

2단계 배합을 사용한 순환잔골재 혼입 고성능 시멘트 모르타르의 내화성능 연구

Investigation on Fire Resistance of High-Performance Cement Mortar with Recycled Fine Aggregate Mixed by Two-Stage Mixing Approach

박성환¹ · 최준호² · 이치영³ · 구민성² · 정철우^{4*}Sung-Hwan Park¹ · Jun-Ho Choi² · Chi Young Lee³ · Min-Sung Koo² · Chul-Woo Chung^{4*}

(Received December 6, 2021 / Revised December 15, 2021 / Accepted December 16, 2021)

This study was conducted to confirm the applicability of recycled aggregates as aggregates for structural concrete as a way to respond to the shortage of natural aggregates. The two-stage mixing approach developed by Tam et al. is known to be a method that can improve the mechanical performance of recycled aggregate concrete without the installation of new additional facilities. In this work, modified version of two stage mixing approach, which was used in our earlier work, was introduced to prepare mortar specimens with recycled fine aggregate, and the compressive strength and fire resistance were compared to mortar mixed with normal mixing approach. According to the experimental results from mortar with recycled fine aggregate, the use of two-stage mixing approach was found to be more effective than normal mixing approach for compressive strength development. In addition, the residual strengths of the mortar with two-stage mixing approach was higher than mortar made of normal mixing approach after exposure to 600 and 900 °C. It is possible to manufacture high-performance cement composites with recycled fine aggregates through the active use of the two-stage mixing approach.

키워드 : 2단계 배합, 순환잔골재, 압축강도 내화성능평가**Keywords** : Two-stage mixing approach, Recycled fine aggregate, Compressive strength, Fire resistance

1. 서론

오랜 기간 콘크리트의 사용으로 인해 최근 국내 석산에서의 골재 수급의 문제가 초래된 상황이다. 우리나라의 천연골재는 향후 20년 이내 고갈사태를 맞이할 것으로 보이며, 천연골재의 수요를 대체 할 수 있는 대안 확보의 필요성이 점점 증대되어, 이에 대응하기 위한 연구가 국내에서 다수 진행되고 있다(Ahn 2018). 천연골재 부족사태에 대응하기 위한 방법의 하나로, 건물의 해체로 발생하는 콘크리트 폐기물을 재가공하여 생산되는 순환골재의 활용이 주목받고 있는데, 이는 순환골재의 적극적 활용을 통해 콘크리트 폐기물 매립으로 인한 1) 환경적 부담을 줄일 뿐만 아니라, 2) 건설

공사의 예산 절감 및 3) 골재의 부족에 대응할 수 있는 매우 친환경적인 방법이기 때문이다. 이러한 측면에서 볼 때, 콘크리트 구조물의 노후화에 따른 재건축 및 재개발의 증가로 인해 발생하는 폐콘크리트로부터 생산되는 순환골재는 골재 수급의 문제점에 대응할 수 있는 하나의 해결책이 될 수 있다.

국내에서는 전체 발생폐기물의 50 %를 차지하는 건설폐기물의 재활용을 위하여 2003년 “건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률”이 제정되었고 동법시행령 제 4조에서는 순환골재 등의 재활용 용도를 정의하여 순환골재 재활용 촉진을 도모하고 있다. 또한 순환골재 및 순환골재 재활용제품을 의무적으로 사용하여야 하는 순환골재 의무사용공사가 지정되었으며, “순환골재 품질관리기

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

¹부경대학교 건축·소방공학부 석사과정 (Department of Architectural and Fire Protection Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Republic of Korea)²부경대학교 소방공학과 교수 (Department of Fire Protection Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Republic of Korea)³부경대학교 소방공학과 부교수 (Department of Fire Protection Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Republic of Korea)⁴부경대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Republic of Korea)

준”을 제정·고시하여 용도별 순환골재 품질기준을 제시하여 품질기준의 적합여부를 반드시 확인한 뒤 사용하도록 권장하고 있다. 그러나 실제 순환골재의 재활용률은 높지 않은 것이 현실이다.

순환골재는 폐콘크리트를 분쇄하여 생산되며, 생산과정에서 파쇄·마모의 공정을 거치기 때문에 상당량의 충격을 받게 되어 자체적으로 다량의 미세균열을 함유하고 있다. 특히 순환잔골재의 경우 분쇄과정에서 제거되지 못한 다량의 수화된 시멘트 페이스트 성분을(구 콘크리트에서 골재 및 시멘트 페이스트 계면에 존재하는 계면전이영역; old interfacial transition zone) 함께 함유하고 있다. 이러한 특성으로 인해, 순환골재는 다공성을 가지며, 이로 인한 높은 흡수율로 인하여 순환골재를 혼입한 콘크리트 배합은 작업성의 문제를 가지게 된다. 마찬가지로, 순환골재 내부에 존재하는 공극 및 미세균열의 영향으로 인해 역학적 성능의 감소를 동반하는 것으로 나타나 있어 구조용 목적의 골재로 활용이 제한되고 있는 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로, Vivian W.Y. Tam의 연구 그룹에서는 배합의 단계를 2단계로 나누어 실시하는 2단계 배합방법을 제안하였고(Tam et al. 2005; Tam et al. 2006; Tam and Tam 2007; Tam et al. 2007), 이를 통해 순환골재 콘크리트의 역학적 성능의 향상을 확인한 바 있다. 2단계 배합방법의 핵심은 배합수량을 나누어 투입하여, 순환골재 표면 밀도를 개선하고자 하는 데 있는데, 본 연구의 선행 연구에서도(Kim et al. 2020), 2단계 배합 과정이 모르타르의 역학적 성능을 향상시키는 것을 확인한 바 있다.

일반적으로 천연골재를 순환골재로 전량 대체하면 최대 30 % 정도 수준의 강도감소가 발생하는 것으로 알려져 있으나, 보다 최근의 연구결과에 따르면 55 MPa급 이상의 콘크리트에 순환골재를 활용하는 경우 약 10 % 수준의 강도감소를 보이는 것으로 나타났다(Ju et al. 2019). 고성능 콘크리트용으로 활용하는 경우 강도감소율이 감소하는 이유는 순환골재와 새로운 시멘트 페이스트간의 계면 결합력이 고강도(고성능) 콘크리트의 영역에서 더욱 높아지기 때문으로 사료된다.

상대적으로 순환골재에 비해 물성이 더욱 떨어진다는 평가를 받는 순환잔골재를 활용하게 되는 경우, 시멘트 복합체의 역학적 성능의 감소는 더욱 두드러질 수 있다고 알려져 있다. 따라서 순환잔골재를 고성능 콘크리트용 골재로 사용할 수 있는 가능성을 확인하게 되는 즉시, 경제적 & 환경적 측면에서 큰 이익이 발생하게 된다. 현재 유럽의 각국에서는 2030년까지 순환골재 생산량 전부를 재활용한다는 목표를 세우고 관련 연구를 진행하는 동시에 제도를 개선하고 있다. 우리나라의 경우에도 순환골재의 완전한

재활용이 건설산업의 선순환 고리를 만들 수 있는 중요한 요소임을 감안하여, 더 늦기 전에 본격적으로 이에 대응하기 위한 준비를 해야 할 것으로 사료된다.

지금까지의 연구에서는 순환잔골재를 100 % 혼입하여 고성능의 시멘트 복합체를 제조한 예시는 거의 없는 것으로 파악되었다. 따라서 본 연구에서는 천연잔골재의 100 %를 순환잔골재로 대체하여 고성능 시멘트 복합체를 제조하고, 이의 역학적 성능을 평가하여, 순환잔골재의 본격적인 재활용이 가능한 기초 자료를 확보하고자 한다. 또한 기존의 연구에서는 순환골재 혼입 모르타르의 고온 노출 후의 역학적 성능 변화(화재 노출 후 발생가능한 역학적 성능의 감소)에 대한 연구는 매우 부족한 실정으로, 본 연구에서는 순환잔골재로 제조된 시멘트 모르타르를 고온노출(600 °C 및 900 °C) 시킨 후, 이의 강도변화를 통해 순환골재 혼입 고성능 모르타르의 내화성능을 평가하고자 하였다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구에서는 순환 잔골재 혼입 고성능 모르타르의 28일 재령 압축강도를 측정하기 위하여 세척사 및 순환잔골재를 이용하여 일반배합과 2단계 배합방법으로 물시멘트비 0.25의 시멘트 모르타르 시험체를 제작한 후, 절건상태(OD) 및 표면건조 내부포화상태(SSD)의 시험체를 600 °C와 900 °C의 고온에 각각 2시간동안 노출시켜, 28일 압축강도 대비 고온에서의 노출 후 시멘트 복합체의 압축강도 변화를 관찰하여 순환잔골재 혼입 시멘트 모르타르의 내화성능을 평가하였다.

2.2 실험재료

본 연구에서 사용되는 시멘트는 국내 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트이며 화학적 조성은 Table 1과 같다. 순환잔골재는 국내 H사에서 수급된 재료를 이용하였으며, 순환잔골재의 겉보기 밀도는 2.38 g/cm³, 흡수율은 약 8 %이다. 순환잔골재와 비교할 세척사는 국내 J사에서 수급된 재료를 이용하였다. 세척사의 겉보기 밀도는

Table 1. Chemical compositions of type I ordinary portland cement (%)

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃
63.42	19.48	4.69	4.08	3.11	3.04
K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	ZnO	-
1.32	0.38	0.20	0.13	0.11	-

2.58 g/cm³이며 흡수율은 약 1.8 %로 측정되었다. 세척사 및 순환 잔골재의 입도분포곡선은 Fig. 1에 나타나 있다.

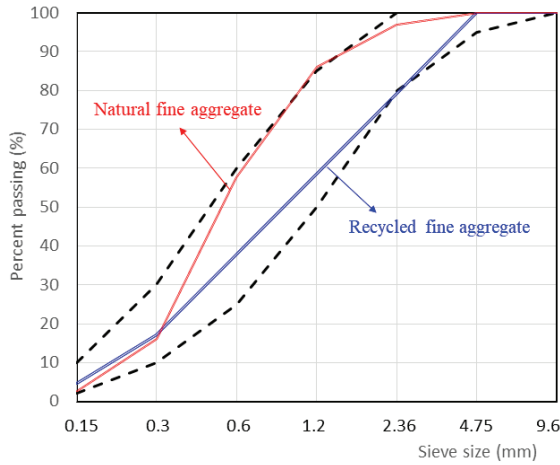


Fig. 1. Gradation of natural and recycled fine aggregate

2.3 2단계 배합과정

세척사 모르타르 (NA-NMA)는 일반적인 모르타르 배합방식인 (Normal Mixing Approach; NMA)인 ASTM C 305(2020) “Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency” 규준에 따라 진행하였다. 배합에 사용된 믹서는 planetary paddle mixer(Hobart-HL400, U.S.A)이다. 각 배합의 물시멘트비는 0.25, 시멘트:잔골재의 중량비는 1:30이며, 배합의 상세는 Table 2에 정리하였다. 배합 시 기건 상태의 골재에 유효흡수율 만큼의 수량을 추가하여 골재의 함수상태를 표건상태로 조정하였으며, 배합수로는 초순수수 (Deionized water, 18.2 MΩ · cm)를 사용하였다.

순환잔골재 모르타르의 경우 일반배합(RFA-NMA) 및 2단계 배합(RFA-TSMA)으로 나누어 제작하였다. 2단계 배합방법의 경우 다양한 방법의 적용이 가능하지만, 본 연구에서는 잔골재 및 굵은 골재를 건비빔 후 배합수의 반만 혼입하여 1단계 배합을 진행하고, 시멘트를 넣고 짧은 배합을 진행한 후 나머지 배합수를 넣어 2단계 배합을 실시하는 기존의 방법(Tam et al. 2007)이 아닌 시멘트 페이스트를 먼저 제조한 후 순환골재를 늦게 투입하는 개선된 형태의 2단계 배합방법(Kim et al. 2020)을 활용하였다.

개선된 형태의 2단계 배합을 위한 시멘트 모르타르(RFA-TSMA)의 제조를 위해 시멘트 전량과 배합수를 함께 planetary paddle mixer(Hobart-HL400, U.S.A)에 넣고 60초간 배합 후, 30

초 휴지기를 주었다. 이후 표건상태로 조절된 순환잔골재를 시멘트 페이스트에 투입한 후, 60초간 배합하였다. 배합에 사용된 고성능 감수제는 국내 H사의 Superplasticizer이며, 시멘트 중량대비 plain 모르타르는 4 %, RFA 및 RFA-TSMA는 각각 1 %로 사용하였다. Plain 모르타르에 비해 RFA 모르타르에서 고성능 감수제의 사용량이 줄어들었는데, 이는 RFA 모르타르의 배합시 표건상태의 RFA를 사용하였고, RFA 내부의 균열 및 공극에 존재하는 잉여 자유수의 존재로 인해, RFA 모르타르 플로우 값 자체가 plain 모르타르에 비해 높게 나타나, 재료분리를 막기 위해 고성능 감수제의 투입량을 줄여야 했기 때문이다. 실험에 사용된 재료의 배합비는 Table 3에 정리하였다.

Table 2. Mix proportion of mortar (g)

	W/B	Cement	Water	SS	RFA	SP
NA-NMA	0.25	1,900	576	5,597	-	76
RFA-NMA			931	-	5,244	19
RFA-TSMA						

2.4 양생

배합이 종료된 시멘트 모르타르는 50 mm x 50 mm x 50 mm 크기의 황동제 큐브 몰드에 타설하였다. 타설이 종료된 후, 수분의 증발을 방지하기 위하여 윗면을 플라스틱 시트로 덮어 24시간 동안 실험실 온도에서 하루 동안 양생하였다. 이후 큐브 몰드를 탈형하고, 모르타르 시험체를 20 ± 2 °C의 포화수산화칼슘 수용액에 침지시켜 27일간 수중양생을 진행하였다.

2.5 압축강도

28일 재령에 도달한 모르타르 시험체에 대해 압축강도 시험을 진행하였다. 압축강도 측정은 ASTM C 109(2020) “Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2–10, or (50 mm) Cube Specimens)” 규정에 따라 실시하였으며, 압축강도 시험기(Si industry Co. Ltd, Korea, S1-1471D)를 사용하여 압축강도를 측정하였다.

2.6 내화성능 평가

순환잔골재 혼입 시멘트 모르타르의 내화성능은 600 °C와 900 °C의 온도에 노출된 모르타르 시험체의 압축강도 변화를 통해 평가하였다. 시험 시, 모르타르 공시체 내부의 수분 포화도가 내화성능

에 미치는 영향을 함께 확인하기 위해, SSD상태 및 OD상태의 시멘트 모르타르 시험체 각각에 대해 고온 노출 시험을 진행하였다. SSD 상태의 시험체는 수증양생 직후 표면을 마른 천으로 닦아내서 수분을 제거한 것을 사용하였으며, OD 상태의 시험체는 SSD 상태로 만들어진 모르타르 시험체를 105 °C의 온도에 하루이상 건조시킨 시험체를 사용하였다.

고온 노출은 box furnace를 사용하여 시간당 100 °C의 온도 상승률로 목표 온도에 도달시킨 후, 2시간 동안 목표 온도를 유지시켰다. 이후 300 °C에서 12시간 동안 정치시킨 후, 공시체를 상온으로 꺼내 실험실 온도에 도달하게 하였고, 2.5절에서 명시된 과정에 따라 압축강도 시험을 진행하였다.

3. 실험 결과

3.1 28일 재령 압축강도

물시멘트비 0.25인 순환잔골재 혼입 고성능 모르타르의 28일 재령 압축강도는 Fig. 2에 나타나 있다. 세척사를 이용하여 일반 배합을 진행한 모르타르(NA-NMA)의 28일 재령 압축강도는 45.32 MPa로 나타났다. 순환잔골재를 이용하여 일반배합을 진행한 모르타르(RFA-NMA)의 28일 압축강도는 29.81 MPa로 나타났는데, 이는 세척사를 혼입한 경우(NA-NMA)에 비해 52 % 수준의 강도로, 일반 잔골재의 100 %를 순환잔골재로 치환하는 경우 압축강도의 감소폭이 매우 큼을 확인할 수 있었다.

반면 순환잔골재를 이용하여 2단계 배합을 진행한 모르타르(RFA-TSMA)의 28일 재령 압축강도는 47.50 MPa로 세척사-일반

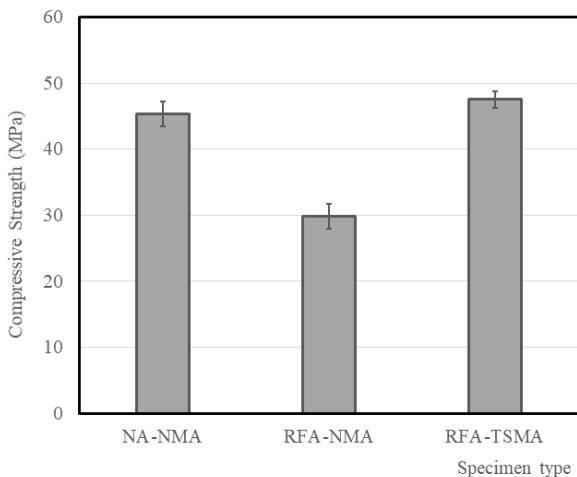


Fig. 2. The 28 day compressive strengths of w/c 0.25 cement mortar specimens with recycled fine aggregate

배합 모르타르(NA-NMA)의 압축강도인 45.32 MPa를 다소 상회하는 것으로 나타났다. 이는 물결합재비가 낮아질수록 순환골재의 혼입으로 인한 시멘트 복합체의 역학적 성능 저감 효과가 줄어든다는 Ju et al.(2019)의 보고와 유사한 결과이다. 또한 본 연구의 선행연구(Kim et al. 2020)의 경우에는, 개선된 형태의 2단계 배합 과정을 적용한 물시멘트비 0.3, 순환잔골재 100 % 치환된 시멘트 모르타르의 28일 재령 압축강도가 세척사 혼입 일반배합 시멘트 모르타르에 비해 약 16 % 정도 낮게 나타났는데, 본 연구에서 물결합재비를 0.25로 낮춘 결과 일반배합 세척사 모르타르의 강도와 거의 유사하게 나타났다. 이는 2단계 배합을 활용하면 물결합재비를 낮출수록 순환잔골재 혼입으로 인한 역학적 성능의 저하를 더욱 효과적으로 줄일 수 있음을 의미한다.

3.2 내화성능 평가

600 °C furnace에 2시간 동안 노출시킨 물시멘트비 0.25인 순환잔골재 혼입 모르타르의 압축강도는 Fig. 3에 나타나 있다. Fig 3에 따르면, NA-NMA의 경우 OD 및 SSD 상태의 시편이 600 °C에 노출되는 경우, 강도가 각각 41.76 MPa 및 36.37 MPa로 감소하는 것으로 나타났으나, 고온노출을 진행하지 않은 NA-NMA 강도인 45.32 MPa에 비해 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. SSD 상태의 시편에서의 강도의 감소폭은 19.7%로 OD상태 시편의 강도 감소폭인 7.8%에 비해 2배 이상 높은 것을 알 수 있는데, 이는 시멘트 모르타르에 포화상태로 존재하는 자유수의 기화에 의한

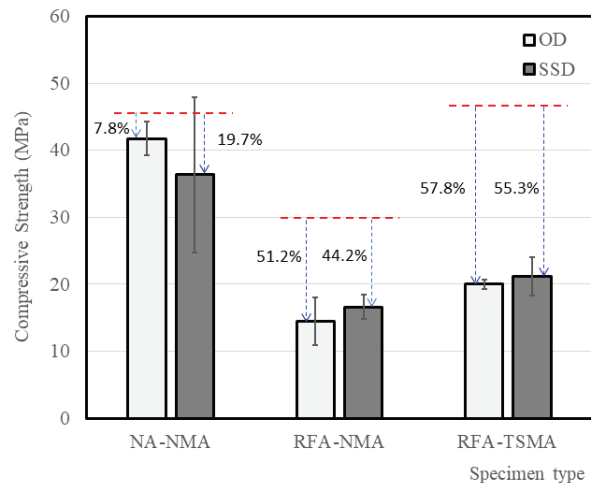


Fig. 3. The compressive strengths of w/c 0.25 cement mortar specimens with recycled fine aggregate after exposure to 600 °C furnace. Note that the red dotted lines indicate the 28 day compressive strengths of mortar specimens before exposure to 600 °C, which are 45.3 MPa for NA-NMA, 29.8 MPa for RFA-NMA, and 47.5 MPa for RFA-TSMA, respectively

압력에 의한 미세조직의 손상 때문으로 판단된다.

일반배합을 적용한 순환잔골재 모르타르(RFA-NMA)의 경우, 600 °C의 고온에 2시간 피열 후 압축강도는 절건 및 표건상태 모르타르에서 각각 14.53 MPa 및 16.62 MPa로 나타났다. 2단계 배합을 적용한 순환잔골재 모르타르(RFA-TSMA)의 경우, 절건 및 표건상태 모르타르의 압축강도는 각각 20.01 MPa 및 21.23 MPa로 나타나, 일반배합을 적용한 순환잔골재 모르타르에 비해 평균적으로 24.7 % 정도 상승한 잔존강도를 보였다. 이를 기준으로 판단하면, 2단계 배합방법이 순환잔골재 혼입 모르타르의 강도 발현에 더욱 효율적일 수 있음을 알 수 있다. 그러나 세척사를 사용한 모르타르의 경우와 달리, 순환잔골재를 사용한 모르타르는 2단계 배합의 적용 유무와 관계없이 SSD 상태로 600 °C의 고온에 노출하는 것이 OD상태로 600 °C의 고온에 노출하는 것 보다 강도의 감소폭이 적은 것으로 나타났다.

Fig. 3에 별도로 명시된 강도의 감소폭을 확인하면, NA-NMA의 경우가 가장 적게 나타났으며, RFA-NMA, RFA-TSMA의 순으로 강도 감소폭이 증가하는 것을 알 수 있다. NA-NMA에서의 강도 감소폭이 적은 이유는 1) 물시멘트비의 감소로 인한 공극체 내부에 존재하는 공극수의 량 감소 및 2) 치밀화된 미세조직으로 인한 역학적 성능 발현을 이유로 들 수 있다. 순환잔골재를 활용하는 경우, 순환잔골재 내부 깊숙이 존재하는 공극 및 균열을 완전히 메우지 못하였기 때문에, 고온 노출 과정에서 내부에 존재하는 수분의 증발 및 화학적 탈수에 의한 수축 변형의 진행으로 인해, 새로운 시멘트 페이스트 영역과 순환잔골재 표면에 존재하는 예전의 페이스트

영역간의 변형의 차이가 극대화되어, 피열 후 강도저감의 폭이 세척사 모르타르에 비해 더욱 크게 발생한 것으로 판단된다. 특히 2단계 배합을 진행한 경우에는, 순환골재의 계면전이영역(ITZ)에서의 밀도 상승으로 인한 역학적 성능의 향상은 명확하게 확인되었으나, 앞서 설명된 메커니즘 등의 발현으로 인한 순환잔골재-시멘트 페이스트 계면부착성능의 감소로 인해 피열 후 강도저감폭이 상대적으로 강도가 낮게 나타난(순환잔골재-시멘트 페이스트간의 밀도가 낮을 것으로 예상된) RFA-NMA의 경우보다 더욱 크게 발생한 것으로 판단된다.

900 °C furnace에 2시간 동안 노출시킨 물시멘트비 0.25인 순환잔골재 혼입 모르타르의 압축강도는 Fig. 4에 나타나 있다. Fig. 4에 따르면 600 °C와는 달리 900 °C에 노출되는 경우에는 OD 상태 보다는 SSD 상태의 시편에서 강도 감소율이 더욱 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

NA-NMA의 OD 및 SSD 상태의 시편이 900 °C에 노출되는 경우, 강도가 각각 16.18 MPa 및 14.00 MPa로 고온 노출을 진행하지 않은 시편에 비해 각각 64.3 % 및 69.1 % 감소하는 것으로 나타났다. RFA-NMA의 경우 OD 및 SSD 상태의 시편은 2.49 MPa 및 1.6 MPa로 고온 노출을 진행하지 않은 시편에 비해 91.6 % 및 94.6 % 감소하였으며, RFA-TSMA의 경우 4.00 MPa 및 2.88 MPa로 91.6 % 및 93.9 %로 고온 노출을 진행하지 않은 시편에 비해 감소하는 것으로 나타났다. 600 °C의 경우와 마찬가지로, 잔존압축강도의 경우 RFA-TSMA는 RFA-NMA에 비해 평균적으로 41 % 정도 상승한 잔존강도를 보여, 고온 노출 후 역학적 성능을 유지하는 측면에서는 2단계 배합이 더욱 유리함을 확인할 수 있었다. 900 °C 노출 후 강도감소율은 RFA-NMA 및 RFA-TSMA간의 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 물시멘트비 0.25인 순환 잔골재 혼입 모르타르에 일반배합(NMA) 및 2단계 배합방법(TSMA)을 적용한 후, 압축강도 및 모르타르 시험체 내부의 수분 포화도에 따른 내화성능 변화를 확인하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 2단계 배합방법을 활용한 순환잔골재 모르타르는 일반배합을 활용한 순환잔골재 모르타르보다 약 40 % 높은 28일 재령 압축강도를 보였으며, 세척사 모르타르의 압축강도와 큰 차이를 보이지 않아, 순환잔골재를 활용하는 경우 2단계 배합방법이 강도 증진에 큰 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다.

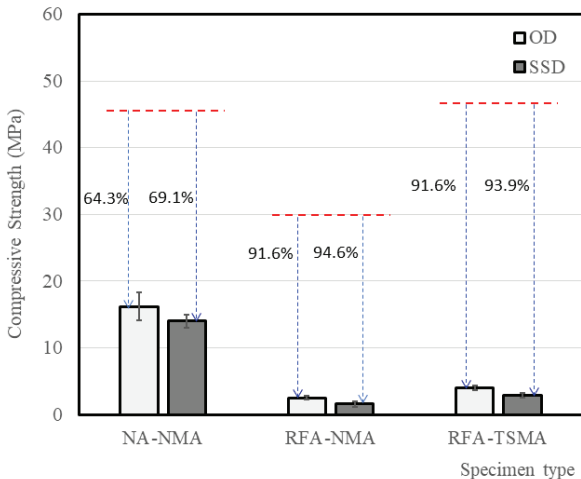


Fig. 4. The compressive strengths of w/c 0.25 cement mortar specimens with recycled fine aggregate after exposure to 900 °C furnace. Note that the red dotted lines indicate the 28 day compressive strengths of mortar specimens before exposure to 600 °C, which are 45.3 MPa for NA-NMA, 29.8 MPa for RFA-NMA, and 47.5 MPa for RFA-TSMA, respectively

2. 600 °C 및 900 °C에 노출된 경우, 2단계 배합방법으로 제조한 순환잔골재 모르타르의 잔존 압축강도는 일반 배합방법으로 제조한 순환잔골재 모르타르의 잔존압축강도에 비해 평균적으로 20 % 이상 높은 값을 보여, 2단계 배합이 순환잔골재 모르타르의 물성 향상에 기여하는 것으로 나타났다.
3. 600 °C에 노출된 경우, 2단계 배합방법으로 제조한 순환잔골재 모르타르의 강도 감소율은 일반 배합방법으로 제조한 순환잔골재의 강도감소율보다 크게 나타났으나, 900 °C에 노출된 경우에는 큰 차이를 보이지 않았다.
4. 시멘트 복합체의 내부의 수분 포화상태에 따른 압축강도 변화는 600 °C에서는 명확하게 관찰되지 않았으나 900 °C에서는 OD 상태가 SSD상태에 비해 강도 감소폭이 적은 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2021년도 국립대학육성사업 지원비에 의하여 연구되었다. 실험의 준비 및 실험과정에서 손정진, 김성우, 최유진 학생의 도움에 감사드린다.

Conflicts of interest

None.

References

- Ahn, B.H. (2018). Performance and Field Application of Rural and Fishing Village Road Concrete Pavement using Air Cooled Blast Furnace Slag Aggregates, Ph.D Thesis, Gongju University, 145 [in Korean].
- 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.
- Ju, M., Park, K., Park, W.J. (2019). Mechanical behavior of recycled fine aggregate concrete with high slump property in normal-and high-strength, International Journal of Concrete Structures and Materials, **13(1)**, 1–13.
- 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 [in Korean].
- Kim, J.H., Sung, J.H., Kim, C.G., Lee, S.H., Kim, H.S. (2018). An experimental study on the improvement of quality of mixed aggregate using recycled aggregate, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **6(4)**, 229–235 [in Korean].
- Kim, N.H., Yang, S.C. (2012). Evaluation of impurity content criteria of recycled aggregate for lean concrete base, International Journal of Highway Engineering, **14(3)**, 69–76 [in Korean].
- Kim, Y.J., Kim, G.W., Chung, C.W. (2020). Contribution of two-stage mixing approach on compressive strength of mortar made of recycled fine aggregate, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **8(4)**, 490–497 [in Korean].
- Korea Institute of Construction Technology (2002). Policy and Technology Development for Promotion of Recycling of Construction Waste, Korea Institute of Construction Technology [in Korean].
- Park, J.H. (2008). Study on the Practical Recycling Strategy of Construction Wastes, Master's Thesis, Chungang University [in Korean].
- Seo, C.H., Kim, B.Y. (2005). An experimental study on the durability of recycled aggregate concrete, Journal of the Korea concrete Institute, **17(3)**, 385–392 [in Korean].
- Shin, J.H., Kim, H.S., Chung, L., Ha, J.S. (2016). Pore structure and physical properties of heterogeneous bonding materials of recycled aggregate according to carbonation reforming, Journal of the Korea Concrete Institute, **28(3)**, 341–348 [in Korean].
- Tam, V.W., Gao, X.F., Tam, C.M. (2005). Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach, Cement and Concrete Research, **35(6)**, 1195–1203.
- Tam, V.Y., Gao, X.F., Tam, C.M. (2006). Comparing performance of modified two-stage mixing approach for producing recycled aggregate concrete, Magazine of Concrete Research, **58(7)**, 477–484.
- Tam, V.W., Tam, C.M. (2007). Assessment of durability of recycled aggregate concrete produced by two-stage mixing approach, Journal of Materials Science, **42(10)**, 3592–3602.
- Tam, V.W., Tam, C.M., Wang, Y. (2007). Optimization on proportion for recycled aggregate in concrete using two-stage mixing approach, Construction and Building Materials, **21(10)**, 1928–1939.

2단계 배합을 사용한 순환잔골재 혼입 고성능 시멘트 모르타르의 내화성능 연구

본 연구는 천연골재 부족사태에 대응하기 위한 방법으로, 콘크리트 구조물에 구조용 골재로서 순환골재의 재활용 가능성을 확인하기 위하여 진행되었다. Tam et al.에 의해 개발된 2단계 배합은 별도의 설비 등의 추가 없이 순환골재 혼입 시멘트 복합체의 역학적 성능을 향상시킬 수 있는 방법으로 알려져 있는데, 본 연구에서는 선행연구에서 확인한 개선된 형태의 2단계 배합방법을 활용하여 순환잔골재 혼입 모르타르 시험체를 제작하고, 이를 통해 배합방법의 차이가 순환잔골재 혼입 고강도 모르타르의 압축강도 및 내화성능에 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 실험결과에 따르면 순환잔골재 사용시 일반배합 보다 2단계 배합방법을 활용하는 것이 순환잔골재 혼입 모르타르의 강도발현에 더욱 효과적인 것으로 나타났으며, 600 °C 및 900 °C의 고온에 노출시켜 역학적 성능의 변화를 확인한 결과 2단계 배합을 활용하는 경우 모르타르의 잔존강도가 일반배합을 활용한 모르타르의 잔존강도보다 높게 나타나는 결과를 보였다. 이는 2단계 배합의 적극적 활용을 통해서, 순환잔골재로 고성능 시멘트 복합체의 제조가 가능함을 의미한다.