포졸란 첨가에 의한 재생골재의 특성 향상

The Effects of Pozzlanics on the Recycled Aggregates

김재준 · 연상흠 · 황규홍* · 신현택 윤 정 배 이 대 성
<경상대 세라믹공학과> <경상대 건축공학과> <삼삼종합중기>

ABSTRACT

To improve the mechanical propertiesof concretes containing recycled aggregate, pozzolanic materials such as colloidal silica, water glass, and/or silica fume were used to decrease the porosity of the recycled aggregates. Some pozzolanic materials were adsorbed on the surface of recycled aggregates and closed the open pores of surfaces. The water absorption was decreased from 6~8% to 1~2% as the amount of adsorption was increased.

Compressive strength of cement mortars and concretes using surface treated recycled aggregates reaches above 95% of the strength of its natural counterparts. Investigation of the microstructures using the scanning electron micrographs showed the formation of dense surface after treated recycled aggregates.

Ⅰ. 서 론

시멘트 콘크리트의 약 70%, 아스팔트 콘크리트의 약 90% 전후의 용적비로 사용되고 있는 골재는 '80년 중반까지 천연의 하천골재가 주류를 이루어 왔다. 그러나 대도시 주변의 하천골재가 고갈됨에 따라 석산에서 인위적으로 생산하는 인공골재(부순골재)로 대체되기 시작하여 최근에는 굵은 골재의 겨우 85% 이상이 석산의 부순자갈로 충족되고 있는 상황이다. 이러한 석산골재의 사용은 자연환경의 파괴라는 점 외에도 콘크리트의 팽창균열 및 팝아웃(pop out) 현상을 일으키는 알칼리-골재반응이 문제점으로 대두되고 있다. 반면 잔골재(모래)는 아직까지도 바다모래나 강모래 등이 주로 사용되고, 육상 및 석산의 부순모래(석분)는 품질 면에서 그 사용량이 아직 8% 정도의 수준에 머물 정도로 아직은 잘 활용이 되지 않는 상태에 있어 국가적인 자원 고갈과 환경파괴 등의 위험이 심각하게 잠재해 있는 상황이다.

특히 최근 들어서는 건설공사의 대형화, 고층화, 대량화로 인해 많은 양의 골재를 필요로 하게 되었고, 국내에 확보된 가채매장량이 약 40억 m^3 정도라고 볼 때 국내의 골재량은 앞으로 약 25년 분 정도에 불과하며, 운송거리의 제약 등으로 인한 지역적 수급 불균형은 5년을 전후하여 나타날 것으로 예상되는 등 근본적으로 골재자원의 고갈 상태를 맞고 있다. 따라서 학계, 업계를 중심으로 부족한 골재자원의 확보방안을 강구하는 것이 매우 필요하며, 따라서 부순자갈 제조시 발생하는 석분(screening)이나 폐콘크리트를 파쇄하여 제조되는 재생골재(순환골재) 등 여러 가지 대체자원의 실용화 연구를 적극적으로 추진하여야 할 시점이라고 생각된다.

이러한 폐콘크리트의 자원화 방안으로 경제적, 기술적인 면에서 제일 가능한 방법은 파쇄에 의한 재생골재로의 재활용이다. 하지만 이러한 폐콘크리트를 활용한 재생골재의 경우 자연산 골재보다 여러 가지 물리적 성상이 열악하다는 문제점을 안고 있다. 즉, 높은 흡수율, 다량의 미립분 및 불순물의 함유로 인해 굳지 않은 상태에서 현저한 슬럼프 로스(Slump loss)와 경화 상

태에서의 내구성 저하 등의 문제점을 지니고 있다. 이는 재생골재의 표면에 부착된 시멘트 모르터로 인한 표면의 다공성으로 인해 높은 흡수율과 마모감소량이 커지며 시멘트와의 수화반응(Hydration)에 지장을 초래하여 강도 발현에 영향을 준다.[1), 2)]

이와 같은 비활성 시멘트 모르터의 문제와 파쇄로 인한 골재 자체의 약체성, 높은 흡수율을 개선하기 위해 최근 포졸란 물질을 이용한 포졸란성 시멘트 모르터에 관한 연구가 이루어지고 있다.[3)] 포졸란 물질의 대표적인 것으로는 플라이 애쉬, 실리카 흄, 메타카올린, 실리카 졸, 고로슬래그 등이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 고성능 감수제나 플라이 애쉬를 사용하면 천연 골재 사용시 발현 강도의 94% 정도의 강도를 가진다고 보고 되어져 있다.[4)] 고성능 감수제나 플라이 애쉬를 사용하는 경우 분산성은 좋아져 수화 가능 면적이 넓어지므로 강도는 증가한다. 그러나 일정량 이상이 첨가되는 경우 골재 하부의 블리딩이 증가하고 골재들이 서로 분리되는 경향이 있어 오히려 강도가 감소하는 문제점이 있다. 따라서 재생 골재를 신뢰성 있는 건축자재로 활용하기 위해서는 표면의 공극을 근본적으로 제거하는 기술의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 포졸란 물질인 물유리, 실리카 졸, 실리카 흄 등을 이용하여 재생골재의 표면처리를 함으로써 흡수율을 저하시켜 콘크리트의 물성 증진을 도모하고자 하였다. 또한 미세 구조 분석과 결정상 해석을 통해 강도 증진 기구를 고찰하여 폐콘크리트를 건축용 재생골재로 활용하는데 필요한 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 실험방법

2.1 원료

출발원료로서 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를, 천연 골재는 진주의 G사의 석산에서 제조된 쇄석 조골재와 30~50mesh의 주문진 표준사를, 재생 골재로는 진주의 S사에서 일반 폐건축물을 파쇄한 25mm 이하의 조골재와 5mm 이하의 재생 잔골재를 사용하였다. 재생골재의 표면처리제로는 물유리(No.3, sp : 1.380, Hosung chemical, Korea), 실리카 졸 용액(Ludox AS-40, Du pont), 실리카 흄(Elkem, 45㎛, bulk Density 200~450kg/m^3) 등의 포졸란 물질을 사용하였다.

2.2 포졸란 물질에 의한 표면 처리

재생 골재의 표면 처리를 위해 사용된 실리카 졸과 물유리는 증류수에 각각 10wt.%로 희석시킨 후 사용하였으며 실리카 흄은 증류수에 10wt. %로 분산된 실리카 졸에 50wt.% 혼합하여 사용하였다. 제조된 표면처리용 수용액에 재생골재를 잠기도록 넣고 진공데시케이트에서 10분간 진공을 유지 후 110℃에서 24시간 건조하여 공시체 제조용 골재로 사용하였다.

2.3 시멘트 모르타르와 콘크리트 공시체 제작 및 특성 평가

시멘트 모르타르 실험은 KS F 5105, 콘크리트 실험은 KS F 2403에 따라 시편을 제작하였으며 물-시멘트비(W/C)는 0.5로 유지하였다. 제조된 모르타르 시편과 콘크리트 시험용 시편은 1일 습윤양생 후 온도 23±2℃의 수중에서 양생하였으며 압축강도는 KS F 2405에 따라 각각 양생기간 3일, 7일, 28일로 공시체 5개에 대한 강도의 평균값을 사용하였다. 골재 표면의 특성을 관찰하기 위해서 아르키메데스법(KSL 3114)를 이용하여 밀도와 흡수율, 기공률을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 재생 골재의 특성

본 실험에 사용한 재생 골재 및 천연 골재의 기본적인 특성을 Table 1.에 나타내었다. 재생골재의 표면 모르터에 의한 다공성 때문에 재생골재의 비중(Specific gravity)이 2.38로 천연 골재의 2.75보다 매우 작은 값을 보여주며,[4~6)] 특히 흡수율은 천연 골재의 0.73%에 비해 4.75%로 매우 높아 재생 골재 사용 공시체에서 사용할 물의 양이 많이 필요하고 이로 인해 작업성과

Table 1. Characteristic of the natural, recycled and surface-treated aggregates

	Unit	Values				
		Natural aggregates	Recycled aggregates	Recycled aggregates after surface treatment		
				Silica sol	Silica fume	Sodium silicate
Porosity	%	2.01	11.40	8.70	9.63	10.90
Water absorption	%	0.73	4.75	3.43	4.09	4.51
Bulk Density	g/cm^3	2.75	2.38	2.53	2.72	2.44

강도의 저하가 야기된다.[7~8)]

3.2 재생 골재의 표면 처리

각각의 포졸란 물질을 사용하여 표면 처리를 한 경우 재생 골재의 특성은 크게 향상되었는데 Fig 1.(a)에 나타낸 바와 같이 재생 골재의 비중은 처리 전 2.38에서 실리카 졸, 실리카 흄, 물유리에서 각각 2.53, 2.72, 2.44로, 특히 실리카 흄 첨가에 의해 제일 크게 증가하였다. Fig 1.(b)와 (c)에서는 표면처리 후의 기공율과 흡수율의 변화를 나타내었는데 흡수율은 실리카 흄이나 물유리 처리의 경우 보다 실리카 졸 처리 후 제일 크게 감소하였으며 기공율도 같은 양상을 보여주었다.

포졸란 물질의 표면 처리에 의한 재생 골재의 특성 변화는 Fig.2와 Fig.3.의 전자현미경 관찰을 통해 확인할 수 있다. Fig.2 (a)에서 보듯이 천연 골재의 표면은 치밀한 상태를 보이며 약간의 판상 입자만이 존재할 뿐 전체적으로 균질한 반면, Fig.2 (b)에서 보듯이 재생 골재의 표면은 거칠고 부분적으로 공극(pore)과 균열(crack)이 관찰되었다. 즉, 이러한 특성으로 인해 천연 골재에 비해 낮은 비중과 높은 흡수율, 기공율을 나타내는 것을 알 수 있다.

Fig.3에는 재생 골재의 표면 처리 후 SEM 사진을 나타내었는데, 표면이 용액에 의해 코팅되면서 공극과 균열이 줄어 표면이 많이 치밀해졌음을 관찰할 수 있다. 이는 표면 처리제의 응집체가 골재 표면에 물리적으로 흡착되어 공극과 균열을 폐쇄한 결과로 생각된다.[10)] 이러한 공극과 균열의 제거 효과로 인해 수분이 공극 내로 침투하는 것을 억제하여 흡수율이 감소된 것으로 판단된다

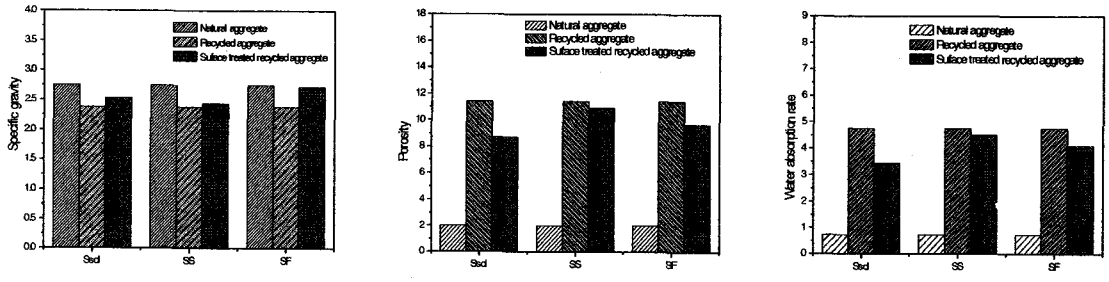
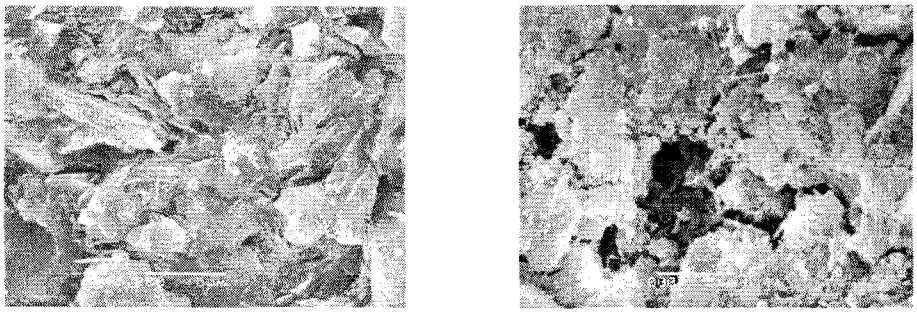
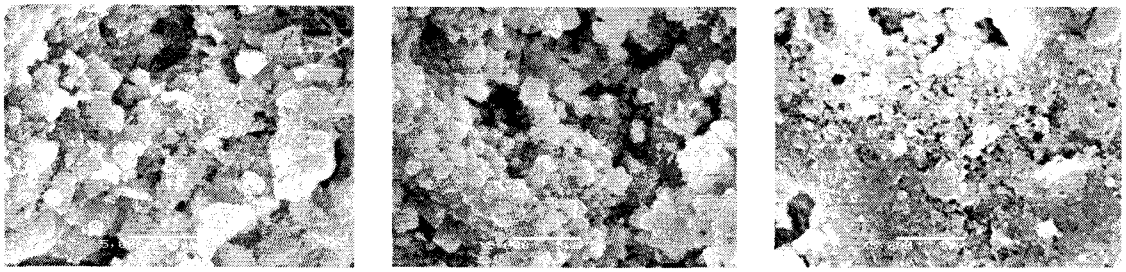


Fig.1 (a) Bulk density, (b) Porosity, and (c) Water absorptions of the recycled aggregate with three different type of surface treatment. (Ssol : 10wt% silica sol solution, SS : 10wt% sodium silicate solution, SF : dispersed silica fume in 10wt% silica sol solution)



(a) (b)

Fig.2 Scanning electron micrographs of the (a) natural aggregate and (b) recycled aggregates



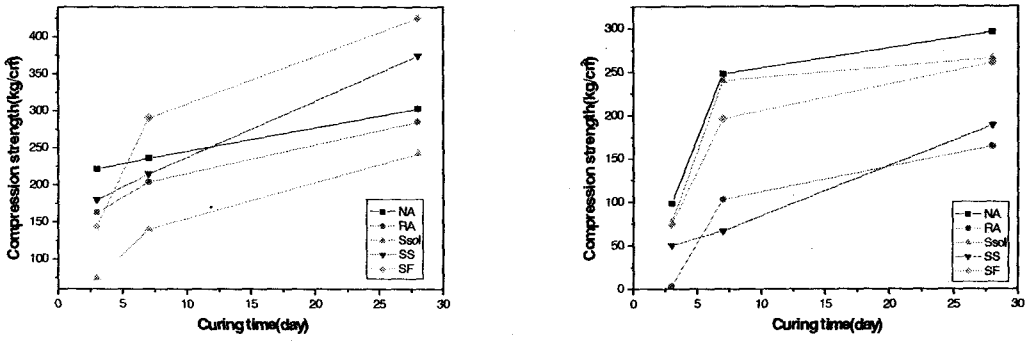
(a) (b) (c)

Fig.3 Scanning electron micrographs of the surface of recycled aggregates after the surface treatment with (a) Ssol : 10wt% silica sol solution, (b) SS : 10wt% sodium silicate solution, and (c) SF : dispersed silica fume in 10wt% silica sol solution

3.3 압축강도

Fig.4 (a)에는 골재의 종류에 따른 시멘트 모르타르의 강도를 나타내었는데, 표면 처리 전 재생 잔골재의 경우 천연 표준사 사용에 비해 28일 강도는 약 5% 정도 낮은 것으로 나타났다. 반면 Fig.4 (b)에서 보듯이 조골재를 사용하는 콘크리트에서 재생 골재를 사용하는 경우에는 천연 골재에 비해 28일 강도가 약 45%까지 낮아지는 것으로 나타났다. 이와 같은 시멘트 모르타르와 콘크리트에서의 압축강도 발현 차이는 재생골재의 입도와 그에 따른 균열의 분포차이로 설명할 수 있다. 즉 시멘트 모르타르와 콘크리트 공시체의 강도는 골재의 강도, 흡수율, 표면 특성, 시멘트의 골재 비율, 시멘트와의 반응, 입경의 분포와 충진 등에 의해 많은 영향을 받는데, 모르타르 실험에서 사용한 5mm 이하의 골재의 경우 상대적으로 콘크리트 실험에 사용한 25mm 조골재에 비해 상대적으로 작은 기공과 균열을 포함하고 있으며 세골재의 높은 비표면적으로 인해 수화반응 면적이 상대적으로 넓어 이와 같은 강도의 차이를 보인 것으로 판단된다. 어쨌든 재생 세골재(모래) 보다는 재생 조골재(자갈)의 사용 시 콘크리트의 품질 관리에 특히 유의할 필요가 있다.

한편 포졸란 물질을 사용하여 재생골재의 표면 처리를 한 경우 시멘트 모르타르 실험에서 천연 골재를 사용한 경우 보다도 높은 강도 값을 얻을 수 있었다. 또한 25mm 이하 재생 조골재를 사용하는 시멘트 콘크리트의 경우에도 표면 처리에 의한 표면 공극과 균열이 감소 효과로 인해 천연 골재의 95%를 상회하는 압축강도를 나타내었다. 특히 Fig.3의 전자 현미경 관찰에서 볼 수 있었듯이 실리카 흄을 분산시킨 실



(a) (b)

Fig.4 Compressive strength of the (a) cement mortar and (b) cement concrete mixed with different type of aggregates. (NA : natural aggregate, RA : recycled aggregate, Ssol : surface treated with 10wt% silica sol solution, SS : surface treated with 10wt% sodium silicate solution, SF : surface treated with dispersed silica fume in 10wt% silica sol solution

리카 졸 수용액 처리에서 효과적으로 공극과 균열을 감소시켜 높은 강도 개선 효과를 나타내었다고 판단된다. 하지만 물유리 처리의 경우는 상대적으로 기공 및 균열의 폐쇄 효과가 적어 낮은 강도 값을 나타내었다고 사료된다.

Ⅳ. 결 론

폐콘크리트를 분쇄하여 얻어지는 재생 골재의 특성을 천연 골재와 비교하여 다음과 같은결론을 얻었다.

1) 재생골재는 천연 골재에 비해 표면 공극이 많아 밀도가 낮으며 흡수율이 높아 모르타르나 콘크리트에 사용하는 경우 강도 저하가 발생하였다.

2) 포졸란 물질을 이용한 재생 골재의 표면 처리를 통해 표면 공극과 미세균열이 제거시켜 밀도 및 흡수율, 강도의 증진을 도모할 수 있었다.

3) 재생 세골재(모래)를 사용하는 모르타르의 강도는 천연골재의 95% 수준이었지만, 재생 조골재(자갈)를 사용하는 콘크리트의 강도는 45% 이상 크게 저하되어 재생 세골재(모래)보다는 재생 조골재(자갈)의 사용 시 콘크리트의 품질 관리에 특히 유의할 필요가 있음을 알 수 있었다.

4) 포졸란 물질을 사용하여 재생 세골재의 표면처리를 하면 천연 골재를 사용하는 경우보다도 높은 강도 값을 얻을 수 있었으며, 재생 조골재를 사용하는 시멘트 콘크리트의 경우에도 천연 골재의 95%를 상회하는 압축강도를 얻을 수 있었다.

5) 실리카 흄과 실리카 졸의 혼합처리에 의해 재생골재의 밀도와 흡수율을 제일 크게 향상시킬 수 있었으며, 이에 따라 재생 세골재 및 재생 조골재 모두에서 좋은 강도 증진 효과를 얻을 수 있었다.

Reference

1. 최일수, "폐콘크리트를 이용한 재생골재의 재활용 사례연구", 건설폐기물의 처리 및 재활용기술세미나(제3회), 중앙대학교 건설산업기술연구소(1995. 5)

2. 이진용, "건설산업에서 환경보전과 폐기물재 활용방안 토론회", 논문집, 한국건설산업연구원 (1997.5)

3. 김동환, 임남웅, "시멘트 모르터 및 재생 골재를 이용한 콘크리트" 대한민국 특허 제 10-0199998호(1999)

4. 남상일, 재생 골재 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 박사학위논문, 충남 대학교(1984)

5. Nixon, P. J, Recycled concrete as an aggregate for concrete, Materials and Structure, Vol.2 No.65, pp.371-378(1978)

6. Winwright, P. J., Yu Y. and Wang Y., Modifying the performance of concrete made with coarse and fine recycled concrete aggregate, 3rd Int'l RILEM Symp., Ed by Lauritzen, E & FN Spon(1994)

7. Ravindrajah, St and Tam C. T. : Recycling concrete as fine aggregatein concrete, J. of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol.9, No.4, pp.235-241(1988)

8. 김종흡: 건설폐기물의 재활용 문제점과 대책, 동아건설산업주식회사(1995)

9. Hansen, T. C. and Hedegard S. E. : Properties of recycled aggregate concrete as affected by admixtures in original concretes, ACI Journal, Vol. 81, No.(3), pp.21-26(1984)

10. Hunter, R. J. : Introduction to modern Colloid Science, Oxford Univ, Press, pp.32-56, pp. 274-279(1993)