

# 콘크리트 新素材 : 폴리머 浸透콘크리트

邊 根 周

(延世大 土木工學科 教授 · 工博)

## 1. 서 론

1972년 유가파동이후 모든 기술자가 에너지 및 물가절약에 관심을 가져오면서 콘크리트공학분야에서도 신소재 바람이 일고 있다. 최근 많은 콘크리트 재료연구자들은 시멘트의 強度, 韌性, 延性, 耐久性을 증대시킬 수 있는 연구와 동등한 효과를 발현할 수 있는 시멘트代用재료의 개발에 관심을 기울이고 있다. 이런 연구의 일환으로 콘크리트 전체의 성질을 개량시킬 수 있는 방법으로써, 콘크리트기술과 고분자 유기화합물인 폴리머(Polymers)기술을 조합한 폴리머 콘크리트(Polymer Concrete)가 1970년대 초부터 본격적으로 소개되기 시작했다. 특히 실리카질 재료(Siliceous Materials)를 폴리머와 조합하게 되면 콘크리트의 성질만 개선하는 것이 아니고, 일반 콘크리트 보다 에너지 소모량을 줄일 수 있는 잇점이 있다고 알려져 있다. 폴리머에 사용되는 유기재료에 따라 그 종류가 다양하고 그 용도도 매우 넓기 때문에 앞으로 크게 발전할 소지가 있을 것으로 예상된다. 폴리머 콘크리트의 사용이 보편화되고 경제적 타당성이 인정되려면 아직 더 많은 연구가 필요하겠지만, 선진국에서는 이미 많은 곳에서 실용화에 성공하고 있는 실정이다.

현재 국내에서는 이 분야에 관한 연구가 미흡하고 그 사용도 매우 제한되어 있지만, 곧 이 분야에 관한 연구와 활용이 확대될 것으로 기대되어, 여기서는 폴리머콘크리트의 발달과 동향, 폴리머침투 콘크리트에 관하여만 기술하고자 한다.

## 2. 폴리머 콘크리트의 분류

폴리머 콘크리트는 다음과 같이 크게 3분야로 나누어져 있다.

- ① 폴리머 시멘트콘크리트 : Polymer-portland-cement concrete(PPCC)
- ② 폴리머 침투콘크리트 : Polymer-impregnated concrete (PIC)
- ③ 폴리머 콘크리트 : Polymer concrete 또는 Resin concrete

폴리머 시멘트콘크리트는 모노머, 폴리머등을 시멘트와 혼합하여 콘크리트를 만든후 양생과정에서 Polymer network을 형성하도록 한 것이다.

폴리머 침투콘크리트는 기존 콘크리트 표면에 모노머를 침투시킨 후 콘크리트 내에서 중합하도록 개발한 콘크리트이고, 폴리머 콘크리트

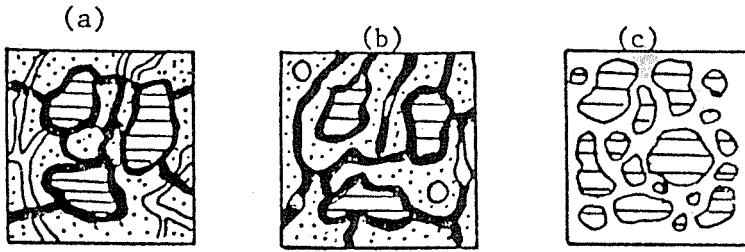


Fig.1-Schemata for (a) polymer-portland cement-concrete, (b) polymer-impregnated concrete, and (c) polymer concrete (not to scale). Crosshatched areas represent aggregate particles; open and polymer-filled capillary pores are shown in (a) and (b); dots represent gel pores, some of which are polymer-filled in polymer-impregnated concrete

〈표 1〉 폴리머 콘크리트의 특성

특 성	보통콘크리트	폴리머침투콘크리트	폴리머콘크리트	폴리머시멘트콘크리트
압축강도 (kg / cm <sup>2</sup> )	350	1,400	1,300	38.5
인장강도 (kg / cm <sup>2</sup> )	25	105	100	55
전단강도 (kg / cm <sup>2</sup> )	9	-	45	45
탄성계수 (kg / cm <sup>2</sup> )	2.45×10 <sup>5</sup>	4.2×10 <sup>5</sup>	3.5×10 <sup>5</sup>	1.4×10 <sup>5</sup>
흡 수 율 (%)	5.5	0.6	0.6	0.6
동결 } No. cycles } 융해 } %wt. loss }	700 / 2.5	3,000 / 2	1,600 / 0	-
B/C 비 율	1	2	3	4

자료 : Manson, J. A, "Overview of Current Research on Polymer Concrete", ACI SP75, 1981. pp.1~19.

는 시멘트풀의 일부를 폴리머로 치환하여 직접 폴리머가 골재의 결합역할을 하도록 한 것이다.

이 폴리머 콘크리트들의 내면조직을 나타내면 〈그림 1〉과 같고, 이들의 성능개선 내용을 수록하면 〈표 1〉과 같다.

### 3. 폴리머 콘크리트의 발달

폴리머 시멘트콘크리트(PPCC)와 폴리머 콘크리트(PC)는 1950년대에 개발되기 시작했고, 당시의 주관심은 재료자체에 있었다. 1960년중엽에 이르러 교량상판, 상하수도관, 담수화 시설등에 사용하고자 폴리머 침투콘크리트의 개발이 시작되었으나 1970년대에 들어서서 부터

본격적인 연구가 진행되었다.

미국 콘크리트협회는 1971년에 "Polymers in concrete"라는 분과위원회를 개설하고, 1970년대 말부터 이분야에 관한 연구지원, 세미나 개최, 연구동향의 정립에 연구비를 지원했다. 1975년 영국 London, 1978년 미국 Austin 에서 미국, 영국, 캐나다, 독일, 노르웨이, 일본, 인도, 이탈리아등 20여개국 연구가들이 모여 폴리머 콘크리트에 관한 국제학술회의를 개최하였고, 그 이후 폴리머 콘크리트 재료들이 부분적으로 사용되기 시작하였다.

### 4. 폴리머 콘크리트의 개발동향

기존 콘크리트내의 수분을 건조에 의하여 90

%까지 제거할 수만 있다면, 콘크리트 체적의 15%정도까지도 침투제를 침투시킬 수 있다. 이런 침투제가 모세관현상(capillary-rise mechanism) 또는 단순확산(simple diffusion process)에 의해 침투되던간에, 침투는 침투제의 표면장력, 점성도, 공극의 크기, 압력등의 변수들을 고려하는 Square-root of time rate law를 따라 이루어지고, 중합운동역학(kinetics of polymerization)은 bulk의 경우와는 다르지만, Irridation or thermocatalitic methods에 의하여 중합이 성취될 수 있다고 알려져 있다. 이런 중합에 의하여 콘크리트 내에서 시멘트 gel과 polymer 사이의 interpenetrating network system을 얻음으로써 기존콘크리트의 특성을 개선할 수 있다.

지금까지는 Methyl methacrylate(MMA)와 Acrylonitrile mixtures를 중심으로 침투제가 개발되었고, 이들 침투제가 높은 표면장력, 낮은 점성도, good wetting properties, 생산및 시공의 경제성, 높은 반응도등의 잇점을 얻는데 중점을 두고 연구가 수행되었으며 또한 다소 침투율은

은 저하되지만 에폭시(epoxies)와 기타 점성 모노머(viscous monomers)도 병행하여 연구되고있다. 개발되었거나 개발중에 있는 모든 침투제는 주로 다음과 같은 효과를 얻고자 개발되고 있다.

① 폴리머를 연속된 모세관 조직에 채우므로써 물, 소금, 염화칼슘, 기타 유해한 물질의 침투를 99%까지 감소시킴.

② 열팽창계수(Loefficient of thermal expansion)와 열확산율(thermal diffusivity)을 13~30%까지 증가시킬 수 있으며, 비열(specific heat)은 17%까지 감소시킴.

③ 콘크리트내의 공극을 폴리머로 채우므로써 함수비의 변화에 민감한 誘電導常數(dielectric constant)와 손실등의 특성변동을 극소화시킴.

④ 압축강도, 인장강도, 충격 및 휨강도와 剛性度(stiffness)를 증가시키며, 마모저항(abrasion resistance)과 탄성계수가 증가되며, 특히 glassy polymer를 적용하면 콘크리트의 파괴시까지 응력-변형률 관계를 선형탄성으로 변환시킬 수 있고, plasticizing comonomers를 이용

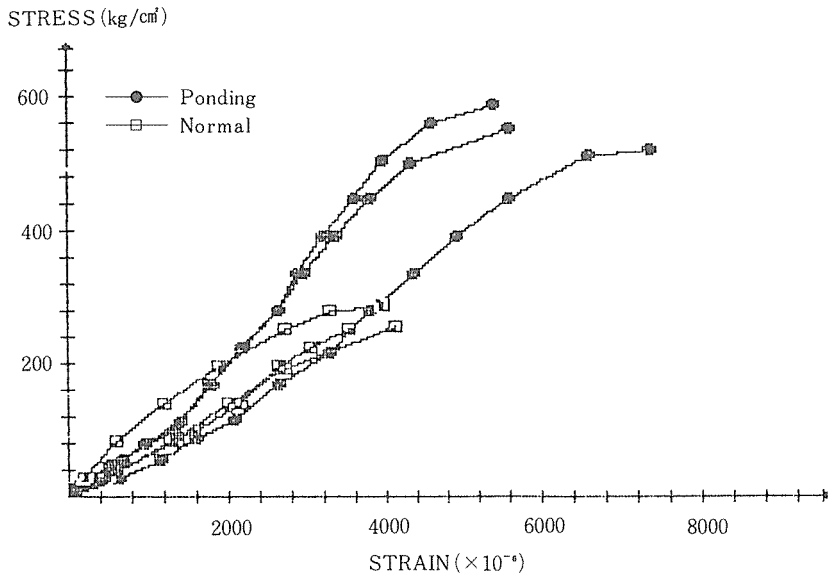


그림 2. 폴리머 침투콘크리트의 응력-변형률도

자료: 변근주, "콘크리트 표면침투공법및 침투방수도색제의 개발", 과학기술처연구보고서, 1986, p. 120.

하면 콘크리트의 취성을 연성으로 기계적 성질을 바꿀 수 있음. (그림 2 참조)

⑤ 폴리머의 개발에 따라 폴리머가 콘크리트 내부에서 continuous, randomly-oriented reinforcing network을 형성함으로써 골재와 시멘트골 사이의 부착을 증대시키고, 콘크리트부재의 변형기간 동안에 보다 많은 파괴에너지(fracture energy)를 흡수할 수 있고, 미세공극(micropores)까지 침투하여 콘크리트를 보강하고, 수화된 시멘트와 미수화시멘트를 결합시키는 효과가 있음.

⑥ 이런 효과때문에 침투콘크리트는 교량상판, 콘크리트포장, 수공구조(파이프, 저수탱크, 댐의 여수로와 감쇠지 등), 항만구조, 기초파일, 프리캐스트 콘크리트, 상하수도관, 방사능 폐기물의 저장구조, 기타 수분, 염분, 유해한 화학물로 인하여 손상을 입었거나 입을 것이 예상되는 구조등에 적용할 수 있음.

그러나 폴리머 콘크리트는 위와같은 이점만 있는 것이 아니고, 아직도 해결해야 할 침투제의 물성, 복잡한 시공, 경제성의 문제 등이 과제로 남아 있다.

## 5. 최근의 연구 및 개발

초기에는 Vinyl monomer와 에폭시를 중심으로 하여 침투제를 개발하였으나, 최근에는 Oligomeric isocyanates, Ester acrylates, Silicates, Sulfur, 또한 Linseed oil, Silane-type materials 등의 non-polymeric 재료를 이용하는 침투제의 개발에 역점을 두고 있다. 또한 콘크리트만이 아니고 폴리머를 침투시킨 골재, 석고와 같은 다공성 무기재료에 침투시키거나, 포졸란, 석회석, 슬래그 콘크리트 및 섬유보강 콘크리트에 침투제를 침투시켜 콘크리트를 보강하는데 까지 연구가 확장되고 있다.

전술한 바와 같이 침투콘크리트는 복잡한 침투공정이 필요하여, 얇은 침투에는 침투제의 살포, 깊은 침투에는 압력법과 Ponding기법을 이용하기 때문에 경비의 증대를 야기시키고 있다.

따라서 연구자들은 침투과정을 가능한 한 단순화 하거나 폴리머의 중합과정을 없애는데 연구를 집중하고 있다. 그 연구의 예로서 process control을 위해 dielectronic measurement를 기초로 하여 현장중합과정을 특성화한 연구가 있다.

또한 침투과정 중의 건조수축, 침투효과의 합리적인 예측을 위하여 침투콘크리트를 합성재료로 모형화하는 연구, 침투제의 침투깊이를 보다 정확히 예측하기 위하여 Petrographic observations와 Resistivity Measurement를 도입하는 연구, Autoclave를 이용하는 침투공법으로 압축강도/밀도의 증가와 최대변형율의 증가를 기할 수 있는 고강도 콘크리트의 생산, 침투제로 유효를 이용하는 연구등이 현재 연구개발되고 있다.

국내에서는 방수제와 Asphalt-coated cement에 관한 연구는 추진되고 있지만 폴리머 침투콘크리트에 관한 연구는 거의 추진되고 있지 않은 것으로 사료되며 본 기고자는 1985년부터 MMA, BA, Sulfur, Tar등을 중심으로 폴리머 침투콘크리트를 위한 침투제 및 침투공법을 개발하고 있다.

## 6. 맺는 말

폴리머 콘크리트의 연구 및 개발은 토목, 건축, 화학, 요업기술자가 공동으로 해결해야 할 과제이고, 연구에 많은 비용과 시간이 소요되고, 아직도 해결해야할 사항들이 있긴 하지만, 현재 국내외의 연구추세로 볼때 국내에서도 곧 폴리머콘크리트의 국산화가 가능하고, 그 활용도도 확대될 것으로 기대된다. 본 기고자가 화공, 요업기술자와 공동으로 과학기술처의 재정지원하에 개발하고 있는 폴리머 침투콘크리트의 침투제와 침투장치가 1989년까지도 완성될 계획으로 있기 때문에, 그 성과를 기대하고, 장차 신소재로서 폴리머 콘크리트가 국내에서 도로 및 공항의 콘크리트포장, 교량, 담, 각종콘크리트 공장제품에 활용할 수 있는 시기가 속히 도래할 것을 확신하는 바이다. \*