

소각용융슬래그의 특성 및 수처리 여과재 활용에 관한 연구

박 상 구** / 김 건 흥**

The Characteristics of Melting Slag from MSWI and Sewage Water Filter Application

Park, Sang-Goo** / kim, Gun-Heung **

요지 : 본 연구의 목적은 폐기물에서 발생하는 소각재 용융슬래그의 여과재 활용가능성을 검증하는데 있다. 이를 위하여 소각재 용융슬래그의 여과재 기능을 수행할 수 있는지 안전성 검토를 수행하고, 일반적인 여과재로 사용되는 주문진 표준사를 대조군으로 하여 실제 여과실험을 수행함으로써 그 여과능을 분석하였다. 연구결과에 따르면 용융슬래그 여과재는 중금속 용출율이 지정폐기물 허용기준 내로 사용이 가능한 수준이며, 여과 실험 결과 SS와 COD의 경우 표준여과사와 유사한 수준의 여과능을 나타내었으며, T-N, T-P의 경우는 표준여과사 보다 소각용융슬래그가 T-N은 26.96%, T-P는 6.55% 더 높은 처리율을 보였다. 또한, 소각용융슬래그의 입경에 따른 제거율 비교를 수행한 결과 No.40#(0.43mm)와 혼입경의 경우 표준여과사와 동등 또는 그 이상의 여과능을 보였다. 따라서, 용융슬래그를 여과사로 활용할 경우 주문진 표준사에 비하여 자원절약과 자원재활용의 효과를 가져 올 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : TCLP 용출시험, 소각재 용융슬래그, 하수처리, 여과, 폐기물 자원화

Abstract : The objective of the study is to find a way to utilize MSWI slag as filter material and to verify it. To do so, stability as filter material was tested, and used Ju-Munjin filter sand as control group to run actual filtering experiment to analyze filtering efficiency. According to result, MSWI slag is usable within designated waste acceptable standards. Also, it showed similar level of filtering capability to filter sand. Thus, MSWI slag could help to save and recycle resources if used as filtering material instead of filter sand As result of filtering test, SS and COD showed about same level of filtering capability similar to standard filter sand. MSWI slag has shown 26.96% higher with T-N, and 6.55% higher with T-P compared to standard filter sand. Also, remove efficiency comparison result with No. 40#(0.43mm) and mixed diameter showed equal or greater filtering capability

keywords : TCLP Leaching Test, MSWI slag, Sewage Treatment, Filtration, Waste Recycle

1. 서 론

우리나라의 산업이 발달됨에 따라 해마다 폐기물 발생량은 늘어나고 있으며 이에 따른 효율적인 재활용 및 처리방안을 두고 정부에서는 많은 개발과 노력을 기울이고 있다. 우리나라 생활폐기물 발생량은 2010년 49,159톤/일이며 이중 소각

처리량은 10,608.8톤/일이다(환경부, 폐기물통계연보, 2011). 그러나, 소각처리로 인해 발생하는 소각재 중 비산재는 중금속의 함유량이 높아 지정폐기물로 처리되고 있으므로 이러한 소각재의 부피 축소와 무해화, 안정화를 동시에 달성 가능한 용융처리 기술에 큰 관심을 보이고 있다. 용융법은 소각재의 무기질 성분을 용융하여 유리상으

+ Corresponding author : voodoorush@gmail.com

* 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 박사과정 · E-mail : voodoorush@gmail.com

** 비회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 토목공학과 정교수 · E-mail : kimgh@inha.ac.kr

로 슬래그화 하여 부피 감소와 동시에 중금속류를 분류 회수 할 수 있어 자원 순환이 가능하다. 그러나 용융슬래그의 이용에 관한 연구는 대부분 토목과 건축분야에서 기반재나 성토재로서의 이용에 편중되고 있어 고부가가치 창출을 위한 고기능성 기능재료로서 재활용되는 연구가 절실히 요구되고 있다(유승철 등, 2008).

국내 하수처리 공정은 모래여과, 응집-침전, 소독 공정으로서 모래여과 공정은 탁도와 초기 오염물질을 제거함으로써 차후 공정에서의 처리 부하를 낮추거나 과다 유입된 비점오염원을 포함하는 우수를 처리하는 역할을 수행하고 있다. 따라서, 여과기술의 개선은 전체적인 수처리의 부하 경감에 큰 도움이 되며 여과재의 개발은 여과능뿐 만 아니라 경제성까지 향상시킬 수 있다. 따라서, 최근에는 이러한 여과 공정을 수행함에 있어 기존의 재료와 기술 대신 유사한 특성을 지닌 다른 물질을 활용한 대체 연구가 활발하게 이루어지고 있다(안중호 등, 2000; 최용균 등, 2005; 유승철 등, 2008). 최근에는 폐기물에서 발생하는 부산물의 자원화를 위한 재활용 공정들이 개발되고 있으며, 소각재(바닥/비산재)의 안정화 재처리 과정에서 생성되는 슬래그를 이용하여 폐기물에 대한 재활용과 자원보존을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 슬래그를 이용한 연구에는 강완협 등(2001), 황주영(2004), 장원석 등(2005) 등이 철강슬래그를 이용한 수처리 기법을 고찰한 바 있으며, 한영수 등(2001), 한국건설기술연구원(2004)이 용융슬래그를 통한 건설재료 활용 등을 고찰하여 활용안을 제시한 바 있다. 또한, 과학기술부(2003), 유

승철(2008)은 소각용융슬래그를 이용한 제올라이트 제조법 및 흡착 등과 이를 활용한 초기우수 처리기법에 대해서 분석하였다. 그러나 대부분의 연구는 소각재를 실험조건에서 용융슬래그로 제조하여 이용하였으며, 실제 공정에서 이용된 경우도 철강슬래그에 관한 연구가 대부분을 이루고 있다.

따라서, 본 연구에서는 생활쓰레기 용융소각로에서 발생하는 슬래그의 특성 분석 후 이를 이용한 수처리 제거에 활용하고자 하며, 여과 처리시 이용되는 모래와 용융슬래그의 여과특성을 파악하여 하수처리에 대한 적용 가능성을 알아보았다. 이를 통하여 기존의 표준 여과사 대신 슬래그를 사용할 수 있는 가능성 및 소각 용융슬래그의 자원화 방안에 대한 연구를 수행 하였다.

2. 실험재료 및 연구방법

2.1 실험재료

본 연구에 사용된 소각용융슬래그는 강원도 Y 소각장에서 처리하고자 들어온 생활폐기물을 열분해 고형물 용융로에서 1,350~1,450℃로 용융시켜 얻어진 것이다 이는 유해한 폐기물을 고온융착화를 통하여 분해할 수 없는 물질에 유리화된 용융물을 결합시켜 안정화시키는 방법으로 얻어진 부산물이다. 실험재료에 관련된 공정내용은 Table 1과 같으며, 여과재 활용 가능성을 알아보기 위해 사용된 소각용융슬래그는 건조된 슬래그를 표준체 #10(대입경), #20(중입경), #40(소입경)으로 분류하여 전 처리한 후 사용하였다.

Table 1. 여과재로 사용한 소각용융슬래그의 공정내용

설비명	용융로용량	처리대상물	용융온도	용융열원	산화제
폐기물 열분해 고형물 용융로	12ton/일	생활폐기물	1350~1450℃	열분해고형물(Car) 및 형연료(RPF)의 연소열	예열공기 (300℃)

2.2 연구방법

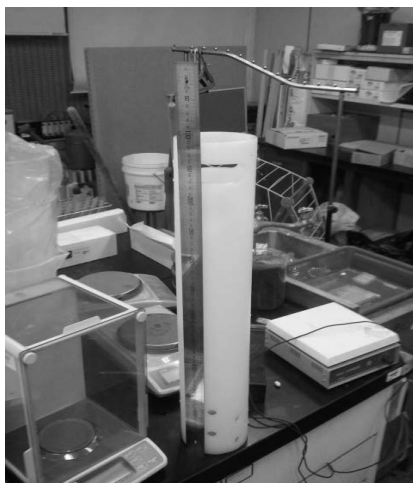
소각용융슬래그를 이용한 수처리 여과재로서의 적용 가능성을 평가하기 위해 1차처리시 주로 사용되는 주문진 표준사와 소각용융슬래그를 이용하여 여과 실험을 수행하고 여과특성을 비교 분석하였다. 여과능 평가실험 장치는 아크릴과 에폭시 수지를 이용하여 성형 제작하였으며 회분식 실험 장치의 규격은 내통으로 높이 60cm, 지름 10cm의 원통형 여재부로 구성하였다. 외통은 높이 60cm 지름 25cm의 버퍼(Buffer)구역으로 제작하였으며, 내통에 입상 용융슬래그를 채우고 내통 중심부에서 하수를 자동펌프를 이용하여 투입하여 여과능을 평가할 수 있는 실험 장치를 구성 하였다. 실험에 사용된 장치는 Fig. 1와 같다.

내통 여재부를 충전하는 여재로서는 본 연구에서 제안한 입상 용융슬래그를 사용하였으며, 기존 여재와의 비교 평가를 위하여 주문진 표준여과사를 동일한 실험조건에서 비교 분석하였다. 입상 용융슬래그는 자원회수시설에서 생산된 용융슬래그를 세척 및 건조 과정의 전처리를 수행한 후 적용하였으며, 전처리 방법으로는 1N-HCL 용액에 30분간 침강시킨 후 pH의 변화가 없을 때까지 증류수를 이용하여 세척한 후 105 ℃로 12시간 건조하여 산화상태를 확인 후 사용하였으며, 대조

군으로 선택된 표준여과사의 경우 주문진 표준사 (#40, 425 μ m)를 선택하여 증류수에서 pH 및 기타 물성이 안정화 될 때까지 세척하였으며 역시 동일하게 105 ℃로 건조하여 사용하였다. 또한, 용융슬래그는 입도에 따른 여과 성능의 차이를 규명하기 위하여 대입경(#10), 중입경(#20), 소입경(#40)으로 분류하여 적용하였다(대입경; 6.70mm, 중입경; 2.0mm, 소입경; 0.43mm).

여과실험에 적용된 실험용 원수는 I시 소재의 S하수처리장 1차침전지 유입수를 채취하여 사용하였으며 실험용 원수는 COD 220.2mg/L, SS 294.1mg/L였으며 이에 대한 수질특성은 Table 2에 나타내었다.

회분식 여과실험은 최대 유량 40ml/sec의 유속 조절이 가능한 펌프를 이용하여 장치 내통 중심부에 투입(수두차 5cm를 유지하여 주입)하여 여재부를 통과하여 나온 유출수를 채취하여 수질분석을 수행하였다. 여과실험은 표준여과사와 소각용융슬래그의 입경별 크기 조건에 따라 Table 3과 같이 적용하여 실험을 수행하였다. 회분식 여과실험을 통하여 주문진 표준사와의 여과효율을 비교 분석하였으며, 각각의 입경별 여과재의 입상 용융슬래그 여과 성능을 검증하여 최적의 여과입경을 도출하였다.



(a) 내통



(b) 외통

Fig 1. 여과 실험장치의 구성

Table 2. 실험용 원수의 수질 특성(단위 : mg/L)

원수	수온	pH	BOD	COD	SS	T-N	T-P
하수처리장 1차 침전지 유입수	16.9℃	6.7	346.4	220.20	294.10	70.04	12.60

Table 3. 용융슬래그 여과 실험항목

시료표기		원수/여과재		비고
Sand	표준여과사	주문진표준사	#40	여과재량(10cm×60cm), 유속(V=0.196cm/sec), 유량(Q=1.39cm ³ /sec)
Slag-No. 10#	슬래그	대입경	#10	
Slag-No. 20#		중입경	#20	
Slag-No. 40#		소입경	#40	
Slag-Mix		혼입경	Mixing	

3. 결과 및 고찰

3.1 소각용융슬래그의 특성

소각용융슬래그의 성분은 폐기물 소각재 내에 함유된 성분과 조업조건, 소각재 내의 화합물 및 구성성분에 따라서 다양한 거동특성을 보이게 되는데 본 연구에 사용된 용융슬래그의 강열감량 특성은 평균 0.17%의 감량률을 나타내어 수처리 이용시 유기질 용출에 따른 문제가 발생되지 않을 것으로 예상되고, 소각용융 슬래그의 구성성분을 보면 평균 SiO₂ 46.05%, CaO 26.49%, Al₂O₃ 14.35%를 함유하는 것으로 나타났으며 이에 대한 조성분석을 Table 4에 나타내었다. SiO₂는 유리질 성분의 미세한 결정 형태로서 인공여과재로 활용 가능하다고 판단된다. 슬래그가 유리질인 것은 쓰레기 소각재의 무기물 성분에는 20~50%의 SiO₂가 포함되어 있는데 용융조작만으로 얻을 수 있는 유리질 범위에 해당하기 때문이며, 이 결정화 유리는 유리 안에 미세한 결정을 균일하게 석출시킨 인공재료로서 일반적으로 강도, 내열성,

내약품성이 우수하다(건설교통부, 2004).

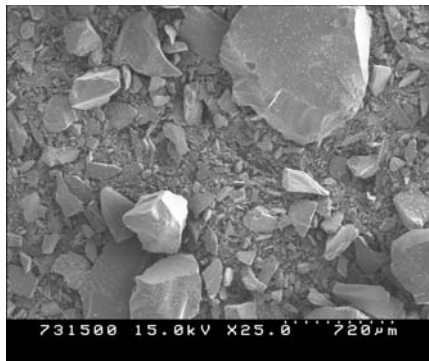
용융슬래그의 화학적조성에서 발견되는 이산화규소 및 산화칼슘, 산화알루미늄은 일반적으로 자연 상태에서 발견되는 안정한 원소이며, 상대적으로 독성이 거의 없으므로 여과재로 사용 가능하다. 소각용융슬래그는 Fig. 2에서와 같이 결정형으로 구성되어 있으며, 전체 입경의 입도분포는 0.25~10mm의 분포를 나타내고 있으며 이를 Fig. 3에 나타내었다.

슬래그를 여과재로 사용함에 있어 입상 용융슬래그의 결정상이 파괴되지 않도록 하는 세심한 품질관리가 필요하며, 용융슬래그를 여과재로 사용하는 경우 중금속의 침출이나 기타 오염물질의 침출이 문제가 될 수 있으며 특히 중금속 침출의 경우 심각한 문제로 대두 될 수 있으므로 본 연구에서는 사용한 입상 용융슬래그에 대하여 US EPA에서 제안한 TCLP(Toxicity Characteristic Leaching Procedure)방법을 사용하여 용출 실험하였다. 이 방법은 국내 표준용출시험방법인 KLST(Korea Standard Leaching Test)보다 민감한 분석이 가능한 것으로 알려져

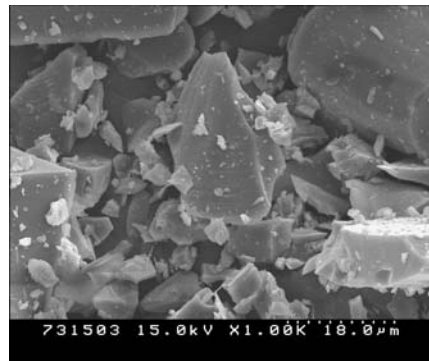
있다(박상구, 2005). 용출시험 후 주요 중금속 검사는 원자흡광분석기(AA : Atomic Absorption Spectrophotometer, PERKINELMER 3100)를 이용하여 분석하였고 그 결과는 다음의 Table 5 와 같다. 대상 시료에 대한 용출실험은 대부분의 주요 중금속 성분이 미검출 되었으나, 구리(Cu)는 평균 0.003mg/l로 미량 검출되었다. 하지만 그 양이 적어 용출에 대한 유해성은 미비할 것으로 판단되며, 지정폐기물 매립 기준을 충분히 만족하는 수준에서 검출되었으므로 여과재로서 충분히 사용이 가능한 수준이라고 판단하여 그대로 적용하였다. 그러나 보다 완벽한 제어를 위해서는 Cu 를 고정할 수 있는 방법을 고안해 적용하는 것이 좋을 것이라 사료된다.

Table 4. 소각용융슬래그의 화학적 조성비

항목	화학적 조성비(%)
SiO_2	46.05
CuO	26.49
Al_2O_3	14.35
MnO	0.15
MgO	2.29
Na_2O	5.55
Fe_2O_3	0.67
P_2O_5	2.12
PbO	0.00
K_2O	1.12
TiO_2	0.85
ZrO_2	0.25
CuO	0.11



(a) 25배율



(b) 1000배율

Fig 2. 소각용융슬래그의 결정구조(전자주사현미경, SEM)

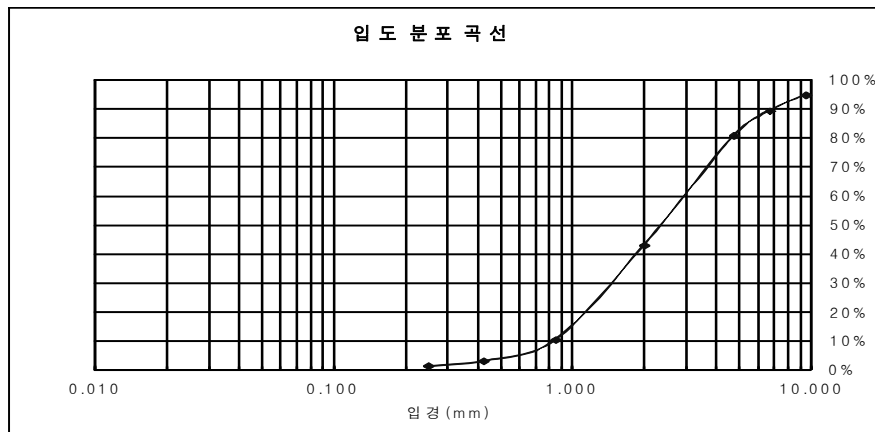


Fig 3. 소각용융슬래그의 입도분포곡선

Table 5. 소각 용융슬래그의 용출실험(단위 : mg/l)

항목	용출실험에 대한 평균농도	지정폐기물 기준
As	ND	1.5
Cd	ND	0.3
Cu	0.003	3.0
Pb	ND	3.0
Hg	ND	0.005
CN	ND	1
Cr ⁺⁶	ND	1.5

(ND, Not Detected)

3.2 소각용융슬래그의 수처리 활용

3.2.1 표준여과사와 슬래그를 이용한 여과 효율 비교

하수처리에 기존 사용되고 있는 표준여과사와 소각용융슬래그의 여과효율을 비교하기 위하여 실험용 원수를 여과능 평가 장치에 여과시킨 후, 여과액의 SS, COD, T-N, T-P에 대하여 분석하였다. 그 결과를 Table 6에 나타내었으며, 실험 원수의 총 오염물질 농도(mg/l)에 대비하여 여과액의 오염물질 농도(mg/l)의 비를 제거율(%)로서 분석하였다. 제거율은 여과실험을 총 3회 수행한 후 3개 실험치의 평균을 사용하였다. 제거율을 살펴보면 SS의 경우 표준여과사는 95.58%으로 대체적으로 높은 수준의 제거율을 보이고 있으며, 소각용융슬래그의 경우 95.92%의 처리율을 보여 표준여과사와 처리율이 거의 동일한 수준으로 나타났다. COD의 경우도 SS의 경우와 같이 두 여과재 모두 거의 비슷한 제거율을 나타냈다. T-N, T-P의 경우는 표준여과사 보다 높은 효율을 나타냈는데 T-N은 26.96%, T-P는 6.55% 더 높은 처리율을 보여주었다. 또한, 큰 특징 중 하나는 동일한 조건에서 소각용융슬래그를 사용할 경우 표준여과사를 사용하는 것보다 빠른 여과속도를 나타남에 따라 이에 따른 연구가 진행되면 보다 우수한 여과재임을 알아볼 수 있는 연구가 될 것

으로 사료된다. 이처럼 여과하는데 걸리는 시간이 단축되는 이유는 모래보다 공극률이 크고 표면 마찰이 적어 기존 표준여과사보다 여과속도가 빠른 데 따라 상대적으로 비교적 고속 여과가 가능한 것으로 판단된다. 다만, 본 연구에서는 회분식으로 정해진 양의 실험용 원수를 여과하여 그 결과를 살펴보았으므로 여과속도 및 지속적인 여과에 대한 수두손실 여부, 역세척 방법 등에 대해서는 추후 보완연구가 필요할 것으로 판단된다. 그러나, 동일한 조건 하에서 표준여과사보다 여과속도가 빠르게 나타났다는 점은 표준여과사 대신 소각용융슬래그를 활용 시 천연골재에 대한 자원절약과 폐기물 자원화를 동시에 얻을 수 있는 좋은 여과재로 사용될 수 있을 가능성이 있을 것으로 판단된다. 여과시 모래를 사용할 경우 1ton당 약 60만원정도 소요됨에 따라 이에 따른 비용절감으로 인한 경제성이 있을 것으로 판단되며 된다.

3.2.2 슬래그 입경에 따른 여과효율 비교

소각용융슬래그 입경에 따른 최적의 여과재 효율을 알아보기 위하여 소각용융 슬래그를 입경별로 분류하여 실험하였으며 이에 대한 결과는 Table 6에 나타내었다. 하수 원수를 슬래그 여과재를 이용하여 처리한 결과 SS 제거율은 76.54~95.52% 범위를 보였고, COD는 62.40~85.60%의 제거율을 보였다. 두 항목의 T-N, T-P의 경우는 SS와 COD의 제거효율에 비하여 낮은 제거율을 보였으며, 소각용융슬래그를 이용한 입경별 효율은 각 입경 중 No. 40#의 슬래그를 이용한 여과재 효율이 가장 높게 나타났고, 슬래그를 혼합경으로 이용하였을 경우도 상대적으로 높은 제거율을 보여 주고 있다. 이는 일반적인 하수처리 유입수에 포함된 오염물질을 여과하기 위해서는 상대적으로 소입경(지름 0.43mm)의 여과재를 필요함을 나타내고 있다. 소각용융슬래그 이용시 슬래그 No. 40#을 이용하거나 혼합경으로 이용하는 것이 하수처리시 더 높은 처리효율이 나타날 것으로 기대된다. 또한, 추가적으로 용융슬래그의 입경을 좀 더 세분화하여 실험을 수행한다면 여과에 최적인

여과재입경을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 회분식 실험결과를 살펴보면, 표준여과사, 소입경과 혼입경이 비슷하게 좋은 결과를 나타내고 있는 것으로 나타났으며, 특히 No. 40#의

용융슬래그는 표준여과사와 동등한 수준의 여과능을 보여주고 있으므로 여과재로서의 여과성능이 충분하다고 판단되며 향후 이를 활용한 여과재 개발이 가능할 것으로 보인다.

Table 6. 표준여과사 및 소각용융슬래그 입경별 하수 처리율

슬래그 분류	분석항목	제거 후 농도(mg/l)	제거율(%)
표준여과사 (Sand-No.40#)	SS	13.00	95.58
	COD	31.80	85.56
	T-N	53.68	23.35
	T-P	4.03	67.98
Slag-No.10#	SS	69.00	76.54
	COD	82.80	62.40
	T-N	53.84	23.13
	T-P	10.23	18.79
Slag-No.20#	SS	28.30	90.38
	COD	51.80	76.48
	T-N	44.34	36.69
	T-P	7.17	43.08
Slag-No.40#	SS	12.00	95.92
	COD	31.70	85.60
	T-N	34.80	50.31
	T-P	3.21	74.52
Slag-Mix	SS	52.70	82.08
	COD	61.80	71.93
	T-N	49.98	28.64
	T-P	5.14	59.20

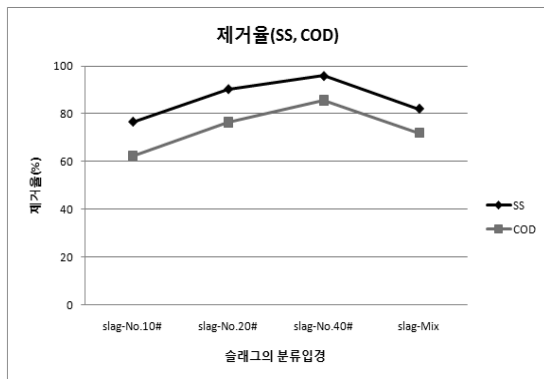


Fig 4. 슬래그의 분류입경에 따른 SS 및 COD 제거율 비교

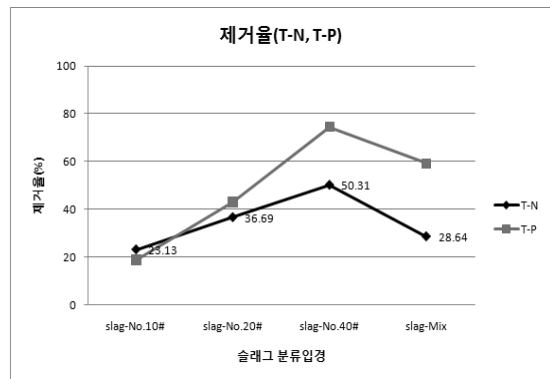


Fig 5. 슬래그의 분류입경에 따른 T-N 및 T-P 제거율 비교

4. 결 론

본 연구에서는 폐기물 소각용융슬래그를 사용하여 여과재로 활용하기 위한 특성연구 및 안정성 검토하였으며, 여과실험을 수행하여 표준여과사와 비교함으로써 용융슬래그의 여과재 적용 가능성을 검토하였다. 실험결과 일반적인 하수를 대상으로 하는 하수처리시설의 1차침전지에서 기존의 표준여과사를 대신하여 용융슬래그 여과재를 도입할 경우 기존의 표준여과사와 동등한 수질을 보장받을 수 있으면서도 폐기물의 재활용 측면에서도 많은 이점이 있을 것으로 기대된다.

1. 소각용융슬래그의 강열감량은 0.17%의 감량을 나타내었으며, 구성성분을 보면 평균 SiO₂ 46.05%, CaO 26.49%, Al₂O₃ 14.35%를 함유하는 것으로 나타났고 중금속이나 기타 오염물질 용출 특성이 지정폐기물 기준치 이하로 나타나거나 검출되지 않았다.
2. 여과재별 제거율을 살펴보면 SS 경우 두 여과재 모두 비슷한 제거율을 보였으며, T-N, T-P의 경우는 표준여과사 보다 소각용융슬래그가 높은 효율을 나타냈는데 T-N은 26.96%, T-P는 6.55% 더 높은 처리율을 보여주었다.
3. 소각용융슬래그의 입경에 따른 제거율 비교를 수행한 결과 No.40#(0.43mm)와 혼입경의 경우 여과능이 표준여과사와 동등한 여과능을 보이는 것으로 나타남에 따라 여과재 입경을 고려할 경우 표준여과사 보다 동등하거나 그 이상의 여과재로 이용할 수 있다.

참 고 문 헌

환경부(2011), 폐기물통계연보2010
 유승철(2008). 소각회 용융슬래그의 흡착특성과 이를 이용한 초기강우 유출수의 수질관리, 박

사학위논문, 전북대학교
 강완협(2001), 전기로슬래그의 환경안정적 재활용을 위한 Aging 전·후 화학적 용출특성평가, 대한환경공학회지, 23(11), pp.1919~1927
 과학기술부(2004), 소각재 용융슬래그를 이용한 제올라이트 제조법 개발 및 사용화 연구
 장원석, 박정수, 손성호, 이원식(2005). 개질 제강슬래그 신소재를 활용한 고속정화응집제의 고부하 하천수 처리기술 개발. 물환경학회 2005년도 공동 추계학술발표회 논문집, 한국물환경학회. pp 97-101.
 안중호, 채선하, 전은주(2000), 급속여과공정의 여충구성에 따른 여과효율 평가, 한국수자원학회 2000년도 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp.848-850.
 유승철(2008). 소각회 용융슬래그의 흡착특성과 이를 이용한 초기강우 유출수의 수질관리, 박사학위논문, 전북대학교
 한국건설교기술연구원(2004), 소각재용융슬래그의 건설자재 활용기술 개발 연구보고서
 한영수, 이재영(2001). 소각재 용융슬래그의 중금속 용출특성에 관한 연구. 한국지하수토양환경학회지 논문집, 한국지하수토양학회, 6(1), pp 23-31.
 황주영, 철강슬래그를 이용한 하·폐수 중의영양염 제거 특성에 관한연구, 대한환경공학회 2004 추계학술연구발표회 논문집, pp633·638
 최용균(2005), 소각재 용융슬래그 활용기술의 경제성 분석, 석사학위논문, 인하대학교
 박상구, 김건홍, 김형수(2005), Microtox Bioassay 방법을 이용한 산화티타늄의 독성평가, 2005년도 한국습지학회 정기 학술발표대회 논문집, pp 178-181.

- 논문접수일 : 2012년 03월 27일
- 심사의뢰일 : 2012년 03월 28일
- 심사완료일 : 2012년 09월 25일