

회수수를 사용한 3성분계 경량 골재 모르타르의 공학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Engineering Characteristics of Ternary Lightweight aggregate Mortar Using Recycling Water

이재인¹ · 배성호¹ · 김지환¹ · 최세진^{2*}

Jae-In Lee¹ · Sung-Ho Bae¹ · Ji-Hwan Kim¹ · Se-Jin Choi^{2*}

(Received February 16, 2022 / Revised March 11, 2022 / Accepted March 14, 2022)

This study uses the recovered water as mixing water and artificial lightweight aggregate pre-wetting water as part of a study to increase the recycling rate and reduce greenhouse gas of the ready-mixed concrete recovered during the concrete transport process, and cement fine powder of blast furnace slag(BFS) and fly ash(FA). The engineering characteristics of the three-component lightweight aggregate mortar used as a substitute were reviewed. For this purpose, the flow, dry unit mass, compressive strength, drying shrinkage, neutralization depth, and chloride ion penetration resistance of the three-component lightweight aggregate mortar were measured. When used together with the formulation, when 15 % of BFS and 5 % of FA were used, it was found to be positive in improving the compressive strength and durability of the mortar.

키워드 : 회수수, 플로우, 압축강도, 건조수축, 중성화 깊이, 염화물이온 침투 저항성

Keywords : Recycling water, Flow, Compressive strength, Drying shrinkage, Carbonation depth, Chloride-ion penetration resistance

1. 서론

건설 산업에서 다방면하게 가장 많이 사용되는 콘크리트는 구조물의 고층화, 대형화 추세에 따라 고강도화, 경량화 등의 성능이 요구되고 있다(Han et al. 2005). 이러한 콘크리트의 경우 건설현장에서 주로 사용되며 이를 운반하는 과정에서 레미콘 운반장비가 많이 사용된다. 레미콘 운반장비는 타설 후에 반드시 세척해야 하는데 이때 산업부산물인 레미콘 회수수가 다량 발생하게 된다. 회수수 재활용 설비를 통하여 회수수 중 일부는 재활용 되고 있으나 일부 업체의 경우 기준치 이상의 회수수를 사용하거나 불법적으로 회수수를 하천에 방류함으로써 환경오염을 야기하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 회수수와 같은 레미콘 부산물의 재활용을 위한 연구가 다수 보고되고 있다(Xuan et al. 2016; Chatveera and Lertwattanaruk 2009; Choi et al. 2021; Zervaki et al. 2013;

Xuan et al. 2018; Kim and Lee 2021; Sandrolini and Franzoni 2001; Ghrair et al. 2020). Xuan et al.(2016)의 연구에서는 레미콘 공장에서 발생하는 슬러리 폐기물을 축진 중성화 처리 후 콘크리트에 적용할 경우 건조수축 저감에 효과가 있다고 보고하였다. Zervaki et al.(2013)의 연구에서는 레미콘 공장에서 발생한 슬러지 수 및 건조슬러지의 혼입에 따른 모르타르의 특성을 분석한 결과 슬러지수를 혼입할 경우 압축강도가 증진하였으며 건조슬러지의 경우 혼입률이 증가할수록 압축강도가 감소한다고 보고하였다. Sandrolini and Franzoni(2001)의 연구에서는 레미콘 세척수를 모르타르와 콘크리트에 혼입하여 적용성을 평가한 결과 레미콘 세척수의 혼입이 모르타르 및 콘크리트의 내구성 향상에 기여한다고 보고하였다.

한편 전 세계적으로 지구온난화에 대한 규제 및 방지를 위한 노력이 요구되고 있으며 그 중 시멘트 산업에서 발생하는 온실가스 배출량은 약 5~9 % 수준으로(Talaei et al. 2019; Shubbar et

* Corresponding author E-mail: csj2378@wku.ac.kr

¹원광대학교 건축공학과 석사과정 (Graduate student, Department of Architectural Engineering, Wonkwang University, Iksan-Si, 54538, Korea)

²원광대학교 건축공학과 교수 (Professor, Department of Architectural Engineering, Wonkwang University, Iksan-Si, 54538, Korea)

Table 1. Chemical composition of cementitious materials

Components	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Blaine (cm ² /g)	Density (g/cm ³)
Cement	17.43	6.50	3.57	64.40	2.55	1.17	3,430	3.15
Blast furnace slag powder	30.61	13.98	0.32	40.71	6.43	0.60	4,210	2.93
Fly ash	64.88	20.56	6.06	2.58	0.80	1.45	3,710	2.21

Table 2. Physical properties of aggregates

Type	FM	Surface dry density (g/cm ³)	Oven dry density (g/cm ³)	Water absorption ratio (%)	Unit weight (kg/m ³)
Natural sand (NS)	2.45	2.60	-	1.00	1,427
Lightweight sand (LS)	4.61	1.77	1.63	8.71	1,010

al. 2018) 다량의 온실가스를 배출하고 있다. 건설산업에서는 이러한 시멘트의 사용량을 줄이기 위해 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬 등의 시멘트 대체재를 널리 사용하고 있다. 특히 최근에는 이러한 시멘트 대체재를 혼합하여 사용한 3성분계 배합에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Shubbar et al. 2019; De Weerd et al. 2011; Chu and Kwan 2019; Lemonis et al. 2015; da Silva Andrade et al. 2018; Cho et al. 2020; Pliatsikas et al. 2019; Lauch and Dieryck 2016). Chu and Kwan(2019)의 연구에서는 모르타르에 메타카올린과 실리카 흙의 동시 첨가에 따른 영향을 분석한 결과 작업성 측면에서 메타카올린은 긍정적인 영향을 미치고 실리카흙은 부정적인 영향을 미치며 함께 혼입할 경우 실리카 흙의 부정적인 영향을 완화할 수 있다고 보고하였다. da Silva Andrade et al.(2018)의 연구에서는 메타카올린과 나노실리카를 혼입한 3성분계 시멘트 페이스트의 화학 및 기계적 특성을 검토한 결과 15 %의 메타카올린과 3 %의 나노실리카를 혼입한 배합에서 기준 페이스트에 비해 압축강도가 44 % 증가하였으며 평균 기공 직경이 66 % 감소하였다고 보고하였다. Cho et al.(2020)의 연구에서는 페로니켈슬래그 미분말과 광물질혼화재료를 사용한 3성분계 시멘트 경화체의 특성을 분석한 결과 페로니켈슬래그 미분말을 사용한 배합에서 알칼리활성화제 사용 유무에 관계없이 동결융해 저항성이 우수하게 나타났다고 보고하였다. Lauch and Dieryck (2016)의 연구에서는 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬, 석회석 충전재를 포함하는 3성분계 콘크리트의 내구성을 분석한 결과 높은 함량의 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 혼입할 경우 염화물침투저항성이 증대되며 석회석 충전재를 혼입할 경우 중성화 저항성이 감소한다고 보고하였다.

이렇듯 레미콘 산업부산물인 회수수 및 시멘트계 재료에 대한 연구는 다수 보고되고 있으나 인공경량골재에 회수수를 적용하고 3성분계 시멘트계 재료를 적용한 사례는 보고된 바가 없다.

본 연구는 회수수의 재활용률 증대 및 건설산업에서의 온실가스 저감을 위한 연구의 일환으로 회수수를 인공경량골재의 프리웨팅수 및 배합수로 사용하고 시멘트 대체재로 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬를 혼입한 3성분계 경량 골재 모르타르의 유동성, 기건 단위질량, 압축강도, 건조수축, 중성화 깊이, 염화물이온 침투저항 특성 등을 비교·분석하였다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 A사 보통포틀랜드 시멘트 (ordinary portland cement)를 사용하였다. 고로슬래그 미분말은 국내 D사에서 제조된 고로슬래그 미분말 3종을 사용하였으며 플라이애시의 경우 D화력발전소에서 제조된 플라이애시 2종을 사용하였다. 잔골재는 비중 2.60, 조립률 2.45의 N지역 산모래(Natural Sand)와 석탄회, 준설토 등을 소성시켜 제조한 국내 N사의 인공경량골재를 사용하였다. Table 1 및 Table 2는 본 연구에서 사용된 시멘트계 재료의 화학적 특성 및 골재의 물리적 특성을 나타내었으며 Fig. 1은 사용재료의 성상 및 SEM image를 나타낸 것이다. 또한 회수수의 경우 기존문헌(Kim et al. 2003)을 참고하여 시멘트와 잔골재 미립분(0.15 mm이하)의 비율을 4:1로 혼합한 모르타르를 이용해 제조하였다.

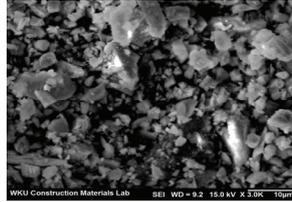
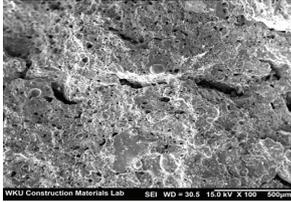
2.2 실험방법

Table 3 및 Table 4는 본 연구에 사용된 실험배합 및 슬러지의 구성을 나타낸 것이다. 배합의 경우 물결합재비를 45 %로 고정하고 선행 연구결과(Oh et al. 2020)를 참고하여 회수수 농도는 5 %로 고정하였으며 이를 배합수 및 인공경량골재의 프리웨팅수로 사용



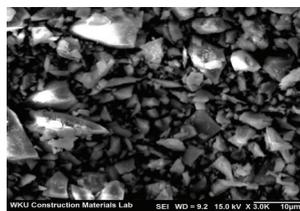
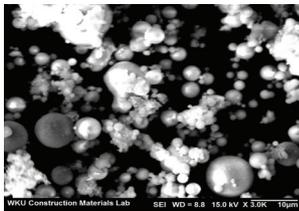
(a) Artificial Lightweight aggregate(G_{max} 5.0 mm)

(b) Natural Sand aggregate



(c) Artificial Lightweight aggregate SEM Image($\times 100$)

(d) Cement SEM Image($\times 3,000$)



(e) Fly-Ash SEM Image($\times 3,000$)

(f) Blast Furnace Slag Powder SEM Image($\times 3,000$)

Fig. 1. Aggregates and cementitious materials

하였다. 또한 고로슬래그 미분말과 플라이애시를 단위시멘트량에 대하여 20:0, 15:5, 10:10, 5:15, 0:20 비율로 대체하였다. 잔골재의 경우 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 표준입도분포와 경량성을 고려하여 인공경량골재를 천연잔골재 용적에 대하여 50 % 대체하였다. 압축강도의 경우 50 × 50 × 50 mm 큐빅형 시험체, 건조수축 및 중성화 시험의 경우 40 × 40 × 160 mm 각주형 시험체, 염화물

이온 침투저항성 시험의 경우 100 × 50 mm 원주형 시험체를 제작하였다. 각 배합은 콘크리트 배합을 기준으로 굵은 골재를 제외한 모르타르 배합으로 실험을 진행하였으며 공시체는 시험체 제작 24 시간 이후 탈형하여 소요의 재령까지 20 °C 수중양생을 실시하였다.

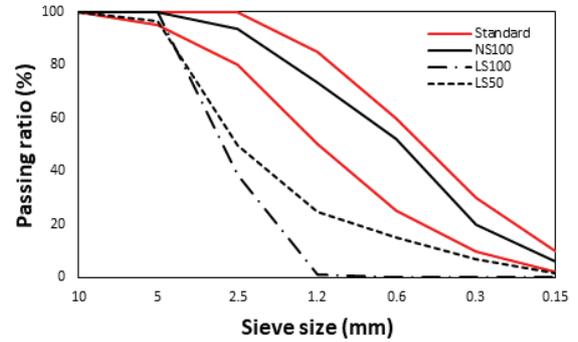


Fig. 2. Aggregate particle size distribution curve

2.3 측정방법

Table 5는 본 연구의 측정항목 및 규준을 나타낸 것이다. 표에서 볼 수 있듯이 모르타르 플로우, 압축강도 및 단위중량은 KS L 5105 및 KS F 2462 시험방법에 준하여 측정하였다. 건조수축의 경우 KS F 2424 “모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법”에 준하여 측정하였다. 중성화 시험은 KS F 2584 “콘크리트의 촉진탄산화 시험방법”에 따라 CO₂ 농도 5 % 환경 하에서 촉진 중성화 시험 챔버를 사용하여 소요재령까지 촉진 중성화 시킨 후 페놀프탈레인 용액을 이용하여 중성화 깊이를 측정하였다. 염화물 이온 침투 저항성 시험은 ASTM C1202 “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration(ASTM 2019)”에 준하여 측정하였다. 또한 혼합 직후 모르타르 샘플의 pH 농도를 pH meter(HANNA, 미국)를 사용하여

Table 3. Mix proportions

Mix.	Sludge ratio (%)	W/B (%)	BFS (B*%)	FA (B*%)	Unit weight (kg/m ³)				Test items
					W	C	BFS	FA	
Control	-	45	-	-	145	340	-	-	- Mortar flow (mm)
R5B00F00	5		-	-	145	340	-	-	- pH
R5B20F00	5		20	-	145	272	68	-	- Unit weight (kg/m ³)
R5B15F05	5		15	5	145	272	51	17	- Compressive strength (MPa)
R5B10F10	5		10	10	145	272	34	34	- Drying shrinkage (%)
R5B05F15	5		5	15	145	272	17	51	- Carbonation depth (mm)
R5B00F20	5		-	20	145	272	0	68	- Chloride-ion penetration resistance (coulombs)

Table 4. Sludge composition

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

Table 5. Test items and standard

Type	Standard	Age (days)
Mortar flow	KS L 5105	-
pH	-	-
Unit weight	KS F 2462	-
Compressive strength	KS L 5105	7,28,56
Drying shrinkage	KS F 2424	56
Carbonation depth	KS F 2584	28
Chloride-ion penetration resistance	ASTM C 1202	28

측정하였으며, 측정결과 회수수를 사용함에 따라 pH농도가 12.55에서 12.61로 다소 증가하였다.

3. 실험결과

3.1 모르타르 플로우

회수수를 사용한 3성분계 경량모르타르의 플로우 변화를 나타낸 Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 Control배합에서 약 122 mm로 가장 낮은 플로우값을 나타내었다. 인공경량골재와 회수수를 사용한 배합들의 플로우는 약 139~173 mm로 Control배합에 비해 상대적으로 높은 플로우를 나타내었다. 회수수를 사용하고 인공경량골재를 50 % 사용한 R5B00F00배합에서 약 173 mm의 플로우로 천연잔골재를 100 % 사용한 Control배합에 비해 약 29 % 높은 수준을 나타내었다. 회수수를 5 % 사용하고 고로슬래그 미분말을 20 % 대체한 R5B20F00 배합의 경우 약 139 mm의 플로우로 회수수와 인공경량골재를 사용한 배합중 가장 낮은 플로우를 나타내었다. 이는 혼화제 사용에 따른 점성 증가에 기인한 것으로 사료된다 (Lee et al, 2009). 또한 플라이애시 대체율이 증가함에 따라 모르타르 플로우값이 점차 증가하고있는데, 이는 Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 구형의 플라이애시 입자에 의한 볼베어링 효과에 기인한 것으로 사료된다. 고로슬래그 미분말 0 %, 플라이애시를 20 % 대체한 R5B00F20배합의 경우 플로우값이 약 164 mm로 나타나 3성분계 배합 중 가장 높은 플로우값을 나타내었다.

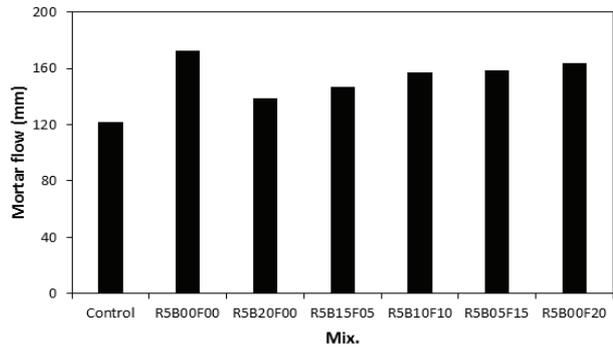


Fig. 3. Mortar flow

3.2 기건단위질량

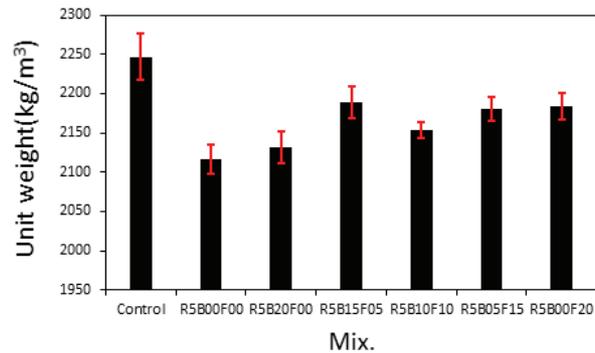


Fig. 4. Unit weight

회수수를 사용한 3성분계 경량모르타르의 기건단위질량 변화를 나타낸 Fig. 4에서 볼 수 있는 바와 같이 천연잔골재를 100 % 사용한 Control배합에서 약 2,246 kg/m³로 가장 높은 단위질량을 나타내었다. 인공경량골재를 천연잔골재에 대하여 50 % 대체한 배합의 경우 약 2,116~2,189 kg/m³로 Control배합에 비해 약 2~6 % 낮은 단위질량을 나타내었다. 혼화제를 혼입하지 않은 R5B00F00 배합의 단위질량은 약 2,116 kg/m³로서 Control배합에 비해 약 6 % 낮은 단위질량을 나타내었다. 고로슬래그 미분말만을 20 % 대체한 R5B20F00배합의 경우 단위질량이 약 2,127 kg/m³로 R5B00F00 배합과 유사한 결과를 나타내었다. 고로슬래그 미분말 15 %, 플라이애시를 5 % 대체한 R5B15F05배합의 단위질량은 약 2,189 kg/m³로서 3성분계 배합 중 가장 높게 나타났으나 큰 차이는 보이지 않고 있다. 또한 고로슬래그 미분말 5 %, 플라이애시를 15 % 대체한 R5B05F15배합 및 플라이애시만을 20 % 대체한 R5B00F20배합의 경우 단위질량이 각각 2,181 kg/m³ 및 2,184 kg/m³로서 동등한 수준을 나타내었다.

3.3 압축강도

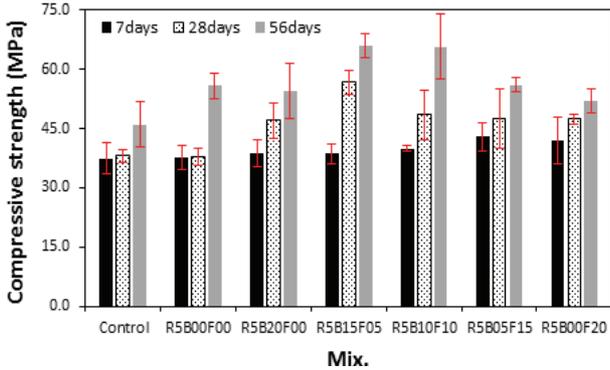


Fig. 5. Compressive strength

회수수를 사용한 3성분계 경량모르타르의 재령별 압축강도 변화를 나타낸 Fig. 5에서 볼 수 있는 바와 같이 재령 7일의 경우 Control배합에서 약 37.5 MPa로 가장 낮은 압축강도를 발현하였다. 회수수를 사용하고 혼화재를 혼입하지 않은 R5B00F00배합의 압축강도는 약 37.8 MPa로서 Control배합과 유사한 수준을 나타내었다. 3성분계 배합의 경우 고로슬래그 미분말 5%, 플라이애시를 15% 대체한 R5B05F15배합에서 약 43.0 MPa로 가장 높은 압축강도를 발현하였으며 Control배합과 비교할 시 약 14% 높은 수준을 나타내었다.

재령 28일의 경우 회수수를 사용하고 혼화재를 혼입하지 않은 R5B00F00배합에서 약 37.9 MPa의 압축강도로 Control배합(38.1MPa)과 유사한 수준을 나타내었다. 고로슬래그 미분말 15%, 플라이애시 5%를 대체한 R5B15F05배합이 약 56.0 MPa로 가장 높은 압축강도를 발현하였으며 Control배합에 비해 약 47% 높은 수준을 나타내었다. 이러한 압축강도 증진 현상은 회수수내 미립분의 충전효과 및 알칼리도의 증가에 의한 시멘트계 재료의 반응성이 높아진데 기인한 것(Su et al, 2002)으로 사료된다. 또한 3성분계 배합들의 압축강도는 약 47.5~56.8 MPa로 플라이애시의 대체율이 증가하고 고로슬래그 미분말의 대체율이 감소할수록 압축강도가 감소하는 경향을 나타내었다.

재령 56일의 경우 Control배합에서 약 46.0 MPa의 가장 낮은 압축강도를 발현하였으며, 회수수를 사용하고 혼화재를 혼입하지 않은 R5B00F00배합의 압축강도는 약 55.8 MPa로 Control배합에 비해 약 21% 높은 수준을 나타내었다. 고로슬래그 미분말만을 20% 대체한 R5B20F00 배합의 경우 플라이애시만을 20% 대체한 R5B00F20배합과 유사한 수준을 나타내었다. 또한 회수수를 사용하고 고로슬래그 미분말 15%, 플라이애시를 5% 대체한

R5B15F05배합의 압축강도는 약 66.1 MPa로서 전체 배합 중 가장 높은 압축강도를 발현하였다.

3.4 건조수축

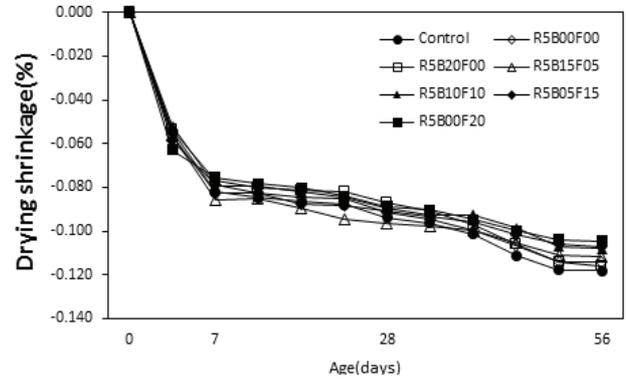


Fig. 6. Drying shrinkage

회수수를 사용한 3성분계 경량모르타르의 건조수축 변화를 나타낸 Fig. 6에서 볼 수 있는 바와 같이 Control배합의 경우 약 0.118%로 가장 높은 건조수축률을 나타내었다. 회수수를 사용하고 혼화재를 혼입하지 않은 R5B00F00배합의 경우 건조수축률이 약 0.114%로 Control배합에 비해 약 3% 낮은 건조수축률을 나타내었다. 회수수를 사용하고 고로슬래그 미분말만을 20% 대체한 R5B20F00배합의 경우 약 0.116%의 건조수축률로 회수수를 사용한 배합 중 가장 높은 건조수축률을 나타내었다. 회수수를 사용하고 플라이애시만을 20% 대체한 R5B00F20배합의 경우 약 0.105%로 모든 배합 중 가장 낮은 건조수축률을 나타내었다. 또한 고로슬래그 미분말의 대체율이 감소하고 플라이애시의 대체율이 증가할수록 건조수축률은 감소하는 경향을 보이고 있다.

3.5 중성화 깊이

회수수를 사용한 3성분계 경량모르타르의 중성화 깊이를 나타낸 Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 Control배합의 중성화 깊이는 약 1.21 mm로 가장 높은 수준을 나타내었다. 회수수를 사용하고 혼화재를 혼입하지 않은 R5B00F00배합의 경우 약 1.07 mm의 중성화깊이로 Control배합에 비해 약 11% 낮은 수준을 나타내었다.

또한 28일 압축강도가 가장 높게 나타난 R5B15F05배합의 중성화 깊이는 약 1.01 mm로 가장 낮은 수준을 보이고 있다. 회수수를 사용하고 플라이애시만을 20% 대체한 R5B00F20배합의 중성화 깊이는 1.09 mm로 회수수를 사용한 배합 중 가장 높은 중성화 깊

이를 나타내었다. 회수수를 사용하고 고로슬래그 미분말만을 20 % 대체한 R5B20F00배합의 경우 중성화 깊이가 약 1.07 mm로 Control배합에 비해 약 12 % 낮은 수준을 나타내었다.

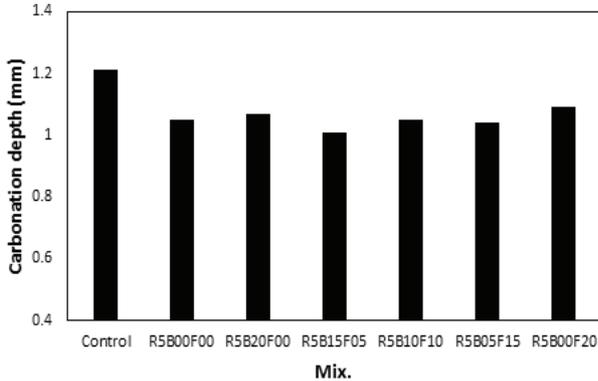


Fig. 7. Carbonation depth

3.6 염화물 이온 침투 저항성

회수수를 사용한 3성분계 경량모르타르의 염화물 이온 침투 저항성을 나타낸 Fig. 8에서 볼 수 있는 바와 같이 Control배합의 경우 약 24,624C의 가장 높은 통과전하량을 나타내었다. 회수수를 사용하고 혼화재를 혼입하지 않은 R5B00F00배합의 경우 통과전하량이 약 21,081 C으로 Control배합에 비해 약 14 % 낮은 수준을 나타내었다. 회수수를 사용하고 플라이애시만을 20 % 대체한 R5B00F20배합의 경우 약 9,633C으로 가장 낮은 통과전하량을 나타내었으며 Control배합에 비해 약 60 % 감소한 통과전하량을 나타내었다. 고로슬래그 미분말만을 20 %대체한 R5B20F00배합의 경우 약 11,534 C의 통과전하량을 나타내었다. 3성분계 배합의 경우 R5B05F15배합 및 R5B15F05배합에서 각각 11,361 C 및 11,448 C으로 유사한 수준을 나타내었다. 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 각각 10 % 대체한 R5B10F10배합의 경우 통과전하

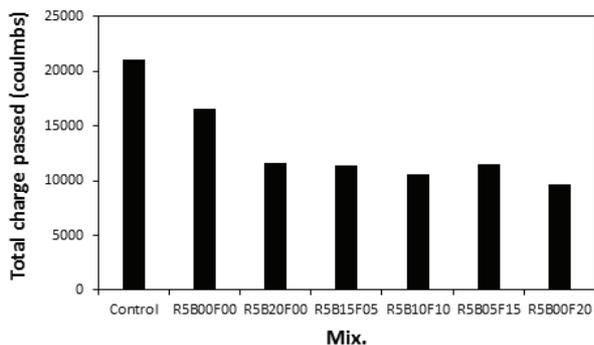


Fig. 8. Chloride ion penetration resistance

량이 약 10,584 C으로 나타났으며, 3성분계 배합의 경우 Control 배합에 비해 약 53~57 % 감소한 통과전하량을 나타내었다.

4. 결론

본 연구는 회수수를 사용한 3성분계 경량 골재 모르타르의 공학적 특성을 검토하기 위하여 회수수를 배합수 및 인공경량골재의 프리웨팅수로 사용하고 시멘트, 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 혼입한 3성분계 경량 골재 모르타르의 유동성, 기건단위질량, 압축강도, 건조수축, 중성화 깊이, 염화물 이온 침투 저항성 등을 비교·분석한 것으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 모르타르 플로우의 경우 회수수를 사용하고 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 혼입하지 않은 R5B00F00배합이 가장 높은 플로우를 나타냈으며 3성분계 배합의 경우 플라이애시의 혼입율이 증가 할수록 플로우가 증가하였는데 이는 플라이애시의 둥근 입형과 볼베어링 효과에 의한 것으로 사료된다.
2. 기건단위질량의 경우 회수수를 사용하고 혼화재를 혼입하지 않은 R5B00F00배합이 가장 낮은 단위질량을 나타냈으며 고로슬래그 미분말만을 20 % 혼입한 R5B20F00배합과 유사한 단위질량을 나타내었다. 인공경량골재를 사용한 모든 배합에서 천연 잔골재를 100 % 사용한 Control배합에 비해 다소 낮은 단위질량을 나타내었다.
3. 압축강도의 경우 모든 재령에서 고로슬래그 미분말 15 %, 플라이애시 5 %를 혼입한 R5B15F05배합이 가장 높은 압축강도를 발현하였으며 본 연구수준에서 회수수와 3성분계를 함께 사용할 시 고로슬래그 미분말 15 %, 플라이애시 5 %를 사용하는 것이 압축강도 측면에서 효과가 높을 것으로 사료된다.
4. 건조수축의 경우 고로슬래그 미분말 0 %, 플라이애시 20 %를 혼입한 R5B00F20배합이 가장 낮은 건조수축률을 나타내었으며 플라이애시의 혼입율이 증가할수록 건조수축률은 감소하는 것으로 나타났다.
5. 중성화 깊이의 경우 고로슬래그 미분말 15 %, 플라이애시 5 %를 혼입한 R5B15F05배합이 가장 낮은 중성화 깊이를 나타내었으며 염화물 이온 침투 저항성의 경우 플라이애시를 20 % 혼입한 R5B00F20배합이 약 9633 C으로 가장 낮은 통과전하량을 보였다.
6. 본 연구의 경우, 회수수를 사용하지 않은 Control배합에 비해 회수수를 사용한 배합의 역학 및 내구특성이 대체적으로 우수하게 나타났다. 이는 회수수내 미립분의 충전효과 및 시멘트계 재료들이 높아진 알칼리도에 의해 반응성이 높아져 모르타르의

성능 향상에 기인한것으로 사료된다.

회수수를 배합수로 사용하고 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 시멘트 대체재로 사용한 3성분계 배합을 사용시 역학 및 내구특성이 Control 배합대비 향상된 결과를 나타내었다. 또한, 혼화재 혼합비율에 따라 측정 항목별로 상이한 결과를 나타내었으며 향후 회수수를 사용한 시멘트 경화체의 압축강도와 내구특성의 상관관계 및 혼화재의 혼입비율을 보다 세분화 하여 실시한 최적 혼입율에 대한 연구 등이 추가로 필요할 것으로 사료된다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

This research was supported by the Basic Science Research Program thought the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(NRF-2019R111A3A01049510).

This work was also supported by a National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korean government(MSIT)(NO.2020R1A4A3079595).

References

- Chatveera, B., Lertwattanaruk, P. (2009). Reuse of ready-mixed concrete plant sludge water in concrete containing an additive or admixture, *Journal of Environmental Management*, **90(5)**, 1901-1908.
- Cho, W.J., Park, E.S., Jung, H.S., Ann, K.Y. (2020). Durability characteristics of ternary cement matrix using ferronickel slag according to the alkali-activators, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **8(2)**, 190-197 [in korean].
- Choi, S.J., Bae, S.H., Lee, J.I., Kim, J.H. (2021). Strength and durability characteristics of cement composites with recycled water and blast furnace slag aggregate, *Materials*, **14(9)**, 2156.
- Chu, S.H., Kwan, A.K.H. (2019). Co-addition of metakaolin and silica fume in mortar: effects and advantages, *Construction and Building Materials*, **197**, 716-724.
- da Silva Andrade, D., da Silva Rego, J.H., Morais, P.C., Rojas, M.F. (2018). Chemical and mechanical characterization of ternary cement pastes containing metakaolin and nanosilica, *Construction and Building Materials*, **159**, 18-26.
- De Weerd, K., Kjellsen, K.O., Sellevold, E., Justnes, H. (2011). Synergy between fly ash and limestone powder in ternary cements, *Cement and Concrete Composites*, **33(1)**, 30-38.
- Ghrai, A.M., Heath, A., Paine, K., Al Kronz, M. (2020). Waste wash-water recycling in ready mix concrete plants, *Environments*, **7(12)**, 108.
- Han, C.G., Lee, S.H., Lee, M.H., Woo, J.W. (2005). Influence of stabilizing agent for recycling water on engineering properties of cement mortar, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, **21(5)**, 81-88 [in Korean].
- Kim, Y.Y., Lee, H.S. (2021). Utilization of ready-mixed concrete recycling water mixed with hot-rolled slag containing C₁₂A₇ and application characteristics of cement mortar, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **9(1)**, 92-99 [in Korean].
- Kim, G.H., Kim, K.J., Lee, M.H., Lee, S.H., Han, C.G. (2003). Properties of cement mortar with solid content and leaving time of recycling water using stabilizing agent, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, **23(2)**, 355-358 [in Korean].
- Lee, S.S., Song, H.Y., Lee, S.M. (2009). An experimental study on the influence of high fineness fly ash and water-binder ratio on properties of concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **21(1)**, 29-35 [in Korean].
- Lauch, K.S., Dieryck, V. (2016). Durability of concrete made with ternary cements containing slag or fly ash and limestone filler, *International RILEM Conference on Materials, Systems and Structures in Civil Engineering*.
- Lemonis, N., Tsakiridis, P.E., Katsiotis, N.S., Antiohos, S., Papageorgiou, D., Katsiotis, M.S., Beazi-Katsioti, M. (2015). Hydration study of ternary blended cements containing ferronickel slag and natural pozzolan, *Construction and Building Materials*, **81**, 130-139.
- Oh, T.G., Kim, J.H., Bae, S.H., Choi, S.J. (2020). A study on the strength, drying shrinkage and carbonation properties of lightweight aggregate mortar with recycling water, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, **20(5)**, 91-397 [in Korean].
- Pliatsikas, I., Robou, E., Samouhos, M., Katsiotis, N.S., Tsakiridis, P.E. (2019). Valorization of demolition ceramic wastes and lignite

- bottom ash for the production of ternary blended cements, *Construction and Building Materials*, **229**, 116876.
- Sandrolini, F., Franzoni, E.(2001). Waste wash water recycling in ready-mixed concrete plants, *Cement and concrete research*, **31(3)**, 485-489.
- Shubbar, A.A., Jafer, H., Dulaimi, A., Hashim, K., Atherto, W., Sadique, M. (2018). The development of a low carbon binder produced from the ternary blending of cement, ground granulated blast furnace slag and high calcium fly ash: an experimental and statistical approach, *Construction and Building Materials*, **187**, 1051-1060.
- Shubbar, A.A., Al-Shaer, A., AlKizwini, R.S., Hashim, K., Al Hawesah, H., Sadique, M. (2019). Investigating the influence of cement replacement by high volume of GGBS and PFA on the mechanical performance of cement mortar, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **584(1)**, 012022.
- Su, N., Miao, B., Liu, F.S. (2002). Effect of wash water and underground water on properties of concrete, *Cement and Concrete Research*, **32(5)**, 777-782.
- Talaei, A., Pier, D., Iyer, AV., Ahiduzzaman, M., Kumar, A. (2019). Assessment of long-term energy efficiency improvement and greenhouse gas emissions mitigation options for the cement industry, *Energy*, **170**, 1051-1066.
- Xuan, D., Zhan, B., Poon, C.S., Zheng, W. (2016). Innovative reuse of concrete slurry waste from ready-mixed concrete plants in construction products, *Journal of Hazardous Materials*, **312**, 65-72.
- Xuan, D., Poon, C.S., Zheng, W. (2018). Management and sustainable utilization of processing wastes from ready-mixed concrete plants in construction: a review, *Resources, Conservation and Recycling*, **136**, 238-247.
- Zervaki, M., Leptokaridis, C., Tsimas, S. (2013). Reuse of by-products from ready-mixed concrete plants for the production of cement mortars, *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, **1(2)**, 152-162.

회수수를 사용한 3성분계 경량 모르타르의 공학적 특성에 관한 실험적 연구

본 연구는 콘크리트의 운반 과정 중 발생하는 레미콘 회수수의 재활용을 증대 및 온실가스 저감을 위한 연구의 일환으로 회수수를 배합수 및 인공경량골재 프리웨팅수로 사용하고 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 시멘트 대체재로 사용한 3성분계 경량 골재 모르타르의 공학적 특성을 검토하였다. 이를 위해 3성분계 경량 골재 모르타르의 플로우, 기건단위질량, 압축강도, 건조수축, 중성화 깊이, 염화물 이온 침투 저항성을 측정하였으며 측정 결과 회수수를 사용할 경우 높아진 알칼리도에 의해 시멘트계 재료들의 반응성이 높아졌으며 3성분계 배합과 함께 사용할 경우 고로슬래그 미분말 15 %, 플라이애시를 5 % 사용할 시 모르타르의 압축강도 및 내구특성 향상에 긍정적인 것으로 나타났다.