

순환골재의 성능향상을 위한 나노실리카졸의 코팅에 관한 연구

A Study on the Nano Silica-Sol Coating for Improving Performance of Recycled Aggregate

김 성 수¹⁾ 이 정 배^{2)*} 고 지 수³⁾ 김 일 곤⁴⁾
Seong-Soo Kim Jeong-Bae Lee Ji-Soo Ko Il-Kon Kim

Abstract

In this study we propose an effective method, Coating processing methods, which can improve the quality of recycled aggregate relatively easily without new equipment investment and complex treatment process and verify the improved effect using the devised method, Coating processing methods.

To attain the research aim we used adequately diluted silicate solution for coating and carried out several property valuation for twelve types of material with different coating method. Also we formed concrete with coated aggregates which showed the best property.

In conclusion the aggregates with the method of repeated impregnation in the silicate and drying showed the most excellent quality while other coating methods also resulted in an improvement of aggregate quality but failed to meet the KS Standard. Lastly with the optimal material we could obtain the approved compressive strength from the concrete allowing it to be utilized for road facility of which standard compressive strength of design is under 24MPa.

Keywords : Silica-Sol, Coating, Recycled aggregate

1. 서 론

최근 재건축 물량증가와 기존시설의 개량 등으로 인하여 건설 폐기물 발생량이 매년 증가추세에 있으며, 건설공사현장에서 발생하는 폐콘크리트 등 건설폐기물은 연간 4,700만 톤으로 그 중 재활용이 가능한 폐콘크리트와 페아스팔트 콘크리트가 전체 건설폐기물 발생량의 70% 정도를 차지하고 있다 (Ministry of Environment 2005). 따라서 이를 재활용할 경우 부족한 천연골재를 대체하여 골재난을 해결할 수 있는 대안으로 인식되고 있다.

순환골재는 제조과정에서 폐콘크리트의 파쇄, 선별과정을 거치게 되는데, 파쇄과정에서 골재에 가해지는 충격으로 인해 골재의 강성이 낮아지는 문제점이 있다. 또한 표면에 부착된 모르타르의 영향으로 높은 흡수율을 가지기 때문에 구

조용 골재로서는 천연골재와 비교하여 상대적으로 열악하고, 그 신뢰도가 낮아 거의 활용이 되지 않고 있다. 그러나 최근 정부에서도 자원재활용의 중요성을 인식하여 건설폐기물의 활용 기준을 제시하였으며, 건설폐기물의 재생 및 성능기준과 시방기준 등을 마련하고 있다. 이러한 정책적 지원으로 최근에는 순환골재 2종 및 3종을 활용한 콘크리트의 연구와 개발이 활발히 진행되고 있으며, 그 실용화도 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 건설폐기물의 처리를 위한 하나의 대안으로 폐콘크리트에서 발생하는 순환골재를 건설재료로 사용하는 방안이 논의되고 있으며, 이에 따른 다양한 연구가 이루어지고 있다.

국내의 경우 흡수율이 서로 다른 순환 굵은골재를 사용한 철근콘크리트 보의 휨거동을 평가하여 천연골재와 유사한 결과를 검증한 연구가 있으며 (Kim et al., 2012), RC 구조

1) 정회원, 대전대학교 건설시스템공학과 교수
2) 정회원, 대전대학교 건설시스템공학과 겸임교수, 교신저자
3) 정회원, 철도기술공단 연구원
4) 정회원, 대전대학교 토목환경공학과 박사수료

* Corresponding author : dlwjdqo@lycos.co.kr
• 본 논문에 대한 토의를 2013년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

부재 적용을 위하여 부착 특성을 평가하여 흡수율에 따른 부착성능의 차이가 없고, 천연골재를 사용한 실험체와 균열양상 또한 서로 유사함을 확인한 연구가 있다 (Kim et al., 2010).

김성수 등은 순환골재의 단점을 보완하기 위한 방안으로 순환골재를 코팅 후 콘크리트를 제작하여 압축강도특성을 평가하였고, 그 결과 코팅한 순환골재의 경우 압축강도가 증진되는 효과를 확인하였다 (Kim et al., 2012).

국외의 경우 순환골재와 관련된 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 독일에서는 순환골재콘크리트에 실리카흙과 플라이애시를 사용한 벽돌 제조에 관한 연구에서 실리카흙을 첨가하였을 때 압축강도가 증진된다고 보고하였다 (Hansen et al., 1983). Bairagi 등은 순환골재의 적용에 영향을 미치는 요인들을 찾아 그 실험적 관계를 분석하였다. 분석결과 약 10% 정도의 시멘트량을 증가할 경우 보통콘크리트와 동일한 수준의 강도발현이 가능하고, 이를 통해 순환골재 콘크리트의 제조를 위한 배합설계법에 대한 접근이 이루어졌다 (Bairagi et al., 1990).

또한, 순환골재콘크리트가 보통콘크리트와 그 기본특성이 다소 차이는 있으나 경우에 따라 내구성이 좋고 강도가 높은 콘크리트를 제조할 수 있음을 보여줌으로써 순환골재콘크리트의 활용 가능성을 제시하는 등 국내외로 많은 연구가 진행되어지고 있다 (Forster, 1986).

본 연구는 순환골재를 생산하는 과정에서 용이하게 순환골재의 품질을 개선할 수 있는 코팅처리방법을 도출하였다. 또한 도출한 코팅처리방법으로 순환골재를 코팅처리하고, 품질의 개선 여부를 평가하였다. 또한 품질이 개선된 코팅순환골재를 콘크리트골재로 활용함으로써 순환골재의 적용 대상을 확대하고, 건설폐기물의 처리 및 천연골재의 부족현상을 해결하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 순환골재의 코팅

순환골재는 천연골재에 비해 밀도가 작고, 흡수율이 높고, 마모율이 높은 단점으로 인해 구조용 골재로 사용하기에 한계성을 가지고 있다. 그로 인해 순환골재의 활용도가 낮은 실정이다. 이러한 순환골재의 활용도를 높이기 위해서는 언급된 단점을 개선하는 방법의 개발이 선행되어야 한다. 세계 각국에서는 고품질의 순환골재를 생산하기 위하여 기술개발에 심혈을 기울이고 있으나, 개발된 기술의 대부분은 공정이 매우 복잡하고, 기존 순환골재 생산공장에서 새로운 설비가 투자되어야 하는 등의 문제점을 가지고 있어 현실적으로 적

용이 어려운 실정이다.

본 논문에서는 기존의 방법과는 달리 특별한 설비투자를 하지 않고, 흡착성이 우수한 용액을 사용하여 순환골재의 품질을 개선할 수 있는 효과적인 코팅처리 방법을 도출하기 위해 골재의 함침방법, 함침시간, 건조시간, 함침 후 건조반복 횟수를 다양하게 변화시켜 생산된 순환골재의 물성을 비교하였다.

본 논문에서의 사용된 코팅처리방법은 24시간 함침 후 24시간 건조, 코팅액 분사 후 2시간 건조, 2시간 함침 후 2시간 건조를 반복하는 총 3가지 방법을 사용하여 순환골재를 코팅하였다. 특히 코팅막의 두께와 밀도를 높이기 위해 사용된 함침 후 건조 반복의 경우 최적의 횟수를 산정하기 위해 실시하였다. 또한 코팅액이 골재의 표면에 원활하게 흡착 및 흡수가 되도록 하기위하여 8%의 농도로 희석하여 사용하였다.

코팅액의 적정 농도를 도출하기 위하여 코팅액의 농도를 12%까지 조절하여 코팅한 순환골재의 흡수율과 밀도를 측정한 결과 8%에서 가장 좋은 결과를 보였다. 이러한 이유는 코팅액의 농도가 높을 경우 순환골재의 표면에 흡착된 코팅액이 건조하였때 코팅막이 쉽게 부서지는 현상이 발생하고, 농도가 너무 낮을 경우 순환골재의 표면에 흡착 및 흡수되는 정도가 현저히 떨어지기 때문이다. 따라서 이를 고려하여 적정 코팅용액의 농도를 8%로 결정하였다.

3. 시험방법

3.1 사용재료

시멘트는 KS L 5201 규정에 의한 국내 S사 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질 및 화학성분을 Table 1에 나타내었다.

순환골재는 일반 순환골재 생산업체에서 많이 생산되

Table 1 Physical properties and chemical composition of portland cement

Physical Property		Chemical Composition (%)	
Specific gravity	3.15	SiO ₂	21.7
		Al ₂ O ₃	5.7
Specific surface area (cm ² /g)	3,280	Fe ₂ O ₃	3.2
		CaO	63.1
Setting time (min.)	Initial set	MgO	2.8
		SO ₃	2.2
	Final set	361	Ig.loss

Table 2 Properties of recycled aggregate

Classification	Unit	Material property
Density	-	2.35
Absorption ratio	%	6.15
F.M	-	6.97
Abrasion rate	%	48.3

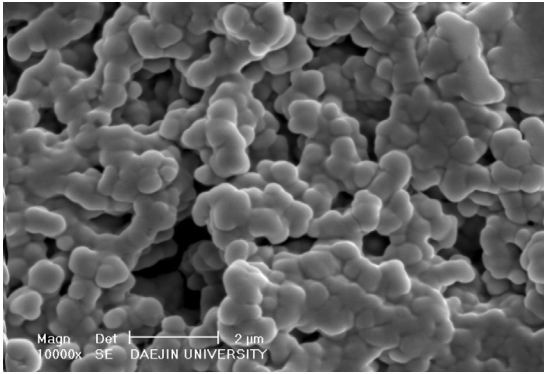


Fig. 1 SEM Image of Silicate

Table 3 Properties of Silicate

Contain of SiO ₂ (%)	Contain of K ₂ O (%)	Specific gravity	Viscosity
14.90	6.00	1.70	5

고 있는 것으로 순환골재 3종에 해당되며, 그 물성을 Table 2에 나타내었다.

코팅용액으로 사용된 실리케이트 용액의 농도는 15%로 K₂O, nSiO₂, xHO로 이루어진 무색, 투명한 액체이다. 또한 Fig. 1에서 알 수 있듯이 구형의 콜로이드로 이루어진 수용성 규산염 무기화합물로써 사용된 실리케이트 용액의 물성을 Table 3에 나타내었다.

3.2 실험배합

본 논문에 사용된 콘크리트는 도로공사 2종 배합표를 기준으로 하여, 굵은골재의 최대치수는 25mm를 사용하였으며,

슬럼프는 150±20mm, 공기량은 4.5±1.5%로 설계하였다. 또한 설계기준강도 24MPa, 물-시멘트 비는 45%, 잔골재율은 42%로 결정하였다. 동일한 슬럼프와 공기량의 도출을 위하여 감수제와 AE제를 골재의 종류에 따라 달리하였다. 배합은 총 3가지 종류로 일반쇄석을 사용한 콘크리트 (이하 CSC라 칭함), 함침 후 건조 반복 4회의 코팅처리 순환골재를 사용한 콘크리트 (이하 CRC라 칭함), 코팅처리를 하지 않은 순환골재를 사용한 콘크리트 (이하 RC라 칭함)로 Table 4에 콘크리트 배합을 나타내었다. 특히 코팅순환골재 중 성능이 가장 우수한 2시간 함침 후 2시간 건조를 4회 반복한 코팅순환골재를 콘크리트 배합에 사용하였다.

3.3 골재의 물성 평가

3.3.1 밀도 및 흡수율

골재의 밀도 및 흡수율 시험은 KS F 2503 “굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법”에 준하여 실시하였다.

3.3.2 마모율

골재의 마모율 시험은 KS F 2508 “로스엔젤레스 시험기에 의한 굵은 골재의 마모 시험 방법”에 준하여 실시하였다.

3.4 콘크리트의 강도특성 평가

3.4.1 압축강도

압축강도 측정을 위해 Φ100×200mm의 원형몰드를 사용하여 KS F 2403 “콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법”에 준하여 공시체를 제작하였으며, 압축강도 시험은 KS F 2405 “콘크리트의 압축강도 시험방법”에 의해, 재령 3일, 7일 및 28일에 측정하였다.

3.4.2 할렬인장강도

콘크리트의 인장강도는 재령 초기에는 압축강도의 1/8정도 이지만 그 이후에는 1/20정도까지 작아지므로 철근콘크

Table 4 Concrete mixture proportions

Specimens	W/C (%)	S/a (%)	Unit mass(kg/m ³)					
			W	C	S	G	WRA (g/m ³)	AEA (g/m ³)
CSC	45	42	167	334	739	1048	1629	163
CRC							1629	163
RC							1955	195

리트의 설계에서는 인장강도를 고려하지 않는다. 하지만 콘크리트의 인장강도는 흡수량과 온도의 변화에 의한 균열을 저항하는데 있어서 매우 중요한 요인이다.

콘크리트는 직접 인장강도 시험에 의하여 인장강도를 측정하기 어렵기 때문에 일반적으로 할렬 인장강도 시험에 의해 콘크리트의 인장강도를 추정할 수 있으며 할렬 인장강도 시험에 의한 콘크리트의 인장응력은 다음과 같이 계산한다.

$$f_{sp} = \frac{2P}{\pi DL} \quad (1)$$

여기서, P : 가압한 최대하중

D, L : 각각 시험체의 직경과 길이

f_{sp} : 할렬 인장강도, MPa (=N/mm²)

4. 실험결과 및 고찰

4.1 골재의 물성 평가

4.1.1 밀도 및 흡수율

밀도와 흡수율 시험 결과를 Table 5 및 Fig. 2~4에 나타내었으며, 결과에서 알 수 있듯이 쇄석에 비해 순환골재의 밀도가 감소하고 흡수율이 커지는 것을 확인할 수 있다. 또한, 코팅처리를 한 순환골재의 경우 코팅처리를 하지 않은 순환골재에 비해 밀도가 커지고, 흡수율이 낮아지는 경향을 보였다. 이는 코팅처리용액이 골재 표면의 공극에 침투하여 코팅됨으로써 밀도는 증가하고, 흡수율은 감소된 것으로 판단된다.

Table 5 Specific gravity and absorptance rate results of recycled aggregate by coating method

Types of aggregate	Specific gravity	Absorption (%)	
Crushed Stone (CS)	2.52	0.91	
Recycled Aggregate (C ₃ A)	2.35	6.15	
Dry after 24 hours impregnation (C ₃ A-1day)	2.38	5.82	
Dry after coating spray (C ₃ A-sprinkle)	2.40	5.31	
Number of coating (2 hours impregnation and 2 hours dry)	1 (C ₃ A-repeat)	2.36	5.38
	2	2.39	5.14
	3	2.42	4.81
	4	2.45	4.44
	5	2.45	4.42
	6	2.45	4.37
	7	2.46	4.36
	8	2.46	4.36

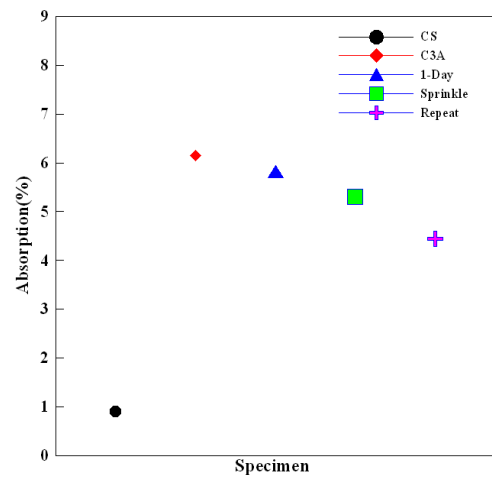


Fig. 2 Absorptance rate of recycled aggregate by coating method

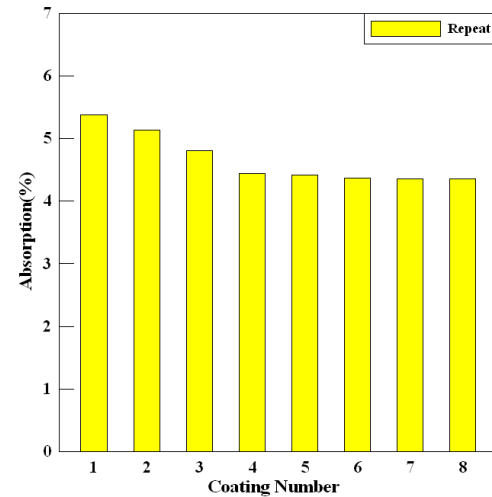


Fig. 3 Absorptance rate of recycled aggregate by number of coating times

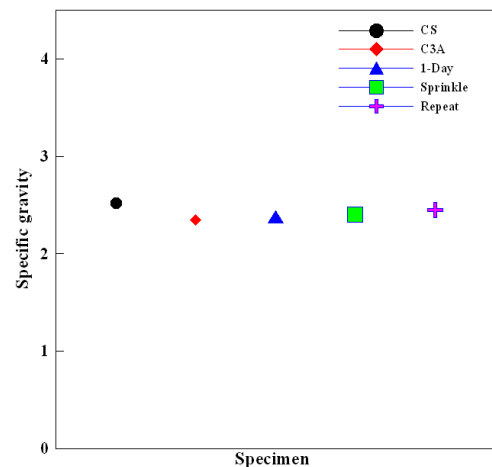
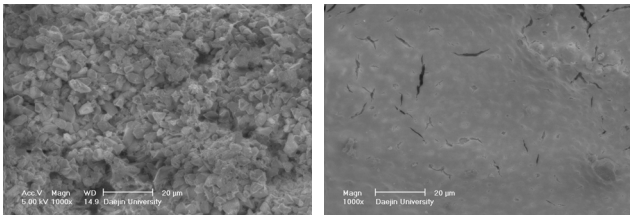


Fig. 4 Specific gravity of recycled aggregate by coating method



Non Coating Coating

Fig. 5 SEM Image of Recycled Aggregate

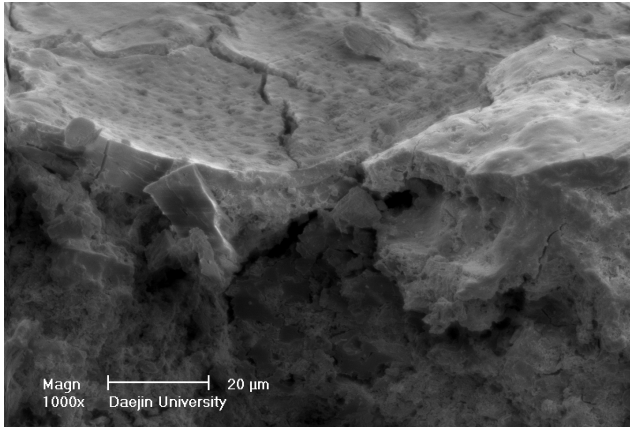


Fig. 6 SEM Image of Coating Recycled Aggregate Sectioned

Fig. 5에 코팅하지 않은 순환골재와 코팅순환골재의 SEM 사진을 나타내었다. 사진에서 알 수 있듯이 코팅하지 않은 순환골재의 경우 표면에 많은 공극이 존재하고 있으나, 코팅 순환골재의 경우 코팅용액에 의해 표면이 밀실한 것을 알 수 있다. 또한 Fig. 6에 나타난 코팅순환골재의 단면을 보면 표면에 일정한 두께의 코팅층을 형성하고 있는 것을 확인할 수 있다.

코팅방법을 달리한 경우 함침과 건조를 반복하는 코팅방법이 밀도와 흡수율에서 가장 우수한 결과를 보였다. 특히, 코팅 4회 이후 코팅횟수가 증가하여도 물성의 변화가 거의 없는 경향을 보여 가장 경제적인 코팅횟수는 4회인 것으로 판단된다.

4.1.2 마모율

순환골재의 마모율을 측정된 결과를 Table 6 및 Fig. 7~8에 나타내었다. 시험결과에서 나타나듯이 코팅을 하지 않은 순환골재는 53.1%의 마모율을 나타내어 KS 기준인 40%를 초과하였으나, 코팅처리를 한 순환골재의 경우 마모율이 낮아지는 경향을 나타내었다. 특히 Fig. 6에서 알 수 있듯이 건조와 반복을 4회 이상 실시한 코팅방법의 경우 38% 정도의 마모율을 보임으로써 KS 기준을 만족하는 결과를 보였다.

Table 6 Abrasion rate results of recycled aggregate by coating method

Types of aggregate		Abrasion ratio
Crushed Stone (CS)		17.9
Recycled Aggregate (C ₃ A)		53.1
Dry after 24 hours impregnation (C ₃ A-1day)		45.6
Dry after coating spray (C ₃ A-sprinkle)		45.3
Number of coating (2 hours impregnation and 2 hours dry)	1 (C ₃ A-repeat)	52.4
	2	47.8
	3	43.1
	4	38.9
	5	38.7
	6	37.9
	7	37.5
	8	37.2

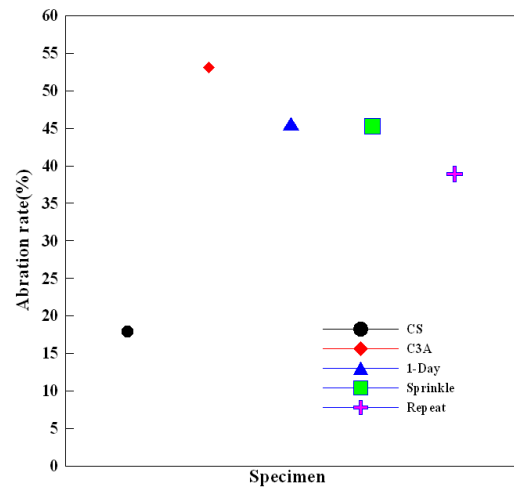


Fig. 7 Abrasion rate of recycled aggregate by coating method

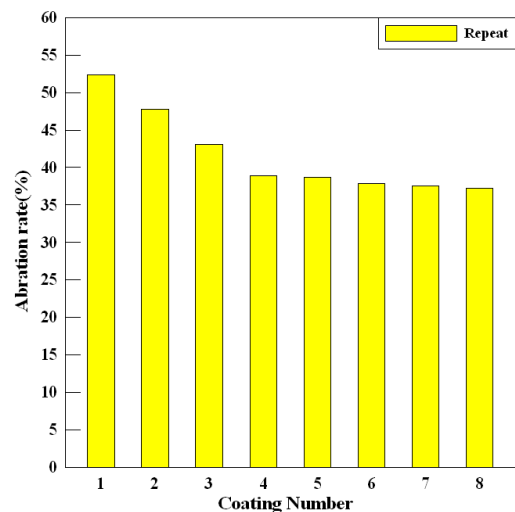


Fig. 8 Abrasion rate of recycled aggregate by number of coating times

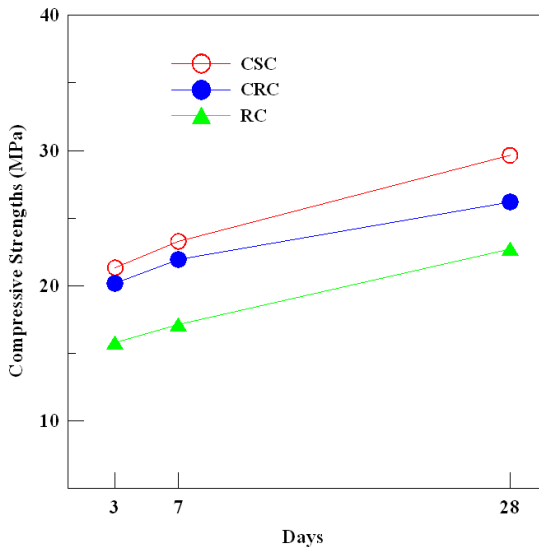


Fig. 9 Concrete compressive strength by age

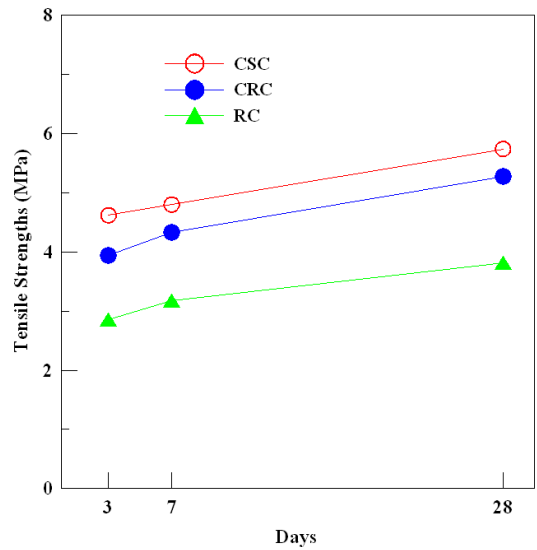


Fig. 10 Concrete tensile strength by age

이러한 경향을 보이는 이유는 실리카졸에 의해 순환골재가 코팅됨으로써 골재표면이 강화되어 마모율의 감량이 적어졌기 때문으로 판단된다.

4.2 콘크리트의 강도특성 평가

4.2.1 압축강도

순환골재에 따른 콘크리트의 역학적 특성을 평가하기 위하여 압축강도를 측정된 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이 코팅처리를 하지 않은 순환골재로 제조한 콘크리트의 경우 설계기준강도인 24MPa에 미치지 못하는 결과를 보였으나, 실리카에 4회 건조 및 함침을 반복한 순환골재의 경우 재령 3일에서 쇄석골재콘크리트와 거의 동일한 압축강도를 나타내었다. 특히 재령 28일에서 코팅처리를 하지 않은 순환골재를 사용한 콘크리트에 비해 압축강도가 13.24% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 28일 재령에서 설계기준강도인 24MPa를 만족하는 결과를 보였다. 이는 코팅에 의해 순환골재의 마모율 및 흡수율 등의 성능 향상이 이를 사용한 콘크리트의 성능에 영향을 주었기 때문으로 판단된다.

4.2.2 할렬인장강도

코팅처리한 순환골재를 사용한 콘크리트의 역학적 특성을 평가하기 위하여 실시한 할렬인장강도 시험 결과를 Fig. 10에 나타내었으며 결과에서 알 수 있듯이 코팅처리를 하지 않

은 순환골재를 사용한 콘크리트에 비해 할렬인장강도가 향상되는 결과를 나타내어 코팅처리한 순환골재의 사용에 의해 콘크리트의 성능이 개선됨을 알 수 있다.

5. 결론

순환골재의 활용을 통해 자원의 재활용과 천연골재의 부족현상을 해결하기 위하여, 순환골재의 품질개선을 위해 코팅처리 방법을 달리하여 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 2시간 함침 후 2시간 건조를 반복적으로 4회 실시하였을 때 가장 좋은 물성을 나타내었으며, 그 이후의 코팅 횟수에는 별다른 변화가 없는 것으로 나타났다.
- (2) 2시간 함침 후 2시간 건조하여 코팅처리한 순환골재의 경우 밀도는 약 0.10 증가, 흡수율은 약 27.80% 감소, 마모율은 약 26.74% 감소하였다.
- (3) 코팅된 순환골재를 사용한 콘크리트의 경우 코팅하지 않은 순환골재를 사용한 콘크리트에 비해 압축강도가 13.24% 증가하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 대전대학교의 2013년 연구비지원으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

References

1. Bairagi, N. K., Vidyadhara, H. S. and Ravende, K., "Mix Design Procedure for Recycled Aggregate Concrete", Construction & Building Materials, Vol. 4, Issue. 4, 1990, December, pp.188-193.
2. Forster, S. W., "Recycled Concrete as Aggregate", ACI concrete Int'l, Vol. 8, No. 10, 1986, October, pp.34-40.
3. Hansen, T. C. and Narud, H., "Recycled Concrete and Silica Fume Make Calcium Silicate Bricks", Cement and Concrete Research, Vol. 13, No. 5, 1983, September, pp.626-630.
4. Kim, S. S., Lee, J. B., Park, S. H., Ko, J. S., "Compressive Strengths Properties of Concrete with Nano Silica-Sol Coating Recycle Aggregate", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, Vol. 12, No. 1, 2012, pp.113-115 (in Korean).
5. Kim, S. W., Han, D. S., Lee, H. A., Ko, M. Y., Kim, K. H., "Evaluation of Structural Performance of Reinforced Concrete Beams According to Water Absorption of Recycled Coarse Aggregate", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, Vol. 16, No. 5, 2012, pp.49-58 (in Korean).
6. Kim, S. W., Lee, H. A., Jung, C. K., Kim, K. H., "Experimental Study on Bond Performance of RC Beams According to Absorption of Recycled Coarse Aggregates", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, Vol. 14, No. 3, 2010, pp.100-107 (in Korean).
7. Ministry of Environment, "Construction Waste Recycling Survey Report", 2006, pp.6-15.1 (in Korean).

Received : 02/20/2013

Revised : 04/17/2013

Accepted : 05/06/2013

요 지

본 논문은 기존 순환골재 생산공장에서 새로운 설비투자나 복잡한 처리공정을 거치지 않고 비교적 용이하게 순환골재의 품질을 개선할 수 있는 효과적인 코팅처리방법을 도출하고, 도출한 코팅처리방법으로 순환골재를 코팅처리하여 그 품질개선 효과를 확인하였다.

연구목적 달성을 위하여 순환골재를 코팅하기 위하여 코팅처리용액중 하나인 실리케이트 용액을 경제성 있게 알맞은 농도로 희석하여 사용하였으며, 골재의 코팅방법을 달리하여 12가지 종류의 코팅골재에 대한 물성평가를 실시하였다. 또한 가장 좋은 물성을 나타낸 코팅골재를 사용하여 콘크리트를 제조하였다.

이상의 실험결과 골재를 코팅처리용액에 함침 및 건조를 반복하였을 때 골재의 품질이 가장 우수하게 나타났고, 다른 코팅방법 또한 물성이 코팅처리 전 골재보다는 향상되는 것으로 나타났으나, KS 기준에는 미치지 못하는 결과를 나타내었다. 또한, 가장 좋은 물성을 나타낸 골재를 가지고 콘크리트를 제조한 결과 설계기준강도를 만족시키는 압축강도가 측정되었으며, 설계기준강도 24MPa 이하의 도로시설물을 축조할 때 활용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심 용어 : 실리카졸, 코팅, 순환골재