

회수수를 사용한 경량골재 모르타르의 강도, 건조수축 및 중성화 특성에 관한 연구

A Study on the Strength, Drying Shrinkage and Carbonation Properties of Lightweight Aggregate Mortar with Recycling Water

오 태 규¹

김 지 환¹

배 성 호¹

최 세 진^{2*}

Oh, Tae-Gue¹

Kim, Ji-Hwan¹

Bae, Sung-Ho¹

Choi, Se-Jin^{2*}

Graduate student, Department of Architectural Engineering, Wonkwang University, Iksan-Si, Iksan, 54538, Korea ¹
Professor, Department of Architectural Engineering, Wonkwang University, Iksan-Si, Iksan, 54538, Korea ^{2*}

Abstract

This study is to compare and analyze the strength, drying shrinkage and carbonation properties of lightweight aggregate mortar using recycling water as prewetting water and mixing water. The flow, compressive strength, split tensile strength, drying shrinkage and carbonation depth of lightweight aggregate mortar with recycling water were measured. As test results, the mortar flow was similar in all mixes regardless of the recycling water content. The compressive strength of the RW5 mix with 5% recycling water as prewetting water and mixing water was the highest value, about 53.9 MPa after 28 days. In addition, the tensile strength of lightweight mortar was about 3.4 to 3.8 MPa, indicating 7 to 9% of the compressive strength value regardless of recycling water content. In the case of drying shrinkage, the RW2.5 mix using 2.5% recycling water showed the lowest shrinkage rate as about 0.107% at 56 days. The drying shrinkage of the plain mix without recycling water was relatively higher than the RW2.5 and RW5 mix. The RW5 mix showed lowest carbonation depth compared to other mixes. In this study, the RW5 lightweight aggregate mortar with 5% recycling water exhibits excellent compressive strength and carbonation resistance. Therefore, it is considered that if the recycling water, a by-product of the concrete industry, is properly used as prewetting water and mixing water of lightweight mortar and concrete, it will be possible to increase the recycling rate of the by-product and contribute to improve the property of lightweight aggregate mortar and concrete.

Keywords : recycling water, lightweight aggregate, mortar, compressive strength, drying shrinkage, carbonation depth

1. 서 론

최근 전세계적으로 환경보존에 대한 중요성이 크게 부각되고 있으며 건설산업분야에 있어서도 환경오염 방지를 위한 노력과 건설산업 부산물의 활용증대를 위한 연구개발이 활발히 진행되고 있다[1-6]. 회수수는 레미콘산업에서 다량

으로 배출되는 대표적인 건설산업 부산물 중 하나로서 크게 상징수와 슬러지수로 구분할 수 있으며 국내의 경우 매년 약 2천만톤 가량의 회수수가 발생되고 있다. Figure 1은 회수수의 모식도를 나타낸 것으로 KS F 4009에는 회수수 관련 용어로서 회수수, 슬러지수, 상징수, 슬러지, 슬러지 고형분, 슬러지 고형분을 등으로 구분하고 있다[5]. 이러한 회수수는 레미콘 공장내의 재활용설비 등을 이용해 상당부분 재활용되고 있으나 일부업체의 경우 자연상태로 무단 방류하거나 불법적으로 처리하고 있는 실정으로 회수수를 안정적으로 재활용하기 위한 연구가 학계 및 산업계를 중심으로 활발히 이루어지고 있다[3,6-8]. Lee[3]는 회수수를 사용한 알칼리 활성 슬래그 시멘트의 특성을 검토하였으며, 연구결과 시멘

Received : March 31, 2020

Revision received : June 21, 2020

Accepted : October 15, 2020

* Corresponding author : Choi, Se-Jin

[Tel: 82-63-850-6789, E-mail: csj2378@wku.ac.kr]

©2020 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved

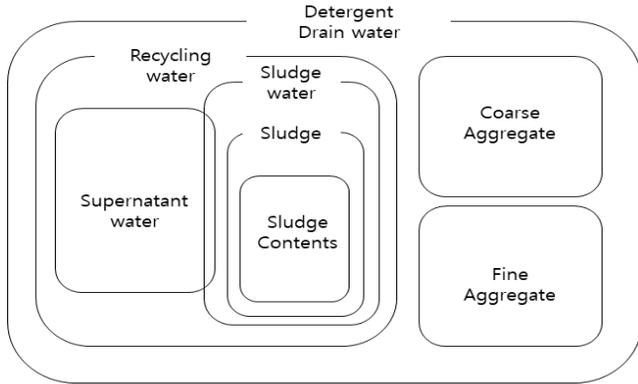


Figure 1. Recycling water diagram

트립자의 수화반응에 의해 회수수내에 포함되어 있는 산화칼슘을 이용해 슬래지의 알칼리 자극제로서 회수수를 사용시 강도향상 효과가 있는 것으로 보고하였다. 또한 Kim et al.[7]은 레미콘 배합수로 회수수의 적용성을 검토하였으며, 검토결과 전기 및 자기장 처리한 레미콘 슬러지수를 5% 까지 혼입할 경우 압축강도 및 시공성 향상측면에서 효과가 있는 것으로 보고하였다.

한편, 최근 건축구조물의 초고층화 및 장대화 추세에 따라 구조물의 자중을 경감시킬 수 있는 경량골재 콘크리트에 대한 관심이 높아지고 있으며, 경량골재 콘크리트에 주로 사용되는 인공경량골재의 경우 골재 자체의 다공질 특성으로 인해 흡수율이 높게 되고 경량콘크리트의 원활한 배합 및 시공을 위해 일반적으로 경량골재에 대하여 사전에 미리 물을 흡수시키는 프리웨팅(pre-wetting) 과정을 거치게 된다[4]. 회수수를 이용해 이러한 인공경량골재의 프리웨팅수로 활용하기 위한 연구가 일부 보고되고 있으나[10] 현재까지 미미한 수준으로 인공경량골재의 프리웨팅수로 산업부산물인 회수수가 활용될 경우 회수수의 재활용율을 높이고 경량콘크리트의 활성화에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 레미콘산업 부산물인 회수수의 안정적인 재활용과 경량골재 콘크리트의 활성화를 위한 연구의 일환으로 인공경량골재의 프리웨팅수 및 배합수로 회수수를 사용한 경량골재 모르타르의 유동성, 압축강도, 쪼갬인장강도, 건조수축 및 중성화특성 등을 비교·분석하였다.



Figure 2. Shape and SEM image of lightweight aggregate

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 A사 보통포틀랜드 시멘트(OPC)가 사용되었으며 인공경량골재는 석탄회, 준설토 등을 약 1.100~1.200°C로 소성하여 제조한 국내 N사 제품을 사용하였다. Figure 2는 본 연구에 사용된 인공경량골재의 성상 및 SEM 이미지를 나타낸 것으로 둥근입형과 함께 골재 내부에 다량의 공극이 함유되어 있는 것을 알 수 있다. Table 1은 본 연구에 사용된 슬러지의 조성을 나타낸 것으로 본 실험에 사용된 회수수는 기존 문헌[7]을 참고하여 시멘트와 미립분(<0.15mm)을 4:1로 혼합하여 제조한 모르타르를 1시간 동안 방치 후 각각의 슬러지 농도로 회수수를 제조한 후 각 배합의 프리웨팅수 및 배합수로 사용하였다. Table 2~4는 시멘트의 화학조성과 골재의 물리적 특성 및 체가를 시험결과를 나타낸 것이다.

Table 1. Sludge composition

Mix.	W/C (%)	W (g)	C (g)	S (<0.15mm) (g)
Sludge	50	200	400	100

Table 2. Chemical composition of cement

Components	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O
Cement	17.43	6.50	3.57	64.40	2.55	1.17

Table 3. Physical properties of lightweight aggregate

FM	Surface dry density (g/cm ³)	Oven dry density (g/cm ³)	Water absorption ratio (%)	Unit weight (kg/L)
4.61	1.77	1.63	8.71	1,010

Table 4. Sieve analysis of lightweight aggregate

Sieve size (mm)	Passing ratio (%)						
	10~20	10~5	2.5~5	1.2~2.5	0.6~1.2	0.3~0.6	0.15~0.3
Standard	100	95~100	80~100	50~85	25~60	10~30	2~10
lightweight aggregate	100	99.75	38.5	1.25	0.25	0	0

Table 5. Mix proportions and test items

Mix	Sludge (%)	W/C (%)	W (Kg/m ³)	C (kg/m ³)	Test items
Plain	0				1. Mortar flow (mm) 2. Compressive strength (MPa) - 7, 14, 28days 3. Split tensile strength (MPa) - 28days 4. Drying shrinkage 5. Carbonation depth (mm) - 28days
RW2.5	2.5				
RW5	5.0	45	144	320	
RW7.5	7.5				
RW10	10				

2.2 실험방법

Table 5는 실험배합 및 계획을 나타낸 것으로 본 연구에서는 각 배합의 프리웨팅수 및 배합수로 회수수 농도를 0(Plain), 2.5, 5.0, 7.5 및 10%로 설정하여 회수수 농도에 따른 경량골재 모르타르의 각종 특성을 비교·분석하였다. 물 시멘트비(W/C)는 45%로 고정하였으며, 인공경량골재의 프리웨팅 시간은 선행연구[10]를 준용하여 24시간으로 설정하였다. 또한 각 배합은 콘크리트 배합을 기준으로 모르타르 실험을 위해 콘크리트 배합에서 굵은골재를 제외한 모르타르 배합에 대하여 실험을 진행하였으며 양생의 경우 소요 재령까지 20℃ 수중양생을 실시하였다.

2.3 측정항목

골재의 흡수율 및 조립율은 KS F 2529[11] 및 2502[12] 규정에 준하여 측정하였으며, 모르타르 플로우, 압축강도 및 인장강도는 KS L 5105[13] 및 KS F 2423[14] 시험방법에 준하여 측정하였다. 강도시험 값은 시험체 3개의 평균값으로 산정하였다. 건조수축의 경우 KS F 2424[15] “모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법”에 준하여 Figure 3과 같은 컨택트 게이지를 사용하여 측정하였으며 중성화 시험은 KS F 2584[16] “콘크리트의 촉진 탄산화 시험방법”에 따라 CO₂ 농도 5% 환경 하에서 촉진 중성화시험 챔버를 사용하여 소요 재령까지 촉진 중성화 시킨 후 페놀프탈레인 용액을 이용하여 중성화 깊이를 측정하였다. Table 6은 모르타르 측정 항목 및 관련규준을 나타낸 것이다.

Table 6. Measurement items

Mixture	items	Standard
Mortar	Flow	KS L 5105
	Compressive strength	KS L 5105
Mortar	Split tensile strength	KS F 2423
	Drying Shrinkage	KS F 2424
	Carbonation test	KS F 2584

3. 실험결과

3.1 모르타르 플로우

Figure 3은 회수수 농도에 따른 경량골재 모르타르의 플로우 변화를 나타낸 것으로 그림에서 볼 수 있듯이 회수수 농도에 관계없이 모든 배합에서 대체적으로 유사한 플로우 값을 나타내고 있다. 회수수를 혼입하지 않는 Plain 배합의 경우 모르타르 플로우 값이 약 205mm 수준으로 나타났으며 회수수를 사용한 배합의 모르타르 플로우 값은 약 197~205mm 수준으로 나타나 본 연구수준의 경우 회수수를 인공경량골재의 프리웨팅수 및 배합수로 사용해도 모르타르의 유동성에는 별다른 영향은 주지 않는 것으로 나타났다.

3.2 압축강도

회수수 농도에 따른 경량골재 모르타르의 압축강도 변화

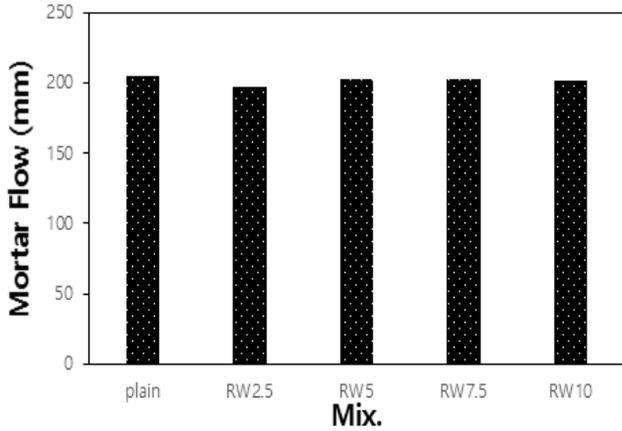


Figure 3. Mortar flow

를 나타낸 Figure 4에서 볼 수 있는 바와 같이 재령 7일의 경우 프리웨팅수 및 배합수내의 회수수 농도 5%인 RW5 배합에서 약 45.2MPa의 가장 높은 압축강도를 발현하였으며 회수수 농도 10%인 RW10 배합의 경우 약 35.6MPa로 상대적으로 가장 낮은 압축강도를 발현하였다. 재령 14일의 경우에도 재령 7일과 마찬가지로 RW5 배합에서 약 47.6MPa로 가장 높은 압축강도를 발현하였으며 RW7.5 배합의 경우에도 약 45.5MPa로 상대적으로 높은 수준의 압축강도를 발현하였다. 재령 28일의 경우 회수수를 혼입하지 않은 Plain 배합에서 약 46.5MPa의 압축강도를 발현하고 있는데 이는 RW5 배합(53.9MPa)에 비해 약 24% 낮은 수준이며, RW10 배합은 약 41.3MPa로 상대적으로 가장 낮은 압축강도를 발현하였다. 본 연구수준의 경우, 프리웨팅수 및 배합수내의 회수수 농도 5%인 RW5 배합의 압축강도가 약 45.2~53.9MPa 수준으로 모든 재령에서 가장 높은 압축강

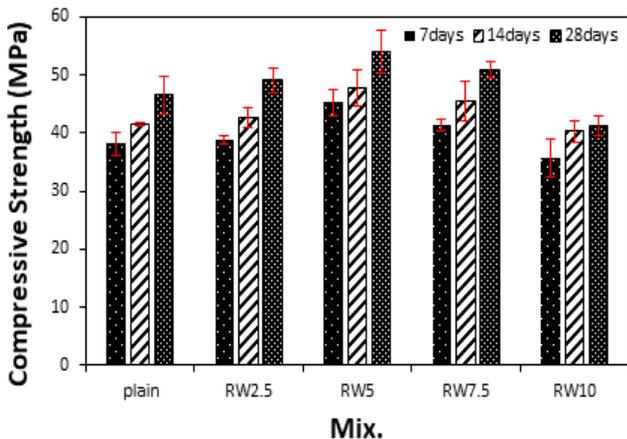


Figure 4. Compressive strength

도를 발현하였으며 RW7.5 배합의 경우에도 약 41.3~50.8MPa 수준의 양호한 압축강도를 발현하고 있다. 그러나, 프리웨팅수 및 배합수내의 회수수 농도 10%인 RW10 배합은 모든 재령에서 가장 낮은 압축강도를 발현하고 있는데, 이는 회수수를 적절히 사용할 경우 압축강도가 향상되는 측면이 있으나 슬러지 고형분율이 큰 회수수의 사용량이 많을 경우 재령의 경과에 따라 풍화된 시멘트 미립분량이 증가함에 따라 강도증진을 저해하는 요소로 작용하여 강도발현이 저하 한다는 기존 연구결과[17]와 유사한 경향으로서 따라서 콘크리트산업 부산물인 회수수를 인공경량골재의 프리웨팅수 및 배합수로 적절히 (본 연구 수준의 경우 5% 농도) 혼입할 경우 회수수의 재활용율을 높이고 경량골재 모르타르 및 콘크리트의 압축강도 향상에도 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

3.3 인장강도

Figure 5는 회수수 농도에 따른 경량골재 모르타르의 인장강도 변화를 나타낸 것으로 시험체별로 다소 차이는 있으나 대체적으로 유사한 값을 보이고 있다. 회수수를 사용하지 않은 Plain 배합의 경우 28일 인장강도 값이 약 3.3MPa를 발현하였으며 회수수를 사용한 경우 회수수 농도에 관계없이 인장강도값이 약 3.4~3.8MPa를 발현하여 압축강도값의 7~9% 수준으로 나타났다. 압축강도의 경우 회수수농도에 따른 압축강도 발현수준이 배합별로 다소 상이하게 나타났으나, 인장강도 변화는 배합별로 크지 않은 것으로 나타났는데, 이는 콘크리트의 인장강도값이 압축강도에 비해 크지 않은 측면과, 인장강도의 경우 시멘트페이스트의 강도에 좌우되고 또한 상대적으로 강도가 약한 인공경량골재가 시멘트

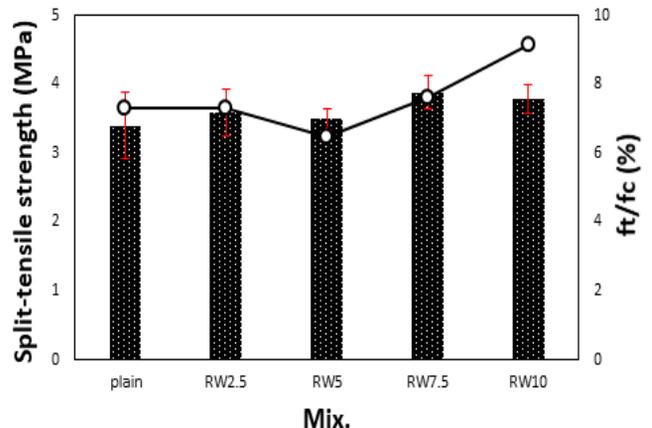


Figure 5. Split-tensile strength

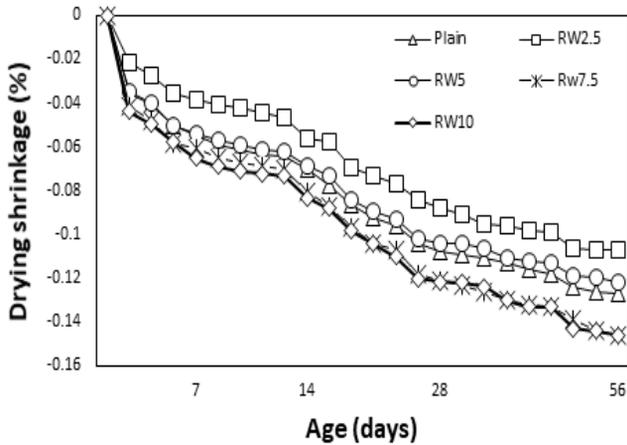


Figure 6. Drying shrinkage

페이스트와 함께 파괴되는 현상 등[18]으로 압축강도 발현성상과 차이를 보인 것으로 판단된다.

3.4 건조수축

회수수 농도에 따른 경량골재 모르타르의 건조수축변화를 나타낸 Figure 6에서 볼 수 있는 바와 같이 RW2.5 배합에서 가장 낮은 수축률을 보이고 있으며 RW5 배합의 경우에도 Plain 배합에 비해 낮은 수축률을 나타내고 있다. Plain 배합의 건조수축량은 재령 56일에 약 0.13%로 RW2.5, RW5 배합에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 그러나, 프리웨팅수 및 배합수내의 회수수 농도가 7.5% 이상인 RW7.5, RW10 배합의 경우 재령 56일의 건조수축량이 약 0.15%로 다른 배합에 비해 높은 수축률을 나타내고 있는데, 이는 회수수 농도에 따라 회수수내의 고형분과 미립분의 공극충전효과로 인한 수축저감측면[19,20]과 고형분의 과다로 인한 수축량 증가측면[3]이 복합적으로 작용한 결과로 사료되며 본 연구 수준의 경우 회수수 농도가 7.5% 이상이 될 때 수축량이 증가하는 경향이 큰 것으로 나타났다. 따라서 경량골재 모르타르 및 콘크리트의 건조수축을 고려할 경우에도 회수수 농도는 5%이하가 적절할 것으로 사료된다.

3.5 중성화

Figure 7은 회수수 농도에 따른 경량골재 모르타르의 축진 중성화 깊이를 나타낸 것으로 회수수를 혼입하지 않은 Plain 배합에서 약 2.06mm 수준의 축진 중성화 깊이를 나타내었으며 RW5 배합에서 약 1.75mm로 다른 배합에 비해 낮은 축진 중성화 깊이를 나타내었다. 회수수 농도에 따른 압축강도 변화를 나타낸 Figure 4의 압축강도 발현 경향과

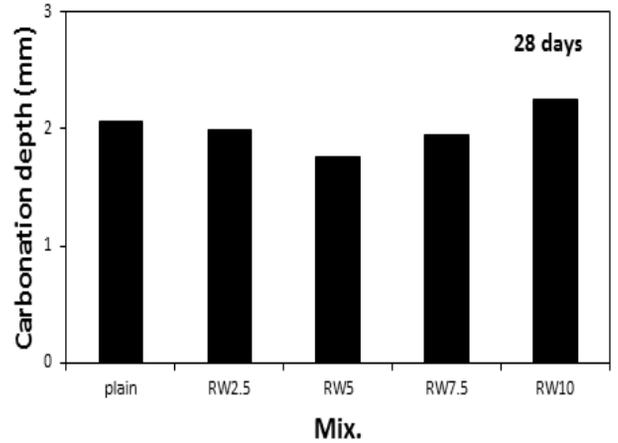


Figure 7. Carbonation depth

는 상반되게 회수수 농도 0%(Plain)에서 회수수 농도 5%(RW5) 까지는 중성화깊이가 감소하다가 이후 회수수 농도가 증가할수록 중성화깊이가 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 압축강도가 높은 시험체의 내부 조직이 압축강도가 낮은 시험체에 비해 상대적으로 치밀하기 때문에 탄산가스의 침투깊이가 낮게 나타나는 일반적인 경향으로, 본 연구대상인 회수수 적용 경량골재 모르타르의 경우 회수수 농도 5% 수준에서 우수한 압축강도특성과 중성화 저항성을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구는 콘크리트산업 부산물인 회수수의 안정적인 재활용과 경량골재 콘크리트의 활성화를 위한 연구의 일환으로 회수수를 인공경량골재의 프리웨팅수 및 배합수로 적용한 경량골재 모르타르의 특성을 비교·분석한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 모르타르 플로우의 경우 회수수 농도에 관계없이 모든 배합에서 대체적으로 유사하게 나타났으며 압축강도의 경우 프리웨팅수 및 배합수내의 회수수 농도 5%인 RW5 배합이 모든 재령에서 가장 높은 압축강도를 발현하였다.
- 2) 인장강도의 경우 회수수 농도에 관계없이 재령 28일에 약 3.4~3.8MPa 수준을 발현함으로써 압축강도 값의 약 7~9%로 나타났다.
- 3) 회수수를 사용한 경량골재 모르타르의 건조수축변화는 RW2.5 배합에서 가장 낮은 수축률을 나타내었으며 RW5 배합의 경우에도 Plain 배합에 비해 낮은

수축률을 나타냄으로서 경량골재 모르타르 및 콘크리트의 건조수축을 고려할 때 회수수 농도는 5%이하가 적절할 것으로 판단된다.

- 4) 경량골재 모르타르의 축진 중성화 시험 결과 RW5 배합에서 약 1.75mm로 다른 배합에 비해 낮은 축진 중성화 깊이를 나타내었다.
- 5) 본 연구결과, 콘크리트산업 부산물인 회수수를 인공경량골재의 프리웨팅수 및 배합수로 적절히(본 연구 수준의 경우 5% 농도) 혼입할 경우 회수수의 재활용율을 높이고 경량골재 모르타르 및 콘크리트의 성능 향상에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 콘크리트산업 부산물인 회수수의 안정적인 재활용과 경량골재 콘크리트의 활성화를 위한 연구의 일환으로 회수수를 인공경량골재의 프리웨팅수 및 배합수로 적용한 경량골재 모르타르의 특성을 비교 분석하였다. 연구결과 프리웨팅수 및 배합수내의 회수수 농도 5%인 RW5 배합의 압축강도가 약 45.2~53.9MPa 수준으로 모든 재령에서 가장 높은 압축강도를 발현하였다. 인장강도의 경우 회수수 농도에 관계없이 재령 28일에 약 3.4~3.8MPa를 발현하여 압축강도 값의 7~9% 수준으로 나타났으며, 건조수축의 경우 RW2.5배합에서 재령 56일에 약 0.107%로서 가장 낮은 수축률을 나타내었다. 또한 축진중성화 시험 결과 RW5 배합에서 약 1.75mm로 다른 배합에 비해 낮은 축진 중성화 깊이를 나타내어 본 연구 대상인 경량골재 모르타르의 경우 회수수 농도 5% 수준에서 우수한 압축강도특성과 중성화 저항성을 나타내었다.

키워드 : 회수수, 경량골재, 모르타르, 압축강도, 건조수축, 중성화 깊이

Funding

Not applicable

Acknowledgement

This paper was supported by Wonkwang University in 2019.

ORCID

Tae-Gue Oh, <https://orcid.org/0000-0003-4915-4273>
 Ji-Hwan Kim, <https://orcid.org/0000-0002-9440-6831>
 Sung-Ho Bae, <https://orcid.org/0000-0002-7258-0791s>
 Se-Jin Choi, <http://orcid.org/0000-0002-2142-3745>

References

1. Kim YC. A study on properties of blast-furnace slag many substitutions concrete in accordance with the amount of recycling water [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Konkuk University; 2015. 54 p.
2. Sin JK. Development of artificial lightweight aggregates using industrial by-products and its application to lightweight aggregates concrete [master's thesis]. [Cheongju (Korea)]: Cheongju University. 2013. 228 p.
3. Lee HJ. An experimental study on the alkali-activated slag cement using recycling water of ready mixed concrete [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University. 2011. 56 p.
4. Choi SJ, Kim DB, Lee KS, Kim YU. The study on the physical and strength properties of lightweight concrete by replacement ratio of artificial lightweight aggregate. Journal of The Korea Institute of Building Construction. 2019 Aug;19(4):313-22. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2019.19.4.313>
5. KS 4009 Ready-Mixed Concrete. Korea Industrial Standards, Seoul (Korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2016. 18 p.
6. Kwon KS, Ryu DW. Evaluation of strength properties of mortar by main material as sludge solids of ready mixed concrete recycling water. Proceedings of the Architectural Institute of Korea. 2013 Apr 27; Incheon, Korea. Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2013. p. 475-6.
7. Kim GH, Kim KJ, Lee MH, Lee SH, Han CG. Properties of cement mortar with solid content and leaving time of recycling water using stabilizing agent. Proceedings of the Architectural Institute of Korea. 2013 Oct 25; Cheonan, Korea. Seoul (Korea): Architectural Institute of Korea; 2013. p. 355-8.
8. Kim KL. A study on optimal applicability of ready mixed-concrete sludge water as batching water [master's thesis]. [Gangneung (Korea)]: Gangneung-Wonju National University. 2007. 95 p.
9. Kang SG. Effect of shell structure of artificial lightweight aggregates on the emission rate of absorbed water. Journal of The Korean Ceramic Society. 2008 Nov;45(11):750-4. <https://doi.org/10.4191/KCERS.2008.45.1.750>
10. Lee KS, Oh TG, Jeong SB, Kim JH, Kim YU, Choi SJ. The strength

-
- properties of artificial lightweight aggregate mortar and pre-wetting with recycling water. proceedings of Korea Concrete Institute. 2019 May 8-10; Jeju, Korea. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2019. p. 407-8.
11. KS F 2529. Standard test method for density and water absorption of lightweight fine aggregates for structural concrete. Korea Industrial Standards, Seoul (Korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2017. 7 p.
 12. KS F 2502. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. Korea Industrial Standards, Seoul(Korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2014. 4 p.
 13. KS L 5105. Testing method for compressive strength of hydraulic cement mortars. Korea Industrial Standards, Seoul (Korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2007. 5 p.
 14. KS F 2423. Standards test method for tensile splitting strength of concrete. Korea Industrial Standards. Seoul (Korea): Korean Standards & F 2423. Standards & Certification Information Center; 2016. 12 p.
 15. KS F 2424. Standard test method for length change of mortar and concrete. Korea Industrial Standards, Seoul (Korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2015.
 16. KS F 2584. Standard test method for accelerated carbonation of concrete. Korea Industrial Standards, Seoul (Korea): Korean Standards & Certification Information Center; 2015.
 17. Park. YS, Park. JM, Lee. SH, Lee, MH. An experimental study on the properties of concrete using stabilizing agent treated recycling water. *Journal of Architectural Institute Of Korea*. 2004 Apr;24(1):279-82.
 18. Lim BR. A study on the strength of lightweight concrete with artificial aggregate [master's thesis]. [Suwon (Korea)]: Kyonggi University. 2002. 51 p.
 19. Moon HY, Shin HC. Utilization of ready mixed concrete sludge for improving the strength of concrete with GGBF slag. *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*. 2002 Mar;22(2A): 315-26.
 20. Han CG. Control of Quality and Equipment of Re-Mi-Con using Recycling Water. Seoul (Korea): Korea Concrete Institute; 2002. p. 40-8.