pISSN 1598-2033
eISSN 2233-5706

J. Korea Inst. Build. Const., Vol. 15, No. 6
http://dx.doi.org/10.5345/JKIBC.2015.15.6.561

www.jkibc.org

순환골재 품질개선을 위한 수분흡수제어형 표면처리방법

Water Absorbtion Controlling Type Surface Treatment Method for Quality Enhancement of Recycled Aggregate

최 희 복*

Choi, Heebok*

Department of Architectural Engineering, Jeju National University, Jeju-si, Jeju-do, Korea

Abstract

The research, in order to enhance the quality of recycled aggregate, was carried out the quality characteristics test of the recycled aggregates by applying the four kinds of surface treatment using a colloidal suspension of approximately 5nm~60nm particle size with the alkalinity of pH 10.2. The quality tests of recycled aggregate have been processed by specific gravity, water absorption, porosity, surface properties, and the compression and tensile tests. The colloidal suspension was coated effectively the surface of the old cement mortars of recycled aggregate with a constant thickness by colloidal suspension is being applied to the recycled aggregate surface under constant pressure of 100kpa and then it was dried in at 60℃. The surface treatment method by the Method C out of 4 kinds of surface treatment improved effectively the quality of the recycled aggregates, whereby it obtained the best compressive strength and tensile strength of the recycled aggregate concrete.

Keywords : recycled aggregates, surface coating, specific gravity, water absorption, porosity

1. 서 론

재건축과 더불어 건축기술 및 재료의 발달로 건축물의 내구성이 향상되어 건축물의 장수명화가 이루어지면서 신축보다는 리모델링 등으로 건설 폐기물 발생량의 증가와 함께 콘크리트용 골재의 수요도 증가되고 있다. 따라서 부족한 천연골재를 대체하여 골재 수급난을 해소하고 골재 채취에 따른 자연파괴를 최소화하기 위해, 산업체와 학계에서는 순환골재를 재활용하고자 하는 연구가 진행되었고, 순환골재의 특성 및 순환골재를 사용한 콘크리트의 구조적 성능이 검토되었으며, 정책적으로는 순환골재의 영향을 최소화하여 콘크리트용으로 활용하기 위해 순환골재 품질기준 및 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률을 제정하여 시행하고 있지만, 수십 년의 연구결과와 법률 제정에 의한 순환골재의 활용성은 미진하다. 더불어 생산업계에서도 콘크리트용 순환골재의 품질을 만족하기 위해 소요되는 높은 생산단가 및 생산량 감소 그리고 판매처의 확보가 어려워서 순환골재를 생산하지 않고 있는 실정이다.

골재 표면 및 내부 미세균열에 의한 순환골재의 강도저하, 신구(新舊) 모르타르의 부착력 저하 그리고 오래된 모르타르에 의한 높은 흡수율은 해결해야 할 순환골재의 큰 단점이며, 이 중 순환골재의 강도저하 및 부착력 저하는 Choi[1], Seo and Choi[2]에 의해 메커니즘이 분석되었고, 순환골재 및 콘크리트의 품질 향상 방안이 제시되어진 것으로 판단된다. 또한, Kim et al.[3] 및 Kim et al.[4]는 순환골재의 표면 코팅을 통해 흡수율을 제어하였으나, 코팅을 하기 위해 24시간 함침 후 24시간 이상 건조에 따른 많은 시간과 추가적인 야적 공간 및 설비 등이 필요하다. 이러한 여건과 고품질의 순환골재 생산 단가가 여전히 높은 상황에서 순환골재의 표면을 코팅하는 기존의 방법들은 현실적으로 어려움이

Received : June 1, 2015
Revision received : July 14, 2015
Accepted : July 14, 2015
* Corresponding author : Choi Heebok
[Tel: 82-64-754-3731, E-mail: chb0319@jejunu.ac.kr]
ⓒ2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

많을 것으로 사료된다.

따라서, 본 연구는 기존 방법과 다르게 흡착성이 우수한 용액을 사용하여 빠른 시간에 효과적으로 순환골재를 코팅하여 순환골재의 흡수율을 낮출 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

2. 순환골재 표면 코팅 선행 연구

순환골재는 생산특성상 타격식에 의한 충격으로 표면 및 내부에 미세한 균열이 발생되어 순환골재 자체의 강도가 저하되는 문제[1] 뿐만 아니라 표면에 부착된 오래된 모르타르에 의한 높은 흡수율을 가지는 것이 특징이며, 순환골재를 콘크리트용 재료로 사용하기 위해서는 골재의 흡수율 및 마모감량과 안정성에 영향을 미치는 골재 내구성 그리고 오래된 모르타르와 새로운 모르타르의 부착성이 고려해야 할 중요한 요인일 것이다.

상기에서 언급된 요인들 중, 순환골재는 입자가 작을수록 충격에 의한 골재내부의 미세균열이 감소되기 때문에[1] 15~10mm정도의 순환골재를 주로 생산함으로써 순환골재의 강도를 확보할 수 있을 것이다. 또한, 신구(新舊) 모르타르의 부착성은 모르타르가 있을 경우 오히려 부착력은 증가되거나, 모르타르가 없는 경우와 최소 동등한 부착력을 갖는 것으로 Seo and Choi[2]의 연구에 의해 밝혀졌다.

Park[5]은 순환골재 코팅방법으로 24시간 함침 후 5일 자연 건조시킬 경우 순환골재의 물성을 가장 효과적으로 개선시킬 수 있음을 확인하였다. Kim et al.[4]은 기존의 순환골재 코팅방법을 활용하여 순환골재를 코팅 후 콘크리트를 제작하여 압축강도 특성을 평가하였고, 그 결과 코팅한 순환골재의 경우 압축강도가 증진되는 효과를 확인하였다.

기존의 순환골재 표면코팅 방법은 코팅재의 충분한 흡수 및 표면코팅유지를 위해 침지시간이 24시간 이상 소요되기 때문에 순환골재 생산현장의 현실을 감안할 때 오랜 시간 침지시킬 수 있는 공간 및 설비를 확보하는 것은 어렵다. 또한, 코팅재의 건조를 위해 표면처리된 골재를 침지 후 대기 중에서 자연 건조할 경우 코팅재가 단시간에 골재의 표면에 흡착되지 않기 때문에 야적장내 골재 적치 시 표면에 코팅된 코팅재의 유지 및 우천에 따른 추가적인 설비가 요구된다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험 재료

시멘트는 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 순환골재는 제주도 A사의 콘크리트용 순환골재를 사용하였다. 사용된 순환골재의 물리적 특성은 Table 1에 있다.

Table 1. Physical characteristics of recycled aggregate

Maximum size of coarse aggregate (mm)	Specific gravity	Water absorption (%)	Fineness Modules	Unit weight (kg/m^3)
24	2.48	2.69	6.62	1704

본 연구에서는 순환골재의 표면처리를 통해 처리된 순환골재의 물리적 특성과 미세구조적 특성을 분석하기 위해 순환골재로부터 분리된 오래된 모르타르를 사용하였으며, 순환골재(좌) 및 순환골재로부터 분리된 오래된 모르타르(우)가 Figure 1에 있다.

순환굵은골재에 붙어 있는 시멘트 모르타르의 표면 기공 및 진공방법을 통한 내부 기공을 제어하기 위한 코팅재료로서 Du pont사의 콜로이달 실리카(colloidal silica #40) 용액을 사용하였다. 콜로이달 실리카는 코팅의 첨가제, 요업재료 및 콘크리트 강화제 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 콜로이달 실리카 입자들은 열처리를 하게 되면 온도에 따라 일련의 변화를 겪는데, 150℃까지는 표면에 흡수된 수분을 95%이상 방출하고 200℃이상에서는 표면의 물이 완전히 증발된다.

Figure 1. Recycled aggregate and the detached mortar

3.2 실험 방법

콜로이달실리카는 온도가 높을수록 내부 수분을 완전히

방출하여 건조시간이 단축되지만, 예비 연구를 통해 높은 온도에서 단기간에 건조에 의해 수분을 방출시킬 경우 골재 표면이 코팅되면서 콜로이달 실리카 용액에서 미세한 균열이 발생되는 것이 확인되었다. 따라서 본 연구에서는 코팅면의 미세한 균열을 제어하기 위해 좀 더 낮은 온도 60℃와 100℃에서 건조시켰다.

좀 더 효과적으로, 순환골재에 붙어 있는 시멘트 모르타르의 공극 제어를 위해 콜로이달 실리카 용액에 순환골재를 24시간 침지 후 24시간 자연 건조시키는 방법(이하, Method A)과 용액이 효과적으로 순환골재의 오래된 모르타르 공극 속에 침투하고 효율적인 건조방법을 확보하기 위해 순환골재를 100kpa의 진공 속에서 5분 동안 침지 후 자연 건조방법(이하, Method B), 100kpa의 진공 속에서 5분 동안 침지 후 60℃(이하, Method C) 및 100℃(이하, Method D)에서 대류건조방법 총 4가지 방법을 적용하였다. 대류건조의 경우 건조 시간은 순환골재 표면에서 콜로이달실리카 용액이 거의 건조되어 액상이 보이지 않을 때까지 건조하였다.

상기 순환골재 표면처리 방법으로 품질이 개선된 순환골재의 성능변화를 분석하기 위해 순환골재의 흡수율, 비중, 비표면적 등 물리적 특성은 KS 기준에 준하여 실험 비교하였고, 미세공극이 제어된 순환골재의 미세구조 및 계면의 특성은 Low speed saw를 사용하여 박편시편을 만들고 Microscope를 이용하여 표면을 관찰하였다. 그리고 골재와 시멘트모르타르의 계면내 성분 분석을 위해 X-ray diffraction을 이용하였다. 본 연구에서 진행된 구체적인 실험항목과 분석방법은 Table 2에 있다.

표면처리 전 · 후 시멘트 모르타르의 기공변화를 분석하기 위해 순환골재에서 분리된 시멘트 모르타르를 직경 5mm 크기의 구형으로 가공한 후 질소가스를 사용하는 비표면적 분석기(BELSORP-max)를 사용하였으며, 각 샘플 당 시료는 10개씩 하여 평균하였다.

Table 2. Design of experiment

Experiment factors	Experiment & analysis methods
- Specific gravity	- Colloidal Silica under each Air and Vacuum
- Absorption characteristics	- water absorption ratio
- Porosity	- Surface Area Analyzer
- Surface and interior property - Coating thickness	- Microscope
- Strength test	- Compressive and tensile strength

콜로이달 실리카 용액의 표면처리에 의한 순환골재의 강도 변화를 고찰하기 위해 설계기준강도 24MPa의 콘크리트 실린더 몰더(Ø 100×200)를 제작하여 압축강도와 할렬인장강도 시험을 하였으며, 시험체 배합표는 Table 3에 있다.

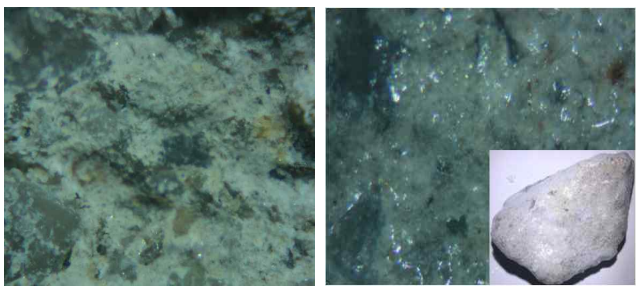
Table 3. Mix proportion for the compressive and tensile strength test

Specimens	W/C(%)	S/a(%)	Proportions by unit volume(kg/m^3)			
			W	C	G	S
Non-treartment	50	42	175	350	962.2	730.4
Method A					966.0	
Method D					981.5	
Method C					977.6	
Method D					962.2	

4. 실험결과 및 고찰

4.1 코팅에 따른 순환골재 표면 특성

코팅으로 표면처리된 순환골재의 표면은 Figure 2에서 보듯이 콜로이달 실리카 용액이 굳어서 매끄러운 코팅막이 형성되어 있는 것을 40배율로 확인할 수 있었다. 표면 처리 전 시료는 표면에서 시멘트 모르타르와 생산시 파쇄로 인해 일부가 떨어져 나간 형태가 관찰되었지만, 코팅 후에는 관찰되지 않았다.



(a) Before coating (b) After coating

Figure 2. The recycled aggregate surface difference of before and after coating

4.2 비중 및 흡수율

순환골재의 표면코팅 전 · 후 비중 및 흡수율 측정결과는 Figure 3 및 Figure 5에 있으며, 순환골재의 표면처리 전 · 후 그리고 전처리 방법에 따라 물리적 특성 차이를 확인할 수 있었다.

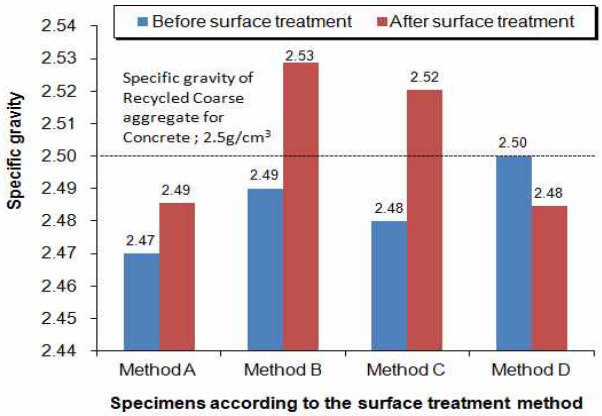


Figure 3. Variation of specific gravity according to the surface treatment method

자연대기압 하에서 24시간 침지 후 24시간 자연건조(Method A)의 경우 비중은 미미하나마 조금 증가하였지만 콘크리트용 순환골재의 비중에 대한 품질기준 2.5g/cm^{3}를 만족하지 못하고 있다. 100kpa 진공상태에서 5분 침지한 후 대기에서 자연건조(Method B) 된 샘플과 60℃ 건조기에서 건조된 샘플(Method C) 의 비중은 미미하지만 평균 1.6% 증가하여 콘크리트용 순환골재의 품질기준을 만족하였다. 대기자연건조한 Method B에 비해 건조온도가 낮은 Method C의 경우 비중 증가율의 차이는 없었지만, 100℃의 높은 온도에서 건조한 Method D는 오히려 비중이 감소하여 콘크리트용 순환골재의 품질기준을 만족하지 못하였다.

Figure 4에서 보듯이, Method D의 경우 높은 온도에 의한 급격한건조로 인해 순환골재 표면에 코팅된 콜로이달실리카 용액이 건조되면서 미세한 균열이 많이 발생되었고, 균열이 발생되면서 고체화된 콜로이달 실리카 용액의 중량증가 대비 체적이 증가하여 상대적으로 비중이 감소한 때문으로 판단된다.

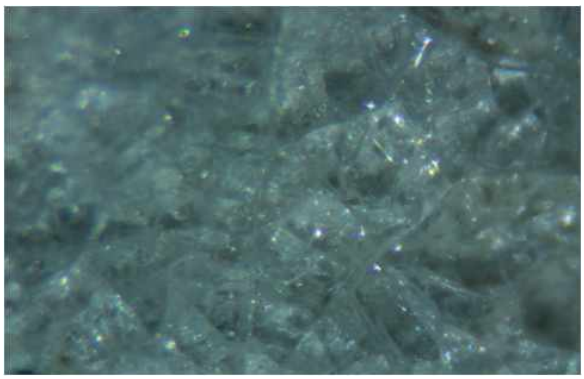


Figure 5. The surface properties of recycled aggregate after drying at 100℃

순환골재 표면코팅 방법에 따른 흡수율 측정 결과(Figure 5 참조), 표면코팅 전 Method A 시료만 순환골재품질 기준 흡수율을 만족하지 못하였으나, 표면 코팅 후 흡수율 품질기준(3.0% 이하)을 만족하였다. 흡수율의 변화 특성을 살펴보면, 초기 흡수율은 모두 감소하였으며, Method C에서 50.6%, Method A 39.9%, Method B 33.1%, 그리고 Method D에서 6.0% 감소 특성을 보였다.

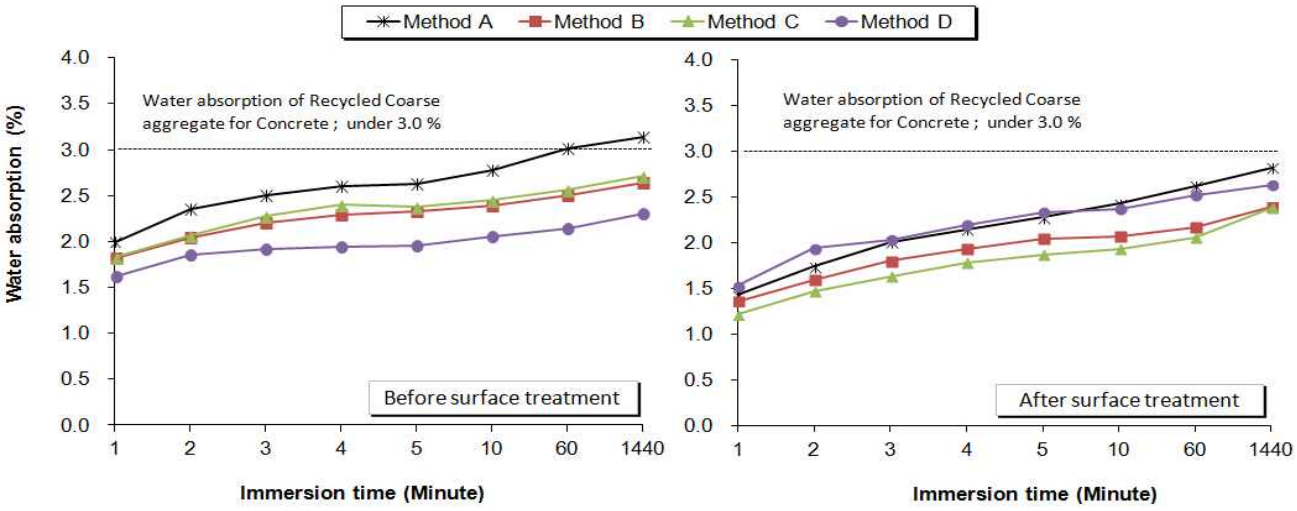


Figure 4. Results of water absorption according to surface treatment method

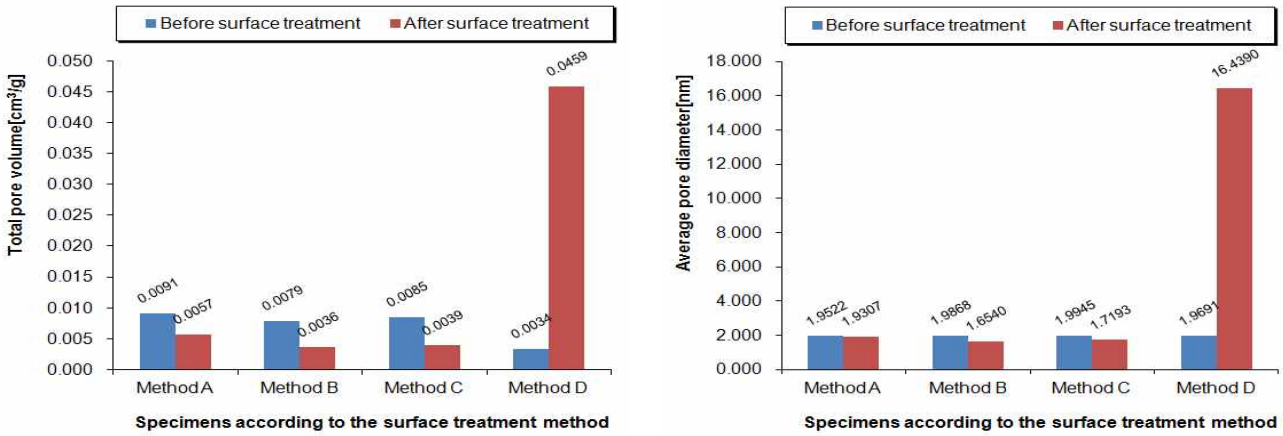


Figure 6. Pore structure change according to treatment methods

표면 코팅 전에는 Method D 시료의 흡수율이 가장 낮았으나, 코팅 후 코팅된 콜로이달 실리카 용액의 미세균열(Figure 4 참조)로 인해 흡수율이 12.4% 증가하였다. 코팅 방법은 동일하지만 건조방법이 다른 Method B와 C의 최종 흡수율은 각각 10.4% 및 13.8% 감소한 결과를 얻었다.

일반적으로 골재의 흡수율은 건조수축에 영향을 미치고, 비중은 강도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있듯이, 본 연구에서 사용된 콜로이달 실리카 용액과 이를 이용한 건조방법 Method B와 C는 순환골재콘크리트의 강도발현과 건조수축 제어에 효과적일 수 있을 것으로 판단되지만, 일반화할 수 있는 많은 데이터가 필요한 실정이다.

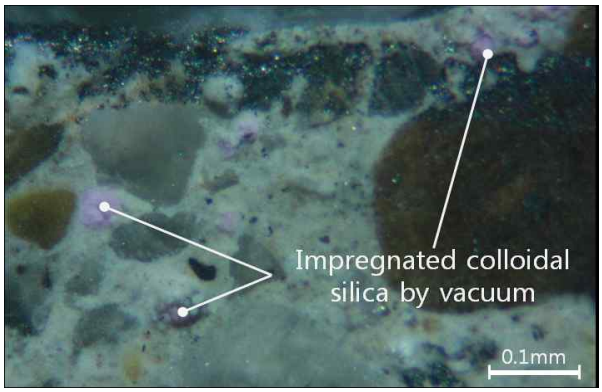


Figure 7. Penetrated surface coating material through to the pore of old cement mortar by method C

4.3 기공률 변화

순환골재 표면처리 방법에 따른 측정된 기공률 측정 결과가 Figure 6에 있으며, 본 실험에 사용된 순환골재는 1.96 nm 정도의 평균 기공사이즈를 가지고 있다. 표면처리 전·후 기공사이즈의 변화를 보면, Method D시료는 앞서 흡수율과 비중 결과에서 나타난 것처럼 콜로이달 실리카 용액의 미세균열로 인해 전체 기공률과 함께 평균기공사이즈가 증가하였다. 전체적으로 표면처리에 의해 기공사이즈 및 기공률이 감소하였으며, 대기 자연건조 시킨 Method A의 기공률 37.3% 감소에 비해 100kpa의 진공에서 처리된 Method B 및 C에서 각각 54.4%와 54.1% 감소하였고, 평균 기공 크기 역시 Method A보다 Method B와 C가 좀 더 작았다.

진공 하에서 표면처리에 따른 콜로이달 실리카 용액의 순환골재 내 침투효과를 확인하기 위해 표면처리 된 Method C 시료를 절단한 후 중성화시약을 통해 절단면의 변화를 관찰하였고, Figure 7에서 보는바와 같이, 시료 절단면 일부분에서 침투된 콜로이달 실리카 용액(pH : 10.2)에 의한 연붉은색의 변화를 확인하였다. Colloidal 및 colloidal cluster의 입경은 5nm~60nm 정도의 불규칙한 형태[6]를 띠고 있어서 진공 하에서 상대적으로 큰 균열 또는 모세관공극(≤ 50μm)[7]에 콜로이달 실리카 용액이 침투한 것으로 판단되며, 자연대기상태의 처리방법보다 진공 하에서의 처리방법이 순환골재 품질개선에 효과적일 것으로 판단된다.

4.4 오래된 모르타르와 콜로이달 실리카층 계면 특성

침지와 건조 방법에 따라 콜로이달 실리카 용액으로 표면

처리된 순환골재의 단면 관찰 결과가 Figure 8에 있다. 100kpa의 진공하에서 침지된 Method B와 C가 대기에서 침지 건조된 Method A보다 균일한 두께로 매끄럽게 순환골재 표면을 효과적으로 코팅할 수 있음을 확인되었다. Method D는 100℃에서의 건조로 인한 표면처리제의 균열로 인해 코팅 두께가 불균일하고 절단면에서도 표면처리제의 균열이 확인되었다.

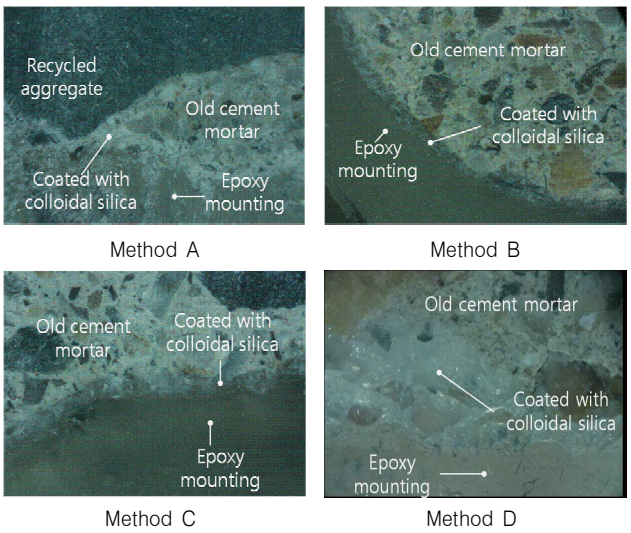


Figure 8. Cross section of the old cement mortar and the interface coated after the surface treatment

4.5 순환골재콘크리트 강도 평가

표면처리된 순환골재로 인한 콘크리트 강도에 대한 영향의 정도를 평가하기 콘크리트의 압축강도와 할렬인장강도를 측정하였으며, 결과는 Figure 9 및 10에 있다. Method D는 앞선 결과를 고려하여 강도 평가에서 제외하였다.

표면처리된 순환골재를 사용한 콘크리트의 압축강도가 비표면처리된 순환골재를 사용한 콘크리트의 압축강도보다 재령 28일에 3.9%~8.4%정도 증가되었으며, 100kpa의 진공하에서 침지된 Method B와 C가 Method A보다 강도가 증가되었다. 또한 재령 28일에 인장강도를 측정하였으며, 표면처리된 순환골재를 사용한 콘크리트가 다소 높은 인장강도를 보였으며, 자연건조처리된 골재를 사용한 Method B가 60℃에서 건조처리된 Method C보다 조금 높은 인장강도를 보였다. 대체적으로 순환골재의 표면처리방법이 콘크리트의 압축강도와 인장강도를 저하시키는 요인으로 작용하지 않는 것으로 판단된다.

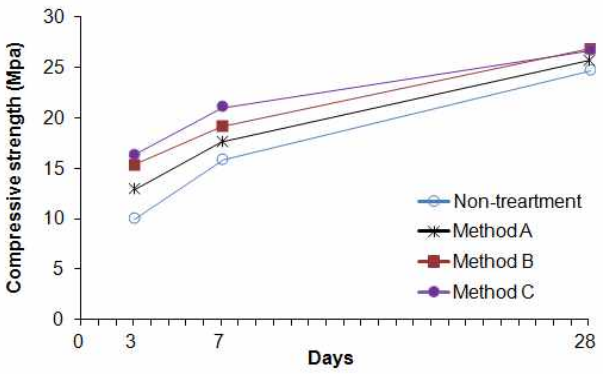


Figure 9. Compressive strength results

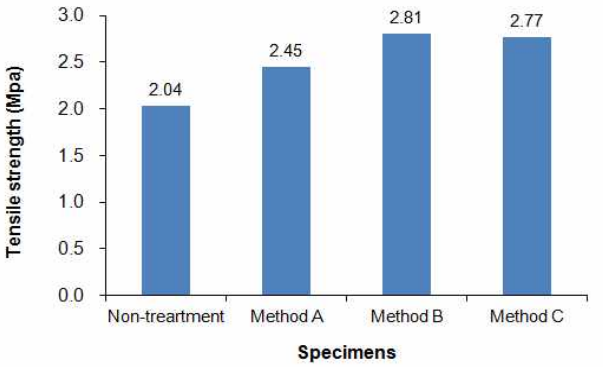


Figure 10. Tensile strength results

5. 결 론

순환골재의 품질을 개선하고 이를 이용한 순환콘크리트의 물성을 개선하기 위한 방안으로 본 연구에서는 순환골재 및 그에 붙어 있는 시멘트 모르타르의 표면을 효과적으로 코팅하는 방법을 모색하였으며, 실험 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) 콜로이달 실리카 용액으로 순환골재에 붙어 있는 시멘트 모르타르의 표면을 효과적으로 코팅할 수 있었으며, 표면이 미끈한 상태를 유지할 수 있었다.
2) 4가지 표면처리방법 중 자연 침지 후 대기 중에서 자연건조시킨 Method A의 경우 순환골재의 표면은 코팅되었으나, 콘크리트용 순환골재의 비중에 대한 품질기준 2.5g/cm^{3}를 만족하지 못하였다. 또한 100℃에서 건조된 Method D는 빠른 건조로 인한 콜로이달 실리카 용액의 건조수축으로 인해 표면에 많은 균열 발생되었으며, 그로인해 4가지 표면처리 방법 중 가장 나쁜

결과를 보였다.

3) 기공률 변화에서 100kpa 진공하에서 침지된 Method C에서 기공률이 가장 적은 결과를 획득하였으며, 이는 진공의 환경으로 인해 입경 5nm~60nm 정도의 콜로이달 실리카 용액이 오래된 모르타르의 모세관공극(≤ 50μm)으로 침투하였기 때문인 것으로 판단된다.
4) 적정한 진공하에서 표면처리 함으로써 대기 중에서 자연건조하는 방법보다 시멘트 모르타르의 표면을 일정한 두께로 코팅할 수 있었으며, 상기의 결과로 인해 순환골재콘크리트의 압축 및 인장강도 시험에서도 Method C 그리고 Method B의 순으로 나타난 것으로 판단된다.

본 실험에서는 pH 10.2의 알칼리성을 띄고 있는 입경 5nm~60nm 정도의 콜로이달 실리카 용액을 사용하였으며, 실험항목에 대해 전반적으로 Method B와 C 즉, 진공상태에서 5분 침지 후 대기에서 자연건조방법과 60℃ 건조기에서 건조하는 방법이 가장 효과적이었으며, 두 방법에 의한 순환골재의 품질개선은 유사하였다. 향후 본 표면건조방법을 적용한 순환골재콘크리트의 구조적 검토가 필요할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 순환골재의 품질을 개선시키기 위해 pH 10.2의 알칼리성을 띄고 있는 입경 5nm~60nm 정도의 40% 콜로이달 실리카 수용액을 사용하고, 4가지 표면처리방법을 적용하여 순환골재의 품질 향상 시험을 하였다. 순환골재의 품질시험은 비중, 흡수율, 기공률, 계면특성, 그리고 압축 및 인장시험을 하였다. 100kpa의 일정 압력하에서 콜로이달 실리카 수용액이 표면에 도포되고 60℃에서 건조됨으로써 콜로이달 실리카 용액이 순환골재의 시멘트 모르타르의 표면을 일정한 두께로 효과적으로 코팅되었다. 4가지 표면처리 방법 중 Method C에 의한 표면처리방법이 순환골재의 품질을 효과적으로 개선시켰으며, 그로인해 순환골재콘크리트의 압축강도 및 인장강도 향상에 영향을 미친 것으로판단된다.

키워드 : 순환골재, 표면코팅, 비중, 흡수율, 기공률

Acknowledgement

This work was supported by the research grant of Jeju National University in 2014.

References

1. Choi HB. Recycled aggregate-Paste interaction mechanism by Micro-structure analysis. [dissertation]. Seoul: Korea University; 2010. 153 p.
2. Seo DS, Choi HB. Effects of the old cement mortar attached to the recycled aggregate surface on the bond characteristics between aggregate and cement mortar. Construction and Building Materials. 2014 Mar 13;59:72-77.
3. Kim NW, Lee SN, Kim SH, Bae JS. A study on the mechanical properties of concrete using the recycled aggregates by surface coating. Korea Society of Civil Engineers. 2005 Mar;25(2A):387-93.
4. Kim SS, Lee JB, Ko JS, Kim IK. A study on the nano silica-sol coating for improving performance of recycled aggregate. Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection. 2013 July;17(4):84-90.
5. Park RS. A study on the characteristics of concrete using the surface coated recycled aggregate. [dissertation]. Jeonju: Chonbuk National University; 2008. 151 p.
6. Hunter R.J. Introduction to modern colloid science. Oxford University Press. 1993. p.32-56, p.274-79.
7. Joseph FL, James HP. Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials. 1st ed. Danvers. ASTM Committee C09; c2006. Chapter 23, Pore structure, permeability, and penetration resistance characteristics of concrete; p.238-52.