

정수슬러지 처리방법에 따른 경제성 평가

임병현*, 김동욱*, 김환철*

*공주대학교 환경공학과

e-mail:dwkim@kongju.ac.kr

Economic evaluation according to the treatment method of water treatment sludge

Hwan-Cheol Kim*, Byung-Hyun Lim*, Dong-Wook Kim*

*Dept. of Environmental Engineering Center, Kongju National University

요 약

최근 원수탁도가 높거나 유기물질 함량이 많은 경우 정수처리오니 발생량 증가로 인해 이에 정수장별 슬러지 발생량 현황 및 문제점이 대두되었다. 이를 위해 상수도 통계와 각 정수장 설문조사를 통해 정수슬러지 발생량 및 발생원단위를 분석하고 운반비를 고려한 경제성 평가를 통해 향후 전망 및 처리방안 등에 대한 전반적인 검토를 실시하였다. 정수슬러지의 처리단가를 전제로 한 적정처리 방안은 지역적 특성과 여건 등을 고려하여 선정되어야 하며, 본 연구에서 조사한 정수슬러지 처리단가는 매립 70,465 원/톤, 성토제 73,320 원/톤, 복토제 67,762 원/톤, 시멘트원료 41,547 원/톤으로 분석되었다. 매립시설을 보유한 지자체는 복토제로 재활용하고, 시멘트공장이 인접한 경우에는 시멘트 원료로 사용하는 방안이 가장 경제적인 것으로 분석되었다. 순수 처리비만 고려(운반비 제외)하였을 경우 복토제가 29,784 원/톤으로 가장 경제성이 있는 것으로 분석되었고 운반비를 포함한 처리단가 분석결과 복토제 44,812 원/톤 다음으로 시멘트 원료 48,084 원/톤으로 나타나 최적의 처리방안을 도출하였다.

1. 서론

인구의 증가와 밀집화로 인해 정수의 공급의 중요성은 매우 높다. 2019년 상수도 적수사태 등의 발생에 따라 정수장의 중요성이 높아지고 있어 대부분의 정수장에서 고도처리를 진행 중이다. 정수장의 고도처리화에 따라 정수슬러지 역시 증가가 예상되어 정수슬러지의 처리 방법별 경제성 평가를 진행하였다. 2019년 기준 “전국 폐기물 발생 및 처리현황”에 따르면 정수슬러지는 정수처리오니(가연성, 불연성)으로 구분되어 가연성 101,434톤/년, 불연성 245,989톤/년, 전체 356,423톤/년이 발생하고 있다. 상수사용의 증가와 상수도 보급의 확대에 수돗물 사용이 증가함에 따라 정수처리과정에서 발생하는 정수슬러지의 발생량은 매년 증가하고 있고 탈수처리된 슬러지에 대한 육상문제가 대두되고 있다[1]. 슬러지 처리/처분 비용이 앞으로 더욱 상승할 것으로 예측되므로 정수슬러지의 관리는 정수처리 비용 상승을 주도하는 요소가 될 전망이다. 국내 정수장 운영비용 중, 정수슬러지의 처리 비용은 약

20%로 많은 부분을 차지하기 때문에, 발생한 정수슬러지의 효율적 처리방안이 필요하며 발생한 정수슬러지는 보통 매립, 해양투기, 재활용에 의해 처리되고 있는 실정이다[1]. 그러나 정수슬러지의 처리를 위한 매립지 확보에 대한 어려움으로 슬러지를 처리하는 것은 어려운 상태이며 해양투기의 경우, 처리비용이 상대적으로 저렴한 장점을 가지고 있었으나 2013년부터 해양오염 방지법이 강화됨에 따라 해양투기가 금지되었다[2]. 따라서 정수슬러지 재활용을 통해 효율적 처리와 미활용 정수슬러지의 활용가능한 처리기술에 대한 관심이 증가하고 있다[3-7]. 본 연구에서는 광역정수장과 지방자치단체 정수장의 정수슬러지 발생량과 처리방법에 대한 비용 분석으로 정수장 슬러지 발생량 및 문제점분석, 향후 전망 등에 대한 전반적인 검토를 시행하여 최적의 처리방안을 검토하였다.

2. 분석 방법

정수슬러지 양은 원수의 특성, 응집제 사용량, 정수처리공정의 성능, 농축·침전지의 효율과 슬러지 배출 방법, 그리고

역세척 빈도 등에 의해 결정되는데 배출수 처리시설을 설계할 때 가장 문제가 되는 점은 처리할 슬러지의 부피(m³/d)와 고형물량(kg SS/d)을 경험적으로 추정할 수 밖에 없다는 것이 한계이다. 보통 고형물량은 연평균 값으로 표시되나, 매월 슬러지 발생량에 큰 차이가 있기 때문에 월별 혹은 계절별 발생량도 중요하다[8]. 본 연구에서는 이론적 계산과 통계 및 설문조사를 통해 실제 처리되어진 정수슬러지의 양과 정수생산량과의 관계성, 처리 방법에 따른 단가 계산에 따른 과정을 따랐다.

2.1 슬러지 발생량 이론적 계산

슬러지의 발생량은 원수의 탁도, pH 등 수질과 약품투입량, 원수의 취수량 및 정수생산량에 따라 결정할 수 있으며 산정하는 세 가지 방법으로는 수처리 약품이 물과 반응하는 것을 이용한 이론적인 계산에 의한 방법, 응집제의 주요성분 함량을 분석하여 계산하는 응집 질량수지 분석, 슬러지 모니터링 시스템이나 탈수 시스템을 갖춘 정수장에서 실측에 의거 발생량을 산정하는 방법 등이 있고 이 세 가지 방법 중 이론적인 계산을 이용한 슬러지 발생량은 다음과 같이 산출할 수 있다.[9]

$$S = Q(b \cdot T + K \cdot PAC + C + AC + A) \times 10^6 \quad (1)$$

S : 건조중량 슬러지 발생량(톤/일), Q : 정수생산량(m³/일)

b : 탁도와 SS의 환산비, SS/TUR = 1, T : 원수의 탁도(NTU)

AC : 분말활성탄 주입율(mg/L), C : 소석회 Ca(OH)₂ 주입율(mg/L)

K : 약품주입에 따른 Floc 생성율, PAC=0.15

PAC : PAC 주입량(mg/L)

A : Polymer, 가성소다, 그 외 부가적으로 첨가되는 약품

2.2 이론·실제 슬러지 발생량 비교

이론적 슬러지 발생량을 추정하여 실제 발생량과 얼마나 차이가 나는지 파악하기 위해 광역정수장(2018년 기준)의 이론적 슬러지 발생량을 산정하였다. 산정식은 식(1)을 통해 산출하였으며 식(1)은 건조중량을 의미하므로 실제 슬러지 발생량에 함수율을 고려하여 실제 슬러지 발생량의 건조중량을 구하여 비교하였다. 이론·실제 슬러지 발생량 분석결과, A-9 정수장은 6.82배로 가장 높으며, A-32 정수장이 0.30배로 가장 적게 발생하였다. 또한 대체로 이론적 슬러지 발생량보다 실제 슬러지 발생량이 많이 발생하는 것으로 나타났으며 편차 요인에는 여러 가지가 있지만 각 정수장마다 현황 및 설계기준을 고려하지 않은 것이 가장 큰 요인이라고 판단된다.

[표 1] 광역정수장 이론·실제 슬러지 발생량 비교(2018년기준)

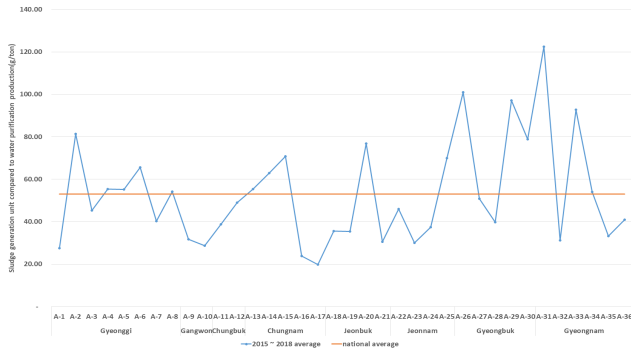
구분	이론적 슬러지 발생량 (톤/일)	실제 슬러지 발생량 (톤/일)	함수율 (%)	실제 슬러지 발생량 (건조중량)	비율 (%)
A-1	0.33	3.69	60.99	1.44	4.32
A-2	0.22	6.03	75.63	1.47	6.56
A-3	1.49	28.46	75.89	6.86	4.60
A-4	2.21	43.78	74.50	11.16	5.05
A-5	4.90	19.90	75.72	4.83	0.99
A-6	0.57	6.95	74.63	1.76	3.10
A-7	0.55	9.65	65.41	3.34	6.10
A-8	0.46	8.70	75.35	2.15	4.67
A-9	0.19	3.36	62.45	1.26	6.82
A-10	0.15	1.28	68.64	0.40	2.70
A-11	0.48	11.93	84.34	1.87	3.89
A-12	0.97	10.85	81.52	2.01	2.06
A-13	1.87	15.34	81.82	2.79	1.49
A-14	0.52	11.54	82.60	2.01	3.84
A-15	0.32	7.82	75.70	1.90	5.96
A-16	0.14	0.49	74.48	0.12	0.89
A-17	0.04	0.56	62.25	0.21	5.26
A-18	2.99	17.68	78.94	3.72	1.24
A-19	1.41	2.70	80.23	0.53	0.38
A-20	0.20	4.25	73.88	1.11	5.46
A-21	0.13	1.08	81.06	0.21	1.57
A-22	0.22	2.64	83.22	0.44	2.06
A-23	0.33	5.22	63.79	1.89	5.80
A-24	0.09	0.92	78.21	0.20	2.32
A-25	0.14	1.83	80.92	0.35	2.55
A-26	0.28	1.94	66.45	0.65	2.30
A-27	0.40	0.94	79.00	0.20	0.49
A-29	3.24	24.87	77.46	5.61	1.73
A-30	0.20	4.52	83.66	0.74	3.72
A-31	1.61	7.92	75.19	1.97	1.22
A-32	0.79	0.98	76.03	0.24	0.30
A-33	0.23	1.11	84.29	0.17	0.76
A-34	1.33	11.39	71.42	3.25	2.45
A-35	0.75	1.32	78.18	0.29	0.39
A-36	0.95	2.27	81.08	0.43	0.45

3. 정수슬러지 발생량 및 발생 원단위

2018년 기준 상수도통계와 각 지자체 설문조사를 토대로 광역 및 지자체 정수장별 정수슬러지 발생량을 나타냈다. 다만 설문조사 결과가 회신된 정수장 자료 중 회신되지 않은 일부 정수장을 제외하였다

3.1 광역정수장의 정수슬러지 발생량 및 발생 원단위

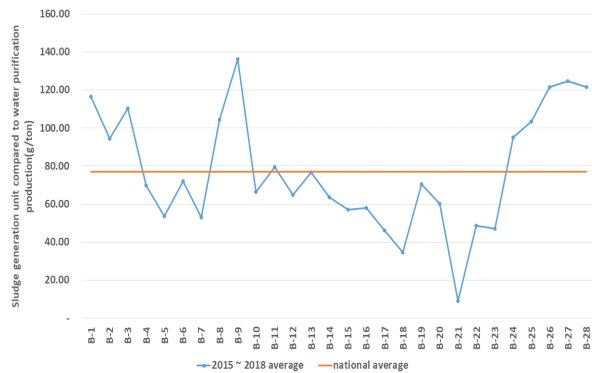
광역정수장 정수생산량 기준(정수슬러지 발생량/정수생산량) 분석 결과 발생원단위 총 평균값인 53.07 g/톤 보다 매년 높은 원단위를 갖는 정수장은 경남 A-3(122.47 g/톤), 경북 A-26(101.03 g/톤), 경북 A-29 (97.13 g/톤) 등 순으로 나타났다.



[그림 1] 광역 정수장 정수생산량 대비 정수슬러지 발생원단위(g/톤)

3.2 지자체 정수장의 정수슬러지 발생량 및 발생원단위

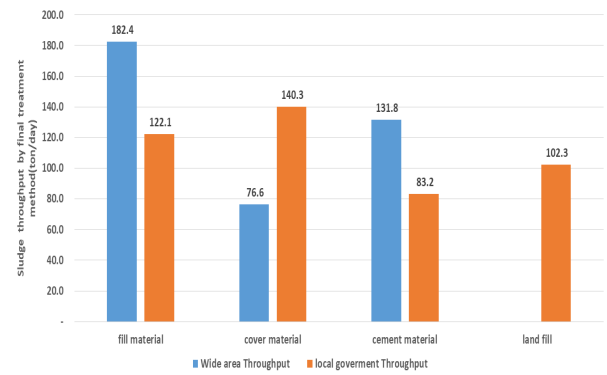
지자체정수장 정수생산량 기준(정수슬러지 발생량/정수생산량)분석결과 발생원단위 총 평균값인 77.15 g/톤 보다 매년 높은 원단위를 갖는 정수장은 B-9(110.46 g/톤), B-27(124.75 g/톤), B-26 (121.60 g/톤)등 순으로 나타났다.



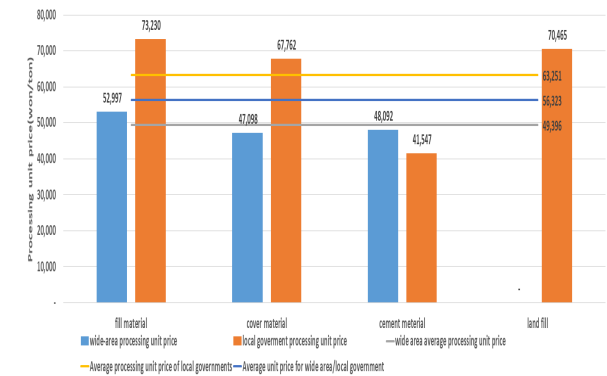
[그림 2] 지자체 정수생산량 대비 정수슬러지 발생원단위(g/톤)

3.3 운반비를 고려하지 않은 경제성 분석 결과

운반비를 고려하지 않은 경제성 분석 결과 성토·복토재(62.0 %), 시멘트원료(25.6 %) 매립(12.2 %), 탈취제(0.2 %) 등으로 처리하며 탈취제는 일부 연구용으로 제공되고 있다. 광역 정수장은 성토재(182.4 톤/일), 시멘트원료(131.8 톤/일)로의 정수슬러지 활용이 주 처리방법으로 나타났으며, 지자체 정수장은 복토재(140.3 톤/일), 성토재 (122.1 톤/일)순으로 정수슬러지를 처리하고 있다. 정수슬러지를 성토재로 재활용하는 경우 광역정수장의 평균 처리단가는 52,997 원/톤, 지자체 정수장의 평균 처리단가는 73,320 원/톤으로 가장 높게 나타났으며 각 정수장의 처리단가가 다른 이유는 운송거리, 최종처리 방법 등에 따라 비용이 상이하기 때문으로 분석된다.



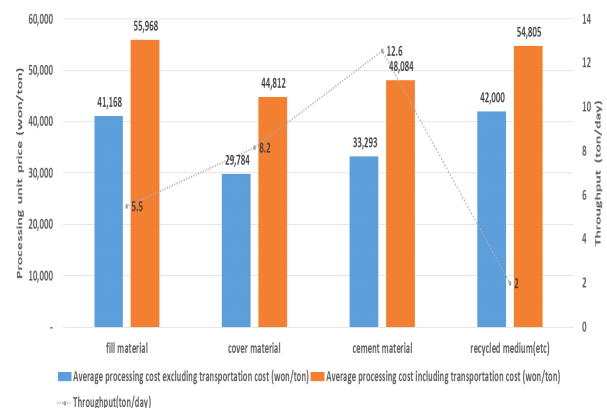
[그림 3] 최종처리 방법별 슬러지 처리량(2018년 기준)



[그림 4] 최종처리 방법별 슬러지 처리단가(2018년 기준)

3.4 운반비를 고려한 최종 경제성 분석 결과

운반비가 포함된 평균 처리단가는 복토재 44,812 원/톤, 다음으로 시멘트 원료 48,084 원/톤, 중간재활용(기타) 54,805 원/톤, 성토재 55,968 원/톤으로 분석되며 최종 처리방법별 정수슬러지가 차지하는 단가는 성토재 5,000 원/톤 복토재 5,000 원/톤, 시멘트 원료 2,160 원/톤으로 분석되어 정수슬러지를 혼합하여 복토재, 성토재로 재활용 판매할 경우에 가치가 높은 것으로 분석되었다.



[그림 5] 운반비를 고려한 슬러지 처리단가(원/톤)

4. 결론

본 연구에서는 정수장별 슬러지 발생량 현황 및 문제점 분석에 대한 전반적인 검토를 시행하여 최적의 처리방안을 도출해 냈다. 최적의 처리방안을 아래와 같이 요약할수 있다.

1. 정수슬러지는 운영주체에 따라 일부 차이는 있으나, 폐기물관리법에 따라 재활용(시멘트 원료, 성토재, 복토재), 매립(수도권매립지, 경기지역 일부)등의 방법으로 처리중이며 광역정수장은 성토재(182.4 톤/일), 시멘트원료(131.8 톤/일)로의 정수슬러지 활용이 주 처리 방법으로 나타났으며, 지자체 정수장은 복토재(140.3 톤/일), 성토재(122.1 톤/일) 순으로 정수슬러지를 처리하고 있다.
2. 순수 처리비만 고려(운반비 제외)하였을 경우 평균 처리단가는 복토재 29,784 원/톤, 시멘트 원료 33,293 원/톤, 성토재 41,168 원/톤, 중간재활용(기타) 42,000 원/톤이며, 운반비가 포함된 평균 처리단가는 복토재 44,812원/톤, 시멘트 원료 48,084 원/톤, 중간재활용(기타) 54,805 원/톤, 성토재 55,968 원/톤이다.
3. 매립시설을 보유한 지자체는 복토재로 재활용하고 시멘트 공장이 인접한 경우에는 시멘트 원료로 사용하는 방안이 가장 경제적인 것으로 분석되었다.
4. 이외에도 응집제 회수 및 재사용, 폐수처리의 응집제, 오염물질 및 중금속에 대한 흡착제, 건설된 습지의 기질, 하수슬러지와와의 공동 탈수, 시멘트 생산, 벽돌 및 세라믹 제조, 인공 경량 골재 제조, 콘크리트 및 모르타르 제조, 농업 및 육상 기반 응용분야에서의 시멘트 재료 및 모래 대용품으로 사용이 가능하나 현재 상용화된 기술이 없어 기술개발이 절실한 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Kim, I.H.: Ms. D. Dissertation, Chonbuk National Univ. Jeonju Korea (2014).
- [2] Park, N.Y.: Ms. D. Dissertation, Kongju National Univ. Kongju Korea (2015).
- [3] Lee, S.R.: KR Patent 10-1486963 (2015).
- [4] Kim, J.K., Moon, D.H., Joo, C.H., Kim, J.H. and Seo, J. I.: KR Patent 10-1441647 (2014).
- [5] Lee, J.H. and Kim, Y.S.: KR Patent 10-13399 11 (2013).
- [6] Ling, Y.P., Tham R.-H., Lim S.-M., Fahim M., Ooi C.-H., Krishnan P., Matsumoto A. and Yeoh F.-Y.: "Evaluation and reutilization of water sludge from fresh water processing plant as a green clay substituent," Appl. Clay Sci., 143, 300-306 (2017).

- [7] Kim, G.U., Bae, J.H., Choi, H.H., Lee, C.-H. and Jeon, J.-K.: "Synthesis of Butenes through Butanol Dehydration over Catalyst Prepared from Water Treatment Sludge," Korean Chem. Engin. Res., 53(1), 121-126 (2015).
- [8] Jeong Y.G., Hong H.G., Bae B.W., Lim G.H., Ahn C.G. Development of operation conditions for gravity thickener treating water treatment sludge based on solid flux theory pp. 927-934 (2003).
- [9] Ha Y.G., [Inorganic resources] A study on the effective use of Hydrostatic sludge as soil improvement agent (2004)