

폴리머를 이용한 콘크리트 구조물의 강도증진

Strengthening of Concrete Structures Using Polymer Resins

○ 변근주*, 김영진**, 이상민***, 김정훈****
Byun, Keun-Joo Kim, Young-Jin Lee, Sang-Min Kim, Jeong-Hoon

ABSTRACT

By applying the newly developed techniques of polymer impregnated concrete (PIC) severely deteriorated and low quality concrete can be restored to an adequate structural material. Early deterioration of concrete causes severe problems for bridge deck concrete, pavement concrete for highways and airports, hydraulic structures and building structures. Deterioration has its origin in cracks on concrete surface, scaling or spalling due to freezing and thawing, neutralization of concrete, penetrations of water, salt, and calcium chloride. The objective of this study is to develop the new surface impregnants and strengthening techniques for them. It is found that the new impregnants and strengthening techniques developed in this study can retain the characteristics of the existing concrete and decrease deterioration, and also increase durability, chemical resistance, strength, stiffness and ductility of the existing concrete.

1. 서론

1972년 유가파동 이후 모든 기술자가 에너지 및 물가절약에 관심을 가져오면서 콘크리트공학 분야에서도 신소재에 관한 연구에 관심이 집중되고 있다. 최근 많은 콘크리트 재료연구자들은 시멘트의 강도, 취성, 연성, 내구성을 증대시킬 수 있는 연구와 시멘트 대용재료의 개발에 관심을 기울이고 있다. 이런 연구의 일환으로 콘크리트 전체의 성질을 개량시킬 수 있는 방법으로서, 콘크리트 기술과 고분자 유기화합물인 폴리머 (Polymers) 기술을 조합한 폴리머콘크리트 (Polymer Concrete)가 1970년대 초부터 본격적으로 소개되기 시작했다. 특히 실리카질 재료를 폴리머와 조합하게 되면 콘크

리트의 성질만 개선되는 것이 아니고, 일반 콘크리트 보다 에너지 소모량을 줄일 수 있는 잇점이 있다고 알려져 있다. 폴리머에 사용되는 고분자재료에 따라 그 종류가 다양하고 용도도 매우 넓기 때문에 앞으로 크게 발전할 소지가 있을 것으로 예상된다. 폴리머 콘크리트의 사용이 보편화되고 경제적 타당성이 인정되려면 아직 도 더 많은 연구가 필요하겠지만, 선진국에서는 기존 콘크리트 구조물의 강도 및 내구성 증진, 도로 및 교량상판의 덧씌우기, 수공구조물, 해양구조물, 댐 및 터널의 라이닝, 전력구조물 그리고 기계기초, 흙관, 관암거 및 방사성 폐기물 저장용기를 비롯한 각종 프리캐스트부재의 제조에서 이미 실용화에 성공하고 있는 실정이다.

지금까지 국내의 건설분야에 있어서는 그 사용이 매우 제한되어 있지만 향후, 사회적 문제로 대두되고 있는 레미콘의 성능저하 및 해사사용에 따른 콘크리트의 장기강도 확보를 위한 보강기법으로 폴리머 침투콘크리트의 활용이 확대될 것으로 기대된다.

- * 연세대학교 토목공학과 교수 공학박사
- ** 연세대학교 토목공학과 강사 공학박사
- *** 연세대학교대학원 토목공학과 박사과정
- **** 연세대학교대학원 토목공학과 석사과정

2. 폴리머침투콘크리트의 제조원리

폴리머 침투콘크리트는 고분자 폴리머가 기존 콘크리트의 내부공극에 충전제(filler) 또는 경화시멘트 골과의 결합형태로 존재하기 때문에 폴리머침투콘크리트의 특성은 단량체의 종류, 물성, 조성비 및 침투량에 따라 크게 변화하게 된다.

일반적으로 폴리머 침투제로 활용되는 고분자 폴리머분산재는 그 물성에 따라 고무라텍스, 수지 에멀전 및 혼합 분산재 등으로 구분되나, 침투제의 침투효과를 증진시키기 위해서는 점도 및 증발율이 낮고 비점이 높은 고분자 재료를 단량체로 선택하여야 하므로 본 연구에서는 Methyl methacrylate(MMA)를 대상으로 콘크리트구조물의 강도증진 방안을 제시하고자 한다.

2.1 폴리머 침투제의 구성

폴리머 침투제는 단량체(monomer), 개시제(initiator), 촉진제(promoter) 및 가교제(crosslinking agent)로 구분된다. 본 연구에서는 단량체로 MMA, 개시제로 질소화합물계의 Azobisiso Butyronitrile(AIBN), 촉진제로 액상의 Dimethylaniline(DMA)을 사용하였다.

2.2 폴리머침투콘크리트의 제조기법

(1) 침투제의 침투공정

침투제를 콘크리트 표면으로부터 침투시키는 공법에는 구조물의 특성, 소요침투깊이 및 콘크리트의 표면상태에 따라서 진공기법(Vacuum Technique), 압력기법(Pressure-mat Technique), 함침기법(Surface-drying and Monomer-ponding Technique), 그루빙기법(Surface-grooving and Monomer-ponding Technique), 살포기법(Spray Technique) 등으로 구분된다. 일반적으로 침투제의 침투공정은 건조(drying), 침투(impregnation), 중합(polymerization)의 3 단

계로 구성되며, 각 공법에 미치는 영향요소들은 침투제 자체의 특성, 기존콘크리트의 특성(공극율, 강도, 함수율, 흡수율, 양생조건 등), 건조소요 시간, 침투깊이, 침투량, 중합조건과 중합방법 등 많은 인자들이 있다. 이들 침투기법들중 대상 구조물의 특성 및 요구되는 물성에 따라서 침투기법을 달리 하여야 하며, 건물구조의 강도증진기법으로는 함침기법이, 교량상판 및 도로포장의 경우는 살포기법이 효율적인 제조기법으로 평가된다. 한편, 건물구조의 벽체 및 슬래브에 함침기법을 적용할 경우, 폴리머 침투제의 함침용 장치는 그림 1 및 2에 도시된 바와 같다.

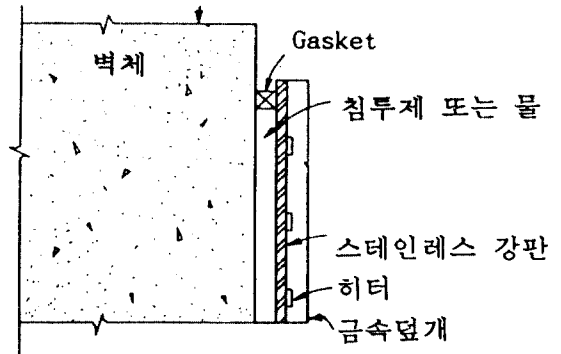


그림 1 벽체의 함침용 장치



그림 2 슬래브의 함침용 장치

(2) 침투제의 중합공정

콘크리트의 표면으로 침투된 아크릴계 단량체는 고분자의 결합체에 생성된 부대전자(unpaired electron)에 의하여 자유라디칼 연쇄반응을 일으켜 중합체를 형성한다. 자유라디칼의 생성방법은 중합에너지의 도입방법에 따라서 방사중합법, 열중합법, 열

축매중합법, 및 축매-축진제중합법 등 여러 가지 방법으로 분류되나, 현장시공의 경우는 열축매중합법과 축매축진제중합법이 널리 적용되고 있다. 특히, 열-축매중합법은 상온에서 중합속도가 아주 빠르고 축진제와 개시제의 농도에 따라서 경화시간과 겔화시간을 조절할 수 있기 때문에 건축구조물, 교량상판, 댐, 터널의 라이닝 및 도로 포장의 보강 및 보수에 효율적인 것으로 평가된다.

3. 폴리머침투콘크리트를 이용한 콘크리트 구조물의 강도증진

3.1 건물구조의 현장 강도증진실험

본 연구에서는 폴리머침투콘크리트의 실용성과 폴리머 침투에 의한 강도증진효과를 평가하기 위하여 AE제의 과다사용으로 초기 강도발현이 불량한 신축건물의 슬래브구조를 대상으로 현장 침투실험을 실시하였다. 침투제로는 MMA를 사용하였고 열축매중합을 유도하기 위하여 AIBN(2wt%) 과 DMA(5wt%)를 반응축매로 사용하였다. 침투기법으로는 함침기법을 적용하였으며, 총 12cm의 슬래브 두께 중 표면에서 5cm까지를 목표 침투깊이로 설정하였다.

(1) 대상구조의 선정

본 연구에서는 슬래브구조의 현장 침투실험을 수행하기 위하여 경기도 B시 소재 신축 건물을 대상구조로 선정하였으며, 폴리머 침투실험은 총 94.8cm²에 대하여 실시되었다.

(2) 현장 폴리머침투콘크리트의 제조공정

함침기법을 이용한 건물구조의 강도증진을 위하여 본 연구에서 적용한 현장 폴리머 침투콘크리트의 제조공정은 다음과 같다.

- (a) 기존 콘크리트 슬래브의 물성평가
· 슈미트 햄머에 의한 비파괴 강도의 평가

- 코아 (φ10cmx12cm) 채취에 의한 내부조직 평가, 공극률 및 압축강도의 평가

(b) 폴리머침투제의 침투 및 중합공정

- 함침용 Dike의 설치
· 슬래브의 표면먼지 제거(Air Compressor)
· 콘크리트의 건조 및 상온 냉각
· 폴리머 침투제의 배합 (MMA + 2wt% AIBN + 3wt% DMA)
· 폴리머침투제의 침투 (24시간) 및 중합방지용 비닐커버
· 열축매중합(고온 증기양생기, 200°C, 0.5 - 1.5 kg/cm²)

(3) 실험결과의 분석

B시 소재 신축건물의 슬래브구조에 대한 현장 폴리머 침투실험 결과는 표 1에 제시된 바와 같다. 실험결과에 의하면 목표 침투깊이의 5cm 보다는 다소 작은 4.3cm내외로 폴리머가 침투되었으나, 폴리머 침투콘크리트의 압축강도 247.85kg/cm²가 기존 콘크리트의 압축강도 136.74kg/cm²에 비해 1.8배 증가되었으며, 또한 슬래브의 설계 기준강도 240 kg/cm² 보다 큰 것으로 평가되므로 폴리머 침투로 콘크리트의 강도가 매우 개선되었음을 알 수 있다. 본 연구 결과를 토대로 향후, 기존 콘크리트를 철거한 후 재타설하지 않더라도 폴리머 침투제를 이용하면 침투깊이의 조절만으로도 소요강도의 발현을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

표 1 현장 폴리머침투실험결과 (kg/cm²)

분석항목	침투 전	침투 후	개선율, %
공극률	17.17%	11.06%	35.6
침투깊이	-	4.3cm	-
비파괴강도	83.90	179.20	213.6
파괴강도	136.74	247.85	181.2

3.2 콘크리트 포장모형의 현장 침투실험

최근, 고속도로 포장, 교량상판 및, 공항 포장등의 조기 열화현상이 심각한 것으로 보고되고 있다. 따라서 이들 구조물의 각종 열화현상을 방지하고 소요의 내구성을 확보하기 위한 방안으로 살포기법을 적용한 폴리머 부분침투콘크리트의 제조기법을 제시하고자 한다. 본 연구의 적용성을 검증하기 위하여 고속도로 포장모형에 대한 침투실험을 실시하였으며 실험과정 및 실험결과는 다음과 같다.

(1) 대상 포장모형의 선정

고속도로 포장의 현장 침투 실험은 본 연구진이 연세대학교 교내에 실험용으로 건설한 폭 5m, 길이 72m의 무근 콘크리트의 포장 모형에 대하여 실시 되었다.

(2) 현장 폴리머침투콘크리트의 제조공정

살포기법을 이용한 콘크리트 포장의 현장 폴리머 침투 콘크리트의 제조 공정은 다음과 같다.

(a) 예비 공정

- 폴리머 침투위치의 선정
- 표면 건조상태의 확인 및 불순물 제거
- 포장표면의 온도측정

(b) 침투 및 중합공정

- 표면 건조 및 상온 냉각
- 표면 중발방지용 모래의 도포 (5mm)
- 폴리머 침투제의 배합 (MMA + 2wt% AIBN + 3wt% DMA)
- 침투제의 살포 및 침투(1~2시간)
- 열촉매중합(고온 증기발생기)

(3) 실험결과의 분석

현장침투 및 중합공정이 완료된후, 포장 표면을 대기중에서 상온까지 자연냉각시켰으며 슈미트햄머를 이용하여 표면강도, 방

수효과 및 침투깊이를 평가하였다.

분석결과에 의하면 포장표면에 5mm내외의 모래를 도포하고 침투제를 살포하면 4~8mm 내외의 침투깊이가 확보되는 것으로 평가되며 이때 표면의 비파괴강도는 1.5배 ($255\text{kg/cm}^2 \rightarrow 376\text{kg/cm}^2$)정도 개선되는 것으로 나타났다.

4. 결 론

(1) 건물슬래브두께의 1/3 깊이까지 MMA를 침투시킬 경우 비파괴강도는 2.14배, 파괴강도는 1.81배 증가되는 것으로 나타났다.

(2) 포장모형의 경우는 900 cc/m^2 의 살포량만으로도 4-8mm의 침투깊이를 얻을 수 있으며, 특히 표면 비파괴강도가 1.5배 증가되므로 고속도로 및 공항활주로의 국부적 보수 보강용으로 활용이 기대된다.

참고문헌

1. 변근주, "콘크리트 표면침투 도색공법 및 침투도색제의 개발(I), (II)", 과학기술술처, 연세대학교, 1986(I), p.301, 1988(II), p.519.
2. 변근주, "신소재로서의 폴리머콘크리트", 레미콘지, Vol.18, No.12, 한국레미콘공업협회, 1988, pp.8-16.
3. 변근주 외 3인, "특수 고강도 콘크리트의 개발동향", 제7회 레미콘기술세미나 논문개요집, 한국레미콘 공업협회, 1990, pp.75-106.
4. 변근주, 이상민, "폴리머침투콘크리트의 개발과 이용-침투제의 개발", 제1회 한일 폴리머 콘크리트복합체 공동학술 세미나, KCI, 1990, pp.11-28.
5. 변근주, "폴리머 침투콘크리트의 개발과 응용(II)", '89목적기초연구, 한국과학재단, "건설산업용 콘크리트 폴리머 복합체의 개발과 응용(II)", 1991, pp.41-168.