

# 하수 슬러지를 이용한 친환경인공경량골재콘크리트의 레미콘 적용 연구

## A Study on Application of Ready Mixed Concrete of ECO Lightweight Aggregate using Sewage Sludge

서 치 호<sup>\*</sup> 지 석 원<sup>\*\*</sup> 이 성 연<sup>\*\*\*</sup> 지 석 원<sup>\*\*\*\*</sup>이 재 삼<sup>\*\*\*\*\*</sup>이 진 우<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Seo, Chi ho Ji, Seok Won Lee, Seung Yeun Jee, Suk Won Lee, Jae Sam Lee, Jin Woo

### ABSTRACT

As civilization progresses amount of sewage sludge continues to increase from a sewage disposal plant with a huge expenditure of water resources. So It is necessary to reduce the high costs of sewage disposal and the pollution of the environment and also a unit cost of artificial lightweight aggregate by continual recycling. The purpose of this study is to put artificial lightweight aggregate concrete to practical use by using sewage sludge and clay

#### 1. 서론

최근의 급변하는 국내의 환경 규약에 따라 산업 전 분야에 걸쳐 친환경 정책의 제정 및 환경보전기술의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 특히 생활과 관련된 폐기물 관련기술의 경우 그 발생량이 해마다 증가하는데 비해 처리 시설이나 재활용 기술 등은 담보되고 있는 실정이다. 이러한 상황에서 생활수준의 향상과 더불어 증가되는 폐기물 가운데에서도 최근 가장 큰 문제로 부각되고 있는 것 중 하나가 하수관련 폐기물로서 1997년의 폐기물 관리법에 의해 2003년 7월 1일부터 직매립을 금지 하고 있으며 이 법적인 규제를 피해 많은 지방자치단체에서 해양투기를 하였으나 해양투기를 통한 해양오염을 방지하기 위한 런던협약에 의해 우리나라도 2005년 상반기 이후에 해양투기가 금지될 예정이어서 이에 대한 재활용 및 재처리가 점차 어려워지고 있다. 이러한 변화에 따라 하수 관련 폐기물에 대한 새로운 처리방안에 대한 연구가 대두되고 있으며 새로운 방안에 따른 처리 비용 증가에 대한 관심도 고조되고 있다. 이에 본 연구에서는 하수슬러지의 효율적 재활용을 위한 다각적인 방안 중 친환경인공경량골재의 제조에 따른 기술적 효과 및 고부가가치 이용을 위한 기초적 연구로서 하수슬러지를 이용한 친환경인공경량골재의 제조 및 골재의 콘크리트 적용을 위한 기초연구를 수행하였다.

\* 정회원, 건국대학교 건축공학과 교수

\*\* 정회원, 한국구조물성능평가원 부장

\*\*\* 정회원, 두산산업개발(주) 상무

\*\*\*\* 정회원, 두산산업개발(주) 기술연구소 팀장

\*\*\*\*\* 정회원, 두산산업개발(주) RC 연구개발팀 팀장

\*\*\*\*\* 정회원, 두산산업개발(주) RC 연구개발팀 연구원

표1 대상시설별 직매립 규제시기

시행시기	2003.7.1	2005.1.1
대상시설	-폐수종말 처리 시설 -하수종말 처리 시설 -폐수배출 시설 (폐수배출량 2000m <sup>3</sup> 이상)	-축산폐수 처리 시설 -분뇨처리시설 -폐수배출시설 (폐수배출량 700m <sup>3</sup> 이상~2000m <sup>3</sup> 미만)

2. 하수 슬러지의 발생 및 처리 현황

2.1 하수 슬러지의 발생 현황

하수 슬러지의 발생량은 전국적으로 연간 15,771 천톤/일을 처리하여 1,741 천톤/일의 슬러지가 발생하여 이의 단위슬러지발생량은 0.303 kg/m<sup>3</sup>으로 나타났다

2.2. 하수 슬러지의 처리 현황

폐기물 관리법과 런던협약에 의하여 2005년 하반기부터 해양투기가 금지될 예정이어서 다른 방법의 모색이 필요하다. 하수슬러지의 일반적인 폐기 처리 방법 외에 재이용 현황은 2000년 기준 발생량 170만 톤 중 88만 톤에 그치고 있는 실정이다.

3. 하수 슬러지를 이용한 친환경인공경량골재의 제조

3.1. 골재 제조 사용 재료

하수슬러지는 수원소재의 S 하수처리장에서 채취하였으며 탈수 및 건조된 재료를 사용하였다. 점토는 충남 홍성지방에서 채취한 것을 사용하였으며 그 구성성분은 표3 과 같다.

표3 하수 슬러지 및 점토의 화학성분 ( 단위 : %, 발열량 kcal/kg, 염소함량 : ppm )

종류	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	ZnO	수분	발열량	염소량	Sum
하수슬러지	40.55	23.11	9.99	6.60	2.69	1.13	2.10	0.92	1.03	11.03	0.35	0.33	8.45	2,983	51.98	99.83
점토	61.67	22.74	3.49	0.61	0.48	0.42	1.57	-	0.29	0.05	-	-	8.68	-	-	100

3.2. 제조 과정

하수슬러지를 이용한 친환경인공경량골재는 하수슬러지를 건조시켜 점토와 혼합하여 소성시킨 것으로써 S사의 인공경량골재를 사용하였으며 그 제조과정은 표4와 같다.

표4 하수슬러지를 이용한 친환경인공경량골재 제조 과정

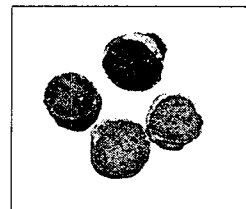
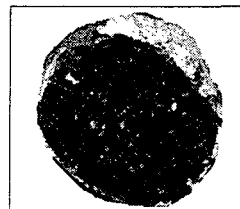
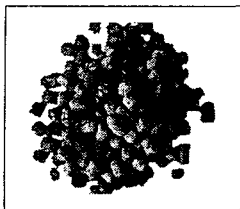


그림1 하수슬러지를 이용한 친환경인공경량골재

그림2 하수슬러지인공경량골재의 단면

### 3.3. 골재의 물성

하수슬러지를 이용한 친환경인공경량골재의 물성은 KS의 관련규정에 따라 시험한 결과 골재의 비중은 1.27g/cm<sup>3</sup> 이며, 흡수율은 13.00%로 나타났다. 골재의 조립율과 No.4 체의 통과율은 5.12와 0%의 값을 보였으며 그 단위질량은 678kg/m<sup>3</sup>이다. 입도의 경우 경량골재의 KS F 2534기준의 범위를 다소 벗어났으나 큰 차이를 보이지는 않았다.

표5 하수슬러지를 이용한 인공 경량 골재의 물성

비중	흡수율	조립율	No 4체 통과율	단위질량
1.27	13.00%	5.12	0%	678kg/m <sup>3</sup>

## 4. 하수슬러지를 이용한 친환경인공경량골재를 이용한 콘크리트의 제조

### 4.1. 배합 계획 및 실험

배합계획은 현재 레디믹스트콘크리트 배처플랜트의 배합프로그램에 의하여 현재 생산되고 있는 레디믹스트콘크리트의 배합표를 적용하였다. 혼화제는 D사의 레디믹스트콘크리트에 사용되는 AE감수제를 사용하였다. 배합 I은 레미콘의 호칭강도 20-21-18, II는 20-27-18, III은 20-35-18의 배합으로 계획하였다. KS의 관련규정에 따라 슬럼프, 공기량, 압축강도, 인장강도를 측정하였다

표6 배합계획 및 결과

종 류	시멘트 (kg)	W/C (%)	S/A (%)	F.A (%)	혼화제 (%)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축 강도(MPa)			인장강도
								3일	7일	28일	
I	304.38	54.7	51.9	10	0.45	21.5	11.5	9.33	10.08	10.91	5.10
II	358.82	46.4	50.3	10	0.45	21.5	12.0	10.17	12.12	13.19	4.78
III	430.23	38.7	48.2	10	0.45	19.0	9.0	11.78	12.22	16.97	5.35

### 4.2. 결과 분석

본 연구의 배합계획에 맞춰 실험한 각 결과는 표6에 표시되어 있으며 친환경인공경량골재콘크리트의 슬럼프, 공기량, 압축강도는 그림 3, 5, 6과 같다. 압축강도의 경우 재령7일에서 강도발현이 급격히 증가하였고, 28일의 경우 배합 I이 배합II보다 높은 압축강도발현을 나타냈다.

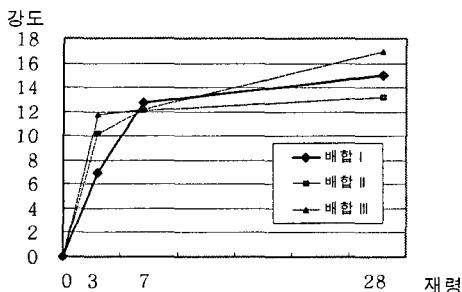


그림3 배합의 재령별 압축강도 그래프

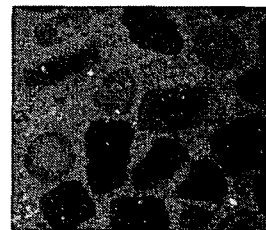


그림4 절단된 공시체의 단면

슬럼프의 경우 경량골재자체의 흡수율로 인한 오차의 범위를 최대한 줄이기 위하여 시험 전 단위수량을 고정시켜 측정된 결과로 III은 다소 감소하였다. 공기량의 경우는 III에서 다소 낮은 결과가 나타났다.

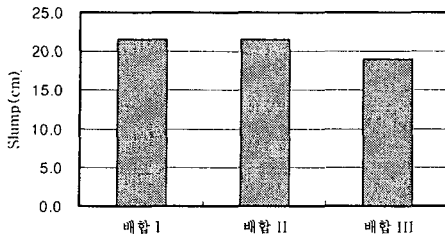


그림5 배합별 Slump

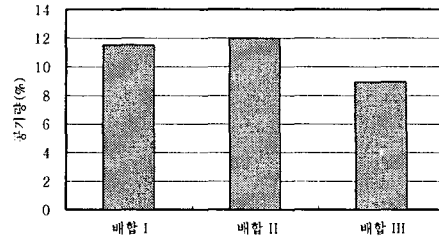


그림6 배합별 공기량

## 5. 결론

하수슬러지의 효율적 재활용을 위한 경량골재의 제조 및 콘크리트 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 하수슬러지를 사용한 경량골재의 경우 경량골재의 단점인 흡수율에서 타 경량골재에 비해 낮은 흡수율을 보였고, 단위질량 및 밀도 또한 타 경량골재에 비해 낮은 수치를 나타냈다. 입도의 경우 4.75mm의 체에서 약간 벗어났으나 큰 차이를 보이지는 않았다.

2) 하수슬러지 경량골재를 사용한 콘크리트의 경우, 슬럼프는 경량골재자체의 흡수율로 인한 오차의 범위를 최대한 줄이기 위하여 시험 전 단위수량을 고정시켜 측정한 결과로 III은 다소 감소하였고, 공기량의 경우는 III에서 다소 낮은 결과가 나타났는데 이는 다른 배합에 비해 W/C비가 낮아 나타나는 현상이라고 사료된다. 또한 압축강도의 경우 재령7일에서 강도발현이 급격히 증가하였고, 28일의 경우 배합 I 이 배합II보다 높은 압축강도발현을 나타냈는데 이는 경량골재의 단점이 흡수율 불안으로 나타난 현상이라고 사료된다.

3) 하수슬러지를 이용한 인공경량골재의 최적배합비를 도출하여 콘크리트에서 요구하는 골재의 성능을 만족시키는 동시에 다양한 레디믹스트콘크리트 배합에 적용하여 현장에 적용할 수 있도록 추가적인 연구가 지속되어야 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 서치호, 구조용 경량콘크리트-경량콘크리트의 재료적 특성, 콘크리트학회지 Vol.10 No.4 (1998-8)
2. 박종빈, 신경철, 조병완, 하수슬러지 소각재를 이용한 건설자재 개발에 관한 연구, 한국콘크리트학회 2004년도 가을 학술발표회 논문집 Vol,16 No,2
3. 박승호, 국내 하수슬러지 소각처리현황 및 일본 동경도의 하수슬러지 처리 처분, 한국설비기술협회지 v21, n,8 (2004-08)
4. 김득모, 문경주, 소양섭, 소성조건 변화에 따른 하수슬러지와 석탄회를 이용한 비구조용 경량골재의 품질 특성, 한국콘크리트학회 2004년도 가을 학술발표회 논문집 Vol,16 No.2
5. 서치호, 인공 경량 골재의 개발현황과 특성, 콘크리트학회지 Vol, No.2 (1991-6)