

석탄재 및 고분자화합물을 이용한 포러스콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Mechanical Properties of Porous Concrete Using Coal Ash and Polymer

이 병 재** 박 승 범* 이 준** 장 영 일** 조 광 연***
Lee Byung Jae Park Seong Bum Lee Jun Jang Young Il Cho Kwang Yun

ABSTRACT

Immense quantities of coal combustion by-products are produced every year, and only a small fraction of them are currently utilized. Therefore, this study investigated and analyzed the applications of porous concrete for the efficient utilization of bottom ash. This study examines on application of polymer to improve strength properties of porous concrete using coal-ash.

As the results, when the mixing ratio of bottom ash increases, void ratio and coefficient of permeability of porous concrete increases, but its strength decreases. Also, as the mixing ratio of polymer increases, its void ratio and coefficient of permeability decreases. When specific amount of polymer is mixed, we can find its strength properties are improved.

요 약

화력발전소에서 연간 600만톤 이상 발생되고 있는 석탄재는 크게 플라이애시(FA), 신더애시(CA), 바텀애시(BA)로 분류되며, 그 중 플라이애시는 시멘트 원료나 혼화재 등으로 대부분 재활용되고 있고, 이에 대한 연구 또한 활발히 이루어지고 있다. 하지만 석탄재 발생량의 10~15%정도 차지하는 바텀애시는 대부분 단순 매립처리 되고 있어 자연환경보전, 매립지의 부족문제 해소 등을 고려했을 때 이에 대한 활용방안이 시급한 실정이다. 한편, 심각해져가는 환경문제를 해결하기 위한 일환으로 투수, 투기, 식생 및 수질정화 등의 기능을 보유한 포러스콘크리트의 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 산업폐기물인 바텀애시의 유효재활용과 포러스콘크리트의 성능향상을 위하여 석탄재 및 고분자화합물을 혼입한 포러스콘크리트의 역학적 성능을 검토하였다.

실험결과, 포러스콘크리트의 공극률 및 투수계수는 바텀애시의 혼합비율이 증가함에 따라 증가하였지만, 폴리머의 혼입에 따라서는 감소하였다. 강도특성은 바텀애시 골재의 혼입률이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었지만, 일정량의 폴리머를 혼입하였을 때 강도가 향상되는 것으로 나타나, 석탄재를 포러스콘크리트에 활용한 2차제품 및 포장재료 등에 적용하기 위한 강도향상 재료로서 폴리머의 사용가능성을 확인하였다.

* 정회원, 충남대학교 토목공학과, 교수
** 정회원, 충남대학교 토목공학과
*** 정회원, 공주영성대학, 부교수

1. 서 론

최근 급격한 경제성장으로 인하여 산업폐기물 및 생활폐기물로 인한 환경오염이 심각한 가운데 매립 및 해양투기 등이 금지되어 폐기물의 처리 및 재활용 대책에 대한 연구가 국가적인 차원에서 시급한 실정이다. 또한, 산업발전으로 인하여 전력소비의 증가에 따라 화력발전소에서 연간 600만톤 이상 발생되고 있는 석탄재의 재활용률은 80%미만이며, 재활용되지 못하는 석탄재는 대부분 매립 및 폐기처분되어 환경오염문제와 매립지 부족현상을 야기하고 있다. 석탄재 중 플라이애시의 경우 시멘트 원료나 콘크리트 제품제조시 시멘트 대체재로서 사용되고 있어 활용방안에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으나 비경제 석탄재인 바텀애시 굵은골재의 경우 유효재활용 및 이에 대한 연구가 미흡하여 대부분이 매립되고 있다. 한편, 자연환경보전에 대한 관심이 고조됨에 따라 콘크리트에 잔골재를 사용하지 않고 단일 입도의 굵은골재를 사용하여 인위적으로 연속공극을 형성시켜 투수, 투기, 흡음, 수질정화, 식생 및 조장조성 등의 기능을 갖는 포러스콘크리트에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 산업폐기물인 바텀애시의 유효재활용과 포러스콘크리트의 성능향상을 위하여 석탄재 및 고분자혼합물을 혼입한 포러스콘크리트의 역학적 성능을 검토하였다.

2. 실험 방법 및 사용재료

2.1 사용재료 및 실험계획

본 연구에서 사용된 재료는 표 1과 같으며, 석탄재(바텀애시 골재)의 특성은 그림 1에 나타내었다. 바텀애시 및 폴리머를 혼입한 포러스콘크리트의 특성을 규명하기 위하여 적정위커빌리티를 사전실험을 통하여 결합제의 목표흐름값을 180%로 설정하고 혼화제의 첨가량을 결정하였다.

표 1 사용된 재료의 종류 및 물리적 성질

재료	종 류	물리적 성질 및 조성
시멘트	보통포틀랜드시멘트	밀도 3.14g/cm ³ , 분말도 3,200cm ² /g
골 재	부순돌 (5~13mm)	밀도 2.79g/cm ³ , 흡수율 0.84%, 실적률 60.6%, 단위용적질량 1,693kg/m ³
	바텀애시(5~13mm)	밀도 2.41g/cm ³ , 흡수율 2.43%, 실적률 52.9%, 단위용적질량 1,275kg/m ³
혼화제	고성능 AE감수제	폴리카본산계, 밀도 1.02~1.12, pH 5.5~7.5, Cl ⁻ 0.01%이하, 알칼리 0.2%이하
폴리머	SBR Latex	시멘트혼화용 수성폴리머, 점도 78mPa·s, pH 9.3, 고형물함량 50%

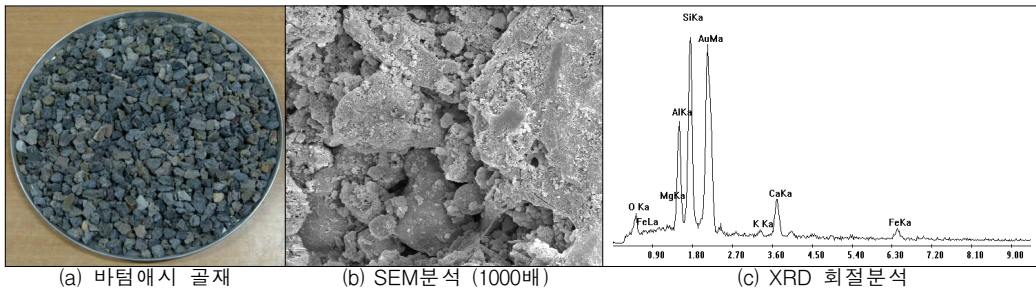


그림 1 바텀애시 골재의 특성

2.2 콘크리트의 배합

배합은 물-시멘트비를 25%, 목표공극률을 20%로 설정하고 바텀애시의 혼입률(0, 30, 50, 100%) 및 폴리머의 혼입률(0, 5, 10, 20Vol.%)을 변화시켜 배합설계를 실시하였다. 혼합방법은 시멘트페이스트의 분산성을 향상시키기 위해 30ℓ의 Omni-Mixer를 사용하여 골재와 시멘트를 60초간 건비빔을 실시한 후, 혼합수(물, 혼화제, 폴리머)를 투입하여 200rpm으로 120초 동안 습비빔을 실시하는 분할투입방법으로 혼합하였다. 또한, 공시체 제작은 $\phi 100 \times 200$ mm 몰드에 시료를 타설하고 다짐에 의한 실험오차를 줄이기 위하여 표면진동형 바이브레이터를 사용하여 다짐에너지를 일정하게 유지한 상태에서 실시하였다.

2.3 실험방법

공극률 및 투수계수 측정은 일본콘크리트공학협회 포러스콘크리트의 설계·시공법 확립에 관한 연구 위원회 보고서 『포러스콘크리트의 투수계수 시험 방법(안) 및 공극률 시험방법(안)』 중 용적법에 준하여 측정하였다.

또한, 포러스콘크리트의 압축강도 시험은 KS F 2405 『콘크리트의 압축강도 시험방법』, 휨강도 시험은 KS F 2408 『콘크리트의 휨강도 시험방법』에 준하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 공극률

석탄재 및 고분자화합물을 혼입한 포러스콘크리트의 공극률 특성은 그림 2와 같다. 이를 고찰하여 보면, 바텀애시의 혼입률이 증가함에 따라 공극률은 미소하지만 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 석탄재의 냉각과정에서 기포가 발생되어 골재 내부에 공극을 형성하기 때문에 바텀애시 골재의 혼입률이 증가할수록 포러스콘크리트의 공극이 미미하게 증가하는 경향을 보이기는 하나 바텀애시 골재의 종류 중 표면이 매끈하고 밀실한 골재도 많이 분포하기 때문에 공극률의 증가 경향이 크지 않은 것으로 판단된다. 또한, 공극률의 증가 곡선이 일정하지 않은 점 역시 골재의 입형이 부순돌에 비하여 일정하지 못하기 때문으로 사료된다. 폴리머의 혼입에 따른 영향은 0~20Vol.%까지 폴리머의 혼입률이 증가함에 따라 공극률이 감소하여 최대 혼입률 20Vol.%에서 Plain에 비하여 25%의 공극률 감소를 나타냈다. 또한, 바텀애시 골재의 혼입률이 증가함에 따라 공시체의 단위질량은 감소하는 것으로 나타나 콘크리트가 경량화 됨을 알 수 있었다.

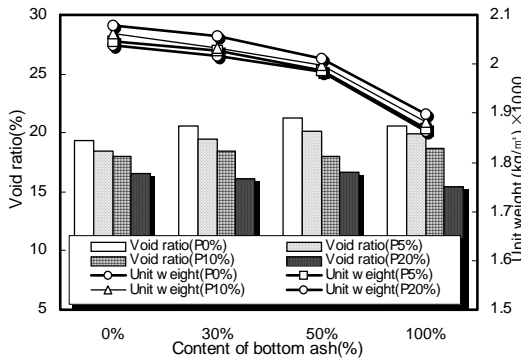


그림 2 바텀애시 및 폴리머의 혼입률에 따른 포러스콘크리트의 공극률

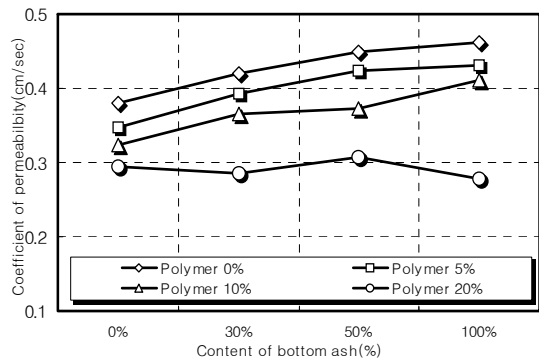


그림 2 바텀애시 및 폴리머의 혼입률에 따른 포러스콘크리트의 투수계수

3.2 투수계수

포러스콘크리트에서 식생, 조장조성 및 수질정화 기능을 수행하기 위한 가장 큰 특징은 투수성 및 투기성으로 이러한 성능의 기본적 평가지표를 투수계수라 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 배합요인별 투수계수를 측정하였으며, 그 결과는 그림 2와 같다. 투수계수는 공극률과 유사한 경향을 나타내 바텀애시 골재의 혼입률이 증가함에 따라 전체적으로 미세하게 증가하는 경향을 나타내었고, 폴리머 혼입에 따른 영향은 결합재의 증가로 공극의 일부가 감소되어 투수계수 역시 감소하는 것으로 나타났다.

그림 3은 바텀애시 골재 및 폴리머를 혼입한 포러스콘크리트의 투수계수와 공극률의 상관관계를 나타낸 것으로 공극률이 증가함에 따라 투수계수는 $y = 0.0329x - 0.29$ 의 함수로 증가하는 것으로 나타났으며, 결정계수가 0.914로 상관성이 높은 것으로 판단된다.

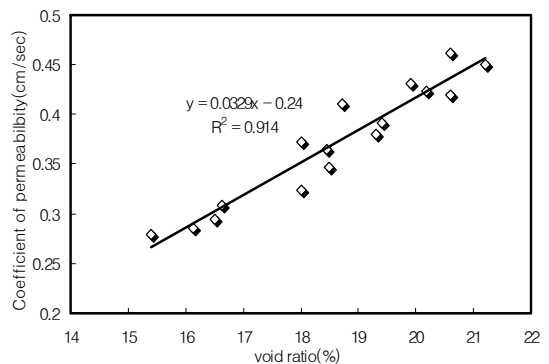


그림 3 공극률과 투수계수의 상관관계도

3.3 압축강도

그림 4는 포러스콘크리트의 배합요인별 압축강도시험 결과값을 나타낸 것이다. 압축강도는 폴리머 혼입 10Vol.%까지는 혼입률의 증가에 따라 강도가 8.8~9.4% 정도 증가하는 경향을 나타냈으나, 20Vol.% 이상 혼입하였을 경우 강도증가가 둔화되며 오히려 떨어지는 경향을 나타냈다. 바텀에서 혼입에 대한 영향은 폴리머 혼입하지 않았을 때, 부순돌만을 사용한 경우보다 20.1%의 강도 감소를 나타냈다. 하지만 폴리머를 혼입함에 따라 강도감소의 폭은 감소하는 것으로 나타났다(P5Vol.%→18.6%, P10Vol.%→15.8%, P20Vol.%→13.1%). 이는 폴리머를 결합재로 혼입함에 따라 미세한 폴리머 입자가 시멘트입자의 분산성을 향상시키고, 경화 후 폴리머 필름의 형성으로 부순골재에 비하여 상대적으로 강도가 낮은 바텀에서 골재의 파괴율이 저하되었기 때문으로 판단된다.

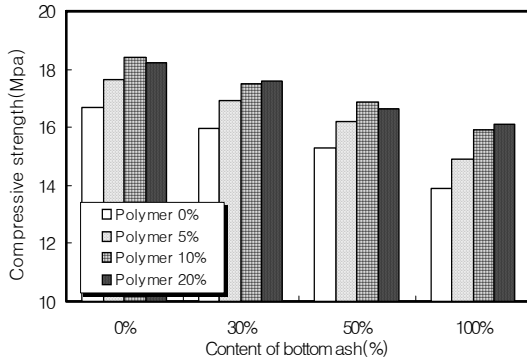


그림 4 바텀에서 및 폴리머의 혼입률에 따른 포러스콘크리트의 압축강도

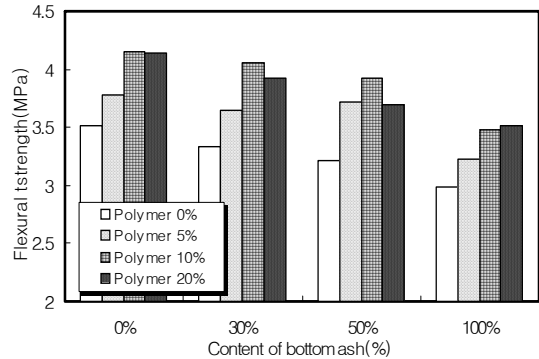


그림 5 바텀에서 및 폴리머의 혼입률에 따른 포러스콘크리트의 휨강도

3.4 휨강도

바텀에서를 혼입한 포러스콘크리트의 휨강도 측정결과는 그림 5와 같다. 휨강도 역시 압축강도와 유사한 결과를 나타내어, 폴리머 10Vol.% 혼입하였을 때, 15.7~19.6%의 강도 향상을 보였다. 바텀에서 골재의 혼입에 따라서는 전체적으로 감소하는 경향을 나타내 부순골재만을 혼입한 경우에 비하여 1.8~20.1%의 휨강도 감소를 나타내었다.

4. 결론

산업부산물인 석탄재의 포러스콘크리트에 적용성을 평가하기 위하여 바텀에서 및 고분자화합물의 혼입률에 따른 포러스콘크리트의 특성을 실험·분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 공극률 및 투수계수는 바텀에서의 혼입률에 따라 미미하지만 증가하였고, 폴리머의 혼입에 따라서는 감소하는 경향을 나타내었다. 또 공극률과 투수계수의 상관관계에서 결정계수는 0.914으로 높은 상관성을 나타냈다.
- (2) 강도 특성에서는 바텀에서의 혼입률이 높아짐에 따라서는 압축강도 및 휨강도가 감소하는 경향을 나타내었지만, 일정량의 폴리머를 혼입하였을 때 강도가 향상되는 경향을 나타냈다. 또한, 폴리머를 혼입함으로써 바텀에서 골재의 혼입에 따른 강도감소정도를 저하시키는 것으로 나타났다.
- (3) 이들 시험결과로부터 바텀에서 골재를 포러스콘크리트에 활용한 2차제품 및 포장재료 등에 적용하기 위한 강도 향상재료로서 폴리머의 사용가능성을 확인하였으며, 내구성능 평가 등의 추가 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 SISTeC(R01-2002-101-01005-0)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다.

참고문헌

1. 박승범, “신편 토목재료학” 문운당, 2005
2. 日本コンクリート工學協會, “ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に關する研究委員會報告書”, 2003.