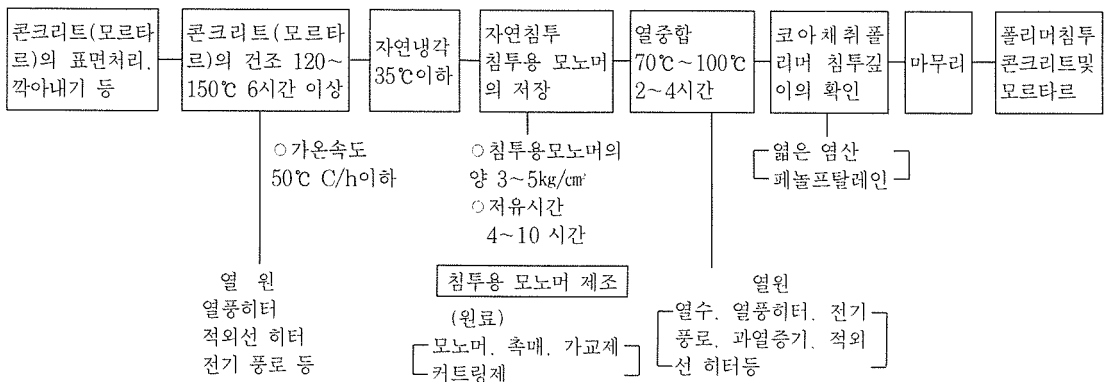
(1) 프리캐스트제품의 제조

일반적으로 그림1과 같은 공정으로 제조된다. 방사선 중합 방식보다는 열중합방식이 주로 이용되고 있으며, 폴리머 침투율(폴리머 침투 콘크리트 또는 모르타르 중에 침투되어 있는 폴리머의 양)은 5~15wt%이다. 그림6은 폴리머 침투 콘크리트 및 모르타르 제품제조 공정도이다.

(2) 현장 폴리머 침투공법

경화시멘트 콘크리트 및 모르타르 표면을 충분히 건조시킨 후 그 위에 약품조를 설치하여 침투용 모노머를 저장하고 자연 침투시켜 열중합을 행한다. 그림7은 현장 폴리머 침투공법의 공정도이다.

기성 시멘트 콘크리트 및 모르타르의 건조 정



〈그림7〉 현장 폴리머 침투공법의 공정

도는 시공후 폴리머 침투 콘크리트 및 모르타르의 성질에 큰 영향을 주기 때문에 건조를 충분히 행할 필요가 있다. 침투용 모노머를 제조할 때 재료를 정확하게 계량한다. 침투용 모노머는 건조후 상온으로 냉각시켜 저장한다. 시공이 완료된 후에는 코어를 채취하여 폴리머 침투 깊이를 확인하고, 보통의 침투깊이는 20~30mm정도이다.

4.3 폴리머 침투 콘크리트 및 모르타르 성질

프리캐스트 제품 및 현장 폴리머 침투공법으로 시공한 콘크리트의 성질은 다음과 같고, 주로 폴리머침투율 및 깊이에 좌우된다.

- 1) 폴리머 콘크리트 및 모르타르와 같은 정도이거나 그 이상의 고강도를 발휘한다.
- 2) 높은 수밀성이 얻어지고 동결융해 저항성도 우수하다.
- 3) 내약품성이 향상된다.
- 4) 내마모성 및 내충격성이 우수하다.

폴리머 침투 콘크리트의 압축강도는 실리카흙 및 고성능 감수재 등의 혼화, 오토클레이브양생, 폴리메타크릴산 메칠의 침투에 의한 공법으로 2300~2600kg/cm²정도를 얻을 수 있다.

폴리머 침투 콘크리트에는 강섬유, 유리섬유, 폴리머섬유, 탄소섬유 등으로 보강하고, 웨로시멘트로의 폴리머 침투 콘크리트의 제조가 연구 개발되고 있다.

4.4 폴리머 침투 콘크리트 및 모르타르의 용도

폴리머 침투 콘크리트 및 모르타르로 제작된 프리캐스트 제품용도는 전력케이블용 다공관(多孔管), 해중 레스토랑의 창틀, 외벽용 테라조 판넬, 뜯기초용 유니트, 보도판, 파이프, 묘비, 방사능 폐기 수납용기, 인터로킹 블럭, 영구형틀 외에 석고제품을 피침투재료한 세면대, 가로등, 교량이나 고속도로의 바닥판, 파이프등이다. 현장 폴리머 침투공법의 표면의 경도나 강도, 수밀성, 내약품성, 염화물 이온 침투나 중성화에 대한 저항성, 내마모성 등의 향상을 위해 고속도로의 포장이나 댐의 보수공사, 지붕스라브의 방수, 공장바닥의 방식등의 용도로의 개발이 바람직하다.

참고문헌

- 1) 콘크리트 공학, vol.26, 大濱嘉彦, 1988
- 2) 콘크리트 폴리머 복합체의 이용과 연구개발동향, 콘크리트공학, vol.28, No.4, 大濱嘉彦, April 1992
- 3) 레진 콘크리트의 이용의 현상, 콘크리트 공학 vol.23, No.10, 小柳治, 林高士男, Oct 1985
- 4) 폴리머 시멘트 모르타르의 내생산성에 관한 연구, 대한 건축학회 논문집, vol.6, No.4, 소양섭, 1990