

Ti염 및 Fe염으로 화학처리된 염색공단 슬러지를 재활용한 인공경량골재의 물리적 특성에 관한 연구

Study on the Physical Properties of the Artificial Lightweight Aggregate Recycled from the Dyestuff Sludge Treated Chemically With Ti and Fe Salt

최종오¹ · 정응욱^{2*}

Jong-Oh Choi¹ · Yong-Wook Jung^{2*}

(Received March 4, 2015 / Revised March 11, 2015 / Accepted March 11, 2015)

The paper investigates environmental hazards and characteristics of the artificial lightweight aggregate manufactured by using dyestuff sludge from dyeing industrial complex. The dyestuff sludge used in this study is chemically treated with Ti and Fe salt for the purpose of recycling. The artificial lightweight aggregate is manufactured through 3 step; 1) Selecting the optimum moisture content by evaluating plasticity from the mixing ratio of the clay and sludge, 2) shaping round type based on the optimum mixing ratio, 3) drying and Sintering process. Based on KS F 2534 "Lightweight Aggregate for Structural concrete", the particle size, fineness modulus, the density, absorption, unit volume weight, stability and environmental hazards of the manufactured lightweight aggregate are evaluated. Experimental results show that the particle size and fineness modulus is out of the range. However, it is observed that other physical properties are within criteria. In addition, it is confirmed that the problem of the particle size and fineness modulus could be solved in the manufacturing process.

키워드 : 염색공단슬러지, 재활용, 경량골재, 점토, 성형성

Keywords : Dyestuff Sludge, Recycling, Lightweight Aggregate, Clay, Plasticity

1. 서론

최근 산업이 발달함에 따라 발생하는 폐기물의 종류와 양이 급격하게 증가하고 있으며, 이러한 폐기물의 처분은 사회적 문제로 대두되고 있다. 특히 대구염색공단에서는 가공 공정에 투입하는 염료와 조제 등 화학물질의 사용이 많아 일 58,000톤의 폐수를 배출하고 있어, 대구지역 총 산업폐기물 발생량의 17%, 슬러지 발생량의 51%를 차지하는 최대 발생 산업단지이다(Kim 2005).

염색폐수의 정화에는 일반적으로 화학적 응집처리와 생물학적 미생물처리를 병행하는데 처리 과정에서 필연적으로 다량의 염색공단 슬러지 폐기물이 발생하게 된다(Cho et al. 2008). 국내 3대

염색 산업단지(대구, 반월, 부산)에서 발생하는 슬러지의 발생량은 일 564톤으로 이중 대구염색공단에서 발생하는 슬러지 량이 354톤으로 약 63%를 차지하고 있다. 염색공단에서 발생하는 슬러지는 육상 단순매립 또는 인근 공해 해상에 투기하는 해양 배출로 저렴하게 처리하였으나, 해양오염을 우려하는 국제협약(1972년 런던협약, 1996년 교토의정서)에 의하여 2008년부터 배출기준이 강화되었고, 2012년부터는 해양배출이 전면 금지되면서 염색공단 슬러지의 대체 처리방법의 개발이 시급한 실정이다(Nam & Han 2011).

염색공단 슬러지의 대체 처리방법으로는 탈수공정을 거친 탈수 슬러지의 지정매립장을 통한 매립처리 방법과 고온 소각시설에서

* Corresponding author E-mail: jyw@kmu.ac.kr

¹계명대학교 토목공학과 박사과정 (Department of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu, 704-701, Korea)

²계명대학교 첨단건설재료실험센터 조교수 (Department of COMTEC, Keimyung University, Daegu, 704-701, Korea)

의 소각처리방법 등을 들 수 있다. 그러나 슬러지 탈수 후 매립처리 방법은 탈수 공정을 거친 슬러지의 함수율이 약 70~80%로 침출수 유출 문제와 장기간 안정적으로 처리할 수 있는 대규모 처분장 확보가 어려운 실정이며, 소각처리 방법의 경우 슬러지의 높은 함수율로 인해 소각시 보조 연료의 투입이 필요하고 최근 원유가격 급등 등 에너지 비용이 지속적으로 상승함을 고려할 때 소각처리 비용 또한 상당히 높은 실정이다(Kim & Bae 2012). 따라서 염색공단 슬러지를 소각, 매립과 같은 종래의 처분방식과 다른 자원 순환의 개념으로 장기적으로 효율적이고 고부가가치의 친환경적인 재료로의 재활용 기술개발이 필요하다.

이에 본 연구에서는 염색공단에서 발생하는 슬러지의 처리과정 중 화학적 응집처리 공정에서 사용되어지는 Ti염, Fe염 등 응집침전제를 적용하여 생산된 침전슬러지에 광물질을 첨가하여 믹싱, 건조, 소성 등 일련의 처리 공정을 거쳐 콘크리트 제품용 인공경량골재로의 재활용을 검토하였다. 이를 위하여 염색공단 슬러지의 수분함량, 화학조성, 중금속 용출 특성, 강열감량 등의 기초 물성을 검토하였으며, 점토배합 비율과 함수율에 따른 성형성 검토 등을 통해 염색공단 슬러지를 이용한 인공경량골재를 제조하였다. 또한 염색공단 슬러지를 이용하여 제조된 인공경량골재의 입도 및 조립률, 밀도, 흡수율, 단위용적질량, 안정성 및 환경유해성 등을 평가하였다.

2. 사용재료

염색공단 슬러지는 대구 염색공단에서 발생하는 Ti염과 Fe염으로 화학 처리된 슬러지를 사용하였으며, 화학조성은 Table 1과 같다. Table 1에서 Ti염 슬러지의 주요성분 구성 함량은 TiO₂ 76.2%, SO₃ 15.7%, SiO₂ 2.95%, Fe₂O₃ 2.1%의 순으로 TiO₂와 SO₃가 91% 이상을 차지하였으며, Fe염 슬러지의 주요성분 구성함량은 Fe₂O₃ 71.5%, SO₃ 14.2%, TiO₂ 4.3%, SiO₂ 2.9%, P₂O₅ 2.8%의 순으로 Fe₂O₃와 SO₃가 85% 이상으로 대부분을 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

염색공단 슬러지는 화학성분상 인공경량골재의 발포기준에 부적합할 뿐만 아니라 가소성이 부족하여 성형성이 매우 불량하므로

적절한 점결제의 첨가가 필요하다(Kim et al, 2005). 따라서 본 연구에서는 점결제로 점토를 첨가하여 소성 및 성형성 등의 성질을 개선하고자 하였다.

Table 2는 점토의 물리화학적 특성을 나타낸 것으로 주요성분 구성 함량은 SiO₂ 71.4%, Al₂O₃ 15.1%, Fe₂O₃ 4.7%, K₂O 2.5%의 순으로 나타났으며, 이 중 SiO₂가 71% 이상을 차지하고 있는 것으로 분석되어 인공경량골재 제조시 점결제로의 사용이 가능함을 알 수 있다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

염색공단 슬러지를 활용한 인공경량골재 제조에 있어 슬러지와 점토의 배합비율과 함수율에 따라 성형성이 크게 달라진다. 따라서 본 연구에서는 점토 배합비율과 함수비에 따른 성형성 평가를 실시하여 최적의 점토 및 함수율을 선정한 후 소성 공정을 거쳐 인공경량골재를 제조하였다. 또한 제조된 경량골재에 대해서 입도 및 조립률, 밀도, 흡수율, 단위용적질량, 안정성 및 환경유해성 등을 측정하였으며, 실험계획은 Table 3과 같다.

Table 3과 같이 배합비율은 슬러지가 가소성 성질이 거의 없기 때문에 점결제로 사용되는 점토의 혼합비율을 최소 50%로 기준을 잡고 일정 비율씩 증가시켜 점토(C):슬러지(S)비를 1:1~9:1까지 6단계로 변화시켰다.

또한 일반적으로 점성토는 함수율의 변화에 따라 고체, 반고체, 소성, 액체의 4가지 상태로 변화 하므로, 소성상태 범위내의 함수율을 찾기 위하여 사용 점토의 액소성한계 시험을 실시하였으며, 액성한계 33.9%, 소성한계 21.4%의 결과를 바탕으로 각 점토 배합 비율에 대한 함수율을 18%~36%로 3%씩 7단계로 변화시켜 성형성을 평가하였다

Table 2. Chemical composition and physical properties of clay

Ig. loss (%)	Chemical composition (wt,%)				
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃
5.1	15.08	71.44	2.53	0.98	4.66

Table 1. Chemical composition of Dyestuff Sludge

Types	Chemical composition (wt,%)												
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	BaO	ZnO	Br
Ti Salt sludge	0.699	2.948	0.807	15.727	0.842	0.130	0.119	76.169	0.027	2.049	0.0483	-	-
Fe Salt sludge	0.975	2.853	2.836	14.180	0.689	-	1.429	4.297	0.232	71.455	-	0.323	0.159

Table 3. Mix ratio for plasticity

Types		Clay (C) : Sludge (S)						Measurement item
		1:1	2:1	3:1	4:1	6:1	9:1	
Moisture content (%)	18	○	○	○	○	○	○	· Grading & Fineness modulus · Density · Absorption ratio · Unit volume weight · Stability · Environmental hazards
	21	○	○	○	○	○	○	
	24	○	○	○	○	○	○	
	27	○	○	○	○	○	○	
	30	○	○	○	○	○	○	
	33	○	○	○	○	○	○	
	36	○	×	×	×	×	×	

3.2 실험방법

1) 슬러지의 물성

염색공단 슬러지를 이용한 인공경량골재 제조를 위하여 사용재료의 기본물성을 분석 하였으며, 물성 시험은 슬러지의 수분함량, 강열감량, 중금속 용출 특성 등에 대해서 각 시험항목별 KS 기준에 준하여 실시하였다.

2) 성형성

염색공단 슬러지를 이용한 인공경량골재 제조를 위한 성형성은 Table 3과 같이 점도와 슬러지의 배합비율에 따른 함수율을 변화시켜 평가하였다. 성형성 평가는 첫째, 각 혼합시료를 유리판 위에 올려놓고 수직업으로 둥근 형태의 모양으로 가공하는 방법과 둘째, 유압식 장비를 이용하여 시료를 $\phi 50 \times 100 \text{mm}$ 크기의 몰드에 투입 후 수직변위가 10mm 발생할 때까지 하중을 가하여 시편을 제작하는 방법으로 실시하였다. 성형성 평가 결과를 바탕으로 경량골재를 성형하였으며, 105 ± 5 의 건조로에서 24시간 건조 후 소성과정을 거쳐 인공경량골재를 제조하였다. 소성조건은 1단계 소성온도 500 에서 1시간 유지시켜 인공경량골재에 포함된 유기물을 산화시키고, 2단계 1,000 에서 3시간 유지시키는 2단계 소성 공정으로 하였다. 소성과정을 거쳐 제조된 인공경량골재는 입도 및 조립률, 밀도 및 흡수율, 단위용적질량 등의 골재 물성과 안정성 및 환경유해성 등의 성능을 평가하였다.

3) 입도 및 조립률

골재의 입도는 골재 중의 크고 작은 입자들의 혼합된 정도를 말하며, 직접적으로는 콘크리트의 워커빌리티 등과 같이 아직 굳지 않은 콘크리트의 제 성질에 영향을 미치며, 간접적으로는 단위수량, 단위시멘트량 등의 배합 및 경화 후의 콘크리트의 강도, 내구성 등에도 영향을 미친다(Seo et al. 2005). 따라서 KS F 2534

「구조용 경량 골재」에서는 골재의 조립률 허용값을 7%이하로 규정하고 있다(KS F 2534 2009). 제조된 인공경량골재에 대한 입도 시험은 KS F 2502에 준하여 실시하였다.

4) 밀도 및 흡수율

골재의 밀도는 절건 밀도, 기건 밀도, 표건 밀도로 분류하지만, 일반적으로 골재의 밀도는 사용골재의 표건 밀도를 말한다. 인공경량골재의 밀도는 경량골재콘크리트를 제조하는 데에 있어서 가장 큰 영향을 미치는 인자로 콘크리트표준시방서에서는 절건 밀도로 규정하고 있다. 또한 인공경량골재의 밀도는 다공성, 경량성이라는 특성으로 인하여 흡수시간에 의하여 변화하고, 또 흡수속도가 골재의 종류에 의하여 상당히 변화한다. 염색공단 슬러지를 이용하여 제조된 인공경량골재의 밀도 및 흡수율 시험은 KS F 2529 및 KS F 2533에 준하여 실시하였다.

5) 단위용적질량

KS F 2534에서는 인공 및 천연 경량골재의 단위용적질량의 상한 값을 규정하고 있으며, 골재의 단위용적질량은 골재의 밀도, 모양, 입도, 함수량 및 다져넣는 방법에 따라 상당히 달라진다. 본 연구에서 인공경량골재의 단위용적질량 시험은 KS F 2505에 준하여 실시하였으며, Fig. 1에 시험전경을 나타내었다.

6) 안정성 및 환경유해성

골재의 안정성이란 풍우나 한서에 대한 내구성을 증가시키기 위하여 골재의 안정화 정도를 판단하는 것으로 황산나트륨 또는 황산마그네슘용액에 대한 침식시험을 통해 골재의 부서짐 작용에 대한 저항성을 평가하는 것이다(Ju et al. 2002). 경량골재의 안정성 시험은 KS F 2507에 준하여 실시하였다. 또한 인공경량골재의 환경성 검토를 위하여 폐기물공정시험방법으로 중금속 용출 특성을 분석하여 환경유해성을 평가하였다.



Fig. 1. Test view

4. 실험결과 및 고찰

4.1 사용재료의 물성

본 연구에서 인공경량골재 제조를 위한 슬러지는 대구염색공단에서 발생하는 화학처리슬러지(Ti염, Fe염)를 사용하였으며, 슬러지의 기본 물성을 알아보기 위하여 수분함량, 강열감량 및 중금속 용출 특성을 분석하였다.

Fig. 2는 탈수 및 건조슬러지에 대한 수분함량시험 결과를 나타낸 것으로 탈수슬러지는 평균 76%, 건조슬러지는 평균 23%의 수분함량을 나타내었다. 탈수슬러지의 높은 수분함량은 경량골재 제조를 위한 혼합 성형시 균질성 저하로 경량골재의 품질 및 입형형성을 어렵게 하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 건조슬러지를 사용하였다.

Fig. 3은 염색공단 슬러지에 함유된 유기물함량 분석을 위한 강열감량 시험 결과를 나타낸 것으로 화학처리공정에서 발생하는 슬러지의 유기물 함량은 Ti염 슬러지 64.1%, Fe염 슬러지 56.2%, 혼합슬러지 70.3%로 나타났다. 염색공단에서 발생되어 최종 처리되는 슬러지는 주로 혼합슬러지이나, 유기물 함량이 높아 본 연구에서는 Ti염 슬러지와 Fe염 슬러지를 원재료로 사용하였다.

Table 4는 Ti염과 Fe염 슬러지 및 점토에 대한 중금속 용출특성을 나타낸 것으로 Ti염과 Fe염 및 점토 모두 폐기물 관리법에서

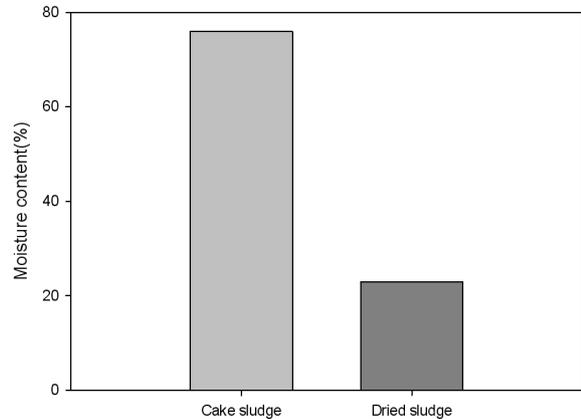


Fig. 2. Moisture content of sludge

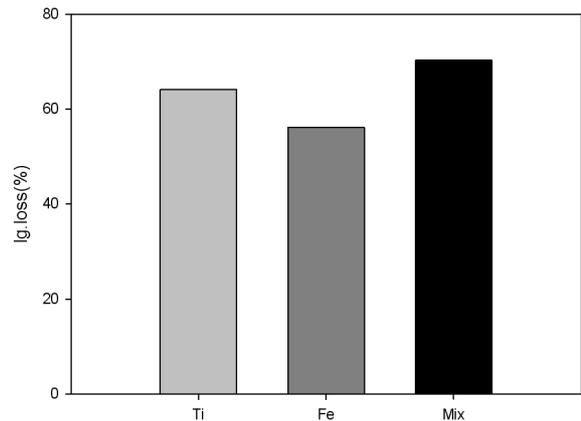


Fig. 3. lg. loss of sludge

Table 4. Properties of heavy metal extraction

Types	Hazardous materials (mg/L)										
	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr ⁶⁺	CN	Organic phosphorus	PCE	TCE	Oil
Standard value	3	3	1.5	0.005	0.3	1.5	1	1	0.1	0.3	5
Ti Salt sludge	Nd	0.333	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.804
Fe Salt sludge	Nd	0.222	Nd	0.001	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	0.538
Clay	Nd	0.001	Nd	0.027	Nd	0.001	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

Nd: Not detected

규정하고 있는 지정폐기물에 함유된 유해물질 기준을만족하는 것으로 나타났다. 일부 항목에서는 구리, 수은, 기름성분이 검출되었으나 폐기물 관리법상 기준치인 구리 3미만, 수은 0.005미만, 기름 성분 5미만으로 만족하는 결과를 나타내었다. 그러나 환경적인 측면에서 슬러지를 활용하여 생산된 경량골재에 대한 중금속 용출 특성에 대한 분석도 필요할 것으로 판단된다.

4.2 점토와 슬러지 배합비율에 따른 성형성

염색공단 슬러지를 이용한 인공경량골재 제조를 위해서는 슬러지의 가소성을 부여하기 위해 첨가된 점토의 최적비율과 성형성을 고려한 최적 함수량을 선정하여야 한다. 이를 위해 Table 3과 같은 배합비율을 기준으로 함수율에 따른 성형성을 평가하였으며, 점토와 슬러지 혼합비율 1:1 및 4:1에 대한 함수율별 성형성 평가 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

또한 점토 및 슬러지 배합비율 6시리즈에 대한 함수율 변화에 따른 성형성 평가 결과를 Table 5에 나타내었으며, 점토 및 슬러지 배합비율 1:1, 4:1 시리즈에 대한 성형성 평가 전경을 Table 6에 나타내었다. Table 6과 같이 함수율에 따른 성형성은 24%이하와 33%이상에서는 대부분이 성형성 불량으로 나타났으며, 함수율

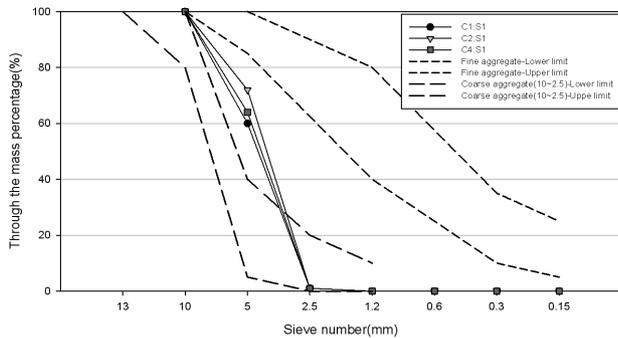


Fig. 4. Grading curve

Table 5. Evaluation of Plasticity

Types	Clay (C) : Sludge (S)					
	1:1	2:1	3:1	4:1	6:1	9:1
Moisture content (%)	18	×	×	×	×	×
	21	×	×	×	×	×
	24	×	×	△	△	△
	27	×	×	○	○	○
	30	○	○	○	○	○
	33	△	○	×	×	×
	36	×	-	-	-	-

*○: Good, △: Relatively Good, ×: Bad

27%와 30%에서 양호한 성형성을 나타내었다. 이것은 함수율 24% 이하의 경우 점착력 부족에 의한 영향으로 판단되며, 33%이상에서는 반죽질기가 너무 질기 때문인 것으로 판단된다. Table 5와 같이 성형성은 함수율 24%와 33%에서 일부 어느 정도의 형상을 갖는 비교적 양호로 평가된 경우도 있으나, 성형성을 고려한 최적 함수율은 27%~30%의 범위에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 함수율 30%를 기준으로 하였으며, 슬러지 재활용을 높이기 위하여 점토와 슬러지 배합비율 1:1, 2:1, 4:1로 하여 경량골재를 제작하였다.

4.3 입도 및 조립률

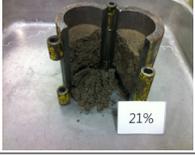
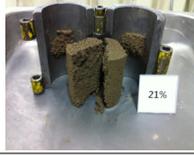
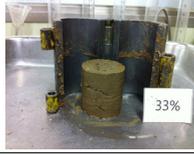
토목공사표준시방서에서 경량골재의 입도는 모양이 둥근 낱알 이고 KS F 2534 「구조용 경량골재」의 규정에 따르면, 굵은 골재의 최대치수는 공사시방에 따르며 공사시방에 정한 바가 없을 때에는 15mm 또는 20mm, 잔골재는 0~5mm의 입도범위를 규정하고 있다. 일본의 경우 인공경량골재의 입도에 대하여 JIS A 5002에 종류와 품질을 규정하고 있으며, 미국은 ASTM C 330에 규정하고 있다.

또한 골재의 조립률은 경제적인 콘크리트의 배합과 입도의 균 질성을 판단하기 위하여 사용하는 값으로 품질이 좋은 콘크리트를 만들기 위해서는 규격에서 요구하는 입도 범위 내에 있는 골재를 사용하는 것이 좋다. 경량골재의 조립률 기준값은 잔골재의 경우 2.3~3.1, 굵은 골재의 경우 6~8의 범위로 규정하고 있으며, 입도의 균일성을 확인하기 위하여 주기적으로 조립률을 측정하도록 하고 있고, 조립률이 허용값과 7%이상 차이 나면 사용하지 못하도록 하고 있다.

본 연구에서는 염색공단 슬러지를 이용하여 제조된 인공경량골재의 입도 및 조립률을 확인하기 위하여 입도시험을 실시하였으며, 결과를 바탕으로 Fig. 4에 입도분포 곡선을, Table 7에 조립률을 나타내었다. Fig. 4에서 인공경량골재의 입도는 잔골재와 굵은 골재 표준입도분포곡선 사이에 존재하는 것으로 나타나 기준범위를 만족시키지 못하였다. 또한 조립률은 Table 7과 같이 약 5.3~5.4의 범위로 잔골재와 굵은 골재 기준 값의 중간범위 내에 존재하고 있다.

이와 같이 경량골재의 입도 및 조립률이 기준 값을 벗어나는 것은 경량골재 제조시 수작업에 의한 성형에 기인한 것으로 향후 경량골재 생산 공정에서 충분히 제어 가능할 것으로 판단된다.

Table 6. Plasticity according to moisture content

Types	Clay (C) : Sludge (S)						
	1:1			4:1			
	Hand	Specimen	Eva-luation	Hand	Specimen	Eva-luation	
Moisture content (%)	18			Bad		-	Bad
	21			Bad			Bad
	24			Bad			Relatively Good
	27			Bad			Good
	30			Good			Good
	33			Relatively Good			Bad
	36		-	Bad			Bad

4.4 밀도 및 흡수율

콘크리트표준시방서에서는 인공경량골재의 밀도는 절건 밀도로 규정하고 있으며, 잔골재는 1.8 미만, 굵은 골재는 1.5 미만으로 규정하고 있다. 또한 경량골재의 흡수율은 일반적으로 보통골재보다 크게 나타나는데, 이것은 골재 속에 다수의 공극이 존재하기 때문으로 잠재적으로 공극만큼 흡수가 가능 하나, 공극 중에 미세한 독립기포로 인해 실제에 있어서는 그 만큼 흡수되지 않는다 (Park et al, 2009).

Fig. 5에 배합비율에 따른 인공경량골재의 밀도를 나타내었으며, Fig. 6에 흡수율을 나타내었다.

Fig. 5에서 점토와 슬러지 혼합비율에 따른 경량골재의 표건 밀도는 1.69~1.88g/cm³, 절건 밀도는 1.21~1.52g/cm³의 값으로 나타나, 잔골재 기준 값인 1.8g/cm³미만은 모두 만족한다. 그러나 굵은 골재 기준 값인 1.5g/cm³미만에는 4:1 혼합비의 경우 1.52g/cm³로 약간 높게 나타났으나, 그 외 혼합비는 만족하고 있다.

Fig. 6에서 경량골재의 흡수율은 24~39%의 범위를 나타내고

Table 7. Fineness modulus

Types	F.M.	Standard value
1:1	5.39	Fine aggregate : 2.3~3.1 Coarse aggregate : 6 ~ 8
2:1	5.26	
4:1	5.35	

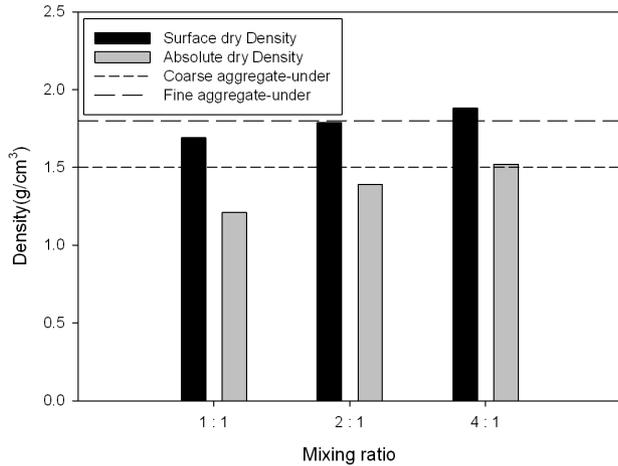


Fig. 5. Density of mixing ratio

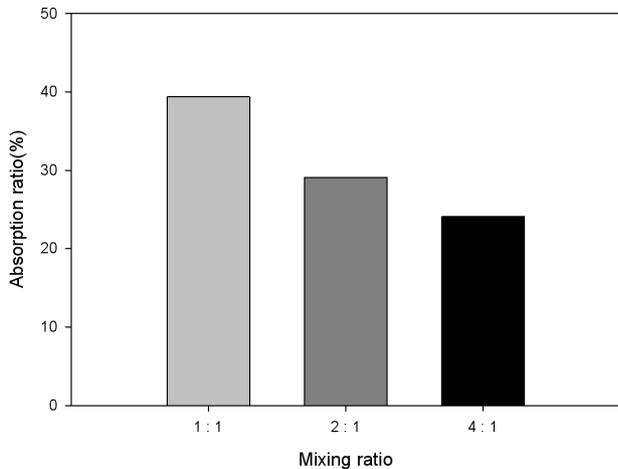


Fig. 6. Absorption of mixing ratio

있으며, 슬러지의 비율이 증가할수록 흡수율이 높아지는 경향을 보이고 있다. 이는 슬러지 내에 포함된 유기물의 산화로 인한 많은 기공이 존재하기 때문인 것으로 사료된다.

4.5 단위용적질량

골재의 단위용적질량은 1m³의 골재 질량을 말하며, 인공경량골재의 단위용적질량은 잔골재 1,120kg/m³이하, 굵은 골재 880kg/m³이하, 혼합골재 1,040kg/m³이하로 규정하고 있다. Fig. 7은

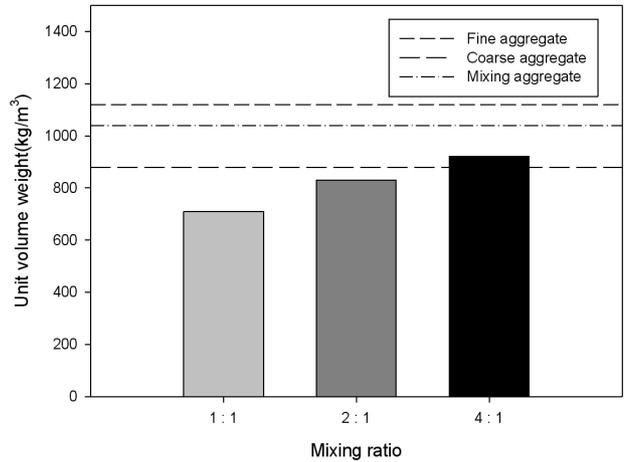


Fig. 7. Unit volume weight of mixing ratio

염색공단 슬러지로 제조된 인공경량골재의 혼합비율에 따른 단위용적질량을 나타낸 것으로 점토와 슬러지 배합비율 1:1, 2:1 혼합의 경우 잔골재, 굵은 골재, 혼합골재 모두 기준을 만족하였다. 반면 배합비율 4:1의 경우 잔골재와 혼합골재의 기준은 만족하나, 굵은 골재 기준은 조금 벗어나는 것을 알 수 있다. 이것은 제조 경량골재의 입도 영향으로 향후 제조공정 상에서 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

4.6 안정성 및 환경유해성

골재의 안정성은 내구성을 판단하는 기준이 되며, 내구성이 좋은 콘크리트를 만들기 위해서는 안정성이 좋은 골재를 사용하여야 한다. 경량골재의 안정성 기준 값은 잔골재 10%이하, 굵은 골재 12%이하로 규정하고 있다.

Fig. 8은 경량골재의 안정성 시험 결과를 나타낸 것으로 점토와 슬러지 혼합비율에 따라 7.6%~8.5%의 범위를 나타내고 있어 잔골재와 굵은 골재의 안정성 품질기준을 모두 만족하고 있다. 본 연구에서 제조된 경량골재는 향후 콘크리트 2차 제품 또는 콘크리트 제품 등에 인공경량골재로 사용될 수 있다. 이 때 지정폐기물에 함유된 유해물질에 의한 환경유해성 문제가 발생할 수 있으므로, 이를 검토하기 위하여 폐기물공정시험법에 준하여 중금속 용출 특성을 분석하였으며, 그 결과를 Table 8에 나타내었다.

Table 8에서 경량골재의 중금속은 구리와 기름성분 항목에서 일부 검출되었으나, 폐기물 관리법상 기준 값인 구리 3미만, 기름 성분 5미만으로 폐기물 관리법에서 규정하고 있는 지정폐기물에 함유된 유해물질 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

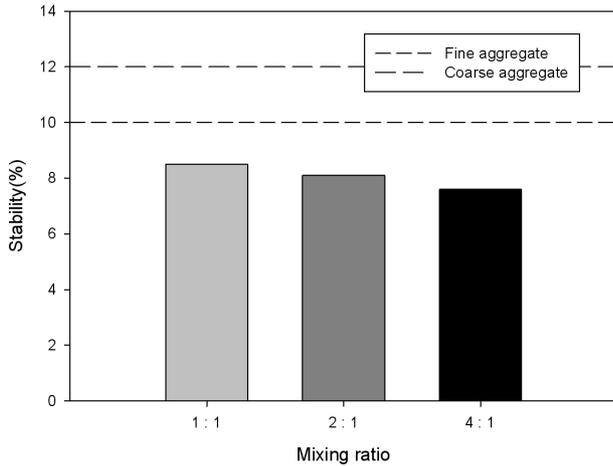


Fig. 8. Stability of mixing ratio

Table 8. Properties of heavy metal extraction

Types	Hazardous materials (mg/L)					
	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr ⁶⁺
Light weight aggregate	Nd	0.012	Nd	Nd	Nd	Nd
	CN	Organic phosphorus		PCE	TCE	Oil
	Nd	Nd	Nd	Nd	0.001	

Nd: Not detected

5. 결론

본 연구는 Ti염과 Fe염으로 화학 처리된 염색공단 슬러지를 이용하여 인공경량골재를 제조하고, 인공경량골재로의 활용성 검토를 위하여 골재로서의 물리적 특성 등을 평가한 것으로 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 염색공단 슬러지는 가소성이 부족하여 성형성 문제를 해결하기 위해 점결제가 필요 하며, 점결제로 사용된 점토와 슬러지 배합비율별 최적 함수율은 27%~30%에서 가장 우수한 성형성을 나타내었다.
2. 인공경량골재의 입도는 잔골재와 굵은 골재 표준입도분포곡선 사이에 존재하는 것으로 나타났으며, 조립률은 5.3~5.4의 범위로 잔골재와 굵은 골재 기준 값의 중간범위로 나타났다. 이것은 경량골재 제조 시 수작업에 의한 성형에 기인한 것으로 향후 경량골재 생산 공정에서 충분히 제어 가능할 것으로 판단된다.
3. 인공경량골재의 절건 밀도는 1.21~1.52g/cm³의 값으로 나타나 점토와 슬러지 혼합비율에 관계없이 잔골재 기준 값을 모두 만

족하였으나, 4:1 혼합비의 경우 1.52g/cm³로 굵은 골재 기준 값인 1.5g/cm³미만을 벗어났다. 또한 함수율은 24~34%의 범위로 슬러지의 비율이 증가할수록 함수율이 높아지는 경향을 나타내었다.

4. 단위용적질량은 점토와 슬러지 배합비율 1:1, 2:1의 경우 잔골재, 굵은 골재, 혼합골재 모두 기준 값을 만족하였다. 반면 배합비율 4:1의 경우 잔골재와 혼합골재의 기준은 만족하나, 굵은 골재 기준은 조금 벗어났다. 이것은 경량골재의 입도 영향으로 향후 제조공정에서 입도조정으로 해결할 수 있을 것으로 판단된다.
5. 인공경량골재의 안정성은 점토와 슬러지 혼합비율에 따라 7.6%~8.5%의 범위를 나타내어 잔골재와 굵은 골재의 안정성 품질기준을 모두 만족하였다. 또한 중금속 용출 특성 분석 결과 대부분의 유해물질은 검출되지 않았으며, 일부 구리, 기름성분이 검출되었으나 폐기물관리법의 지정폐기물 기준 값 미만으로 나타났다.

References

- Cho, J. K., Kim, H. J., & Park, Y. J. (2008). The Status and Task of Sewage Sludge Treatment. Korea Society Environmental Administration, **14(2)**, 73-82.
- Choi, B. W., Lee, J. M., Jung, Y. W., Oh, D. S., YUN, D. K., & Jang, S. S. (2013). A Study on Manufacture of Lightweight Aggregate for Reduction of Firing Temperature using Dyestuff Sludge. Journal of Korean Concrete Institute, 269-270.
- Ju, S. Y., & kim, K. Y. (2002). A Study on The Comparison of Leaching Methods and Stability of Cement Mortar
- Kim, D. M., Mun, K. J., & Soh, Y. S. (2005). Applicability of inorganic waste as binder at manufacturing of Light weight aggregates using high content sewage sludge. Journal of Korean Concrete Institute, 157-160.
- Kim, H. Y., & Bae, K. H. (2012). The Present Status and Suggestions for Wastewater Sludge Recycling. Journal of Nakdonggang Environmental Research Institute, **16(1)**, 235-240.
- Kim, I. G. (2005). The Solidification for Recycling as Landfills Cover material of Wastewater Sludge. Master's thesis, Kyungpook national University, Daegu.

Korean Standards Association, (2009). KS F 2534 Lightweight aggregate for structural concrete. Seoul: Ministry of Knowledge Economy.

Nam, Y. W., & Han, K. S. (2011). A Study on the Present State and Improvement Plan of Domestic Sewage Sludge Treatment. Korea Solid Wastes Engineering Society, **28(1)**, 103–109.

Park, D. O., Sa, S. H., Kim, S. H., Ji, S. W., Choi, S. K., & Seo, C. H. (2009). A Study on the Properties of Lightweight

Aggregate Concrete according to the Pore Structure and Water Absorption Characteristics of Lightweight Aggregate. Journal of the Architectural Institute of Korea, **25(3)**, 85–92.

Seo, C. H., Ji, S. W., Lee, S. Y., Lee, J. S., & Lee, J. W. (2005). A Study on Application of Ready Mixed Concrete of ECO Lightweight Aggregate using Sewage Sludge. Journal of Korean Concrete Institute, 109–112.

Solidified Cadmium sludge, Korean J. Sanitation, **17(3)**, 21–30.

Ti염 및 Fe염으로 화학처리된 염색공단 슬러지를 재활용한 인공경량골재의 물리적 특성에 관한 연구

본 연구는 단순매립 및 소각처리 되고 있는 염색공단 슬러지의 재활용을 목적으로 Ti염과 Fe염으로 화학 처리된 염색공단 슬러지를 이용하여 인공경량골재를 제조하고, 인공경량골재로의 활용성 검토를 위하여 골재의 물리적 특성과 환경유해성 등을 평가하였다. 인공경량골재 제조는 점결제로 점토를 이용하여 점토와 슬러지 배합비율에 따른 성형성을 평가하여 최적 함수량을 선정하고, 최적 배합비를 기준으로 둥근 모양의 형태로 가공한 후 건조과정과 2단계의 소성과정을 거쳐 제조하였다. 제조된 경량골재는 KS F 2534 「구조용 경량 골재」를 기준으로 인공경량골재의 입도 및 조립률, 밀도 및 흡수율, 단위용적질량, 안정성 및 환경유해성 등을 평가하였다. 실험 결과 입도와 조립률에서 기준 범위를 일부 벗어났으나 다른 모든 물리적 특성은 기준 값을 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 입도와 조립률도 향후 제조공정에서 충분히 해결할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.