

# 폴리마를 이용한 콘크리트의 開發動向

延 圭 錫\*

## 1. 머릿말

建設材料로서 有機폴리마(organic polymer)를 利用하는 것이 결코 새로운 것은 아니다. 人類歷史의 초기에 人間들은 高强度이며 耐久的인 建設材料를 얻기 위해 無機材料와 自然產 폴리마를 合成시켜 사용한 經驗을 가지고 있다. 그것은 BC 2세기초 石灰와 찰쌀풀을 혼합한 모르타가 中國에서 大規模·壁<sup>10)</sup>을 建設하는데 利用되었다는 事實이 立證해주고 있다

지난 10여년간에는 合成폴리마를 콘크리트에 이용키 위한 研究가 世界各國에서 활발히 展開되어왔다. 특히 美國, 日本, 西獨, 英國 등에서는 콘크리트材料로서 폴리마가 商業的으로 製造·生産되고 있다.

1977년에는 ACI Committee 548 (polymer in concrete)이 구성되기에 이르렀고, 이 委員會의 報告書에서는 폴리마를 利用한 콘크리트의 형태를 폴리마 포틀랜드 시멘트 콘크리트 (polymer-portland cement concrete; PPCC), 폴리마 浸透 콘크리트(polymer-impregnated concrete; PIC) 및 폴리마 콘크리트(polymer concrete; PC) 등 3가지로 區分하고 있으며, 이에 대한 여러가지 基礎的인 資料도 提示하고 있다.<sup>1)</sup>

여기서는 몇가지 文獻을 통해 폴리마를 利用한 3가지 콘크리트의 材料, 特性 및 應用에 대해 알아보는 한편 美國을 비롯한 各國에서의 開發動向을 살펴보고자 한다.

## 2. 폴리마를 利用한 콘크리트

### 가. 폴리마 포틀랜드 시멘트 콘크리트

이는 폴리마-시멘트 콘크리트(polymer-cement concrete) 혹은 폴리마 모디화이드 콘크리트(polymer-modified concrete)라고도 불리워지는데 ACI Committee 548에서는 폴리마 포틀랜드 시멘트(PPCC)로 그 명칭을 정해 놓고 있다.<sup>1)</sup>

이것은 굳지않은 보통콘크리트에 液相 혹은 粉末相의 모노마(monomer)나 폴리마(polymer)를 混和材로서 첨가하여 硬化시킨 것이다.

따라서 이 콘크리트는 보통콘크리트를 配合하는 기술로 製造가 가능하기 때문에 研究者나 使用者들로부터 관심과 흥미를 끌어들였으며, 1947년 이후에는 이에 사용 가능한 각종 모노마와 폴리마가 많이 연구·개발되어왔다.

여기에 使用되는 모노마나 폴리마는 水溶性이어야 하며, 使用量은 대개 시멘트 重量의 10~20% 범위이다. 이러한 比率은 시멘트의 膠質을 계속적으로 유지하는 동시에, 미세한 空隙을 채우고 모래粒子和 시멘트 풀(paste)의 分離를 방지하기 위해서 반드시 必要하다.

폴리마 浸透 콘크리트 (PIC)나 폴리마 콘크리트 (PC)에 成功的으로 利用 되어온 대부분의 有機모노마는 물에 溶解되지 않기 때문에 시멘트의 水和作用을 방해할 뿐 아니라 低速의 알카리分解를 일으켜서 硬化한 콘크리트의 強度를 감소시키기도 한다.

\* 江原大學校 農科大學

그러나 特許로 되어있는 몇가지 水溶性 모노마는 굳지않은 보통콘크리트에 첨가했을때 強度, 耐久性, 防水性 등에 뚜렷한 효과를 나타내고 있다. 라텍스 모디화이드 콘크리트(latex modified concrete)와 에폭시 모디화이드 콘크리트(epoxy modified concrete)가 그 開發과 利用에 있어 성공적인 것중의 代表의인 것이다.

이 폴리머 시멘트 콘크리트는 우수한 附着 強度, 높은 耐衝擊性和 耐磨耗性, 良好한 化學的 抵抗性和 凍結融解 抵抗性, 그리고 應用的 容易性 때문에 부서지거나 노후된 橋梁床板(brigde deck)의 補修나 工場建物 바닥의 表面修우기 등에 널리 使用되고 있다.<sup>6)</sup>

反面에 收縮(shrinkage)과 크리이프(creep) 變形, 낮은 長期強度, 溫度上昇에 따른 취약성 등으로 인하여 構造材로서의 使用에는 制限을 받고 있다.

대체적인 성질은 壓縮強度가 280~560kg/cm<sup>2</sup>, 引張強度가 40~65kg/cm<sup>2</sup>로 보통 콘크리트 보다 크게 뛰어나지 못하며, 彈性係數는 0.98~1.47×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>로서 오히려 작다.

이에대한 研究는 특히 日本에서 활발하며, 美國에서는 연구가 활발히 進行되지 않고 있는 실정이다.

### 나. 폴리머 함침 콘크리트

폴리머 함침 콘크리트는 이미 굳은 보통콘크리트의 内部에 있는 미세한 空隙에 모노마를 浸透시켜서 重合(polymerization)한 것이다.<sup>1)</sup>

이를 위해서는 우선 150°C 정도의 溫度에서 硬化된 보통콘크리트를 乾燥시켜 水分을 除去해야한다. 乾燥에 이어 供試體는 용기속에서 일정한 압력이 유지되는 低粘度 모노마에 담그어지며, 必要에 따라 全體적으로 혹은 部分的으로 浸透 시킨다음 모노마를 重合시키면 폴리머 함침 콘크리트가 製造된다.

여기에 사용되는 모노마는 氣相인 염화비닐(vinyl chloride), 液相인 MMA(methyl methacrylate)와 폴리에스터(polyester-styrene),

固相인 아크릴아마드(acrylamide) 등이 있다.

과거에는 氣相인 모노마가 많이 사용되어왔지만, 지금은 液相 모노마가 프리캐스트 콘크리트(precast concrete)의 含浸에 주로 利用되고 있다. 모노마의 重合은 放射線, 熱 혹은 硬化劑와 硬化促進劑의 反應에 의해 이루어진다.

美國에서 폴리머 함침 콘크리트가 開發되기 시작한 것은 1965년부터인데 AEC(Atomic Energy Commission)의 BNL(Brookhaven National Laboratory)와 OSW(Office of Saline Water)의 支援을 받은 USBR(U.S. Department of Interior's Bureau of Reclamation)의 共同研究事業에 의한 것이 처음이다.

初期에 있어서의 研究는 모노마에 담긴 원통형 콘크리트라든가 모르타에 집중되어 왔는데 이는 주로 放射線에 의해 重合되었다.

이와같은 研究를 통해 含浸 供試體의 強度와 耐久性이 뚜렷히 증가하는 結果를 보이자 새로운 콘크리트 材料로서 汎世界的인 관심을 끌기에 이르러 1970年代 중반까지는 폴리머 함침 콘크리트에 대하여 많은 研究가 이루어졌다.

폴리머 함침 콘크리트가 나타내는 性質은 압축강도 1,000~1,500kg/cm<sup>2</sup>, 인장강도 85~120kg/cm<sup>2</sup>, 탄성계수 3.5~4.0×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup> 정도로서 보통콘크리트의 그것보다 현저히 우수하다.

그리고 크리이프 변형도 상당히 작은 것이 특징인데, 어떤 경우엔 크리이프가 없는 경우도 있고, 아주 낮은 引張과 壓縮應力下에서는 負의 크리이프 변형 조차 보이기도 한다. 硬度, 防水性, 凍結融解抵抗과 기타 耐久性 감소요인에 대한 저항성도 在來의 보통콘크리트보다 상당히 높다.

폴리머 함침 콘크리트는 壓縮이나 引張에서 파괴應력에 근접 할 때까지 직선적인 彈性變動을 보이다가 파괴는 폭발적으로 예고없이 일어난다. 이러한 거동은 폴리머 함침 콘크리트가 단단하고 脆性을 가진 재료임을 나타내는 것으로서 設計過程에서 높은 安全率을 취

해야 할 필요가 있음을 보여주는 것이라 하겠다.

그러나 이러한 脆性은 BA(butyl acrylates)와 같은 可塑劑를 첨가시킴으로써 調節할 수가 있다. BA를 많이 첨가함에 따라 콘크리트는 높은 柔軟性을 갖게 되지만 BA 첨가율의 증가는 彈性係數와 強度의 감소를 동반하게 된다.

폴리마 含浸 콘크리트는 높은 強度와 양호한 耐久性을 가지고 있기 때문에 여러분야에서 이를 有益하게 이용할 수 있는 잠재적인應用方法을 찾아 낼 수 있다.

美國內에서는 약 20여개의 橋梁床板을 部分含浸 콘크리트로 시공한 실적이 있다.<sup>4)</sup> 그리고 수리구조물에도 部分含浸 콘크리트가 利用되고 있는데, 靜水地바닥과 댐의 出口壁은 2cm 정도의 깊이로 含浸시키는 것이 보통이다.<sup>9)</sup> 또한 질이 저하된 콘크리트 건물도 폴리마의 함침을 통해서 성공적으로 보수하고 있다. 이밖에 마찰저항 말뚝, 地下構造物, 道路補修, 海洋構造物, 콘크리트 선박 등에서의 응용에 대해서도 검토되긴 했으나 商業적으로 製造되고 있지는 않은 실정이다.

이에비해 美國外에서는 폴리마 含浸 콘크리트이 이용에 폭넓은 변화를 가져오고 있다. 특히 일본에서는 3개공장에서 壼부재를 생산하고 있고, 건물과 실내장식용 판넬(panel), 上下水道管, 高強度 파일(pile), 黃酸製造工場의 바닥시공에 이용되는 것으로 보고되어 있다. 이탈리아에서는 造船用材로, 소련에서는 건축물의 外觀裝飾材로, 남아프리카에서는 浴槽나 洗面器와 같은 磁器 製造材料로, 노르웨이에서는 綠石材로 사용되는 등 利用分野가 다양하다.

그렇지만 폴리마 含浸 콘크리트는 含浸容器的 크기에 의해 施工規模나 部材의 칫수가 제한되는 短點을 가지고 있을 뿐 아니라 商業的 製造는 비교적 많은 비용이 소요되기 때문에 제약받고 있다.

근래에 이르러 美聯邦道路局(U.S. Federal Highway Administration)에서는 乾燥나 重

습을 위해 콘크리트에 加熱이 필요치 않은 含浸方法의 개발을 목적으로 한 연구에 지원을 하고 있다.<sup>4)</sup> 만약 이 연구가 성공적으로 이루어진다면 현재 폴리마 含浸 콘크리트 제조시 불편한 과정으로 되어 있는 加熱處理가 불필요해져 製造技術에 새로운 變化를 가져올 것이다.

#### 다. 폴리마 콘크리트

폴리마 콘크리트는 일명 樹脂 콘크리트(resin concrete)라고도 불리워지며, 結合材로 시멘트를 전혀 사용하지 않고 폴리마만을 사용하는 것으로서 골재를 폴리마와 혼합하여 重合시킴으로써 製造된다. 즉 骨材에 대한 結合材가 보통콘크리트에서는 시멘트와 물로 된 시멘트풀(cement paste)인데 비해, 폴리마 콘크리트는 모노마, 경화제, 경화촉진제로 된 폴리마를 利用하는 것이다.<sup>1)</sup>

이 폴리마 콘크리트는 1960년경부터 폴리에스터를 이용하여 제조되기 시작했고, 美國에서는 이것이 폴리마를 利用한 콘크리트를 代表할 정도로 활발히 연구 되고 있으며, 또 工事現場에서도 많이 사용되고 있다.

비교적 많이 이용되는 모노마는 MMA와 폴리에스터(polyester-stylene)이나 에폭시(Epoxy)와 비닐에스터(vinylester)도 종종 이용된다. 性質은 에폭시를 이용한 콘크리트가 양호하나 값이 비싸기 때문에 MMA와 폴리에스터가 많이 이용되고 있다. 폴리마 콘크리트用모노마의 선정기준은 價格, 耐久性, 骨材에 대한 接着性, 室溫에서 重合反應의 용이성 등이며, 콘크리트 製造時 必要한 폴리마의 양은 대개 骨材重量의 8~25% 범위이다.<sup>7)</sup>

모노마가 重合되는데 필요한 硬化劑 및 硬化促進劑와 量은 室溫에서 30~45분에 重合될 수 있는 범위에서 결정된다. Bzp(benzol peroxide)는 가장 보편화 된 硬化劑이며, DMA(dimethyl aniline)와 DMPT(Dimethyl-paratoludine)는 가장 일반화 된 硬化促進劑이다. 多機能 모노마의 하나인 TMPTMA(trimethylolpropane trimethacrylate)는 종종 重合率

을 증가시키기 위해 사용된다.

때로는 外觀이나 콘크리트의 性質을 改良하기 위해 添加劑가 쓰이는데 可塑劑, 耐火劑, 附着力 增進劑, 着色劑 등이 그것이다.

骨材는 보통콘크리트와 같이 강모래나 강자갈이 많이 사용되는데, 조골재의 치수는 1/4인치(표면덱씰우기용)나 3/8인치(構造物用) 정도의 작은 粒徑을 가진 것이 사용된다. 또한 골재는 반드시 건조 되어야 하고, 깨끗해야 하며, 단단해야 한다. 骨材의 형태와 成分은 강도에도 영향을 주지만 내구성에도 큰 영향을 미친다.<sup>7)</sup>

高強度의 폴리마콘크리트를 제조하는데 가장 중요한 요소는 骨材粒子 사이의 공극을 최소화 하는 것이다. 이는 骨材보다 훨씬 高價인 폴리마를 적게 사용하기 위해서도 반드시 필요하다.

폴리마 콘크리트의 일반적인 성질은 壓縮強度가 400~1,500kg/cm<sup>2</sup>, 引張強度가 70~140kg/cm<sup>2</sup>, 彈性係數가 0.7~3.5×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>으로 보통콘크리트에 비해 월등하다.

특히 이 콘크리트는 충격, 마모, 동결융해, 풍화화, 화학약품과 監水에 대한 저항성이 우수한 등 장점이 많으나 온도 저항성이 약하고 온에서는 크리프가 크게 나타나는 단점도 있다.

여러분야에서의 경험을 통해 볼 때 폴리마 콘크리트는 速硬性, 高強度, 양호한 耐久性과 附着性, 때문에 補修用 材料로서 우수한 특성을 가지고 있다.

따라서 지금까지 美國에서도 폴리마 콘크리트가 가장 많이 사용되는 분야는 보통콘크리트의 補修 및 補強材인데, 주로 콘크리트 鋪裝道路나 橋梁床板에 많이 쓰여 오고 있다.

뿐만아니라 美國에서는 빌딩용 폴리마콘크리트 판넬, 마찰저항을 위한 마루용 타일, 灌溉나 地表面 排水를 위한 폴리마 콘크리트 水路와 같은 工場製品도 상업적으로 몇개의 工場에서 제조되고 있다.<sup>4)</sup>

### 3. 맺음말

폴리마를 이용한 콘크리트의 研究는 1960년대 후반부터 시작되었으며, 世界各國의 政府機關, 產業體, 大學, 研究所 등에서 꾸준히 연구되어 오고 있다.

이러한 연구는 사용요소면에서, 가공면에서 부재의 성능면에서 기술이 高度化되어감에 따라 필연적으로 요구되는 사람이라 하겠다.

日本大學의 大浜嘉彦 教授가 1985년 10월까지 25년간에 걸쳐 수집한 論文目錄集을 보면 特許를 제외한 2,542개의 文獻이 게재되어 있다.

또한 1975년이래 3년마다 폴리마를 이용한 콘크리트에 관한 국제학술 발표대회가 열리고 있고, ACI에도 별도의 分科委員會가 있는데 여기에서는 곧 폴리마를 이용한 示方書도 제정할 계획으로 있다.

이와같이 世界的으로 폴리마를 利用한 콘크리트 분야가 급진적으로 발전하고 있는데 비해, 우리나라에서는 일부 특수한 建設現場에서 응용되고 있긴 하지만 그 技術水準이 전근대적인 水準을 벗어나지 못하고 있을 뿐 아니라 이에 대한 研究도 전혀 안되고 있는 실정이다.

물론 이 분야의 發展은 建設材料 分野의 독자적인 노력에 의해서만 이루어질 수는 없다. 그 이유는 基本材料인 모노머, 硬化劑, 硬化促進劑는 化學工業分野에서 製造 供給되어야 하기 때문이다. 그래서 美國을 비롯한 世界各國에서는 주로 化學工業 分野와 建設材料 分野의 共同研究로 이루어지고 있다.

結論적으로 폴리마를 利用한 콘크리트의 開發이 시작된 것은 불과 20~30년 정도로 아직 초보적인 단계에 지나지 않는 만큼 앞으로 이 재료는 무궁 무진한 研究課題를 가지고 있다.

뿐만아니라 建設材料로서 萬能材料라고 까지 일컬어지는 보통콘크리트가 많은 약점을 가지고 있는 이상, 이를 補完 내지 補強하기

위한 材料로서 폴리마를 이용한 콘크리트가 큰 역할을 할 것임은 의심할 여지가 없다.

따라서 우리도 날로 달라지는 建設材料 分野의 발전 추세에 발맞추기 위해서라도 이 분야에 대한 착실한 연구를 시도해야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. ACI Committee 548, "Polymer in Concrete", American Concrete Institute, Detroit, 1977.
2. Albert O. Kaeding, "Structural Use of Polymer in Concrete" 2nd International Congress on Polymers in Concrete, The University of Texas at Austin, 1978.
3. Flandro, A.W., "The Use of Polyester Resin in Lieu of Cement in concrete", Technical Report of 6150th USAR RR Unit (REINF-TNG) USAR Center Fort Douglas, Utah.
4. Fowler, D.W. and Paul, D.R., "Status of Concrete-Polymer Materials in The United States", Polymers in Concrete, 3rd International Congress on Polymers in Concrete, Koriyama, Japan, May, 1981.
5. Griffiths, L.H., "Latex/Hydraulic Cement Flooring Mixtures", Chemistry and Industry, No.38, Sept., 1947.
6. Keeton, J.J. and Alumbaugh, R.L., "Polymer-Modified Concrete for Military Concrete", Technical Note N-1479, Naval Civil Eng. Laboratories, Port Huene, CA, 1977.
7. Kukaka, L.E. et al, "Introductory Course on Concrete-Polymer Materials", Brookhaven National Laboratory, BNL 19525, Upton, New York, 1974.
8. Ohama Yoshihiko, "Bibliography on Polymers in Concrete", American Concrete Institute, Detroit, 1985.
9. Schrader, Ernest K., Fowler, David W., Kaden, Richard A., and Stebbins, Rodney J., "Polymer Impregnation Used in Concrete Repairs of Cavitation/Erosion Damage", Polymer in Concrete, A.C.I. SP-58, 1978
10. Wang, You-Yun, "Research and Application of Polymer Concrete in China", Polymers in Concrete, 3rd International Congress on Polymers in Concrete, Koriyama, Japan, 1981.