

정수슬러지를 이용한 점토벽돌 생산 기술 개발 연구

황현욱 · 김지훈 · 김영주[†]

경북대학교 환경공학

(2009년 1월 21일 접수, 2009년 3월 27일 채택)

Recycling of Waterworks Sludge in Red Clay Bricks Manufacturing

Hyeon Uk Hwang · Ji Hoon Kim · Young Ju Kim[†]

Department of Environmental Engineering, Graduate School, Kyungpook National University

ABSTRACT : This study was conducted to search possibilities of the use of sludge from waterworks industry in the manufacturing of red clay bricks. Different compositions of the sludge were added into the raw materials of the bricks and required engineering characteristics of the manufactured bricks were examined. Compressive strength, plasticity, and surface absorption of the recycled bricks were analyzed and were compared with the bricks quality standard rules and regulation for quality assurance of the product. Compressive strength of the bricks made in a ratio 75% clay, 5% sludge and 20% silica was found 261.3 kg/cm² and that was comparable with first grade bricks standard. Compressive strength of the bricks made in a ratio 70% clay, 10% sludge, and 20% silica was found 249.9 kg/cm² while it was decreased to 217.3 kg/cm² when bricks were made in a ratio 65% clay, 15% sludge and 20% silica. However, these values of compressive strength were in agreement with the bricks quality standard. Surface absorption of the bricks made by the mixing of 20% silica with varying amount of sludge, i.e., 5%, 10%, and 20% was found 10%, 9.65% and 10.92% respectively. These values satisfied the quality standard of bricks of grade 1 and 2. Recycling of proper amount of sludge in bricks making could produce bricks of high engineering characteristics.

Key Words : Clay, Waterworks Sludge, Compressive Strength, Clay Brick, Absorption Rate

요약 : 본 연구는 정수슬러지를 친환경적인 자원으로 재활용하기 위한 방안으로서 유해성이 없는 점토벽돌 및 보도블록 등으로 재활용하기 위하여 진행되었다. 정수슬러지를 점토벽돌 원료로 대체할 수 있는지에 대한 연구를 수행함에 있어 각각의 원료의 성상을 분석하고 일축압축강도, 흡수율, 중량 및 용출특성을 비교 검토하였다. 그 결과 규사를 20% 고정시킨 후 정수슬러지 5~10%, 점토 70~75% 주입하였을 때 점토벽돌 한국산업규격 품질 1종(압축강도 210.1 kg/cm², 흡수율 10% 이하)에 가장 적합한 결과를 보였으며, 중금속 용출 실험에서도 모든 항목의 농도가 법적 유해물질 용출기준치 이하로 나타났다. 정수슬러지를 이용하여 점토벽돌 제작시 슬러지 5~10%를 주입하여도 시중에서 판매되는 점토벽돌의 품질에 떨어지지 않는다고 사료된다.

주제어 : 점토, 정수슬러지, 압축강도, 점토벽돌, 흡수율

1. 서론

정수장에서 처리된 슬러지는 대부분이 근처 하류하천에 직접 배출되어 왔으나, 정수시설의 대형화와 하천유량의 감소로 하류하천은 이런 방류처분을 감당하기 어렵게 되었고, 또한 환경에 대한 규제가 강화되면서 지표수에 슬러지를 직접 배출하거나 토지에의 투기는 이미 금지되고 있는 실정이다.¹⁾ 정수슬러지는 하수슬러지보다 유기물 함량이 적기 때문에 비료 등의 농업적 유기원료로서의 활용에는 문제가 있어 정수슬러지의 주체인 무기성분과 토질 분류상 점토에 가까운 성상을 이용하여 주로 토공재료 또는 요업, 연와[煉瓦]의 재료 등에 응용하려는 시도가 있어 왔다.²⁾

정수슬러지는 2005년까지 50% 정도 해양처리를 하였고, 2007년부터는 런던협약 발효로 인하여 해양투기가 금지되었다. 따라서 수도권에서는 매립지로 전환처리 하고 있으며 지방에서는 대부분 성토, 복토제로 재활용하고 있다.^{3,4)} 그러나, 매립의 경우 중간처리과정을 거치지 않고 건설폐기물과 혼합될 경우 누적된 침출수로 지하수오염이 발생함으로 이에 따른 민원이 제기되고 있다.^{5,6)}

현재 폐기물을 이용한 건축용 자재와 공업용 보온재에 관하여 화재시 연소되지 않고 유독가스도 발생되지 않는 경량재료의 개발이 요망되고 있어, 불연성 초경량자재의 제조에 크게 기여하고 있다. 따라서 국내에서도 정수슬러지와 같은 폐기물을 환경적, 사회적 차원에서 대처해야 할 시점에 도달하였다.^{7,8)}

본 연구에서는 정수슬러지를 친환경적인 자원으로 재활용하기 위한 방안으로써 인체 유해성이 없고 점토 성상을 다량 함유하고 있는 정수슬러지와 점토, 황토 및 규사를

[†] Corresponding author
E-mail: yjukim@knu.ac.kr
Tel: 053-950-6585

Fax: 053-950-6579

혼합하여 점토벽돌 및 보도블록의 제작에 정수슬러지의 활용 가능성을 검토하였다. 정수슬러지를 점토벽돌 원료로 대체할 수 있는지에 대한 연구를 수행함에 있어 각각의 원료의 성상을 분석하고 일축압축강도, 흡수율, 중량 및 용출특성을 검토하여 실질적인 점토벽돌 제작시 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 시료의 성상

본 실험에 사용한 정수슬러지는 대구광역시에 있는 D정수장에서 채취하였으며, 탈수 처리한 슬러지를 사용하였다.

시료의 함수율은 0.30~32.39%, 강열감량은 0.45~21.22%, 고형물은 43.54~99.70%, 유기물함량은 0.19~0.59%, 비중은 1~2.5로 나타났으며, 중금속 용출은 Pb, Cu, As, Cd, Cr⁶⁺에서 미량 검출되었지만 기준치에 비해 매우 낮게 나타났다.

2.2. 점토벽돌

본 연구에서는 점토, 황토, 규사 및 정수슬러지를 고화제로 사용하였으며, 고형화 실험은 고화제 종류, 주입비율 및 소성방법 등 실험조건을 달리하였으며, 선행 실험으로 황토와 규사, 점토와 규사를 혼합하여 규사의 주입비율을 정하였다. 소성방법은 3가지 방법으로 실험하였으며, 그중 최적의 조건을 선별하여 본 실험에 적용하였다.

Table 1. Characteristics of sample

	Water ratio	Ignition loss	Solid	Organic ratio(TOC)	Specific gravity
Waterworks sludge	32.39	21.22	43.54	0.59	1
Clay	16.68	5.21	83.32	0.27	1.8
Loess	32.39	14.65	67.31	0.24	1.7
Silica	0.30	0.45	99.70	0.19	2.5

(unit : %)

First firing method	Second firing method	Third firing method
150℃	150℃	60 min
250℃	250℃	60 min
350℃	350℃	60 min
450℃	450℃	60 min
550℃	550℃	60 min
650℃	650℃	60 min
750℃	750℃	60 min
850℃	850℃	60 min
950℃	950℃	60 min
1050℃	1050℃	60 min
1150℃	1150℃	4 hr

Fig. 1. Firing method of sample.

Fig. 1을 보면 1차 소성방법은 실온에서부터 1,150℃까지 가열한 후 1,150℃에서 4시간 동안 온도를 유지하고 소성로에서 방랭한 후 300℃가 되었을 때 소성로 문을 산소가 공급될 정도로 열어두었다.

2차 소성방법은 실온에서 150℃가 되면 60분간 유지시키고 250℃까지 가열 후 다시 60분간 유지하는 방법으로 100℃간격으로 60분씩 유지하는 것을 1,150℃에 도달할 때까지 반복하였다. 1,150℃에서 4시간 동안 온도를 유지한 후 소성로에서 방랭하고, 300℃가 되었을 때 소성로 문을 산소가 공급될 정도로 열어두었다.

3차 소성방법은 실온에서 450℃가 되면 3시간 동안 유지시키고 750℃까지 가열 후 750℃에서 1시간동안 유지시켰다. 그리고 1,150℃에 도달할 때까지 가열하고 5시간동안 온도를 유지한 후 소성로에서 방랭하였으며 700℃에 도달하면 온도를 유지하면서 500℃까지 서서히 방랭시켰다. 500℃까지 방랭하는데 걸리는 시간을 5시간으로 하였으며, 300℃가 되었을 때 소성로 문을 산소가 공급될 정도로 열어두었다.

700℃에서 500℃까지 방랭하는 시간을 늦추는 이유는 이 구간이 강도에 가장 영향을 미치는 구간이기 때문이며, 300℃에서 소성로 문을 산소가 공급될 정도로 열어두는 이유는 점토벽돌의 색상 및 강도에 영향을 미치는 구간이기 때문이다.

또한 슬러지를 점토벽돌 재료로 재활용함에 있어 그 가능성을 알아보기 위하여, 점토와 슬러지의 혼합에 규사의 혼합 비율을 20% 및 30%로 각각 달리하여 실험하였으며, 규사 주입비율이 20%인 경우, 규사를 20%로 고정시키고 슬러지의 주입 비율은 5~50%까지 변화를 주었다. 규사 주입비율이 30%의 경우도 동일하게, 규사를 30%로 고정시키고 슬러지를 5~50%까지 변화를 주어 실험하였다. 점토벽돌의 제작은 정수슬러지와 고화제를 충분히 건조시킨 후 슬러지 및 고화제를 파쇄하여 비율에 맞게 중량 측정하고 믹싱하였다. 믹싱한 고화제를 성형기에 넣고 고무망치로 충분히 두들긴 후, 실온에서 건조시키고 건조기(60~70℃)에서 48시간 동안 완전건조 시켰으며, 완전히 건조시킨 성형물을 소성방법에 따라 소성하여 흡수율과 압축강도를 측정하였다.

2.3. 압축강도 및 흡수율

고형물의 압축강도는 디지털 콘크리트 압축강도 시험기 (Digital Motorized Compression Tester, HS-1471, 한신금풍, 한국)를 사용하였다. 본 압축강도 측정에 사용된 디지털 콘크리트 압축강도 시험기는 각종 수치를 바로 읽을 수 있는 디지털 전동식으로 구성되어 있으며 필요에 의해 기록 장치도 부착할 수 있고, 각종 가압판을 준비할 경우 벽돌, 블록, 휘강도 시험을 할 수 있으며, Oce Touch Load Value로 제작되었다.^{8,9)}

흡수율 측정 실험은 시료를 110±5℃의 공기 중탕 속에서 24시간 건조한 후 실온까지 방랭하고 칭량하였다. 그

후, 20±5℃의 물속에 24시간 정치한 후 물속에서 꺼내어 신속히 젖은 헝겊으로 표면의 수분을 닦은 후 무게를 측정하고 흡수율을 계산하였다.¹⁰⁾

2.4. 중금속 용출

폐기물관리법에 명시되어 있는 폐기물공정시험법에 따라 KLT (Korea Leaching Test) 용출시험을 시행하였다. 먼저 압축강도 측정이 마무리된 공시체를 입경 5 mm 이하가 되도록 분쇄한 후 5 mm 체로 거른다. 준비된 시료를 증류수에 염산을 가하여 pH 5.8~6.3으로 한 용액으로 시료:용액을 1:10(W:V)의 비율로 제조한 후 20℃, 200 rpm, 진폭 4~5 cm 정도인 교반기를 사용하여 6시간 동안 연속 교반 후, 고액분리를 위하여 원심분리기에 넣어 3,000 rpm으로 20분간 원심분리 시켰다. 고액분리 후 상정액을 채취하여 0.45 μm PVDF (Millipore, MILLEX-HP33MM)로 여과한다. 이렇게 만들어진 여과액을 ICP-OES, Optima 2100 DV (Perkin Elmer Co, USA)를 사용하여 Pb, Cu, Cd, As, Cr 중금속의 농도를 측정하였다.^{11,12)}

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 규사 주입량 및 시료를 결정하기 위한 선행 실험

점토와 규사, 황토와 규사를 각각의 비율로 혼합하여 공시체의 압축강도를 측정하였다.

Fig. 2에 나타난 바와 같이 황토와 규사를 혼합한 경우 압축강도는 상당히 낮게 나타났으나, 점토와 규사를 혼합한 경우에는 압축강도가 황토+규사보다 높게 나타났다. 점토와 규사를 혼합한 경우 점토의 주입비율이 증가할수록 일정하게 상승하였고 점토의 주입비율 100%에서 357.2 kg/cm²로 가장 높은 강도를 보였다. 점토 주입비율이 70% (219.9 kg/cm²), 80% (279.2 kg/cm²), 100% (357.2 kg/cm²)에서 점토벽돌의 한국산업기준 품질 1종강도 210.1 kg/cm²에 적합한 결과를 나타내었다. 황토와 규사의 혼합은 점토와 유사한 경향을 보였지만 전체적으로 압축강도가 15~

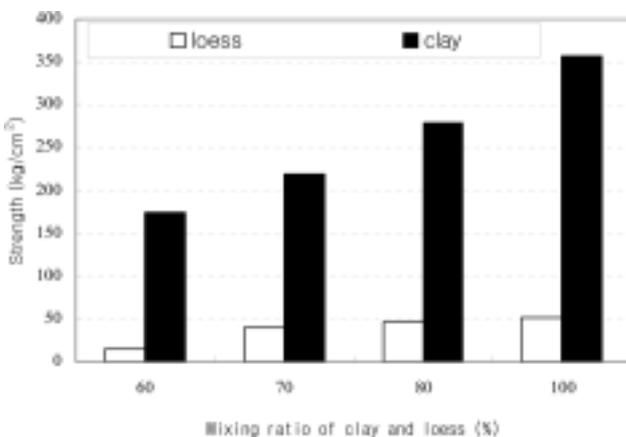


Fig. 2. Compressive strength of clay and loess at each mixing ratio.

50.7 kg/cm²로 낮게 나타났다. 이는 기존의 소성 온도인 최대 1150℃보다 고온에서 소성해야 만족하는 강도를 얻을 수 있기 때문이다. 선행 실험에서 나타난 결과를 바탕으로 본 실험에서는 점토를 적용시켜 실험하였으며, 규사의 주입비율을 달리하여 실험한 결과 규사의 주입비율이 0%일 때 강도가 가장 높게 나타났지만 소성 후 성형물에 균열이 생겼다. 규사의 주입비율이 20%와 30%일 때 성형물에 균열이 없었고 품질 기준에 가장 적합한 결과를 나타내어 규사 주입비율을 20%와 30%로 정하여 실험을 수행하였다.

3.2. 압축강도

3.2.1. 소성방법에 따른 압축강도 변화

점토와 정수슬러지를 각각의 비율로 혼합, 성형 및 건조 후 3가지 소성방법으로 실험하였다.

Fig. 3에 한국산업기준 품질 강도(1~3종 강도) 및 정수슬러지 주입비율에 따른 각 소성법에서의 압축강도를 나타내었다. Fig. 3에 제시된 바와 같이 1차 소성방법에서의 압축강도는 약 106.9~215.6 kg/cm²로 측정되었으며, 슬러지 최소 주입비율인 5%일 때 압축강도가 215.6 kg/cm²로 가장 높게 나타났다. 2차 소성방법에서의 압축강도는 약 38.1~171.4 kg/cm²로 1차 소성의 경우와 마찬가지로 슬러지 최소 주입비율이 5%일 때 압축강도가 171.4 kg/cm²로 가장 높게 나타났다. 또한, 3차 소성방법에서 측정된 압축강도의 범위는 약 42.8~297.2 kg/cm²로 나타났으며, 슬러지 최소 주입비율이 5%일 때 압축강도가 297.2 kg/cm²로 가장 높게 나타났다. 3가지 소성방법으로 실험한 결과에서 3차 소성방법이 점토벽돌 제작에 있어 적절한 소성방법임을 알 수 있었으며, 모든 실험은 3차 소성방법을 적용하여 실험하였다.

3.2.2. 점토+정수슬러지+규사 혼합의 압축강도 변화

Fig. 4는 규사 주입비율을 20%로 고정시키고 정수슬러지의 주입량을 변화시켜 혼합한 후 점토벽돌을 제작하여 압축강도를 측정된 결과이다.

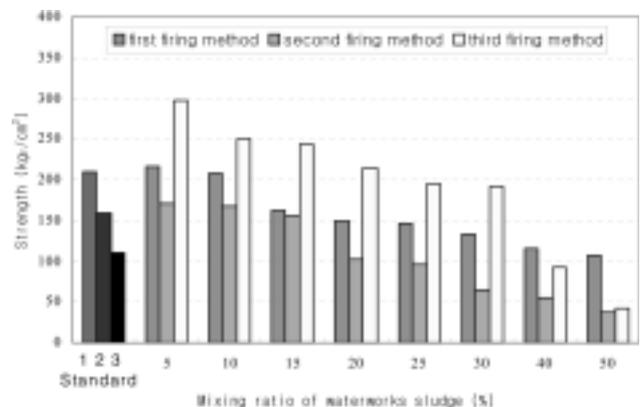


Fig. 3. Compressive strength at each firing method (clay + waterworks sludge).

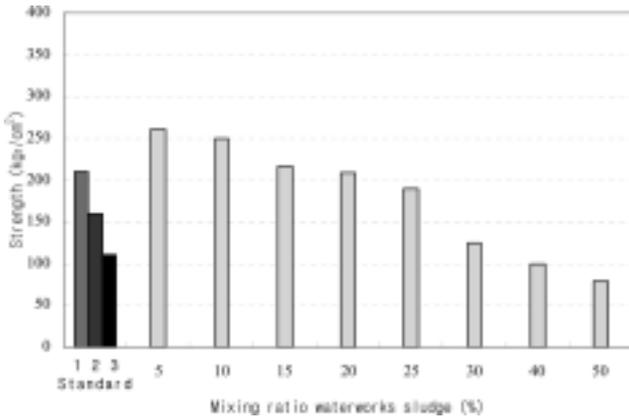


Fig. 4. Compressive strength at each mixing ratio (clay + waterworks sludge + sand 20%).

Fig. 4에 나타내었듯이 고형물의 압축강도는 슬러지의 주입비율이 증가할수록 그 강도가 감소하는 것으로 나타났다. 고형물의 압축강도는 약 79.2~261.3 kg/cm²로 나타났다. 슬러지 최소 주입비율인 5%일 때 압축강도가 261.3 kg/cm²로 가장 높게 나타났다. 그리고 슬러지 주입비율 30% 이상에서 압축강도가 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 슬러지 주입비율 15% 이하에서 점토벽돌 한국산업규격 품질 1종 압축강도 210.1 kg/cm² 기준에 만족하였으며, 슬러지 주입비율 20% 및 25%의 경우 품질 2종 압축강도 160.1 kg/cm², 슬러지 주입비율 30%에서는 품질 3종 압축강도 110 kg/cm² 기준에 만족하는 것으로 나타났다. 하지만 슬러지 주입비율 40%와 50%에서는 한국산업규격 품질 조건에 만족하지 못하는 것으로 나타나, 규사 주입비율을 20%로 고정하였을 때 정수슬러지의 주입비율은 5~10%가 가장 적당한 것으로 판단된다.

Fig. 5는 규사 주입비율을 30%로 고정시키고 정수슬러지의 주입량을 변화시켜 혼합한 후 점토벽돌을 제작하여 압축강도를 측정된 결과이다.

Fig. 5에 제시된 바와 같이 고형물의 압축강도는 약 67.8~219.7 kg/cm²로 나타났으며 슬러지 최소 주입비율이 5%일 때 압축강도가 219.7 kg/cm²로 가장 높게 나타났다. 그

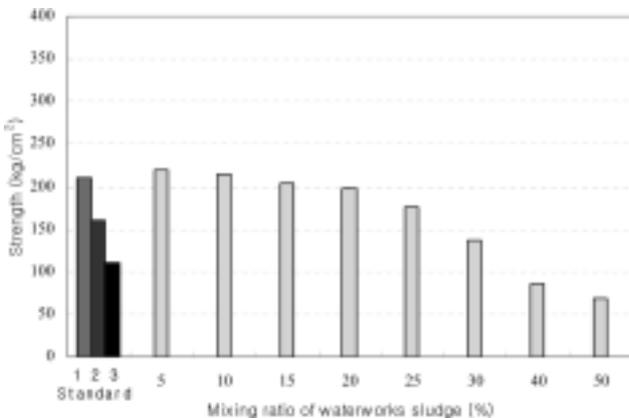


Fig. 5. Compressive strength at each mixing ratio (clay + waterworks sludge + sand 30%).

리고 슬러지 주입비율 30% 이상에서 압축강도가 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 슬러지 주입비율 5% 및 10%의 경우 점토벽돌 한국산업규격 품질 1종 압축강도 210.1 kg/cm² 기준에 만족하였으며, 슬러지 주입비율 15%, 20% 및 25%에서 품질 2종 압축강도 160.1 kg/cm², 슬러지 주입비율 30%에서 품질 3종 압축강도 110 kg/cm² 기준에 만족하였다. 하지만 슬러지 주입비율 40%와 50%에서는 한국산업규격 품질 조건에 만족하지 못하는 것으로 나타나, 규사 주입비율을 30%로 고정하였을 경우 정수슬러지 주입비율은 5~10%가 가장 적당하다고 판단된다.

3.3. 흡수율

3.3.1. 점토+정수슬러지+규사 혼합에 따른 흡수율 변화

Fig. 6은 규사 주입비율을 20%로 고정시키고 정수슬러지의 주입량을 변화시켜 혼합한 후 점토벽돌을 제작하여 흡수율을 측정된 결과이다.

Fig. 6에 제시된 바와 같이 고형물의 흡수율은 일정한 상관관계를 보이지 않았으며, 슬러지의 주입비율이 40% 이상부터 흡수율이 급격히 증가하는 경향을 보였다. 고형물의 흡수율은 약 8.82~24.57%로 나타났으며, 슬러지 최소 주입비율인 5%일 경우 흡수율은 10%로 나타났다. 그리고 슬러지 주입비율이 5%, 10% 및 20%에서 점토벽돌 한국산업규격 품질 1종 흡수율 10% 이하 기준에 만족하였으며, 슬러지 주입비율 15%, 25% 및 30%에서 품질 2종 흡수율 13% 이하 기준에 만족하였다. 하지만 슬러지 주입비율 40%와 50%에서는 한국산업규격 품질 조건에 만족하지 못하였다. 규사 주입비율을 20%로 고정하였을 경우 슬러지 주입비율은 10% 이하가 가장 적당하다고 판단된다.

Fig. 7은 규사 주입비율을 30%로 고정시키고 정수슬러지의 주입량을 변화시켜 혼합한 후 점토벽돌을 제작하여 흡수율을 측정된 결과이다.

Fig. 7에 제시된 바와 같이 고형물의 흡수율은 약 9.21~18.75%로 나타났으며 슬러지 최소 주입비율이 5%일 때 흡수율은 9.69%로 나타났다. 그리고 슬러지 주입비율 25%부터 흡수율이 급격히 증가하였다. 슬러지 주입비율 20%

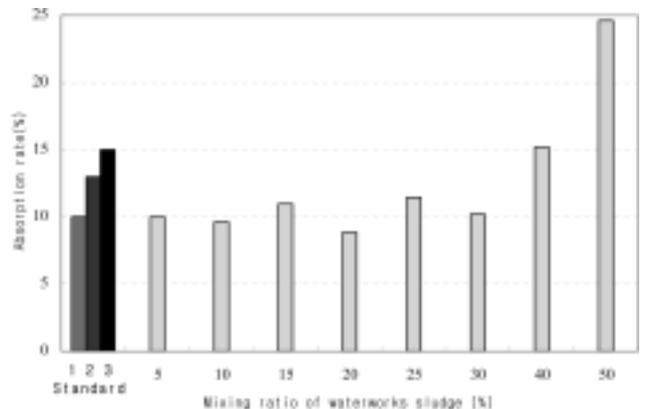


Fig. 6. Absorption rate at each mixing ratio (clay + waterworks sludge + sand 20%).

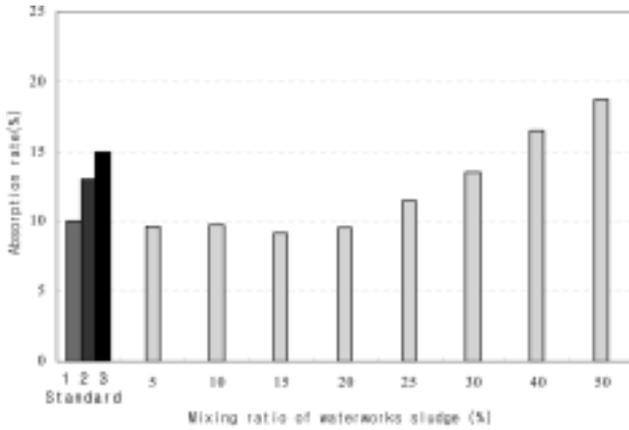


Fig. 7. Absorption rate at each mixing ratio (clay + waterworks sludge + sand 30%).

이하에서 점토벽돌 한국산업규격 품질 1종 흡수율 10% 이하 기준에 만족하였으며, 슬러지 주입비율 25%에서 품질 2종 흡수율 13% 이하, 슬러지 주입비율 30%에서 품질 3종 흡수율 15% 이하 기준에 만족하였다. 하지만 슬러지 주입비율 40%와 50%에서는 한국산업규격 품질 조건에 만족하지 못하였으며, 점토벽돌로 제작한 고품질의 중량은 정수슬러지의 주입비율이 증가할수록 감소하는 것을 알 수 있었다.

3.4. 중금속 용출 실험

점토, 정수슬러지 및 규사 20%에 대한 중금속 용출을 측정된 결과를 Table 2에 나타내었다. 측정결과 비소에서 소량의 농도가 검출되었으나, 용출기준치보다 많이 낮게 측정되었다. 그리고 모든 고품화 실험에 있어서 고품화물의 중금속 등 용출 농도는 대부분 검출되지 않았으며, 검출된 항목 역시 법적 유해물질 용출기준치 이하로 측정되었다. 슬러지 주입비율 및 압축강도에 따른 중금속 용출 농도는 일정한 상관관계는 나타나지 않았다. 규사 30%에 대한 중금속 용출 특성 역시 규사 20%와 나타난 경향이 유사하였으면 대부분 불검출로 나타났다.

Table 2. Heavy metal elution test of mixing ratio (clay + waterworks sludge + sand 20%)

(unit : mg/L)

Item	Standard	Mixing ratio of waterworks sludge (%)							
		5%	10%	15%	20%	25%	30%	40%	50%
Pb	3.0	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cu	3.0	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
As	1.5	0.051	0.052	0.006	0.011	N.D	N.D	N.D	N.D
Hg	0.005	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cd	0.3	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Cr ⁺⁶	1.5	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
CN	1.0	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

(N.D : Not Detected)

4. 결론

본 연구에서는 정수슬러지를 환경 친화적인 자원으로 재 활용 할 수 있는 가능성을 모색하고, 정수슬러지를 점토 및 황토와 혼합하여 점토벽돌로 제작하여 정수슬러지를 점토와 황토로 대체하는데 있어 주입비율을 결정하고 점토벽돌 원료로 재활용 가능 여부를 연구하였다. 점토벽돌 제작시, 3가지 소성방법으로 실험을 수행하였으며, 각각의 소성방법으로 실험한 결과 시간대별 온도변화 및 최고 온도에서 실온까지 식히는 방법에 여러 변화를 준 3차 소성방법이 가장 적합한 것으로 나타났다.

고형과 실험은 규사 주입비율 0%, 20% 및 30%의 3가지 조건으로 실험하였다. 그 결과 규사 주입비율 0%에 관한 실험은 전반적으로 가장 높은 강도를 보였지만 소성 후 점토벽돌에서 미세한 균열들을 볼 수 있었다. 규사 주입비율 20%에 관한 실험은 규사 주입비율 0%에 관한 실험보다 강도는 낮게 나왔지만 슬러지 주입비율 5~10%까지 점토벽돌 한국산업규격 품질 1종 압축강도 210.1 kg/cm², 흡수율 10% 이하 기준에 적합한 결과를 보였다. 그리고 소성 후 점토벽돌에 균열도 없었다. 규사 주입비율 30%에 관한 실험 역시 점토벽돌 한국산업규격에 적합한 결과를 보였지만, 규사 주입비율 20%에 관한 실험의 결과가 전반적으로 안정적으로 나타났다. 정수슬러지 주입비율이 높아질수록 압축강도는 감소하는 경향을 보였으며, 흡수율은 주입비율이 높아질수록 증가하는 경향을 보였다.

본 연구에서 사용된 정수슬러지의 중금속 등의 용출 분석 결과 모든 항목의 용출 농도가 법적 유해물질 용출기준치 이하로 나타났다. 모든 고품화 실험에 있어서 고품화물의 중금속 등 용출 농도는 대부분 검출되지 않았으며, 검출된 항목 역시 법적 유해물질 용출기준치 이하였다. 슬러지 주입비율 및 압축강도에 따른 중금속 용출 농도는 일정한 상관관계는 나타나지 않았다.

따라서, 정수슬러지를 고품제로써 사용하여 점토벽돌을 제작할 경우, 점토벽돌 품질 기준에 가장 적합한 주입 비율은 규사의 주입비율 20%, 정수슬러지의 주입비율 5~10%가 가장 적합하다고 판단된다. 향후 기공제를 첨가하여 경량점토벽돌에 관한 연구도 수행할 예정이다.

사사

본 연구는 환경부의 환경기술 인력양성 지원 사업으로 지원된 것으로 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 서울시정개발연구원, “정수슬러지의 처리·처분 연구,” 도시환경연구부, pp. 1~5(1997).
2. 김승현, “정수슬러지 처리에 관한 연구,” 대한토목학회,

- 1997(2), 495~498(1997).
3. 환경부, “2005 전국 폐기물 발생 및 처리 현황,” (2006).
 4. 環境部, “『지속가능한 자원순환형 사회』 확립을 위한 제2차 국가폐기물관리종합계획(2002~2011),” 환경부, pp. 21~31(2001).
 5. 문성용, “정수 슬러지 발생량 조사 및 슬러지 처리시설의 공정평가,” 상하수도학회, **18**(3), 279~290(2004).
 6. 권재현, “정수슬러지의 계절별 탈수성 비교,” 상하수도학회지, **15**(1), 58~93(2001).
 7. 임성진, 이재복, “석회처리에 의한 정수슬러지의 복토재 활용에 관한 연구,” 상하수도학회지, **14**(3), 231~239(2000).
 8. A.G.N. Othman, “Recycling of spent magnesite and ZAS bricks for the production of new basic refractories,” *Ceramics International*, **31**(8), 1053~1059(2005).
 9. 이동춘, “폐석분이 유해물질의 고형화 및 안정화에 미치는 영향,” 경북대학교 박사학위논문, pp. 54~65(2007).
 10. 황경진, “폐기 Garnet 미분말의 적벽돌 원료로의 재활용에 관한 연구,” 자원리싸이클링, **11**(2), 36~44(2002).
 11. 김영주, “Recycling of calcium fluoride sludge as additive in the solidification-stabilization of fly ash,” *SCI*, **5**, 377~381(2006).
 12. 임성진, “정수슬러지의 고화처리에서 황토 및 첨가제의 영향에 관한 연구,” 상하수도학회지, **17**(6), 802~809(2003).