

아크릴 수지 농도 차이가 순환잔골재의 물성에 미치는 영향

The Influence of Acrylic Resin Solution Concentration on Properties of Recycled Fine Aggregate

박꽃님¹ · 김지현² · 정철우³ · 김영찬^{3*}

Kkot-Nim Park¹ · Ji-Hyun Kim² · Chul-Woo Chung³ · Young-Chan Kim^{3*}

(Received May 16, 2024 / Revised May 28, 2024 / Accepted May 28, 2024)

Recently, the use of recycled aggregates from construction waste has been introduced as a solution for environmental problems and aggregate shortage. In spite of the various methods to promote recycling of recycled aggregate, the use of recycled aggregate as the structural aggregate has been limited because the quality of recycled aggregate (especially recycled fine aggregate) has been considered lower than that of natural aggregate. In this work, recycled fine aggregate was immersed for an hour in acrylic resin solutions of various concentrations to improve its quality, the appropriate immersion concentration was selected by measuring the absorption capacity and skeletal density of the recycled fine aggregate, and mortar specimens were prepared to evaluate the mechanical performance in order to propose a applicable treatment process to promote the use of recycled fine aggregate. According to the experimental results, as the acrylic resin concentration increased, the absorption capacity and skeletal density of the recycled fine aggregate decreased. The absorption capacity was lowest at acrylic resin concentrations around 6 to 8 %. However, among mortar specimens made of recycled fine aggregate immersed in acrylic resin solution, the compressive strength was the highest at 4 % acrylic resin concentration, suggesting that the use of higher concentration acrylic resin solution can actually lower the compressive strength of mortar.

키워드 : 순환잔골재, 아크릴 수지, 농도, 흡수율, 압축강도

Keywords : Recycled fine aggregate, Acrylic resin, Concentration, Absorption capacity, Compressive strength

1. 서론

우리나라의 폐기물 발생 및 처리현황에 따르면, 2022년도의 폐기물 발생량은 연간 약 18,645만톤에 달하며, 이 중 건설폐기물은 전체의 42.5 %에 해당하는 8,400만톤 가량에 해당된다(Ministry of Environment 2023). 국내 SOC 시설물 및 건축물의 대부분을 차지하고 있는 콘크리트 구조물의 내구연한이 점차 도래함에 따라, 앞으로도 SOC 시설물의 해체 시 더욱 막대한 양의 콘크리트 폐기물 발생이 예상되므로 환경보호를 위해 국가 차원에서 콘크리

트 폐기물을 재활용하기 위한 노력이 절실하다. 건설 폐기물의 60 % 이상은 콘크리트 폐기물이 차지하고 있으며, 이 중 약 65.1 %는 순환골재로 소비되고 있다. 순환골재의 약 84.3 %인 대부분은 성·복토용 및 도로공사용으로 사용되지만, 강알칼리성 침출수로 인한 환경문제가 대두되어 별도의 중성화 처리가 필요한 것으로 알려져 있다(Song et al. 2011). 순환골재의 콘크리트 구조체용 골재로의 재활용 또한 15.7 % (콘크리트 및 콘크리트 제품 제조용 11.0 %, 아스팔트콘크리트 제조용 4.7 %)로 매우 저조한 상황이다 (Ministry of Land 2014).

* Corresponding author E-mail: yckim@pknu.ac.kr

¹국립부경대학교 건축공학과 학부과정 (Department of Architectural Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Republic of Korea)

²국립부경대학교 융합인프라기술연구소 전임연구교수 (Multidisciplinary Infra-technology Research Laboratory, Pukyong National University, Busan, 48513, Republic of Korea)

³국립부경대학교 건축·소방공학부 교수 (Division of Architectural and Fire Protection Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Republic of Korea)

Copyright © 2024 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

매년 허가 및 신고 채취로 공급되는 골재량이 약 2억 m³ 수준이라는 점을 고려할 때, 골재자원의 수급이 매우 불안정해질 것임은 쉽게 예측이 가능하다. 한국건설자원협회에서는 향후 20년 후 국내에서의 천연골재의 채취는 불가능할 것으로 예상하였는데 (<https://www.koras.org/05/value.jsp>), 골재난으로 인해 예전처럼 강모래와 같은 양질의 골재 공급 비중이 지속적으로 감소하고 있다. 이와 같은 상황에서 순환골재는 급증하고 있는 환경문제와 더불어, 계속되는 골재난의 문제를 해결해주는 가장 유력한 방안이 될 수 있으므로 순환골재의 품질을 향상시키기 위한 많은 연구가 필요하다.

순환골재는 생산과정에서 발생하는 충격과 그에 따른 마모로 인해 다양한 종류의 미세균열을 가진다. 충분히 제거되지 못하고 순환골재의 표면에 남아있는 구콘크리트-시멘트 페이스트의 계면전이영역(interfacial transition zone)의 존재 또한 천연골재에 비해 낮은 부착강도 및 높은 흡수율을 보이는 원인이 된다. 따라서 순환골재를 사용하게 되면, 모르타르나 콘크리트의 강도를 저감시키게 되며, 이는 순환골재의 사용을 꺼리는 중요한 요인으로 작용해 왔다. 이러한 점을 극복하고자, 정부에서도 순환골재 의무사용 공시(Sim et al. 2006), 건설폐기물의 재활용 촉진법시행령 제4조, 건설교통부의 “순환골재 품질관리기준”(Kim 2019)의 제정 및 고시를 하였고, 콘크리트 구조체에 순환골재를 적용할 경우 용적률 등의 건축기준을 완화해 주는 등의 제도적 장치를 활용하고 있으나, 설계기준강도 27 MPa 이상의 콘크리트에는 순환골재의 사용을 제한하는 규정도 함께 존재하기 때문에, 순환골재의 적극적인 재활용이 막혀 있어 이에 대한 제도적 해법도 필요하다. 단순히 천연골재의 일부를 순환골재로 대체하여 재활용률을 높여나가는 방법에 그치지 않고, 적극적으로 순환골재만을 사용한 구조용 콘크리트 제조 기술의 개발 등 순환골재의 전량 재활용을 유도하는 기술적 기반의 마련이 시급하다.

일반적 골재대비 품질이 낮은 순환골재의 물리적 성능을 보완하기 위해 국내·외에서는 다양한 연구가 진행되어 왔으며, 이는 1) 광물계 혼화재를 활용한 시멘트 복합체 미세구조 개선 (Tangchirapat et al. 2008; Corinaldesi and Moriconi 2009; Kou et al. 2011; Çakır and Sofyanlı 2015), 2) 순환골재 산처리 등을 활용한 열화요인 제거(Jeong and Lee 2008), 3) 콜로이드 상 실리카 수용액(Kim et al. 2008; Choi 2015) 혹은 4) 광물탄산화 기술 (Silva et al. 2015; Liu et al. 2021; Ha et al. 2016)을 활용한 순환골재 개질로 크게 요약이 가능하다. 이 중 순환골재 개질 기술의 경우, 다양한 재료의 활용이 가능하데, 골재 표면을 코팅하거나 함침 처리 방식을 적용하여 골재 품질 개선에 관한 연구를 진행했던

선행연구를 통해, 아크릴 수지를 사용하여 코팅을 진행하였을 때 공극이 감소하고 압축강도가 향상하는 등의 물성 변화를 확인할 수 있다(Lee et al. 2021).

아크릴 수지는 다양한 산업 분야에서 널리 사용되는 유용한 재료로, 강도가 높고 내화성이 우수하며 충격에 대한 저항력이 뛰어나기 때문에 파손과 변형이 쉽게 발생하지 않아, 장기간에 걸쳐 안정적인 성능을 유지할 수 있는 것으로 알려져 있다. 아크릴 수지를 이용한 코팅 및 함침 방법은 다양한 건축재료에 적용될 수 있는데, 아크릴 수지로 순환잔골재를 함침할 경우 골재 내부 및 표면을 보호하고 강화해 외부 요인으로부터 오염, 마모, 화학적 손상 등을 방지하여 골재의 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 예상된다. 또한 아크릴 수지는 방수성이 뛰어나므로, 수분으로부터의 손상을 예방하고 골재의 흡수율을 줄여 모르타르 및 콘크리트의 내구성을 향상시킬 수 있을 것으로도 기대된다.

아크릴 수지로 순환잔골재를 함침하는 것은 골재의 성능을 향상시키고 유용한 속성을 부여하는 방법이 된다. 그러나 실제 응용에 앞서 순환잔골재의 특성과 사용 환경을 고려하여 적합한 함침 방법을 모색하는 것이 중요하다. 기존의 선행연구(Lee et al. 2021)에서는 아크릴 수지의 농도를 고정하고, 24시간의 침지시간에 걸쳐 순환골재를 처리하였는데, 본 연구에서는 현장 적용성이 뛰어나고 단시간에 효과적으로 품질을 개선시키기 위해, 아크릴 수지의 침지시간을 줄이고 농도를 변화시켜 순환잔골재의 흡수율 및 역학적 성능을 개선할 방법을 모색하고자 하였다.

2. 아크릴 수지 함침 처리

함침 처리는 물체 내부 공극에 기체 또는 액체를 침투시켜 그 물체의 특성을 목적에 맞게 개선하는 방식이다. 본 연구에서는 수성 아크릴 수지를 이용해 순환 잔골재의 성능을 개선할 수 있는 함침제를 제작하였고, 함침제의 농도 변화가 순환 잔골재의 물성에 어떠한 변화를 가져오는지 비교 분석한 후, 이를 혼입한 모르타르의 역학적 성능을 평가하여, 아크릴 수지 침지 처리방식의 효과를 단계적으로 확인하고자 하였다.

본 연구의 예비시험 단계에서 순환잔골재를 아크릴 수지 수용액에 침지시키거나 및 순환잔골재에 아크릴 수지 수용액을 분사시키는 두 가지 조건의 활용성을 검토하였다. 하지만 분사식 방법의 경우 아크릴수지 수용액이 분사된 위치별 순환잔골재의 물성 차이가 상당히 발생하여, 신뢰성 있는 실험결과를 확보하기 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 다양한 수용액 농도를 가지는 아크릴 수지 수용액에 순환잔골재를 1시간 동안 침지시킨 결과에 대해서만 기술하였다.

2.1 실험재료

본 실험에서는 순환골재 생산 인증을 받은 H사 제품의 순환잔골재 및 국내 Y사의 농도 40 % 수성 아크릴 수지를 사용하였다. 해당 재료들의 성분 및 물성은 Table 1, 2에 나타내었다.

Table 1. Properties of recycled fine aggregate

Absorption capacity (%)	Oven dry bulk density (g/cm ³)
7.59	2.21

Table 2. Properties of acrylic emulsion

Concentration (%)	Ion	PH
40	Anion	9-10

2.2 아크릴 수지 함침 처리

본 실험에서 사용될 아크릴 수지 함침제 제작을 위해 농도 40 %의 원액 아크릴 수지 원액에 1차 증류수를 혼합하여, 아크릴 수지 농

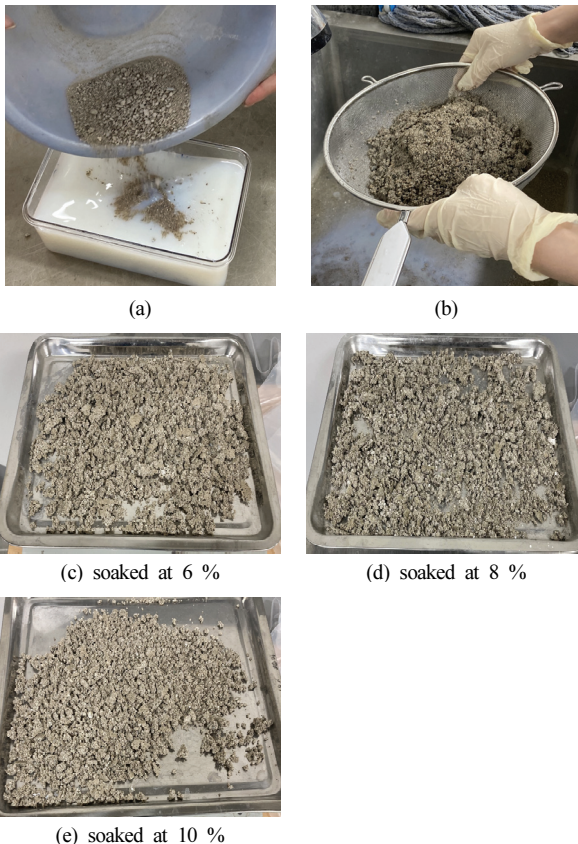


Fig. 1. Photographic images of acrylic resin impregnation process of recycled fine aggregate

도 2 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 %, 12 %를 가지는 수용액을 제조하였다. 순환골재 내부로의 충분한 침투를 유도하기 위해 함침제는 농도별로 2 kg씩 제작하였다.

순환잔골재의 함침은 Fig. 1(a)와 같은 형태로 순환 잔골재 1 kg을 각 농도의 아크릴 수지 수용액 2 kg에 중량비 1:2의 비율로 침지용 용기에 넣은 후, 약 2분간 막대로 순환잔골재를 가볍게 저어 제작된 함침제가 순환골재 사이로 골고루 침투되도록 유도하였다. 함침은 1시간 동안 진행하였다. 함침과정이 종료된 후, Fig. 1(b)와 같이 크기 약 300 μm의 체에 순환잔골재-아크릴수지 수용액을 부어 걸러내었다. 체가름 과정이 끝난 후, 순환잔골재의 표면이 충분히 마를 때 까지 직사광선이 비치지 않는 서늘한 장소에서 Fig. 1(c)와 같이 완전히 건조될 때까지 자연건조 하였다.

2.3 흡수율 및 밀도

아크릴수지 수용액 농도변화에 따른 순환잔골재의 부피밀도 (bulk specific gravity) 및 흡수율(absorption capacity) 변화는 KS F 2504 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험방법에 따라 측정하였다. 순환잔골재의 진밀도는 He 가스를 이용한 Pycnometer(AccuPyc II 1345, Micromeritics, USA)를 사용하여 측정하였다.

2.4 아크릴 수지 함침 육안 분석

아크릴 수지 농도별 함침 순환 잔골재 물성에 대한 육안 분석은 아크릴 수지 함침 후 자연건조가 완료된 상태에서 진행하였다. 아크릴 수지 농도가 2 %, 4 %, 및 6 %인 경우에는 표면의 점도 수준이 아크릴 수지를 함침시키지 않은 순환잔골재와 매우 유사한 상태로 관찰되었으나, 아크릴 수지 농도 8 % 이후부터는 침지 완료된 순환잔골재 간에 상당한 점성이 발생하여(끈적임의 형태로 관찰되었음), 순환잔골재의 뭉침 현상이 관찰되기 시작하였다. 함침제 농도가 10 % 및 12 %로 증가할수록 순환잔골재 간의 뭉침 현상이 더 크게 나타났고, 아크릴 특유의 냄새가 모르타르 제조 후에도 여전히 남아있었다. 이와 같이 아크릴 수지 농도가 높아질수록 순환잔골재 내부로 스며들지 못하고, 외부에 코팅된 상태로 존재하는 비율이 높아진 것으로 추정된다. 함침이 종료된 모든 종류의 순환잔골재로부터 아크릴 수지 수용액이 물과 반응하여 녹아내리는 등의 현상은 관찰되지 않았다.

2.5 흡수율 및 진밀도

아크릴 수지 함침 처리가 순환잔골재의 흡수율 및 진밀도에 미

치는 영향은 Fig. 2 및 3에 나타나 있다. Fig. 2에 따르면, 아크릴 수지 함침 처리를 적용한 순환잔골재의 흡수율은 모두 2 % 미만으로 나타났으며, 아크릴 수지 농도가 높아질수록 흡수율은 점점 감소하는 경향을 나타내었다. 아무런 함침처리를 하지 않은 순환잔골재의 흡수율이 7.59 %인 것을 감안하면, 아크릴 수지의 함침처리는 순환잔골재의 흡수율 개선에 매우 효과적임을 의미한다. 이는 아크릴 수지에서의 침지과정에서 순환잔골재 내부에 존재하는 미세공극 및 균열에 아크릴 수지 용액에 의해 메워졌기 때문이다.

아크릴 수지 수용액의 농도가 2 %에서 8 %로 증가할 때 까지 순환잔골재의 흡수율은 점점 감소하는 경향을 보였다. 그러나 아크릴 수지 수용액의 농도가 10 %일 때 흡수율은 다소 상승하였고, 농도 12 %에서도 농도 8 %에 침지된 순환잔골재의 흡수율과 큰 차이를 보이지 않음을 감안한다면, 아크릴 수지 수용액의 적정 농도는 6~8 % 수준으로 판단된다. 아크릴 수지 수용액 농도 8 % 이상에서 흡수율의 큰 개선점을 보이지 않는 이유는 1) 아크릴 수지 농도상승으로 인한 점도의 상승으로 순환잔골재 내부로의 침투 효과가 감소하였거나, 2) 8 % 수준의 농도에서 이미 순환잔골재 내부에 충분히 아크릴 수지가 채워졌기 때문으로 사료된다.

Fig. 3에 따르면, 아크릴 수지 수용액의 침지 농도가 증가할수록 순환잔골재의 진밀도가 감소하는 것으로 확인되었다. 진밀도는 공극을 제외한 밀도로, 순환잔골재의 진밀도는 천연잔골재의 진밀도와 거의 유사하게 나타나게 된다. 이때 상대적으로 진밀도가 낮은 아크릴 수지(진밀도 1.2 g/cm³)가 순환잔골재의 내부를 채우게 되면서, He 기체의 내부 균열로의 진입을 막아, 순환잔골재의 진밀도가 점점 낮게 나타나게 된 것으로 판단된다. 진밀도의 경우 아크릴 수지 농도 6 %까지는 지속적으로 감소하다, 농도 8 %에서 다소 상승하는 경향을 보였다. 이후 농도를 10 %로 상승시키게 되면, 진밀도는 다시 감소하며, 12 % 농도에서는 더 이상의 진밀도 감소를 보이지 않게 되었다. Fig. 2의 흡수율 데이터와 Fig. 3의 진밀도 데이터를 함께 고려하면, 6~8 % 수준까지는 아크릴 수지가 순환잔골재의 균열을 메워 진밀도의 지속적인 감소를 가져온 것으로 해석이 가능하다. 이 이상의 농도의 아크릴 수지에 순환잔골재를 침지시키면, 아크릴 수지의 일부가 순환잔골재의 표면에 잔류하여 진밀도를 추가적으로 감소시키는 것으로 판단된다.

진밀도 및 흡수율 실험 결과를 바탕으로, 순환잔골재의 최종 침지농도는 흡수율이 낮고 상대적으로 순환골재의 점성이 떨어지는 것으로 확인된 농도 6 % 및 흡수율이 가장 낮지만, 순환잔골재의 점성이 다소 높은 농도 8 %가 가장 적절할 것으로 판단된다.

따라서 모르타르의 압축강도 평가를 아크릴 수지 6~8 % 농도 영역대를 기준으로 선정하고, 아크릴 수지의 농도변화가 순환잔골

재 혼입 모르타르의 강도에 미치는 영향을 파악하기 위해, 농도 4 % 및 10 %를 추가로 선정하여 모르타르 시험체를 제작하였다.

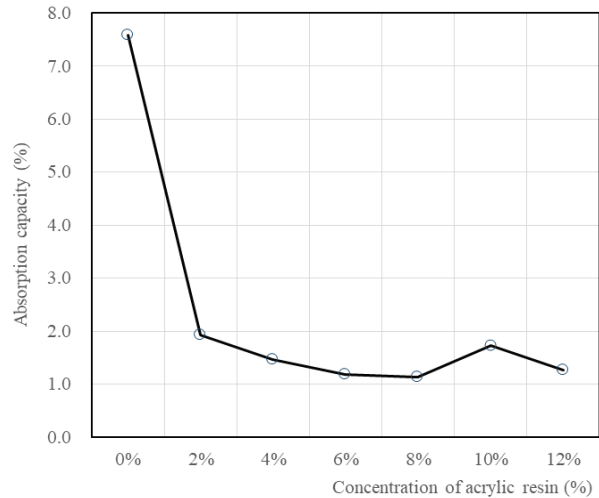


Fig. 2. Absorption capacity of recycled fine aggregate soaked at various concentrations of acrylic resin emulsion

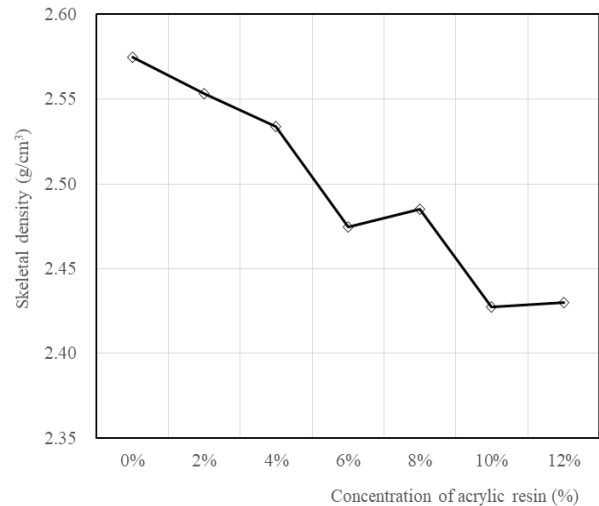


Fig. 3. Skeletal density of recycled fine aggregate soaked at various concentrations of acrylic resin emulsion

3. 순환잔골재 모르타르 성능평가

3.1 모르타르 제작

순환잔골재 혼입 모르타르의 제조를 위해, 국내 S사에서 생산된 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하여, 순환잔골재와 1:2의 중량비로 물시멘트비 0.4의 배합을 진행하였다. 순환잔골재는 아크릴 수지 함침과정을 거치지 않은 순환잔골재를 대조군으로 설정하

였고, 순환잔골재 함침 이후 흡수율에서 큰 변화가 발생하지 않은 아크릴 수지 농도 4 %, 6 %, 8 % 및 10 %의 수용액에 침지된 순환 잔골재를 역학적 성능 평가에 활용하였다. 아크릴 수지 침지에 의한 역학적 성능 향상 정도를 비교 평가하기 위해, 천연잔골재를 이용하여 제조된 모르타르도 별도로 제작하였다. 본 연구에 사용된 시멘트 및 천연잔골재의 물성은 Table 3 및 4에 나타내었고, 모르타르의 배합비는 Table 5에 나타내었다. 또한 Fig. 4에 천연잔골재 및 순환잔골재의 입도곡선을 나타내었다.

Table 3. Chemical compositions of type I Portland cement
(Unit: wt.%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	L.O.I
20.9	5.1	3.6	62.3	3.6	2.3	2.4

Table 4. Properties of natural fine aggregate

Absorption capacity (%)	Oven dry bulk density (g/cm ³)
1.83	2.54

Table 5. Mix proportion of mortar

w/c	Water (g)	Cement (g)	Fine aggregate (g)	SP ⁽¹⁾ (%)
				RFA-8, RFA-10 ⁽²⁾
0.4	204	510	1,020	0.5

⁽¹⁾ SP : Superplasticizer

⁽²⁾ RFA-8 and RFA-10 : Recycled fine aggregate soaked at 8 % and 10 % acrylic resin solutions, respectively

순환잔골재 혼입 모르타르의 배합은 ASTM C 305 Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency의 규준에 따라 진행하였다. 먼저 잔골재에 유효흡수율에 해당되는 물을 가하여 건비빔을 진행하고, 골재를 표건상태로 만들었다. 이후 시멘트와 배합수를 믹서 (Kitchen Aid, USA)에 투입하여, 30초간 저속모드에서 배합한 후, 표건상태의 잔골재를 믹서에 투입하여, 30초간 저속모드에서 추가 배합하였다. 저속모드 배합 종료 후 30초 동안의 휴지기에 용기의 바닥 및 옆면에 붙어 있는 모르타르를 제거하였고, 이후 60초간 중속모드에서 배합한 후, ASTM C 109 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens)에 따라 50 mm × 50 mm × 50 mm의 큐브 시험체를 제작하였다.

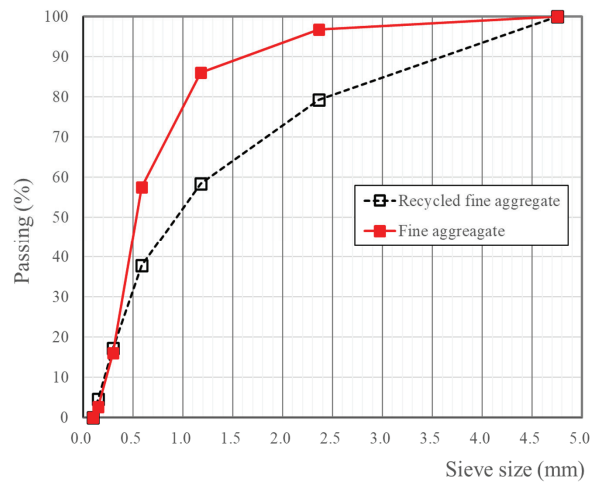


Fig. 4. Grading curves of fine aggregate and recycled fine aggregate

3.2 압축강도 측정

배합 종료 후 타설이 완료된 50 mm × 50 mm × 50 mm 모르타르 큐브 몰드의 윗면을 얇은 플라스틱 덮개로 덮어 수분의 증발을 억제하여, 1일간 상온의 실험실(21 ± 2 °C, RH 50 %)에서 양생하였다. 1일 후 경화가 종료된 모르타르 시편을 탈형하였고, 탈형된 시편은 21 °C의 포화수산화칼슘 수용액에 27일간 침지시켜 양생을 진행한 후, 28일 재령에 전동식 강도 시험기(S1 industry Co., Korea, S1-1471D)를 사용하여 압축강도를 측정하였다.

3.3 압축강도 결과

천연잔골재 및 순환잔골재를 혼입한 모르타르의 재령 28일 압축강도를 측정한 결과는 Fig. 5에 나타내었다. 천연잔골재 혼입 모르타르의 28일 재령 압축강도는 43.06 MPa, 순환잔골재 혼입 모르타르의 압축강도는 32.86 MPa로 측정되었다. 순환잔골재 100 % 혼입 모르타르의 압축강도는 천연잔골재 혼입 모르타르의 76 % 수준으로 측정되었다.

순환잔골재를 아크릴수지 농도 4 %에 침지시킨 결과, 압축강도는 37.36 MPa로, 순환잔골재 모르타르 대비 약 14 % 상승하는 결과를 보였다. 이는 아크릴 수지에 의한 순환잔골재 미세균열 및 공극의 채움효과로 인한 것으로 판단된다. 그러나 압축강도는 천연잔골재 혼입 모르타르의 43.06 MPa의 약 87 % 수준으로, 아크릴 수지를 침지시켜도 천연잔골재의 물성까지는 확보가 어려운 것으로 확인되었다. 이는 순환골재의 공극 및 미세균열을 채운 아크릴 수지의 강도가 천연잔골재의 강도에 미치지 못하기 때문으로 추정된다.

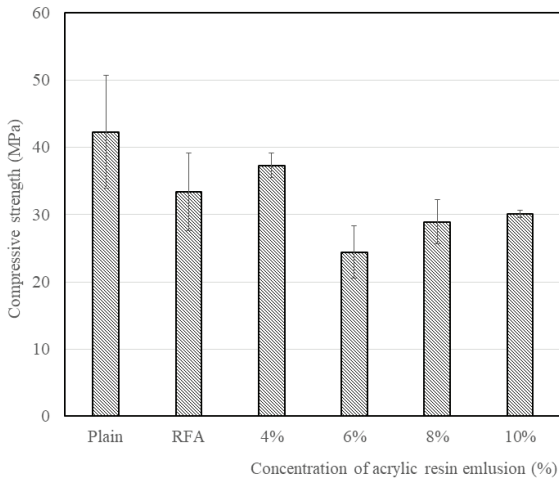


Fig. 5. The 28 day compressive strengths of mortar specimens made of recycled fine aggregate soaked at various concentrations of acrylic resin emulsion

순환잔골재를 침지시킨 아크릴 수지 농도가 6 %로 증가하게 되면, 압축강도는 22.66 MPa로, 오히려 아크릴 수지를 침지시키지 않은 순환잔골재 모르타르에 비해 약 31 % 감소하는 결과를 나타내었다. 흡수율 및 진밀도의 측면에서 가장 적절하다고 판단되었던 6 % 농도에서 강도발현이 낮았던 것은 육안분석으로 뭉침 현상이 관찰되지 않았으나, 함침 이후 아크릴수지의 점성으로 인해 순환잔골재 내부에 미세한 뭉침 현상이 있었던 것으로 사료된 대(육안 분석시는 명확하게 관찰되지 않았음). 만약 아크릴 수지의 침지 및 자연건조 과정에서 뭉쳐진 순환잔골재가 모르타르의 배합 과정에서 잘게 분산되지 못하고 뭉친 상태로 존재하게 되면, 아크릴 수지에 의해 발생한 골재간의 부착력이 약하기 때문에, 모르타르의 압축강도 발현에 악영향을 미칠 수 있다.

이후 아크릴 수지 농도를 8 % 및 10 %로 증가시키게 되면, 압축 강도는 각각 27.24 MPa 및 29.98 MPa로 상승하게 되는데, 여전히 아크릴 수지에 침지시키지 않은 순환잔골재 혼입 모르타르의 압축 강도인 32.86 MPa는 상회하지 못하였다. 아크릴 수지 농도를 8 % 및 10 %로 상승시켰을 때, 모르타르의 강도가 아크릴 수지 농도 6 %에 비해 높아진 원인으로는 아크릴수지 농도의 상승으로 인해 뭉쳐진 순환잔골재간의 결합력이 아크릴수지 농도가 높아질 수록 증가하였기 때문으로 판단된다. 그러나 아크릴 수지 농도 8 % 및 10 % 침지된 순환잔골재 모르타르의 압축강도 또한 순환잔골재 모르타르의 압축강도인 32.86 MPa에 여전히 미치지 못하기 때문에 과도한 아크릴 수지 농도에서의 순환잔골재 침지는 오히려 순환잔골재 모르타르의 역학적 성능에 악영향을 미칠 수 있음에 유의할 필요가 있다.

아래의 Fig. 6에 아크릴 수지를 순환잔골재에 혼입하는 경우 발생하게 되는 메커니즘을 요약 정리하였다. 비교적 낮은 점도를 가지는 아크릴 수지 농도 4 % 수준까지는 순환잔골재에 존재하는 균열 및 공극이 효과적으로 채워지는 동시에 순환잔골재 간의 뭉침현상이 적어, 모르타르 강도의 상승이 발생하게 된다. 이후 아크릴 수지 농도가 6 %로 증가하게 되면, 순환잔골재의 흡수율은 다소 감소하는 것으로 나타났다. 이는 아크릴 수지 수용액의 점도가 높아 표면에 일부 잔류량이 발생하여, 흡수율 감소에 의한 강도상승 효과는 거의 발생하지 않게 되고 오히려 순환잔골재간의 뭉침 현상을 유발하여 강도 저하를 유발하는 것으로 판단된다.

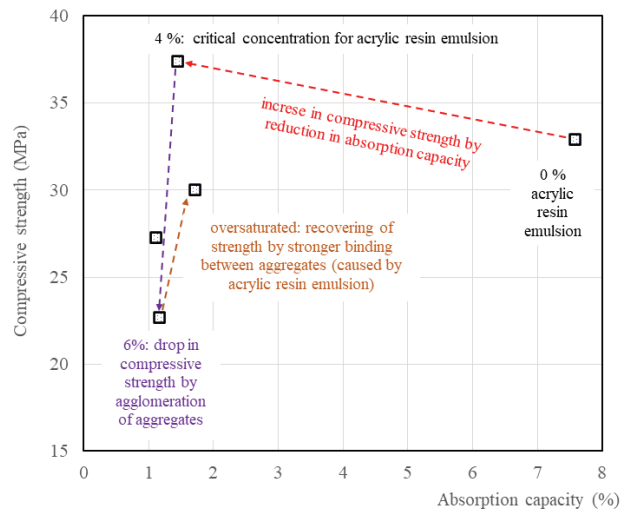


Fig. 6. Relationship between absorption capacity of recycled fine aggregate and compressive strength of mortar

이후 아크릴 수지 농도를 8~10 % 이상으로 상승시키게 되면 순환잔골재간의 뭉침 현상이 더욱 강하게 발생하지만, 아크릴 수지 농도 증가로 인해 뭉쳐진 골재간의 결합력 또한 증가하게 되어 강도의 회복 효과가 발생하게 되는 것으로 사료된다. 이러한 점을 감안한다면, 아크릴 수지 수용액의 침지 농도는 점도가 낮은 저농도 영역을 적용하여 내부 균열의 채움효과를 극대화시키고 표면에 잔류하는 아크릴 수지의 양을 최소화시키는 것이 가장 효율적인 처리방법으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 순환잔골재의 콘크리트 구조체용 골재로서의 적용성 연구를 위해 아크릴 수지 농도변화에 따른 순환잔골재의 흡

수율 및 진밀도 특성 변화를 관찰하였다. 이를 바탕으로 선정된 아크릴 수지 농도에 침지된 순환잔골재 혼입 모르타르의 역학적 성능을 분석하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 아크릴 수지의 농도가 높아질수록 순환잔골재의 흡수율은 감소하였으나 10 % 이상의 농도부터는 아크릴 수지 농도 증가가 흡수율에 큰 영향을 미치지 않았다. 흡수율은 아크릴 수지 농도 8 %에서 가장 낮게 나타났다.
2. 아크릴 수지에 침지된 순환잔골재를 이용한 모르타르의 압축강도는 아크릴 수지 농도 4 %에 침지된 경우, 침지시키지 않은 순환잔골재를 사용한 모르타르에 비해 18 % 높게 나타났다. 그러나 천연잔골재를 사용한 모르타르에 비해서는 여전히 낮게 나타났다.
3. 아크릴 수지의 농도가 높아질수록 침지 후 건조된 순환잔골재 간 뭉침현상이 커지므로, 과도하게 높은 수준의 아크릴 수지 농도를 사용하는 것은 오히려 모르타르의 압축강도에 부정적 영향을 미친다.

본 시험에서는 아크릴수지로 함침한 순환잔골재가 1시간 동안의 침지 과정을 통해 흡수율을 저감하고 역학적 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 추후 연구에는 침지 처리된 순환잔골재의 뭉침을 해결하기 위한 방안이 집중하여, 보다 저농도의 아크릴 수지를 활용할 방안에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Conflict of interest

None.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2023년)에 의하여 연구되었음. 본 연구의 수행 시 실험 과정을 도운 최유진 연구원 및 학부연구생 김채린, 고재영 학생의 도움에 감사드립니다.

References

American Society for Testing and Materials C 109. (2020). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens), West Conshohocken: ASTM International.

American Society for Testing and Materials C 305. (2020). Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency, West Conshohocken: ASTM International.

Çakır, Ö., Sofyanlı, Ö.Ö. (2015). Influence of silica fume on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete, Housing and Building National Research Center Journal, **11(2)**, 157–166.

Choi, H.B. (2015). Water absorption controlling type surface treatment method for quality enhancement of recycled aggregate, Journal of The Korean Institute of Building Construction, **15(6)**, 561–567 [In Korean].

Corinaldesi, V., Moriconi, G. (2009). Influence of mineral additions on the performance of 100 % recycled aggregate concrete, Construction and Building Materials, **23(8)**, 2869–2876.

Ha, J.S., Shin, J.H., Chung, L., Kim, H.S. (2016). Performance evaluation of recycled aggregate concrete made of recycled aggregate modified by carbonation, Journal of the Korea Concrete Institute, **28(4)**, 445–454 [In Korean].

Jeong, J.D., Lee, D.H. (2008). An experimental study on the improvement of test methods for quality evaluation of recycled aggregate, Korea Society of Fine Arts, **8(4)**, 105–114 [In Korean].

Kim, J.H. (2019). A Study on the Quality Improvement Methods of Recycled Fine Aggregate for Manufacturing of High Quality Recycled Aggregate Concrete, Ph.D Thesis, Graduate School of Architecture, Konkuk University.

Kim, N.W., Kim, H.J., Bae, J.S. (2008). A study on the property estimation of recycled coarse aggregate and characteristic of recycled aggregate concrete using the surface coated treatment method, Journal of The Korean Society of Civil Engineers A, **28(4)**, 603–609 [In Korean].

Kou, S.C., Poon, C.S., Agrela, F. (2011). Comparisons of natural and recycled aggregate concretes prepared with the addition of different mineral admixtures, Cement and Concrete Composites, **33(8)**, 788–795.

Lee, B.J., Kim, K.H., Kim, Y.Y. (2021). Effects of coating materials and application methods on the absorption rate of fine aggregate recycled from waste concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, **33(3)**, 307–314 [In Korean].

Liu, K., Xu, W., Sun, D., Tang, J., Wang, A., Chen, D. (2021). Carbonation of recycled aggregate and its effect on properties of recycled aggregate concrete: a review, Materials Express, **11(9)**, 1439–1452.

Ministry of Environment and Korea Environment Cooperation

(2023). National Waste Generation and Disposal Status in 2022, 11-1480000-001552-10 [in Korean].
 Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Korea Construction Economy and Industry Association (2014). Study on Master Plan Establishing of Aggregate Demand and Supply, 1-1613000-000269-13 [In Korean].
 Silva, R.V., Neves, R., De Brito, J., Dhir, R.K. (2015). Carbonation behaviour of recycled aggregate concrete, *Cement and Concrete Composites*, **62**, 22-32.
 Sim, H.S., Park, C.W., Park, S.J., Kim, G.J., Kim, H.J., Kim, T.G., Lim, C.H. (2006). Development of Recycling & Practical Using for Value Added Resourcing of the Recycled Aggregate Obtained from Waste- Concrete, The Final Report of Hanyang University's Industrial-Academic Cooperation Group.
 Song, T.H., Lee, J.C., Lee, S.H. (2011). A study on the pH characteristic of recycle aggregate according to test methods and elapsed time, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **6(3)**, 61-68 [In Korean].
 Tangchirapat, W., Buranasing, R., Jaturapitakkul, C., Chindaprasirt, P. (2008). Influence of rice husk-bark ash on mechanical properties of concrete containing high amount of recycled aggregates, *Construction and Building Materials*, **22(8)**, 1812-1819.

아크릴 수지 농도 차이가 순환잔골재의 물성에 미치는 영향

최근 환경문제와 골재난의 해결방안으로 건설폐기물을 재활용한 순환골재의 사용이 주목받고 있다. 순환골재의 재활용을 촉진하기 위해 마련된 여러 다양한 방안에도 불구하고, 순환골재는(특히 순환잔골재) 일반골재에 비하여 품질이 떨어지기 때문에, 구조체용 골재로서의 사용은 제한되고 있어, 순환골재 품질 향상에 관한 연구가 시급하다. 본 연구에서는 순환잔골재 품질 향상을 위해 1시간이라는 짧은 시간 동안 다양한 농도의 아크릴 수지 수용액에 순환잔골재의 침지를 진행하였고, 침지가 종료된 순환잔골재의 흡수율 및 진밀도 측정을 통해 적정 침지농도를 선정한 후, 모르타르 시험체를 제작하고 이의 역학적 성능을 평가하여 순환잔골재 재활용을 촉진시키는 처리방법을 제시하고자 하였다. 실험 결과에 따르면, 아크릴 수지 농도가 높아질수록 순환잔골재의 흡수율과 진밀도는 감소하였으며, 흡수율의 경우 아크릴 수지 농도 6~8 % 수준에서 가장 낮게 나타났으나, 아크릴 수지에 침지시킨 순환잔골재 모르타르의 압축강도는 이보다 낮은 농도인 4 %에서 가장 높게 나타나, 높은 농도의 아크릴 수지 사용이 모르타르 압축강도를 오히려 저하시킬 수 있음을 확인하였다.