

하수슬러지 인공경량골재 제조를 위한 무기계 폐기물의 점결제 적용성 평가

Applicability of inorganic waste as binder at manufacturing of Light weight aggregates using high content sewage sludge

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 to efficiently treat the sewage sludge discharged from sewage treatment plants and evaluate the feasibility of the manufacture of lightweight aggregates(LWA) using a large quantity of sewage sludge and inorganic waste binder (fly-ash, waste-stone, tailing, phosphogypsum). Then they were burned in different soak temperatures from 1190°C to 1290°C with fixed soak time and heating rate at 5 minutes and 20°C/min respectively in order to produce lightweight aggregate (LWA). Experiment 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 합수율이 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 플라이애쉬와 석분, 폐광미등을 활용하여 천연광물인 점토의 절약과 동시에 경제성을 확보하고자 하였으며 석분의 혼입에 따른 경량골재의 기본적인 물성 및 품질 정도를 파악하고자 하였다.

* 정희원, 전북대학교 건축도시공학부, 공학석사

** 정희원, 전북대학교 공업기술연구소 연구원, 공학박사

*** 정희원, 전북대학교 건축도시공학부 교수, 공학박사, 공업기술연구소

2. 실험개요 및 방법

2.1 사용재료

하수 슬러지는 K시의 하수처리장에서 건조된 상태의 것을 채취하였고, 점토는 K군의 인근 토양에서 채취하였으며 플라이애시는 무연탄을 연료로 사용하는 D화력의 것을 사용하였다. 점토는 균질한 혼합을 위해 건조 후 50mesh로 이하로 분쇄하여 사용하였다. 플라이애시는 배출된 상태의 것을 그대로 사용하였다. 폐광미는 S광산의 것을 사용하였으며, 석분 슬러지는 육사 세척시 발생하는 것을 사용하였다. 발포제는 폐석고를 400℃에서 하소하여 무수석고상태의 것으로 사용하였다. 사용재료의 물리적 성질 및 구성성분은 표 1과 같다.

표 1 사용재료의 물리적 화학적 구성조직

사용재료	강열감량 (%)	화학적 구성조직(%)									
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅
하수슬러지	69.82	13.98	5.42	0.29	2.48	0.72	2.71	0.00	0.72	0.05	3.81
무연탄 플라이애시	15.47	40.99	26.79	1.75	4.38	0.75	6.04	0.00	3.72	0.04	0.35
점토	8.55	61.11	20.35	1.17	6.29	0.76	0.22	0.02	2.02	0.06	0.07
폐광미	2.70	63.76	7.21	0.62	11.16	1.79	9.59	0.09	1.45	0.47	0.21
석분	4.58	61.98	16.45	0.06	4.96	1.88	3.82	2.37	3.80	0.12	0.23
폐석고	1.52	1.91	-	0.01	-	0.03	33.76	-	-	-	-

2.2 골재의 제조 및 시험

경량골재 제조는 표 2와 같이 배합하였으며 이때의 혼합방식은 건조된 분체형 재료를 건비빔 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. 배합에 따라 승온속도는 분당 20℃, 5분간 1190℃~1290℃의 범위에서 소성된 후 950℃가 될 때까지 노내에서 유지시킨 뒤에, 대기 중에 방출시켰다. 소성되지 않은 골재는 열분석을 거치고 소성된 골재는 충격률과 흡수율, 비중, XRD 등의 실험을 시행하였다.

표 2 경량골재의 배합표

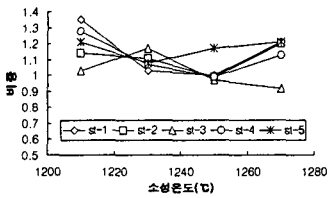
유형	하수슬러지	점토	플라이애시	폐광미	석분	무수석고
ST-1	75	12	5	3	5	/
ST-2	75	12	5	4	4	/
ST-3	75	12	5	5	3	/
ST-4	75	12	5	6	2	/
ST-5	75	12	5	7	1	/
ST-6	75	10	5	5	5	/
ST-7	75	10	5	6	4	/
ST-8	75	10	5	7	3	/
ST-9	75	10	5	8	2	/
ST-10	75	10	5	9	1	/
Ph-1	75	9	5	8	2	1
Ph-2	75	8	5	8	2	2
Ph-3	75	7	5	8	2	3
Ph-4	75	7	5	10	2	1
Ph-5	75	6	5	10	2	2
Ph-6	75	5	5	10	2	3

3. 결과 및 고찰

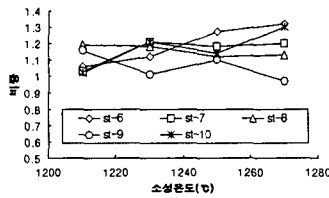
3.1 골재의 비중

아래 그림 1은 석분을 혼입한 골재를 점토 혼입율을 10%와 12%를 기준으로 석분과 폐광미의 치환 시에 나타나는 소성된 골재의 비중과 폐석고를 발포제로 혼입한 골재의 비중을 보여준다. 점토의 혼입 비율에 따른 골재의 비중을 살펴보면 12%의 혼입시 1250℃에서 10%의 경우보다 낮은 비중을 보여준다. 또한 석분의 혼입에 따른 골재의 비중을 살펴보면 대체로 석분 혼입율의 증가와 함께 골재의 비중은 상승한 것으로 나타나고 있다. 그러나 석분 1% 혼입시에는 1230℃에서 최소의 비중값을 나타내고 1250℃에서 오히려 비중이 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 폐광미의 혼입이 증가함에 따라 골재 용융상의 과다발달로 인한 것으로 판단된다.

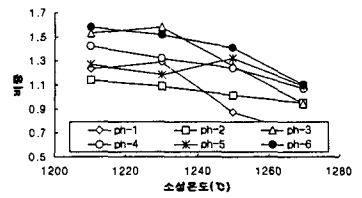
발포제 혼입시의 골재의 비중을 살펴보면 폐광미가 8%일 때 발포제 1%에서 최소비중이 0.67로 가장 적게 나타난 것으로 나타났다. 발포제의 혼입율이 증가할수록 골재의 비중이 증가하는 경향은 골재내부의 가스의 양이 많아져 외부로의 방출량이 커진 것으로 판단된다. 골재의 비중이 최소일 때의 온도조건이 발포제를 혼입하지 않았을 때 보다 소성온도가 20℃가량 상승한 것을 볼 수 있는데 이는 무기계점결제의 적용시 저비중의 골재를 얻기 위해서는 고온상에서 지속적인 가스의 발생을 요구하는 것으로 판단된다.



(a) 점토 12%일 때의 골재의 비중



(b) 점토 10%일 때의 골재의 비중

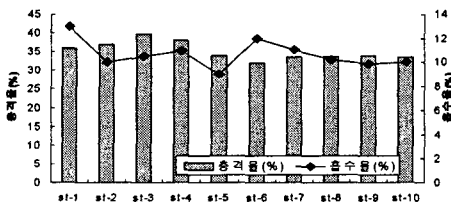


(c) 발포제를 혼입한 골재의 비중

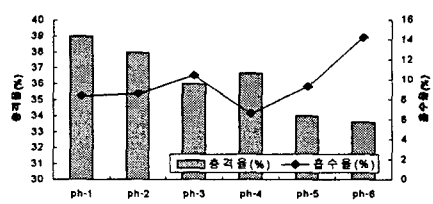
그림 1. 소성된 골재의 비중

3.2 골재의 흡수율과 충격율

아래 그림 2는 소성된 골재의 흡수율과 충격율을 나타낸 것이다. 먼저 석분 혼입시만을 볼 때 충격율은 석분의 혼입이 증가함에 따라 감소하는 경향을 볼 수가 있다. 이러한 것은 골재의 비중이 감소하면서 내부의 공극이 줄어들면서 발생한 것으로 보여진다. 흡수율은 골재의 충격율과 반비례하여 나타나는 것을 볼 수가 있다. 발포제 혼입시에도 충격율은 비중의 영향을 크게 받으나 골재의 흡수율은 발포제의 혼입율과 폐광미의 치환율이 증가함에 따라 증가하는 것을 볼 수가 있다.



(a) 점결제 배합비 변화에 따른 골재의 흡수율과 충격율



(b) 발포제 혼입에 따른 골재의 흡수율과 충격율

그림 2. 소성된 골재의 흡수율과 충격율

3.3 골재의 열분석과 XRD

아래 그림 6.3은 골재의 TG-DTG, DTA를 나타낸 것이다. 아래 그림에서 st-1의 경우 300℃부근에서 급격한 열분해로 인한 골재의 중량감소가 있었으나 400℃부근에서 중량감소의 속도가 일정하게 발달하다가 다시 580℃부근에서 급격한 열분해를 볼 수 있다. 발포제가 혼입된 Ph-1의 경우를 살펴보면 650℃에서의 흡열피크를 관찰할 수 있는데 이는 골재의 발열에 의한 가스 발생으로 인한 것으로 보인다. XRD분석은 1250℃에서의 소성된 골재를 분쇄하여 이루어진 것으로 발포제의 혼입과는 상관없이 유사한 광물이 나타나는 것으로 보여진다. 주요한 광물상으로는 석영과 물라이트가 나타났다.

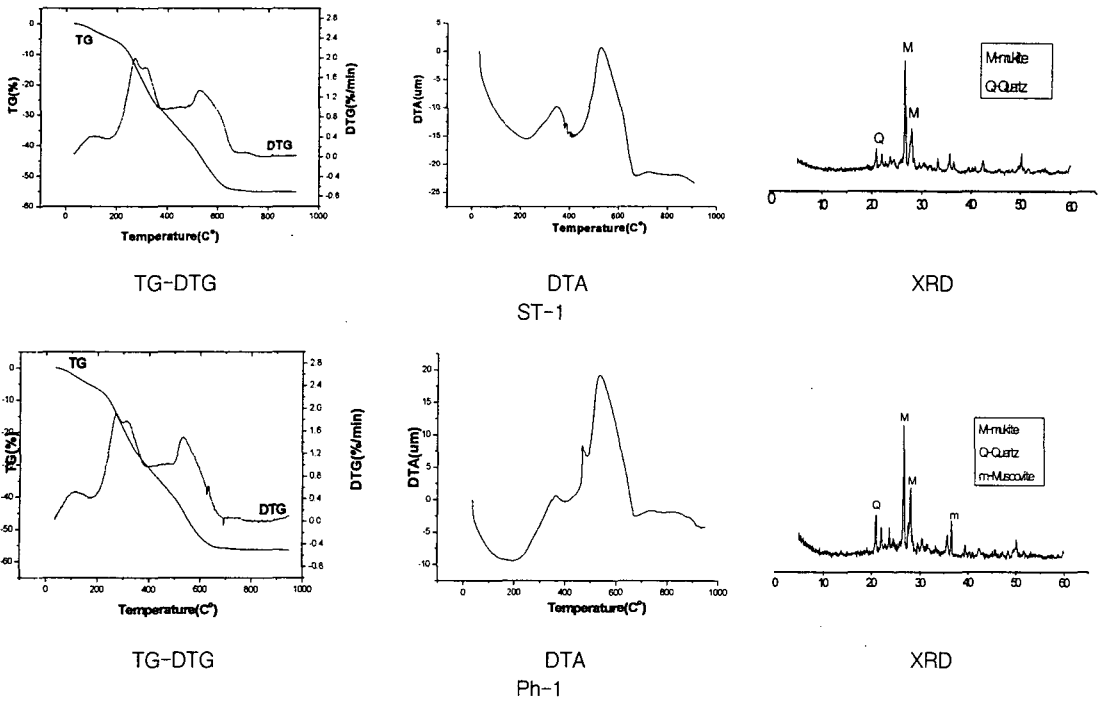


그림3. 골재의 열적특성과 소성 후 XRD

4. 결론

- 1) 점결체의 혼입시에 점토의 혼입율이 높을수록 골재의 비중이 낮은 경향을 나타낸다.
- 2) 석분의 혼입시에 2%이상을 초과할 경우 비중이 증가하며 폐광미의 경우 혼입율이 증가할수록 골재의 용융을 증대시키는 역할을 한다.
- 3) 발포제 혼입시 1%이상은 골재의 비중저하에 불리하며 대체로 다른 무기계점결체들보다 비중저감 효과가 뛰어난 것으로 나타났다.
- 4) 열분석결과 온도상승에 따라 600℃까지 급격한 중량변화를 보이는 것으로 나타났으며 이후에는 거의 안정된 상태를 보여주는 것으로 나타났다. 또한 XRD분석에서는 발포제의 혼입시와 미혼입시에 석영과 물라이트가 주로 나타났다.

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.