

# 소성조건 변화에 따른 하수슬러지와 석탄회를 이용한 비구조용 경량골재의 품질 특성

## Quality Characteristic of lightweight aggregate using sewage sludge and fly-ash for non-structural concrete under different condition

김 득 모\*      문 경 주\*\*      소 양 섭\*\*\*  
Kim, Dug Mo      Mun, Kyoung Ju      Soh, Yang Seob

### ABSTRACT

The purpose of this study is recycling of sewage sludge and fly-ash. In this experiment, green aggregates, which is a mixture of sewage sludge and clay and fly-ash, with different content of sewage sludge (up to 80 wt%). Then they were burned in different soak temperatures from 1190°C to 1290°C with changed soak time and heating rate at 5, 7, 10 minutes and 20°C/min, 30°C/min respectively in order to produce lightweight aggregate (LWA). Data of both experiment series were generated to evaluate the quality of LWA as well as the relationship between burning condition and product's quality.

### 1. 서론

하·폐수 처리장에서 발생하는 슬러지는 산업의 발달 및 인구의 증가와 특히 최근에는 수질환경 개선사업의 확대에 인하여 1997년 이후 매년 3% 이상의 증가를 보이고 있다. 발생된 슬러지는 함수율이 80% 이상이기 때문에 매립, 소각, 재활용 등에 있어서 커다란 어려움을 겪고 있다. 특히 2003년 6월 이후 직매립이 전면 금지되어 현재 배출된 하수슬러지의 대부분을 해양투기하고 있는 실정이나 2005년 이후에는 런던협약에 의해 해양투기마저도 금지될 상황에 놓여있어 이의 처리방안 마련이 절실히 요구되고 있다. 그러나 하수슬러지의 처리방식 중 유동층소각로가 사용되고 있으나 이는 환경오염 문제와 값비싼 처리비용의 문제점을 가지고 있다. 현재 국내의 몇 곳에서는 하수슬러지의 건조설비를 갖추고 있으나 건조된 하수슬러지도 마땅히 사회적 인식 등의 문제로 인하여 활용처를 찾지 못하고 있는 실정이다. 본 연구는 하수 슬러지의 효과적인 처리와 동시에 고부가성 경량골재의 제조 가능성을 평가하기 위한 것이다. 경량골재 제조시 하수슬러지를 혼입할 경우 유기물 성분의 발열에 의해 내부에서 가스가 발생되어 순간적으로 용융·발포를 일으키기 때문에 기존 소성 경량골재에 비해 비중과 소성에너지를 현저하게 낮출 수 있다. 본 논고에서는 하수슬러지를 이용하여 경량골재를 제조함에 있어 슬러지의 혼입율, 소성온도 및 소성시간에 따른 골재의 소결특성을 검토하고 점결제로서 가장 널리 사용되는 점토 대신 활용도가 미흡한 무연탄 화력발전소 플라이애시를 일정량 치환 사용함으로써 천연광물인 점토의 절약과 동시에 경제성을 확보하고자 하였으며 플라이애시의 혼입에 따른 경량골재의 기본적인 물성 및 품질정도를 파악하고자 하였다

\* 정희원, 전북대학교 공업기술연구소 연구원, 공학박사

\*\* 정희원, 지오콘머테리얼(주) 상무이사

\*\*\* 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공학박사

## 2. 실험개요 및 방법

### 2.1 사용재료

하수 슬러지는 K시의 하수처리장에서 건조된 상태의 것을 채취하였고, 점토는 K군의 인근 토양에서 채취하였으며 플라이에서는 무연탄을 연료로 사용하는 D화력의 것을 사용하였다. 점토는 균질한 혼합을 위해 건조 후 50mesh로 이하로 분쇄하여 사용하였다. 플라이에서는 배출된 상태의 것을 그대로 사용하였다. 사용재료의 물리적 성질 및 구성성분은 표 1과 같다

표 1 사용재료의 물리적 성질 및 화학적 구성성분

Material	Organic compound contents (%)	Chemical composition of ignited materials (%)									
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Sewage sludge	69.82	13.98	5.42	0.29	2.48	0.72	2.71	0.00	0.72	0.05	3.81
Clay	8.55	61.11	20.35	1.17	6.29	0.76	0.22	0.02	2.02	0.06	0.07
Fly ash	15.47	40.99	26.79	1.75	4.38	0.75	6.04	0.00	3.72	0.04	0.35

### 2.2 골재의 제조 및 시험

경량골재 제조는 표 2와 같이 배합하였으며 이때의 혼합방식은 건조된 분체형 재료를 건비법 후 순환형 롤러 압축혼합기에 투입 후 2차혼합을 실시하였다. 압출성형방식을 사용하여 직경 5mm 직경으로 압출시키고, 직경과 동일한 직경크기로 절단하여 회전 드럼에서 굴러 완전 구형으로 성형한 다음 성형체를 건조시키고, 건조된 성형체를 온도 950℃의 전기로에 투입하였다. 승온속도는 분당 20℃, 30℃의 비율로 변화하였고, 5분간 배합에 따라 1190℃~1290℃의 범위에서 소성된 후 950℃가 될 때까지 노내에서 유지시킨 뒤에, 대기 중에 방출시켰다. 소성된 골재는 충격률과 흡수율, 비중 등의 실험을 시행하였으며 SEM촬영을 통하여 내부의 미세구조를 관찰하였다.

표 2 경량골재의 배합비

Material	Mixing proportion(%)			
Sewage sludge	75	70	60	50
Clay	25	30	20	20
Fly-ash	-	-	20	30

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 승온속도와 비중과의 관계

그림 1은 배합비에 따라 승온속도가 20℃/min일 때 1190℃와 1290℃ 사이에서 소성된 골재의 온도 증가에 따른 비중차이를 보여주는 그래프이다. 슬러지 함유율이 70~75%의 골재에서는 1230~1270℃에서 비중이 1.0이하로 나타나는 것을 살펴볼 수 있다. 그러나 슬러지 함유율 50%와 60%에서는 내부발열물질이 상대적으로 적어 소성온도의 상승을 가져왔으며 대체로 소성온도가 높을수록 비중이 저감하는 것을 볼 수 있다. 그림 2의 승온속도 30℃/min일 때는 슬러지 함유율이 70~75%의 골재가 1250℃에서부터 용융이 일어나는 것을 볼 수 있다. 이는 유기물 함량이 높을 경우 외부에서 급열과 동시에 내부의 유기물의 발열에 의해 골재 내부로의 열전달이 제대로 이루어져 소성시간의 단축 및 소성온도를 낮출 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 슬러지 함유율 50%, 60%를 살펴보면 승온속도가 증가하면서부터 비중이 점차 증가하는 것을 볼 수가 있는데 이는 상대적으로 유기물 함량이 낮을 경우 외부에

서 급열을 할 경우 내부까지 열전달이 제대로 이루어지지 못하여 적당한 점성을 갖기 전에 내부가스가 외부로 방출되기 때문에 해석된다.

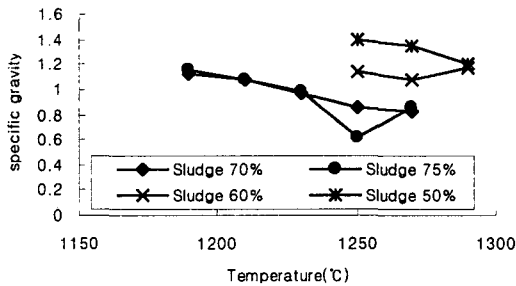


그림 1 승온속도 20°C일 때의 온도와 비중변화

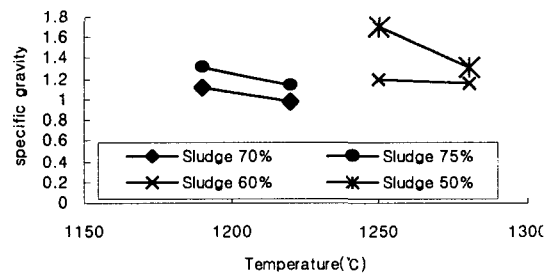


그림 2 승온속도 30°C일 때의 온도와 비중변화

### 3.2 소성시간과 비중의 관계

아래의 그림 3과 그림 4는 20°C/min의 승온속도를 가질 때 소성시간의 변화에 따른 비중을 나타내고 있다. 슬러지 70%의 경우 1250°C 이하의 온도에서는 소성시간과의 영향을 많이 받으나 1250°C 이상부터는 소성시간대의 변화에 따른 영향이 거의 적은 것으로 나타났다. 슬러지 75%의 경우 1230°C에서는 소성시간에 관계없이 유사한 비중값을 보였으나 이외의 온도에서는 소성시간에 따라 비중차이가 발생함을 확인할 수 있다. 이 현상은 내부의 가스발생 정도를 소성온도와 시간을 조절할 수 있다는 것으로 소성온도를 상승시키지 않아도 소성시간의 증가를 통해서 목표하는 비중을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

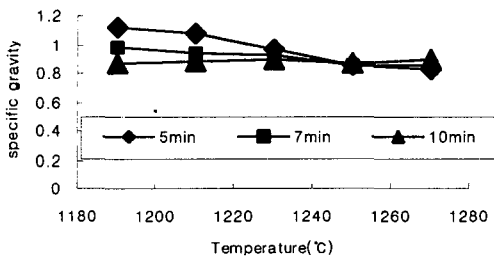


그림 3 슬러지 70%일 때의 소성시간변화에 따른 비중

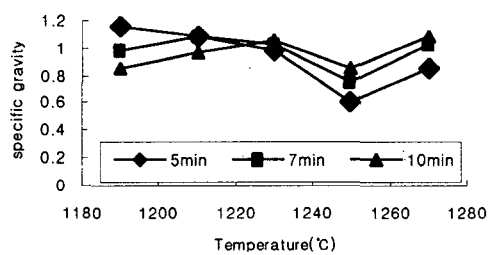
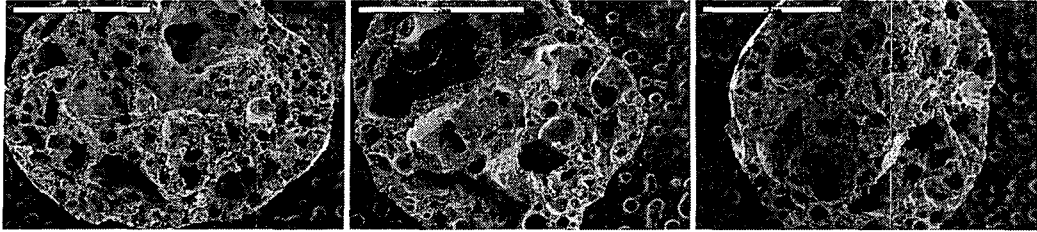


그림 4 슬러지 75%일 때의 소성시간변화에 따른 비중

### 3.3 골재내부관찰

그림 5는 슬러지 혼입율에 따른 골재 내부의 전자현미경 사진이다. 승온속도 20°C에서 최적의 발포를 일으킬 수 있도록 타입별로 소성온도와 소성시간을 변화시킨 것으로서 골재 내부의 유기물 연소 및 이에 따른 가스발생에 의해 큰 기공의 성장이 두드러져 보이고 있음을 볼 수 있다. 슬러지 60%일 때의 소성조건은 1290°C에서 7분간 소성했을 때의 모습이며 슬러지 70%와 75%일 때의 소성조건은 1250°C에서 5분간 소성했을 때의 모습이다. 슬러지 60%일 때는 유기물 함량이 상대적으로 감소하여 소성온도 및 소성시간을 다소 증가시키므로써 다공질의 공극 형성이 가능하였다. 플라이애시의 혼입은 미연소 탄소분을 다량 함유하였음에도 불구하고 소성온도 및 소성시간을 다소 증가시키지만 슬러지의

혼입율이 높은 골재를 제조할 경우 저가의 점결제로서 점토를 일부 대체할 수 있으리라 판단되었다.



슬러지 60%

슬러지 70%

슬러지 75%

그림 5 골재내부의 SEM사진

### 3.4 유형별 골재의 충격파쇄율

표 3은 골재의 배합에 따른 충격파쇄율을 나타내고 있다. 골재의 충격 파쇄율은 골재 비중과는 상관 없이 슬러지 혼입율의 증가에 따라 점차 감소하는 경향을 나타내고 있다. 특히 플라이애시의 혼입은 골재의 강도를 증가시키는데 매우 효과적임을 알 수 있다. 흡수율의 결과를 살펴보면 대체로 슬러지 혼입율이 많을수록 흡수율이 증대하나 슬러지 60%와 50%에서 흡수율이 증대한 이유는 기체의 방출로 인한 열린 공극의 형성으로 생각된다.

표3. 배합에 따른 골재의 충격 파쇄율

Type	sludge content 75%	sludge content 70%	sludge content 60%	sludge content 50%
impact-crushing(%)	44.51%	42.77%	37%	33%
density	0.61	0.85	0.98	1.2
water absorption(%)	17.02	16.42	21.43	18.00

## 4. 결론

- 1) 슬러지의 혼입율이 높은 골재에서는 1230℃에서 1270℃부근에서 소성되나 슬러지의 혼입율이 감소할수록 소성온도는 상승되어야 한다.
- 2) 슬러지의 혼입율이 높은 골재의 소성 시 승온속도의 상승은 유리하나 슬러지의 혼입율이 낮은 골재에서의 승온속도 상승은 내부까지 열전달이 제대로 이루어지지 못하여 불리하다.
- 3) 내부의 가스발생 정도를 소성온도와 시간을 조절할 수 있다는 것으로 소성온도를 상승시키지 않아도 소성시간의 증가를 통해서 목표하는 비중을 도출할 수 있으나 과도한 소성시간은 골재의 비중을 상승시키는 역할을 한다.
- 4) 플라이애시의 혼입은 골재의 강도를 높이는 효과가 있으며 점토를 일부 치환하여 사용이 가능하다.

### 감사의 글

본 연구는 건교부 “건설핵심기술개발사업”의 연구비로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. P.T. Quyen, G.J. Mun, Y.S. Soh, "Manufacturing lightweight aggregate uses high content of sewage sludge for non-structural concrete" Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol 15, No 2, 2003.11, pp. 124-127.
2. 이정재, 도시쓰레기 소각재를 이용한 인공경량골재의 제조에 관한 연구, 전북대학교 대학원석사학위논문