

Pilot Plant(10톤/일)를 이용한 하수슬러지 인공경량골재의 제조

Manufacturing of Lightweight Aggregate using Sewage Sludge by a Pilot Plant(10ton/day)

문경주* 이화영** 소승영*** 소양섭***
Mun Kyoung-Ju Lee Hwa-Young So Seung-Young 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. Sintered lightweight aggregate from sewage sludge is experimentally manufactured with various mass ratios of clay to sewage sludge by a pilot plant, and is tested for density, water absorption and crushing value. Their physical properties are compared to those of a commercial sintered lightweight aggregate. As a result, an experimentally manufactured lightweight aggregate is similar or superior in physical properties to the commercial lightweight aggregate. The manufactured lightweight aggregate could be used for structural concrete and non-structural concrete.

1. 서론

런던협약에 의해 2012년부터 하수슬러지의 해양투기를 전면 금지하는 등 육상폐기물의 해양투기량을 현재의 50% 이하인 연간 400만톤으로 줄이고 해양투기 제도를 선진국 수준으로 개선하기 위한 대책이 범정부적으로 본격 추진되고 있다. 이에 해양투기처분법의 한계성 및 국내 천연자원의 유한성을 극복하기 위한 적합한 방안으로 하수슬러지의 효과적인 처리와 동시에 고부가성 경량골재의 제조를 들 수가 있다¹⁾. 또한 이 방식은 현재 고가의 수입되고 있는 경량골재를 대체할 수 있는 가능성을 포함하고 있으며 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 있다²⁾. 본 논고에서는 하수슬러지 처리(10ton/일)를 위해 제작된 파일럿 플랜트를 이용하여 경량골재를 제조하고 경량골재의 기본적인 물성 및 품질정도를 파악하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 사용재료

하수 슬러지는 S시의 하수처리장에서 탈수케익 상태의 것을 채취하였고, 점토는 Y시의 인근 토양에서 채취하였으며 물성보강제로서 무기계 폐기물(무연탄, 석탄회, 폐석회, 폐석분, 폐광미, 유리연마 슬러지 등)을 사용하였다.

* 정희원, 전북대학교 공업기술연구센터 연구원, 공학박사

** 정희원, 전북대학교 건축공학과 석사과정

*** 정희원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공업기술연구센터, 공학박사

2.2 배합

배합비를 선정함에 있어서 고려되어야 할 사항은 원료의 화학성분, 성형성, 경제성, 작업성 등이 예비 실험을 통해 입증되어야 하며, Pilot Plant의 적용시 대량생산에 의한 품질차이가 적고, 음착현상 발생율이 낮은 배합을 선정하였는데 하수슬러지 건조중량으로 50~70중량%와 점토 15~45중량%, 무기계 폐기물 5~15중량% 범위에서 적절한 배합을 선택하였다.

2.3 제조공정

하수슬러지 처리(10ton/일)를 위해 제작된 파일롯 플랜트를 이용하여 경량골재를 제조하고 그에 따른 공정 및 문제점 등을 고찰하였으며 개략적인 제조 공정은 그림 1과 같다.

2.3 물성시험

제조된 인공경량골재의 물성평가는 비중, 흡수율 등을 KS규준을 근거로 실시하였으며, 외국에서 시판되고 있는 골재와 비교하기 위하여 독일 Liapor 사 골재를 일부 입수하여 물성을 비교하였다.

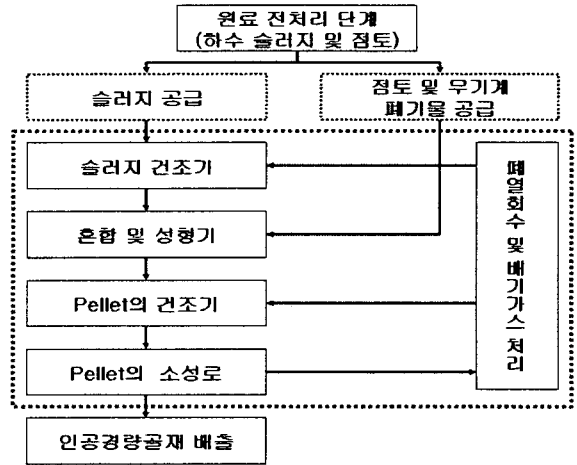


그림 1 하수슬러지를 이용한 경량골재 제조 공정도

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Pilot plant 적용실험

3.1.1 슬러지 건조 및 혼합

슬러지는 함수율 약 80%로 탈수케익 상태의 것을 부분건조한 후 점토, 무기계 폐기물 등을 정량공급기를 통해 투입한 후 전체 혼합물의 함수율이 약 25~30중량%가 되도록 혼합하였다. 이는 골재의 성형공정시 수분의 첨가공정을 생략하여 슬러지의 건조비용 절감과 더불어 하수슬러지의 혼입량을 증진시키기 위함이다. 상기 슬러지 건조기는 내부에 다수의 디스크를 가지고 있으며 디스크 회전과 슬러지의 진행을 위한 구동 장치와 디스크 표면에 붙어있는 슬러지를 떼어내기 위해 스크래퍼 및 건조하기 위한 열원인 스팀의 투입구로 구성되어 있다. 상기 슬러지 건조기의 배누의 디스크 회전수는 6~10RPM, 스팀 압력은 7kg/cm²G, 체류 시간은 20~30분 그리고 건조기 내부 압력은 -10~-20mmAq로 유지하는 것이 슬러지 건조에 적합하였다.

3.1.2 혼합슬러지 이송 및 혼합물 압축

혼합된 슬러지를 정량적으로 공급을 받게 되면 연속식 니더는 공급되는 혼합 슬러지를 짓이겨 내부의 기공을 제거하도록 내부에 니딩 스크류(Kneading screw)가 모터에 의해 작동하도록 구성되어 있고 회전수 10~20RPM, 내부 체류시간은 3~5분 정도 유지하는 것이 바람직하였다. 연속식 니더에 압축된 혼합 슬러지는 토련기로 공급이 된다.

3.1.3 성형

토련기의 회전수 10~20RPM, 체류시간은 3~5분을 유지하는 것이 바람직하였다. 토련기에서는 혼합 슬러지의 누들형태로 사출이 되어 펠렛 성형기로 이송하였다. 이 펠렛 성형기는 내부에 원통실린더와 회전체가 있고, 회전체가 모터에 의해 회전되면서 누들형태의 펠렛이 구형으로 성형이 되도록 구성되어 있으며, 조건에 따라 150~400 RPM이고, 체류시간은 30~50초 정도 제품의 상태에 따라서 유지하는 것이 바람직하였다.

3.1.4 성형체 건조 및 소성

펠렛화된 성형체를 200℃ 이하의 온도에서 건조하여 전체 함수율이 10%이하가 되도록 건조하였으며 열 에너지는 소성공정 시 발생하는 폐열을 이용함으로써, 에너지 소비를 최소화 하였다. 이때 표면 건조기 내부의 온도 구배나 통과하는데 걸리는 잔류시간 등을 충분히 고려하여야 한다. 잔류시간을 짧게 하기위해 시간을 단축시킨다면 구형의 펠릿의 수분의 감소로 인한 표면 균열 및 골재의 쪼개짐 현상 등이 일어난다. 그러므로 건조로를 길게 하여 온도 구배를 완만하게 한다거나, 그렇지 않다면 온도를 서서히 올리거나 또는 낮은 온도로 잔류시간을 늘리는 등 전체 공정에 합당하게 고려해야 한다. 열원은 회전식 소성로와 연결된 공기예열기로부터 공급받도록 구성된 것이다.

3.1.5 소성

회전식 소성로는 소성로를 회전하기 위한 모터와 소성로, 그리고 구형 펠릿의 투입구와 소성 펠릿 배출구 및 고온가스 배출구로 구성되어 있으며, 회전속도가 1~5RPM, 기울기는 1.5~2.0도를 유지하고, 내부 체류시간은 15~20분, 소성로 내부온도는 조건에 따라 1,150~1,250℃로 유지하였다. 회전식 소성로에서는 펠릿 내부가 발포가 되어 기공이 형성되고 외부는 용융에 의한 코팅막이 생성되어 원하는 강도를 갖는 펠릿 제품이 되도록 하며, 제품의 균일성을 유지하고 외부 열원인 경유와 정제 연료유가 버너를 통해 내부로 분산되어 고온을 형성하고 펠릿과 고온가스가 향류로 접촉하면서 충분한 체류시간 동안 기공이 형성되도록 하며, 이때, 소성로가 회전에 의한 진행으로 슬러지가 갖는 자체 내부 열량으로 발포가 촉진되어 미세기공을 다수 포함한 경광골재를 형성하도록 하였다.

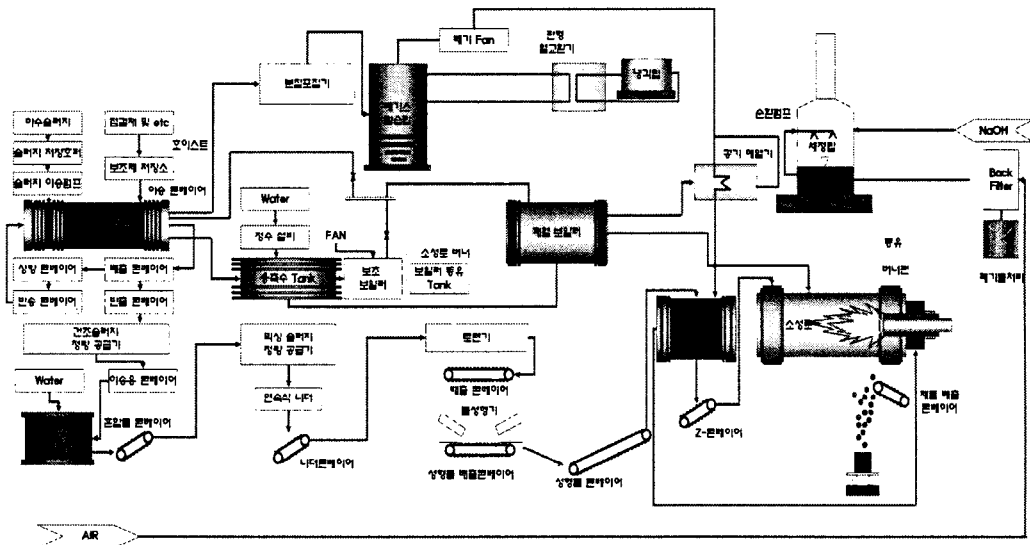


그림 2 하수슬러지를 이용한 인공경광골재 제조 Pilot Plant

3.1.6 폐열 회수 및 배기가스의 처리

회전식 소성로에서 배출된 고온의 배출가스는 폐열보일러 및 공기 예열기를 통해 배출되고, 배출된 유해 가스는 테프론 백을 이용하는 집진을 위한 여과식 집진기와 습식 세정탑을 거치면서 탈황산화물, 탈질소산화물, 탈염화수소, 집진 등을 이루어 깨끗한 가스로 배출된다. 또한 폐열 보일러에서 스팀으로 전환하여 슬러지 건조기로 송기하여 폐열회수 및 친환경시스템을 이루게 된다. 이때, 여과식 집진기에다 소석회를 투입하여 유해가스를 정화하고, 습식 세정탑에는 가성소다를 투입하여 유해물질을 포집하도록 하였다.

3.2 골재의 물성

성형골재의 강도측정은 철광업계에서 사용하는 방법인 18" Drop test를 사용하였으며 본 실험에서 성형된 골재를 입도별로 분리한 후 각각 떨어뜨렸을 때 표 1과 같이 모두 이 기준에 합격하였다. 비구조체용의 저비중골재를 제조하기 위해서는 소성온도를 높이거나 환원성 분위기에서 소성하여야 골재의 발포가 극대화된다. 하수슬러지는 유기물이 다량 함유되어 소성온도를 높일 경우 융착현상이 심하게 발생하여 골재표면에 무기계 폐기물로 코팅하여 융착현상을 방지하였다. 구조체용 골재는 비구조체용 골재에 비하여 소성시에 약간만 발포시켜도 제조가 가능하기 때문에 융착현상이 발생할 염려가 적다. 따라서 표면에 코팅을 하지 않고 노내의 온도와 분위기를 조절하여 표면에 내화도가 높은 산화피막을 형성시켜 융착을 방지하면서 골재의 제조가 가능하였다. 골재의 물성 시험 결과 밀도 0.58~1.33, 흡수율은 6.8~13.5 및 10% 세립치 파쇄강도 4.2~13.1톤으로 나타나 골재의 물성은 비구조용 및 구조용 인공경량골재로 적합하였으며, 외국제품에 비해서도 거의 동등 이상의 물성을 나타내었다.

표1 제조된 골재의 물성

No.	Mix proportion(%)			Temperature (°C)	Density	Water absorption (%)	Crushing strength (ton)	18" drop test	Coating
	Sludge	Clay	Inorganic waste						
LLWA1	Liapor Co.			-	0.52	24.4	2.1	-	-
LLWA2				-	0.74	15.7	3.2		
LLWA3				-	1.22	12.3	12.9		
SLWA1	70	25	5	1230~1250	0.58	12.0	4.2	20↑(O·K)	○
SLWA2	70	20	10		0.68	6.8	6.1	20↑(O·K)	○
SLWA3	70	15	15		0.78	12.6	4.6	20↑(O·K)	○
SLWA4	50	45	5	1160~1180	1.07	12.7	10.6	20↑(O·K)	×
SLWA5	50	40	10		1.24	13.5	13.1	20↑(O·K)	×
SLWA6	50	35	15		1.33	9.5	12.0	20↑(O·K)	×

4. 결론

- 1) Pilot plant의 적용을 통해 경량골재 혼합물 및 성형체의 상태에 따라 건조, 혼합, 성형 및 소성 공정은 매우 민감하게 작용하며 최적 운전조건 만족시 연속적인 원활한 작업이 가능하였다. 이를 통해 하수 슬러지의 경량골재 제조방식은 슬러지의 적절한 처리와 동시에 산물로 고부가가치의 건설자재 제조 가능성을 파악할 수 있다.
- 2) 하수슬러지 경량골재의 특성상 절건비중 1.0 이하의 비구조용 경량골재를 제조하기 위해서는 융착을 방지하기 위해 코팅을 하는 것이 효과적이며 구조용 경량골재 제조시에는 코팅공정 없이도 킬른 내부의 온도 및 분위기 조절로 골재의 제조가 가능하다.
- 3) 골재의 물성 시험 결과 밀도 0.58~1.33, 흡수율은 6.8~13.5 및 10% 세립치 파쇄강도 4.2~13.1톤으로 나타나 골재의 물성은 비구조용 및 구조용 인공경량골재로 적합하였으며, 외국제품에 비해서도 거의 동등 이상의 물성을 나타내었다.

참고문헌

- 1) 문경주, 김재신, 소양섭 "제지 슬러지 소각재를 이용한 소성 경량골재의 제조", 한국콘크리트학회논문집, 제 13권 2호, 2002, pp. 114~122.
- 2) K.J.Mun, N.W.Choi, Y.S.Soh. "Feasibility study of lightweight aggregates using sewage sludge for non structural concrete", Proceeding of the RILEM International Symposium - ECM2004, 2004, pp. 114~122.