

석분토와 바텀애쉬를 이용한 인공경량골재 제조

Manufacturing of Artificial Lightweight Aggregate using Stone-Dust and Bottom Ash

윤 섭*
Yoon, Seob

김정빈**
Kim, Jung Bin

정 용***
Jeong, Yong

김양배****
Kim, Yang Bea

ABSTRACT

The artificial lightweight aggregate was manufactured using stone-dust(SD) and bottom ash(BA) from crushed aggregate manufacture process and thermoelectric power plant respectively. The properties of artificial lightweight aggregate according to mixing ratio of SD and BA was that the density was decreased and the absorption was increased with increasing BA content, because bottom ash was contained many unburned carbon and Fe_2O_3 which generates gas by oxidation during a sintering process. The appropriate mixing ratio of SD and BA was estimated at about 5:5. The properties of artificial lightweight aggregate according to addition flux admixture was that it had lower density with increasing of Na_2SO_4 content. In this study, we could developed the artificial lightweight aggregate as the bulk density was $1.52g/cm^3$ and water absorption 7.3% under the condition that mixing ratio of SD:BA was 5:5, Na_2SO_4 , Fe_2O_3 1%, sintering temperature $1,150^\circ C$ and sintering time 15mins.

요 약

부순골재 생산과정에서 발생하는 석분토와 화력발전소에서 발생하는 Bottom ash를 이용한 인공경량골재의 물리·화학적 특성을 분석하여 콘크리트용 인공경량골재의 사용여부를 검토하였는데, 그 결과는 다음과 같다. 석분토(이하 SD)와 Bottom ash(이하 BA)의 혼입비율에 따른 인공경량골재의 특성으로는 BA의 혼입비율이 커질수록 미연탄소와 Fe_2O_3 의 함량 증가로 인해 소성 시 가스 발생량이 증가하여 밀도는 낮아지고 흡수율은 증가하는 것으로 나타났는데, 화학조성상 적절한 혼합비율은 SD : BA = 5:5 내외일 것으로 판단된다. Flux제 첨가에 따른 인공경량골재의 특성으로는 Na_2SO_4 첨가율이 증가할수록 밀도는 낮아졌다. 이에 본 연구범위내에서는 SD: BA = 5:5, Na_2SO_4 2%, Fe_2O_3 1%, 소성 온도 $1,150^\circ C$, 소성시간 15분에서 밀도 $1.52g/cm^3$, 흡수율 7.3%의 인공경량골재를 개발할 수 있었다.

* 정회원, (주)삼표 기술연구소 연구원

** 정회원, (주)삼표 기술연구소 책임연구원

*** 정회원, (주)삼표 기술연구소 수석연구원

**** 정회원, 삼표이앤씨(주) 교량기술연구소 소장

1. 서 론

2007년 기준으로 국내 전기생산량의 37%는 석탄을 원료로 하는 화력발전소에 의존하고 있는 실정으로 전력 생산 후 발생하는 석탄재는 전국적으로 600만톤 이상 발생하고 있다. 그 중 Fly ash는 콘크리트 혼화재로 거의 대부분 재사용되고 있지만(전체 석탄재 발생량 중 80%) 바텀애쉬(Bottom ash : 전체 석탄재 발생량 중 20%)는 그 물성이 열악하여 거의 대부분 매립되고 있으나 그나마 매립에 한계가 있다. 또한 부순골재 생산과정에서 발생하는 석분토도 골재 생산량의 약 20~30% 정도 발생되나 적절한 재활용 방안을 찾지 못하여 단순 매립되고 있어 석분토와 Bottom ash의 재활용에 관한 연구가 시급한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 화력발전소에서 발생하는 Bottom ash와 부순골재 생산시 발생하는 석분토를 주 원료로한 인공경량골재를 제조하기 위하여 Bottom ash와 석분토의 혼합비율 변화에 따른 화학 조성 및 소성특성을 분석한 후 최적 혼합비를 구한 다음, 그 혼합물에 Fe_2O_3 와 Na_2SO_4 첨가율을 변화시켰을 때의 소성특성을 비교 분석하여 콘크리트 구조용 인공경량골재를 제조하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

표 1은 석분토(이하 SD)와 Bottom ash(이하 BA) 혼합비율 및 첨가체(Na_2SO_4 , Fe_2O_3)를 이용한 인공경량골재의 소성특성에 관한 실험계획으로써, 시리즈 I 과 II로 나누어 실험하였다.

먼저, 시리즈 I 에서는 SD, BA의 혼합비율 및 소성온도에 따른 경량골재의 물성변화에 대하여 실험하였다. SD와 BA의 혼합비율은 2:8, 4:6, 6:4, 8:2의 4수준으로 변화시키고, 소성온도는 1,000, 1,050, 1,100, 1,150, 1,200의 5수준으로 변화시켜 실험계획하였는데, 이때 소성시간은 15분으로 하였다. 측정 항목으로는 절건밀도, 흡수율을 실험방법에 따라서 측정하도록 하였다. 시리즈 II는 경량골재 제조 시 소성온도를 낮추고 발포성능 향상과 표면 조직을 치밀화 시켜 밀도와 흡수율을 낮추기 위한 실험으로써, 용제 성격이 강한 Na_2SO_4 를 실험계획과 같이 첨가율을 2, 3, 4%의 3수준으로 변화시키고 발포제 성격이 강한 Fe_2O_3 를 첨가율 1%의 1수준으로 고정시켰다. 이때 소성온도는 1,050, 1,075, 1,100, 1,125, 1,150의 5수준으로 변화시켜 실험계획 하였는데, 모든 배치에서 소성시간은 15분으로 고정시켰다. 측정 항목은 절건밀도, 흡수율을 측정하였다.

2.2 사용재료

본 연구에서 사용된 SD는 경기도 양주의 부순골재 생산업체에서 발생하는 것이고, BA는 충남 당진군에 위치한 화력발전소의 것을 사용하였는데, 그 화학조성은 표 2와 같다.

2.3 실험방법

SD과 BA는 발생과정에서 습윤상태이기 때문에 각각의 재료를 건조로에서 약 24시간 이상 완전 건조를 시킨 다음 불밀을 이용하여 $100\mu m$ 이하로 분쇄하였다. 이렇게 분쇄한 원료를 표 1의 비율로 개량

표 1 실험계획

시리즈	SD:BA	Flux 첨가율(%)		소성 온도 (°C)	소성 시간 (min)	측정항목
		Na_2SO_4	Fe_2O_3			
I	2 : 8	0	0	1,000	15	· 밀도 · 흡수율
	4 : 6			1,050		
	6 : 4			1,100		
	8 : 2			1,150		
				1,200		
II	5:5	2, 3, 4	1	1,050	15	· 밀도 · 흡수율
				1,075		
				1,100		
				1,125		
				1,150		

표 2 SD와 BA의 화학성분(wt.%)

구분	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	C
SD	60.5	16.2	3.27	3.52	0.95	4.84	3.73	0
BA	47.6	21.2	9.75	2.94	1.45	1.05	1.07	10.9

한 후 균일하게 혼합하고 원통형 펠레타이저로 성형체를 제조하였다. 제조된 성형체는 다시 건조로에서 105℃ 24hr 이상 건조 후 소성하였다.

표 3 SD, BA의 혼합비율에 따른 화학조성(wt.%)

SD	BA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
2	8	50.2	20.2	8.5	3.1	1.4	1.8	1.6
4	6	52.8	19.2	7.2	3.2	1.3	2.6	2.1
6	4	55.3	18.2	5.9	3.3	1.2	3.3	2.7
8	2	57.9	17.2	4.6	3.4	1.1	4.1	3.2

3. 실험결과 및 분석

3.1 SD와 BA의 혼합비율에 따른 소성특성 (시리즈 I)

표 3은 SD와 BA의 혼합 비율에 따른 화학조성을 나타낸 것이다. 먼저, 표 2에 나타낸 SD의 주성분이 SiO₂와 Al₂O₃로 각각 60.5%와 16.2% 존재하고 Fe₂O₃는 3.27%로 인공경량골재를 제조하기에 약간 적은 것을 알 수 있었다. 한편 BA도 주성분이 SiO₂와 Al₂O₃로 각각 47.7%, 21.2% 존재하고 있으며, Fe₂O₃는 9.75%로 SD에 비하여 약간 높은 편으로 나타났다. 특히 미연탄소(C)가 10.9%로 높게 나타났다. 일반적으로 C는 소수성이므로 C 함량이 높은 원료 혼합물은 물과 균일한 혼합이 불리한 점이 있는 반면, 소성과정에서 C가 연소하여 CO₂ 가스를 발생시키는 것과 피소성체 내부의 분위기를 경량화에 유리하게 하는 장점이 있다.

SD와 BA의 혼합비율에 따른 화학조성은 BA의 혼합비율이 커질수록 Fe₂O₃의 조성비율은 적어지고 미연탄소의 조성비율은 커지는 것으로 나타났다. 또한 K₂O와 Na₂O의 조성비율도 커지는 것으로 나타났다. 일반적으로 알려진 인공경량골재의 제조하기 위한 화학 조성(Riley C. M의 발표에 적합한 화학 조성) 범위는 SiO₂ 52~80%, Al₂O₃ 10~25%, Fe₂O₃ 5~10%, CaO와 MgO 0~5%, K₂O와 Na₂O 3~4%이다. 그러므로 화학조성만 본다면 SD와 BA의 적절한 혼합비율은 SD : BA = 5:5 내외일 것으로 판단된다.

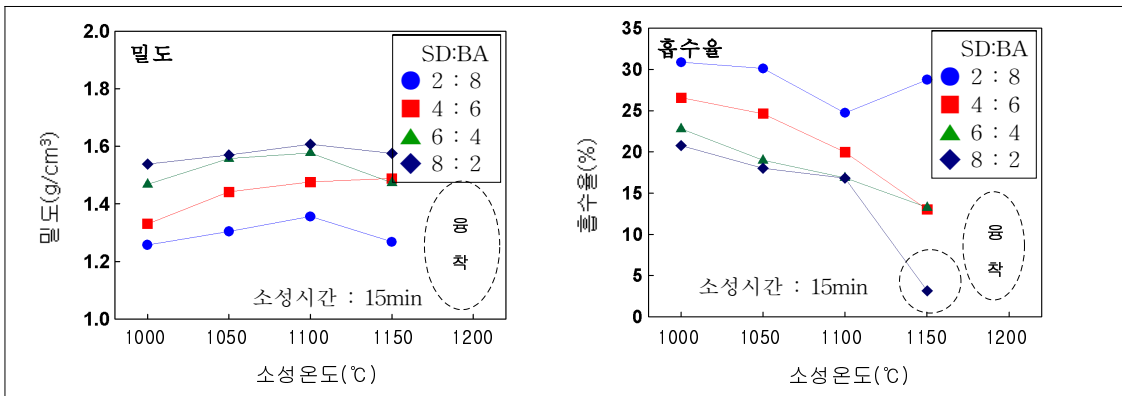


그림 1 SD, BA 비율별 소성온도에 따른 경량골재의 물성(1시리즈)

그림 1은 SD와 BA의 혼합비율별 소성온도에 따른 경량골재의 소성특성을 나타낸 것이다. 먼저, 소성온도에 따른 특성으로는 소성온도가 높아질수록 인공경량골재내의 블랙코아 부분의 증가로 인해 밀도는 높아지고 흡수율은 낮아졌는데, 특히 1,200℃에서 융착이 발생되었다.

SD, BA의 혼합비율에 따라서는 BA의 혼합비율이 높아질수록 밀도는 낮아지는 것으로 나타났다. 이는 BA의 혼합비율이 높아질수록 Fe₂O₃의 조성비율이 높아져 소성시 O₂ 가스 발생량을 증가시켜 골재 내부에 미세한 기포를 분포시키기 때문인 것으로 판단된다. 흡수율은 BA의 혼합비율이 높아질수록 크게 나타났는데, 이는 미연탄소로 인하여 성형성이 좋지 않고 소성시 CO₂ 가스발생량이 많아져서 성형체 표면에 미세한 균열이 발생하기 때문에 흡수율이 크게 나타나는 것으로 생각된다.

3.2 Flux제 첨가에 따른 인공경량골재의 소성 특성(2 시리즈)

그림 2는 SD와 BA의 혼합비율을 5:5, Fe₂O₃ 1%를 고정시킨 후 Na₂SO₄ 첨가율별 소성온도 변화에 따른 인공경량골재의 소성특성을 나타낸 것이다. 먼저, SD와 BA만으로 혼합할 경우 가스 발생 온도와 용융온도가 일치하지 않아 인공경량골재 표면이 치밀화되지 못하여 흡수율이 13%이상으로 나타내었으므로, 골재의 가스 발생 온도와 연화점(액상 생성온도)을 낮추고 그 범위를 넓혀주기 위하여 Na₂SO₄ 첨가율을 변화시켰다. 그 결과, Na₂SO₄ 첨가율이 증가할수록 인공경량골재의 연화점이 낮아져 2%에서는 1150℃까지 인공경량골재의 융착이 발생하지 않으나, 4%에서는 1125℃ 이상에서 융착이 발생하였다. 이는 Na₂SO₄ 첨가율이 증가할수록 연화점은 낮아지나 연화점과 융착점의 폭이 좁아져서 경량화가 용이하지 못한 것으로 보이므로 Na₂SO₄의 적정 사용량은 2%인 것으로 판단된다. 이에 본 연구범위에서는 SD: BA = 5:5, Na₂SO₄ 2%, Fe₂O₃ 1%, 소성온도 1,150℃, 소성시간 15분에서 밀도 1.52g/cm³, 흡수율 7.3%의 인공경량골재를 개발할 수 있었다.

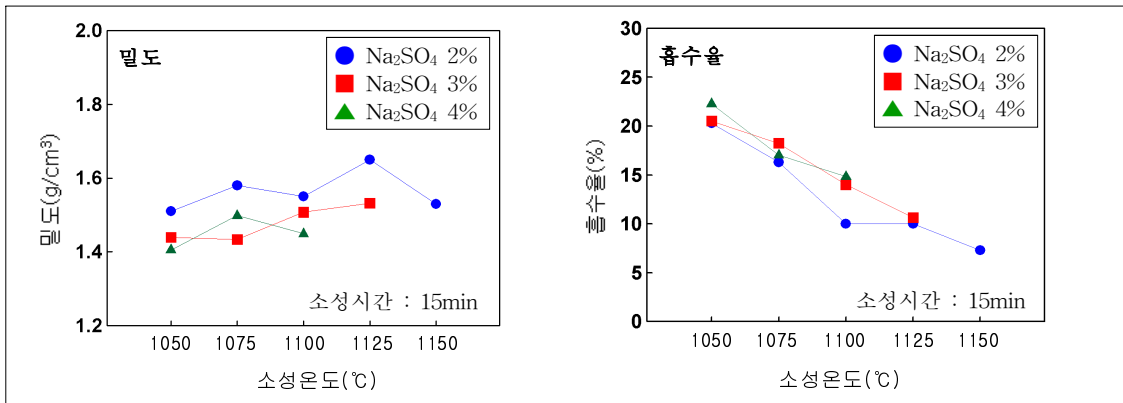


그림 2 Na₂SO₄ 첨가율별 소성온도 변화에 따른 경량골재의 물성 (2시리즈)

4. 결론

본 연구는 Bottom ash와 석분토를 이용한 인공경량골재의 물리·화학적 특성을 분석하여 콘크리트용 인공경량골재의 사용여부를 검토하였는데, 그 결과는 아래와 같다.

(1) SD와 BA의 혼합비율에 따른 인공경량골재의 특성으로는 BA의 혼합비율이 커질수록 미연탄소와 Fe₂O₃의 함량 증가로 인해 소성 시 가스 발생량이 증가하여 밀도는 낮아지고 흡수율은 증가하는 것으로 나타났는데, 화학조성상 적절한 혼합비율은 SD : BA = 5:5 내외일 것으로 판단된다.

(2) Flux제 첨가에 따른 인공경량골재의 특성으로는 Na₂SO₄ 첨가율이 증가할수록 밀도는 낮아졌으나, 골재의 연화점과 융착점의 폭이 좁아져서 경량화에 불리하므로 Na₂SO₄ 2%가 적정 첨가량인 것으로 판단된다. 이에 본 연구범위내에서는 SD: BA = 5:5, Na₂SO₄ 2%, Fe₂O₃ 1%, 소성온도 1,150℃, 소성시간 15분에서 밀도 1.52g/cm³, 흡수율 7.3%의 인공경량골재를 개발할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 에너지관리공단에서 지원한 2007년도 에너지·자원 기술개발사업의 연구비에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.