

Research on Improvement Resource Recycle plant
in Goyang city: focusing on municipal wastewater
treatment plants and biomass energy facilities

고양시 자원순환 시설 개선 방안

- 하수처리장 및 음식물폐기물처리장을 대상으로

임 지 열
소 가 람

Research on Improvement Resource Recycle plant in Goyang city: focusing on
municipal wastewater treatment plants and biomass energy facilities

고양시 자원순환 시설 개선 방안

- 하수처리장 및 음식물쓰레기처리장을 대상으로

연구책임자

임지열(고양시정연구원, 도시환경연구부, 부연구위원)

공동연구자

소가람(고양시정연구원, 도시환경연구부, 위촉연구원)

발 행 일 2020년 11월 15일

저 자 임지열, 소가람

발 행 인 이재은

발 행 처 고양시정연구원

주 소 10393 경기도 고양시 일산동구 태극로 60 빗마루방송지원센터 11층

전 화 031-8073-8341

홈페이지 www.gyri.re.kr

S N S <https://www.facebook.com/goyangre/>

I S B N 979-11-89636-83-8

이 보고서의 내용은 연구진의 개인적인 견해로서, 고양시정연구원의 공식 견해와는 다를 수 있습니다.
해당 보고서는 고양시서체를 사용하여 제작되었습니다.

목 차

요약	1
제1장 연구의 배경 및 목적	1
제1절 연구의 배경	3
제2절 연구의 목적	7
 제2장 연구대상지역의 현황	9
제1절 고양시의 하수처리시설 관련 현황	11
제2절 고양시의 바이오매스 에너지시설 관련 현황	36
 제3장 고양시 자원순환시설의 개선 방향	39
제1절 하수처리시설의 부산물 자원화 방안	41
제2절 주민친화시설로의 변화	67
제3절 기타: 생물학적 공정 도입	71
 제4장 결론	73
 참고문헌	79
Abstract	81

표 목차

[표 2-1] 고양시 관내 소재 및 운영중인 하수처리장 현황	11
[표 2-2] 고양시 인구 추정(2000 ~ 2019년도 자료 기반, 통계청)	13
[표 2-3] 고양시 하수발생량 추정(원단위 $0.4\text{m}^3/\text{인/일}$ 적용)	14
[표 2-4] 일산 MWTP 계획 인구(2000 ~ 2019년도 자료 기반, 통계청 자료 기반 추정)	15
[표 2-5] 일산 MWTP 하수발생량 추정(원단위 $0.4\text{m}^3/\text{인/일}$ 적용)	16
[표 2-6] 원능 MWTP 계획 인구(2000 ~ 2019년도 자료 기반, 통계청 자료 기반 추정)	17
[표 2-7] 원능 MWTP 하수발생량 추정(원단위 $0.4\text{m}^3/\text{인/일}$ 적용)	18
[표 2-8] 원능 MWTP 하수발생량 추정(원단위 $0.28\text{m}^3/\text{인/일}$ 적용)	19
[표 2-9] 원능 MWTP 하수발생량 추정(원단위 $0.21\text{m}^3/\text{인/일}$ 적용)	20
[표 2-10] 벽제 MWTP 계획 인구(2000 ~ 2019년도 자료 기반, 통계청 자료 기반 추정)	21
[표 2-11] 벽제 MWTP 하수발생량 추정(원단위 $0.4\text{m}^3/\text{인/일}$ 적용)	22
[표 2-12] 벽제 MWTP 하수발생량 추정(원단위 $0.28\text{m}^3/\text{인/일}$ 적용)	23
[표 2-13] 벽제 MWTP 하수발생량 추정(원단위 $0.27\text{m}^3/\text{인/일}$ 적용)	24
[표 2-14] 삼송 MWTP 계획 인구(2000 ~ 2019년도 자료 기반, 통계청 자료 기반 추정)	25
[표 2-15] 삼송 하수발생량 추정(원단위 $0.4\text{m}^3/\text{인/일}$ 적용)	26
[표 2-16] 삼송 하수발생량 추정(원단위 $0.28\text{m}^3/\text{인/일}$ 적용)	27
[표 2-17] 삼송 하수발생량 추정(원단위 $0.27\text{m}^3/\text{인/일}$ 적용)	28
[표 2-18] 고양시의 2030년 하수처리장 용량 및 가동률 추정	29
[표 2-19] 하수처리장 건설비용 및 시간 종합	31
[표 2-20] 고양시 하수처리장 용량 적정성 검토: 난지하수처리장 배제 시	33
[표 2-21] 고양시 하수처리장 용량 적정성 검토: 난지하수처리장 포함 시	34
[표 2-22] 고양바이오매스 에너지시설 개요	36
[표 2-23] 고양시 음식물폐기물 발생량 추정	38
[표 3-1] 하수처리장의 방류수 수질 기준	42

[표 3-2] 하수처리장의 처리 방법(박보람, 2019 재구성)	43
[표 3-3] 국내 주요 하수처리장의 신·재생 에너지원 운용 현황 및 에너지자립율	45
[표 3-4] 참고할 만한 선진 하수처리장 사례-1	47
[표 3-5] ANAMMOCX 관련 선행 연구 정리	61
[표 3-6] ANAMMOCX의 분류	63
[표 3-7] 지하화된 하수처리장 개요	67
[표 3-8] 공원화된 하수처리장 개요	69
[표 3-9] 지하화 및 공원화의 가격 비교	70

그림 목차

[그림 1-1] 부문별 온실가스 감축 목표 (환경부, 2018)	5
[그림 1-2] 고양시 기후변화 대응 방향성 (출처: 고양시청, 2019)	6
[그림 1-3] 한국의 폐기물 관리 개념의 변화 과정	7
[그림 2-1] 고양시 내의 하수처리장 위치 및 하수처리장당 관할 구역	12
[그림 2-2] 국내 하수처리장 건설기간 Boxplot	30
[그림 2-3] 국내 하수처리장 건설비용 Boxplot	30
[그림 2-4] 고양바이오매스 에너지시설의 처리 비중	36
[그림 2-5] 고양바이오매스 에너지시설의 전경	37
[그림 3-1] 한국의 하수슬러지 처리 방법별 비중	44
[그림 3-2] 참고할 만한 선진 하수처리장 사례-2	47
[그림 3-3] 한국의 일반적인 하수처리공정	48
[그림 3-4] 최근의 대표적인 하수처리 공법	49
[그림 3-5] 반류수 처리공법이 추가된 하수처리 공법	50
[그림 3-6] 반류수의 발생 특성 비교	50
[그림 3-7] 반류수 처리공법의 추가 시 시뮬레이션	51
[그림 3-8] 생물학적 질소 처리 개념도	52
[그림 3-9] 생물학적 질소 처리 와 타 공정간의 효율성 팩터 비교	52
[그림 3-10] MBR 공법의 개요도	53
[그림 3-11] BAR/R-D-N 공법의 개요도	54
[그림 3-12] 주요 질산화-탈질 공법의 특성	55
[그림 3-13] SHARON 공법의 개요도	56
[그림 3-14] SBR 공법의 개요도	57
[그림 3-15] BABE® 공법의 개요도	58
[그림 3-16] AT-3 공법의 개요도	59

[그림 3-17] ANAMMOX 공법 도입 국가	60
[그림 3-18] ANAMMOX공법의 비용 비교-1	66
[그림 3-19] ANAMMOX공법의 비용 비교-2	66
[그림 3-20] 적조, 녹조 현상으로 인한 피해	71

요 약

1. 연구의 배경 및 목적

□ 연구의 배경

- 전 지구적 기후변화 문제의 대두 및 해결사로서의 도시정부 필요성 등장
 - 이클레이 등 도시정부 차원에서의 참여 기회가 많아짐
- 한국의 2030 국가 온실가스 감축 기본로드맵의 등장
 - 산업, 건물, 수송, 농축산, 폐기물, 공공기타, 탈루 등의 분야에서 배출 원 감축 목표 설정
 - (에너지)전환, E신산업/CCUS, 산림흡수원, 국외감축 분야에서 탄소 감축 목표 설정
 - 폐기물 분야에서는 폐기물 감량, 재활용 강화, 폐자원의 재활용 등이 골자
- 도시정부 차원에서 접근 가능한 분야
 - 건물, 수송, 폐기물 분야
 - 이 중 폐기물 분야는 정책 효과가 크고 단기적 효과를 볼 수 있음

□ 연구의 목적

- 도시생활에서 쓰레기의 발생은 필연적
- 한국에서의 폐기물 정책 패러다임의 변화
 - 배제에서 처리로의 전환
 - 지속가능한 발전의 맥락과 궤를 같이 하며 발생억제, 감량, 재이용, 재활용, 에너지 회수 등의 처리 방법 대두

2. 연구대상지역의 현황

□ 고양시의 하수처리시설 관련 현황

- 4개 하수처리장(삼송, 벽제, 원능, 일산) + 1개 위탁처리(난지)
- 일산하수처리장의 경우 2030년까지는 여유
- 원능하수처리장의 경우 2030년경에 처리량의 95~99% 도달
- 벽제하수처리장의 경우 2023~2030년경에 처리량 초과 예상
- 삼송하수처리장의 경우 2030년경에 처리량의 90% 도달 예상

하수처리장 (가용용량)	원단위 (m ³ /인/일)	2030년 하수 발생량 (m ³ /일)		2030년 가동률 (%)	
		범위	중앙	범위	최대
일산 (270,000 m ³ /일)	0.40	202,597 ~ 212,030	204,400	75.0 ~ 78.5	75.7
	0.28	141,818 ~ 148,421	143,080	52.5 ~ 55.0	53.0
	0.38	192,467 ~ 201,429	194,180	71.3 ~ 74.6	71.9
원능 (80,000 m ³ /일)	0.40	139,824 ~ 151,464	146,022	175 ~ 189	183
	0.28	97,877 ~ 106,025	102,215	122 ~ 133	128
	0.21	73,407 ~ 79,5180	76,661	91.8 ~ 99.4	95.8
벽제 (380,000 m ³ /일)	0.40	51,648 ~ 86,864	69,996	136 ~ 229	184
	0.28	36,154 ~ 60,805	48,997	95.1 ~ 160	129
	0.27	34,863 ~ 58,633	47,247	91.7 ~ 154	124
삼송 (320,000 m ³ /일)	0.40	31,261 ~ 46,864	33,971	45.3 ~ 135	68.9
	0.28	21,883 ~ 32,805	23,780	31.7 ~ 94.3	48.3
	0.27	21,101 ~ 31,633	22,930	30.6 ~ 90.9	46.5

○ 고양시 하수처리장 추가 비용과 소요시간 추정

- 난지처리장 위탁 지속 시: 원능, 벽제 1,040억 원/3.5년 소요 , 삼송 97억 원/3.2년 예상
- 난지처리장 위탁 종료 시: 원능 710억 원/3.2년 소요 , 벽제: 520억 원 /3.5년, 삼송 710억 원/3.2년 예상

□ 고양시의 바이오매스 에너지시설 관련 현황

시설명	고양바이오매스 에너지시설
위치	경기도 고양시 덕양구 고양대로 1804-46
공사기간	2010. 6. 14. ~ 2014. 5. 7.
시설규모	260톤/일 [음식물류 (250톤/일) + 가축분뇨 (10톤/일)]
처리 방식	혐기성 소화 기반
총사업비	69,217백만 원 (국비 30%, 도비 35%, 시비 35%)
주요 시설	반입 및 전처리시설, 혐기성 소화시설, 소화가스 이용시설, 소화슬러지 시설, 폐수처리 시설, 악취제거 시설

○ 처리량 초과로 인해 추가 시설이 필요한 상황

3. 고양시 자원순환시설의 개선 방향

□ 하수처리시설의 부산물 자원화 방안

○ 하수 처리 방법

- 생물학적 처리방식 도입 (하수슬러지 재활용)
- 신·재생에너지 도입 (에너지 자립 비중 증대)
 - 바이오가스의 활용

○ 처리공정 개선 및 효율화 1

- 유기물 처리기법 도입
 - 활성슬러지공법, A₂O공법, Bardenpho공법, DNR공법, VIP공법, MUCT공법 등
 - 고양시의 경우 반류수 처리공정 도입 추천

○처리공정 개선 및 효율화 2

- 무기물 처리기법 도입
 - 주요 공법의 경우 pp 51~58 참고

○처리공정 개선 및 효율화 3

- 혐기성 암모늄 산화기법 도입 (ANAMMOX)
 - 광범위한 오염 물질 제거가 특징으로 미래 하수처리 공법의 핵심
 - 전세계 110여개의 하수처리장에 도입됨

□ 주민친화시설로의 변화

○지하화와 공원화

- 지하화의 경우 비용문제가 걸림돌
 - 비용문제에 대해 신중한 접근 필요

□ 생물학적 공정 도입

○미세조류 활용방안 현재 연구 중

- 관련 연구 등에 관심을 가지고 고양시 도입 가능성 점검의 필요성 존재

4. 결론

□ 하수처리용량 및 바이오매스 시설 용량의 적정성 관련

○ 2030년 기준으로 추가 시설이나 용량이 필요

○ 하수처리장 에너지 자립화 방안

- 바이오매스 재활용, 신재생에너지 등의 도입 필요

○ 하수처리장 효율화 방안

- 슬러지와와의 통합 공정 처리 도입 필요
 - 반류수와의 통합 처리

○ 시민친화공간 조성 방안

－ 공원화 혹은 지하화

- 지하화의 경우 공원화 대비 3배 가량의 예산이 소모되므로 접근단계에서 신중한 고려가 필요함

제 1 장

연구의 배경 및 목적

제1절 연구의 배경

제2절 연구의 목적

제절 연구의 배경

전 지구적으로 기후변화 문제는 심각하게 받아들여지고 있다. 이는 수용 정도나 해당 원인에 대한 인식 차이는 있을지언정 기후변화로 인한 문제에 대한 인식은 대부분의 사람들에게 와 닿는 문제로 작용하고 있다. 이에 대한 내용은 IPCC 5차 보고서에 명시되었으며 따라서 부정하기 힘든 내용임을 알 수 있다. 이는 각종 이상기후를 유발하는 원인으로 지목되고 있으며 미래 인류의 후손들의 생존에 중대한 타격을 줄 것으로 예상하고 있다. 이런 인식을 바탕으로 각종 국제 기후협약 등이 체결되었으며 미국의 차기 대통령으로 사실상 선출된 조 바이든 후보의 경우 미국이 탈퇴했던 파리 기후 협약에 재가입할 것을 공언한 상태이다.

한국 또한 이런 인식을 바탕으로 2019년에 「저탄소 녹색성장 기본법」을 제정하였으며 동법 제47조에 “기후변화 영향평가 및 적응대책의 추진”이라는 내용을 넣어 기후변화에 대한 정부의 역할을 설정하였다. 또한 「저탄소 녹색성장 기본법 시행령」 제38조에 “기후변화 적응대책의 수립·시행 등”의 내용을 담아 5년 주기로 기후변화 적응대책을 수립하고 시행해야 함을 명시하였다. 이는 비교적 최근인 2019년의 일로 아직 우리나라의 기후변화 관련 정책 현황은 미진한 상황이다.

한편 2010년 칸쿤에서 개최된 COP16에서 도시(지방)정부를 정부로서의 이해당사자(governmental stakeholder)로 공식적으로 인정하였으며 이에 따라 carbonn Center가 출범하였다. 이는 도시정부 간 네트워크를 구축하고 회원인 도시들 간에 MRV¹⁾ 체계인 도시기후등록부(cCCR²⁾)를 제공하고 참여를 유도하는 기능을 한다. 또한 2011년 더반에서 개최된 COP17에서는 도시정부를 위한 더반기후적응현장이 채택되었다. 한편 1990년에

¹⁾ Measurable, Reportable and Verifiable: 측정, 보고, 검증 가능한

²⁾ carbonn Cities Climate Registry

UN과 세계지방자치연합의 후원으로 출범된 지속가능성을 위한 세계지방정부 이클레이(이하 ‘이클레이’라 칭함)는 범지구적인 지속가능성의 유지를 위한 도시정부 차원의 실천을 촉진하고 지원하기 위해 활동 중이다. 현재 이클레이를 중심으로 도시정부 차원에서의 연대와 실천이 이루어지고 있으며 한국의 경우 1995년 한국지방자치단체국제화재단 명의로 이클레이에 가입하여 활동을 시작하였고 2006년 제주특별자치도를 거쳐 2012년 7월에는 수원시가 이클레이 한국사무소를 유치하였으며(이클레이 한국사무소 홈페이지) 2015년에는 서울 동대문디자인플라자에서 이클레이 세계도시 기후환경총회를 개최한 바 있다.

이러한 점들로부터 도출 가능한 시사점은 기후변화의 관련 당사자로서 국가 및 국가체제들 간의 논의를 넘어 도시 차원에서의 논의가 이루어질 계기를 마련했다는 점으로 도시가 국가 정책에 매이는 것을 넘어 기후변화의 이해당사자로서 작용할 수 있다는 점이다. 국가의 정책이나 행동 등은 다른 나라와의 이해관계가 첨예하게 대립할 수 있으며 이로 인해 운신의 폭이 제한될 수 있다는 한계점이 있으나 도시는 이러한 문제에서 상대적으로 자유롭다는 점이 장점이다. 이는 현재 adaptation 단계에서 머무는 국가체제들 간의 논의를 넘어 이클레이 수준에서의 논의가 resilience 의 수준으로 앞서나감을 통해 이루어 볼 수 있다(이태화, 2015).

한편 우리나라의 지방자치단체들은 2012 ~ 2016 사이에 17개 광역시 및 도 단위에서 기후변화 적응대책의 세부시행계획을 수립하여 시행하는 중이다. 그러나 도시정부(기초자치단체) 단위에서의 기후변화 대응 정책은 전무한 실정이다. 도시정부가 국제적으로 기후변화 관련 이해당사자로 지목이 된 시점을 감안한다면 늦은 대응이라 할 수 있다. 이런 측면에서 고양시가 국내에서는 선제적으로 대응한다면 도시의 위상을 높일 수 있는 기회이자, 추후 국가나 그 이상의 단위에서의 정책에 쉽게 적응할 수 있는 계기가 될 것이다.

한편 한국이 기후변화 정책의 일환으로 2018년에 발표한 2030 국가 온실가스 감축 기본로드맵을 살펴보면 산업, 건물, 수송, 농축산, 폐기물, 공공기타, 탈루 등의 분야에서 배출원의 감축을, (에너지) 전환, E신산업/CCUS, 산림흡수원, 국외감축 등을 탄소 감축 분야로 설정하는 것이 골자이다. 이를 살펴보면 폐기물 분야가 BAU 기준 5위의 배출전망을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 또한 BAU대비 감축률을 28.9%로 설정하여 많은 비중을 줄이겠다는 의지를 보이고 있다. 이는 아래 [그림 1-1]에서 확인할 수 있다.

[그림 1-1] 부문별 온실가스 감축 목표 (환경부, 2018)

부문별 감축 목표 종합 및 기존 로드맵과 비교

(단위: 백만톤, %)

부문		배출 전망 (BAU)	기존 로드맵		수정안	
			감축 후 배출량 (감축량)	BAU 대비 감축률	감축 후 배출량 (감축량)	BAU 대비 감축률
배출원 감축	산업	481.0	424.6	11.7%	382.4	20.5%
	건물	197.2	161.4	18.1%	132.7	32.7%
	수송	105.2	79.3	24.6%	74.4	29.3%
	농축산	20.7	19.7	4.8%	19.0	8.2%
	폐기물	15.5	11.9	23.0%	11.0	28.9%
	공공기타	21.0	17.4	17.3%	15.7	25.3%
	탈루 등	10.3	10.3	0.0%	7.2	30.5%
감축수단 활용	전환	(333.2) ^{※1}	- 64.5	-	(확정 감축량) -23.7 (추가감축잠재량) -34 ^{※2}	-
	E산업/CCUS	-	- 28.2	-	- 10.3	-
	산림흡수원	-	-	-	- 22.1	4.5%
	국외감축 등	-	- 95.9	11.3%	- 16.2	
	기존 국내감축			631.9	25.7%	574.3
합계		850.8	536.0	37.0%	536.0	37.0%

온실가스의 감축을 실현하기 위한 주요 방향성으로 폐기물의 감량 및 재활용의 강화와 매립지의 메탄가스 회수 및 자원화를 들었다. 한편 전환에서 환경기초시설의 탄소중립프로그램, 재생에너지 활용 등 에너지의 효율화와 저탄소에너지화를 들고 있으며 농축산 분야에서 가축분뇨의 에너지화 및 자원화라는 방향성을 설정하였다.

고양시의 경우는 2030년 BAU 대비 32.8%의 온실가스 감축 목표를 설정하였다. 이는 파리기후변화 협약의 준수를 위한 대응으로서 2019년에 해당 정책을 수립하였으며 2020

년에는 기후대기과를 중심으로 본 정책에 대한 이행평가를 실시하였다. 아래 [그림 1-2]는 고양시의 기후변화 대응의 방향을 나타낸 그림이다.

[그림 1-2] 고양시 기후변화 대응 방향성 (출처: 고양시청, 2019)

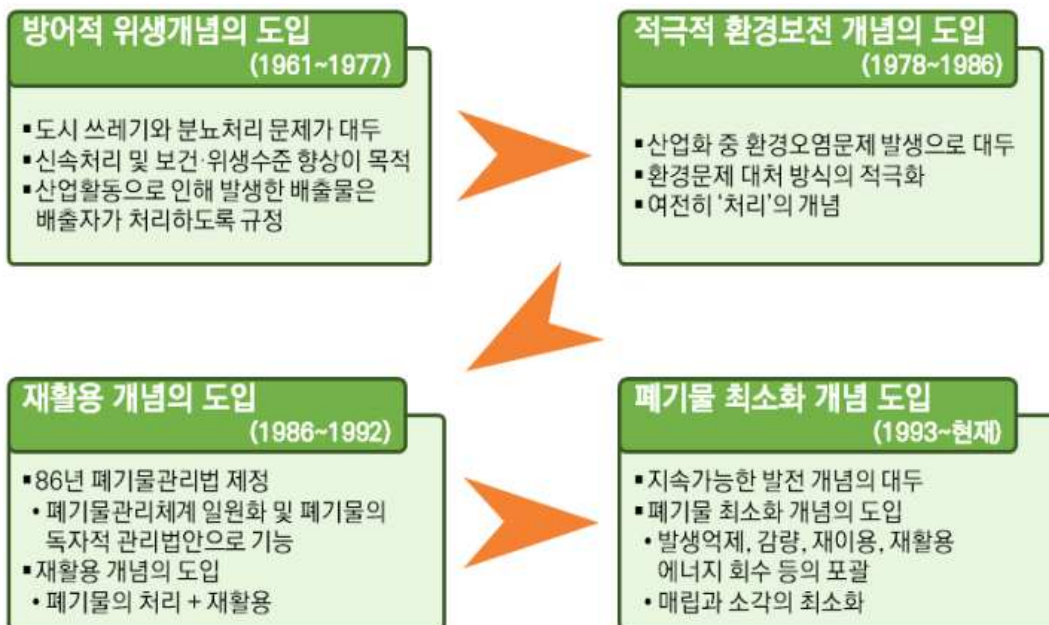


도시 차원에서 기후변화에 대응하기 위해서 다양한 분야에서 취할 수 있는 행동이 많다. 그 중 [그림 1-1]을 통해 살펴봤을 때 고양시에서 적용이 가능하다고 보이는 부분은 건물과 수송, 폐기물 분야인데 이 중 정책적인 효과가 크고 단기적인 접근이 가능할 것으로 판단되는 분야는 폐기물 분야이다. 이는 건물이나 수송 분야의 경우 기술의 발전으로 온실가스 배출량 저감의 효과는 크지만 이를 보급하는 데 긴 시간이 필요하며 재산권 문제가 얽힐 소지가 있지만 폐기물의 경우 처리시설의 효율화를 통해서 어느 정도 효과를 기대할 수 있기 때문이다. 따라서 이 연구에서는 시설 등의 효율화를 통한 온실가스 저감 효과가 가장 클 것으로 기대되는 폐기물 처리 시설의 효율화 및 고양시 폐기물 정책 관련 지향점을 도출할 수 있도록 진행한다.

제2절 연구의 목적

인류의 삶의 과정에서 폐기물은 삶을 영위하기 위한 활동 중 꾸준히 지속되어 온 문제이며 특히 도시화가 진행된 지금은 도시의 과밀화된 삶으로 인해 더 큰 문제로 다가오고 있는 상황이다. 과거 인류의 활동이 제한적이었던 시기와 다르게 현재는 인간의 활동이 많아지고 더 넓은 범위에서 이루어짐으로서 배출되는 폐기물이 환경용량을 초과하는 문제가 발생하고 있는 시점이다. 이러한 문제로 인해 전 세계 국가들은 쓰레기 수출 등의 방식으로 자국 밖에서 처리하려는 시도를 해 왔으나 이는 국가 간 분쟁의 소지가 있고 전 지구적인 관점으로 보면 부하 총량이 결국 동일하기에 바람직한 해결 방법은 아니었다. 한국 또한 이러한 문제에서 자유롭지 못했고 이로 인해, 폐기물 관리의 관점을 배제에서 처리로 전환해 왔다. 한국에서의 폐기물 패러다임의 전환 과정은 아래 [그림 1-3]과 같다.

[그림 1-3] 한국의 폐기물 관리 개념의 변화 과정



위 [그림 1-3]에서 보듯 현재의 폐기물 처리 개념은 지속가능한 발전의 개념과 궤를 함께하여 발생억제, 감량, 재이용, 재활용, 에너지 회수 등의 처리 방법을 강구함을 알 수 있다. 이는 기존의 처리 방법이었던 매립이나 소각으로 인해 환경에 가하는 부하를 최소화하기 위해서 필수적인 방향 설정이라고 할 수 있다.

한편 고양시가 폐기물과 관련해서 직면한 문제는 앞서 ‘연구의 배경’에서 살펴보았듯 하수처리장 관련 문제이다. 현재의 시점에서는 용량 초과 문제가 두드러지지 않으나 고양시의 인구가 지속적인 성장세를 보이고 있으며 3기 신도시가 고양시에 들어서는 만큼 대비가 필요한 시점이다.

제 2 장

연구대상지역의 현황

제1절 고양시의 하수처리시설 관련 현황

제2절 고양시의 바이오매스 에너지시설
관련 현황

제2절 고양시의 하수처리 관련 현황

1. 관내 하수처리장 운영 현황

현재 고양시는 4개의 하수처리장 (삼송1, 벽제, 원능, 일산) 을 민간에 위탁하여 운영하고 있으며 1개의 타 지역 하수처리장 (난지, 서울특별시 관할) 이 고양시 내에 있다. 또한 현재 1개의 하수처리장이 신설 (삼송2) 중에 있으며 1개 하수처리장 (벽제) 이 증설 중에 있다. 이에 대한 자세한 내용은 아래 [표 2-1] 및 [그림 2-1]에서 다루고 있다.

[표 2-1] 고양시 관내 소재 및 운영중인 하수처리장 현황

시설명	준공연도	시설용량 (m ³ /day)	유입하수량 (m ³ /day)	방류량 (m ³ /day)	가동률 (유량 기준)	에너지 자립률	소화조 유무	비고
삼송	2014	32,000	8,102	7,909	0.506	0.0	무	고양시 관할
벽제	2007	38,000	27,394	25,923	0.913	0.3 (태양광)	무	고양시 관할
원능	2008	80,000	70,863	66,049	0.886	0.0	무	고양시 관할
일산	1999	270,000	190,161	184,296	0.704	6.2	유	고양시 관할
난지		860,000 (24,000) ³⁾	552,676	569,314	0.643	24.1	유	서울 관할 (고양시 하수 위탁처리)
계	-	420,000 (444,000) ⁴⁾						

3) 고양시 하수 위탁처리량

4) 난지물재생센터 위탁처리량 합산 시

고양시에서 발생한 하수 처리량은 하루에 420,000m³ (난지물재생센터 처리분 포함 시 444,000m³)이며 유량 기준의 가동률은 50.6%~91.3% 정도의 수준으로 보이고 있다. 한편 고양시의 미래 수요를 가늠하기 위해 고양시의 인구 추정치를 바탕으로 추후 발생할 고양시의 하수량을 추정해 보았다. 그 결과는 다음 [표 2-2] 및 [표 2-3]과 같다.

[표 2-2] 고양시 인구 추정 (2000 ~ 2019년도 자료 기반, 통계청)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	1,056,987	1,080,496	1,082,774	1,095,130	1,085,733
2021	1,068,491	1,094,641	1,099,450	1,108,368	1,099,083
2022	1,078,927	1,108,786	1,116,383	1,121,538	1,112,432
2023	1,088,382	1,122,931	1,133,577	1,134,644	1,125,782
2024	1,096,949	1,137,076	1,151,036	1,147,688	1,139,132
2025	1,104,689	1,151,221	1,168,763	1,160,674	1,152,481
2026	1,111,646	1,165,366	1,186,764	1,173,604	1,165,831
2027	1,117,889	1,179,511	1,205,041	1,186,480	1,179,181
2028	1,123,448	1,193,656	1,223,601	1,199,305	1,192,530
2029	1,128,345	1,207,800	1,242,446	1,212,081	1,205,880
2030	1,132,639	1,221,945	1,261,581	1,224,809	1,219,230

[표 2-3] 고양시 하수발생량 추정(원단위 0.4m³/인/일 적용)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	422,795	432,198	433,110	438,052	434,293
2021	427,396	437,856	439,780	443,347	439,633
2022	431,571	443,514	446,553	448,615	444,973
2023	435,353	449,172	453,431	453,858	450,313
2024	438,780	454,830	460,414	459,075	455,653
2025	441,876	460,488	467,505	464,270	460,992
2026	444,658	466,146	474,706	469,442	466,332
2027	447,156	471,804	482,016	474,592	471,672
2028	449,379	477,462	489,440	479,722	477,012
2029	451,338	483,120	496,978	484,832	482,352
2030	453,056	488,778	504,632	489,924	487,692

위 [표 2-3]에 따르면 추정 방식에 따라 다소 차이는 있으나 2021년(지수곡선 추정 시)에서 2026년(통계청 추정) 시 하수발생량이 444,000m³을 초과하는 것을 알 수 있다. 이는 난지처리장의 고양시 하수처리량 24,000m³을 반영하고 일산하수처리장의 현재 수준인 원단위 0.4m³⁵⁾를 적용했을 때의 값이다. 이를 통해 현 시점이 하수처리 용량 증설 등의 대책이 필요한 시점이라는 것을 알 수 있다. 특히 정부의 3기 신도시 지정 때 창릉신도시가 지정되었으므로 하수 발생량이 증가할 것은 충분히 예측 가능한 상황으로 이에 대한 대비책이 필요하다.

5) 원단위 기준 - 0.4m³/인/일: 일산하수처리장 원단위 기준, 0.28m³/인/일: 2018년도 고양시 하수발생원단위 기준, 0.27m³: 2018 벽제 및 삼송하수처리장 원단위 기준, 0.21m³: 2018 원능하수처리장 원단위 기준

2. 관내 하수처리장 용량의 적정성 검토

이번에는 하수처리장별 MWTP 계획 인구 및 인구추정치에 따른 MWTP 처리량을 추정해 보았다. 아래 [표 2-4] 및 [표 2-5]는 일산하수처리장이 담당하는 구역의 계획인구 및 이에 따른 하수 처리 추정량이다.

[표 2-4] 일산 MWTP 계획 인구 (2000 ~ 2019년도 자료 기반, 통계청 자료 기반 추정⁶⁾)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	494,670	500,247	500,262	497,678	500,284
2021	500,054	501,309	501,341	498,555	501,356
2022	504,938	502,371	502,423	499,434	502,428
2023	509,363	503,434	503,507	500,314	503,499
2024	513,372	504,496	504,594	501,195	504,571
2025	516,994	505,558	505,683	502,076	505,643
2026	520,250	506,620	506,774	502,958	506,714
2027	523,172	507,683	507,868	503,841	507,786
2028	525,774	508,745	508,963	504,724	508,858
2029	528,065	509,807	510,062	505,608	509,929
2030	530,075	510,869	511,162	506,493	511,001

⁶⁾ 통계청 추정 인구자료 * 2019년 계획인구 비율 (일산: 46.8%, 원능: 31.7%, 벽재: 11.4%, 삼송: 3.2%, 난지: 6.9%)

[표 2-5] 일산 MWTP 하수발생량 추정 (원단위 0.4m³/인/일 적용)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	197,868	200,099	200,105	199,071	200,114
2021	200,022	200,524	200,536	199,422	200,542
2022	201,975	200,948	200,969	199,774	200,971
2023	203,745	201,374	201,403	200,126	201,400
2024	205,349	201,798	201,838	200,478	201,828
2025	206,798	202,223	202,273	200,830	202,257
2026	208,100	202,648	202,710	201,183	202,686
2027	209,269	203,073	203,147	201,536	203,114
2028	210,310	203,498	203,585	201,890	203,543
2029	211,226	203,923	204,025	202,243	203,972
2030	212,030	204,348	204,465	202,597	204,400

일산하수처리장의 경우 현 일산하수처리장 원단위 값인 0.4m³을 적용하여 계산하였다. 일산하수처리장의 가용 용량이 일 270,000m³이고 2018년 하수처리통계 기준으로 유입하수량이 190,157m³으로 70.4%의 부하를 보이고 있다. 위의 추정값을 바탕으로 가장 많은 하수 발생량을 보인 통계청 추정 기준(일 212,030m³)으로 하여도 2030년까지 여유가 있음을 확인할 수 있다.

원능하수처리장의 경우 가용 용량이 일 80,000m³이고 현재 유입하수량은 70,863m³로 현재 88.6%의 가동율을 보이고 있다. 이를 원능하수처리장이 처리하는 구역의 인구 증가 추정과 결합하여 하수 처리 추정량을 산출해 보았다. 이는 다음 [표 2-6] ~ [표 2-9]에서 확인할 수 있다.

[표 2-6] 원능 MWTP 계획 인구(2000 ~ 2019년도 자료 기반, 통계청 자료 기반 추정⁷⁾)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	335,065	338,937	340,259	357,039	355,738
2021	338,712	339,999	342,661	358,884	358,030
2022	342,020	341,061	345,080	360,668	360,322
2023	345,017	342,124	347,516	362,396	362,614
2024	347,733	343,186	349,969	364,073	364,906
2025	350,186	344,248	352,439	365,704	367,198
2026	352,392	345,310	354,927	367,292	369,490
2027	354,371	346,373	357,432	368,841	371,782
2028	356,133	347,435	359,955	370,354	374,074
2029	357,685	348,497	362,496	371,833	376,366
2030	359,047	349,559	365,054	373,281	378,659

⁷⁾ 통계청 추정 인구자료 * 2019년 계획인구 비율 (일산: 46.8%, 원능: 31.7%, 벽재: 11.4%, 삼송: 3.2%, 난자: 6.9%)

[표 2-7] 원능 MWTP 하수발생량 추정 (원단위 0.4m³/인/일 적용)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	134,026	135,575	136,104	142,816	142,295
2021	135,485	136,000	137,064	143,554	143,212
2022	136,808	136,424	138,032	144,267	144,129
2023	138,007	136,850	139,006	144,958	145,046
2024	139,093	137,274	139,988	145,629	145,962
2025	140,074	137,699	140,976	146,282	146,879
2026	140,957	138,124	141,971	146,917	147,796
2027	141,748	138,549	142,973	147,536	148,713
2028	142,453	138,974	143,982	148,142	149,630
2029	143,074	139,399	144,998	148,733	150,546
2030	143,619	139,824	146,022	149,312	151,464

[표 2-8] 원능 MWTP 하수발생량 추정 (원단위 0.28m³/인/일 적용)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	93,818	94,902	95,273	99,971	99,607
2021	94,839	95,200	95,945	100,488	100,248
2022	95,766	95,497	96,622	100,987	100,890
2023	96,605	95,795	97,304	101,471	101,532
2024	97,365	96,092	97,991	101,940	102,174
2025	98,052	96,389	98,683	102,397	102,815
2026	98,670	96,687	99,380	102,842	103,457
2027	99,224	96,984	100,081	103,275	104,099
2028	99,717	97,282	100,787	103,699	104,741
2029	100,152	97,579	101,499	104,113	105,382
2030	100,533	97,877	102,215	104,519	106,025

[표 2-9] 원능 MWTP 하수발생량 추정 (원단위 0.21m³/인/일 적용)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	70,364	71,177	71,454	74,978	74,705
2021	71,130	71,400	71,959	75,366	75,186
2022	71,824	71,623	72,467	75,740	75,668
2023	72,454	71,846	72,978	76,103	76,149
2024	73,024	72,069	73,493	76,455	76,630
2025	73,539	72,292	74,012	76,798	77,112
2026	74,002	72,515	74,535	77,131	77,593
2027	74,418	72,738	75,061	77,457	78,074
2028	74,788	72,961	75,591	77,774	78,556
2029	75,114	73,184	76,124	78,085	79,037
2030	75,400	73,407	76,661	78,389	79,518

원능하수처리장의 경우 일산하수처리장의 처리능력인 원단위 0.4m³/인/일에 비해 낮은 처리능력(0.21m³/인/일)을 보유하고 있다. 이를 감안하여 일산하수처리장의 처리능력(표 2-5) 기준, 고양시 평균 처리능력(표 2-3) 기준 및 원능하수처리장의 처리능력 등 3가지 시나리오로 추정해 보았다. 이를 보면 현재 원능하수처리장의 처리 능력과 규모로 추정 시 2030년에 처리장 용량의 95% 이상 도달한다는 점(최대치인 최소자승법으로 추정 시 99.4% 도달)을 확인할 수 있다.

이번에는 벽제하수처리장을 살펴보도록 하겠다. 벽제하수처리장의 경우 가용 용량이 일 38,000m³이고 현재 유입하수량은 27,394m³로 현재 72.1%⁸⁾의 가동율을 보이고 있다. 이를 벽제하수처리장이 처리하는 구역의 인구 증가 추정과 결합하여 하수 처리 추정량을 산출한 결과는 아래 [표 2-10] ~ [표 2-13]과 같다.

8) 유입하수량 기준은 2018년도이고(2018 국가하수도통계) 시설용량은 2020년 기준이므로 정확하지는 않음

[표 2-10] 벽제 MWTP 계획 인구(2000 ~ 2019년도 자료 기반, 통계청 자료 기반 추정⁹⁾)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	120,497	122,517	126,577	133,555	128,440
2021	121,808	123,580	131,915	140,742	133,095
2022	122,998	124,642	137,477	148,210	137,750
2023	124,076	125,704	143,275	155,950	142,405
2024	125,052	126,766	149,317	163,954	147,059
2025	125,935	127,829	155,614	172,216	151,714
2026	126,728	128,891	162,176	180,728	156,369
2027	127,439	129,953	169,015	189,484	161,024
2028	128,073	131,015	176,142	198,478	165,679
2029	128,631	132,078	183,570	207,706	170,334
2030	129,121	133,140	191,311	217,161	174,989

⁹⁾ 통계청 추정 인구자료 * 2019년 계획인구 비율 (일산: 46.8%, 원능: 31.7%, 벽제: 11.4%, 삼송: 3.2%, 난지: 6.9%)

[표 2-11] 벽제 MWTP 하수발생량 추정 (원단위 0.4m³/인/일 적용)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	48,199	49,007	50,631	53,422	51,376
2021	48,723	49,432	52,766	56,297	53,238
2022	49,199	49,857	54,991	59,284	55,100
2023	49,630	50,282	57,310	62,380	56,962
2024	50,021	50,706	59,727	65,582	58,824
2025	50,374	51,132	62,246	68,886	60,686
2026	50,691	51,556	64,870	72,291	62,548
2027	50,976	51,981	67,606	75,794	64,410
2028	51,229	52,406	70,457	79,391	66,272
2029	51,452	52,831	73,428	83,082	68,134
2030	51,648	53,256	76,524	86,864	69,996

[표 2-12] 벽제 MWTP 하수발생량 추정 (원단위 0.28m³/인/일 적용)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	33,739	34,305	35,442	37,395	35,963
2021	34,106	34,602	36,936	39,408	37,267
2022	34,439	34,900	38,494	41,499	38,570
2023	34,741	35,197	40,117	43,666	39,873
2024	35,015	35,494	41,809	45,907	41,177
2025	35,262	35,792	43,572	48,220	42,480
2026	35,484	36,089	45,409	50,604	43,783
2027	35,683	36,387	47,324	53,056	45,087
2028	35,860	36,684	49,320	55,574	46,390
2029	36,017	36,982	51,400	58,158	47,694
2030	36,154	37,279	53,567	60,805	48,997

[표 2-13] 벽제 MWTP 하수발생량 추정 (원단위 0.27m³/인/일 적용)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	32,534	33,080	34,176	36,060	34,679
2021	32,888	33,367	35,617	38,000	35,936
2022	33,209	33,653	37,119	40,017	37,193
2023	33,501	33,940	38,684	42,107	38,449
2024	33,764	34,227	40,316	44,268	39,706
2025	34,002	34,514	42,016	46,498	40,963
2026	34,217	34,801	43,788	48,797	42,220
2027	34,409	35,087	45,634	51,161	43,476
2028	34,580	35,374	47,558	53,589	44,733
2029	34,730	35,661	49,564	56,081	45,990
2030	34,863	35,948	51,654	58,633	47,247

벽제하수처리장은 일산하수처리장의 처리능력(원단위 0.4m³/인/일)이나 고양시 하수처리능력의 평균값(원단위 0.28m³/인/일) 대비 낮은 처리능력(원단위 0.27m³/인/일)을 보유하고 있다. 이를 고려하여 일산하수처리장의 처리능력(표 2-5) 기준, 고양시 평균 처리능력(표 2-3) 기준 및 벽제하수처리장의 처리능력(표 2-11) 등 3가지 시나리오로 추정해 보았다. 이를 바탕으로 현재 벽제하수처리장의 처리 능력과 규모로 추정 시 빠르면 2021년, 늦어도 2030년에 처리장 용량의 90% 이상 도달하거나 초과한다는 점(최대치인 지수곡선법으로 추정 시 2021년에 100% 도달)을 확인할 수 있다.

삼송하수처리장의 경우는 가용 용량이 일 32,000m³이고 현재 유입하수량은 27,394m³로 현재 72.1%¹⁰⁾의 가동율을 보이고 있다. 이를 삼송하수처리장이 처리하는 구역의 인구 증가 추정과 결합하여 하수 처리 추정량을 산출한 결과는 아래 [표 2-14]

¹⁰⁾ 유입하수량 기준은 2018년도이고(2018 국가하수도통계) 시설용량은 2020년 기준이므로 정확하지는 않음

~ [표 2-17]과 같다.

[표 2-14] 삼승 MWTP 계획 인구(2000 ~ 2019년도 자료 기반, 통계청 자료 기반 추정¹¹⁾)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	33,824	35,657	38,359	36,116	32,732
2021	34,192	36,719	42,534	38,648	34,975
2022	34,526	37,781	47,163	41,103	37,217
2023	34,828	38,844	52,295	43,492	39,460
2024	35,102	39,906	57,986	45,823	41,703
2025	35,350	40,968	64,297	48,103	43,946
2026	35,573	42,030	71,294	50,336	46,188
2027	35,772	43,093	79,053	52,528	48,431
2028	35,950	44,155	87,656	54,681	50,674
2029	36,107	45,217	97,195	56,799	52,916
2030	36,244	46,279	107,772	58,886	55,159

¹¹⁾ 통계청 추정 인구자료 * 2019년 계획인구 비율 (일산: 46.8%, 원능: 31.7%, 벽재: 11.4%, 삼승: 3.2%, 난자: 6.9%)

[표 2-15] 삼송 하수발생량 추정 (원단위 0.4m³/인/일 적용)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	13,530	14,263	15,344	14,446	13,093
2021	13,677	14,688	17,014	15,459	13,990
2022	13,810	15,112	18,865	16,441	14,887
2023	13,931	15,538	20,918	17,397	15,784
2024	14,041	15,962	23,194	18,329	16,681
2025	14,140	16,387	25,719	19,241	17,578
2026	14,229	16,812	28,518	20,134	18,475
2027	14,309	17,237	31,621	21,011	19,372
2028	14,380	17,662	35,062	21,872	20,270
2029	14,443	18,087	38,878	22,720	21,166
2030	14,498	18,512	43,109	23,554	22,064

[표 2-16] 삼송 하수발생량 추정 (원단위 0.28m³/인/일 적용)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	9,471	9,984	10,741	10,112	9,165
2021	9,574	10,281	11,910	10,821	9,793
2022	9,667	10,579	13,206	11,509	10,421
2023	9,752	10,876	14,643	12,178	11,049
2024	9,829	11,174	16,236	12,830	11,677
2025	9,898	11,471	18,003	13,469	12,305
2026	9,960	11,768	19,962	14,094	12,933
2027	10,016	12,066	22,135	14,708	13,561
2028	10,066	12,363	24,544	15,311	14,189
2029	10,110	12,661	27,215	15,904	14,816
2030	10,148	12,958	30,176	16,488	15,445

[표 2-17] 삼송 하수발생량 추정 (원단위 0.27m³/인/일 적용)

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	9,132	9,627	10,357	9,751	8,838
2021	9,232	9,914	11,484	10,435	9,443
2022	9,322	10,201	12,734	11,098	10,049
2023	9,404	10,488	14,120	11,743	10,654
2024	9,478	10,775	15,656	12,372	11,260
2025	9,545	11,061	17,360	12,988	11,865
2026	9,605	11,348	19,249	13,591	12,471
2027	9,658	11,635	21,344	14,183	13,076
2028	9,707	11,922	23,667	14,764	13,682
2029	9,749	12,209	26,243	15,336	14,287
2030	9,786	12,495	29,098	15,899	14,893

삼송하수처리장 또한 일산하수처리장의 처리능력(원단위 0.4m³/인/일)이나 고양시 하수처리능력의 평균(원단위 0.28m³/인/일) 대비 낮은 처리능력(원단위 0.27m³/인/일)을 보유하고 있다. 이를 고려하여 일산하수처리장의 처리능력(표 2-5) 기준, 고양시 평균 처리능력(표 2-3) 기준 및 삼송하수처리장의 처리능력(표 2-14) 등 3가지 시나리오로 추정해 보았다. 이를 토대로 현재 삼송하수처리장의 처리 능력과 규모로 추정해보면 2030년에 30%에서 많으면 90%에 도달함을 추론할 수 있다.

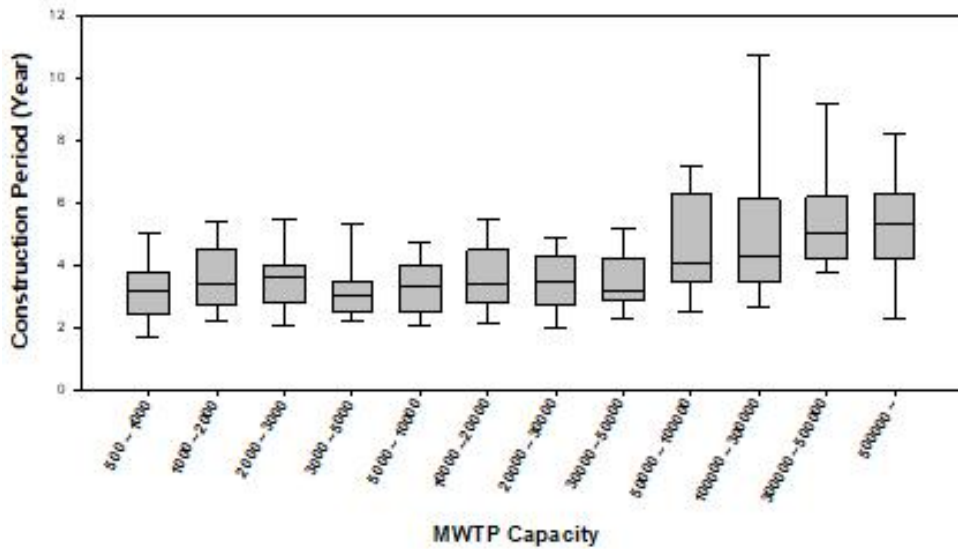
고양시 관내의 하수처리장의 현황 및 앞으로의 인구 추계를 바탕으로 하수처리용량의 적정성을 살펴보았다. 일산하수처리장이나 삼송하수처리장의 경우 2030년까지 용량 문제를 겪을 가능성이 낮으나 원능, 벽제하수처리장의 경우 2030년 이후로는 용량을 초과할 것으로 예상되기에 용량 증설 혹은 신규 시설의 확보가 필요하다고 할 수 있겠다. 아래 [표 2-18]은 앞서의 결과들을 정리한 것이다.

[표 2-18] 고양시의 2030년 하수처리장 용량 및 기동률 추정

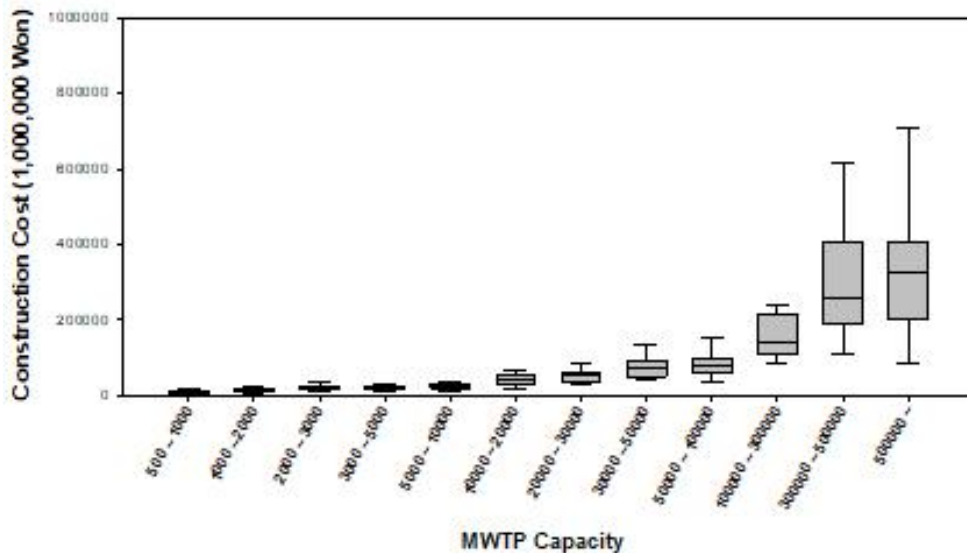
하수처리장 (가용용량)	원단위 ($\text{m}^3/\text{인}/\text{일}$)	2030년 하수 발생량 ($\text{m}^3/\text{일}$)		2030년 가동률 (%)	
		범위	중앙	범위	최대
일산 (270,000 $\text{m}^3/\text{일}$)	0.40	202,597 ~ 212,030	204,400	75.0 ~ 78.5	75.7
	0.28	141,818 ~ 148,421	143,080	52.5 ~ 55.0	53.0
	0.38	192,467 ~ 201,429	194,180	71.3 ~ 74.6	71.9
원능 (80,000 $\text{m}^3/\text{일}$)	0.40	139,824 ~ 151,464	146,022	175 ~ 189	183
	0.28	97,877 ~ 106,025	102,215	122 ~ 133	128
	0.21	73,407 ~ 79,5180	76,661	91.8 ~ 99.4	95.8
벽제 (380,000 $\text{m}^3/\text{일}$)	0.40	51,648 ~ 86,864	69,996	136 ~ 229	184
	0.28	36,154 ~ 60,805	48,997	95.1 ~ 160	129
	0.27	34,863 ~ 58,633	47,247	91.7 ~ 154	124
삼송 (320,000 $\text{m}^3/\text{일}$)	0.40	31,261 ~ 46,864	33,971	45.3 ~ 135	68.9
	0.28	21,883 ~ 32,805	23,780	31.7 ~ 94.3	48.3
	0.27	21,101 ~ 31,633	22,930	30.6 ~ 90.9	46.5

한편 하수처리장의 신축을 감안하여 국내 하수처리장의 운영 결과들을 바탕으로 건설 기간과 건설비를 산출해 보았다. 대상은 국내에서 가동 중인 하수처리장 중 하루에 500m³ 이상을 처리하는 하수처리장 604개소로 하였으며 준공 기간과 각각의 건설비를 분석하였다. 그 결과는 아래 [그림 2] ~ [그림 3]과 같다.

[그림 2-2] 국내 하수처리장 건설기간 Boxplot



[그림 2-3] 국내 하수처리장 건설비용 Boxplot



지금까지 앞으로 증가 혹은 감소할 고양시의 하수처리장 용량의 값을 추론해 보았다. 또한 국내 하수처리장 604건의 건설 비용과 시간을 조사하여 평균치를 산출함으로서 대략적인 하수처리장 준공 비용 및 시간에 대해서도 산출해 보았다. 이 자료들을 바탕으로 적정 하수처리용량을 갖추기 위한 대략적인 시간과 비용을 산출해 보았다. 산출 시 현재 서울시 소유이며 고양시의 하수를 일부 처리하고 있는 난지물재생센터를 고려한 것과 고려하지 않은 시나리오로 나누어 구성해 보았으며 가동률 70%와 가동률 100%로 나누어 산출하였다. 다음 [표 2-20]은 난지하수처리장을 포함하지 않은 상태에서의 적정성 검토이며 [표 2-21]은 난지하수처리장의 처리량을 유지한 상태에서의 적정성 검토이다.

[표 2-20] 고양시 하수처리장 용량 적정성 검토: 난지하수처리장 배제 시

하수처리장	원단위 ($\text{m}^3/\text{인}/\text{일}$)	2030년 하수처리장 부족 용량 ($\text{m}^3/\text{일}$)			가동률 (100%)				가동률 (70%)			
		발생량	가동률 (100%)	가동률 (70%)	기간 (Year)	비용 (백만원)	면적 (m^2)	기간 (Year)	비용 (백만원)	면적 (m^2)		
일산 (270,000 $\text{m}^3/\text{일}$)	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	0.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	0.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
원능 (80,000 $\text{m}^3/\text{일}$)	0.40	146,022	82,247	128,603	4.1	77,099	75,958	4.3	140,812	140,008		
	0.28	102,215	33,572	66,021	3.2	71,479	66,181	4.1	77,099	75,958		
	0.21	76,661	5,179	29,516	3.3	25,227	21,189	3.5	52,064	38,987		
벽제 (38,000 $\text{m}^3/\text{일}$)	0.40	69,996	39,773	61,994	3.2	71,479	66,181	4.1	77,099	75,958		
	0.28	48,997	16,441	31,996	3.4	42,091	32,596	3.2	71,479	66,181		
	0.27	47,247	14,497	29,496	3.4	42,091	32,596	3.5	52,064	38,987		
삼송 (32,000 $\text{m}^3/\text{일}$)	0.40	33,971	5,746	16,530	3.3	25,227	21,189	3.4	42,091	32,596		
	0.28	23,780	-	1,971	-	-	-	3.4	12,753	6,824		
	0.27	22,930	-	757	-	-	-	3.2	9,671	3,975		

[표 2-21] 고양시 하수처리장 용량 적정성 검토 내지하수처리장 포함 시

하수처리장	원단위 (m ³ /인/일)	2030년 하수처리장 부족 용량 (m ³ /일)			가동률 (100%)			가동률 (70%)		
		발생량	가동률 (100%)	가동률 (70%)	기간 (Year)	비용 (백만원)	면적 (m ²)	기간 (Year)	비용 (백만원)	면적 (m ²)
임산 (270,000 m ³ /일)	0.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
원능 (80,000 m ³ /일)	0.40	157,981	95,534	145,687	4.1	77,099	75,958	4.3	140,812	140,008
	0.28	114,174	46,860	83,106	3.2	71,479	66,181	4.1	77,099	75,958
	0.21	88,620	18,467	46,600	3.4	42,091	32,596	3.2	71,479	66,181
벽제 (38,000 m ³ /일)	0.40	69,996	39,773	61,994	3.2	71,479	66,181	4.1	77,099	75,958
	0.28	48,997	16,440	31,996	3.4	42,091	32,596	3.2	71,479	66,181
	0.27	47,247	14,497	29,496	3.4	42,091	32,596	3.5	52,064	38,987
사송 (32,000 m ³ /일)	0.40	57,403	31,781	50,004	3.2	71,479	66,181	4.1	77,099	75,958
	0.28	47,212	20,458	35,446	3.5	52,064	38,987	3.2	71,479	66,181
	0.27	46,362	19,513	34,231	3.4	42,091	32,596	3.2	71,479	66,181

적정성 검토 결과 난지물재생센터의 위탁처리분을 고려할 경우 가동률 70% 기준에서 원능하수처리장 초과분을 처리하기 위한 하수처리장 건설비용은 520억 원 가량이며 기간은 3.5년 정도 필요한 것으로 예상된다. 또한 벽제하수처리장의 초과분을 처리하기 위한 시설 준공 시 비용 및 시간은 원능하수처리장의 대체분과 유사할 것으로 추산되었다. 한편 삼송하수처리장의 초과분을 대체하기 위한 하수처리장 신설 시 97억의 비용이 필요할 것으로 추산되며 기간은 3.2년이 걸릴 것으로 예상된다.

한편 난지물재생센터 처리분을 고려하지 않고 추산 시 원능하수처리장 초과분을 처리하기 위한 하수처리장 건설비용은 710억 원 가량이며 기간은 3.2년 정도 필요한 것으로 예상된다. 또한 벽제하수처리장의 초과분을 처리하기 위한 시설 준공 시 비용은 520억 원이며 소요되는 시간은 3.5년 정도로 추산되었다. 한편 삼송하수처리장의 초과분을 대체하기 위한 하수처리장 신설 시 710억의 비용이 필요할 것으로 추산되며 기간은 3.2년이 걸릴 것으로 예상된다.

이와 같은 추산은 자연적인 입지(기반, 지형의 복잡성 등)조건이나 사회적인 입지(거주지와 거리, 통행량 등)를 고려하지 않고 통계치에 의한 산출로 고양시의 여건에 따라 실제와의 간극이 발생할 수 있음은 유념해야 할 것이다.

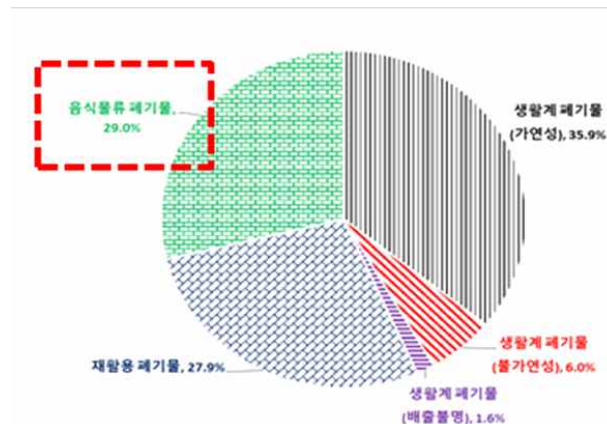
제2절 고양시의 바이오매스 에너지시설 관련 현황

이번 절에서는 고양시 내의 음식물쓰레기처리장에 대해서 조사해 보기로 한다. 고양시의 바이오매스 시설은 삼송지구 내에 위치하며 2010년 6월 14일에 공사를 시작하여 2014년 5월 7일에 준공하였다. 고양바이오매스 에너지시설은 일당 음식물쓰레기류 250톤과 가축분뇨 10톤을 처리할 수 있는 규모로 지어졌다. 자세한 내용은 아래 [표 2-22] 및 [그림 2-22]를 통해 확인할 수 있으며 [그림 2-4]는 처리시설의 전경이다.

[표 2-22] 고양바이오매스 에너지시설 개요 (고양도시관리공사 시설안내)

시설명	고양바이오매스 에너지시설
위치	경기도 고양시 덕양구 고양대로 1804-46
공사기간	2010. 6. 14. ~ 2014. 5. 7.
시설규모	260톤/일 [음식물류 (250톤/일) + 가축분뇨 (10톤/일)]
처리 방식	혐기성 소화 기반
총사업비	69,217백만 원 (국비 30%, 도비 35%, 시비 35%)
주요 시설	반입 및 전처리시설, 혐기성 소화시설, 소화가스 이용시설, 소화슬러지 시설, 폐수처리 시설, 악취제거 시설

[그림 2-4] 고양바이오매스 에너지시설의 처리 비중



[그림 2-5] 고양바이오매스 에너지시설의 전경



한편 앞서 2절에서 수행한 고양시 인구 추계를 바탕으로 2018년의 폐기물 원단위 및 폐기물 내 음식물의 비중을 감안하여 고양시의 음식물폐기물 발생량을 추정하였다. 해당 결과는 다음 [표 2-23]과 같다.

[표 2-23] 고양시 음식물폐기물 발생량 추정

구분	통계청 추정	등차급수	등비급수	지수곡선	최소자승
2020	275.9	282.0	282.6	285.8	283.4
2021	278.9	285.7	287.0	289.3	286.9
2022	281.6	289.4	291.4	292.7	290.3
2023	284.1	293.1	295.9	296.1	293.8
2024	286.3	296.8	300.4	299.5	297.3
2025	288.3	300.5	305.0	302.9	300.8
2026	290.1	304.2	309.7	306.3	304.3
2027	291.8	307.9	314.5	309.7	307.8
2028	293.2	311.5	319.4	313.0	311.3
2029	294.5	315.2	324.3	316.4	314.7
2030	295.6	318.9	329.3	319.7	318.2

[표 2-23]을 살펴보면 알 수 있는 사실은 이미 고양시 내에서 발생한 음식물쓰레기의 양을 초과했다는 사실이다. 이는 고양시 외부에서 처리되거나 적절하지 못한 방법으로 자연에 배출되어 토지 등의 오염을 유발하거나 소각되어 대기오염을 유발할 가능성이 있다는 점에서 적절하지 못한 상황임을 짐작할 수 있다.

현재까지 고양시의 하수처리장 및 바이오매스 에너지시설(음식물쓰레기 처리시설)의 현황을 살펴보았고 고양시의 미래 인구 추계를 바탕으로 앞으로의 하수 및 음식물쓰레기 발생량을 추정하였으며 이를 바탕으로 시설 용량의 적절성을 살펴보았다. 이제 제3장에서는 고양시 자원순환시설(하수처리장 및 음식물쓰레기처리장)의 개선 방향에 대해서 살펴보도록 하겠다.

제 3 장

고양시 자원순환시설의 개선 방향

제1절 하수처리시설의 부산물 자원화
방안

제2절 하수처리시설의 공정 효율화

제3절 주민친화시설로의 변화

제절 하수처리시설의 부산물 자원화 방안

1. 하수 처리 방법

이번 장에서는 하수처리장의 개선 방향에 대해서 논하고자 한다. 하수처리장에서 처리되고 남은 방류수 및 미량 오염물질은 하천으로 방류되어 자연에 의해 최종적으로 정화되고 자연 순환계에 편입된다. 이처럼 폐쇄된 순환계에서의 자연계는 그 구성 물질이 순환하며 환경사이클을 형성하며 생활환경의 질적 수준을 일정하게 보존한다. 이를 환경용량이라고 하며 자연이 스스로 정화할 수 있는 능력으로 보통 사용된다. 이와 같은 자연의 자정 능력을 벗어나는 오염물질이 자연 순환계에 편입될 경우 자연의 자정능력에 의해 오염물질이 정화되지 못해서 오염이 발생하게 된다.

이와 같은 오염을 방지하기 위해 일반적인 국가는 환경에 방출 가능한 오염 물질의 총량 등을 규제하여 환경을 어느 정도 보호하고 있다. 우리나라 또한 예외는 아니어서 오염 물질 배출량을 규제하고 있다. 하수도법의 규정에 의하여 기준치가 설정되었으며 수계별, 지역별로 특성을 감안한 차등기준이 적용되고 있으며 시간의 흐름에 따라 규제 강도가 강해져 온 것이 특징이다. 현재 한국의 방류수 수질 기준은 다음 [표 3-1]과 같다.

한편 일반적인 하수처리의 방법은 3가지로 분류할 수 있다. 물리적, 화학적, 생물학적 처리가 그 방법으로 물리적 처리는 필터 역할을 하는 스크린이나 침전 등에 의한 방법으로 부유물질을 제거하는 방법이다. 화학적 처리는 화학약품에 의한 침전 및 유기물을 제거하는 방법으로 물리적 처리 방법과 혼용되며 복합적인 처리 시스템을 유지하는 것이 그 특징이다. 생물학적 처리는 앞서 물리적, 화학적 처리 이후에 남은 분해가 가능한 용해성 유기물(기질)에 대해 미생물에 의해 제거하는 방법으로 대개 하수 2차 처리 혹은 고도처리나 슬러지 처리로도 불리고 있다. 이에 대한 특징 및 내용은 다음 [표 3-2]를 통해 확인할 수 있다.

[표 3-1] 하수처리장의 방류수 수질 기준

구분	적용기간 및 수질기준												
	~2011.12. 31	2012				2013 ~ 2019				2021 ~			
		I 지역	II 지역	III 지역	IV 지역	I 지역	II 지역	III 지역	IV 지역	I 지역	II 지역	III 지역	IV 지역
생물학적 산소요구량 (BOD) (mg/L)	20(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하
화학적 산소요구량 (COD) (mg/L)	40(40) 이하	40(40) 이하	40(40) 이하	40(40) 이하	20(40) 이하	20(40) 이하	40(40) 이하	40(40) 이하	-	-	-	-	-
총 유기탄소량 (TOC) (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	15(25) 이하	15(25) 이하	25(25) 이하	25(25) 이하	25(25) 이하
부유물질 (SS) (mg/L)	20(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	20(30) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하	10(10) 이하
총질소(T-N) (mg/L)	40(60) 이하	40(60) 이하	40(60) 이하	40(60) 이하	20(20) 이하	20(20) 이하	20(20) 이하	20(20) 이하	20(20) 이하	20(20) 이하	20(20) 이하	20(20) 이하	20(20) 이하
총인 (T-P) (mg/L)	4(8) 이하	0.2(0.2) 이하	0.3(0.3) 이하	0.5(0.5) 이하	4(8) 이하	0.2(0.2) 이하	0.3(0.3) 이하	0.5(0.5) 이하	2(2) 이하	0.2(0.2) 이하	0.3(0.3) 이하	0.5(0.5) 이하	2(2) 이하
총대장균 군 수 (개/mL)	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000 (3,000)	3,000 (3,000)	3,000 (3,000)	3,000 (3,000)	3,000	3,000 이하	3,000 이하	3,000 이하	3,000 이하
생태독성 (TU)	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하	1(1) 이하

* I지역: 수도법 제 7조에 따라 지정·공고된 상수원보호구역 등 보호의 중요성이 매우 큰 지역

** II지역: 물환경보호법 제22조2항에 따라 고시된 종관역 중 COD나 T-P수치가 동법 제24조2항1호의 기준을 초과할 우려가 큰 지역

*** III지역: 물환경보호법 제22조2항에 따라 고시된 종관역 중 한강, 낙동강, 영산강, 섬진강 수계에 포함되는 지역 중 I, II지역을 제외한 지역

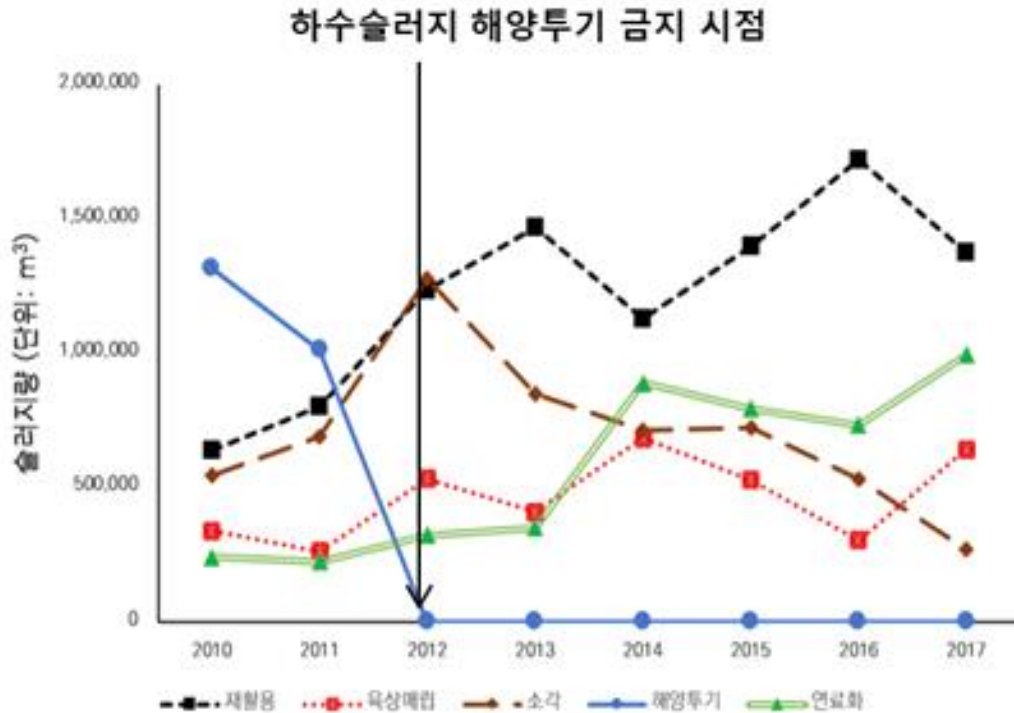
**** IV지역: I, II, III지역이 아닌 곳

[표 3-2] 하수처리장의 처리 방법(박보람, 2019 재구성)

처리 방법	특징 및 구성
물리적 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 중력, 관성, 차단효과(Interception effect, 여과), 확산효과 등 물리적 법칙에 의한 오염물질 제거 방식 - 침사지: 오수중의 부유물질이나 토사 등을 가라앉혀 제거하는 장치 - 스크린: 하수처리에 방해가 되는 조대물질, 협잡물, 모래 및 생물학적 처리공정 이후의 잔류고형물 제거에 사용되는 장치 - 여과: 다공성 막이나 층 등의 여재를 활용해 혼합유체에서 오염물질을 분리하는 장치 - 막분리: 분리막을 이용해 비오염물질을 선택적으로 통과시키는 장치로 여과와 비교 시 정상변화가 발생하지 않음
화학적 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 화학약품에 의한 침전을 발생시키거나 유기물을 직접 제거하는 방식 - 물리적 처리와 혼용 - 응집: 침전되지 않은 콜로이드 형태의 물질이나 침전속도가 느린 부유물질을 침전이 잘 되도록 하는 플록으로 결합시키는 조작
생물학적 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 잔여 부유물을 미생물에 의해 처리하는 방식으로 유기물 처리(호기성, 혐기성) 및 영양염류 처리(질소, 인에 의한 처리)로 구분됨 - 호기성 처리: 산소가 존재하는 조건 하에서 호기성 미생물의 에너지, 세포합성 및 자산화를 통한 오염물질 제거 (CO_2 발생) - 혐기성 처리: 무산소 저건에서 가수분해, 산발효단계, 메탄발효단계를 거쳐 오염물질 제거 (CH_4 발생)

여기서 생물학적 처리의 특징 중 하나로 하수슬러지가 발생한다는 점이 있다. 발생한 하수슬러지의 경우 2012년 전에는 주로 해양투기의 방식으로 버려졌으나 이는 해양오염을 유발한다는 문제가 있어 2012년도에 금지되었다. 이후 슬러지는 연료화 및 재활용 등 자원으로서 활용하는 양이 늘어나고 있는 추세이다. 다음 [그림 3-1]은 국내의 하수슬러지 처리 방법별 비중을 나타낸 그래프이다.

[그림 3-1] 한국의 하수슬러지 처리 방법별 비중



[그림 3-1]에서 확인할 수 있듯 하수슬러지의 처리 방법 중 연료화와 재활용의 비중이 전반적으로 상승하는 추세임을 확인할 수 있다. 그러나 아직 고양시 관내의 하수처리장은 하수슬러지를 재활용하거나 연료화하는 곳이 없는 실정이다.

아래 [표 3-3]은 국내 주요 하수처리장의 신·재생에너지원 운용 현황과 각 하수처리장의 에너지 자립율을 나타낸 그래프이다. 여기서 고양시 소재의 하수처리장은 에너지자립율이 상당히 낮음을 확인할 수 있으며, 바이오가스를 이용(하수슬러지 재활용이 여기에 포함)한 하수처리장들이 대체로 에너지 자립율이 높음 또한 확인할 수 있다.

[표 3-3] 국내 주요 하수처리장의 산·재생 에너지원 운용 현황 및 에너지자립율 (환경부, 2020, 임지열·소가람에서 재인용)

산·재생에너지 구분 (적용 시설 개소수)	주요 적용 대상 시설	월 에너지자립율 (%) ¹⁾	연 에너지자립율 (%) ²⁾
바이오가스 (68개소)	울산시 용연하수처리장	59.0 ~ 93.7	80.8
	대구시 서부하수처리장	29.1 ~ 49.2	40.8
	광주시 광주하수처리장	28.1 ~ 38.3	33.0
	고양시 일산하수처리장	0.0 ~ 17.1	6.2
태양광발전 (233개소)	부천시 굴포하수처리장	0.5 ~ 1.0	7.4
	포항시 포항하수처리장	0.1 ~ 0.8	6.5
	서울시 난지물재생센터	0.1 ~ 0.2	2.9
	고양시 일산하수처리장	-	-
풍력발전 (3개소)	제천시 제천하수처리장	0 ~ 5.08	2.80
	영암군 대불하수처리장	0 ~ 0.016	0.007
	진해시 진해하수처리장	-	-
소수력발전 (6개소)	대전시 대전하수처리장	0.2 ~ 0.4	0.3
	청주시 청주하수처리장	0.0 ~ 1.5	0.7
	안양시 석수하수처리장	0.0 ~ 0.003	0.001
하수열에너지 (4개소)	서울시 탄천하수처리장	-	-
	대구시 서부하수처리장	-	-
	용인시 용인하수처리장	-	-
	남양주시 제1화도처리장	2.35 ~ 6.18	3.10
기타 (9개소)	대구시 신천하수처리장	19.1 ~ 33.6	25.72
	서울시 탄천하수처리장	0.0 ~ 4.8	2.70
	안산시 안산하수처리장	0.1 ~ 5.1	1.26

앞서 제시한 자료들로 볼 때 고양시의 하수처리장 또한 하수 슬러지의 재활용 및 연료화를 바탕으로 방류수의 오염 물질을 저감하는 것과 에너지 자립율을 높이는 방향성을 설정하는 것이 필요한 시점으로 보여진다. 특히 이는 친환경적인 이미지를 바탕으로 COP28 총회 개최를 시도하는 고양시의 이미지에 긍정적인 영향을 줄 수 있으며 하수처리장의 증설 혹은 신설이 필요한 시점이라는 점에서 시의적절한 방향성이라 할 수 있겠다.

2. 하수처리공정의 개선 및 효율화: 유기물 처리

앞서 다루었던 하수처리 방법 중 물리적 처리와 화학적 처리는 전 세계적으로 절대다수의 하수처리장이 활용하고 있는 기법이다. 그러나 앞으로 환경 관련 규제가 강해지는 것은 물론이고 최근 후쿠시마 원전 사태와 관련하여 신·재생에너지의 비중을 늘리는 방향으로 전 세계가 나아가는 추세이다. 이러한 상황에서 방향성으로 제시할 수 있는 것이 생물학적 처리방법의 도입을 통한 방류수의 수질 관리 및 생물학적 처리방법으로 인해 발생하는 슬러지의 자원화를 들 수 있다. 특히 이 분야에서 앞서가는 해외 사례를 보면 일부 하수처리장의 경우 에너지 자립율이 100%를 초과하여 오히려 에너지를 생산하는 하수처리장의 사례(독일 슈트라우빙 하수처리장) 도 있을 정도이다. 아래 [표 3-4] 및 [그림 3-2]는 에너지 자립에 있어 참고할만한 선진 하수처리장 사례이다.

[표 3-4] 참고할 만한 선진 하수처리장 사례-1

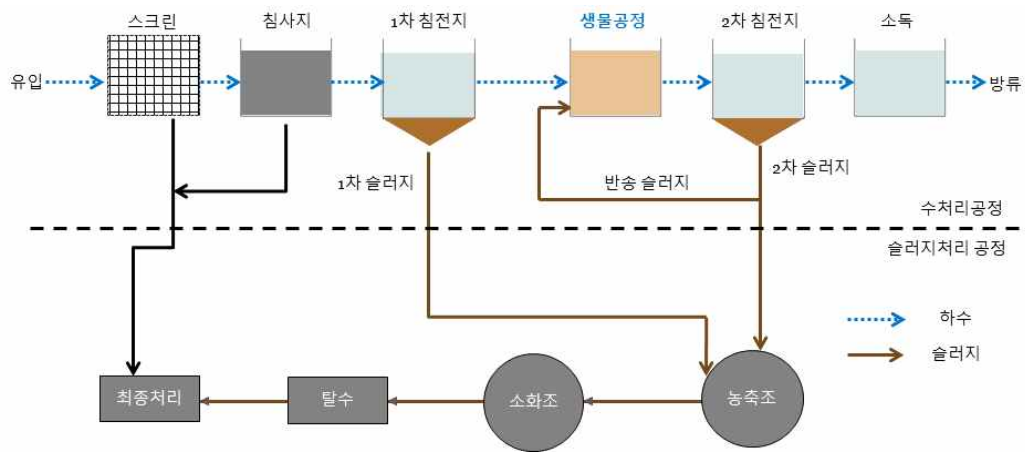
하수처리장 (소재지)	참고사항
Straubing (Germany)	- 에너지 자립율 114% 기록 - 분뇨, 음식물쓰레기 및 도축 시 발생하는 슬러지 처리 도입
Luzern (Switzerland)	- 에너지 자립율 27% (차량 연료로 사용한 에너지는 포함하지 않음)
Bern (Switzerland)	- 에너지 자립율 24% (차량 연료로 사용한 에너지는 포함하지 않음)
Boston (USA)	- 에너지 자립율 30%

[그림 3-2] 참고할 만한 선진 하수처리장 사례-2



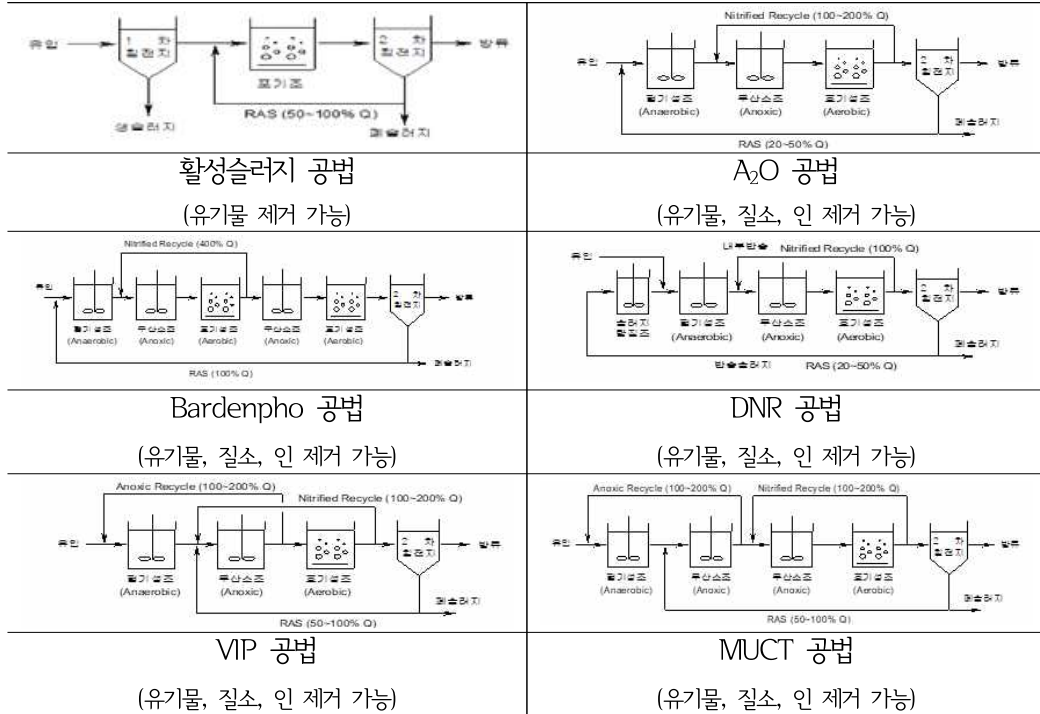
아래 [그림 3-3]은 한국의 일반적인 하수처리장의 처리공정을 나타낸 그림이다. 여기서 별다른 슬러지 처리 공정은 없는 것을 확인할 수 있는데, 이를 바탕으로 효율화 및 공정 개선에 대해 살펴보도록 하겠다.

[그림 3-3] 한국의 일반적인 하수처리공정



전 세계적으로 하수처리 공정은 다양화되고 있으며 그 방향성은 방류수의 수질 관리 효율화를 통한 수질 개선이다. 아래 [그림 3-4]는 최근에 활용되고 있는 대표적인 하수처리 공법들을 나열한 것이다.

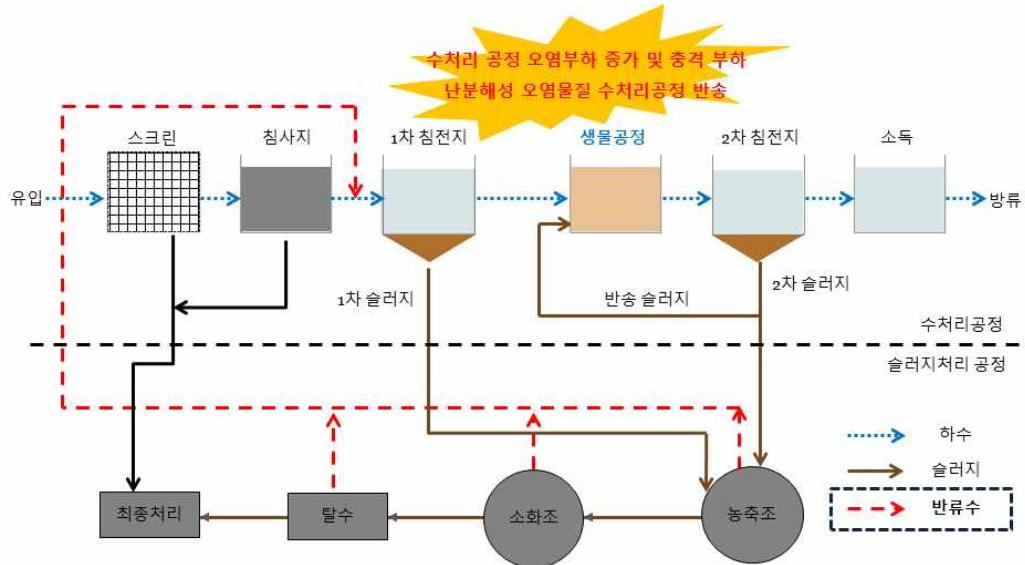
[그림 3-4] 최근의 대표적인 하수처리 공법



여기서 본 연구진은 현재 국내의 일반적인 공정에 쉽게 추가할 수 있는 반류수 처리에 주목하였다. 이는 기본적으로 생물학적 처리공법을 수처리 과정 중에 투입하고 추가적으로 농축조 및 탈수 과정에서 슬러지 처리 후에 남은 물을 침사지와 1차 침전지 사이에 투입하여 수처리 공정상의 오염부하와 충격부하를 저감하고 난분해성 오염물질을 수처리공정에 재투입함으로써 방류수 내의 오염물질을 저감하는 기술이다. 해당 공정의 개요도는 아래 [그림 3-5]와 같다.

그리고 반류수 처리공법의 적용 가능성을 타진하기 위해 일산하수처리장의 반류수 시료를 채취하여 문헌조사에 기록된 반류수의 일반적인 특성들과 비교해 보았다. 이는 아래 [그림 3-6]과 같다.

[그림 3-5] 반류수 처리공법이 추가된 하수처리 공법



[그림 3-6] 반류수의 발생 특성 비교

▷ 반류수 성상 (문헌 조사)

Parameters	유량비(%)	BOD (mg/L)	TSS (mg/L)	TN (mg/L)
하수	100 (기준)	32 ~ 362	31 ~ 648	8 ~ 145
농축조 상징액	0.3 ~ 1.3	32 ~ 871	34 ~ 904	5 ~ 305
혐기 소화 상징액	0.1 ~ 1.2	710 ~ 15,000	770 ~ 20,000	290 ~ 4,600
탈리여액	0.1 ~ 0.33	42 ~ 272	54 ~ 367	4 ~ 477
반류수	1.2 ~ 1.8	500 ~ 1,800	600 ~ 4,200	3 ~ 41

▷ 반류수 성상 (현장조사, 서울 A & B 하수처리장, 일산하수처리장)

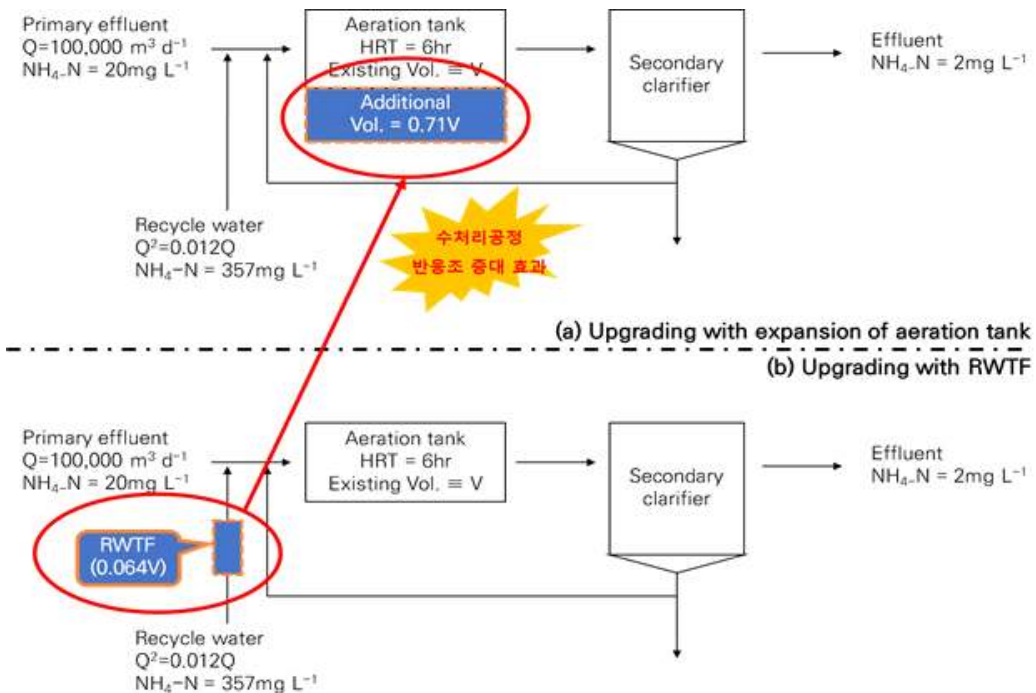
Parameters	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)
하수	210 ~ 250	120 ~ 150	32 ~ 48	27 ~ 40
1차 침전지 상징액	252 ~ 290	92 ~ 105	31 ~ 52	29 ~ 44
농축조 상징액	4,780 ~ 12,200	2,250 ~ 4,200	275 ~ 350	206 ~ 212
혐기 소화 상징액	3,250 ~ 18,400	420 ~ 5,420	304 ~ 1,440	220 ~ 970
탈리여액	380 ~ 1,930	260 ~ 1,130	202 ~ 1,210	160 ~ 950

일산하수처리장의 반류수 특징으로는 일반적인 하수처리시의 반류수 대비 유량은 적었지만 고농도의 오염물질이 함유되어 있음을 확인할 수 있었다. 이는 슬러지 처리를

적절히 하지 못할 경우 오염물질의 배출이 증가할 수 있다는 뜻으로 적절한 조치 및 반류수 재처리가 필요한 상황이라고 할 수 있다.

아래 [그림 3-7]은 반류수 처리 시 공정에 미치는 효율성에 대해 시뮬레이션한 결과이다. 시뮬레이션 결과에 따르면 수처리공정에서의 반응조의 반응이 일정 부분 증대되는 효과를 기대할 수 있으며 이를 바탕으로 공정 자체의 효율성을 개선할 수 있음을 확인할 수 있다.

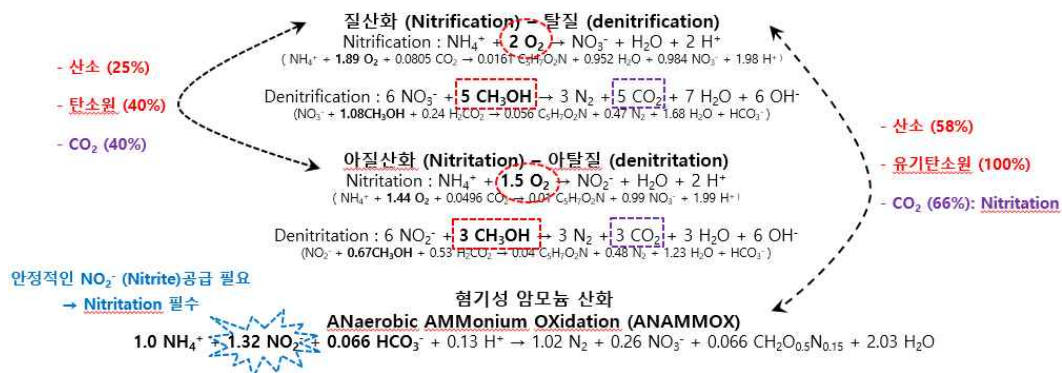
[그림 3-7] 반류수 처리공법의 추가 시 시뮬레이션



3. 하수처리공정의 개선 및 효율화: 무기물 처리

이번에는 무기물 처리에 의한 공정 개선화와 효율에 대해 살펴볼 것이다. 무기물 처리는 크게 2가지 방법으로 질소에 의한 질산화-탈질(Nitrification and Denitrification) 및 암모늄에 의한 산화로 볼 수 있다. 우선 질산화-탈질의 경우 생물학적으로 질소가 처리되는 과정의 특성을 이용한 처리 과정으로 아래 [그림 3-7] 및 [그림 3-8]은 생물학적인 질소 처리 프로세스와 타 공정 간 경제성 비교를 나타낸 것이다.

[그림 3-8] 생물학적 질소 처리 개념도



[그림 3-9] 생물학적 질소 처리와 타 공정간의 효율성 팩터 비교

Nitrogen removal process	산소원 사용 비율	유기탄소원 사용 비율	CO_2 발생량 (이론적)
Nitrification - denitrification	100%	100%	100%
Nitritation - denitritation	74%	63%	60%
Nitritation - ANAMMOX	42%	0%	34%

* EAWAG, Neptune project report

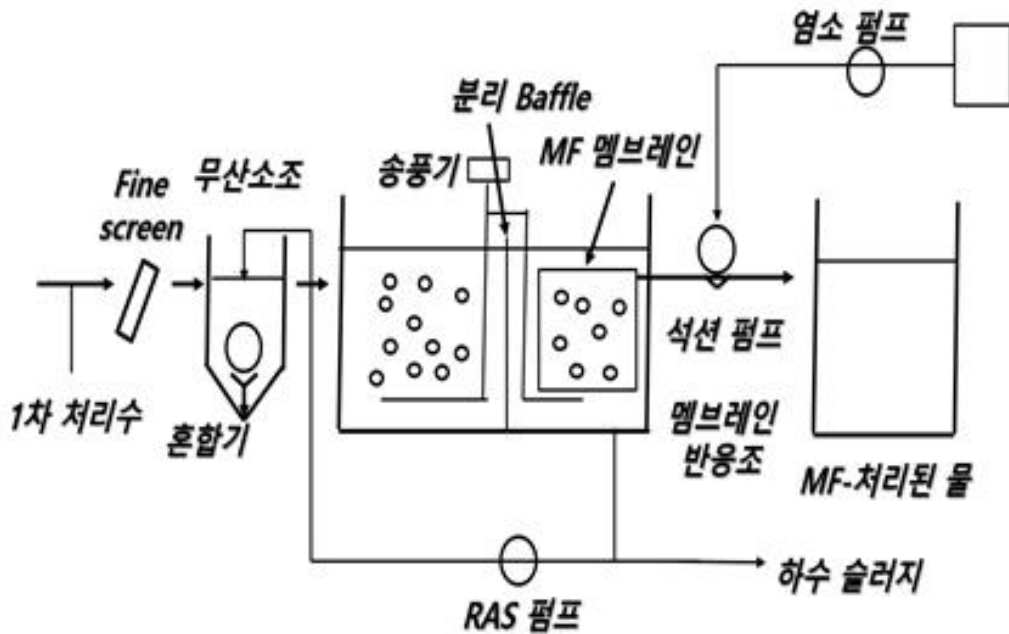
이번에는 주요 질산화-탈질 공법들에 대해서 알아보겠다.

① MBR

MBR(Membrane Bioreactor)은 매립식 침출수와 같은 고농도의 하수찌꺼기 소화탈리액 등을 포함하여 산업 폐수 및 도시 폐수의 광범위한 처리에 적용되었다. 기존 활성슬러지 공정은 floc의 침강성 악화로 인한 슬러지 팽화나 거품 발생으로 인한 침전조에서의 미생물 유실 등으로 처리효율이 저하되는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해서 활성

슬러지 공정의 침전조 대신 도입된 MBR은 미생물의 침전 특성과 관계없이 고액분리가 가능하며 부하 변동에 상관없이 안정적인 처리수를 얻을 수 있는 복합공정이다. 또한 미생물을 고농도로 유지할 수 있어 도시하수 또는 저농도 공장폐수의 경우 BOD 3mg/L 이하로 처리가능 하고, 수리학적 체류시간이 기존 공정의 50%이하로 운전 가능하며 긴 SRT로 인한 슬러지 자산화가 유도되어 슬러지 발생량이 적은 것으로 알려져 있다. 아래 [그림 3-10]은 MBR 공법의 개요도이다,

[그림 3-10] MBR 공법의 개요도

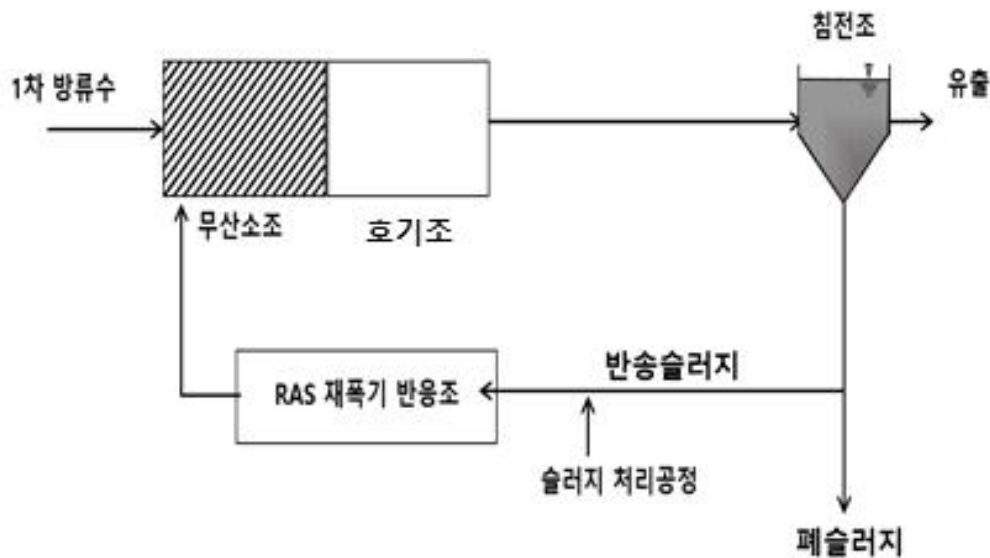


② BAR/R-D-N

본 공법은 미국 및 체코에서 독립적으로 개발된 BioAugmentation Reaeration (BAR) 및 Regeneration - Denitrification-Nitrification (R-D-N) 공정(Tchobanoglous et al., 2014.)으로 RAS 재폭기 반응조(re-aeration tank)에서 고농도의 하수찌꺼기 소화탈리액을 질산화 시킬 수 있다는 점이 특징인 소화조이다. RAS 유량의 추가로 RAS 유량 (또는 재폭기 반응조로 전환 된 RAS의 부분)에 따라 하수찌꺼기 소화탈리액 내 암모니

아성 질소와 기타 성분을 50 배에서 100 배까지 희석하여 질산화를 위한 혼합액 환경을 만든다. 암모니아성질소 부하는 수처리공정의 활성 슬러지 반응조와 본질적으로 동일하므로 수처리 공정의 최대 생체 증식을 제공한다. 기존의 본격적인 시스템의 성능을 토대로, 재폭기 반응조의 HRT는 약 2시간이다. 사전 무산소 구역(pre-anoxic zone)은 0.5 ~ 1시간의 HRT를 갖는 일부 탱크 설계에 포함되어 RAS 질산염 부하의 부분 탈질을 제공한다. 추가 탈질을 촉진시키기 위해 탱크 끝 부분에 HRT가 0.5 ~ 1시간 정도인 무산소 구역을 설치할 수도 있다. 아래 [그림 3-11]은 BAR/R-D-N의 개요도이다.

[그림 3-11] BAR/R-D-N 공법의 개요도



한편 질산화-탈질의 경우 크게 5가지의 기술들로 나뉘어져 있으며 각각의 특성은 아래 [그림 3-12]와 같다.

[그림 3-12] 주요 질산화-탈질 공법의 특성

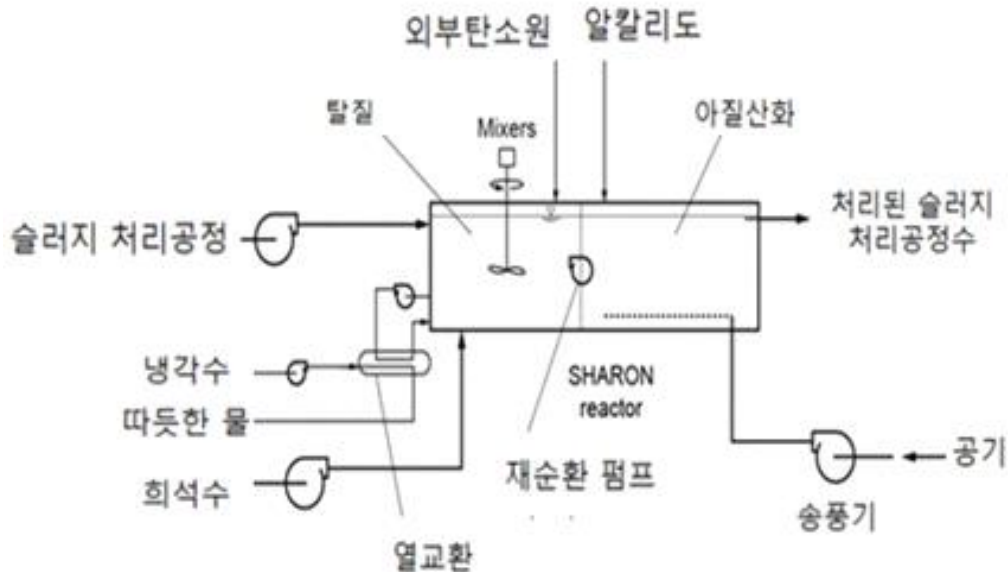
기 술	운전 조건	특성 (경제성 포함)	기 술	운전 조건	특성 (경제성 포함)
MBR	- SRT : 30일 - HRT : 6 ~ 8시간 - F/MB : 0.08 kgBOD/kgMLSS · day - 대부분의 MBR은 매주 30 ~ 60 분 동안 지속되는 화학 약품 정화를 실시하며 여과가 더 이상 내구성이 없어지면 1 년에 1 ~ 2 회 정도 실시함.	- 암모늄질소제거율 : 90% - MBR 운영 비용 (membrain 교체, fouling 방지, 전론 인력 등)은 기존 공정의 비용보다 높음. - 생물학적처리 및 물리적처리를 통해 양질의 유출수 확보 가능	ScanDeNi	- HRT : 2시간 - SRT : 3 ~ 5일 - MLSS : 3000 ~ 3500mg/L - 슬러지 반송율(RAS) : 약 50%	- 암모늄제거 : 85% - 기존 질산화-탈질 공정과 비교하여 동일한 SRT일때 시설규모 25 ~ 35% 감축가능 - 동일 규모일 때 25 ~ 35% 높은 부하 수용가능 - 포기조에 소요되는 산소량이 적어 운영비용이 크게 절감됨
BAR/ R-D-N	- 재폭기조 HRT : 2시간 - 혐기조 HRT : 0.5 ~ 1시간 - pH : 6.6 ~ 7.2 - DO : 0.3 ~ 2 mg/L - 암모니아성 질소성분율 50~100배 희석하여 슬러지처리공정의 질산화를 위한 환경을 만들어야 함	- 총 질소제거율 : 80% - 경제적이며 운전이 용이하고, 기존하수처리시설의 고도처리공정으로 변경 시 적용이 용이하기 때문에 초기비용이 적음	CaRRB	- MLSS : 4500 ~ 14,000 mg/L - SRT : 0.4 ~ 1.0 일 - HRT : 1.3 ~ 3.7 시간 - 산소요구량 : 2800 ~ 4300kg/일 - 유출수 pH : 5.6 ~ 6.5	- 총 질소제거 : 90% - 타 기술대비 암모니아 부하에 따른 탄소 배출량이 적고, 생물학적 처리 효율이 증가되어 전체적인 비용 절감이 가능함 - 농축된 하수찌꺼기 소화탈리엔 처리는 기존의 포기조보다 작은 면적을 차지함 - 탈질을 위해 무산소조로 공급되는 CaRRB에서 운영비용 절감 가능
InNitri®	- 온도 : 30 ~ 38℃ - SRT : 3 ~ 5일 - DO : 3.0 - 평균 질소부하 : 0.4 ~ 0.56kg/m³	- 총 질소제거율 : 87% - 독립적으로 슬러지처리공정을 구현하기 쉬움 - 기존시설과 통합이 가능하기 때문에, 초기비용이 상대적으로 적음			

이번에는 주요 아질산화-아탈질산화 공법들에 대해 알아보도록 하겠다.

① SHARON®

SHARON®(Single reactor system for High activity Ammonium Removal Over Nitrite) process는 네덜란드의 델프트 공대에서 1990년대에 개발되었다. 이 기술은 AOB와 NOB집단의 비대칭 성장을 차이와 온도조절을 통하여 암모니아성 질소를 아질산성 질소까지만 부분질산화시키는 기술이다. 현재 가장 대표적인 (아)질산화 기반 질소 제거 공법으로 SRT를 제어하면 AOB 성장이 일어나지만 NOB 성장은 효과적으로 제한된다. 공정의 기본구성은 밀폐된 단일 또는 이중탱크의 연속교반으로 구성된다. 반응조 하나가 사용되는 경우 아질산화-아탈질산화 반응을 수용하기 위해서는 간헐적인 폭기가 적용되어야 한다. 그러나 대부분은 두 개의 분리된 반응조로 구성된다. (그림 3.11 은 최적의 성능과 제어를 할 수 있는 SHARON®의 모식도이다) SHARON® 반응기에서, 반응조 구역은 분해성 유기 탄소의 탈질을 위해 활용할 수 있도록 산소가 없는 혐기성 형태를 유지해야 한다. 아래 [그림 3-13]은 SHARON 공법의 개요도이다.

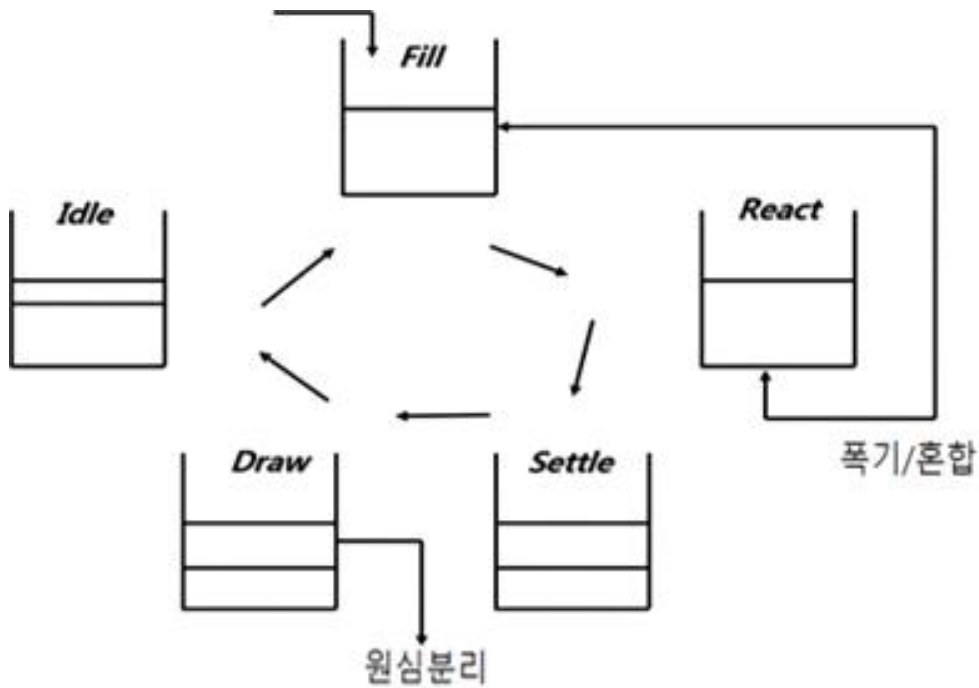
[그림 3-13] SHARON 공법의 개요도



② SBR

가장 일반적으로 수행되는 슬러지공정 처리기술로써, 기계적 혼합으로 설계되어 호기, 무산소 및 혐기조건을 시간에 따라 교차 제공한다. 이처럼 간헐적 포기는 현장 pH 측정(송풍기는 pH가 높은 점에서 켜지고 낮은 점에서 꺼짐)을 통해 송풍기를 제어하거나 특정 시간에 송풍기를 켜고 끄는 방식으로 적용된다. 질소와 인을 동시에 제거할 수 있는 SBR공정은 단일 반응조에 적용하므로 반응조 용적과 부지 면적을 줄일 수 있다는 장점 때문에 소규모 오수 및 하수처리장에 적용되고 있다. 이는 전통적인 하수처리공법의 일종으로 볼 수 있으며 활용하는 방안에 따라 최신 기술을 활용할 수 있는 방식으로 기존 공법을 활용하는 고양시의 하수처리장에 적용이 용이하다는 점을 장점으로 들 수 있다. 아래 [그림 3-14]은 SBR 공법의 개요도이다.

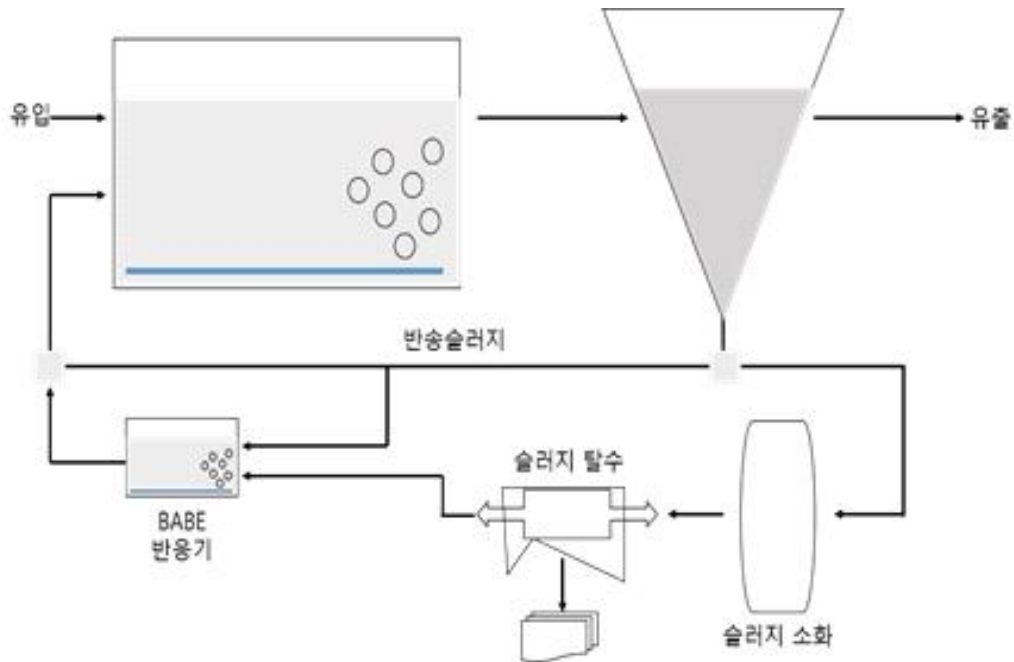
[그림 3-14] SBR 공법의 개요도



③ BABE[®]

BABE[®](Biological Augmentation Batch-Enhanced) 공정은 Delft University of Technology에서 DHV(Royal HaskoningDHV, 네덜란드)와 공동으로 개발하였다. BABE 원자로로 공급되는 Mainstream RAS의 일부는 계절 폐수 온도 변화 및 BABE 원자로에서의 열 손실에 영향을 주는 기후 변화를 고려하여 조정될 수 있다. BABE 특허는 BABE반응조에 대한 RAS 흐름이 전체 RAS의 1 ~ 25 % 인 것으로 설명하고 있지만, BABE 반응조로 공급되는 주처리공정 RAS의 일부는 계절별 폐수 온도 변화 및 BABE 반응조 열 손실에 영향을 주는 온도 변화를 고려하여 조정될 수 있다. 아래 [그림 3-15]는 BABE[®] 공정의 개요도이다.

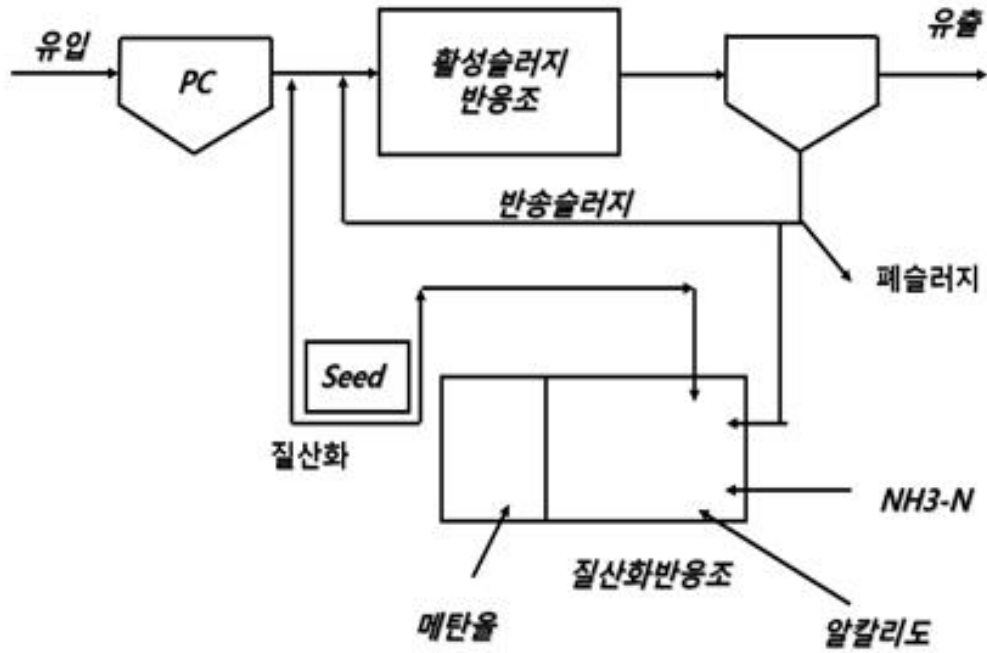
[그림 3-15] BABE® 공법의 개요도



④ AT-3

AT-3 process는 뉴욕 브루클린에있는 제26구 WPCP (Ward Water Pollution Control Plant)의 Aeration Tank #3에 적용된 공정이다. 반응기는 호기성 및 무산소 구역이 교대로 구성된다. 가성소다가 탱크의 길이를 따라 여러 위치에 추가되어 질산화를 지속한다. 내부순환은 제4패스에서부터 탱크의 제1패스에 적용되어 슬러지 처리 공정의 추가 지점 (부류 유동의 100 %)에서 $\text{NO}_x\text{-N}$ 을 제공한다. 질산화 미생물이 풍부한 탱크의 혼합액은 주류 RAS의 나머지 부분과 결합하여 주처리공정으로 이동한다. 아래 [그림 3-16]은 AT-3 공정의 개요도이다.

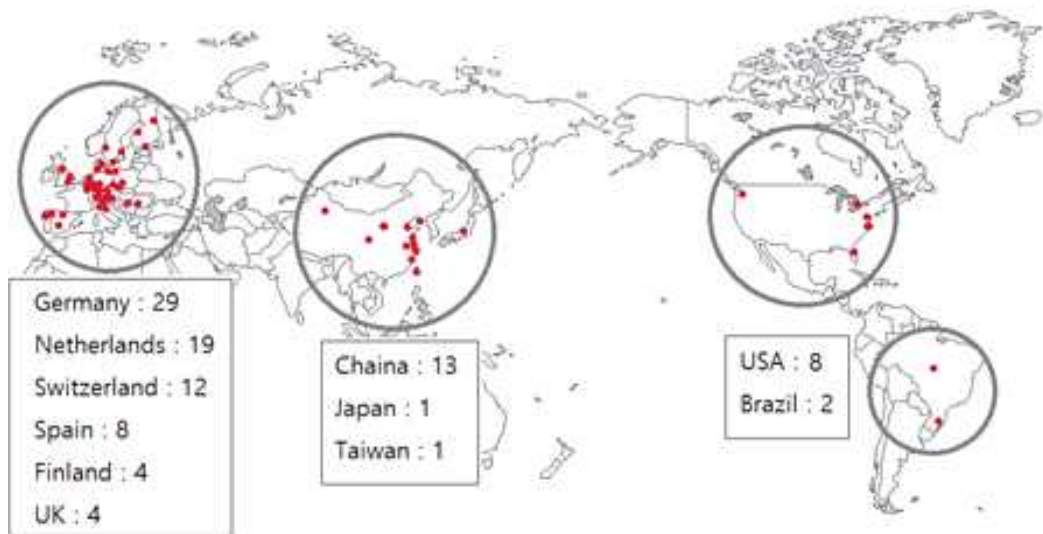
[그림 3-16] AT-3 공법의 개요도



4. 하수처리공정의 개선 및 효율화: 무기물 처리-혐기성 암모늄 산화

이번에는 무기물 처리의 일종인 혐기성 암모늄 산화에 대해서 살펴볼 것이다. 이는 ANAMMOX라고도 불리며 ANaerobic AMMonium의 약어이다. 이 공정은 무기 탄소원을 소모하여 부유물 등을 제거하는 방식으로 혐기성 조건을 갖추어야 하면서 매우 민감한 가동 조건을 가지고 있는 것이 특징이다. 암모니아성 질소 및 아질산성 산소를 제거하는 것이 핵심이지만 산소나 암모니아성 질소 및 아질산성 질소 저해 물질에 대한 효과를 가지고 있는 것으로 파악되고 있다. 이렇듯 광범위한 오염원 제거가 가능한 점은 미생물의 매우 느린 성장 속도라는 단점에도 불구하고 미래 하수처리 공법의 핵심 기술로서 부상하게 되었다.

[그림 3-17] ANAMMOX 공법 도입 국가



위 [그림 3-17]은 ANAMMOX 공법을 도입한 국가들을 표시한 것으로 전 세계에서 현재 110여 개의 하수처리장에 도입된 공법이다. 대부분의 하수처리장에서 슬러지 처리 이후 발생한 폐액의 처리에 활용하고 있으며 국내에서도 2017년에 부산 강변하수처리장에 처음으로 도입된 바 있다. 한편 이 공법의 유용성으로 인해 국내에서 2013년에 한국과학기술정보연구원이 선정한 미래 유망기술 10선에도 선정된 바 있으며 현재도 관련 연구

가 지속되고 있는 유망한 분야이다. 아래 [표 3-5]는 관련 선행연구들을 정리한 내용이다.

[표 3-5] ANAMMOX 관련 선행 연구 정리

Title	Author	Journal (권(호)/(Year)/Page)	Summary
Substrate inhibition and concentration control in an UASB-Anammox process	Haiyuan Ma et al.	Bioresource Technology 238 (2017) 263-272	<ul style="list-style-type: none"> - UASB-Anammox reactor - UASB-Anammox reactor was obtained when the influent TN concentration was below 451.1 mg/L.
Physicochemical and microbial properties of settled and floating anammox granules in upflow reactor	Yu-Xia Song et al.	Biochemical Engineering Journal 123 (2017) 75-85	<ul style="list-style-type: none"> - A lab-scale UASB reactor - Nitrogen removal efficiency (NRE) of 90.5% under the short HRT of 1.0 h - Granules' flotation becomes inevitable in high-rate anammoxreactors.
Biological nitrogen removal from sewage via anammox Recent advances	Bin Ma et al.	Bioresource Technology 200 (2016) 981-990	<ul style="list-style-type: none"> - The premise of achieving nitrogen removal via anammox, could be achieved through forming anammoxbiofilm or anammox granular sludge - Anammox can even accumulate in sludge floc at 30 C. - Supply nitrite for anammox bacteria to enhance anammox nitrogen removal in sewage treatment plants
Process stability and the recovery control associated with inhibition factors in a UASB-anammox reactor with a long-term operation	QiguiNiu et al.	Bioresource Technology 203 (2016) 132-141	<ul style="list-style-type: none"> - The purpose of optimizing the operation conditions of the UASB ANAMMOX reactor (pH 7.5-8.5, FA below 10 mg/100 mg NH₄⁺ -N and an FNA below 0.005 mg/100 mg NO₂⁻ -N)

Influence of temperature and pH on the anammox process A review and meta-analysis	Mariusz Tomaszewski et al.	Chemosphere 182 (2017) 203 - 214	<ul style="list-style-type: none"> - Mathematical analysis of the literature data (Temperature and pH on the anammox process) - 10 °C and 15 °C is also possible when preceded by gradual adaptation - C. Brocadiasinica and C. Kueneniastuttgartiensis (The highest ability to adapt to low temperatures) - A mathematical analysis of the literature data suggests greater importance of pH at lower temperatures
Combined SHARON and ANAMMOX processes for ammoniacal nitrogen stabilisation in landfill bioreactors	S. Sri Shalini et al.	Bioresource Technology 250 (2018) 723-732	<ul style="list-style-type: none"> - Combined SHARON-ANAMMOX processes in situ pilot-scale landfill bioreactors - Total nitrogen and ammoniacal nitrogen removal efficiency of 84% and 71% - Nitrogen massbalance demonstrated in situ SHARON-ANAMMOX advantageous than control LFBR with higher nitrogen transformation to N₂ (50,8%) and lower residual nitrogen in solid waste (7,7%)
Start up of anammox process with activated sludge treating high ammonium industrial wastewaters as a favorable seeding sludge source	Yong-Zhi Chi et al.	International Biodeterioration & Biodegradation 127 (2018) 17-25	<ul style="list-style-type: none"> - Cloning analysis showed that all of the five final anammox sludge were dominated by Brocadia or Brocadia-like species
Stable long-term operation of an upflow anammox sludge bed reactor at mainstream conditions	Clara Reino et al.	Water Research 128 (2018) 331-340	<ul style="list-style-type: none"> - A stable long-term operation with high nitrogen removal rates was achieved in a UASB anammox reactor at mainstream conditions - Nitrogen loading rate as high as $1,8 \pm 0,1 \text{ g N L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ with $82 \pm 4\%$ of nitrogen removal was achieved at 11 °C treating the lowstrength synthetic influent

Significance of pH control in anammox process performance at low temperature	Mariusz Tomaszewski et al.	Chemosphere 185 (2017) 439-444	<ul style="list-style-type: none"> - Optimal pH was observed between 7,0 and 7,5, but results indicate that there is no statistically significant interaction between pH and temperature - The optimal pH range narrows along with the temperature decrease
--	----------------------------	--------------------------------	---

ANAMMOX 공법은 크게 Granular, Suspended growth, Attached growth 로 나눌 수 있으며 해당 내용은 아래 [표 3-6]과 같다.

[표 3-6] ANAMMOX의 분류

1. Granular		
기술	운전 조건	특성 (경제성 포함)
DEMON	<ul style="list-style-type: none"> - 호기조 DO : 0.3mg/L 이하 - SRT : 50일 이상 - 암모늄질소부하율 0.7 kg/m³-d - DO : 0.1mg/L 이하 - MLSS 2,000 ~ 3,000mg/L - F/M: 0.15 ~ 0.50 	<ul style="list-style-type: none"> - 암모늄질소 제거 : 90 ~ 95% - 총 무기질소 제거 : 80 ~ 85% - 총 인 : 30 ~ 70% - 공정의 운전 비용이 낮음 - 외부 탄소원 추가 투입이 필요 없음 - 공정이 기존의 설비에 쉽게 적용 가능
Clear green™	<ul style="list-style-type: none"> - MLSS : 2,000 ~ 3,000mg/L - F/M비 : 0.15 ~ 0.50 - DO : 0.5 mg/L 이하 - 암모늄질소부하율 0.55~0.7 kg/m³-d 	<ul style="list-style-type: none"> - 암모늄질소제거 : 96% - 총 무기질소 제거 : 86% - 슬러지의 침전 가능성이 낮아 야나막스 박테리아가 유출될 경우 미생물 재공급 또는 배양에 추가 시간 또는 비용이 소모됨

NAS ²	<ul style="list-style-type: none"> - Specific loading rate 0.17 ~ 0.23 kg/m³-d - SRT : ANAMMOX- 37hr 질산화반응조 - 46hr - DO : 0.3 ~ 0.9mg/L - F/M비 : 0.2 ~ 0.4 	<ul style="list-style-type: none"> - 암모늄질소제거 : 70% - 총 무기질소 제거 : 86% - 탈질 시 외부탄소원 공급이 필요 없음 - 슬러지 발생량 적음
UASB	- HRT : 4 ~ 10시간	-

2. Suspended growth

기술	운전 조건	특성 (경제성 포함)
Two-stage SHARON- ANAMMOX	<ul style="list-style-type: none"> - HRT : 1일 이하 - ANAMMOXSRT : 1 ~ 2.5일 	<ul style="list-style-type: none"> - 암모늄제거: 90 ~ 95% - 총 무기질소 제거 : 80 ~ 85% - 총 인 제거 : 30 ~ 70% - 공정의 운전 비용이 낮음 - 외부탄소원 투입이 필요 없음 - 공정이 기존의 설비에 쉽게 적용 가능
Single- stage ANAMMOX	<ul style="list-style-type: none"> - DO농도 : 0.17 ± 0.08mg/L - SRT : 10일 - MLSS : 3,350 ~ 11,000mg/L - 온도 : 32 ± 1 °C 유지 - HRT : 6시간 	<ul style="list-style-type: none"> - 암모늄질소제거 : 90% - 질소 제거속도: 0.73kg/m³-d - 폭기에소비되는 에너지 소비가 약 63% 절감됨 - 슬러지처리(취급)와 운송에 소요되는 비용이 90% 감소됨

3. Attached growth

기술	운전 조건	특성 (경제성 포함)
ANITATM Mox	<ul style="list-style-type: none"> - DO : 0.5 ~ 1.5 mg/L - Biofilm surface area : 1,200 m²/m³ - 소량의 Media 사용 → 시작시간을 10개월에서 4개월로 크게 단축 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지소비량 1.6-1.9 kWh/kg-N-removed - 질소제거속도 : 1.2 kg-N/m³-d - 총 질소 제거 : 약 80 ~ 90% - 슬러지처리 공정에 적용 시 비용이 약 60 %, 유지관리 비용이 20 ~ 75 %까지 절감

Terra-N	<ul style="list-style-type: none"> - 질소부하율 0.4 ~ 1.0 kg/m³-d 	<ul style="list-style-type: none"> - 총 질소제거: 약 90% - 총 무기질소제거 : 80 ~ 90% - 질소제거속도 0.4 ~ 1.1kg N/m³-d - 슬러지처리공정을 따로 분리함으로써 안정된 공정 - 외부 탄소원 가성소다 등의 화학물질을 첨가하지 않음
DeAmmon	<ul style="list-style-type: none"> - 폭기시간 : 20 ~ 50분 - 무산소 공정 시간 : 10 ~ 20분 - DO : 3mg/L 이하 	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지소비율 2.3 kWh/kg-N-removed - 무기 질소 제거 효율 : 70 ~ 85% - 암모늄질소 제거속도 1.5 g-N/m²-d - 아나막스박테이라의 초기 증식을 위한 외부탄소원 필요 - 반응조 직렬 또는 병렬 작동이 가능하도록 배관설계 가능
SNAD	<ul style="list-style-type: none"> - 질소부하율: 0.5 kg/m³-d - DO : 0.2 ~ 0.5mg/L - 온도 : 약 30°C - SRT : 18일 - C/N비 : 0.42 ~ 0.55 	<ul style="list-style-type: none"> - 총 질소제거: 약 80% - 전력 비용이 적게 소모됨 - 넓은 설치 면적이 필요 없음 - 유기탄소원사용량이 적음 - 슬러지 발생량이 적음 - 이산화탄소를 적게 배출 - 매립지 침출수 대상 처리

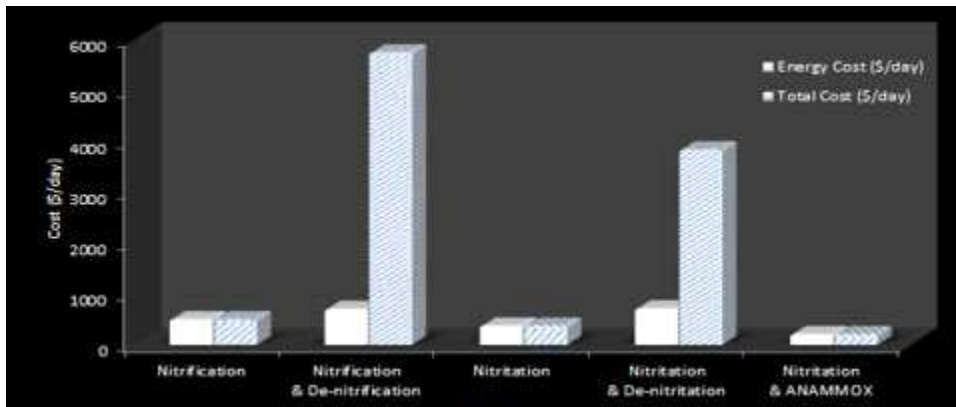
아래 [그림 3-18] 및 [그림 3-19]은 ANAMMOX 공법의 비용을 다른 공법들과 비교하여 계산한 결과이다.

[그림 3-18] ANAMMOX공법의 비용 비교-1

▷ Cost calculation for treatment of recycle water (goal: $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal 90%, TN removal 77%)

Reactor 1	Reactor 2	Aerobic Vol	Anoxic Vol	Anaerobic Vol	Aera	Aeration Power	Mixing power	MeOH	Chemical Cost	Energy Cost	Total Cost
		m ³	m ³	m ³	m ²	kWh/day	kWh/day	kg/day	\$/day	\$/day	\$/day
Nitrification	-	8,559	-	-	2,140	5,003	-	-	0	500	500
Nitrification	De-nitrification	8,559	4,431	-	3,248	1,699	531	11,298	5039	702	5,740
Nitrification	-	6,587	-	-	1,647	3,721	-	-	0	372	372
Nitrification	De-nitrification	6,587	4,431	-	2,754	1,807	531	6,998	3121	712	3,834
Nitrification	ANAMMOX	6,587	-	49,775	14,085	2,067	-	-	0	207	207

[그림 3-19] ANAMMOX공법의 비용 비교-2



또한 ANAMMOX 공법은 하수처리장 운영 시 T-N 제거율 향상이나 이산화탄소 배출 저감 등 이점이 많으므로 추후 고양시에 새로운 하수처리장 건설 시 고려 대상에 들어갈 공법이라고 할 수 있다.

제2절 주민친화시설로의 변화

이 절에서는 현재 하수처리시설이 대표적인 NIMBY시설로의 인식에 대한 전환을 위한 개선 방안을 제안하고자 한다. 인간이 살아가면서 발생할 수밖에 없는 하수를 처리하는 시설이지만 냄새나 근처 수원의 오염으로 하수처리장이 기피시설이 된 지는 오래이나 이로 인해 하수관거의 연장이 늘어나고 지속된 도시화로 인해 지속적인 비용 상승의 원인이 되고 있는 상황이다. 이는 현재 3기 신도시 지역인 계양, 대장(부천)택지지구 내의 부천북 부수자원생태공원의 지하화 요구로 이어졌으며 서울시의 하수처리장을 품고 있는 고양시에서도 유사한 문제가 불거질 수 있는 상황이다. 따라서 현재 지하화 및 공원화가 이루어진 다른 하수처리장의 현황 등을 살펴보고 이에 대해 제안하도록 하겠다.

아래 [표 3-7]은 국내에서 지하화된 하수처리장의 개요이다.

[표 3-7] 지하화된 하수처리장 개요

	
<p>의정부 낙양물사랑공원</p> <ul style="list-style-type: none"> - 경기도 의정부시 - 하수처리용량: 16,000 m³/일 - 사업비용: 653억 원 (최초 지하화 계획) - 체육시설, 물놀이시설 및 공원 등 	<p>안양새물공원</p> <ul style="list-style-type: none"> - 경기도 안양시 - (운영 중 하수처리장 지하화 → 국내 최초) - 하수처리용량: 300,000 m³/일 - 사업비: 3,297억원 - 산책로, 체육시설 및 공원 등



성남 수질복원센터

- 경기도 성남시
- 하수처리용량: 460,000 m³/일
- 사업비용: 4,000억 원
- 승마장, 골프장, 체육시설 및 공원 등



용인 레스피아

- 경기도 용인시
- 하수처리용량: 56,000 m³/일
- 사업비: 1,052억원
- 체육시설 및 공원 등



중랑물재생센터

- 서울특별시
- 하수처리용량: 1,590,000 m³/일 (하수 및 분뇨 등)
- 사업비용: 6,000억 원
- 승마장, 골프장, 체육시설 및 공원 등
- 서울하수도과학관 및 물 산업 클러스터 조성
(물산업관련 연구 및 기술 검증)



한편 이번에는 공원화된 사례를 살펴보도록 하겠다.

[표 3-8] 공원화된 하수처리장 개요

	
<p>화도하수처리장</p> <ul style="list-style-type: none"> - 경기도 남양주시 - 하수처리용량: 43,000 m³/일 - 사업비: 20억 - 공원, 인공폭포 및 물놀이시설 설치 	<p>북부수자원생태공원</p> <ul style="list-style-type: none"> - 경기도 부천시 - 하수처리용량: 900,000 m³/일 - 사업비: 13억원 - 체육시설 및 공원 운영
	
<p>광주 제1하수처리장(계획)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 광주광역시 - 하수처리용량: 600,000 m³/일 - 사업비: 70억원 - 생태도시 숲, 체육시설 및 산책로 등 	<p>곡성하수처리장</p> <ul style="list-style-type: none"> - 전라남도 곡성시 - 하수처리용량: 4,500 m³/일 - 사업비: 10억원 - 야외 생태체험장 및 공원 등

지하화 혹은 공원화된 하수처리장의 경우 절대다수가 공원으로 활용하여 시민들에게 휴식공간을 제공하는 용도로 활용되고 있었다. 한편 비용적인 측면으로 보았을 때 지하화는 상대적으로 많은 비용(3배 이상)이 소모되었음을 알 수 있다. 따라서 추후 기존 하수처리장의 증설 등 개선 계획 시 이에 대한 신중한 검토를 바탕으로 사업이 이루어져야 할 것이다. 해당 내용에 대해서는 다음 [표 3-9]에 정리해 보았다.

[표 3-9] 지하화 및 공원화의 가격 비교

지하화			공원화		
처리장	시설	비용	처리장	시설	비용
낙양 물사랑공원	공원 및 체육 시설 등	653 억원	화도 하수처리장	공원 및 인공 폭포 등	20억원
안양새물공원	공원 및 체육 시설 등	3,297 억원	북부 수자원생태공원	공원 및 체육 시설 등	13억원
성남 수질복원센터	공원 및 체육 시설 (승마장 및 골프장) 등	4,000 억원	광주 제1하수처리 장(계획)	생태도시 숲, 체육시설 등	70억원
용인레스피아	공원 및 체육 시설 등	1,052 억원	곡성 하수처리장	생태체험장 및 공원 등	10억원
중랑 물재생센터	공원, 체육시 설 및 물산업 연구 단지 등	6,000 억원	원능하수처리장 - 2008년 19억원 벽제하수처리장 - 2007년 10억원 삼송하수처리장 - 2014년 10억원		

제3절 기타: 생물학적 공정 도입

한편 현재 떠오르는 하수처리 방식 중 하나로 조류를 이용한 하수처리 방법이 각광받고 있다. 이는 조류의 광생물반응공정을 활용한 것으로 이를 활용한 하수 내 오염물질의 회수 및 자원화 기술 등의 논의가 이루어지고 있다. 현재의 관점에서 조류는 영양염류의 과다 유입으로 인해 수계에 부영양화가 발생하여 미세조류가 급속히 증식하여 녹조 혹은 적조현상을 일으킨다는 개념으로 접근하고 있다. 녹조나 적조는 결정적으로 물의 용존산소량을 감소시켜 수생태계에 악영향을 일으키거나, 독성 조류로 인해 발생하는 유독한 영향으로 인해 수자원의 활용가치를 감소시키는 역할을 한다. 아래 [그림 3-20]은 녹조로 인한 피해 사례들의 사진이다.

[그림 3-20] 적조, 녹조 현상으로 인한 피해



그러나 현재는 미세조류의 특성(광합성)을 이용하여 하수처리에 활용하는 기술에 대한 구상이 이루어지는 중이다. 이와 관련하여 앞으로의 하수처리시설 증설 계획 수립 시 관련 연구들을 지속적으로 확인 및 검토하여 효과성이나 효율성, 친환경성 등을 확인 후 도입의 효과가 크면 도입할 수 있도록 할 필요성이 있다.

제 4 장

결 론

결론

본 연구에서는 성장하는 고양시에 맞추어 현재 고양시에서 확보하고 있는 하수처리 용량 및 고양바이오매스 에너지 시설 용량의 적정성 검토, 자원순환도시 구축을 위한 에너지 자립화 방안, 자원순환시설의 효율화 방안 및 시민 친화 공간 조성 방안에 대해 연구하였으며, 이를 바탕으로 도출된 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 하수처리 용량 및 고양바이오매스 에너지 시설 용량의 적정성 검토

고양시에서 발생하는 하수는 삼송하수처리장, 벽제하수처리장, 원능하수처리장, 일산하수처리장 및 난지하수처리장 (서울특별시 위탁 처리)을 통해 처리가 이루어지고 있으며, 440,000 톤/일 (420,000 톤/일 확보, 24,000 톤/일 신설 및 증대 예정)의 하수처리 용량을 확보하고 있다. 또한, 음식물류폐기물 처리를 위한 고양바이오매스 에너지 시설의 용량은 260 톤/일 (음식물류폐기물 250 톤/일 및 가축분뇨 10톤/일)의 용량을 보유하고 있다.

다양한 인구 추정 방법을 기반으로 분석한 고양시 인구 추정 결과(통계청 추정결과 포함)와 2018년 하수 발생 원단위[0.4 톤/인/일, 2018년 국내 하수 총 발생량 (톤/일) / 국내 총 인구 (인)]를 활용하여 고양시 하수발생량을 추정한 결과 2030년에는 고양시 하수처리 총 용량 (444,000 톤/일)을 초과할 것으로 분석되었다. 동일한 방법을 통해 개별 하수처리장 별 하수처리구역 내 인구 및 하수발생 원단위를 기반으로 하수처리장 용량 추정결과, 원능하수처리장, 벽제하수처리장 및 삼송하수처리장은 용량 부족 현상이 발생하여 이에 대한 대비가 필요할 것으로 분석되었다. 또한, 국내 하수처리장 건설비 및 건설기간 자료를 기반으로 2030년 안정적인 하수처리장 운영(가동율 70%)을 위한 추가 하수처리장 건설비용(신규 건설 기준, 난지하수처리장 하수처리 미고려) 분석

결과, 하수발생량 기준으로는 원능하수처리장 3.5년 & 520억원, 벽제하수처리장 3.5년 & 520억원 그리고 삼송하수처리장 3.2년 % 97억원으로 분석되었다. BOD 부하량 기준으로는 일산하수처리장 3.5년 & 720억원, 원능하수처리장 3.4년 & 300억원 그리고 벽제하수처리장 3.5년 740억원으로 분석되었다.

음식물류폐기물 발생량은 고양시 인구 추정 결과, 생활폐기물 발생량 및 생활폐기물 내 음식물류폐기물 비율을 기반으로 분석하였으며, 현시점에서 이미 발생량이 초과한 (275톤/일 발생, 처리량은 최대 일 260톤) 것으로 분석되었다. 따라서 일부 넘치는 용량의 경우 지속가능하지 못한 방법으로 처리될 것으로 추정되며 이에 대해서는 시급히 용량 증설 혹은 신규 처리시설을 도입해야 할 것으로 확인되었다.

2. 하수처리장 에너지 자립화 방안

고양시 하수처리장의 에너지 자립을 향상을 위해서는 바이오매스 에너지, 태양광 에너지, 소수력 발전 및 하수열에너지 등과 같은 신·재생에너지 설비를 도입할 필요가 있다. 하지만, 무엇보다 하수처리장 슬러지처리공정의 혐기 소화 공정을 통해 확보할 수 있는 바이오매스 에너지를 적극적으로 활용할 필요가 있다. 또한, IOT 기반의 하수처리장 지능화를 통해 운영 시 에너지 손실을 절감시킬 필요가 있으며, 하수처리장 내 노후 설비 교체 등을 검토할 필요가 있다.

3. 하수처리장 효율화 방안

고양시 하수처리장 효율 향상을 위해서는 수처리 및 슬러지처리공정의 통합적 처리의 개념으로 접근이 필요하다. 이를 위해서는 하수처리장 슬러지 처리공정에서 발생하는 고농도 오염물질을 함유한 반류수 (농축조 상징액, 혐기 소화 상징액, 탈리여액) 처리 공정을 도입할 필요가 있다. 특히, 반류수 처리 시 이산화탄소 발생량 절감, 에너지 절감형 및 경제적인 장점이 있는 공법(아질산화 기반 공법 및 혐기성 암모늄 산화 기반 공법) 도입을 적극적으로 검토해야 할 것이다.

4. 시민 친화 공간 조성 방안

과거 혐오 시설로 인식되던 하수처리장 및 음식물류폐기물 처리 시설 등과 같은 자원 순환시설을 시민 친화 시설로 조성하려는 정책이 주목받고 있다. 현재, 고양시 자원순환 시설 중 삼송하수처리장은 지하화를 통해 상부 공간은 공원 및 체육시설 등으로 조성되어 시민 친화 시설을 제공하고 있다. 반면, 일산하수처리장, 원능하수처리장 및 벽제하수처리장은 다소 부족한 상황으로 분석되었다. 만약, 이와 같은 기존 하수처리장에 대해 지하화 사업을 추진할 경우 사업 난이도 상승으로 인해 사업비 및 사업 기간 증가가 예상되며, 고양시의 재정 및 하수처리 운영에 문제점 유발할 가능성이 높다. 따라서, 기존 하수처리장에 대해서는 하수처리장 유희부지 및 인근 지역의 공원화 등을 통해 시민친화 공간을 조성하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 강연준, & 장용철. (2019). S 시 하수처리장의 잠재 에너지원 활용과 온실가스 감축 효과 분석 연구. 한국폐기물자원 순환학회지, 36(1), 41-48.
- 김갑수(2007) 『중랑 및 서남 물재생센터(하수처리장) 고도처리에 따른 부지의 효율적 활용방안』, 서울연구원
- 김귀훈. (2019). 물-에너지-식량 넥서스를 위한 시설재배지 물-에너지 관계 분석 (Doctoral dissertation, 서울대학교 대학원).
- 김호영. (2001). 지하 하수 처리장의 설계사례. 한국임반공학회 학술대회 및 세미나 자료집, 3-16.
- 대한민국정부합동(2020). 제2차 국가 온실가스 통계 총괄관리계획(2020~2024).
- 서울특별시(2007) 『서울시 중랑 물재생센터 운영현황』
- 송민수, 김형호, & 배효관. (2020). 에너지 생산형 하수처리장을 위한 가용 기술과 통합관리 방안. 한국물환경학회지, 36(1), 55-68.
- 박지수(2018). 『서울시 침수피해지역의 분포와 원인규명』, 석사학위논문, 서울대학교 일반대학원.
- 박진서, 차동원, & 서승직. (2009). 우리나라의 음식물쓰레기처리 방법의 개관. 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 427-432.
- 유호성. (2019). Water-Energy Nexus 에 의한 하수처리장 에너지 자립화 고찰 (Doctoral dissertation, 한양대학교).
- 조승희(2013) 『공공하수처리시설의 에너지 50-50-50 전략 추진 방안』, 전남발전연구원
- 조승희(2016) 『광주광역시 공공하수처리시설의 에너지 효율 개선 및 자립화 방안』, 광주전남연구원
- 한국상하수도협회(2011). 『하수도시설기준』, 환경부.
- 한국환경정책·평가연구원(2019) 『공공하수처리시설 에너지자립화 정책방안 연구』, 환경부.

Lee, M., Keller, A. A., Chiang, P. C., Den, W., Wang, H., Hou, C. H., ... & Yan, J. (2017). Water-energy nexus for urban water systems: A comparative review on energy intensity and environmental impacts in relation to global water risks. *Applied Energy*, 205, 589-601.

Tsolas, S. D., Karim, M. N., & Hasan, M. F. (2018). Optimization of water-energy nexus: A network representation-based graphical approach. *Applied energy*, 224, 230-250.

Abstract

Research on Improvement Resource Recycle plant in Goyang city: focusing on municipal wastewater treatment plants and biomass energy facilities

Jiyeol Im*, GARAM SO*

Global warming is a major problem facing humanity at present, and globally, like the Paris Climate Agreement, is seeking ways to reduce or adapt to greenhouse gases. Accordingly, Korea is also continuing its efforts to reduce greenhouse gases, and as part of this, the goal of reducing greenhouse gases in the waste sector is set at 28.9%. To support these policies, it can be said that the efficiency of environmental infrastructure, energy independence, and waste resource conversion is essential.

This study was conducted by reflecting on this situation. In the case of Goyang, the population is continuously increasing due to the continuous urban expansion and the development of new housing districts, and it is a city with high growth potential due to the plan to develop the third new city, Changneung New City. This means that there will be an influx of more population, which will increase the demand for environmental infrastructures such as water supply, sewage, and waste treatment. At this point, it is indispensable to check the current status of environment-related basic facilities in Goyang City, predict future demand, and prepare appropriately. As part of this study, sewage treatment plants and food waste treatment plants were examined. Also, in the process, measures to increase the efficiency of facilities and other directions were sought as a way to resolve the shortage of supply versus demand.

Now, Goyang City operates four sewage treatment plants, and some of the sewage in Goyang City is treated through the Nanji Sewage Treatment Plant operated by Seoul City.

The utilization rate of the sewage treatment plant in Goyang City is currently around 70%, and it is estimated that it will exceed the current treatment capacity by 2030, considering the growth rate of a natural population. In the case of food waste treatment plants, Goyang City is currently handling one facility, and it is estimated that the capacity will be exceeded around 2030. Based on this, the construction period and cost were estimated in two scenarios, taking into account the cost of using only the facilities in Goyang City and that the Seoul Metropolitan Government handled it. Therefore, it was confirmed that it was necessary to secure a budget and approach through appropriate planning.

Meanwhile, the concept of integrated treatment of water and sludge treatment was proposed to avoid unconditional capacity expansion and to increase efficiency and operate an eco-friendly sewage treatment plant. As part of this, the nitrous oxide-based method and the anaerobic ammonium oxidation-based method were recommended, and the process using microalgae currently under study was introduced. Also, in order to improve the management efficiency of these facilities and change their image as a resident-friendly facility, the introduction of IoT and resident-friendly facilities in the operating system was suggested.