

순환 굵은골재 및 레드머드 치환율에 따른 무시멘트 인조석재의 특성에 관한 연구

A Study on the Properties of Cementless Artificial Stone by Recycled Coarse Aggregate and Red Mud According to Replacement Ratio

박주화¹ · 편수정² · 이상수^{3*}Ju-Hwa Park¹ · Su-Jeong Pyeon² · Sang-Soo Lee^{3*}

(Received January 17, 2019 / Revised March 19, 2019 / Accepted March 20, 2019)

This study aims to make artificial stone by recycling blast furnace slag powder, red mud and recycled aggregate, which are known as industrial waste. Recycled aggregate is a typical construction waste, and various recycled products such as concrete block are being sold. In this study, we tried to make artificial stone mixed with waste such as recycled aggregate, and experimented with the use of artificial stone and further study. As the red mud replacement ratio increased, the absorption ratio, fluidity and air content of the matrix were measured to be decreased, and the strength and density were found to increase. The fluidity and absorption ratio decreased with increasing the replacement ratio of recycled aggregate, and the air quantity, rate of aggregate on the surface, density and intensity increased to a certain level. Therefore, this study intends to make artificial stone using recycled resources and conducted basic experiments for further study.

키워드 : CO₂, 재활용, 레드머드, 순환 굵은골재, 고로슬래그, 인조석재

Keywords : CO₂, Recycling, Red mud, Recycled coarse aggregate, Blast furnace slag, Artificial stone

1. 서론

최근 국내 건설 폐기물의 자원화 가치에 대한 인식이 개선되고 있으며 2016년 총 74,509천 톤의 건설 폐기물이 발생하였으며 이는 전년도 대비 3.1%(약 2,225천 톤) 증가하였다. 이러한 건설 폐기물은 2014년도부터 재개발 공사, 택지 개발 공사 등으로 인해 지속적인 증가 추세를 보이고 있다. 발생된 건설 폐기물은 대부분 위탁 업체에 의해 처리되며 약 99%가 재활용되고 있다. 대표적인 건설 폐기물의 재활용 방안은 순환골재를 활용하는 것으로 콘크리트용과 아스콘용으로 사용되고 있다. 순환골재의 생산공정은 구조물 해체 후 중간처리 과정에서 굵은골재와 잔골재로 분류하여 재활용 제품과 도로공사용 등 「건설 폐기물법 시행령」 제4조에 적합한 용도로 생성되고 있다(Shim 2007; Woo 2008).

순환골재 등 관련규정·제도가 책정되면서 「순환골재 의무사용

제도」법 제38조에 따라 대상, 범위, 용도 및 사용량에 따른 의무 사용을 이행하고 있다. 또한, 매립되는 폐기물이나 산업폐기물을 이용하는 순환 자원 재활용 연구 중 하나로 수산화알루미늄 제조 공정으로부터 발생하는 레드머드의 재활용이 주목받고 있다(Shim 2007; Woo 2008). 레드머드는 보크사이트 원광석에서 생산되는 알루미늄의 선광과정에서 발생하는 무기질 부산물로, 첨단 산업의 발전에 따라 그 수요는 증가하고 있는 실정이다. 레드머드의 발생은 전 세계적으로 연간 4,500만 톤이 생산되고 있으며, 호주와 남미에서 주로 생산된다. 이렇게 발생하는 레드머드는 높은 알칼리성 무기질 폐기물로 원상태에서 주변 생태계에 악영향을 끼쳐 적절한 처리가 필요하다. 국내에서는 2000년대 초반부터 수산화알루미늄을 생산하는 K회사에서 연 20여만 톤의 레드머드가 발생하고 있고, 대부분이 매립으로 처리되고 있어, 이에 대한 대책이 시급하다(Park and Jeong 2017; Kang et al. 2017; Kim 2007). 건설

* Corresponding author E-mail: sslee111@hanbat.ac.kr

¹한밭대학교 건축공학과 석사 (Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 31458, Korea)

²충남대학교 건축공학과 박사과정 (Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea)

³한밭대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 31458, Korea)



Fig. 1. Purpose of this study

폐기물의 재활용과 자원순환의 목적에 있어 본 연구는 순환골재와 레드머드를 활용한 고로슬래그 미분말 기반의 인조석재를 제작하여 건설 폐기물 재활용 제품의 다양성과 활용 방안을 제시하고자 한다.

2. 사용재료

2.1 고로슬래그 미분말

고로슬래그 미분말이란 KS F 2563 「콘크리트용 고로슬래그 미분말」규격에 의하면 고로 수쇄 슬래그를 건조 분쇄한 것 또는 여기에 석고를 첨가한 것이라고 정의하고 있으며, 또한 제조 방법에서도 고로슬래그는 고로 수쇄 슬래그를 건조 분쇄하여 만든다(Lee 2017). 본 실험에서 사용된 고로슬래그 미분말은 국내 S사 제품으로 밀도는 2.91g/cm³ 및 분말도 4,464cm²/g인 고로슬래그 미분말을 사용하였다. Table 1은 고로슬래그 미분말의 화학적 성분을 나타내었다.

2.2 레드머드

본 연구에서 사용된 레드머드는 국내의 K사 제품을 사용하였으며 밀도는 3.37g/cm³, 분말도는 3,383cm²/g이다. 레드머드는 Na₂O가 약 2.0%를 구성하고 있으며 슬래그나 알루미늄 규산염 광물이 해리되면서 축중합을 통해 자극제나 촉진제로 대체가 가능하다. Kang (2013)에 따르면 레드머드가 활용될 경우 강알칼리성

Table 1. Chemical composition of used materials

Type	Chemical composition(%)					
	MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Al ₂ O ₃
BFS	2.10	52.60	28.70	0.60	4.10	9.50
RM	0.40	13.99	14.20	25.12	0.43	29.12

BFS=Blast furnace slag, RM=Red mud

을 나타내는 Na₂O 성분이 결합재 내 존재하므로 알칼리 자극제의 강도 발현 성능을 보완하여 자극제로서의 성능을 수행할 수 있을 것으로 판단된다(Kang et al. 2017). Table 1은 레드머드의 화학적 성분을 나타내었다.

2.3 순환 굵은골재

본 연구에서 사용된 순환 굵은골재는 KS F 2573 「콘크리트용 순환골재」에 적합하고 다음 Table 2의 기준을 만족하는 골재를 사용하였다. 인조석재에 활용된 순환 굵은골재는 최대 직경 25mm, 밀도 2.51g/cm³, 흡수율은 2.95% 이내의 것이다.

Table 2. The quality of Recycled coarse aggregate used in this study

Category Type	Density (g/cm ³)	Water adsorption (%)	Fineness (%)	Particle size (mm)	0.08mm sieve loss (%)
RCA	2.51	2.98	7.43	25	0.08
KS F 2573	2.50	3.00	-	-	Less 1.0

RCA=Recycled coarse aggregate

2.4 알칼리 자극제

본 실험에서 사용된 알칼리 자극제는 NaOH로, 플레이크 상 재료를 사용하였다. NaOH의 분자량은 40, 밀도는 2.13g/cm³, 순도 98%, 녹는점(melting point) 318°, 끓는점(boiling point) 1,390°인 NaOH를 사용하였다(Kim 2015; Kim 2019).

3. 실험계획 및 방법

3.1 레드머드 치환율에 따른

무시멘트 경화체의 특성(Series I)

순환 굵은골재를 첨가한 무시멘트 인조석재 제조에 대한 본 실험에 앞서 Series I에서는 알칼리 활성 무기 결합재에 레드머드를 치환하는 실험을 진행하였다. 선행 실험 및 기존 문헌 고찰에 의해 알칼리 활성 무기 결합재의 경화를 위한 자극제로 NaOH가 12% 첨가되어 사용되었다(Kim 2015; Kim 2019). 레드머드 치환율은 고로슬래그 질량 대비 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30(%) 총 7가지 수준으로 선정하였다. W/B는 32%로 고정하였으며 양생조건은 상대습도 80±5%, 온도 20±2°C의 항온항습 양생을 실시하였다. 실험항목으로는 밀도, 흡수율, 유동성, 공기량, 휨강도 및 압축강도를 측정하였으며, Table 3은 실험 요인 및 수준을 나타내었다.

Table 3. Experimental factor and levels(Series I)

Experimental factor	Experimental levels	
Binders	BFS, RM	2
W/B	32%	1
Alkali activator	NaOH 12%	1
Replacement ratio of RM	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30(wt.%)	7
Curing conditions	Hum. (80±5)%, Temp. (20±2)°C	1
Assessment items	Density, Water adsorption, Flow, Air content, Strength	6

BFS=Blast furnace slag, RM=Red mud

3.2 순환 굽은골재 치환율에 따른 무시멘트 인조석재의 특징(Series II)

Series II에서는 Series I 을 바탕으로 높은 강도를 발현한 레드머드 치환율 20%를 기준으로 Table 4와 같이 W/B를 32%로 고정한 뒤, 레드머드를 20% 치환한 알칼리 활성 무기 결합체에 순환 굽은골재를 활용한 무시멘트 인조석재의 특성을 확인하고자 한다. 순환 굽은골재의 치환율은 고로슬래그 결합체의 용적비 0, 20, 40, 60, 80(%)로 총 5가지 수준으로 나누어 실험을 진행하였다. 순환 굽은골재의 최대치수는 25mm 이하의 것으로 사용하였으며 실험 항목으로는 밀도, 흡수율, 유동성, 공기량, 압축강도, 휨강도, 출석률 등을 평가하였다.

Table 4. Experimental factor and levels(Series II)

Experimental factor	Experimental levels	
Binders	BFS, RM	2
W/B	32%	1
Alkali activator	NaOH 12%	1
Replacement ratio of RM	20(wt.%)	1
Replacement ratio of RCA	0, 20, 40, 60, 80(wt.%)	5
Curing conditions	Hum. (80±5)%, Temp. (20±2)°C	1
Assessment items	Density, Water adsorption, Flow, Air content, Strength, Rate of aggregate on the surface	7

BFS=Blast furnace slag, RM=Red mud and RCA=Recycled coarse aggregate

3.3 실험방법

본 실험에서 제작한 인조석재는 KS F 4035 「기성 테라조」에 의거하여 성능 시험을 진행하였으며, 그 기준은 다음 Table 6과 같다. 출석률의 측정은 KS F 4035에 의거하여 인조석재 300×300×45(mm)의 표면에 2개의 대각선을 그은 다음, 각각의 직선에 대하여 아래 그림과 같이 직선이 골재 위를 지나가는 부분의 치수

Table 5. Experimental method

Assessment items	Test method
Density, Water adsorption	KS F 2459
Flow	KS L 5111
Air content	KS F 2409
Strength	KS F 2405, KS F 2408
Rate of aggregate on the surface	KS F 4035

Table 6. KS F 4035 for terrazzo tiles

Length (mm)	Width (mm)	Tolerance of length and width(mm)	Thickness (mm)	Tolerance of thickness (mm)	Rate of aggregate on the surface (%)	Flexural strength (MPa)
300	300	± 1	25	+3	50	5.0
400	400		30	-2		
500	500		32			
600	600					

Note=The dimensions of terrazzo tiles are to be arbitrary combinations of the dimensions shown in the table.

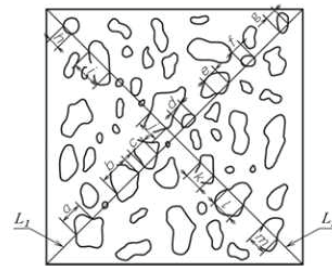


Fig. 2. Rate of aggregate on the surface of terrazzo tiles

를 0.5mm 단위로 읽고, 아래의 식에 따라 계산한 후 그 평균값으로 나타낸다. 여기서, Ar은 출석률(%)이며 a, b, c, d, e, ...은 아래 Fig. 2의 골재 위를 지나가는 선의 길이(mm)이다. L1 및 L2은 대각선의 길이(mm)를 나타낸 것이다. 출석률의 계산은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다(Lee 2017; Yoo 2015).

$$A_r = \frac{a+b+c+d+e+\dots}{L_1+L_2} \times 100 \quad (1)$$

4. 실험결과 및 분석

4.1 레드머드 치환율에 따른 무시멘트 경화체의 특성(Series I)

4.1.1 유동성

Fig. 3은 레드머드 치환율에 따른 무시멘트 페이스트의 유동성

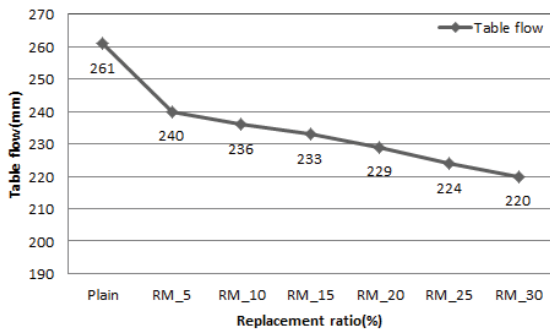


Fig. 3. Table flow of paste according to red mud replacement ratio

상 측정 결과를 나타낸 것으로, 레드머드 치환율이 증가함에 따라 유동성은 감소하는 경향을 보인다. 일반적으로 레드머드는 분말도가 낮으나 입형이 세장하고 불규칙하다. 이러한 불규칙한 입자 특성으로 인해 레드머드 치환율이 증가할 경우 페이스트 내 입자 유동성상에 영향을 미치는 것으로 보인다. Plain 대비 레드머드 치환율 30%는 약 18%의 유동성상 감소 경향을 보이고 있다.

4.1.2 공기량

Fig. 4는 레드머드 치환율에 따른 페이스트의 공기량을 나타낸 그래프로 레드머드 치환율이 증가함에 따라 공기량은 감소하는 경향을 보이고 있다. Plain 4.4%에서 레드머드 치환율 30% 2.4% 까지 약 50%의 공기량 감소를 보이고 있다. 레드머드 치환율에 따른 공기량 감소는 레드머드 입자상의 불규칙한 입형이 페이스트 내 증가하면서 보이는 것으로 판단된다.

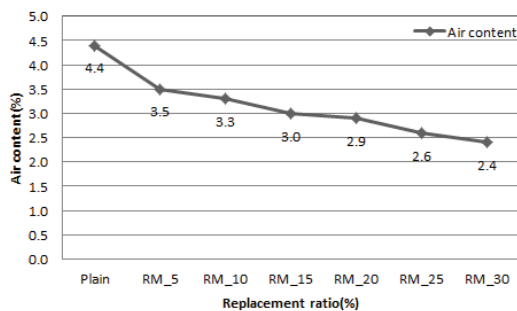


Fig. 4. Air content of paste according to red mud replacement ratio

4.1.3 밀도 및 흡수율

Fig. 5는 레드머드 치환율에 따른 무시멘트 경화체의 밀도 및 흡수율에 대한 측정결과를 나타낸 것으로, 레드머드 치환율이 증가함에 따라 흡수율은 감소하는 경향을 보이며 밀도는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 레드머드 입자는 함수율이 약 10%로 입자

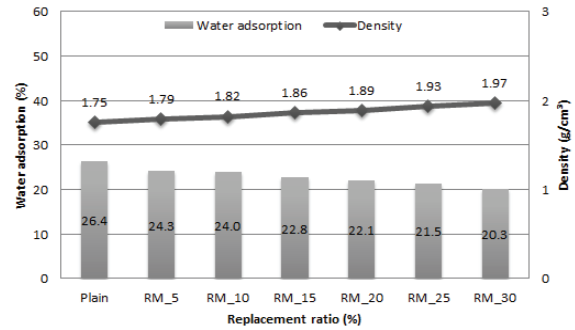
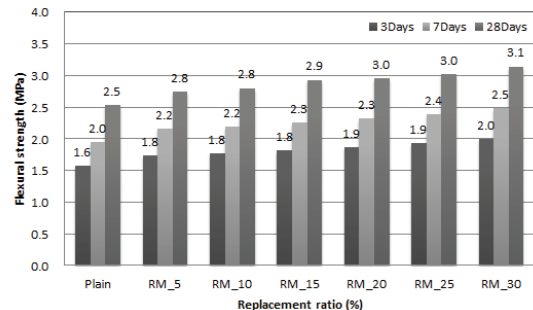


Fig. 5. Density and water adsorption of paste according to red mud replacement ratio

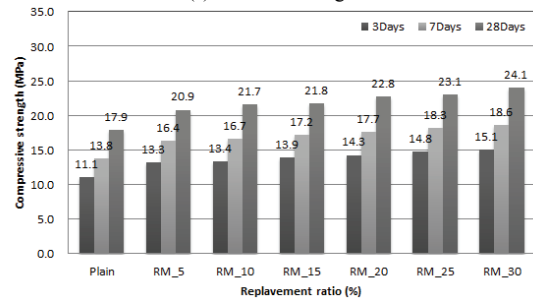
내 수분이 존재하여 경화체의 흡수율은 감소하는 것으로 나타났다. 레드머드의 치환율에 따라 밀도는 증가하며 이는 레드머드의 높은 밀도 3.37g/cm³로 인해 나타나는 것으로 판단된다.

4.1.4 휨강도 및 압축강도

Fig. 6(a)는 레드머드 치환율에 따른 무시멘트 경화체의 휨강도를 나타낸 그래프로 레드머드의 치환율이 증가할수록 휨강도는 증가하는 것을 확인할 수 있다. 28일 재령 기준 Plain 2.5MPa 대비, 레드머드 치환율 30%는 3.1MPa로 약 20%의 강도 증가를 보이고 있다. 레드머드는 입자 내 Na₂O 성분을 가지고 있고 수분과 접촉 시 Na₂O 성분이 입자 밖으로 배출되어 알칼리 자극제 성능을



(a) Flexural strength



(b) Compressive strength

Fig. 6. Strength of matrix according to red mud replacement ratio

가지고 있으므로 고로슬래그 경화에 영향을 미치며 이에 따른 강도 증진으로 볼 수 있다(Kang 2013).

Fig. 6(b)은 레드머드 치환율에 따른 무시멘트 경화체의 압축강도를 나타낸 그래프로 레드머드의 치환율이 증가함에 따라 강도는 증가하는 경향을 볼 수 있다. 28일 재령 기준 Plain 17.9MPa 대비, 레드머드 치환율 30%는 24.1MPa로 약 25%의 강도 증가를 확인할 수 있다. 이는 레드머드는 Na_2O 성분이 높고, 배합과정에서 Na_2O 성분이 배합수와 반응 시 알칼리 성분이 배출되어 고로슬래그의 경화에 영향을 미쳐 강도가 증진되는 것으로 사료된다. 하지만 W/B를 고정한 상태에서 레드머드를 25% 이상 활용할 경우 이에 따른 밀도 및 비빔시간의 증가와 작업성의 감소로 레드머드 치환율을 20%로 고정하는 것이 인조석재 제작을 위한 경화체의 특성에 적합하다고 판단된다.

4.2 순환 굵은골재 치환율에 따른 무시멘트 인조석재의 특징(Series II)

4.2.1 유동성

Fig. 7은 순환 굵은골재 치환율에 따른 유동성을 나타낸 그래프로 순환 굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 유동성은 감소하는 경향을 볼 수 있다. Plain 165mm 대비 순환 굵은골재 치환율 80%는 147mm로 약 12%의 유동성 감소를 보인다. 이는 순환 굵은골재의 경우, 굵은골재 표면에 달라붙어 있는 잔골재 및 시멘트 잔여물의 높은 흡수율로 인한 골재의 배합수 흡수로 인하여 유동성이 감소하는 것으로 판단된다.

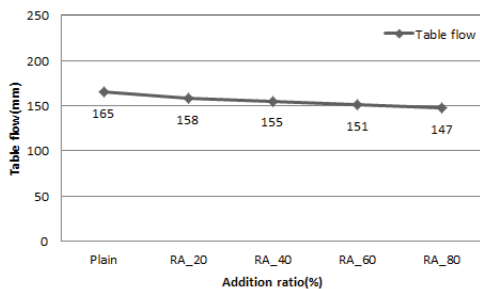


Fig. 7. Flow according to RCA replacement ratio

4.2.2 공기량

Fig. 8은 순환 굵은골재의 치환율에 따른 공기량 측정결과를 나타낸 그래프로 순환 굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 공기량은 증가하는 경향을 보이고 있다. Plain 2.9% 대비 순환 굵은골재 치환율 80%는 4.0%로 약 28%의 공기량 증가를 보인다. 이는 순환

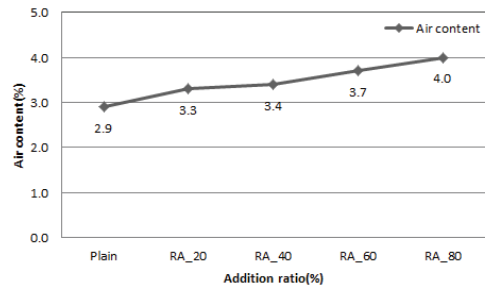


Fig. 8. Air content according to RCA replacement ratio

굵은골재의 골재 표면은 시멘트와 잔골재 잔여물로 인한 공극률이 높아 골재 표면의 공극이 공기량에 영향을 미치는 것으로 보인다.

4.2.3 밀도 및 흡수율

Fig. 9는 순환 굵은골재 치환율에 따른 무시멘트 인조석재의 밀도 및 흡수율 측정 결과를 나타낸 것으로 순환 굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 밀도는 증가하고 흡수율은 감소하는 경향을 보인다. Series I의 선행실험에 비해 순환 굵은골재의 치환율이 증가하면서 밀도는 증가하는 경향을 보이고 있으며, 흡수율은 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 순환 굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 인조석재의 밀도는 증가하고 순환 굵은골재가 적정하게 혼합되므로 인조석재의 흡수율이 감소되는 것으로 판단된다.

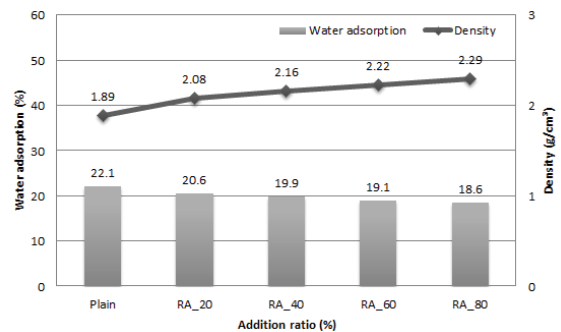
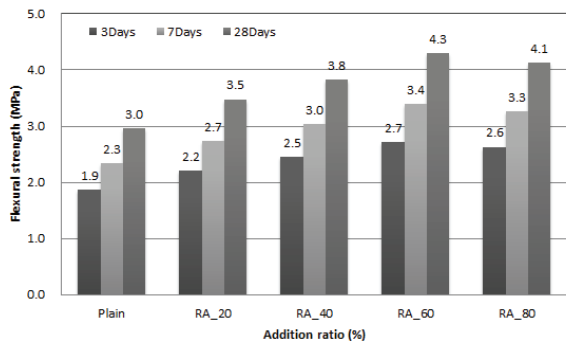


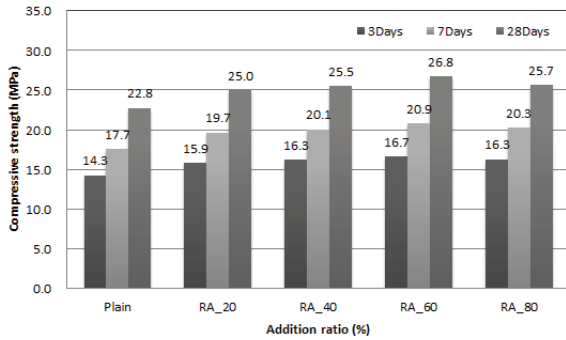
Fig. 9. Density and water adsorption of matrix according to RCA replacement ratio

4.2.4 휨강도 및 압축강도

Fig. 10(a)은 순환 굵은골재 치환율에 따른 무시멘트 인조석재의 휨강도를 나타낸 것으로 순환 굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 휨강도는 증가하는 경향을 보이고 있다. 하지만 순환 굵은골재 치환율 80%의 경우 휨강도는 감소하는 경향을 보인다. 이는 치환율 60%와 강도 측정 결과는 미비한 차이를 보이고 있지만 순환 굵은골재의 입자 표면에 붙은 시멘트 및 잔골재의 잔여물로



(a) Flexural strength



(b) Compressive strength

Fig. 10. Strength of matrix according to RCA replacement ratio

인한 결합재의 부착력 감소로 인한 힘강도 저하로 보인다.

Fig. 10(b)은 순환 굵은골재 치환율에 따른 무시멘트 인조석재의 압축강도를 나타낸 그래프로 순환 굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 치환율 60%까지 강도는 증가하는 경향을 볼 수 있다. 28일 재령 기준 Plain 22.8MPa 대비 순환 굵은골재 혼입률 60%는 26.8MPa로 약 15%의 강도 증진을 확인할 수 있었다. 순환 굵은골재 80%의 경우, 28일 재령 기준으로 25.7MPa로 치환율 60% 대비 약 5%의 강도 감소가 나타났다. 인조석재의 강도 저하 원인으로는 순환 굵은골재 표면의 잔여물뿐만 아니라 골재비가 과다하게 증가함에 따른 결합재비의 감소로 인해 강도상 저하가 발생하는 것으로 판단된다.

4.2.5 출석률

순환 굵은골재 치환율에 따른 무시멘트 인조석재의 출석률에 대한 측정 결과 순환 굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 출석률은 증가하는 경향을 보이고 있다. 순환 굵은골재 치환율에 따른 표면 변화사진은 Fig. 11과 같다.

레드머드가 치환됨에 따라 인조석재의 색상을 변화시킬 수 있으며 순환 굵은골재의 치환율이 증가함에 따라 인조석재 단면의

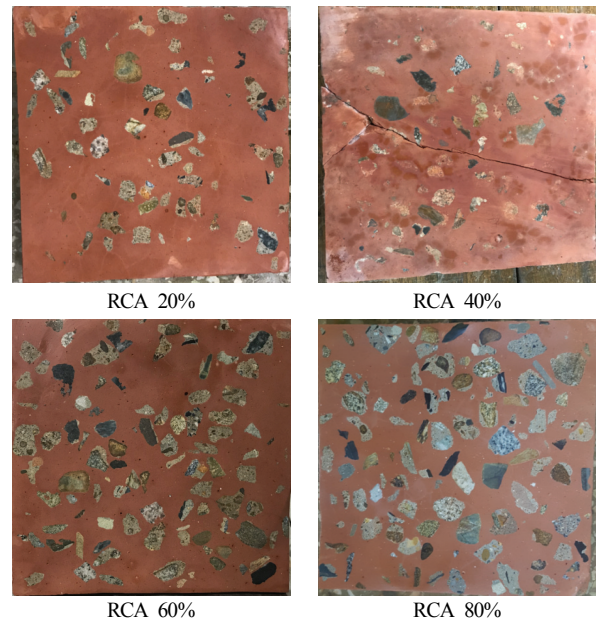


Fig. 11. Surface of the matrix with RCA replacement ratio (Rate of aggregate on the surface)

Table 7. Assessment of appropriate standards for artificial stone which replaced RCA ratio

KS L ISO 679	Flexural strength		Compressive strength	
	0(Plain)	2.5	17.9	
5	2.5	20.9		
10	2.8	21.7		
15	2.8	21.8		
20	2.9	22.8		
25	3.0	23.1		
30	3.0	24.1		
KS F 4035:2012	Flexural strength (4.0MPa)	Rate of aggregate on the surface(50%)	Suitability	
20	3.5	24.84	×	
40	3.8	47.02	×	
60	4.3	58.91	○	
80	4.1	78.62	○	

출석률이 육안으로도 증가되는 것을 볼 수 있다. 인조석재 표면 골재의 분포에 따른 시각적 연속성과 적정 출석률 50% 이상을 나타내는 인조석재 제조품이 적절한 것으로 분석할 수 있다.

Table 7은 무시멘트 인조석재 제작을 위한 적정 기준 여부를 평가하기 위하여 나타낸 표로, Series I 과 II에 대한 실험 결과를 정리한 것이다. Series I 에서 경화체의 힘강도 목표값은 3.0MPa로 설정하였지만 레드머드 치환율이 25%이상일 경우 작업성이 저하되면서 적정 치환율은 20%로 고정하였다. Series II의 실험 결과로 인조석재 제작에 적합한 출석률을 만족하는 순환 굵은골재 치환율 60% 이상으로 적정하다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 산업부산물인 고로슬래그를 활용한 경화체의 특성을 검토하여 추후 레드머드와 순환 굼은골재의 재활용 제품 적용성 및 활용성에 대한 연구범위 내에서는 다음과 같이 결론을 요약할 수 있다.

- 1) 레드머드 치환율이 증가할수록 무시멘트 페이스트의 유동성상과 공기량은 감소하는 경향을 보인다. 하지만 경화체의 밀도는 증가하는 경향을 보이며 흡수율은 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 레드머드 치환율에 따른 무시멘트 경화체의 압축 및 휨강도 특성은 레드머드 치환율이 증가함에 따라 강도 역시 증가하는 경향을 보이고 있다.
- 3) 순환 굼은골재 치환율이 증가함에 따라 유동성이 감소하며 공기량은 증가하는 것으로 나타났다.
- 4) 무시멘트 인조석재의 밀도 및 흡수율 측정 결과는 순환 굼은골재의 치환율이 증가함에 따라 밀도는 증가하고 흡수율은 감소하는 경향을 보인다.
- 5) 순환 굼은골재 치환율에 따른 압축 및 휨강도 분석결과로 순환 굼은골재 치환율이 증가함에 따라 치환율 60%까지는 강도가 증진되는 것을 확인할 수 있다.
- 6) 순환 굼은골재의 치환율에 따른 무시멘트 인조석재의 출석률에 대한 측정결과로는 순환 굼은골재의 치환율에 따라 출석률은 증가하는 경향을 보이고 있다.

Conflict of interest

None.

References

Shim, J.W. (2007). An Experimental Study on the Hydration Performance of Recycled Aggregate Concrete with Blast Furnace Slag, Ph.D Thesis, Konkuk University [in Korean].

Woo, J.K. (2008). A Study on Practical Application of Sub-slab Concrete Mixed with Recycled Coarse Aggregate and Admixture, Master's Thesis, Korea National University of Transportation [in Korean].

Park, Y.H., Jeong, Y.N. (2017). Overview of bauxite residues and processing status of domestic and overseas, National Institute of Environmental Research, Korea, **12(4)**, 22–27.

Kang, S.P., Kang, H.J., Kim, J.H., Kim, B.K. (2017). Characteristics of soil pavement by red mud content and binder type, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **5(1)**, 37–44.

Kim, H.J. (2007). Study on the Chemical Property and Application of Red mud, Master's Thesis, Chonnam National University [in Korean].

Lee, S.H. (2017). Properties of Artificial stone with Waste Glass and Waste Porcelain Based on Blast Furnace Slag, Master's Thesis, Hanbat National University [in Korean].

Kim, Y.M. (2015). Foaming Properties of Lightweight Matrix using Paper Ash based on Blast Furnace Slag, Master's Thesis, Hanbat National University [in Korean].

Kim, W.J. (2019). Properties of Lightweight Matrix for Core Materials of Lightweight Composite Panel using Cementless Binder, Ph.D Thesis, Hanbat National University [in Korean].

Yoo, Y.J. (2015). Property of the Artificial Stone Manufactured by the Magnesia Phosphate Composite(MPC) Using the Waste Resources, Master's Thesis, Hanbat National University [in Korean].

순환 굼은골재 및 레드머드 치환율에 따른 무시멘트 인조석재의 특성에 관한 연구

본 연구에서는 자원 재활용 가능성을 위해 재활용 제품으로 레드머드와 순환 굼은골재를 사용한 무시멘트 인조석재의 제조와 특성에 대한 분석을 실시하였다. 레드머드의 치환율이 증가함에 따라 무시멘트 경화체의 유동성, 공기량, 흡수율은 감소하는 것으로 나타났으며 밀도와 강도는 증가하는 것으로 보인다. 순환 굼은골재를 사용한 인조석재의 경우, 순환 굼은골재의 치환율이 증가할수록 유동성과 흡수율은 감소하며 공기량과 밀도는 증가하는 것으로 나타났다. 순환 굼은골재의 치환율 60%까지 강도는 증가하지만 이후 치환율이 증가하면서 강도는 저하되는 것으로 보인다. 무시멘트 인조석재의 출석률은 순환 굼은골재 치환율과 비례하여 증가하는 것으로 나타났다.