

# 고로 슬래그와 플라이 애시를 혼입한 투수성 폴리머 콘크리트의 공학적 특성

## Engineering Properties of Permeable Polymer Concrete with Blast Furnace Slag and Fly Ash

김 인 수\* · 윤 준 노 · 서 대 석 · 조 일 호  
Kim, In Su · Youn, Joon No · Seo, Dae Seuk · Cho, Il Ho  
한 영 규 · 박 종 화 · 성 찬 용  
Han, Young Kou · Park, Jong Hwa · Sung, Chan Yong

### Abstract

This study is performed to evaluate the engineering properties of permeable polymer concrete with blast furnace slag and fly ash. The following conclusions are drawn;

1. The highest strength is achieved by 50% filled blast furnace slag powder and fly ash permeable polymer concrete, it is increased 36% by compressive strength, 119% by tensile strength and 217% by bending strength than that of the normal cement concrete, respectively.
2. The ultrasonic pulse velocity is in the range of 2,022 ~ 2,139m/s. The highest pulse velocity is showed by 50% filled blast furnace slag powder and fly ash permeable polymer concrete.
3. The water permeability is in the range of 4.612 ~ 5.913  $\ell/cm/h$ , and it is largely dependent upon the mix design.

### I. 서 론

현재의 건설에 있어서 시멘트는 건설재료의 중요한 부분을 차지하고 있다. 그러나, 천연자원의 고갈 및 자연환경 보존 등 환경 문제가 사회문제로 부각되고 시멘트 콘크리트의 결점 보완과 환경문제의 해소라는 두 가지 명제를 해결하기 위해서 새로운 재료를 활용한 건설재료의 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 이런 연구 성과 중의 하나가 바로 산업부산물의 이용 및 재활용에 대한 연구이다. 그 중 고분자 화학공업의 소산인 폴리머를 결합재로 사용하여 기존시멘트 콘크리트와는 현저히 다른 성질을 갖는 콘크리트의 개발과 플라이 애시, 고로 슬래그, 왕겨재 등 산업부산물을 콘크리트용 재료로 이용하여 콘크리트 성능을 향상시키는 연구가 활발히 전개되고 있다.

---

2000년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2000년 10월 14일)

폴리머를 사용한 콘크리트는 접착성, 방수성, 내구성 등이 우수하고 경화속도가 빠르며, 압축강도 뿐만 아니라 휨강도가 월등히 큰 것 등 기존 시멘트 콘크리트보다 우수한 공학적 특성과 화학저항성이 있는 것으로 알려져 있다.

또한, 화력발전소의 연소보일러에서 부산되는 석탄재로서 플라이 애시와 철강 제조시 부산물로 산출되는 고로 슬래그를 투수성 콘크리트의 잔골재 및 충전재로 활용함으로써 콘크리트의 공학적 성질 개선과 환경문제를 다소나마 해결할 수 있을 뿐만 아니라 경제적인 측면에서도 매우 유익하리라 생각된다.

따라서, 본 연구는 콘크리트 결합재로 적당한 불포화 폴리에스터 수지와 잔골재로 고로 슬래그 모래를, 충전재로 고로 슬래그 미분말과 플라이애시를 사용한 투수성 폴리머 콘크리트의 압축강도, 인장강도, 휨강도, 초음파진동속도 및 투수량 등 공학적 특성을 실험적으로 구명하여 제반 투수성 시설 및 구조물에 사용하기 위한 기초자료를 수집하는데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1 사용재료

#### 가. 결합재

폴리머는 국내에서 생산 시판되고 있고, 콘크리트용으로 적당한 불포화 폴리에스터 수지를 사용하였으며, 경화제는 경화촉진제가 첨가되어 있는 제품으로 폴리머량의 1%를 사용하였다.

#### 나. 골재

사용된 굵은골재는 금강유역에서 채취한 강자갈인 천연골재를 사용하였으며, 잔골재는 철강 제조시 부산물로 산출되는 고로 슬래그 모래를 사용하였다. 최대입경은 굵은 골재는 10mm 이하이고, 잔골재는 4.75mm 이하인 것을 사용하였으며, 폴리머 콘크리트용 골재의 함수율은 0.1% 이하가 되어야 하므로 세척후  $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 조절된 건조기에서 24시간이상 건조시킨 후 상온에서 충분히 냉각시켜 사용하였다.

#### 다. 충전재

충전재는 무기질 분말로 흡수성이 작고 수분함량이 1%미만이어야 한다. 사용된 충전재는 포항제철소의 고로에서 용융상태의 고온 슬래그를 급냉하여 입상화한 고로 슬래그 시멘트용 미분말과 보령 화력발전소에서 부산되는 플라이 애시를 사용하였으며, 입경은 0.15mm 이하를 사용하였고,  $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 조절된 건조기에서 24시간이상 건조시킨 후 상온에서 충분히 냉각시켜 사용하였다.

### 2. 공시체 제작

#### 가. 배합비 결정

투수성 폴리머 콘크리트 배합시 가장 중요한 것은 결합재량에 따라 골재나 충전재의 피복정도에 따라 콘크리트의 성능 및 투수성에 큰 영향을 주게 되므로 투수성 폴리머 콘크리트가 제 기능을 발휘할 수 있는 결합재, 굵은골재, 잔골재 및 충전재의 배합비를 결정하였으며, 충전재는 중량비로 고로 슬래그 미분말만을 넣은 SF0, 고로 슬래그 미분말 75%와 플라이 애시 25%

를 넣은 SF1, 고로 슬래그 미분말과 플라이 애시를 50%씩 넣은 SF2, 고로 슬래그 미분말 25%와 플라이 애시 75%를 넣은 SF3, 플라이 애시 만을 넣은 SF4 등 5가지 종류의 배합으로 하였다.

#### 나. 제작 및 양생

투수성 폴리머 콘크리트의 공시체는 KS F 2419 (폴리에스테르 레진 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 규정된 방법에 준하여 골재 및 충전재를 잘 혼합한 후 결합재를 투입하여 약 3분간 혼합하여 결합재와 골재가 충분히 혼합되도록 하였고, 믹서로부터 혼합된 재료를 240 r.p.m인 진동기 위에 올려 놓은 상태로 진동다짐을 주어가며 제작하였다. 몰드에 타설된 공시체는 3시간 후 탈형하여 온도  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , 습도  $60 \pm 2\%$ 인 실험실에서 소정의 재령까지 기건양생하였다.

### 3. 시험방법

시험은 다음과 같이 KS와 BS에 규정된 방법에 준하여 재령 7일에 실시하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 실험 결과치로 하였다.

#### 가. 강도시험

압축강도 및 인장강도시험은  $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 의 공시체를 제작하여 KS F 2481(폴리에스테르 레진 콘크리트의 압축강도 시험방법), KS F 2480(폴리에스테르 레진 콘크리트의 인장강도 시험방법) 그리고 휨강도시험은  $60 \times 60 \times 240\text{mm}$ 의 공시체를 제작하여 KS F 2482(폴리에스테르 레진 콘크리트의 휨강도 시험방법)에 규정된 방법에 준하여 측정하였다.

#### 나. 초음파진동속도시험

초음파진동속도는 비파괴시험방법의 일종으로서  $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 의 공시체를 제작하여 BS 1881 Part 203 (Recommendation for the measurement of ultra sonic pulse velocity in concrete)에 의해 측정하여 다음 식으로 산출하였다.

$$P.V = \frac{L}{D \times 10^{-6}}$$

여기서, P.V = 초음파진동속도 (m/s)

D = 측정치(s)

L = 공시체길이 (m)

#### 다. 투수량시험

투수량시험은  $200 \times 200 \times 70\text{mm}$ 의 공시체를 특별히 제작된 투수시험장치에 의하여 5회 반복 측정한 값을 평균하여 시간당 투수량을 산출하였다.

### III. 결과 및 고찰

고로 슬래그 미분말과 플라이 애시를 혼입한 투수성 폴리머 콘크리트의 공학적 특성에 대한 시험결과를 도시하면 Fig. 1, 2, 3, 4, 5 와 같다.

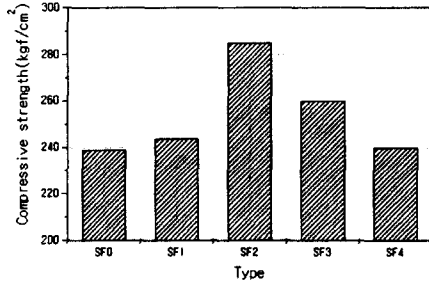


Fig.1. Comparison of compressive strength by type of filler

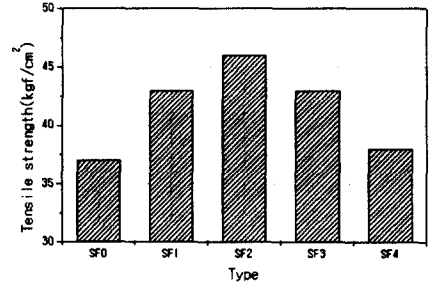


Fig.2. Comparison of tensile strength by type of filler

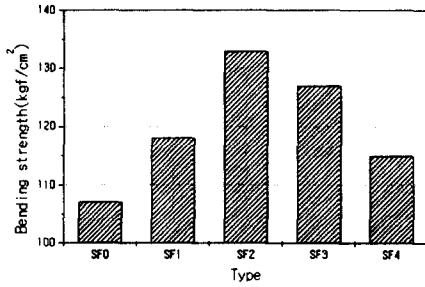


Fig.3. Comparison of bending strength by type of filler

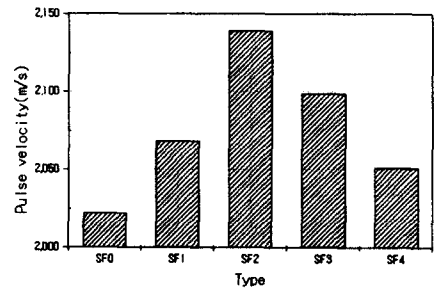


Fig.4. Comparison of ultrasonic pulse velocity by type of filler

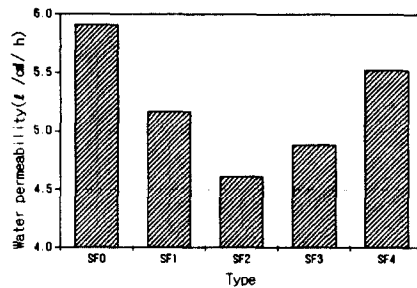


Fig.5. Comparison of water permeability by type of filler

### 1. 압축강도

투수성 폴리머 콘크리트의 압축강도는 사용골재와 배합조건 등에 따라 다르며 이에 따른 압축강도 시험결과를 비교하면 Fig.1과 같다.

Fig.1에서 보는 바와 같이 투수성 폴리머 콘크리트의 압축강도는 배합방법에 따라 239 ~ 285kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로써 이는 폴리머 콘크리트용 골재로 산업부산물을 활용함으로써 콘크리트의 성능 향상 및 경제적인 절감 효과를 가져올 수 있는 것으로 나타났다. 또한 고로 슬래그 미분말 만을 넣은 SF0에 비해 2 ~ 19% 정도 크게 나타났으며, 고로 슬래그 미분말과 플라이 애시를 50%씩 혼입한 SF2가 가장 압축강도가 높은 것으로 나타났는데, 이는 서로 다른 분말도의 고로 슬래그 미분말과 플라이 애시가 골재나 결합재와의 공극을 적절하게 채워졌기 때문이며, 이와 같은 결과는 충전재의 선택시 중요한 자료로 이용될 수 있을 것이다.

### 2. 인장강도

고로 슬래그 미분말과 플라이 애시를 혼입한 투수성 폴리머 콘크리트에 대한 인장강도시험결과는 Fig.2와 같다.

Fig.2에서 보는 바와 같이 인장강도는 보통 시멘트 콘크리트의 강도 21kgf/cm<sup>2</sup> 보다 모든 배합에서 각각 76 ~ 119%의 강도 증가를 나타내었다.

투수성 콘크리트의 특징, 즉 투수를 위한 인위적인 공극을 발생시킴에도 불구하고 보통 시멘트 콘크리트의 인장강도를 상회하는 것은 결합재로 폴리머를 사용하여 골재와 충전재 사이의 부착력을 증대시킨 때문이며, 폴리머 콘크리트가 제반 투수성 구조물에 응용될 경우 높은 인성을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

### 3. 휨 강도

투수성 폴리머 콘크리트의 휨강도 시험결과를 도시하면 Fig.3과 같다.

Fig.3에서 보는 바와 같이 휨강도는 107 ~ 133kgf/cm<sup>2</sup>의 범위로 나타났으며, 이와같이 폴리머를 사용한 콘크리트는 압축강도도 크게 나타나지만, 상대적으로 휨강도가 큰 것으로 나타나 투수가 요구되고 휨을 받는 구조물에 활용하면 매우 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

### 4. 초음파진동속도

투수성 폴리머 콘크리트의 초음파진동속도 시험결과를 나타내면 Fig.4와 같이 보통 시멘트 콘크리트의 초음파진동속도 3,000m/s에 비해 투수성 폴리머 콘크리트에서는 초음파진동속도가 67 ~ 71% 로 모두 작게 나타났는데, 이는 콘크리트 내부에 공극이 많아 초음파의 전달속도를 저해했기 때문이라 하겠다.

### 5. 투수량

투수량은 본 시험에서 가장 중요한 항목중의 하나로써 시간당 투수량에 주안점을 두고 시험하였다. 특별히 제작된 투수시험장치에 의한 투수시험결과를 나타내면 Fig.5와 같다.

여기서 보는 바와 같이 투수량은 전 배합에서 4.612 ~ 5.913 l/cm<sup>2</sup>/h로 나타났는데, 이것은 기록상 세계에서 가장 많은 시간당 강우량 약 300mm와 비교할 때 154~197배의 수량을 투수할 수 있는 성능이 우수한 투수성 폴리머 콘크리트를 개발하였다고 할 수 있다.

따라서, 이러한 투수성 폴리머 콘크리트는 적절한 강도와 투수성을 필요로 하는 시설이나 구조물에 유익하게 사용할 수 있을 것이다.

#### IV. 결 론

이 연구는 고로 슬래그 모래를 잔골재로하여 고로 슬래그 미분말과 플라이 애시를 혼입한 투수성 폴리머 콘크리트의 공학적 특성을 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 강도는 고로 슬래그 미분말과 플라이 애시를 중량비로 반반씩 충전재로 사용한 투수성 폴리머 콘크리트에서 가장 크게 나타났고, 보통 시멘트 콘크리트보다 압축강도에서는 36%, 인장강도에서는 119%, 휨강도에서는 217%가 증가되었다.
2. 초음파진동속도는 2,022 ~ 2,139m/s로서 보통 시멘트 콘크리트보다 약간 작게 나타났으며, 고로 슬래그 미분말과 플라이 애시를 반반씩 충전재로 사용한 투수성 폴리머 콘크리트에서 가장 큰 값을 보였다.
3. 투수량은 4.612 ~ 5.913 l/cm<sup>2</sup>/h로서 배합설계에 따라 크게 좌우 되었으며, 이러한 콘크리트는 투수를 요하는 구조물에 유용하게 이용할 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. 성찬용, 1996, 투수용 폴리머 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, 제38권, 제5호 별책 : 1~3.
2. 포항종합제철 / 동서개발주식회사, 1991, 철강슬래그의 재생이용 활성화 방안 : 7~10.
3. Kobayashi, K., and Ito, T., 1975, Several physical properties of resin concrete, Proceedings of the 1st ICPIC : 236~240.
4. Ohama, Y., 1994, Recent research and development in concrete polymer composites, advances in concrete technology (2nd Edition, Edited by V.M Malhotra), Canada Centre for Mineral and Energy Technology, Ottawa : 753~783.
5. Swamy, R. N., and A. H. Al-Hamed., 1984. The use of pulse velocity measurements to estimate strength of air-dried cubes and hence in situ strength of concrete. Journal of the ACI. 81(2) : 247~276.