

# 서울시 하수슬러지 처리 다변화 방안

김성은 유기영 김고운 강원삼



서울연구원  
The Seoul Institute



## 서울시 하수슬러지 처리 다변화 방안



## 연구책임

김성은 서울연구원 환경안전연구실 부연구위원

## 연구진

유기영 서울연구원 서울공공투자관리센터 선임연구위원

김고운 서울연구원 환경안전연구실 연구위원

강원삼 서울연구원 환경안전연구실 연구위원

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서  
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

# 서울시 하수슬러지 처리 다변화, 민간처리 확대하고 순환경제 전환을 위한 전략 필요

## 서울시 하수슬러지 처리, 환경변화에 유연하게 대응 위해 다변화 방안 마련 시급

2006년 해양오염 방지를 위한 런던협약이 발효되면서 해양배출 규제가 강화되었다. 이에 따라 하수슬러지 처리 방식 가운데 높은 비중을 차지했던 해양투기 방식의 처리가 2011년부터 금지되었다. 정책변화의 영향으로 인해 서울시는 수도권매립 처리와 자체처리의 확대, 하수 배출원 관리 및 처리시설 가동률 제고, 하수슬러지 재활용 활성화 등 육상처리를 확대하기 위한 정책들을 추진하였다.

2015년부터 서울시는 하수슬러지 수도권매립 처리의 불확실성 증가와 수도권매립지 반입처리 과정에서의 시민불편, 시 재정 부담 가중 등 하수슬러지 육상처리 과정에서 발생하는 문제의 근본적인 해결을 위해 서울시 발생 하수슬러지 전량을 자체처리하여 에너지자원(발전소 연료)으로 재활용하는 「하수슬러지 처리 자립화」 계획을 추진해 오고 있다. 하지만, 최근 탄소중립 정책 추진에 따른 석탄발전 상한제 시행으로 인해 하수슬러지의 화력발전소 반입처리량이 지속적으로 감소하고 있어, 최종적으로 처리되지 못하고 물재생센터 내 야적되는 자체처리된 하수슬러지 양이 늘고 있으며, 이로 인한 환경저해 및 주민갈등 발생도 계속 증가하고 있다.

이에 서울시는 자체처리된 하수슬러지에 대한 민간처리 확대를 통해 처리 방식을 다변화(재활용 및 자원화 처리 확대)하여 앞으로의 환경여건 변화와 정책변화에도 유연하게 대응할 수 있는 안정적인 하수슬러지 처리 방안의 마련이 시급하게 되었다.

## 서울시 하수슬러지, 다른 도시 비해 자체처리 비율 높지만 민간처리 비율 낮아

서울시에는 중랑, 난지, 탄천, 서남 등 총 4개의 물재생센터(하수처리시설)가 운영 중이며, 평균 약 1,770톤의 하수슬러지가 매일 발생하고 있다. 서울시 하수슬러지 처리

방식은 크게 물재생센터 내에서 건조, 소각 등의 방식을 통해 자체적으로 처리하는 자체처리 방식과 외부업체에 위탁하여 처리하는 위탁처리 방식으로 나눌 수 있다. 최근 5년의 서울시 하수슬러지 처리 방식의 변화를 살펴보면, 대표적인 위탁처리 방식인 수도권매립지 처리는 2017년 1,047톤/일에서 2020년 516톤/일로 50% 이상 크게 감소한 반면, 자체처리 비율은 서울시의 하수슬러지 처리 자립화 추진으로 인해 2017년 약 45%에서 2020년에는 약 62%까지 꾸준히 증가한 것으로 나타났다. 반대로, 서울시는 하수슬러지 처리 자립화 추진(전량 자체처리 목표)으로 인해 위탁처리 비율은 2020년 기준 약 14%로, 부산시의 위탁처리 비율 약 72%, 경기도 약 51%, 인천 약 45%보다 상대적으로 매우 낮아지게 되었다. 이에 서울시는 시멘트 보조원료 처리, 열처리 펠릿화 사업, K-eco 시멘트 사업 등 민간처리를 확대하기 위한 사업을 꾸준히 추진하여 2022년에는 위탁처리 비율을 약 25%까지 증가시켰지만, 여전히 경기도, 부산, 인천 등의 다른 도시지역의 위탁처리 비율보다는 많이 낮은 실정이다. 또한, 석탄발전 상한제 시행으로 하수슬러지의 화력발전소 반입량이 지속적으로 감소하고 있어, 서울시의 하수슬러지 전량을 자체처리하여 연료화 자원으로 재활용하는 방안(서울시 하수슬러지 처리 자립화)으로는 지속적이고 안정적인 하수슬러지 처리를 보장할 수 없게 되었다.

## 서울시, 하수슬러지 민간처리 확대 위해 수요처 확보 지원과 위탁방식 개선 필요

서울시 하수슬러지의 민간처리 확대 방안 모색을 위해 기존 서울시 하수슬러지 민간처리 업체를 대상으로 처리 여건상의 문제점과 민간처리 확대를 위한 제도적 개선 및 지원사항에 대해 조사한 결과, 수요처 문제, 위탁계약 방식 문제, 하수슬러지 발생량 관리 문제가 서울시 하수슬러지 민간처리 확대를 저해하는 주요 문제점으로 분석되었다. 대부분의 민간처리 업체는 현재 처리시설용량에는 다소 여유가 있는 것으로 조사되었지만, 하수슬러지 활용 제품에 대한 부정적 인식과 한정된 수요처 문제로 처리량을 확대하는 것은 사실상 어려운 실정이었다. 특히, 나라장터 경쟁입찰을 통해 1년 단위의 입찰/계약이 이루어지고 있는 현재 민간처리 위탁방식으로는 차년도 수요에 대비하기 위한 안정적인 물량확보가 어렵기 때문에 민간처리 업체의 처리량 확대를 저해하는 중요한 문제점으로 조사되었다. 이에 따라, 서울시의 하수슬러지 민간처리 확대를 위해서는 서울시 하수슬러지 재활용 제품 일정 비율 의무 사용과 같은 서울시

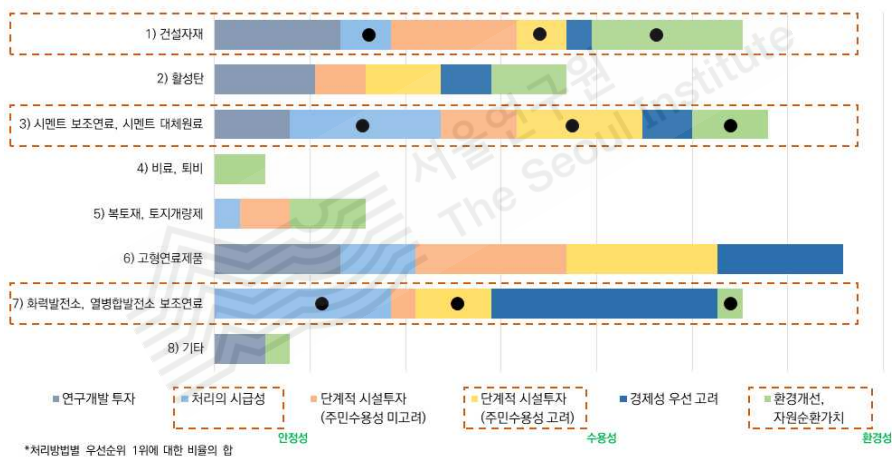
하수슬러지 재활용 제품 이용 활성화 지원 확대와 하수슬러지 위탁처리 다년도 계약의 확대 등의 제도적 개선이 필요한 것으로 분석되었다. 아울러 본 연구에서는 하수슬러지 민간처리 과정에서 발생하는 주요 문제점들을 종합적으로 개선할 수 있는 대안으로, 폐자원의 재활용과 정보공개유통을 지원하는 체계인 국토교통부의 토석정보공유시스템, 환경부 자원순환 종합 정보시스템과 같이 서울시 하수슬러지 발생량과 재활용 제품에 대한 유통 정보를 공유할 수 있는 시스템 구축을 제안하였다. 서울시 하수슬러지 발생량 및 재활용 유통 정보 공유시스템은 서울시 하수슬러지 발생처(물재생센터)의 하수슬러지 발생량을 체계적, 종합적으로 관리하고, 수요자(민간처리업체) 대상 정보공개유통을 통해 필요시 원하는 물량을 확보할 수 있도록 연계 및 공급 체결을 지원함으로써 하수슬러지 민간처리 확대와 하수슬러지 재활용을 활성화하여 하수슬러지를 자원의 대체재로 활용할 수 있는 순환경제 기반 구축에 기여할 수 있을 것으로 생각한다.

## 서울시는 시멘트화, 연료화, 건설자재화 방안을 우선해 처리 다변화 추진 필요

본 연구에서는 하수슬러지의 퇴비화, 토양화, 연료화 등 다양한 재활용 유형과 각 유형에 대한 기준 및 준수사항, 재활용 제품 및 용도 등을 규정하고 있는 폐기물관리법을 기준으로 재활용 방안을 ① 제품화(건설자재, 활성탄 등), ② 시멘트화(시멘트 대체 원료, 시멘트 보조연료), ③ 퇴비화(비료, 퇴비), ④ 토양화(부숙토, 복토재, 토지개량제, 인공토양), ⑤ 연료화(고형연료 제품, 화력발전소 및 열병합발전소 연료) 등 5가지로 구분하여 각 하수슬러지 재활용 방안에 대한 특성과 적용 여건을 검토하고, 하수슬러지 재활용 방안별 적용 여건 검토결과와 서울시의 하수슬러지 처리 여건, 다양한 여건변화 상황을 고려하여 서울시 하수슬러지 처리 다변화 방안을 제시하였다.

현재 서울시 하수슬러지 처리 현황 및 여건을 고려할 때 서울시는 하수슬러지 처리의 경제성, 수용성, 잠재성 측면보다는 처리 기술 및 시설 수준, 처리 과정에서의 유해물질 발생 및 자원의 순환성을 고려한 처리의 안전성과 환경성 측면을 우선적으로 고려하여 다변화 방안을 추진하는 것이 필요하고, 시멘트, 발전소 연료, 건설자재 재활용 방안 순으로 추진하는 것이 적합한 것으로 분석되었다. 서울 하수슬러지 처리 다변화를 위한 연구개발 투자를 고려할 때는 안정적 처리, 자원순환 측면에서 가치가 높게 나타나고 있으나, 제품의 안정성 확보 연구가 미흡한 건설자재, 고형연료 제품, 활성

탄 재활용 방안의 투자를 우선적으로 고려할 필요가 있다. 서울시 하수슬러지 처리 다변화를 위한 단계적인 시설투자를 고려한다면, 환경영향이 낮으면서 처리효율이 우수한 고�형연료 제품, 건설자재 재활용에 우선적인 시설투자가 필요한 것으로 분석되었고, 서울시 재정 등 경제성을 고려할 경우에는 안정적 처리가 가능하면서 수익성 확보 가치가 높은 발전소 보조연료, 고�형연료 제품을 이용한 처리 방안이 적합한 것으로 나타났다. 미처리 하수슬러지의 시급한 처리를 고려할 경우에는 처리 주기가 짧고, 기존 시설 활용이 가능하며 추가적인 가공 공정이 필요 없는 발전소 보조연료, 시멘트 대체원료 등 연료화 재활용 방안을 우선적으로 추진하는 것이 적합한 것으로 분석되었다. 마지막으로, 환경개선에 대한 기여도와 자원순환가치를 우선적으로 고려한다면, 하수슬러지의 단순 처리가 아닌 재활용 제품으로 재탄생시키는 방안이면서도 처리부산물을 열원으로 회수할 수 있어 환경에 대한 기여는 물론 온실가스 감축에도 긍정적 영향을 줄 수 있는 건설자재 재활용 방안이 가장 적합한 것으로 분석되었다.



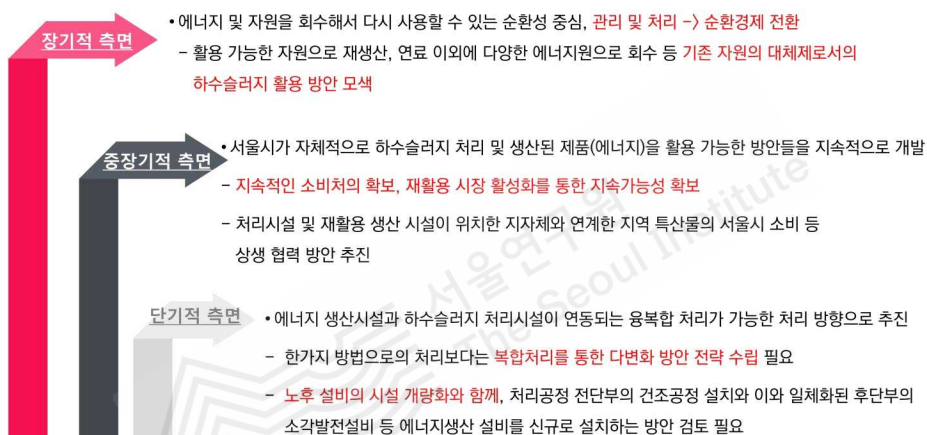
[그림 1] 서울시 하수슬러지 처리 다변화 추진을 위한 재활용방안별 우선순위

## 순환경제 모델로의 전환을 위한 하수슬러지 처리 다변화 전략 수립 필요

서울시의 하수슬러지 처리 다변화는 환경보전과 지속가능한 자원활용을 동시에 추진하며, 장기적 측면에서 순환경제 모델로의 전환을 위해 하수슬러지 처리 및 관리 체계를 개편해 나가는 전략으로 추진하는 것이 필요하다. 이를 위해서 단기적으로는 환경정책의 강화에 대응해 노후 설비의 시설 개량화와 함께 에너지 생산설비를 신규로 설

치하고 이를 하수슬러지 처리시설과 연동하여 융복합 처리를 가능하게 함으로써 하수슬러지의 안정적인 처리의 기반을 만들고, 중장기적으로는 하수슬러지 처리를 통해 생산된 제품(에너지)을 자체적으로 활용 가능한 소비처를 확대하여 하수슬러지 처리 및 활용의 지속가능성을 확보해 나가며, 장기적으로는 하수슬러지의 처리 및 관리 중심의 체계에서 하수슬러지를 기존 자원의 대체재이자 활용 가능한 자원으로 재생산하는 순환성 중심의 관리 체계로 전환될 수 있도록 기반을 마련해 나가는 방향으로 추진하는 것이 필요하겠다.

**단기적으로는 복합처리화, 중장기적으로는 지속적인 활용 및 소비처 확대  
장기적으로는 순환경제 전환으로의 다변화 전략 병행 필요**



[그림 2] 서울시 하수슬러지 처리 다변화 전략 수립 방향

# 목차

<b>01 연구개요</b>	<b>2</b>
1_연구배경 및 목적	2
2_연구내용 및 방법	3
<b>02 서울시 하수슬러지 처리 현황</b>	<b>6</b>
1_서울시 하수슬러지 발생 및 처리 현황	6
2_서울시 하수슬러지 처리 여건의 변화와 관리 현황	10
<b>03 하수슬러지 재활용 및 자원화 방안 검토</b>	<b>20</b>
1_하수슬러지 재활용 및 자원화 관련 제도	20
2_하수슬러지 재활용 및 자원화 방안과 적용 여건 검토	26
<b>04 서울시 하수슬러지 처리 다변화 방안</b>	<b>50</b>
1_하수슬러지 민간처리 확대를 위한 개선방안	50
2_하수슬러지 처리 다변화 방안 및 전략	56
<b>참고문헌</b>	<b>69</b>
<b>Abstract</b>	<b>72</b>
<b>Contents</b>	<b>75</b>

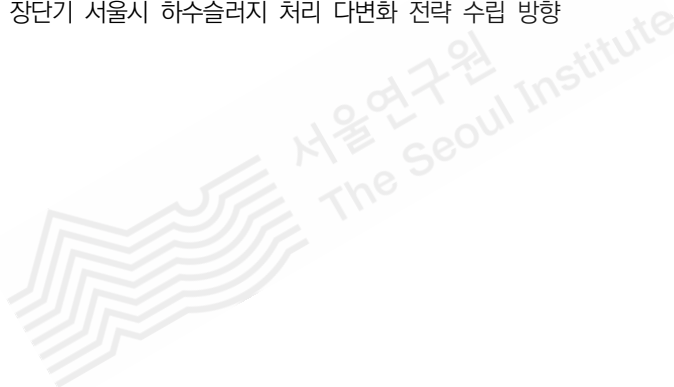
## 표 목차

[표 2-1] 서울시 물재생센터별 하수슬러지 총 발생량	7
[표 2-2] 전국 지자체 하수슬러지 발생량 비교(2020년 기준)	13
[표 2-3] 하수슬러지 처리 방식 비교(2020년 기준)	14
[표 2-4] 최근 10년 서울 및 주요 시도 하수슬러지 처리량의 변화 비교	15
[표 2-5] 다변화 추진 사업을 포함한 2022년 9월 서울시 하수슬러지 처리량	17
[표 3-1] 하수슬러지 기본 개념	20
[표 3-2] 하수슬러지 재활용 유형	21
[표 3-3] 폐기물관리법에 의한 폐기물 재활용 유형별 세부분류	22
[표 3-4] 비료 처리 기준	23
[표 3-5] 토지개량제 용도로의 재활용 관련 기준	23
[표 3-6] 부숙토 제품기준	24
[표 3-7] 건설자재 용도로의 재활용 관련기준	24
[표 3-8] 연료화 처리 기준(시멘트 보조연료, 가공 연료)	25
[표 4-1] 서울시 물재생센터별 하수슬러지 민간위탁 처리 현황, 22년도 9월 기준	50
[표 4-2] 서울시 하수슬러지 처리 다변화 전략 수립 시 주요 고려사항	56
[표 4-3] 산업 부산물 활용 충전재 화학적 분석	64
[표 4-4] 유기성 오니를 활용한 폐석산 충전재의 용도 및 범위 제한	65

# 그림 목차

[그림 1-1] 주요 연구내용 및 방법	4
[그림 2-1] 서울시 물재생센터	6
[그림 2-2] 연도별 총 발생량 및 처리량 현황	7
[그림 2-3] 서울시 하수슬러지 처리 방식	8
[그림 2-4] 하수슬러지 연도별 방법별 처리량 비교	8
[그림 2-5] 최근 5년 서울시 물재생센터별 하수슬러지 처리량 비교	9
[그림 2-6] 전국 시도 하수슬러지 발생량	13
[그림 2-7] 최근 10년 서울 및 주요 시도의 하수슬러지 처리 방식의 변화 비교	15
[그림 2-8] 다변화 추진 사업을 포함한 2022년 9월 서울시 하수슬러지 처리 현황	17
[그림 3-1] 슬래그 공장: 산업 부산물 건설기초 소재 자원화	28
[그림 3-2] 소각재 재활용 보도블록 시제품(좌), 씨엠디기술단 제1생산공장(우)	29
[그림 3-3] 탄화물 활용 활성탄 제조	31
[그림 3-4] 김해시 하수슬러지 탄화처리 시설	33
[그림 3-5] 일본 Tama 에코시멘트 시설	35
[그림 3-6] 에코시멘트 제품 활용처	36
[그림 3-7] 에코시멘트 사업화 모델(안) 및 추진체계	36
[그림 3-8] 안양 하수처리장 계통도	39
[그림 3-9] Blue Plains의 하수슬러지 처리시설(좌) 및 바이오슬러드(우)	40
[그림 3-10] 하수슬러지 활용 지렁이사육(좌) 및 지렁이분변토(우)	41
[그림 3-11] 고성 하수슬러지 부숙화 시설	42
[그림 3-12] 경주 슬러지 자원화 시설 기술	44
[그림 3-13] 하수슬러지 연료탄(펠릿) 개발 시설(좌) 및 연료탄(우)	45
[그림 3-14] TO-SYN-FUEL 프로젝트	47

[그림 3-15] 유기성 슬러지 고형연료화 시스템	48
[그림 4-1] 토석정보공유시스템 개요도	54
[그림 4-2] 환경부 자원순환 종합 정보시스템 화면	55
[그림 4-3] 하수슬러지 처리 다변화 추진 시 주요 고려사항 및 중요도	57
[그림 4-4] 하수슬러지 처리 다변화 추진 시 처리방법별 우선순위	58
[그림 4-5] 연구개발 투자 시 처리방법별 우선순위	59
[그림 4-6] 처리의 시급성 고려 시 처리방법별 우선순위	59
[그림 4-7] 단계적 시설투자 계획 고려 시(주민수용성 미고려) 처리방법별 우선순위	60
[그림 4-8] 단계적 시설투자 계획 고려 시(주민수용성 고려) 처리방법별 우선순위	61
[그림 4-9] 경제성 고려 시 처리방법별 우선순위	61
[그림 4-10] 환경개선, 자원순환 가치 고려 시 처리방법별 우선순위	62
[그림 4-11] 하수슬러지 고화물 이용 폐석산 복구 전경(좌), 최근 침출수 발생 현장(우)	63
[그림 4-12] 서울시 하수슬러지 처리 다변화 추진을 위한 처리방법별 우선순위	65
[그림 4-13] 장단기 서울시 하수슬러지 처리 다변화 전략 수립 방향	66



01

## 연구개요



1\_연구배경 및 목적

2\_연구내용 및 방법

# 01. 연구개요

## 1\_연구배경 및 목적

### 1) 연구배경

- 서울시 물재생센터 4개소에서는 2021년 기준 평균 1,700톤의 하수슬러지가 매일 발생하고 있으며, 소각, 건조, 수도권매립지 매립, 민간위탁 등의 방식을 통해 처리되고 있음
    - 일평균 발생 하수슬러지의 43%인 729톤은 건조되어 화력발전소에 연료로 판매
    - 일평균 발생 하수슬러지의 28%인 479톤은 수도권매립지로 반입되어 처리
    - 나머지 29% 하수슬러지는 소각(14%, 245톤)되어지거나, 민간업체에 위탁되어(15%, 252톤) 시멘트, 펄릿 등을 생산하는 데 이용됨
  - 최근 지속적인 환경정책의 강화와 여건의 변화로 인해 기존의 하수슬러지 처리 방식으로는 더 이상 안정적인 처리가 어려워지고 있는 실정
    - 석탄발전상한제, 환경오염시설 통합관리에 관한 법률 등 시행으로 석탄발전 가동중단 확대('34년 36기 중 24기 전환 예정)
    - 수도권매립지 사용 불투명으로 인한 지속적인 처리 불확실
    - 자체 처리시설(소각 및 건조)은 주민들의 반대로 증설도 어려운 실정
    - 방류수질 기준 강화에 따른 총인처리시설 설치로 슬러지 발생량 증가 예상
    - 하수슬러지 성상변화로 인한 발열량 저하로 발전소 연료재로써의 사용성이 낮아지고 있음
- ※ 제9차 전력수급기본계획 화력발전소 연료 LNG로 전환 예정

- 서울시는 앞으로의 여건변화에도 하수슬러지를 안정적으로 처리할 수 있는 다변화 방안 마련 필요
  - 서울시는 하수슬러지 처리 자립화에 따라 크게 증가한 자체 처리(건조 및 소각) 슬러지를 획일적으로 연료화 처리하던 기존 방식에서 탈피하여 재활용 및 자원화를 통한 민간처리 확대 등 처리 경로 다변화 필요

## 2) 연구의 목적 및 범위

- 본 연구에서는 서울시 하수슬러지의 민간처리 여건, 하수슬러지 재활용 및 자원화 방안의 특성과 적용 여건을 분석하여 서울시 하수슬러지 민간처리 확대 및 다변화 방안을 살펴보고자 함
- 공간적, 시간적 범위: 최근 서울시 4개 물재생센터 발생 하수슬러지
- 내용적 범위: 하수슬러지 재활용 방안의 특성 및 적용 여건 분석, 서울시 하수슬러지 민간처리 여건 분석 및 개선방안 분석, 여건변화에 따른 서울시 하수슬러지 처리 다변화 방안 분석

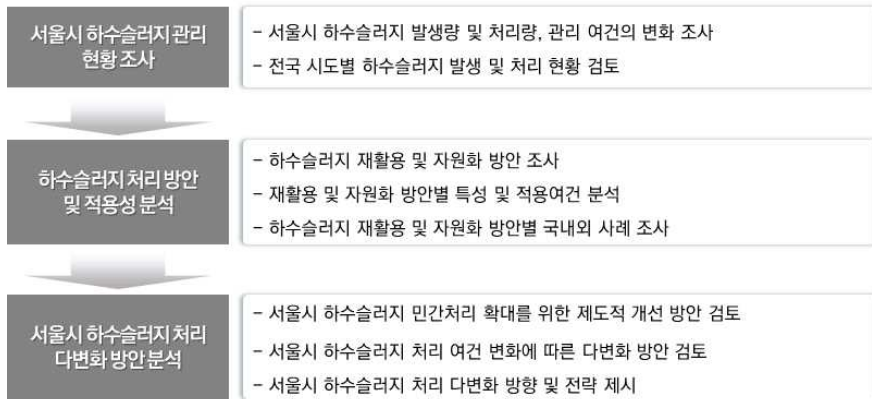
## 3) 연구결과의 활용 및 기대효과

- 여건변화에 따른 서울시의 하수슬러지 재활용 및 자원화 처리 우선순위, 민간처리 확대를 위한 제도적 개선 방안 등을 제시함으로써 서울시 하수슬러지 처리 및 다변화 전략 수립을 위한 정책의 기초자료로 활용 기대

# 2\_연구내용 및 방법

## 1) 주요 연구내용

- 서울시 하수슬러지 발생 및 처리 현황, 관리 여건의 변화 검토
- 하수슬러지 재활용 및 자원화 방안의 특성 및 적용 여건 분석
- 서울시 하수슬러지 민간처리 확대를 위한 개선방안 제시
- 여건변화에 따른 서울시 하수슬러지 처리 다변화 방안 분석 및 전략 제시



[그림 1-1] 주요 연구내용 및 방법

## 2) 서울시 하수슬러지 처리 현황 조사

- 서울시 하수슬러지 발생 및 처리 현황
- 서울시 하수슬러지 처리 여건의 변화
- 타 지자체 하수슬러지 처리 현황 검토 및 비교

## 3) 하수슬러지 재활용 및 자원화 방안 검토

- 하수슬러지 재활용 및 자원화 관련 제도
- 하수슬러지 재활용 및 자원화 방안 특성 및 적용 여건 검토

## 4) 서울시 하수슬러지 처리 다변화 방안 제시

- 서울시 하수슬러지 민간처리 확대를 위한 개선방안 분석
- 서울시 하수슬러지 처리 다변화 방안 검토 및 전략 제시

## 02

### 서울시 하수슬러지 처리 현황



1\_서울시 하수슬러지 발생 및 처리 현황

2\_서울시 하수슬러지 처리 여건의 변화와 관리 현황

## 02. 서울시 하수슬러지 처리 현황

### 1\_서울시 하수슬러지 발생 및 처리 현황

#### 1) 하수슬러지 발생 현황

- 서울시에는 총 4개의 물재생센터(중랑, 난지, 탄천, 서남)가 운영 중에 있음
  - 중랑, 난지 물재생센터는 서울시 직영, 탄천은 (주)탄천환경, 서남은 (주)서남환경에서 운영하고 있음



[그림 2-1] 서울시 물재생센터

자료: 서울하수도과학관 홈페이지

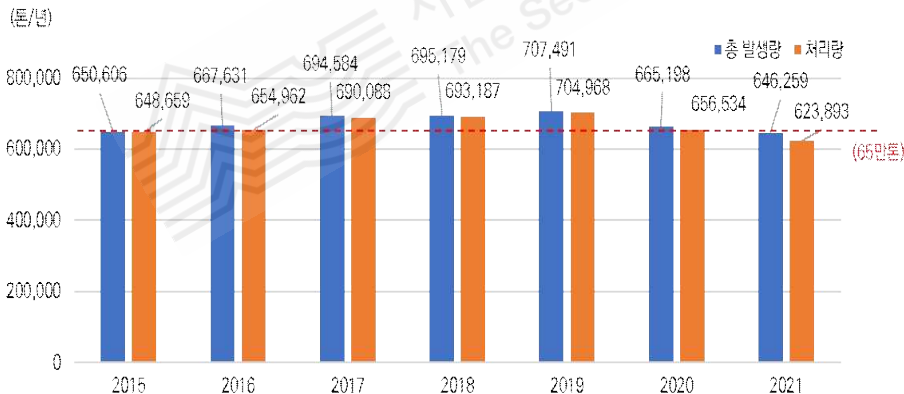
- 서울시 4개 물재생센터에서는 매년 평균적으로 약 65만 톤의 하수슬러지가 발생함

- 중랑 물재생센터에서 발생하는 하수슬러지양(전체 발생량 대비 34.2%)이 가장 많고, 서남 물재생센터(29.0%), 난지 물재생센터(19.3%), 탄천 물재생센터(17.5%)순으로 발생함
- 2019년(707,491톤/년)이후부터는 연간 하수슬러지 총 발생량과 발생량 대비 처리 비율이 다소 감소되고 있는 추세

[표 2-1] 서울시 물재생센터별 하수슬러지 총 발생량

구분	총계	중랑	난지	탄천	서남
2015	650,606	206,985	139,997	108,172	195,452
2016	667,631	212,541	144,532	114,609	195,949
2017	694,584	219,339	145,262	111,285	218,698
2018	695,179	231,230	140,968	117,889	205,092
2019	707,491	235,927	142,345	119,743	209,476
2020	655,198	214,358	129,165	111,890	199,785
2021	646,259	221,134	124,934	113,047	187,144

자료: 서울시 물순환안전국 물재생시설과 내부자료(2022)

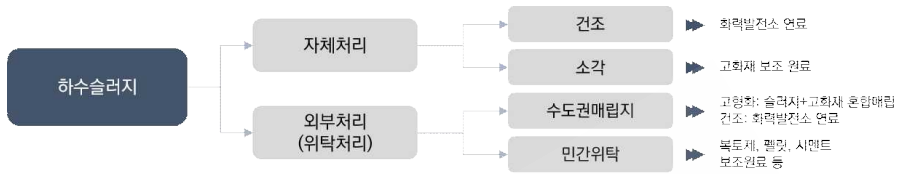


[그림 2-2] 연도별 총 발생량 및 처리량 현황

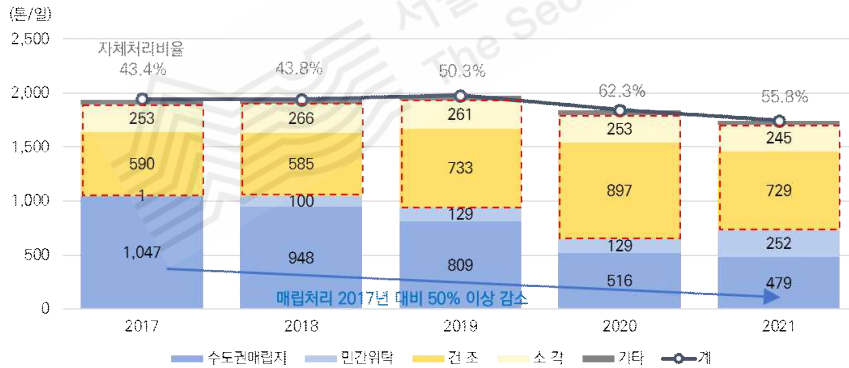
## 2) 하수슬러지 처리 현황

- 서울시의 하수슬러지 처리 방식은 크게 물재생센터 내에서 자체적으로 처리하는 자체 처리 방식과 물재생센터 외의 외부업체를 통해 처리하는 위탁처리 방식으로 나눌 수 있음

- 자체 처리는 크게 건조, 소각, 외부처리는 수도권매립지, 민간위탁 등을 통해 처리되고 있음
- 최근 5년의 서울시 하수슬러지 처리 방식을 살펴보면, 수도권매립지 처리 등 외부처리는 점차 감소하고 자체 처리는 지속적으로 확대되고 있음
- 자체 처리(건조, 소각) 비율은 2017년 43.4%에서 2021년 55.8%로 점차 증가
- 수도권매립지를 통한 처리는 2017년 1,047톤/일에서 479톤/일로 50%이상 크게 감소



[그림 2-3] 서울시 하수슬러지 처리 방식

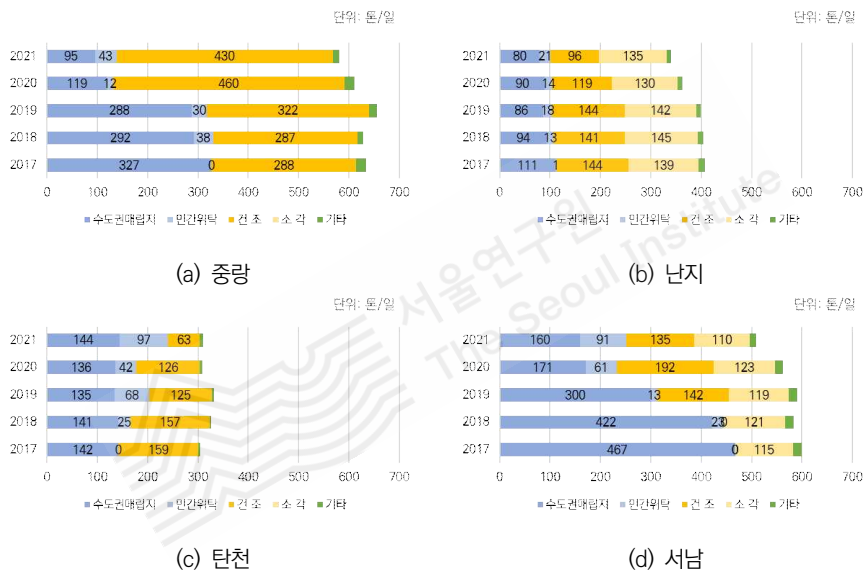


[그림 2-4] 하수슬러지 연도별 방법별 처리량 비교

- 중랑 물재생센터에서 처리되는 양(평균 약 622톤/일)이 가장 많으며, 서남 물재생센터(평균 569톤/일), 난지 물재생센터(평균 383톤/일), 탄천 물재생센터(평균 316톤/일)순으로, 하수슬러지 발생량이 큰 순서와 동일함
- 중랑 물재생센터와 서남 물재생센터는 최근 수도권매립지 처리량이 크게

감소하고 자체 처리량이 증가

- 건조시설 확충에 따른 건조처리량 확대, 수도권매립지 반입총량제로 인한 매립처리 감소
- 난지 물재생센터는 건조 및 소각 등 자체 처리 비율이 높고, 처리비율의 연도별 변화도 적음
- 탄천 물재생센터는 건조처리가 점차 감소하고 민간위탁 처리량이 증가
  - 중랑, 탄천 물재생센터는 소각시설이 없기 때문에 민간위탁을 통한 처리 확대



[그림 2-5] 최근 5년 서울시 물재생센터별 하수슬러지 처리량 비교

## 2\_서울시 하수슬러지 처리 여건의 변화와 관리 현황

### 1) 서울시 하수슬러지 처리 및 관리 이슈의 변화

#### (1) 2011년 이후, 폐기물 해양배출기준 강화 및 금지

- 기존 해양오염 방지를 위한 런던협약('96의정서)이 2006년 발표됨에 따라 2011년 해양배출 규제가 강화되면서 하수슬러지의 해양투기가 전면적으로 금지됨
- 그간 하수슬러지 처리비중이 높았던 해양투기 방식의 처리가 금지됨에 따라, 자체 처리시설, 민간위탁 등 육상처리 확대와 하수슬러지 재활용 활성화 방안 추진
- 해양배출 규제에 따른 하수슬러지 처리 방식의 변화
  - 해양배출 지자체의 육상처리 확대(자체 처리시설·민간위탁) 및 하수 배출원 관리
  - 하수슬러지의 독성 유무 판정방법 및 해양투기 판정 세부기준 마련
  - 하수슬러지 처리시설 가동률 제고 추진
  - 소화조 효율개선을 통해 발생량 저감 추진
  - 재활용 관련 제도 개선, 재활용 수요처 확대, 처리 및 재활용 연구 기술 개발 등 하수슬러지 재활용 활성화 추진
  - 해양환경개선 부담금 강화

#### (2) 2015년 이후, 서울시 하수슬러지 처리 자립화 추진

- 하수처리 과정에서 발생하는 슬러지를 수도권매립지에 의존함에 따라 야기되는 반입처리 과정에서의 시민불편, 시재정 부담 가중 등 문제의 근본적인 해결을 위해 서울시는 「하수슬러지 처리 자립화」 계획 추진
- 서울시 하수슬러지 처리 자립화 계획 추진배경
  - 수도권매립지 반입처리로 주민갈등 및 악취 발생 등 환경저해
    - 수도권매립지 주변 지역주민 반발 및 반입제한으로 안정적 처리가 곤란함에 따라 센터 내 야적으로 인한 악취발생 등 환경저해

- 슬러지 이송과정에서의 상차, 차량운행 등으로 시민불편 발생
- 수도권매립지 처리비의 급격한 상승으로 인한 시 재정 부담 가중
  - 2012년 이후 수도권매립지 처리비가 지속적으로 상승하여 경제성이 낮아짐
- 총인처리 등 하수처리 고도화에 따른 슬러지 발생량 증가
- 서울시 하수슬러지 처리 자립화 계획 주요 추진내용
  - 서울시 발생 하수슬러지 전량 자체 처리
    - 하수 유입부터 발생 슬러지까지 물재생센터에서 전량 자체 처리하여 운영 안전성 확보 및 악취 등 시민불편 해소
  - 물재생센터에서 발생하는 부산물 전량 에너지로 재활용
    - 배출 슬러지 전량 자원(화력발전소)으로 재활용
  - 슬러지 처리 최종 부산물(건조재, 소각재 등) 재이용 방안 연구 추진
    - 도자기, 타일, 벽돌 등 시제품 제작
    - 매립기층재 적용가능성 등 연구 추진

### (3) 2021년 이후, 환경정책 강화에 따른 서울시 하수슬러지 처리 여건의 변화

- 수도권매립지 반입을 제한하는 반입총량제 실시
  - 수도권매립지 반입총량제는 수도권매립지공사의 반입량 분석에 따라 3개 시·도가 합의해서 시행하는 것으로써 생활폐기물에 대해 우선 시행하지만 효과가 미흡할 경우 건설폐기물과 사업장폐기물에 대해서도 반입총량을 설정해 제한하는 방안이 검토되고 있음
  - 수도권매립지 사용 불투명으로 인한 지속적인 처리의 불확실성 증대
- 온실가스 감축을 위해 석탄 발전량을 제약하는 석탄발전 상한제 도입
  - 탄소중립 정책에 따른 석탄발전 상한제 시행으로 인한 화력발전소 환경개선공사, 노후화력발전소 중단 등으로 하수슬러지의 화력발전소 반입량이 지속적으로 감소하고 있음

#### (4) 2022년, 서울시 하수슬러지 처리 관련 관리 주요 이슈

- 방류수질 기준 강화로 인한 슬러지 발생비용 증가 예상
- 하수슬러지 미처리 보관량 증가 및 처리 시급
  - 하수슬러지 처리 자립화에 따른 전량 자체 처리로 인해, 2022년 6월 기준 서울시 하수슬러지 건조 처리 후 최종 처리되지 못한 하수슬러지 약 3만여 톤 적체
  - 센터 내 하수슬러지 야적으로 인한 악취 등 환경저해 발생
- 하수슬러지 처리 관련 갈등
  - 고양시에 위치한 난지 센터의 하수슬러지 야적 및 매립, 수도권매립지 우선권 등과 관련한 고발 등 고양시와의 갈등 발생
- 안정적인 하수슬러지 처리 방안 마련 시급
  - 단기적으로는 민간처리 여건 개선을 통한 기존 하수슬러지 처리 확대
  - 장기적으로는 환경여건의 변화에 유연하게 대응 가능한 다양한 처리 방식 확대를 통한 하수슬러지 처리 다변화

## 2) 최근 10년 서울시 하수슬러지 처리 방식의 변화

### (1) 서울시와 타 지자체의 하수슬러지 발생량 및 처리량 비교

- 2020년 기준 전국에서 운영 중인 4,281개소의 하수처리시설에서 약 420만 톤의 하수찌꺼기가 발생함
- 시도별 발생량은 경기도가 약 134만 톤(2020년 기준)으로 월등하게 많은 양이 발생하며, 서울, 경상도, 부산, 인천 순으로 나타남
- 처리장 수 대비 발생량은 서울이 약 16만 톤으로 가장 많으며, 대전, 울산, 부산, 인천 순으로 분석됨
- 주된 하수슬러지 자체 처리 방식은 소각, 건조, 탄화, 퇴비화 등이며, 건조 방식을 통한 처리량이 가장 많음
  - 2020년 기준, 인천은 100% 건조 방식을 통해 처리하였으며, 서울은 건조(78%), 소각(22%) 방식으로 처리함
  - 부산은 기존에 소각, 연료화 방식을 통해 처리하였으나, 2020년에는

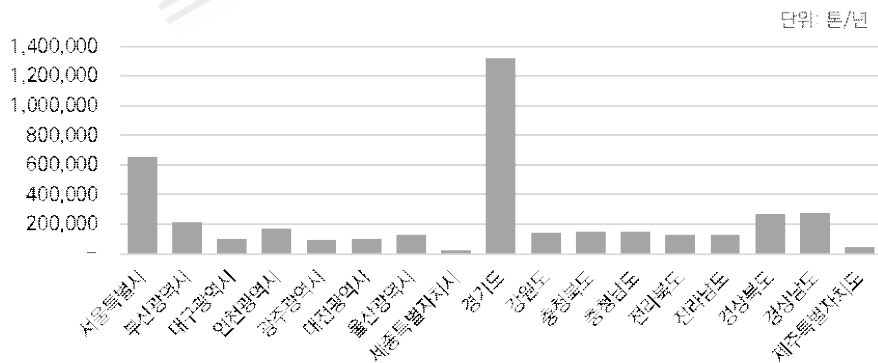
모두 건조 방식으로 처리

- 경기도는 다른 지역에 비해 소각을 통한 처리량이 가장 많았으며 (58%), 이 외에도 건조(41%), 퇴비화 방식(0.5%)으로 처리함

[표 2-2] 전국 지자체 하수슬러지 발생량 비교(2020년 기준)

시도	하수슬러지 발생량(톤/년)	처리장 수(개소)
서울특별시	658,962	4
부산광역시	213,686	30
대구광역시	103,115	18
인천광역시	173,041	26
광주광역시	114,832	27
대전광역시	101,669	2
울산광역시	128,200	16
세종특별자치시	25,272	26
경기도	1,339,732	403
강원도	148,334	391
충청북도	154,109	351
충청남도	170,164	408
전라북도	134,725	486
전라남도	132,805	934
경상북도	276,081	491
경상남도	289,764	634
제주특별자치도	45,507	34

자료: 하수도통계(환경부, 2022)



[그림 2-6] 전국 시도 하수슬러지 발생량

- 최근(2020년 기준) 서울시와 부산, 경기, 인천의 하수슬러지 처리 방식 및 처리량 비교
  - 서울시는 15년 이후 지속적인 자립화 추진으로 인해 전체 처리량 대비 자체 처리 비중이 약 64%까지 증가
  - 부산시 전체 처리량에서 위탁처리가 차지하는 비율이 약 72%이나, 처리량 기준으로는 서울시 처리량의 약 24%에 해당
  - 경기도는 자체 처리 비율은 서울시보다 낮으나, 처리량 기준으로는 서울시와 비슷하고 외부위탁 처리량은 서울시 전체 처리량을 상회함
  - 인천시는 외부위탁 및 광역처리 비중이 높으며, 처리량 기준으로는 위탁 및 광역처리량 모두 서울시 해당 처리량보다 낮음

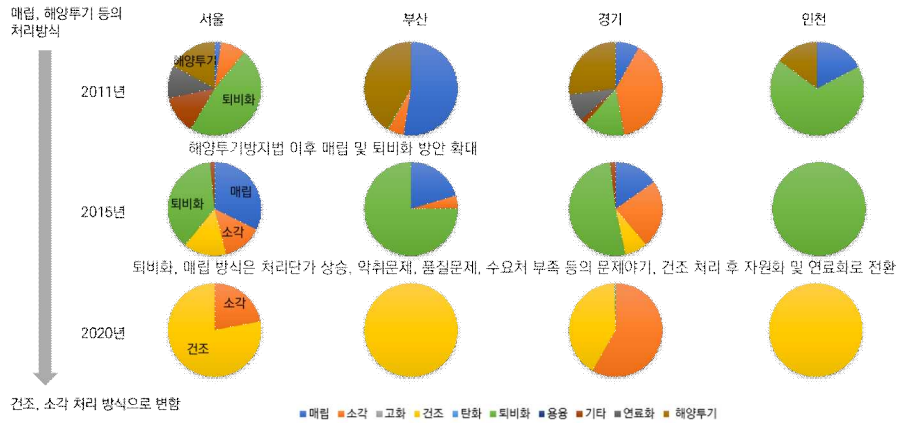
[표 2-3] 하수슬러지 처리 방식 비교(2020년 기준)

(단위: 톤/년)

시도	자체	외부위탁처리	광역처리
서울	420,361	93,201	145,400
	63.8%	14.1%	22.1%
부산	59,334	154,352	-
	27.8%	72.2%	-
경기	484,478	678,805	176,736
	36.2%	50.7%	13.2%
인천	4,306	78,314	90,421
	2.5%	45.3%	52.3%

## (2) 서울시 및 주요 시도 하수슬러지 처리 방식의 변화

- 정책 변화의 영향으로 하수슬러지 처리 방식이 크게 변화되어 옴
  - 2011년 이후 해양투기 금지로 인해 퇴비화와 매립 방식이 크게 증가
  - 2015년 이후 퇴비화 감소, 연료화 처리 확대(자립화 추진)
  - 2020년 이후 기후변화에 따른 환경정책의 강화로 인해 연료화 처리가 감소하고, 자체 처리(건조, 소각) 증가



[그림 2-기] 최근 10년 서울 및 주요 시도의 하수슬러지 처리 방식의 변화 비교

[표 2-4] 최근 10년 서울 및 주요 시도 하수슬러지 처리량의 변화 비교

(단위: 톤/년)

구분	연도	매립	소각	고화	건조	탄화	퇴비화	용융	기타	연료화	해양 투기
서울	2011	12,916	49,690				272,272		75,648	64,173	97,573
	2015	214,255	91,250		98,915		248,930		10,220		
	2018	-	96,796	-	-	104,894	204	-	-	108,799	
	2019	-	89,202	-	-	112,110	138	-	-	150,333	
	2020	-	92,623	-	327,714	-	24			-	
부산	2011	97,937	10,410				823			-	77,243
	2015	44,165	9,490				162,425				
	2018	-	7,345	-	-	-	422	-	-	130,180	
	2019	-	7,626	-	-	-	-	-	-	121,146	
	2020	-	-	-	59,334	-	-	-	-	-	
경기	2011	72,335	342,307				127,144		14,834	85,700	238,793
	2015	170,820	264,625		87,965		576,700		22,265		
	2018	-	277,521	-	-	584	10,426	-	167,680	143,478	
	2019	-	279,980	1,092	-	6	20,422	-	38,581	204,810	
	2020	-	282,176	-	199,926	-	2,375	-	-	-	
인천	2011	16,289	20				64,026				14,032
	2015						103,660				
	2018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2020	-	-	-	4,306	-	-	-	-	-	

### 3) 서울시 하수슬러지 처리 다변화 추진 현황

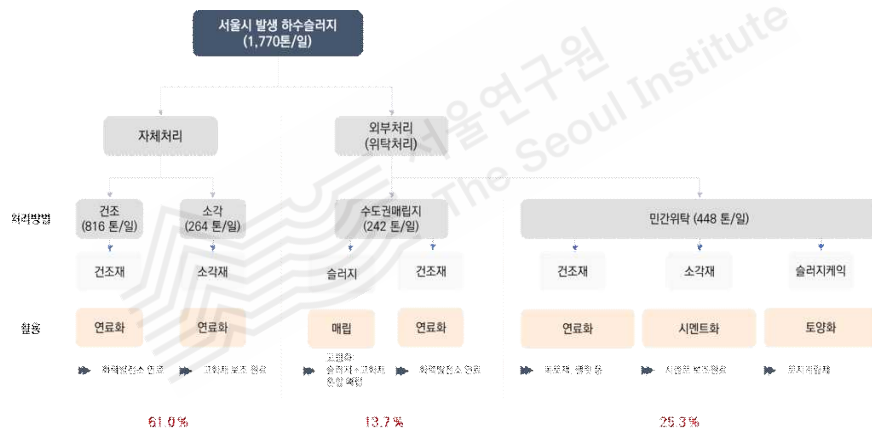
- 건조재 민간처리 확대
  - 건조재 연료화의 확실적인 방법을 탈피하여 처리 다변화 추진 ⇒ 시멘트 보조원료, 토지개량제 등 처리 다변화
    - 탈수케익보다 비용면에서 유리한 건조재의 민간위탁처리 확대, 탈수케익 1,000톤을 건조처리 시 약 200톤 건조재 발생
    - 처리우선순위: 건조재 연료화 → 건조재 시멘트 보조원료 → 건조재 토지개량제 → 수도권매립지 → 탈수케익 민간위탁처리
  - 건조재 반출 부족분 71톤/일(탈수케익 353톤/일)을 토지개량제 50톤/일, 시멘트 보조원료 21톤/일로 전량처리
    - ※ 시멘트 보조원료 예상 처리비: 90천원/톤(처리비 50천원/톤 + 운반비 40천원/톤), 토지개량제 예상 처리비: 100천원/톤(운반비 포함)
- 건조재 펠릿화 사업 추진
  - 서부화력발전소와 중량물재생센터 연료전지 사업과 연계한 건조재 펠릿사업을 추진하여 신규물량 25톤/일(22.1) 확보 및 확대
  - 현재 동서발전소에만 건조재 133톤/일 반입, 신규 거래처 서부발전소 확보로 처리 안정성 제고
  - 서울시 건조재 열처리 펠릿화 연료공급 사업
    - ※ 열처리 펠릿: 분말형태의 건조재를 열처리 후 덩어리 형태로 성형한 것으로 기존 펠릿에 비해 복합약취 90% 이상 저감되고 보관 용이
  - 처리단가: 60,000원/톤(운반비 미포함)
  - 처리량: 건조재 100톤/일
  - 저장가능용량: 21,120톤(105일 물량)
  - 건조재 펠릿화 처리를 위한 실시협약 체결 예정(23년 2월)
- K-eco 시멘트 사업화 계획 확정, 서울시 참여기관 MOU
  - 서울시 발생 하수슬러지 등 폐기물을 활용하여 에코시멘트를 제조하고, 이를 원료로 서울시에 활용 가능한 2차 제품(보도블록, 벽돌 등) 제공
    - ⇒ 2025년 K-에코시멘트 15만 톤/년 생산 기준, 서울시 하수슬러지

30만 톤~48만 톤/년 처리가능 예상(cf., 서울시 연평균 하수슬러지 65만 톤/년)

- 현재 추진 중인 다변화 사업을 포함한 2022년 9월 기준 서울시 하수슬러지 처리량은 1,770톤/일
  - 민간위탁 25.3%, 화력발전소 보조원료화 25.3%, 민간처리(건조재 민간처리) 20.8%, 소각 14.9%, 수도권매립지 13.7% 임

[표 2-5] 다변화 추진 사업을 포함한 2022년 9월 서울시 하수슬러지 처리량

합계	소각	건조			수도권매립지	민간위탁
		소계	화력발전소	민간처리		
1,770	264	816	447	369	242	448



[그림 2-8] 다변화 추진 사업을 포함한 2022년 9월 서울시 하수슬러지 처리 현황

## 03

### 하수슬러지 재활용 및 자원화 방안 검토



1\_하수슬러지 재활용 및 자원화 관련 제도

2\_하수슬러지 재활용 및 자원화 방안과 적용 여건 검토

### 03. 하수슬러지 재활용 및 자원화 방안 검토

#### 1\_하수슬러지 재활용 및 자원화 관련 제도

##### 1) 하수슬러지 개념 및 처리 기준: 폐기물관리법

- 하수슬러지는 「폐기물관리법 시행규칙」에 의해 유기성물질 함량에 따라 유기성, 무기성으로 구분하고, 소각, 탈수·건조, 고형화·고화 등 해당하는 방법으로 처분하도록 규정됨

[표 3-1] 하수슬러지 기본 개념

관련기준	주요내용
폐기물관리법 시행규칙 (별표5)	(1) 유기성 오니(고형물 중 유기성물질의 함량이 40퍼센트 이상인 것을 말한다. 이하 같다)는 다음의 어느 하나에 해당하는 방법으로 처분하여야 한다. (가) 소각하거나 시멘트·합성고분자화합물의 이용, 그 밖에 이와 비슷한 방법으로 고형화 또는 고화 처분하여야 한다. (나) 수분함량이 85퍼센트 이하로 탈수·건조한 후 관리형 매립시설에 매립하여야 한다. 다만, 물을 이용하여 폐기물을 운반한 후 침전 처리하는 경우에는 탈수·건조처분을 하지 아니할 수 있다. (2) 무기성 오니(유기성 오니 외의 오니를 말한다)는 다음의 어느 하나에 해당하는 방법으로 처분하여야 한다. (가) 소각하여야 한다. (나) 수분함량이 85퍼센트 이하로 탈수·건조한 후 관리형 매립시설에 매립하여야 한다. 다만, 물을 이용하여 폐기물을 운반한 후 침전 처리하는 경우에는 탈수·건조처분을 하지 아니할 수 있다.

- 하수슬러지는 퇴비화, 복토재, 연료화 등 다양한 유형으로 재활용할 수 있으며, 폐기물관리법에 재활용 유형에 대한 기준 및 준수사항 등이 명시

- 폐기물관리법상 하수슬러지의 재활용 유형으로는, 제품을 제조하는 유형(R-4), 농업생산에 기여할 목적으로 재활용하는 유형(R-5), 유기물질을 토질개선의 목적으로 재활용하는 유형(R-6), 에너지를 직접 회수하는 유형(R-8), 에너지를 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형(R-9)에 해당함

[표 3-2] 하수슬러지 재활용 유형

관련기준	주요내용	
폐기물관리법 시행규칙 (별표5의3)	R-4-2	(2) 건설용 골재로 재활용하는 경우에는 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」 제35조에 따른 순환골재의 품질기준을 준수해야 한다.
	R-5-4	(1) 퇴비의 원료로 사용하는 동·식물성 잔재물, 음식물류폐기물, 유기성오니, 폐식용유, 왕겨, 쌀겨 또는 초목류 등과 이들을 원료로 하여 생산된 퇴비는 「비료관리법」 제4조에 따라 설정·지정된 보통 비료의 공정규격 또는 부산물 비료의 규격을 충족하여야 한다.
	R-6-2	(1) 녹화토를 생산하는 경우 가)에 따라 환경부장관이 고시하는 기준 중 부숙 공정을 거쳐야 한다. (2) 가공된 비탈면 녹화토는 토양오염물질에 관한 공정시험기준 또는 국제적으로 통용되는 시험방법에 따라 시험한 결과가 다음의 기준을 충족하여야 한다.
	R-7-3	(1) 폐기물 매립시설의 복토재로 재활용하는 경우에는 다음의 기준을 준수하여 재활용하여야 한다. (다) 유기성오니를 폐기물 매립시설의 복토재로 재활용하는 경우에는 다음의 기준을 준수하여야 한다.
	R-8-1	(1) 시멘트 보조연료로 사용할 때에는 제3조제1항제3호에 따른 폐기물로서, 다음의 기준에 적합한 폐기물만을 재활용하여 시멘트 품질을 안정적으로 유지하여야 한다.
	R-9-5	(1) 연료로 가공하여 사용할 수 있는 유기성오니(지정폐기물, 분뇨 또는 가축분뇨 등의 생물학적 처리과정 전 단계에서 발생하는 오니류는 제외한다)는 다음의 시설에서 발생하는 것만 해당한다. (가) 「하수도법」 제2조제9호에 따른 공공하수처리시설 또는 같은 조 제11호에 따른 분뇨처리시설 (6) 연료로 재활용하는 유기성 오니는 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙」 제20조의3제3항에 따른 고품연료제품의 품질 시험·분석방법에 따라 시험한 결과(건조된 상태를 기준으로 한다)가 다음의 기준에 적합하여야 한다.

- 재활용 제품 및 용도 기준으로 재활용 방안을 구분하면 크게 ① 제품화(요업제품, 활성탄, 안료), ② 시멘트화(시멘트 대체원료, 시멘트 보조연료), ③ 퇴비화(비료, 퇴비), ④ 토양화(부숙토, 복토재, 토지개량제, 인공토양), ⑤ 연료화(고형연료 제품, 화력발전소 및 열병합발전소 연료) 등 5가지로 구분할 수 있음

[표 3-3] 폐기물관리법에 의한 폐기물 재활용 유형별 세부분류

분류	세부분류		재활용 방안
(R-3, R-4) 고상(固狀)의 자원을 회수하거나 제품의 원료를 제조하는 유형 또는 제품을 제조하는 유형	R-4 제품을 제조하는 유형	R-4-2	시멘트, 골재, 요업제품
		R-4-5	활성탄
		R-4-7	안료
(R-5, R-6) 농업이나 토질개선을 위하여 재활용하는 유형	R-5 유·무기물질을 농업의 생산에 기여할 목적으로 재활용하는 유형	R-5-1	비료, 퇴비
		R-5-2	사료
		R-5-4	자가 사육 및 농경지 퇴비, 사료 사용용도
	R-6 유기물질을 토질개선의 목적으로 재활용하는 유형	R-6-1	부숙토, 매립시설 복토재, 토양개량제
		R-6-2	비탈면녹화토, 인공토양
(R-8, R-9) 에너지를 직접 회수하거나 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형	R-8 에너지를 직접 회수하는 유형	R-8-1	시멘트소성로 보조연료
		R-8-2	소각열회수시설에서 에너지를 회수하는 유형
	R-9 에너지를 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형	R-9-1	고형연료제품
		R-9-5	화력발전소, 열병합발전소 연료
(R-10) 제품 제조 등을 위한 중간가공폐기물을 만드는 유형			R-3~9까지의 재활용 유형에 따라 재활용하기 위한 중간가공폐기물

2) 재활용 유형별 품질 및 처리 기준

(1) 퇴비화(비료) 재활용 방안

- 하수슬러지를 비료 처리하는 경우, 폐기물관리법 시행규칙에서 정하는 기준·규격 이외에 「비료관리법」에 따라 보통비료의 공정규격 또는 부산물비료의 규격 등 다른 법령에서 기준을 정하고 있는 경우 그 기준에 적합하도록 해야 함

[표 3-4] 비료 처리 기준

비료종류	규격의 함량(%)	함유할 수 있는 유해성분 최대량	그 밖의 규격
부산물 비료 (퇴비)	유기물 30%이상	비소 45mg/kg    크롬 200mg/kg 카드뮴 5mg/kg    구리 360mg/kg 수은 2mg/kg    니켈 45mg/kg 납 130mg/kg    아연 900mg/kg	1. 유기물 대 질소의 비 45 이하인 것 2. 건물 중에 대하여 염분(NaCl): 2.0% 이하 3. 수분(H <sub>2</sub> O): 55% 이하 4. 부숙도: 다음 각 목의 어느 하나의 판정기준 이상일 것 1) 콤백: 부숙완료, 2) 솔비타: 부숙후기 또는 부숙완료, 3) 종자발아법: 발아지수 70 이상 5. 염산불용해물25% 이하

자료: 비료 공정규격설정 및 지정(농촌진흥청고시)

## (2) 토양화(토지개량제) 재활용 방안

- 유기성오니를 이용하여 토지개량제, 매립시설의 복토 용도로 사용하는 부숙토는 환경부 고시 「유기성오니 등을 토지개량제 및 매립시설 복토 용도로의 재활용 방법에 관한 규정」에 의한 부숙토 기준에 적합하도록 해야 함
- 지렁이분변토는 비료관리법에서 규정한 비료의 품질검사방법 및 시료채취기준에 따른 농도 규정에 적합하여야 함

[표 3-5] 토지개량제 용도로의 재활용 관련 기준

관련기준		주요내용
유기성오니 등을 토지개량제 및 매립시설 복토용도로의 재활용 방법에 관한 규정	제7조 (부숙토의 표시 및 사용)	① 부숙토 생산자는 생산된 부숙토의 용기나 포장의 외부에 별표 5의 부숙토 생산자 보증표시를 하여야 한다. ② 별표4의 "가"등급 부숙토는 토지개량제 또는 매립시설 복토용으로 사용할 수 있다. 다만, 토지개량제로 사용하는 경우 사람의 식용 및 가축(가금류 및 어류 포함)의 사료 생산을 목적으로 작물 등을 재배하는 토지에는 사용하여서는 아니 되며, 도로절개지 외의 토지에는 1천평방미터당 연간 4톤 이상을 사용하여서는 아니 된다. ③ 별표4의 "나"등급 부숙토는 매립시설 복토용으로만 사용하여야 한다.
	제11조 (지렁이분변토의 기준)	토지개량제로 사용하고자 하는 지렁이 분변토는 다음 각 호의 기준에 적합하여야 한다. 1. 지렁이 분변토에서 발생하는 악취는 악취방지법 시행규칙 별표 3의 배출허용기준 이하이어야 한다. 2. 지렁이 분변토를 비료관리법 시행령 제15조의 규정에 의한 비료의 품질검사방법 및 시료채취기준에 따라 시험한 질산성질소(NH <sub>3</sub> -N) 농도는 암모니아성질소(NH <sub>3</sub> -2) 농도보다 높아야 한다. 다만, 질산성질소(NO <sub>3</sub> -N) 농도와 암모니아성 질소(NH <sub>3</sub> -2) 농도는 비료의 품질검사방법 및 시료채취기준에 따라 조제한 공식액을 수질오염공정시험방법으로 시험한 농도로 대체할 수 있다.

[표 3-6] 부속토 제품기준

규격의 함량(%)	함유할 수 있는 유해성분 최대량	그 밖의 규격
유기물 25% 이상 (도로절개지의 토지개량제로 사용하는 경우에는 '가' 등급의 유기물 함량기준은 15% 이상으로 한다)	비소 50mg/kg 카드뮴 5mg/kg 크롬 300mg/kg 구리 500mg/kg 납 150mg/kg 수은 2mg/kg	1. 유기물 대 질소의 비 50 이하 2. 염분(NaCl): 1.0% 이하 3. 부속도: 실온보다 20℃ 이상 재발열이 없을 것

주: 부속토 '가 등급' 제품 기준이며, 나 등급의 경우 부속도를 제외하고 가 등급의 기준을 초과하는 경우를  
말함

자료: 유기성오니 등을 토지개량제 및 매립시설 복토 용도로의 재활용 방법에 관한 규정(환경부 고시)

(3) 제품화(건설자재) 재활용 방안

- 건설자재로 재활용하는 경우 환경부 고시 「건설폐기물의 재활용촉진에 관  
한 법률」에 따른 순환골재의 품질기준을 준수해야 함
- 순환골재의 품질기준은 도로기층용, 콘크리트용, 하수관로 설치용 모래대체  
잔골재, 아스팔트 콘크리트용, 동상방지층 및 차단층용, 노상용, 노체용,  
퇴메우기 및 뒤채움용 등 골재 사용 용도에 따라 규정하고 있음

[표 3-7] 건설자재 용도로의 재활용 관련기준

관련기준		주요내용
건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률	제35조 (순환골재의 품질기준 등)	국토교통부장관은 환경부장관과 협의하여 건설폐기물의 재활용을 촉진하기 위하여 순환골재의 용도별 품질기준 및 설계·시공 등에 관하여 필요한 기준을 정하여야 한다.

(4) 연료화(시멘트 보조연료, 가공 연료) 재활용 방안

- 시멘트 보조연료로 사용하는 경우 시멘트 품질을 안정적으로 유지할 수  
있도록 기준에 적합한 폐기물을 재활용해야 함
- 연료로 가공하여 사용할 수 있는 유기성 오니는 「자원의 절약과 재활용촉  
진에 관한 법률 시행규칙」에 따른 고형연료제품의 품질 시험·분석방법에  
따라 시험한 결과(건조된 상태 기준) 기준에 적합해야 함
- 화력발전소 또는 열병합발전소에서 총 연료사용량의 5% 이내로 유기성오

니 사용 상한(건조물의 발전소 사용 상한제)을 두었으나, 최근 민간 연료 품질 향상 노력과 재활용 수요처 활로 개척을 위해 상한 규정 삭제가 검토되고 있음

[표 3-8] 연료화 처리 기준(시멘트 보조연료, 가공 연료)

시멘트 보조연료 재활용 기준	구분	연료 가공 시 재활용 기준
<p>시멘트 소성로에서 보조연료로 재활용하는 고형연료제품의 품질 시험·분석방법에 따라 시험한 결과(저위발열량 외의 항목은 건조된 상태 기준)가 다음의 기준에 적합하여야 한다.</p> <p>① 납: 200mg/kg            ② 구리: 800mg/kg            ③ 카드뮴: 9mg/kg            ④ 비소: 13mg/kg            ⑤ 수은: 1.2mg/kg</p>	고형연료제품 품질 기준	<p>연료로 재활용하는 유기성 오니는 고형연료제품의 품질 시험·분석방법에 따라 시험한 결과(건조된 상태 기준)가 다음의 기준에 적합하여야 한다.</p> <p>(가) 수은: 킬로그램당 1.20밀리그램 이하            (나) 카드뮴: 킬로그램당 9.0밀리그램 이하            (다) 납: 킬로그램당 200.0밀리그램 이하            (라) 비소: 킬로그램당 13.0밀리그램 이하</p>
4,500Kcal/kg 이상	저위발열량	3,000Kcal/kg 이상 (다만, 해당 유기성 오니에서 일부 에너지를 회수한 후 가공하는 경우에는 저위발열량이 2,000Kcal/kg 이상)
-	연료사용 비율	건조재 혼소비율 5% 상한 규정 폐지(2022.10.)
-	기타	연료로 제조하는 과정에서 지정폐기물 또는 폐합성고분자화합물 등과 혼합하면 안 됨 (다만, 원목 상태이거나 원목을 기계적으로 가공·처리한 상태의 것으로서 페인트, 기름, 방부제 등이 묻지 않은 폐목재를 가공하여 혼합 가능)
염소농도: 무게의 2퍼센트 미만		가공된 연료는 수분 함유량 10퍼센트 이하, 회분 함유량(건조된 상태 기준) 35퍼센트 이하, 황분 함유량(건조된 상태 기준) 2퍼센트 이하, 길이(원형인 경우에는 지름) 40밀리미터 이하 (다만, 화력발전소에서 연료로 사용하는 경우에는 회분 함유량이 35퍼센트를 초과할 수 있다.)

자료: 폐기물관리법 시행규칙 별표5의3(폐기물의 재활용 기준)

## 2\_하수슬러지 재활용 및 자원화 방안과 적용 여건 검토

### 1) 제품화: 건설자재(타일, 블록, 시멘트 2차 제품 등)

#### (1) 건설자재 재활용 특성

- 건설자재는 하수슬러지 소각 후 발생하는 소각재, 용융슬래그를 활용할 수 있음
  - 생산된 건설자재는 보도, 연결도로, 광장, 공원 등의 포장재, 침투성벽돌, 경량골재 등으로 활용
- 하수슬러지 소각 후 발생하는 소각재는 하수슬러지 구성 성분 중 무기물 질이 주성분을 이루고 있으며, 석회계 소각재의 경우 일반적인 물리적, 화학적 특성을 확인한 후에 콘크리트 2차 제품 및 타일 등으로도 제조 가능함
- 적용성
  - 가공처리비용이 높음
  - 인공 경량골재의 생산 효율성, 활용성 불투명
    - 경량골재는 조경 등 부분적인 자재로 대부분 활용(건설용 자재로 활용 낮고 수요처 한정)
  - 하수슬러지 자체의 품질관리 필요
    - 건설자재 제품생산에 필요한 성분 기준 유지
    - 소각회의 생성조성 균일성문제
    - 재활용 제품의 장기적인 안전성, 안정성 확인 필요
  - 서로 간에 뭉치는 강도가 비교적 낮아 도로 등 노상재료로 활용 어려움
  - 중금속 용출 문제는 소각재의 특성상 제거가 어려운 가장 큰 환경적 단점
- 여건 및 전망
  - 소각기술 및 소각시설의 폭 넓은 보급으로 인한 소각 처리량 증대 추세
  - 폐열활용으로 에너지 비용절감 및 부족한 국내 골재수급을 동시에 충족시킬 수 있는 방안으로 전망
  - 소각회에 벤토나이트를 가해서 한 소성에 대해서는 기술관리를 필요로

하지만 물성, 강도를 비교할 경우 시판 중인 인공경량골재와 동등한 품질 확보 가능

- 건설폐기물의 경우는 관련법에 의해 순환골재 품질기준과 사용용도를 규정하고 자치단체에서 조례나 내부 지침을 통해 의무사용 대상 공사나 사용량 확대 마련 추진 중

#### ○ 전처리 특성

##### - 소각 처리의 장점

- 감량효과 우수
- 처리주기 단기간
- 소각재 처분 시 수요처 확보 필요 없음
- 기술적 신뢰성 안정성 우수
- 국내외 기술 수준 우수
- 안정적, 위생적 처리
- 폐열 활용 가능
- 하수슬러지 활용 건설자재에 대한 법 제정, 제도가 필요한 실정

##### - 소각 처리의 단점

- 대기 및 수질, 소음진동 등 환경영향 큼
- 환경오염방지시설 비용 높음
- 민원 발생률 높음
- 건설비 및 처분비 고가

## (2) 건설자재화 기술개발 사례

### ① 국내 산업 부산물 건설기초소재 자원화(2020년)<sup>1)</sup>

- 건설기초소재 전문기업인 삼표그룹은 산업 부산물과 재활용 가능한 폐기물을 건설기초소재로 활용
  - 화력발전소 부산물 활용 콘크리트 제조과정에서 시멘트 대체 혼합재 생산

1) 자료: 국토일보, 2020.3.23., “건자재업계, 기술경쟁력 강화 ‘올인’…건설 혁신 앞장”

- 제철소에서 발생하는 슬래그를 가공하여 고로슬래그시멘트 생산
- 선별된 페비닐 등 가연성 생활폐기물을 시멘트 생산 연료인 유연탄 대체제로 사용, 하수슬러지 건조시설 운영



[그림 3-1] 슬래그 공장: 산업 부산물 건설기초 소재 자원화

## ② 국내 슬러지 활용 경량 건설자재 생산(SR그린 연구소)<sup>2)</sup>

- 하수와 석면, 건축 등 슬러지를 활용한 소재개발과 슬러지를 이용한 경량 패널 제작 등 다양한 리사이클 연구를 통해 건축·건설·산업용 자재를 생산하는 체계를 구축함
  - 하수처리장에서 처리한 케이크 슬러지를 이용해 초경량 건축자재를 생산하는 시스템을 구축, 초경량 비중조절과 흡음, 단열, 불연재의 신소재로 자원화하는 신기술 접목
    - 슬러지 폐기물에 장식, 벤토나이트, 제올라이트, 황토, 운모 및 납석을 첨가하여 건조, 소성 단계를 거쳐 제조하는 방식으로 제조
    - 이러한 경량골재는 사용한 콘크리트의 비중을 감소시킬 뿐만 아니라 경량 골재 내부에 무수한 기공들로 인하여 단열 및 방음의 효과도 동시에 얻을 수 있는 장점이 있음

<sup>2)</sup> 자료: 경기일보, 2020.8.5., “이세린 SR그린 연구소장 ‘고향 여주, 세계적 환경친화도시 성장 최선’”, 특허 WO2011071217A1

- 또한, 중금속의 용출이 없으며 경량의 골재를 제조할 수 있는 효과가 있으나, 제조과정 중에 많은 에너지가 소요, 소각 후 잔재물을 이용한 제품의 경우 강도가 약한 문제점이 있음

### ③ 국내 저탄소 건설재료 연구 개발(2022)<sup>3)</sup>

- 기존 소각재를 활용하여 골재 제작 등 콘크리트에 혼입할 경우 팽창이나 균열 등 강도가 떨어지는 것이 문제였으나, 이를 개선하여 SK에코플랜트, (주)씨엠디기술단에서는 소각재를 재활용하는 저탄소 건설재료(옹벽블록, 보도블록 등) 제조 기술 공동 개발
  - SK에코플랜트: 소각시설에서 나오는 소각재 제공, 건설 현장에 활용
  - (주)씨엠디기술단: 제공 받은 소각재를 콘크리트와 혼합해 대형 옹벽 블록, 보도블록 등 제조



[그림 3-2] 소각재 재활용 보도블록 시제품(좌), 씨엠디기술단 제1생산공장(우)

자료: 연합뉴스, 2022.7.14., “SK에코플랜트, 폐기물 소각재 재활용 기술개발 착수”, (주)씨엠디기술단 홈페이지

- 생산된 제품은 기술 및 안전성 검토 후 SK에코플랜트 건설 현장 등에 활용
- 공정의 특징으로 골재 품질에 영향을 주지 않고 소각재를 혼입할 수 있는 비중은 기존 20% 수준에서 최대 60%까지 늘어나며, (주)씨엠디기술단이 자체 개발한 비소성 무기결합재와 팽창저감용 반응재 등 안정화 처리 기술이 효과가 나타남

3) 자료: 기계신문, 2022.7.15., “SK에코플랜트, 씨엠디기술단과 소각재 재활용 건설골재 생산 기술개발 ‘맞손’”

- 2020년 기준 바닥에 남는 소각재 발생량 약 215만 9,000톤 중 50%만 재활용해도 100만 톤 이상의 소각재가 매립되는 것을 감소할 수 있음

## 2) 제품화: 활성탄

### (1) 활성탄 재활용 특성

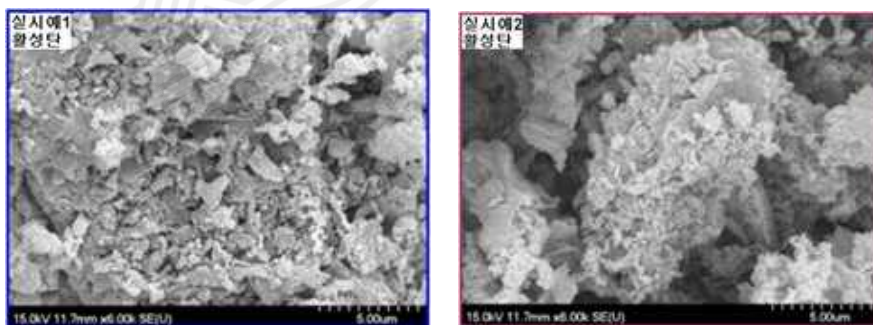
- 활성탄은 하수슬러지 건조 후 발생하는 건조재를 활용할 수 있으며, 탄화 처리 부산물인 탄화물은 고온에서 탄화된 탄소알갱이의 미립자로서 무취, 흡취·흡착성이 좋고 발열량이 높아 다양한 용도로 활용
- 적용성
  - 생체 내의 이용, 해저 및 우주개발과 여러 가지 공해방지면에서 토양 오염물질 제거, 배연탈황, 용제 회수 등에 이용되고 있으며, 수질처리에 있어서 여러 방면으로 활용 가능
  - 성질이 목탄에 가깝기 때문에 소각회나 용융슬래그와는 또 다른 활용 가능성
  - 슬러지의 탄화처리는 소각에 비하여 배기 가스량이 적을 뿐만 아니라 건류과정에서 생성하는 가스가 열원으로 이용되기 때문에 에너지 절약형
  - 열분해법을 응용하여 무산소 상태에서 탄화처리 공법이 자원재생 이용의 관점에서 기술적 대안
  - 탄화시설 건설, 운영 비용 및 가공처리비용 높음
  - 설치 후 영구적 활용 가능
  - 고부가가치, 그러나 품질 및 수요 규모 변동성이 큼
- 여건 및 전망
  - 활성탄은 탈취, 탈색 및 촉매, 혼합물의 분리 및 정제 등 수요 증가 추세
- 전처리 특성
  - 탄화 처리의 장점
    - 감량효과 우수
    - 처리주기 단기간
    - 처리부산물의 재이용 가능

- 장기보관 용이
- 폐열활용 가능
- 탄화 처리의 단점
  - 기술적 안정성이 다소 낮음
  - 처리 및 운영비가 재활용 방안 중 가장 높음

## (2) 활성탄 기술개발 사례

### ① 탄화물 활용 활성탄 제조(2009)<sup>4)</sup>

- 하수슬러지 탄화물을 이용하여 활성탄을 제조(KR20110010491A)
- 기존 견과 껍질, 목재, 석탄, 리그닌, 코코넛 껍질, 쌀겨, 과일씨 등을 활용하는 방법은 경쟁력이 그리 높지 않기 때문에 낮은 단가로 공급될 수 있는 탄소원 발굴, 우수한 품질의 활성탄 제조방법 제공(하수슬러지 탄화물을 이용하여 활성탄 제조)
- 공정의 특징으로는 탄소원을 매우 저렴한 가격으로 확보할 수 있으며, 탄화물의 활성화 온도가 기존에 사용되던 탄화물의 활성화 온도에 비해 300~400℃ 정도 낮아서 에너지 소비가 획기적으로 절감되므로 매우 저렴한 가격의 활성탄을 제공하는 것이 가능함



[그림 3-3] 탄화물 활용 활성탄 제조

<sup>4)</sup> 자료: 특허 KR20110010491A

## ② 하수슬러지를 이용한 활성탄 개발에 관한 연구(2009)<sup>5)</sup>

- 하수슬러지를 이용하여 고부가가치의 활성탄을 제조할 수 있는 국내 기술을 확보하는 기반 마련, 적정 대응방안을 모색함
- 연구 결과, 하수슬러지 활성탄 제조를 위한 최적 조건 제시
  - KOH 침적비율이 75wt%, NaOH 침적비율이 50wt%일 때 다른 실험 조건에 비해 우수한 성능을 나타내는 것을 확인
  - 활성탄의 BET값과 요오드 흡착량은 일반적인 활성탄(BET surface area: 500~1,700m<sup>2</sup>/g, 요오드 흡착력: 900~1,100mg/g)보다 작기 때문에 이를 상용화하기에는 적합하지 않음
  - 지속적인 활성화 반응의 유도를 위해 정량 공급되는 질소가스 유속의 변화가 활성탄의 물성치에 영향을 미칠 수 있을 것

## ③ 김해시 하수슬러지처리시설<sup>6)</sup>

- 김해시도시개발공사 하수슬러지 자원화처리시설은 하수슬러지를 재활용하여 탄화처리 방법으로 가동하고 있으며, 운영관리비 절감 등을 위해 민간 위탁으로 운영하고 있음
- 처리시설은 기존의 부숙화, 고화, 소각 등의 방법이 아닌 탄화처리 방법으로 가동되기 때문에 부산물의 재활용이 가능하고 감량효과가 우수하며 폐열 활용이 가능함
  - 슬러지 탄화처리 방식은 대기오염 물질 및 악취 등 2차 환경 오염유발이 적으며, 탄화물의 판매 가능(경제성 확보), 단시간 처리 및 대량처리가 가능함

5) 자료: 하수슬러지 이용한 활성탄 개발에 관한 연구(이택룡 외 2, 2009)

6) 자료: 워터저널, 2009.11.6., "Part3. 하수슬러지 재활용 우수사례"



[그림 3-4] 김해시 하수슬러지 탄화처리 시설

### 3) 시멘트화: 시멘트 대체원료, 시멘트 보조연료

#### (1) 시멘트화 재활용 특성

- 하수슬러지의 탈수슬러지, 건조재, 소각재 등은 시멘트의 대체원료나 보조연료로 활용할 수 있음
- 하수슬러지의 연소 후에 남는 고형분의 성분은 점토원료( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )와 유사하여 시멘트 원료로 이용
- 하수슬러지 자체 잠재열량을 이용하기 위하여 보조재를 첨가하거나 건조공정을 거쳐 연료제품으로 전환시켜 화력발전소 또는 시멘트 보조연료로도 사용할 수 있음
- 적용성
  - 하수슬러지를 대체원료로 활용함으로써 대량처리, 환경적 안전성 및 비용 절감 등 효과가 큼
  - 시멘트사마다 처리용량이 다르고, 반입, 처리되는 하수슬러지 물량이 일정하지 않음
  - 환경오염에 대한 시멘트공장 주변 주민들의 민원 발생 가능성 높음
  - $\text{P}_2\text{O}_5$  성분과 Cl 등은 시멘트 공정 및 품질에 악영향을 미치기 때문에

### 균일한 품질관리 필요

- 수분함량, 이송 및 저장과정에서 악취 문제 해결 필요(별도의 설비, 전처리 방법 필요)
- 저비용 초기투자 및 운영비 절감 등 비용 경제적
  - 기존 시멘트 설비를 활용할 경우, 하수슬러지 직투입 설비만 추가로 설치함으로써 경제성 높음

### ○ 여건 및 전망

- 지속적인 환경규제 형평성 문제로 인한 적용 불확실성 증대
- 서울시는 K-에코시멘트 연구개발 MOU 체결을 통해 25년부터 900톤/일(슬러지 기준) 이상 처리 기대
- 서울시는 현재 대체원료화 사업을 추진 중이나, 건조재 투입설비와 하수슬러지 품질관리 문제로 대량 처리 곤란
- 시멘트 제조시설이 최근 환경오염시설 허가 대상으로 지정, 시멘트 대체원료 활용 시 환경오염 통합관리시설 지정으로 2027년 6월까지 통합허가를 받아야 함
- 따라서, 질소산화물 등 대기오염물질 배출 규제 강화에 따라 처리 안정성이 저해될 소지가 있음

### ○ 전처리 특성

- 시멘트화 처리의 장점
  - 기술적 신뢰성, 안전성 우수
  - 국내외 기술 수준 우수
  - 최종처리 후에 부산물 발생이 없어 추가 처리비용 발생 없음
  - 환경적으로 대기오염물 발생이 적고 환경영향이 적음
  - 운영 중인 소성로를 활용할 경우 추가비용 발생 적음
- 시멘트화 처리의 단점
  - 민원, 품질관리, 초기투자에 민감

## (2) 시멘트화 기술개발 사례

### ① 일본 에코시멘트 Tama시멘트 공장<sup>7)</sup>

- 일본에서는 생활폐기물 및 하수슬러지의 약 75% 이상이 소각처리 후 매립이었으나, 최종처분장의 잔여용량의 한계로 재자원화 기술인 에코시멘트 개발



[그림 3-5] 일본 Tama 에코시멘트 시설

- 일본 도쿄도 타마지구의 생활폐기물 소각회, 하수슬러지에 석회나 철분 등을 혼합하여 에코시멘트 생산(평균 115,000톤/년), 2006년부터 공장 운영, 연간 평균 운영비 32억엔 소요
- 공정의 특징으로는 에코시멘트의 원료가 되는 도시쓰레기 및 하수슬러지 소각재에는  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  및  $\text{Al}_2\text{O}_3$  등의 수경성 화학성분 활용 시멘트 원료 대체
- 장기 재령에서의 압축강도 증진이 작아지는 문제점을 보완하기 위해 플라이애시 및 고로슬래그 미분말 등의 혼화재 사용
- 에코시멘트의 제조공정에서 소각재를  $1300^\circ\text{C}$  이상의 고온으로 유지하여 에코시멘트 광물 합성 → 폐기물에 포함되어 있는 Cd, Pb 등은 안정한 상태로 유지

<sup>7)</sup> 자료: 전문가 세미나(K-Eco Cement 소개; 하수 슬러지 재활용 측면, 위드앳텍), 지속가능한 사회구현을 위한 일본의 에코시멘트 개발 동향 및 향후 전망(한국건설순환자원학회지, 2016)



[그림 3-6] 에코시멘트 제품 활용처

② 국내 K-에코시멘트(2022년)<sup>8)</sup>

- 생활폐기물 및 하수슬러지 소각재를 활용하여 에코시멘트 제조, 이를 원료로 활용한 2차 제품(보도블럭, 벽돌 등) 제조 → 자원 순환체계 구축



[그림 3-7] 에코시멘트 사업화 모델(안) 및 추진체계

8) 자료: 전문가 세미나(자원순환 탄소중립 실현을 위한 K-Eco Cement 실증센터 구축, 한국산업기술시험원, 서울시 보도자료(2022.10.19.)

- 폐기물 소각재, 건설폐기물, 산업용 폐기물, 광물자원을 원재료로 하여 강원도 내의 후보 사이트에 구축 예정인 Pilot Plant에서 에코시멘트 제조
- 1단계로 5,000~10,000톤/년 규모의 설비 및 실증화 센터를 구축, 운영 후 실규모의 투자로 전환하여 150,000톤/년 급으로 진행 예정
- 서울시 K-에코시멘트 연구개발 업무협약(MOU) 체결하여 서울시에서 발생하는 폐기물 소각재(가연성 폐기물을 소각한 후 발생)와 하수슬러지를 시멘트 대체원료로 제공
- 기술 상용화 경우, 연간 16만톤의 건조재, 하수슬러지(약 30만톤)를 재활용하여 15만톤의 시멘트 생산 → 일반시멘트 생산 대비 온실가스 70% 감축
- 주체별 역할: 서울시(자원 제공), 태백시(연구시설 설치 부지 제공), 한국산업기술시험원(시멘트 제품인증 및 성능시험 실시), SK에코플랜트(K-에코시멘트 연구개발 주관 추진), 위드애크(K-에코시멘트 개발 기술제공 및 지원)

#### 4) 퇴비화: 비료, 퇴비

##### (1) 퇴비화 재활용 특성

- 하수슬러지의 탈수슬러지 등은 비료, 퇴비로 활용할 수 있음
- 하수슬러지는 질소 성분을 함유하고 있어 호기성으로 발효하여 안정화 후 농지로 환원하는 방법(식물에 영양분을 공급하는 목적)인 비료로 활용 가능
- 또한, 식생기반을 조성할 수 있도록 도시공공하수처리시설 발생슬러지, 톱밥 등의 원료를 일정비율로 혼합한 퇴비를 제조하여 활용할 수 있음
- 적용성
  - 발열을 이용하는 퇴비화 과정이 가장 경제적임(화학, 방사선, 발열 처리 등 있음)
    - 퇴비분해온도 65도 이상 2일 이상 경과 필요
    - 기온, 날씨에 영향을 받음
    - 위생처리 필수
  - 저장체계에 대한 고려 필요(악취 등)

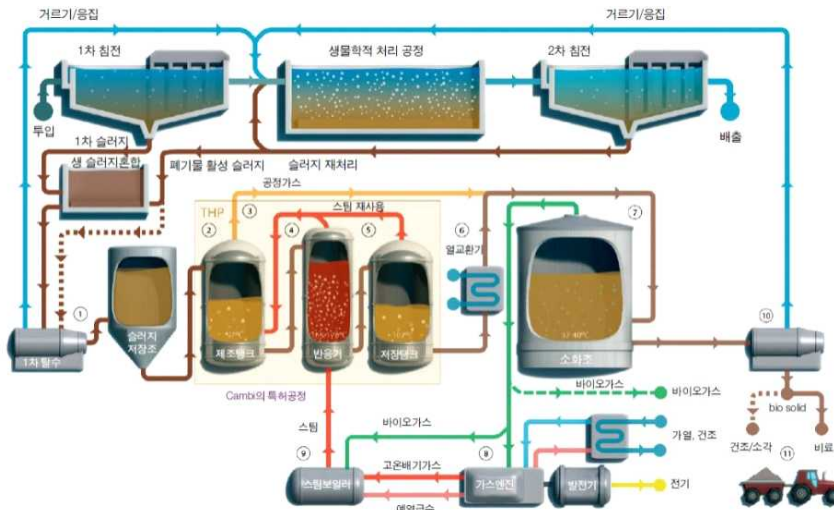
- 읍면 단위가 아닌 시급 이상의 지역에서 발생하는 슬러지는 환경부 법에 따라 공원녹지지역에 우선적으로 사용, 수요가 없을 시 매립지 복토용으로 사용
- 여건 및 전망
  - 수요처 확보가 가장 관건
  - 환경부법상 공원녹지지역에 우선적으로 사용하도록 한 규정에 따라, 서울시는 서울시 내 공원녹지에 활용하는 방안을 검토 중
- 전처리 특성
  - 퇴비화 처리의 장점
    - 감량효과 양호
    - 국내외 기술 수준 양호
    - 환경영향 적음(처리 방식 기준)
    - 슬러지 내 중금속 등의 영향으로 토양오염 유발 가능
    - 처리부산물 다각적 재이용 가능
  - 퇴비화 처리의 단점
    - 처리부산물 재이용 불가 시 추가 처분비 소요
    - 후부숙기간으로 인해 처리주기 장기간
    - 소요면적 큼
    - 수요처 확보 곤란
    - 대량처리에 유리하나 처리업체 대부분 소규모 시설로 운영되고 있어 대량처리 어려움

## (2) 퇴비화 기술개발 사례

### ① 국내 안양 하수처리장<sup>9)</sup>

- 안양 하수처리장은 안양·군포·의왕시 3개 지역에서 배출하는 하수를 처리하고 있으며, 15만톤의 지상 처리장과 지하화된 25만톤의 처리장이 있음

9) 자료: 이투데이, 2020.9.28., “바이오가스는 전기로, 하수슬러지는 퇴비로”



[그림 3-8] 안양 하수처리장 계통도

- 안양 하수처리장은 지하화 시설뿐만아니라 오염된 물을 정화하는 고유기능을 수행하면서 바이오가스는 전기로, 하수슬러지는 환경친화적인 퇴비로 만들어 처리함
- 공정의 특징으로는 하수처리 후 발생하는 하수오니를 고온·고압으로 열가수분해(THP, Thermal Hydrolysis Process)하는 특수설비를 통해 165℃ 온도와 대기압 6배(6Bar) 이상 압력으로 열가수분해 함
- THP공법을 거친 안양하수처리장 하수찌꺼기는 방향족과 유기화합물이 파괴돼 악취가 없고, 성분 분석한 결과 중금속 기준도 비료원료 기준을 만족하여 토지개량제, 비료로 개발하여 자원으로 활용할 수 있음

## ② 미국 워싱턴 D.C. Blue Plains<sup>10)</sup>

- 워싱턴 D.C.의 Blue Plains의 하수슬러지를 건조 또는 가공하여 퇴비상품으로 판매하고 있음
- 공정의 특징으로는 THP시설(열가수분해 시설)을 거쳐 나온 하수슬러지를 처리하여 비료로서 토양으로 순환하는 기술 적용하여 악취제거, 건조에너지 및 온실가스 저감, 기존 처리비의 70~75% 수준에서 경제성 높음

10) 자료: 바이오솔리드 홈페이지(<http://www.biosolidplus.com/>)



[그림 3-9] Blue Plains의 하수슬러지 처리시설(좌) 및 바이오슬러드(우)

## 5) 토양화: 복토재, 토지개량제

### (1) 토양화 재활용 특성

- 하수슬러지 소각 후 발생하는 소각재를 고화 처리하여 매립장의 복토 보조재로 사용 가능하며, 지렁이 및 분변토<sup>11)</sup>, 절개지 녹화 및 기존 산림복구 현장의 토지개량제<sup>12)</sup> 등으로 활용 가능
- 적용성
  - 유해한 중금속 함유 여부 등에 따라 환경오염문제 야기 가능
  - 발생하는 폐기물의 부피가 커지기 때문에 국내의 실정과 같이 매립지가 부족한 상황에서는 적용성이 떨어짐
  - 품질 및 수요 규모의 변동성이 큼
  - 도시부근 녹지대, 공원, 도로 및 건설현장 등 지속적으로 사용 가능한 시장 확보 필요
  - 고화제, 부자재 등 비교적 많은 비용 소요
- 여건 및 전망
  - 부자재 등 원료의 가격 상승에 따라 최근 처리비용 30% 이상 증가
  - 품질 및 수요의 변동성이 커서 장래 수요 규모를 예상하기 어려워 대규

11) 자연 부숙 후 직접 지렁이 먹이로 공급하여 슬러지를 분해시켜 감량화를 유도하고 동시에 지렁이 및 분변토를 생산

12) 도로개설 및 택지개발 등 각종 토목공사로 발생하는 절개지 녹화와 기존 산림 복구 현장에 잔디사공으로 자연녹화가 불가능한 지역에 적용

모 설비투자 확대와 시장확보가 어려운 실정

○ 전처리 특성

- 토양화 처리의 장점

- 처리부산물을 매립장 복토재로 이용 가능
- 국내외 기술수준 양호
- 환경영향 적음
- 건설비 보통
- 고화재 특성에 따라 악취저감이 가능하나 악취발생률은 비교적 높음

- 토양화 처리의 단점

- 처리부산물 재이용 불가시 추가 처분비 소요
- 고화재 등 부자재 투입으로 감량효과 적음
- 안정적 고화를 위해 약품, 부자재 비용이 소모

## (2) 토양화 기술개발 및 연구 사례

### ① 지렁이분변토 토지개량제<sup>13)</sup>

- 지렁이사육을 위해 지렁이의 먹이가 되는 음식물쓰레기 침출수슬러지 또는 하수처리장의 슬러지, 제지슬러지 등을 처리(해당 슬러지는 지역입찰을 통해 공급)
- 공정의 특징으로는 쓰레기 찌꺼기를 지렁이가 먹으면 악취가 사라지고 토양이 비옥해지며, 지렁이가 배설한 흙(지렁이분변토)은 질 좋은 퇴비로 활용



[그림 3-10] 하수슬러지 활용 지렁이사육(좌) 및 지렁이분변토(우)

<sup>13)</sup> 자료: 오마이뉴스, 2020.10.26., “25년째 지렁이 키우는 남자, 이보다 더 친환경적일 수 없다”

## ② 고성 하수슬러지 부숙화 시설<sup>14)</sup>

- 하수슬러지 찌꺼기를 100% 재활용하기 위해 전국 최초로 하수슬러지 부숙화(퇴비화) 시설을 설치·운영하여 공원 조경수, 도로변 가로수 등에 재활용



[그림 3-11] 고성 하수슬러지 부숙화 시설

- 입형 다단 원통형 장치(3단으로 이루어진 발효단이 입형)로 디자인되어 소요부지를 최소화할 수 있으며, 3~4주간 소요되는 야적식에 비하여 1~2주 내에 안정화 가능
- 3단계의 분해과정 조절이 가능하여 일정한 품질의 퇴비생산이 가능하고, 병원균 및 잡초 종자 사멸, 밀폐형 발효조로 악취 제어 용이함

## 6) 연료화: 고품연료 제품(연료탄, 펠릿)

### (1) 고품연료 제품 재활용 특성

- 건조처리 후 고정탄소 기준을 만족하기 위해 고정탄소 함량이 높은 재료(연료첨가제)와 혼합하여 생산하는 연료이며, 연료탄은 우드펠릿과 품질 및 특성이 유사한 바이오매스(바이오에너지의 에너지원) 연료
- 적용성
  - 건조 과정에서 에너지 비용 부담 큼

<sup>14)</sup> 자료: 2030하수도정비 기본계획(서울시, 2019)

- 수익성 확보 시 경제성 우수
- 기존 무연탄, 석유, 가스 등 화석연료 대체로 인한 환경오염 저감 및 에너지 절약
- 분말형태의 건조재를 고체형태로 성형한 것으로 악취 저감, 보관 용이
- 지속적이고 안정적 공급 가능
- 여건 및 전망
  - 수입산 우드펠릿 대체에 따른 경제적 효과
  - 국내 발생 하수슬러지 활용으로 펠릿 생산에 국제 원료 수급 불안정에 따른 영향 없음
  - 유연탄보다 제품의 단가가 높아 대체연료로의 활용은 현재 낮은 실정
  - 국내 하수슬러지 연료탄 시장 확대 추세
  - 탄소중립 정책에 따른 '석탄발전 상한제'의 시행 등으로 슬러지 고형연료의 사용량을 줄이고 있어 새로운 수요처 확보가 필수
- 전처리 특성
  - 연료화 처리의 장점
    - 감량효과 양호
    - 처리주기 단기간
    - 판매 시 수익성 확보 가능
    - 비교적 환경영향 적음
  - 연료화 처리의 단점
    - 연료제품 특성이 안정적이지 못함
    - 현재 고형연료 제품 산업 활성화 다소 미흡
  - 건조 처리의 장점
    - 감량효과 양호
    - 처리주기 단기간
    - 기술적 신뢰성, 안정성 우수
    - 처리공정이 단순, 비교적 운영관리 용이
    - 국내외 기술수준 우수

- 건조 처리의 단점

- 수요처 반입기준에 부적합 시 추가 처분비 소요
- 건조슬러지의 악취발생으로 민원 발생 야기
- 건조를 위한 연료 소요량이 많음
- 건조슬러지 흡수성으로 장기보관에 어려움

## (2) 고품연료 제품 기술개발 사례

### ① 경주시 슬러지 자원화 시설(2020)<sup>15)</sup>

- 경주시 관내 공공하수처리장에서 발생하는 하수찌꺼기(슬러지)를 건조시켜 고품연료로 만드는 하수슬러지 자원화시설 운영
- 유기성슬러지 건조화시설로 1년 300일 가동에 1일 100톤(허가 400톤/일)을 처리할 수 있는 용량의 하수슬러지 자원화시설 설치
- 주요설비는 슬러지감량화 설비, 성형설비, 선별설비, 냉각설비, 악취제거 설비로 구성
- 부산물(8천700톤/년)을 생산하여 약 2억5천만 원의 수익 예상
- 저온, 제습(공기순환시스템)으로 악취(외부 배출가스) 없음, 건조는 전기를 사용해 연소로 인한 오염물질 발생 없음



[그림 3-12] 경주 슬러지 자원화 시설 기술

15) 자료: 경주타임즈, 2020.3.19., “경주시 슬러지 자원화 사업…자원순환 성공사례” 일석이조 효과

## ② 진에너지 하수슬러지 연료탄(진-바이오펠릿)<sup>16)</sup>

- 호기성 미생물 발효공법을 적용하여 연료를 사용하지 않고 하수슬러지 수분을 제거하는 친환경적인 바이오드라이잉(Biodrying)공법 적용
- 펠릿형 하수슬러지 연료탄은 하수슬러지 친환경적인 처리, 온실가스 감축 효과, 수입산 우드펠릿 대체에 따른 경제적 효과가 뛰어나고 국내 순수 바이오에너지로서 지속적이고 안정적으로 공급 가능함
- 진-바이오펠릿 특징
  - 하수슬러지를 톱밥과 혼합하여 펠릿으로 제조
  - 우수재활용제품(GR)인증 받은 친환경 녹색제품(2019.08.26. 산업통상자원부): 환경부 폐기물관리시스템인 올바로시스템 등록 불필요, 제품의 보관·운송 등에서 폐기물관리법 적용 배제됨
  - 친환경 공법으로 제조한 혁신제품: 친환경 공법 적용 혁신제품 지정(2021, 환경부), 녹색기술인증 취득(2019, 환경부), 2021년 국가연구개발 우수성과 선정(2021, 과학기술정보통신부)
  - 하수슬러지 악취의 근원 물질인 암모니아, 메틸아민, 프로피온산, 뷰틸산 등 98% 이상 제거로 근본적 악취 제거
  - 3단계 분진 제거 공정에 의한 펠릿강도 강화로 제품 이송, 하차 시 비산먼지 방지



[그림 3-13] 하수슬러지 연료탄(펠릿) 개발 시설(좌) 및 연료탄(우)

<sup>16)</sup> 자료: 벅스코, 2020.9.14., "진에너지, 국내 최초 하수슬러지 연료탄 양산 성공", (주)진에너지 홈페이지

### ③ 커피박 활용<sup>17)</sup>

- 국제커피기구(ICO)에 따르면 2020년 10월부터 2021년 9월까지 한국인의 1인당 연간 커피 소비량은 2.91kg으로 세계 8위에 해당
- 커피 소비량이 늘면서 커피를 만들고 남은 커피 찌꺼기(커피박)의 처리 문제가 대두
- 커피박의 발열량은 약 5650kcal/kg으로 나무껍질의 발열량 약 2900 kcal/kg의 2배에 해당되어 목재 펠릿에 비해 발열량이 높아 연료로 사용하기에 효율적임
- 영국에서는 높은 매립세로 커피박 재활용에 적극적이며, 수거된 커피박은 친환경 소재 숯(Coffee logs)과 펠릿, 바이오 디젤 등으로 판매
- 스위스에서도 커피박을 펠릿으로 제조해 에너지로 활용하고 있음

## 7) 연료화: 화력발전소 및 열병합발전소 연료

### (1) 화력발전소 및 열병합발전소 연료 재활용 특성

- 건조처리 후 발열량, 수분 및 회분, 중금속 함량 등 일정기준에 맞게 제조된 하수처리슬러지를 발전소 연료로 사용
- 적용성
  - 하수슬러지 품질관리 필요(소화조 효율개선에 따른 발열량 감소 등)
  - 수익성 확보 시 경제성 우수
  - 재활용 방안 중 하수슬러지 처리, 운영비가 가장 적음
  - 재이용 불가 시 추가 처분비 소요
- 여건 및 전망
  - 화력발전소, 열병합 발전소 총 연료 사용량 5% 이내 제한 규정이 삭제됨에 따라 적용 확대 기대
  - 환경성능개선공사로 건조재 처리 불확실성 증가

<sup>17)</sup> 자료: 조세일보, 2022.12.25., “커피찌꺼기로 불지피는 불명화로... ‘화분’으로 변신한 커피박”

- 전처리 특성
  - 소각과 건조 전처리 필요
  - 소각 및 건조 처리 장담점은 앞서 언급한 내용과 같음

## (2) 화력발전소 및 열병합발전소 연료화 기술개발 사례

### ① EU TO-SYN-FUEL 프로젝트<sup>18)</sup>

- EU가 지원하는 TO-SYN-FUEL 프로젝트(2016-2017)는 여러 종류의 바이오매스 잔류물을 CO<sub>2</sub> 중립 액체 연료로 전환하기 위한 프로젝트로 하수슬러지를 연료와 수소로 전환하는 기술 개발 지원
- 생물학적 잔류물을 지속 가능한 첨단 바이오 연료로 전환하기 위해 TCR(Thermo-Catalytic Reforming)이라는 기술 개발(하수슬러지 변환)
- 연간 21만 리터의 액체 바이오 연료와 최대 3만 kg의 녹색 수소로 연간 최대 2천100톤의 건조 하수 슬러지를 처리하는 기술을 도입
  - 유럽 전역에 설치된 100개 공장 규모로는 연간 최대 3천200만 톤의 유기 폐기물을 지속 가능한 바이오 연료로 전환
  - 3천500만 톤의 온실가스 절감과 매립지에서의 유기폐기물 전환 기여

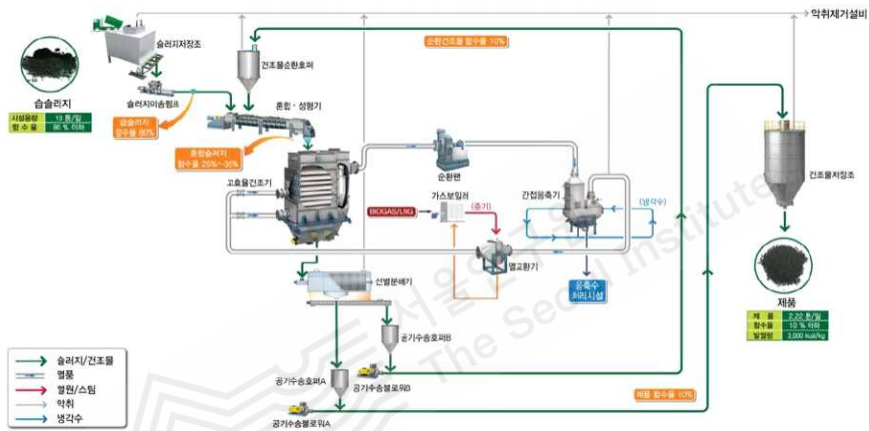


[그림 3-14] TO-SYN-FUEL 프로젝트

<sup>18)</sup> 자료: 워터저널, 2020.4.8., "EU, 하수슬러지를 연료와 수소로 전환하는 기술 개발 지원"

## ② 포스코건설 하수슬러지 연료화 기술<sup>19)</sup>

- 2011년 2월 이후 해양배출이 전면 금지되는 하수슬러지를 함수율 10% 이하로 건조 연료화하여 화력발전소의 보조연료로 활용
- 공정의 특징으로는 함수율 80%의 습슬러지를 기 건조된 건조물과 혼합하여 펠릿화하고, 펠릿화된 혼합슬러지를 함수율 10% 이하, 2~8mm의 슬러지 연료탄으로 생산
- 1차 건조공정에서 발생하는 폐열을 회수하여 2차 건조공정의 건조열원으로 활용함
  - 전체 하수슬러지 처리량의 15% 이상을 추가에너지 투입 없이 건조



[그림 3-15] 유기성 슬러지 고형연료화 시스템

자료: 유기성폐기물 및 바이오매스 활용기술((주)포스코건설, 환경부, 2013)

19) 자료: 이미디어, 2009.4.6., “하수슬러지 연료화 기술-(주)포스코건설 R&D CENTER”

## 04

### 서울시 하수슬러지 처리 다변화 방안



1\_하수슬러지 민간처리 확대를 위한 개선방안

2\_하수슬러지 처리 다변화 방안 및 전략

## 04. 서울시 하수슬러지 처리 다변화 방안

### 1\_하수슬러지 민간처리 확대를 위한 개선방안

- 서울시는 현재 민간처리 확대를 통한 하수슬러지 처리 다변화를 추진 중
- 기존 하수슬러지 민간처리 여건의 검토 및 개선을 통한 민간처리 확대 방안 모색 필요
- 서울시 하수슬러지 민간처리업체 대상 처리 여건상 문제점 및 제도적 개선이 필요한 사항에 대해 의견 수렴
  - 서울시 하수슬러지 민간처리업체별 처리량 확대 가능 여부
  - 민간처리업체의 처리량 확대를 위한 법제도적 개선 및 지원 사항

[표 4-1] 서울시 물재생센터별 하수슬러지 민간위탁 처리 현황, 22년도 9월 기준

합계	중랑	난지	탄천	서남
처리 방식	시멘트보조원료	-	토지계량제	토지계량제
현재 처리량(톤)	4,275	-	896	519
처리 방식	연료화	연료화	연료화	연료화
현재 처리량(톤)	4,868	563	178	540
처리 방식	-	고화시멘트원료	-	고화시멘트원료
현재 처리량(톤)	-	1,011*	-	1,211*

주: \* 총 처리비용으로 환산한 처리량

## 1) 민간처리량 확대 가능 여부

- 시멘트 보조원료 민간처리 업체
  - 타 지자체 하수슬러지 및 산업체의 유기성슬러지도 반입처리 중으로 시설용량에 여유 없음
  - 현재 반입되는 하수슬러지는 시멘트 부원료(점토 대체용)로 재활용 중이며, 반입량의 7~8%가 시멘트 제품화
  - 최근 시멘트 국내수요는 2017년 이후 감소하고 있으며, 주연료인 유연탄 가격의 급등으로 인해 제조원가 부담이 가중되고 있는 상황
- 토지계량제 생산 민간처리 업체
  - 현재 시설용량 여유가 있지만, 제품의 수요 특성상 비수기가 정해져 있어, 수요처 확보 시 추가처리 가능
  - 시급 이상의 지역에서 발생하는 슬러지는 환경부 법에 따라 공원녹지 지역에 우선적으로 사용 가능하도록 되어 있어 서울시에서 서울시 공원 녹화재료로 우선 구매가 이루어지면 수요량에 맞게 시설용량을 증대하여 추가적인 처리 가능
- 고화시멘트 원료 민간처리 업체
  - 현재 시설용량 여유가 있으며, 서울시 하수슬러지를 활용한 재활용 제품에 대해 서울시 발주 공사에서 구매하도록 제도적 지원이 이루어지면 서울시에서 발생하는 모든 하수슬러지 처리 가능

## 2) 민간처리 여건상 주요 문제점

- 수요처 확보 문제
  - 하수슬러지 재활용 제품의 수요처 확보 문제로 인한 처리량 증대 어려움
- 민간처리 위탁방식 문제
  - 현재, 나라장터 경쟁입찰을 통해 1년 단위 입찰/계약
  - 차년도 수요에 대비하기 위해서는 안정적인 지속적인 물량확보 필요하지만, 1년 단위 입찰/계약으로 차년도 물량확보 및 공급여부가 불확실

- 다른 공급업체와도 복수계약 체결을 통해 물량확보가 이루어지면서 처리 능력 초과에 따른 처리지연 발생
- 물량확보가 불확실하기 때문에 제품의 안정적 공급이 어려워 처리증대를 위한 설비투자가 어려운 실정
- 하수슬러지 물성 및 발생량의 불균일성 문제
  - 배출업체(물재생센터)의 일시적인 공정 변동, 발생처, 계절에 따라 하수슬러지 물성 및 배출량 변동성이 큼
  - 물성 차이가 발생 시, 기존 재활용 처리설비의 처리 효율이 저하됨에 따라 처리량 감소
  - 물성의 변동성을 고려한 제품의 기준 완화 → ‘폐기물 싹쓸이 현상’ → 환경규제 형평성 문제 발생
  - 계절적 발생량 변동에 의한 수급 불균형 문제를 해결할 수 있는 방안 마련 필요

### 3) 민간처리 확대를 위한 제도적 개선 방안

- 서울시 하수슬러지 재활용 제품 이용 활성화 지원 확대
  - 서울시 하수슬러지를 활용한 제품을 서울시에서 우선 사용하도록 제도적 지원이 이루어지면 수요량에 맞게 시설용량을 증대하여 추가적인 처리 가능
  - 서울시 하수슬러지 재활용 제품 이용 활성화 지원 방안
    - 서울시 사전환경영향평가 재활용 제품 일정 비율 의무 사용 조례 운영
    - 서울시 사전환경영향평가에서 상기 제품을 재활용 제품의 범위로 설정하는 방안
    - 2차 제품 활용을 위한 정책 지원: 2차 제품의 활용을 위한 조례제정 및 홍보
    - 재활용 환경성평가 제도 도입
- 하수슬러지 위탁처리 다년도 장기 계약 확대
  - 하수슬러지 위탁 처리 다년도 장기 계약확대 → 안정적인 물량확보 → 설비투자로 연계 → 처리량 증대 가능

- 서울시 하수슬러지 발생량 및 재활용 제품 유통 정보 공유 시스템 구축
  - 발생처별 하수슬러지 물성, 발생량, 보관량 정보를 제공하고, 하수슬러지 수급이 필요한 수요처(민간처리업체) 등은 시스템을 이용하여 하수슬러지 정보를 조회하고 필요시 원하는 물량을 확보할 수 있도록 연계 및 공급 체결 지원
  - 서울시 하수슬러지 발생처(물재생센터)의 하수슬러지 발생량을 체계적, 종합적으로 관리하고, 수요자(민간처리업체) 대상 정보공개유통을 통해 민간 하수슬러지 처리 및 재활용 활성화 → 처리량 증대 기대
  - 하수슬러지 민간처리 시 주요 문제점인 수요처 문제, 위탁계약 방식 문제, 하수슬러지 발생량 관리 문제 등을 종합적으로 개선할 수 있는 대안
  - 하수슬러지 발생량 및 재활용 제품 유통 정보 공유시스템 기대효과
    - 하수슬러지 발생량 및 물성, 재활용 제품 생산 및 유통 정보 공유
    - 하수슬러지 처리비용 절감, 하수슬러지 재활용품 거래 활성화
    - 하수슬러지 처리량 증대, 재활용 시장 육성 및 경쟁력 제고
    - 서울시 자원순환형 도시 기반 구축
- 사례-1: 국토교통부 토석정보공유시스템<sup>20)</sup>
  - 국토교통부는 토석정보공유시스템을 구축하여 성토와 사토 발생량을 체계적, 종합적으로 관리하고 수요자 대상의 정보공개유통을 통해 토석자원의 재활용 체계 확립
  - 토석정보공유시스템 개요
    - 신도시 및 공동주택건설 등의 현장에서 흙이 남거나 부족한 경우, 인근 사업현장의 토석현황을 알 수 없어 원거리의 현장에서 토사를 받아오거나 제공하는 등 업무의 비효율이 발생하고 사업일정관리에 어려움 발생
    - 공공 공사현장에서 발생하는 불용토사 등 토석자원 정보를 등록 관리하여 토석이 필요한 현장과 불필요한 현장을 연계함으로써 토석의

<sup>20)</sup> 자료: 국토교통부 보도자료, 2019.4.15., 건설공사 현장에서 버리는 흙 재활용 의무사용 확대

구매 폐기 비용 등 관련 예산을 절감토록하기 위해 2004년부터 구축되어 운영 중

- 2018년 기준 230억원의 사회경제적 편익 발생 평가(편익은 토석 채취비용, 운반비, 환경오염 등 사회경제적 비용 추정)



[그림 4-1] 토석정보공유시스템 개요도

○ 사례-2: 환경부 자원순환 종합 정보시스템<sup>21)</sup>

- 환경부는 폐기물·순환자원·재활용가능자원·재활용제품 등 유통 정보를 공유하고, 유통지원을 통해 관련 사업자를 지원하며, 전자수의·전자입찰·순환장터를 통해 수요와 공급 정보를 제공하는 폐자원 등 자원순환 종합 정보시스템을 운영
  - 폐자원 최적 처리를 위한 현장 유통지원 서비스 운영
  - 수요자 맞춤형 자원순환 정보 제공(재활용 방법·가격, 정책기술동향 등)
  - 전자입찰 및 전자수의 서비스 등 폐기물 및 순환자원의 수요와 공급 정보 제공
  - 순환자원정보센터 활성화 캠페인을 통한 자원순환 문화 확산

21) 자료: 순환자원정보센터 홈페이지 <https://www.re.or.kr/common/viewUserInfoPage.do>

- 서비스 대상: 폐기물 배출·운반·처리자, 지자체 및 관련 공공기관, 재활용센터, 일반 국민 등 누구나 이용가능
- 거래품목: 폐기물(순환자원 등), 중간가공품, 재활용제품 및 기타



[그림 4-2] 환경부 자원순환 종합 정보시스템 화면

#### - 기대효과

- 폐기물 재활용률 증가에 따른 경제적 효과 약 3조 7,982억원, 약 10,443명의 일자리 창출 효과(환경부, '12.7.)
- 폐기물 거래량 증가, 처리비용 절감 등을 통한 수익구조개선으로 재활용 시장 육성 및 관련 업계의 경쟁력 제고
- 폐기물, 폐자원의 공급자·수요자 간 자원순환 네트워크 형성
- 유가 및 원자재 가격 상승에 효과적으로 대응하여 원유 대체, 원자재 난 해소 등 자원순환형 사회정착 기반 구축

## 2\_하수슬러지 처리 다변화 방안 및 전략

### 1) 서울시 하수슬러지 처리 다변화 방안

- 서울시의 하수슬러지 처리 현황 및 여건변화, 하수슬러지 재활용 방안별 특성 및 적용 여건 검토 결과를 고려한 다변화 방안 검토
- 서울시 하수슬러지 처리 다변화 전략 수립 시 중요하게 고려할 사항과 우선적으로 고려가 필요한 재활용 방안 분석
  - 서울시 하수슬러지 처리 다변화 추진 시 주요 고려사항 및 중요도
  - 시나리오별 서울시 하수슬러지 재활용 방안 우선순위 및 추진방향
- 자원순환, 환경정책 분야 관련 전문가 인터뷰를 통한 자문의견 수렴
  - 국립환경과학원, 수도권매립지관리공사, 건설기술연구원, 국토연구원, 대학교, 부산·인천·서울연구원 등 자원순환, 환경정책 분야 관련 전문가 총 20인의 자문의견을 순위별로 집계

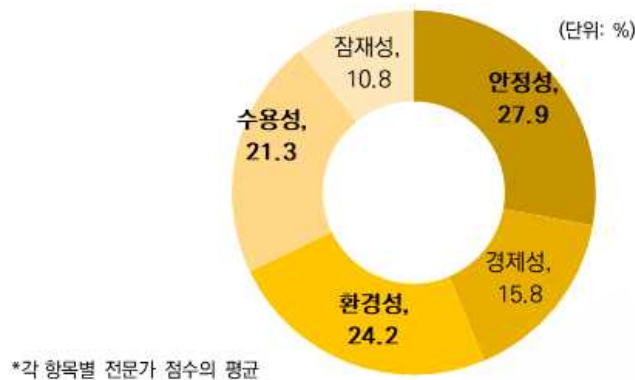
### (1) 하수슬러지 처리 다변화 추진 시 주요 고려사항 및 중요도

- 하수슬러지 처리 다변화 추진에 있어서 중요하게 고려해야 할 사항에 대해서 다음과 같이 정의함

[표 4-2] 서울시 하수슬러지 처리 다변화 전략 수립 시 주요 고려사항

고려사항	내용
안정성 측면	관련 처리 기술수준이 우수하고 시설이 확보되어 처리 물량의 수용이 원활하다.
경제성 측면	처리비용(처리단가, 초기투자 및 유지비용 등)이 적게 들거나 수익발생을 기대할 수 있다.
환경성 측면	처리 과정에서 유해물질이나 온실가스 발생이 적고 자원의 순환성을 높이는 등 환경질의 개선에 기여한다.
수용성 측면	처리시설 주변지역 주민이나 서울시민의 거부감 혹은 반대가 적다.
잠재성 측면	앞으로(2030년 이후) 사회와 환경 여건의 변화에 따라 확대 가능성이 크고, 기술수준도 크게 발전될 것이다.

- 서울시 하수슬러지 처리 여건을 고려할 때 서울시는 하수슬러지 처리 안전성과 환경성을 우선적으로 고려한 다변화 방안 추진 필요
  - 안정성 측면(27.9%), 환경성 측면(24.2%), 수용성 측면(21.3%), 경제성 측면(15.8%), 잠재성 측면(10.8%) 순임



[그림 4-3] 하수슬러지 처리 다변화 추진 시 주요 고려사항 및 중요도

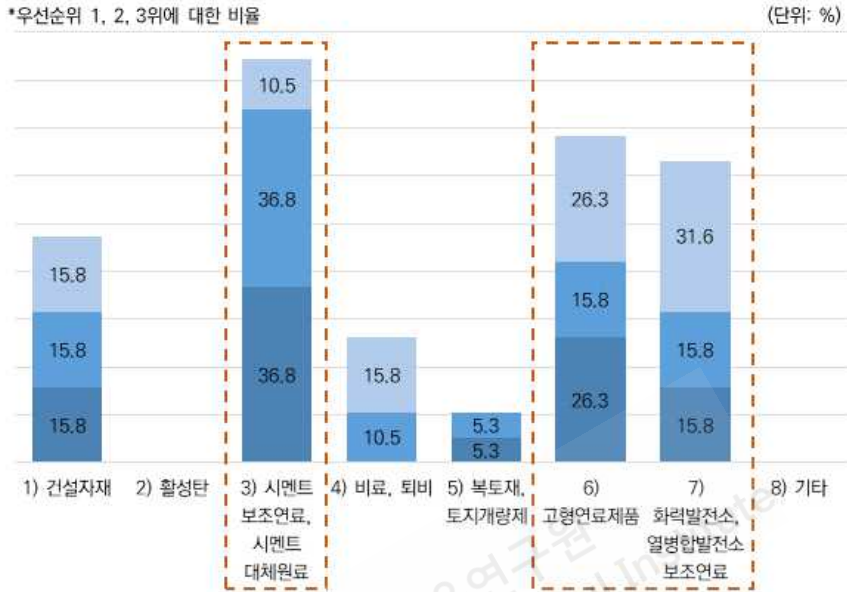
- 처리의 안정성은 결국 환경성과 수용성 측면과 연결되는 시작점으로 하수슬러지는 하수처리에 따라 필연적으로 발생할 수 밖에 없는 부산물로 우선적으로 안정적인 처리가 되어야 환경성, 수용성을 확보할 수 있음
- 탄소배출저감 등 온실가스 감축을 고려해 환경성을 고려한 전략 수립 필수<sup>22)</sup>
- 수용성 측면에서는 지속가능한 하수슬러지 처리 환경 조성을 위해 수용성 고려 필요
  - 수용성은 자원순환 정책에서의 주요 통제요인
  - 지속적인 슬러지의 반입 및 운전이 가능한 환경 확보 필수

## (2) 서울시 하수슬러지 처리 여건을 고려한 다변화 추진 방안

- 시멘트 보조연료, 고형연료 제품 등 연료화 제품 재활용 방안을 우선적으로 고려한 다변화 방안 추진이 필요

<sup>22)</sup> 2050 탄소중립 시나리오 최종(안)에 따르면 폐기물 부문은 '18년 기준 17.1백만톤 CO<sub>2</sub>eq를 2050년 4.4백만톤 CO<sub>2</sub>eq로 저감하는 것이 목표

- 배출 시설에서 나오는 형태 그대로 처리 시설로 보내는 방법, 대량 처리, 소각 중심의 추진 방안을 주요 판단 기준으로 검토



[그림 4-4] 하수슬러지 처리 다변화 추진 시 처리방법별 우선순위

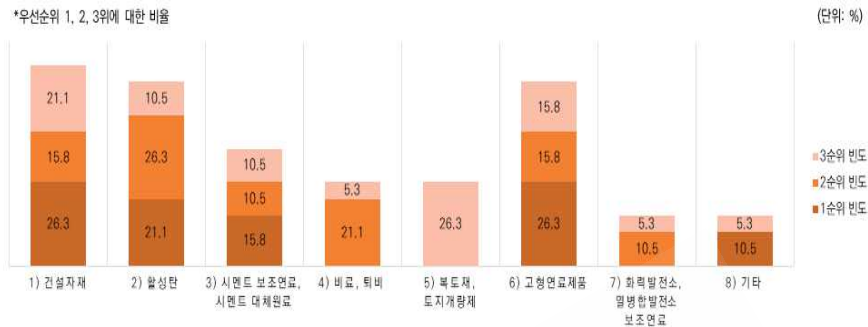
- 단, 표면이 코팅되어 있는 펠릿으로 생산하여 사용한다면 대기환경보전법에 따라 사용이 제한될 수 있고, 화력 또는 열병합 발전소에 대량으로 투입하기 위해서는 법에서 허용하는 범위 제한이 있는 한계점이 있음
- 중장기적으로, 에너지 생산시설과 하수슬러지 처리 시설이 연동되는 융복합 처리 방향 추진 필요

### (3) 서울시 하수슬러지 처리 다변화를 위한 연구개발 투자 우선 방안

- 건설자재, 고형연료 제품, 활성탄 재활용 방안에 대한 우선적인 연구개발 투자 필요
  - 안정적 처리, 자원순환 측면에서 가치가 높게 나타나고 있으나, 제품의 안정성 확보에 대한 연구 미흡
- 재사용, 재활용, 폐자원 에너지화 측면에서 고형원료 제품으로의 재활용

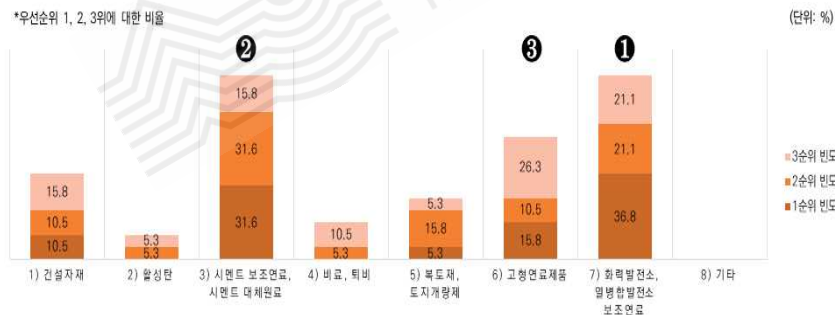
방안이 가장 유리

- 건조공정에 소요되는 에너지를 저감하는 등 건조처리, 열처리 기술 등 연료화 기술 확보 필요
- 고형연료로 제품화할 경우 감량효과가 우수하고 환경영향도 낮으며 수익성 확보도 가능



[그림 4-5] 연구개발 투자 시 처리방법별 우선순위

#### (4) 미처리 하수슬러지의 시급한 처리를 우선적으로 고려한 다변화 추진 방안



[그림 4-6] 처리의 시급성 고려 시 처리방법별 우선순위

- 발전소 보조연료, 시멘트 대체원료, 고형연료제품 방법 등 연료화 재활용 방안을 우선적으로 고려한 다변화 방안 추진 필요
- 기존 시설 활용 가능, 처리주기 짧음, 추가적인 가공 공정 없는 방안 등 처리 신속성을 주요 판단 기준으로 검토

- 단기 대응방안으로 인근 화력발전소, 열병합발전소 반입이 가장 현실적인 방법이며, 시멘트 제조 공장이 있는 지역과 연계처리가 가능하다면, 현실적으로 시멘트 보조연료화 재활용하는 것이 가장 효과적인 전략

## (5) 서울시 하수슬러지 처리 다변화를 위한 단계적인 시설투자 우선 방안

### ① 주민수용성을 고려하지 않은 경우

- 환경영향이 낮으면서 처리효율이 우수한 방안에 대한 시설투자 계획 추진 필요
  - 고형연료 제품: 재사용, 재활용, 폐자원 에너지화 측면에서 감량효과 우수, 환경영향도 낮으며 수익성 확보 가능
  - 건설자재: 폐기물 감량 측면에서 우수, 에너지회수 사업 가능



[그림 4-7] 단계적 시설투자 계획 고려 시(주민수용성 미고려) 처리방법별 우선순위

### ② 주민수용성을 고려할 경우

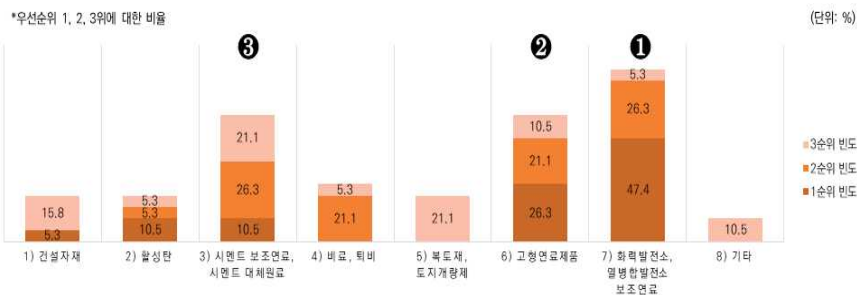
- 시멘트화 처리 방법은 원거리에서 처리 가능하고 기존 시멘트 제조 공장을 활용할 경우 주민수용성이 비교적 높기 때문에 고형연료 제품보다는 시멘트화 처리 방안을 우선적으로 고려
  - 고형연료 제품으로의 재활용을 위한 시설투자 우선 검토 필요



[그림 4-8] 단계적 시설투자 계획 고려 시(주민수용성 고려) 처리방법별 우선순위

#### (6) 서울시 재정 등 경제성을 우선적으로 고려한 다변화 추진 방안

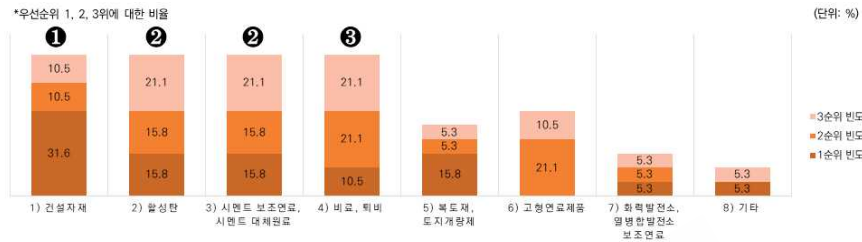
- 안정적 처리가 가능하면서 수익성 확보 가치가 높은 방안에 대한 우선적 고려 필요
  - 발전소 보조연료: 비교적 대량의 슬러지를 안정적으로 처리, 폐기물관리법 개정에 따른 혼소비율 상향으로 인한 공공화력발전소, 민간 열병합발전소 처리물량 확대 및 판매단가 조정을 통해 수익성 확보를 기대할 수 있음
  - 고형연료 제품: 감량효과 우수, 환경영향 낮으며 수익성 확보 가능, 발전소에서 건조재 사용에 대한 단점을 보완한 제품으로 발전소 판매 가능, 국내의 여건상 발전소 연료재 수급 상황에 따라 수익성 확보를 기대할 수 있음



[그림 4-9] 경제성 고려 시 처리방법별 우선순위

## (7) 환경개선에 대한 기여도, 자원순환가치를 우선적으로 고려한 다변화 방안

- 하수슬러지의 단순 처리가 아닌 재활용 제품으로 재탄생, 처리부산물을 열원으로 회수 가능하여 환경에 대한 기여는 물론 자원 재활용을 통한 온실가스 감축에도 긍정적인 영향을 줄 수 있는 방안이 우선 고려되어야 함
- 건설자재화 재활용 방안을 우선적으로 고려한 다변화 전략 추진 필요



[그림 4-10] 환경개선, 자원순환 가치 고려 시 처리방법별 우선순위

## 2) 잠재력이 큰 기존 하수슬러지 재활용 및 자원화 방안에 대한 재검토 필요: 폐석산(폐광산) 복구지 채움재 재활용

- 현재의 기술수준과 여건변화를 고려해 활용잠재력이 큰 기존 재활용 및 자원화 방안에 대한 재검토 필요
- 그중, 하수슬러지 고화처리를 통한 폐석산 복구지 채움재 활용은 환경적 피해에 대한 적절한 관리방안이 마련된다면 하수슬러지의 안정적, 환경적 처리 측면에서 잠재력이 매우 큰 방법임
  - 폐석산 지역은 자연경관 훼손, 산업의 부정적 이미지 등으로 인해 개발 후 원상복구가 원칙이며, 복구 시 폐기물관리법에 의거하여 토사와 재활용이 가능한 폐기물을 50:50으로 혼합하여 복구함
  - 최근 매립에 필요한 토사 및 골재의 부족 및 복구비 등의 증가로 인해 채석의 편익이 감소함에 따라 폐석산 복구 시 하수처리슬러지를 고화 처리한 복토재, 인공토양 등을 사용하는 방안이 대두되고 있음
- 하수슬러지를 폐광산 복구에 활용하기 위한 방법으로는 ①폐광산 지하공동 충전을 위한 채움재의 혼합재, ②산성배수 저감수단에서 활용성을 기대할 수 있음

- 하수슬러지를 폐광산 채움재로 활용한 국내의 선행사례는 매우 희소하며, 국내에서 익산시 폐석산 복구용으로 하수슬러지를 활용한 사례(KEI, 2012)가 유일함에도 적용지역에서 악취 및 침출수 등과 같은 환경적 문제 및 행정적 문제가 발생함에 따라 현재 적용되지 않음
- 사례-1: 하수슬러지 고화처리물 폐석산 복구 시범사업(국내)
  - 국내의 한 폐기물재활용업체는 「폐석산 복구용 고화물」에 관한 품질표준(GR M9020-2012)을 획득하였으며, 이는 하수슬러지 등 유기성 오수를 고화 처리하여 전북 익산시 낭사면의 폐석산 복구재로 활용
  - 복구 시범사업 승인 3일 만에 악취발생, 주민민원 및 법적문제로 인해 공사중지 명령
  - 이후(2015년 경), 완주군 비봉면 폐석산 복구에 사용되었으나 현재 해당지역은 악취 및 침출수로 인한 수질오염 문제를 겪고 있으며, 해당업체의 부도로 관련 책임소재가 불분명한 상황임(한국일보, 2021)



[그림 4-11] 하수슬러지 고화물 이용 폐석산 복구 전경(좌), 최근 침출수 발생 현장(우)

자료: 로컬세계, 2016.3.31., “완주군, 악취나는 고화토로 산 만드는 중”, 한국일보, 2021.4.21., “유해 폐기물 수십만톤 옥여넣은 폐석산, 썩은물 줄줄 ‘누가 옮겨주겠나’”.

- 사례-2: 일본 도카이지방 갈탄 광산(일본)
  - 일본 도카이지방의 갈탄(lignite) 광산은 1960년까지 채광활동이 매우 활발한 지역이었으나, 2000년대에 들어 폐광된 후 인근 지역이 도시화됨에 따라 지하공동의 붕괴 및 지표 침하 문제가 크게 이슈화
  - 해당지역의 폐광산 지하공동으로 인해 고속도로 인터체인지 하부에 대규모 침하피해 발생 가능성이 있는 지역으로 도시 전체에 광범위하게

분포되어 있는 갈탄 폐광의 지하공동을 채움재를 활용해 충전하는 공법을 개발함

- 지하공동 충전을 위해 필요한 대량의 채움재를 원활히 수급하기 위해 인근 산업단지에서 발생하는 산업부산물 활용 충전공법을 개발
- 해당 충전공법에서는 채움재 충전이 필요한 지하공동 구간에 채움재 제조시설과 채움재 충전시설을 구축하고 슬러리 펌프와 파이프라인을 이용하여 지하공동을 충전
- 공법의 절차는 ①지하공동 규모 조사, ②충진시설 구축, ③충진 및 환경모니터링 순으로 진행하며, 채움재 구성물질의 각 용량 및 압축강도 실험결과와는 아래 표와 같이 제시함

[표 4-3] 산업 부산물 활용 충전재 화학적 분석

		Unit	Environmental standard for soil	Filling material using coal fly ash	Filling material using sewage incineration ash	Filling material using molten slag
Mixture composition	Recycling material	kg/m <sup>3</sup>		112.5	114	400
	Control material	kg/m <sup>3</sup>		337.5	456	400
	Cement	kg/m <sup>3</sup>		60	60	60
Results of dissolving experiments	Cd	mg/L	0.01	< 0.001	< 0.001	< 0.001
	CN	mg/L	ND	ND	ND	ND
	Pb	mg/L	0.01	< 0.005	< 0.001	< 0.005
	Cr/V	mg/L	0.05	< 0.01	< 0.005	< 0.04
	As	mg/L	0.01	< 0.005	< 0.001	< 0.005
	Hg	mg/L	0.0005	< 0.0005	< 0.00005	< 0.0005
	Cu	mg/kg	125	< 0.5	< 1	< 0.5
	B	mg/L	1	0.4	0.06	0.08
	Se	mg/L	0.01	< 0.002	< 0.003	< 0.002
	F	mg/L	0.8	0.6	< 0.01	0.4
Suitable				○	○	○

자료: Sakamoto et al(2005)

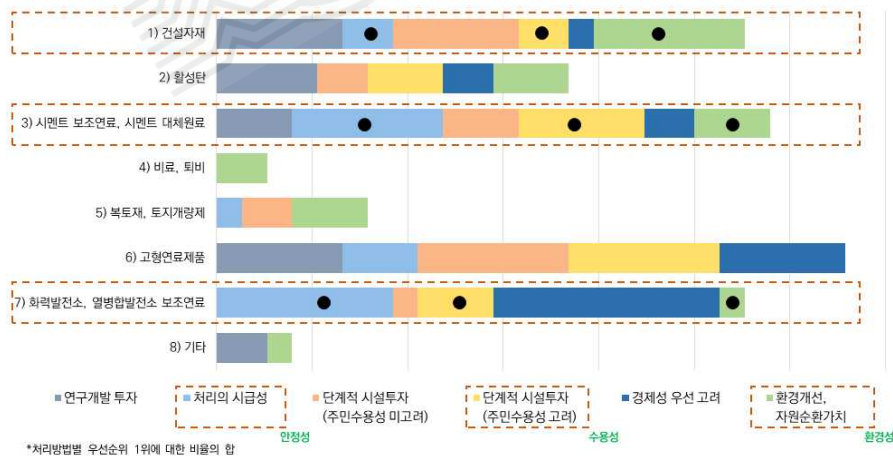
- 한국환경연구원에서는 2012년 하·폐수오니 등을 이용한 고화처리물의 석산복구용(채움재)으로의 재활용 가능성을 검토한 바 있으며, 해당 검토에서 하수처리오니 고화물의 용도 및 범위를 제시함

[표 4-4] 유기성 오니를 활용한 폐석산 충전재의 용도 및 범위 제한

구 분	용도 및 범위의 제한
적용 가능한 석산	폐석산의 하부(지하)로 석재의 채취가 완료되어 옆면이 암석으로 이뤄진 곳으로서 채석종료지 하부 표면에 지하수의 흐름이 없고, 우수(빗물)의 넘침이 없어 침출수에 대한 위험이 없는 지형으로 한정(다만, 암석에 크랙이 있을 경우 차수재를 이용하여 침출의 우려를 차단하여야 함)
사용 가능한 유기성 오니	폐수처리오니를 사용할 경우 그 발생원이 불분명할 수 있으며, 기존 고화처리기술은 하수처리오니에 대한 기술적 경험을 바탕으로 하므로 사용되는 유기성 오니는 하수처리오니로 한정할 필요가 있음
원료 및 제품의 검사	하수처리오니, 혼합재(연소재, 소각재) 및 고화제는 반입 시 주기적으로 시료를 채취하여 검사하여야 함
채움재 장입 방법	고화토를 폐석산에 장입 시 넓은 면적을 고르게 채워가는 방식보단 계획된 구간별로 순차적으로 진행하는 것이 바람직함 폐석산 복구 시 우수에 대한 대책으로 폐석산 주위로 우수배재시설을 설치하고, 폐석산 내부의 우수는 복구 완료 시까지 수처리 시설을 이용하여 채석 종료 시 외부로 배출처리한다.
고화제의 사용조건	고화제는 폐기물 공정시험 및 토양오염공정시험 조건을 만족하여야 함

### 3) 서울시 하수슬러지 처리 다변화 전략

#### (1) 서울시 하수슬러지 처리 다변화 추진 전략

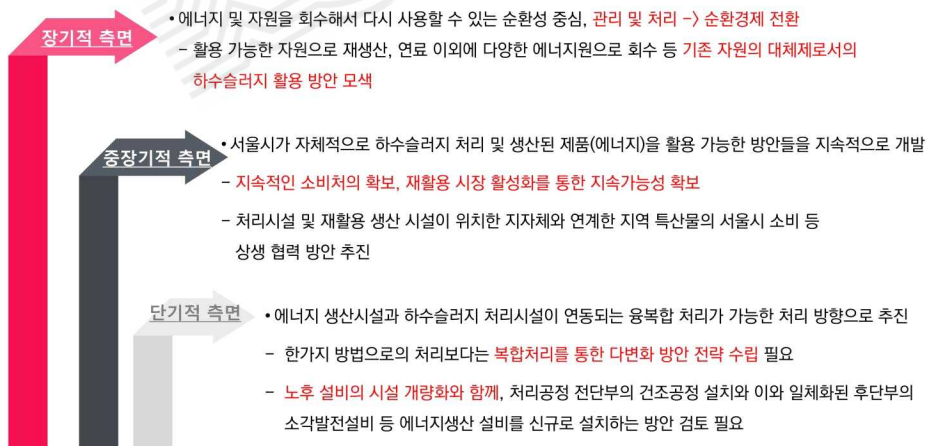


[그림 4-12] 서울시 하수슬러지 처리 다변화 추진을 위한 처리방법별 우선순위

- 서울시 하수슬러지 처리 여건, 하수슬러지 처리 다변화 추진 시 주요 고려사항, 다양한 상황별 하수슬러지 다변화 방안에 대한 검토결과를 종합적으로 분석한 결과, 서울시 하수슬러지 처리 다변화 추진 시 시멘트화, 발전소 연료화, 건설자재화 재활용 방안을 우선적으로 추진하는 것이 적합한 것으로 분석
- 하수슬러지 처리의 안전성을 우선적으로 고려하고, 현재 서울시 하수슬러지 처리 여건의 변화에 맞춰 시멘트화, 발전소 연료화, 건설자재화 재활용 방안을 중심으로 한 다변화 전략 추진 필요
- 아울러, 현재의 하수슬러지 처리 기술의 발전 수준과 환경에 대한 인식 변화 등 여건 변화를 고려하여, 하수슬러지 고화처리를 통한 폐석산(혹은 폐광산) 복구지 채움재 활용 등과 같은 기존에는 적용이 어려웠던 하수슬러지 재활용 및 자원화 방안에 대한 적극적인 재검토를 통한 다변화 전략 추진 필요

## (2) 장단기 서울시 하수슬러지 처리 다변화 전략 수립 방향

단기적으로는 **복합처리화**, 중장기적으로는 **지속적인 활용 및 소비처 확대**  
장기적으로는 **순환경제 전환**으로의 다변화 전략 병행 필요



[그림 4-13] 장단기 서울시 하수슬러지 처리 다변화 전략 수립 방향

- 서울시의 하수슬러지 처리 다변화 전략은, 환경정책의 강화와 여건의 변화에 대응해 에너지 회수가 가능한 처리체계로 우선 전환하는 단기적 측면의 전략과, 하수슬러지 재활용 시장의 활성화와 환경성 확보를 통해 순환경제로 전환하는 중장기적 전략을 병행 추진 필요

### ① 단기적 측면: 복합처리화

- 에너지 생산시설과 하수슬러지 처리시설이 연동되는 융복합 처리가 가능한 처리 방향으로 추진
  - 한 가지 방법으로의 처리보다는 복합처리를 통한 다변화 방안 전략 수립 필요
  - 노후 설비의 시설 개량화와 함께, 처리공정 전단부의 건조공정 설치와 이와 일체화된 후단부의 소각발전설비 등 에너지생산 설비를 신규로 설치하는 방안 검토 필요

### ② 중장기적 측면: 하수슬러지 재활용 및 자원화 시장 활성화

- 서울시가 자체적으로 하수슬러지 처리 및 생산된 제품(에너지)을 활용 가능한 방안들을 지속적으로 개발
  - 지속적인 소비처의 확보를 통한 지속가능성 확보
  - 처리시설 및 재활용 생산 시설이 위치한 지자체와 연계한 지역 특산물의 서울시 소비 등 상생 협력 방안 추진

### ③ 장기적 측면: 관리 및 처리 중심에서 순환성 중심으로 변화

- 에너지 및 자원을 회수해서 다시 사용할 수 있는 순환성 중심, 관리 및 처리 → 순환경제 전환
  - 활용 가능한 자원으로 재생산, 연료 이외에 다양한 에너지원으로 회수 등 기존 자원의 대체제로서의 하수슬러지 활용 방안 모색

- 관계부처 합동, 2021, 「2050 탄소중립 시나리오 안」
- 기동원 외, 2020, 「하수슬러지 처리잔재물 재활용 방안」, 서울기술연구원
- 김도겸 외, 2018, 「하수슬러지와 건설폐기물을 주원료로 하는 고품질 청정시멘트 제조기술 개발 기획 연구」, 한국건설기술연구원
- 박광민·이건철, 2016, “지속가능한 사회구현을 위한 일본의 에코시멘트 개발 동향 및 향후 전망”, 「한국건설순환자원학회지」, 제11권, 제1호, pp.8-10.
- 박정민·김민정·김진필·이상보·권오상·이상학, 2008, “하수슬러지 중 중금속 및 PAHs의 함량 분석”, 「한국환경분석학회지」, 제11권, 제4호, pp.275-281.
- 서울시, 2019, 「2030 하수도정비 기본계획」
- 수도권매립지관리공사, 2021, 「하수슬러지 고형연료 생산시설 운영·관리 기술」
- 위드엠텍, 2023, “K-Eco Cement 소개: 하수 슬러지 재활용 측면”, 전문가 세미나 발제자료, 서울연구원
- 이동진 외, 2013, 「폐자원의 효과적인 에너지 회수 및 이용방안 마련연구; 하수슬러지 처리방법별 환경성 및 경제성 분석에 대한 연구」, 국립환경과학원
- 이정임, 2018, 「폐수슬러지의 효율적 처리 방안」, 경기연구원
- 이택룡·정찬교·조영천, 2009, “하수슬러지 이용한 활성탄 개발에 관한 연구”, 「청정기술」, 제15권, 제1호, pp.31-37.
- (주)포스코건설, 2013, 「유기성폐기물 및 바이오매스 활용기술」, 환경부
- 진원기, 2009, 「하수슬러지 처리 및 자원화 정책방안에 관한 연구」, 연세대학교
- 한국산업기술시험원, 2023, “자원순환 탄소중립 실현을 위한 K-Eco Cement 실증센터 구축”, 전문가 세미나 발제자료, 서울연구원
- 한국환경관리공단, 2005, 「하수슬러지 처리 및 자원화 방안」
- 한국환경연구원, 2012, 「하수처리오니 등을 폐석산 복구용 고화물로 재활용하는 방안에 대한 문헌 및 현장조사」

환경부, 2006, 「하수슬러지관리 기본계획」

환경부, 2007, 「런던협약 '96의정서 발효에 따른 하수슬러지관리 종합대책」

환경부, 2015-2020, 「하수도통계」

국토교통부 보도자료, 2019.4.15., “건설공사 현장에서 버리는 흙 재활용 의무사용 확대”

서울시 보도자료, 2022.10.19., “서울시, 소각재·하수슬러지를 친환경 시멘트로…업무협약 체결”

수도권매립지 보도자료, 2022.9.14., “수도권매립지, 폐기물 반입량 작년 대비 37% 감소”

권혁재, 2022.7.15., “SK에코플랜트, 씨엠기술단과 소각재 재활용 건설골재 생산 기술개발 ‘맞손’”, 기계신문

(<http://www.mtnews.net/m/view.php?idx=14012>)

김상희, 2022.12.25., “커피찌꺼기로 불지피는 불명 화로... ‘화분’으로 변신한 커피박”, 조세일보  
(<http://www.joseilbo.com/news/htmls/2022/12/20221225474396.html>)

류진동, 2020.8.5., “이세린 SR그린 연구소장 ‘고향 여주, 세계적 환경친화도시 성장 최선’”, 경기일보  
(<https://www.kyeonggi.com/article/202008051134328>)

벅스코, 2020.9.14., “진에너텍, 국내 최초 하수슬러지 연료탄 양산 성공”

([https://entechkorea.net/wp/%EB%89%B4%EC%8A%A4/%EC%B0%B8%EA%B0%80%EC%97%85%EC%B2%B4-%EC%86%8C%EC%8B%9D/?board\\_name=news\\_ko01&mode=view&search\\_field=fn\\_title&order\\_by=fn\\_pid&order\\_type=desc&board\\_page=1&list\\_type=list&board\\_pid=47](https://entechkorea.net/wp/%EB%89%B4%EC%8A%A4/%EC%B0%B8%EA%B0%80%EC%97%85%EC%B2%B4-%EC%86%8C%EC%8B%9D/?board_name=news_ko01&mode=view&search_field=fn_title&order_by=fn_pid&order_type=desc&board_page=1&list_type=list&board_pid=47))

워터저널, 2009.11.6., “Part3. 하수슬러지 재활용 우수사례”

(<http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=9500>)

워터저널, 2020.4.8., “EU, 하수슬러지를 연료와 수소로 전환하는 기술 개발 지원”

(<http://www.waterjournal.co.kr/news/articleView.html?idxno=49674>)

유범수, 2016.3.31., “완주군, 악취나는 고화토로 산 만드는 중”, 로컬세계

(<https://m.localsegye.co.kr/news/view/1065578231615760>)

이경욱, 2020.3.23., “건자재업계, 기술경쟁력 강화 ‘올인’…건설 혁신 앞장”, 국토일보

(<https://www.ikld.kr/news/articleView.html?idxno=215384>)

이미디어, 2009.4.6., “하수슬러지 연료화 기술-(주)포스코건설 R&D CENTER”

(<http://www.ecomedia.co.kr/news/newsviw.php?ncode=179507141692532>)

이상복, 2020.9.28., “바이오가스는 전기로, 하수슬러지는 퇴비로”, 이투뉴스

(<https://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=226445>)

이정원, 2021.4.21., “유해 폐기물 수십만톤 옥여넣은 폐석산, 썩은물 줄줄 ‘누가 옮겨주겠냐’”, 한국일보  
(<https://m.hankookilbo.com/News/Read/A2021041714030001648>)

하회영, 2020.10.26., “25년째 지령이 키우는 남자, 이보다 더 친환경적일 수 없다”, 오마이뉴스  
([http://www.ohmynews.com/NWS\\_Web/View/at\\_pg.aspx?CNTN\\_CD=A0002687235](http://www.ohmynews.com/NWS_Web/View/at_pg.aspx?CNTN_CD=A0002687235))

홍국기, 2022.7.14., “SK에코플랜트, 폐기물 소각재 재활용 기술개발 착수”, 연합뉴스  
(<https://www.yna.co.kr/view/AKR20220714056400003>)

Sakamoto, A., Yamada, N., Sugiura, K., & Hamada, M., 2005, An integrated cavity filling technique for abandoned underground room and pillar lignite mines and underground quarries, Conference: Post-mining 2005, Nancy(France).

바이오솔리드 홈페이지(<http://www.biosolidplus.com/>)

서울하수도과학관 홈페이지([https://sssmuseum.org/main/?mc\\_code=131210](https://sssmuseum.org/main/?mc_code=131210))

순환자원정보센터 홈페이지(<https://www.re.or.kr/common/viewUserInfoPage.do>)

(주)씨엠디기술단 홈페이지(<https://www.cmdgroup.co.kr/pub/facilities/facilities01.html>)

(주)진에너텍 홈페이지([https://www.jinenertech.co.kr/business/product\\_intro.php](https://www.jinenertech.co.kr/business/product_intro.php))



---

# Abstract

## **A Study on Diversification Strategies for Sewage Sludge Treatment in Seoul**

Sung Eun Kim · Kee-young Yoo · KoUn Kim · Won-Sam Kang

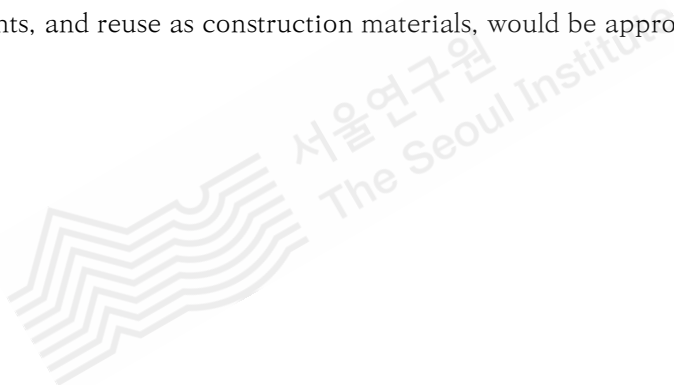
Seoul City operates a total of 4 sewage treatment facilities: Jungnang, Nanji, Tancheon, and Seonam, and produces an average of 1,770 tons of sewage sludge daily. Seoul's sewage sludge treatment methods can be divided into two categories: self-treatment, which involves drying, incineration, and other methods within the sewage treatment facilities, and consignment treatment, which involves outsourcing to external companies. Since 2015, Seoul City has been promoting the 'self-sufficiency of sewage sludge treatment' plan, which aims to treat all the sewage sludge generated in Seoul through self-treatment and recycle it for energy generation. Due to the promotion of self-sufficiency in sewage sludge treatment, the self-treatment rate in Seoul has steadily increased, from about 45% in 2017 to about 62% in 2020. On the other hand, the consignment treatment rate was about 14% in 2020, which is very low compared to the consignment treatment rates of approximately 72% in Busan, 51% in Gyeonggi Province, and 45% in Incheon. Seoul City has been promoting the expansion of private sector treatment (the consignment treatment), and as a result, the consignment treatment rate increased to about 25% in 2022. However, the rate is still lower than the consignment treatment rates of the other cities and regions. Moreover, with the recent implementation of the coal-fired power generation phase-out policy, the amount of sewage sludge

being taken into power plants has been steadily decreasing. Consequently, Seoul City's strategy for self-sufficiency in sewage sludge treatment, which aims to treat all sewage sludge and recycle it for fuel generation, can no longer ensure continuous and stable sewage sludge treatment. Therefore, Seoul City urgently needs to establish a stable sewage sludge treatment plan that can accommodate future environmental conditions and policy changes through diversification of treatment methods (expanding recycling and resource utilisation treatment) and expansion of private sector treatment (the consignment treatment) for self-treated sewage sludge.

To explore ways to expand private sector treatment of Seoul's sewage sludge, a survey on the problems related to processing conditions and institutional improvements, and support measures for expanding private processing was conducted. The results showed that the major problems hindering the expansion of private treatment of Seoul's sewage sludge were demand-side issues, problems with outsourcing contract methods, and issues related to managing the amount of sewage sludge generated. Therefore, to expand the private treatment of sewage sludge, it was suggested that Seoul City needs to support the activation of the use of recycled products of sewage sludge, such as the mandatory use of a certain proportion of Seoul City's sewage sludge recycled products, and institutional improvements such as expanding long-term contracts for sewage sludge outsourcing. In addition, this study proposes a system for sharing information on the amount of sewage sludge generated in Seoul and the distribution of recycled products as an alternative solution to comprehensively address the major problems in private sewage sludge treatment. Through the sharing of information, the system can facilitate the connection and supply contract between the demand side (private treatment companies) and the necessary sewage sludge quantity, thereby increasing the use of recycled products.

This study examined various sewage sludge recycling options, including productisation (construction materials, activated carbon, etc.), cementation (cement substitute materials, cement auxiliary fuels), composting (fertilizers, compost), soil treatment (crushed soil, soil improvement agents, artificial soil),

and fuel conversion (solid fuel products, fuel for thermal power and combined heat and power plants). The characteristics and application conditions of each sewage sludge recycling option were evaluated based on these five categories. Based on the review of the applicability of various sewage sludge recycling options, the current conditions of sewage sludge treatment in Seoul, along with consideration of various changing conditions, this study analysed alternative methods for diversifying sewage sludge treatment in Seoul. Considering the current situation and conditions of sewage sludge treatment in Seoul, it is necessary to prioritise the safety and environmental aspects of treatment that take into account the treatment technology and facility level, the generation of harmful substances during the treatment process, and the circularity of resources over the economic, accommodative, and latent aspects of sewage sludge treatment. It has been found that promoting diversified sewage sludge treatment approaches, such as cement solidification, utilisation as fuel in power plants, and reuse as construction materials, would be appropriate.



## **01 Introduction**

- 1\_Background and Purpose
- 2\_Main Contents and Research Methods

## **02 Current Status of Seoul's Sewage Sludge Treatment**

- 1\_Current Status of Sewage Sludge Generation and Treatment
- 2\_Changes in Conditions and Management of Sewage Sludge Treatment

## **03 Review of Sewage Sludge Recycling and Resource Utilisation Plans**

- 1\_Regulations for Sewage Sludge Recycling and Resource Utilisation
- 2\_Characteristics and Applicability of Sewage Sludge Recycling and Resource Utilisation Plans

## **04 Diversification Strategies for Seoul's Sewage Sludge Treatment**

- 1\_Improvement Measures for Expanding Private Treatment of Seoul's Sewage Sludge
- 2\_Diversification Strategies and Plans for Seoul's Sewage Sludge Treatment

---

서울시 하수슬러지 처리 다변화 방안

서울연 2022-PR-36

---

**발행인** 박형수

**발행일** 2023년 11월 10일

**발행처** 서울연구원

**IISBN** 979-11-5700-788-2 93530 6,000원

06756 서울특별시 서초구 남부순환로 340길 57

이 출판물의 판권은 서울연구원에 속합니다.