

폐석분 및 바텀애시를 사용한 인공경량골재의 용제(Flux) 종류에 따른 밀도 및 흡수율 특성

Density and Water Absorption Characteristics of Artificial Lightweight Aggregates containing Stone-Dust and Bottom Ash Using Different Flux

(Received September 6, 2012 / Revised October 16, 2012 / Accepted October 16, 2012)

한민철^{1)*}, 신재경^{2)*}

¹⁾청주대학교, ²⁾(주)삼표 기술연구소

Min-Cheol Han¹⁾, Jae-Kyung Shin²⁾

¹⁾Department of Architectural Engineering Cheongju University, Cheongju, 360-764, Korea

²⁾SAMPYO Corporation, Kwangju-Si, Gyeonggi-Do, 464-080, Korea

Abstract

In this paper, the physical properties of lightweight aggregate such as density and water absorption according to addition ratio and type of flux were investigated. When using Na_2CO_3 as flux of lightweight aggregate, burnability was available at low burning temperature and water absorption increased. And as increasing addition ratio of CaCO_3 , NaOH , Fe_2O_3 , absorption decreased and CaCO_3 , NaOH , Fe_2O_3 were considered improper to use flux of lightweight aggregate because of high dried density. Na_2SO_4 was proper to use flux of lightweight aggregate due to dried density $1.35\sim 1.50\text{ g/cm}^3$ and lower absorption. When using glass abrasive sludge as flux of lightweight aggregate, dried density and water absorption were in the range of $1.45\sim 1.55\text{ g/cm}^3$ and $9\sim 12\%$ respectively. It was indicated that as increasing addition ratio of blast furnace slag powder, density increased whereas absorption decreased. In use of oxidizing slag as flux, artificial lightweight aggregate which have dried density 1.46 g/cm^3 , water absorption 8.5% can be manufactured at 10% of addition ratio.

키워드 : 경량골재, 용제, 흡수율, 밀도

Keywords : *Lightweight Aggregates, Flux, Water Absorption, Density*

1. 서론

최근 콘크리트용 골재로 가장 많이 사용되고 있는 부순 골재는 생산 과정에서 골재 생산량의 20~30 %의 폐석분을 연간 5000000m^3 정도 발생시키고 있으나 이러한 폐석분은 복토재, 성토재와 같이 단순 매립되고 있어 자원으로써 활용되지 못하고 폐기물로 처리되고 있다.

또한, 2011년을 기준으로 국내 전기생산량의 29.1 %는 석탄을 원료로 하는 화력발전소에 의존하고 있는 실정으로 이때 발생하는 석탄재 부산물이 연간 600 만톤 이상

발생하고 있다. 그 중 Fly ash는 콘크리트용 혼화재 등으로 전량 재활용되고 있지만, 석탄재 부산물 중 20 %를 차지하고 있는 Bottom ash는 콘크리트 혼화재료로 사용이 불가능하여 일부 매립재로 재활용될 뿐 전량 매립하여 이를 재활용할 수 있는 기술 개발이 시급한 실정이다.

따라서, 위와 같은 폐기물의 자원화를 통한 자원의 보존과 지속적인 개발이 가능하도록 폐기물 발생 및 사용 단계에 이르는 전 과정에서 재활용 가능한 자원순환형 시스템의 구축이 필요하다.

현재 미립분상의 폐석분은 주 화학성분은 SiO_2 약 55~65 %, Al_2O_3 10~20 % 정도 함유하고 있어 이런 특성은 시멘트계 재료의 CaO 와 수열합성 반응조건에서의 수화물

* Corresponding author

E-mail: rapperjsa@sampyo.co.kr

인 Tobermorite 결정을 생성시킬 수 있는 것으로 확인되고¹⁾²⁴⁾ 바텀애시는 SiO₂ 약 40~45 %, Fe₂O₃ 1~2 % 정도 함유하고 있어 폐석분 및 바텀애시는 Riley³⁾ 등이 제시하는 점토를 이용한 발포조건에 적합한 화학 성분⁵⁾으로 이루어져 경량골재 원재료로 적합하다.

이에 선행 연구로서 폐석분과 바텀애시를 주원료로 하는 구조용 인공경량골재 제조를 위해 로터리킬른의 소성 조건 및 원재료 혼합비율 등을 도출⁶⁾하였으나, 인공경량골재를 구조용으로 사용하기 위한 주요 물성인 밀도와 흡수율의 개선이 필요하다. 경량골재는 소성 시 표면장력이 낮으면 발포과정에서 기포벽이 파괴되어 큰 기공이 형성되고, 표면장력이 높으면 액상의 고점성에 의한 내부 가스압의 증가로 인해 작은 기공이 균등하게 분포³⁾⁷⁾¹⁰⁾되는데 이러한 기공형성에 중요한 요인이 되는 표면장력은 용제 성분에 의해 좌우된다.

따라서 본 연구에서는 절건밀도 1.5 g/cm³ 이하, 흡수율 10 % 이하인 양질의 구조용 인공경량골재를 제조를 목적으로 주원료로 쓰이는 폐석분 및 바텀애시에 적합한 용제를 도출하기 위하여 용제 종류 및 첨가량에 따른 소성온도와 밀도 및 흡수율을 분석하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

본 연구에 사용된 재료로서 먼저 주원료인 폐석분(이하 : SB)은 경기도 양주산 S사의 것을 사용하였고, 바텀애시(이하 : BA)는 충남 당진 화력발전소의 매립 전(前)의 것을 사용하였다.

용제 종류로서 기존에 연구되었던 화학제품에서 발포 성능이 우수하여 기공 형성에 유리한 재료를 선정⁷⁾¹⁰⁾하였는데, Na₂SO₄, Na₂CO₃, CaSO₄, CaCO₃, NaOH, Fe₂O₃로서 순도 95 % 이상의 시약급 제품을 사용하였다. 또한, 화학제품과 병행하여 인공경량골재의 경제성 및 품질향상을 위하여 산업부산물을 용제로 활용하고자 다음과 같이 선정하였다. 먼저, 유리연마 슬래그(이하 : GS)는 판유리 공장의 면취 과정 중 발생하는 것으로 연간 약 500000~700000 ton 발생하고 있으나 단순 매립¹⁰⁾되고 있다. 유리연마 슬러지는 판유리 가공할 때 발생하는 슬러지이기 때문에 발포시 표면장력을 높이는 SiO₂가 다량함유되어 있어 다공성 제품에 사용하기 적합한 것으로 분석된다. 또한, 경량골재에 사용되는 발포제 중 대표적인 것이 Fe 성분³⁾⁷⁾으로

서 식 (1)과 같이 O₂ 가스발포가 용이하여 Fe₂O₃를 사용하는 것이 가장 확실한 방법이나, 경제적인 측면에서 시약급인



Fe₂O₃를 사용하기에는 어려움이 많아 비교적 Fe를 많이 함유하고 있는 산업부산물인 전기로 산화슬래그(이하 : SS)와 고로슬래그 미분말(이하 : BS)을 선정하였다. 본 연구에 사용된 SS는 포항산 P사의 것을 사용하였고, BS은 충남 당진산 S사의 3종을 사용하였다. 이때, 화학조성은 Table 1과 같다.

Table. 1 Chemical composition of used materials

구 분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Ig, loss
SB	67.6	16.0	2.7	2.2	0.6	4.9	3.5	1.7
BA	40.9	1.2	1.6	1.0	1.9	2.5	0.5	29.3
GS	66.9	1.1	0.2	7.4	3.8	0.3	9.5	8.4
SS	17.3	12.2	29.0	22.8	7.9	0.3	1.1	-
BS	31.6	14.2	0.4	43.2	5.7	0.5	0.5	-

2.2 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 2와 같다.

먼저, 시리즈 I에서는 시약급 화학제품에 대하여 분석하였다. 폐석분과 바텀애시의 혼합비율은 사전 실험을 통해 밀도 및 흡수율이 가장 낮게 형성된 80 : 20으로 결정하였고, 용제 종류에 따라 각각의 첨가율은 이론적 고찰을 통해 Na₂SO₄, Na₂CO₃, CaSO₄, CaCO₃의 첨가율은 5, 10, 15, 20 %로 변화시켰고, NaOH는 1, 3, 5%, Fe₂O₃는 0.5, 1.0, 1.5 %로 변화시켰다. 이때 소성시간은 15분으로 고정하였고 각 용제 종류에 따라서 소성 상태를 관찰하였으며 소성온도는 용제 종류에 따라 용착온도가 다르게 나타남에 따라 소성온도 범위를 Table 2와 같이 다르게 적용하였다.

또한 시리즈 II는 시리즈 I에서 선정된 용제와 병행하여 산업부산물을 용제로 활용하기 위하여 유리연마 슬러지, 전기로 산화슬래그, 고로슬래그 미분말에 대하여 검토하였다. 첨가율은 원료별 화학조성에 근거하여, 10, 20, 30 %의 3수준으로 실험계획 하였다. 이때 소성온도는 시리즈 I의 결과를 근거로 1,050~1,200℃의 25℃ 간격으로 하였고, 소성시간은 15분으로 고정하였다. 실험사항으로는 절건밀도 및 흡수율을 측정하였다.

Table. 2 Design of experiment

시 리 즈	배합비			소성 시간 (min)	소성 온도 (°C)	측정 항목
	주원료	Flux 종류	첨가율 (%)			
I	SB-80 BA-20	Na ₂ SO ₄	5	15	850	·절건 밀도 ·흡수율
		Na ₂ CO ₃	10		-	
		CaSO ₄	15		1200	
		CaCO ₃	20			
		NaOH	1		1100	
			3		1150	
			5		1200	
		Fe ₂ O ₃	0.5		1100	
	1.0	1150				
	1.5	1200				
II	SB-80 BA-20	GS	10	15	1050	·절건 밀도 ·흡수율
			20		1075	
			30		1100	
		BS	10		1100	
			20		1125	
		SS	10		1150	
			20			
			30			

2.3 실험방법

2.3.1 경량골재 제조방법

(1) 성형

경량골재 제조 방법은 Fig. 1과 같다. SB와 BA는 발생 과정에서 습윤상태이기 때문에 각각의 재료를 건조로에서 105 ± 5 °C로 24시간 이상 완전 건조를 시킨다. 건조시킨 원료는 입도를 균일하게 제어하기 위하여 볼밀을 이용하여 100 μm 이하로 분쇄하였다. 이렇게 분쇄된 원료는 실험 계획에 따라 개량 한 후 분쇄 전용 Powder Mixer로 충분히 혼합되도록 일정한 시간으로 혼합하였다. 경량골재 성형은 원통형 펠레타이저를 활용하여 기울기 10°, 회전속도 40 rpm으로 고정하여 성형체를 제조하였다. 제조된 성형체는 다시 건조로에서 105 ± 5 °C로 24시간 이상 건조 후, 소성로에서 실험계획에 따라 계획된 온도와 시간으로 소성하여 경량골재를 제조하였다.

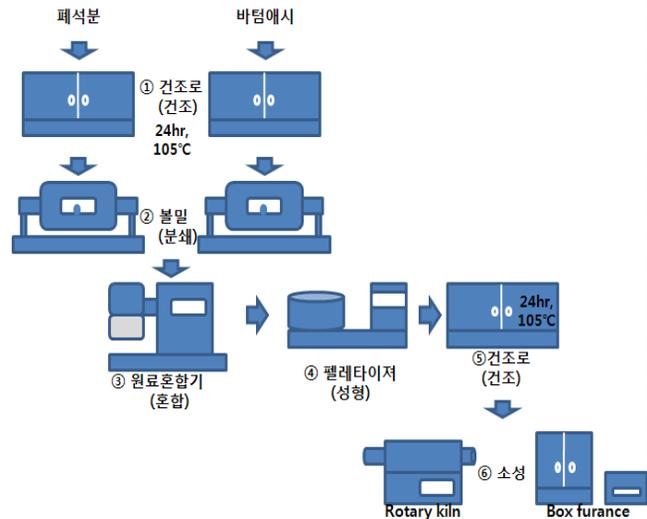


Fig. 1 Production process of lightweight aggregates

(2) 소성

본 연구에 사용된 Rotary tube furnace(이하 : R/F)는 Fig 2와 같다. R/F를 이용한 소성은 건조로에서 건조시킨 성형체를 R/F로 투입하고, 소성시간은 15 분으로 목표 소성온도에 따라 융착 현상이 발생하기 전까지 소성하였다.

R/F 내의 온도 측정은 R/F의 튜브 회전을 정지시킨 상태에서 충분한 시간동안 유지하여 온도가 안정화된 후 측정하였다. 또한, 본 연구에 사용된 R/F 튜브대의 길이가 1 m로 길지 않기 때문에 소성시간을 확보하기 위하여 R/F 내 소성 튜브의 경사각을 0.9°로 낮게 설정하고 회전속도는 4 rpm으로 느리게 설정하여 일정하게 소성하였다.



Fig. 2 Rotary tube furnace

2.3.2 밀도 및 흡수율

제조된 경량골재의 밀도 및 흡수율은 KS F 2533에 의거하여 식(1)~(2)에 따라 흡수율 및 밀도를 측정하였다.

$$Q(\%) = \frac{m_s - m_D}{m_D} \times 100 \quad (1)$$

$$D_D = \frac{m_s \times \frac{100}{100 + Q} \times P_w}{m_s - m_w} \times 100 \quad (2)$$

여기서, D_D : 절대건조 상태에서의 시료밀도(kg/L)
 Q : 흡수율(%)
 m_s : 표면건조 상태에서의 시료질량(kg)
 m_D : 건조 후의 시료질량(kg)
 m_w : 물 속에서의 시료 겉보기질량(kg)
 P_w : 시험 온도에서의 물의 밀도(kg/L)

3. 실험결과 및 분석

3.1 용제종류 및 첨가량에 따른 영향 분석

Fig 3~8은 Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , CaSO_4 , CaCO_3 , NaOH , Fe_2O_3 의 첨가율 및 소성온도 변화에 따른 경량골재의 절건 밀도 및 흡수율을 나타낸 것이다.

먼저, 용제 종류에 따른 소성특성으로는 Na_2CO_3 : 850 °C, Na_2SO_4 : 1,100 °C, CaSO_4 : 1,150 °C, CaCO_3 : 1,200 °C, NaOH : 1,200 °C, Fe_2O_3 : 1,150 °C의 소성온도에서 경량골재의 표면에 융착이 발생되는 것으로 나타나 각 용제에 따라 소성온도 범위를 다르게 적용하였다. 이때 제조된 인공경량골재의 품질판단 기준으로 구조용 사용을 위하여 밀도 1.5 g/cm³ 이하, 흡수율 10 % 이하로 결정하였다.

Na_2CO_3 의 경우 낮은 소성온도에서 융착이 발생되어 경량골재 생산비용을 절감할 수는 있겠지만 모든 첨가율에서 흡수율이 20 % 이상으로 나타나 본 연구에 사용된 경량골재에 용제로 활용하기에 부적합한 것으로 나타났다. Na_2SO_4 의 경우에는 절건 밀도가 1.35~1.50 g/cm³로 낮게 나타났고, 첨가율 15 % 및 소성온도 1 100 °C에서 흡수율이 약 10~11 %로 나타나 양호한 물성을 나타냈다.

CaSO_4 의 경우, Na_2CO_3 와 유사한 경향으

로 첨가율 및 소성온도가 높을수록 절건밀도가 증가하고, 흡수율이 20 % 이상으로 높게 형성되어 구조용 경량골재의 용제로는 부적합 것으로 분석되었다. CaCO_3 의 경우에는 소성온도가 1 200 °C일 때, 흡수율이 약 10 %까지 저감되었지만 밀도가 증가하는 것으로 나타났다.

NaOH 를 첨가할 시 소성온도 1 200 °C에서 융착이 발생되었고, 1 150 °C에서 흡수율 5.8 %로 낮게 나타났지만 절건밀도가 1.60 g/cm³로 높아짐에 따라 경량골재의 용제로 사용하기에는 부적절한 것으로 판단된다.

Fe_2O_3 의 첨가에 따른 경량골재의 소성 특성으로는 전반적으로 낮은 Al_2O_3 의 화학성분비로 인하여 높은 소성온도에서 발포되는 것으로 나타났으며, 첨가율 및 소성온도가 증가함에 따라 흡수율은 5 % 이하로 크게 낮출 수 있었지

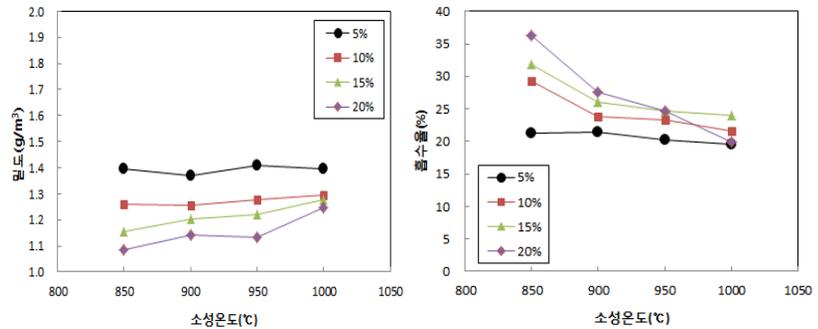


Fig. 3 Density and Water Absorption by adding Na_2CO_3

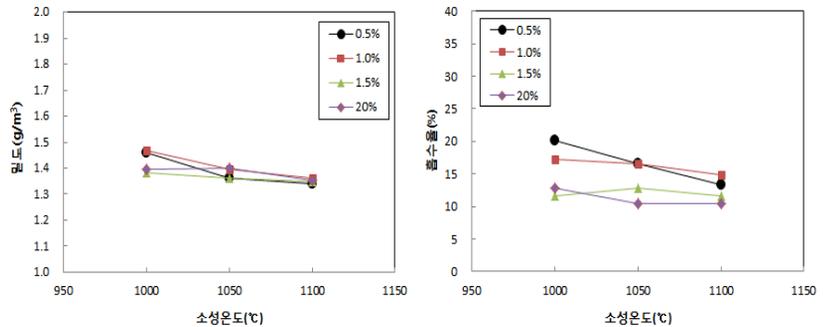


Fig. 4 Density and Water Absorption by adding Na_2SO_4

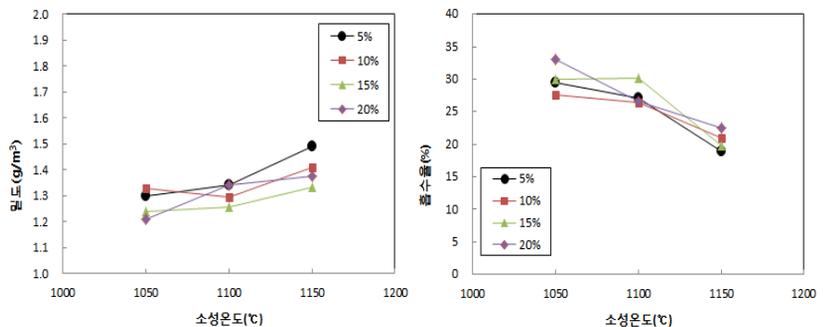


Fig. 5 Density and Water Absorption by adding CaSO_4

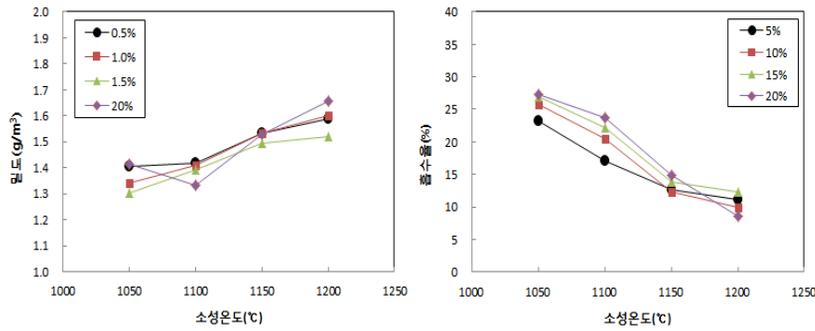


Fig. 6 Density and Water Absorption by adding CaCO₃

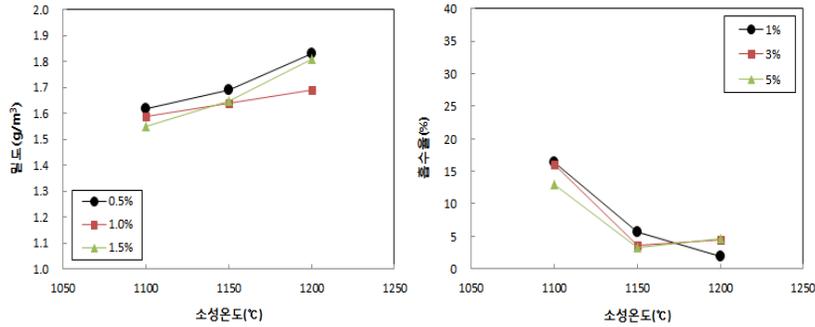


Fig. 7 Density and Water Absorption by adding NaOH

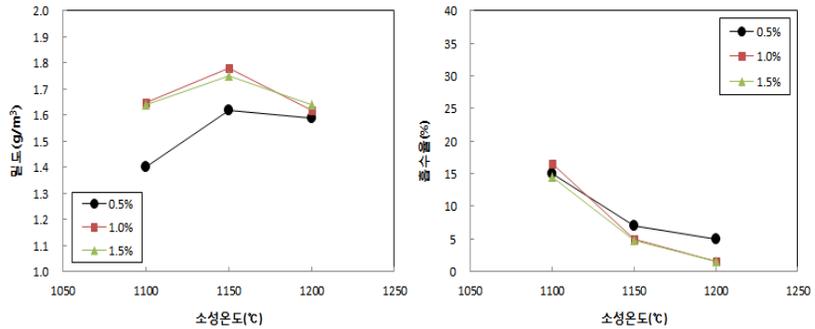


Fig. 8 Density and Water Absorption by adding Fe₂O₃

만, 이는 내부 공극이 감소한 결과로 절건 밀도는 크게 증가하였다.

시리즈 I에 대하여 종합적으로 분석한 결과, 제조된 경량골재의 밀도, 흡수율 및 소성온도를 고려할 때, Na₂SO₄를 첨가하는 것이 경량골재를 제조할 때, 가장 안정된 물성이 발휘되는 것으로 판단된다.

3.2 산업부산물의 용제 활용성 검토

Table 3은 Na₂SO₄ 5% 및 산업부산물 용제의 배합비에 따른 화학조성비를 나타낸 것이다.

부원료의 화학조성에 따라 GS를 부원료 사용하였을 때 SiO₂ 성분이 높게 형성되었고, BS의 경우에는 CaO가 증가하였다. 또한 SS의 경우에는 Fe₂O₃와 CaO가 증가하였는데,

Riley 등이 제시한 발포에 적합한 화학조성 범위에서 크게 벗어나는 조합은 없으나, 주원료의 80%를 차지하는 폐석분이 Al₂O₃/SiO₂의 비가 높고, 발포온도가 높기 때문에 용액의 점성을 낮출 필요가 있어, Fe₂O₃와 CaO의 조성비율이 높은 산화슬래그가 경량화에 유리할 것으로 판단된다.

Fig 9~11은 GS, BS, SS 첨가율별 소성온도에 따른 밀도 및 흡수율을 나타낸 것이다. 각 원료별 소성특성으로, 유리연마슬러지 첨가에 따라서는 1150 °C에서는 용착이 발생하였고 전반적으로 절건 밀도 1.45~1.55 g/cm³, 흡수율 9~12%로 다소 높게 나타났으나 유리연마슬러지의 사용량 및 소성온도 조정으로 경량골재의 밀도 저감이 가능할 것으로 판단되어 추가적인 검토가 필요한 것으로 판단된다. 고로슬래그 미분말의 경우 소성온도 1150 °C에서 경량골재끼리 용착이 발생되어 시리즈 I의 Fe₂O₃보다 낮은 소성온도를 나타내었으나 첨가율이 증가할수록 밀도는 높아지고 흡수율은 낮아지는 동일한 경향으로 나타났다. 특히 절건밀도가 전반적으로 1.60 g/cm³ 이상으로 높게 나타나, 고로슬래그 미분말을 발포제로 사용하기에는 부적절한 것으로 판단된다.

Table 3 Chemical composition ratio according to mix Proportion

용제 종류	배합비				화학조성비(wt.%)							
	BA	SB	Na ₂ SO ₄	Flux	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Ig _{loss}
GS	20	80	5	10	60.0	11.4	2.2	2.3	1.1	3.9	8.3	7.0
	20	80	5	20	60.5	10.6	2.0	2.7	1.3	3.6	8.8	7.1
	20	80	5	30	61.0	9.9	1.9	3.1	1.5	3.3	9.2	7.2
BS	20	80	5	10	56.9	12.6	2.2	5.5	1.2	3.9	7.5	6.3
	20	80	5	20	54.9	12.7	2.1	8.5	1.6	3.6	7.4	5.8
	20	80	5	30	53.1	12.8	1.9	11.0	1.9	3.4	7.2	5.3
SS	20	80	5	10	55.6	12.4	4.7	3.7	1.4	3.9	7.6	6.3
	20	80	5	20	52.6	12.4	6.6	5.2	2.0	3.6	7.5	5.8
	20	80	5	30	50.0	12.4	8.3	6.5	2.4	3.3	7.4	5.3

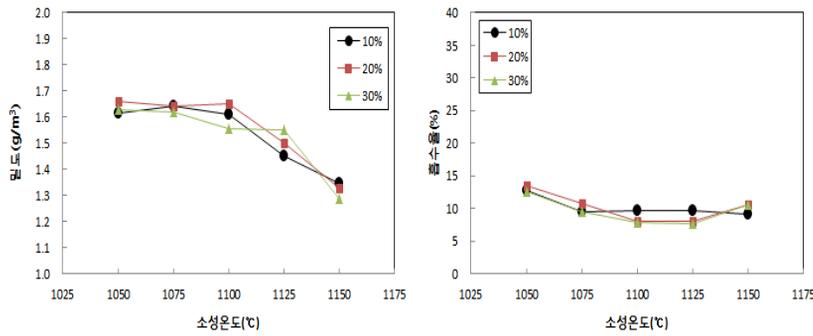


Fig. 9 Density and Water Absorption by adding GS

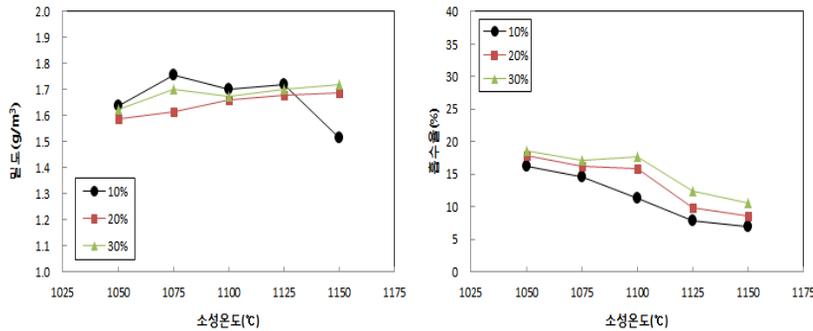


Fig. 10 Density and Water Absorption by adding BS

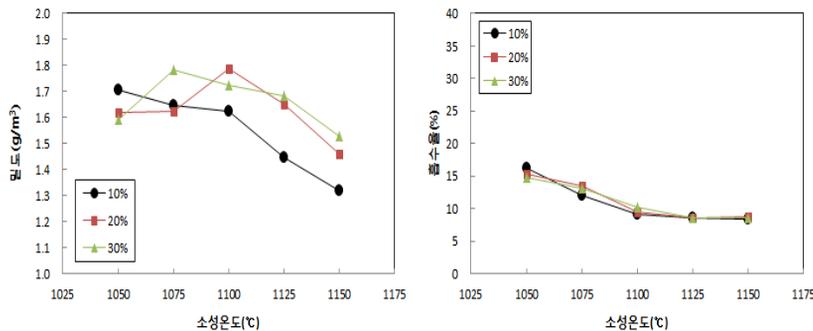


Fig. 11 Density and Water Absorption by adding SS

SS를 첨가함에 따라 전반적으로 소성온도가 증가할수록 절건밀도와 흡수율은 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 노 내 분위기 상 산소의 공급이 충분하여 산화 분위기에 가깝기 때문에 경량골재 입자 표면에 일정 두께의 산화피막이 생성되어 흡수율 저감이 가능한 것으로 분석된다.

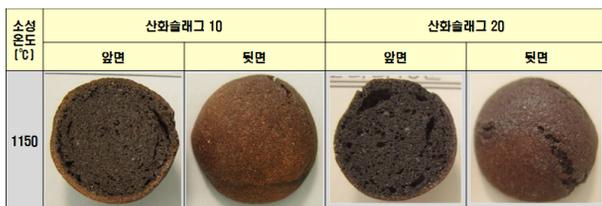


Fig 12. Shape of Artificial Lightweight Aggregates

또한 SS 첨가량이 증가할수록 입자 내부의 발포 현상으로 내부 용액이 팽창하여 외부 산화 피막을 파열시켜 입자 외부에 균열이 생성되었다. 전반적인 경량골재의 물성은 1.35~1.65 g/cm³, 흡수율 8~10 %를 나타내었다. 또한, 소성온도 1075, 1100 °C에서 절건밀도 1.60 g/cm³로 높았으나, 소성온도 1125, 1150 °C에서는 산화슬래그 혼입율이 증가할수록 낮은 절건밀도와 흡수율을 나타내었다. 이는 산화슬래그의 혼입비가 증가할수록 Table 3과 같이 Fe₂O₃와 CaO의 화학조성비가 증가하여 소성 시, Fe₂O₃의 산화작용으로 인한 O₂가스의 발생과 CaO의 성분 증가에 의한 용점 저하로 보다 낮은 온도에서 액상이 생성되어 발포와 표면의 치밀화⁷⁾가 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다.

특히, 산화슬래그 10 %, 소성온도 1150 °C에서 산화피막이 얇고 내부 용액의 점성과 발포량이 적절하였기 때문에 Fig 12와 같은 절건밀도 1.46 g/cm³, 흡수율 8.5 %로 낮은 절건밀도와 낮은 흡수율을 갖는 양질의 인공경량골재를 제조할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 폐석분 및 바텀애시를 활용한 인공경량골재의 밀도 및 흡수율 개선을 위하여 다양한 종류의 용제에 대하여 검토하였는데, 그 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 용제 종류 및 첨가량에 따른 경량골재의 특성으로, Na₂CO₃ 및 CaSO₄는 낮은 소성온도에서 제조가 가능하지만 흡수율이 20 % 이상으로 나타나 구조용 경량골재의 용제로는 부적합 하였다. Na₂SO₄의 경우에는 절건밀도가 1.35~1.50 g/cm³, 흡수율 10~11 %로 나타나 양호한 물성을 나타내었고, CaCO₃는 소성온도가 1200 °C일 때, 흡수율이 약 10 %까지 저감되었지만, 밀도가 증가하는 것으로 나타났다. NaOH는 1150 °C에서 흡수율 5.8 %로 낮은 흡수율을 나타내었지만 절건밀도가 1.60 g/cm³로 높아짐에

따라 경량골재의 용제로 사용하기에는 부적절한 것으로 판단된다. Fe₂O₃는 첨가율 및 소성온도가 증가함에 따라 흡수율은 5 % 이하로 크게 낮출 수 있었지만, 절건 밀도는 증가하였다.

(2) 산업부산물의 용제 활용에 관한 검토로서, 유리연마 슬러지는 1 150 °C에서는 용착이 발생하였고 절건밀도 1.45~1.55 g/cm³ 및 흡수율 9~12 %로 흡수율이 다소 높게 나타났다. 고로슬래그 미분말의 경우에는 소성온도 1 150 °C에서 경량골재끼리 용착이 발생되어 낮은 소성온도를 나타내었고, 첨가율이 증가할수록 흡수율은 낮아졌으나 밀도가 1.60 g/cm³ 이상으로 높게 나타났다. SS를 첨가함에 따라 소성온도가 증가할수록 절건밀도와 흡수율은 낮아지는 것으로 나타나 전반적으로 밀도 1.35~1.65 g/cm³, 흡수율 8~10 %의 범위로 나타났다. 특히, 산화슬래그 10 %, 소성온도 1 150 °C에서 절건밀도 1.46 g/cm³, 흡수율 8.5 %인 양질의 인공경량골재를 제조할 수 있었다.

이상을 종합하면, 주원료를 폐석분과 바텀애시를 사용하는 인공경량골재 제조시 Na₂SO₄ 및 전기로 산화슬래그를 사용 원료의 화학조성에 따라 용제로 적정량 활용함으로써 절건밀도 1.5 g/cm³ 이하, 흡수율 10 % 이하의 고품질 경량골재 제조가 가능한 것으로 나타났다.

참고문헌

1) Satish Chandra and Leif Berntsson, Lightweight Aggregate Concrete : Science, Technology and Applications, Noyes Publications, 2003, pp.168~190.
 2) Riley, C. M. "Relation of Chemical Properties to the

Bloating of Clays", Minnesota Geological Survey, Summary Report No 5, July, 1950.
 3) J. Pan, H. N. Ch'ng and A. C. F. Cocks, "Sintering kinetics of large pores., Mechanics of Materials, pp. 705~721, 2005
 4) T. Kamiho, Patent 2000-272942, Method of Artificial light-weight aggregate, Japan, pp1~4, 2000.
 5) T. Chounan, Patent 11-335146, Method of artificial lightweight aggregate and lightweight aggregate obtained from this method, Japam, pp.1~51, 1999.
 6) 윤섭 외 3인, 석분토와 바텀애시를 이용한 인공경량골재 제조, 한국콘크리트학회 추계학술발표회 논문집, 제 20권 2호, 2008.11, pp. 381~384
 7) 정현희, 국내 인공경량골재 원료 자원의 화학적 및 열팽창 특성에 관한 연구, 충남대학교 박사학위 논문, 1997.
 8) 소양섭 외 3인, "성형장치에 따른 PSA 소성 경량골재의 품질", 대한건축학회 학술발표논문집, 제 20권 2호, 200.10, pp 387~390.
 9) 소양섭 외 2인, "제조 조건에 따른 구조체용 소성 경량골재의 품질 특성", 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제 12권 2호, 2000.11, pp. 339~344.
 10) 추용식, 유리연마 폐슬러지를 재활용하여 제조한 다공성 소재의 기공 구조와 물리적 특성, 한양대학교 박사학위 논문, 2007.

폐석분 및 바텀애시를 사용한 인공경량골재의 용제(Flux) 종류에 따른 밀도 및 흡수율 특성

본 연구에서는 인공경량골재의 주요 물성인 밀도 및 흡수율의 성능 향상을 위하여 용제 종류 및 첨가율에 따른 밀도 및 흡수율 특성을 검토하였다. 실험결과, 화학제품의 용제 사용에 관한 특성으로, Na₂CO₃ 및 CaSO₄는 경우 낮은 소성온도에서 소성이 가능하나, 흡수율이 증가하였고, CaCO₃, NaOH, Fe₂O₃는 첨가율이 증가할수록 흡수율은 낮아졌으나, 절건밀도가 높아지는 것으로 나타나 용제로서 부적합하였다. Na₂SO₄의 사용한 경우에는 절건밀도 1.35~1.50 g/cm³와 상대적으로 낮은 흡수율로 용제로서 가장 적합하였다. 산업부산물의 용제 사용에 관한 특성으로 유리연마 슬러지는 절건밀도 1.45~1.55 g/cm³ 및 흡수율 9~12 %로 흡수율이 높게 나타났다. 고로슬래그 미분말은 첨가율이 증가할수록 밀도는 높아지고 흡수율은 낮아지는 것으로 나타났다. 산화슬래그는 첨가율 10 %에서 절건밀도 1.46 g/cm³, 흡수율 8.5 %로 낮은 절건밀도와 흡수율을 갖는 양질의 인공경량골재를 제조할 수 있었다.