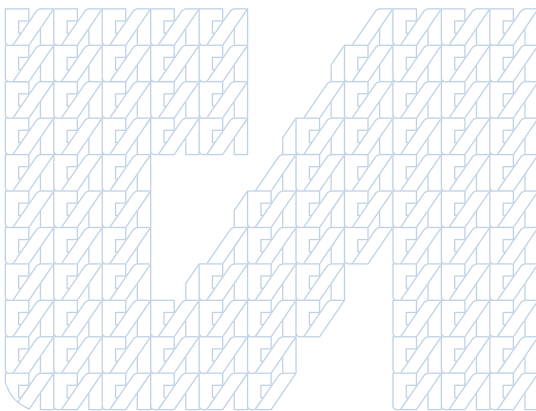


배출권거래제 하수처리 공정운영에 따른 온실가스 배출 영향 조사

문 총 만



연구책임

- 문충만 / 미래전략실 책임연구위원

공동연구

- 이재근 / 도시기반실 책임연구위원
- 이은재 / 도시기반실 책임연구위원

정책연구 2019-49

**배출권거래제 하수처리 공정운영에 따른
온실가스 배출 영향 조사**

발행인 박재목

발행일 2019년 11월

발행처 대전세종연구원

34863 대전광역시 중구 중앙로 85(선화동 287-2)

전화: 042-530-3524 팩스: 042-530-3575

홈페이지 : <http://www.dsi.re.kr>

인쇄: 대전문화사 TEL 042-252-7208 FAX 042-255-7209

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시와 세종자치특별시의
정책적 입장과는 다를 수 있습니다.

출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.

요약 및 정책건의

■ 연구 배경과 연구 목적

- 지구 온난화에 대한 관심은 산업혁명 이후 20세기 후반부터 지속적으로 증가해왔으며 엘니뇨, 라니냐 등의 전 세계적 기후변화는 이를 가속화 시키고 있음
- 지구 평균기온의 상승은 전세계 기후에 영향을 미쳐 여름의 온도는 상승하고 겨울에는 더욱 추워지는 이상 기온 현상을 유발하며 특히 지구 온난화는 단순한 기온의 변화에 그치는 것뿐만 아니라 강우량의 변화, 극지방 얼음층의 두께 감소, 해양 산성화 등 자연재해로 이어지기 때문에 인류 문명에도 큰 위협을 끼치고 있는 실정
- 2014년 기후변화에 대한 정부 간 협의체 (IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change)의 보고에 따르면, 온실가스 배출량 중 이산화탄소가 약 76%로 가장 큰 배출 비율을 나타내고 있으며, 그 다음의 순서로 메탄(16.0%), 아산화질소(6.0%), F-gases(2.0%)의 순으로 기여도를 나타내고 있음
- 이에 따라 우리나라도 국제사회에 발맞추어 온실가스 감축을 위한 국가 온실가스 감축 로드맵을 제시
- 국가 온실가스 감축 로드맵에서는 발전 등을 비롯한 산업부문과 건물, 수송 등의 분야와 공공에서 담당하는 폐기물 부문에서도 온실가스 감축 목표를 제시
- 온실가스 감축 목표 달성을 위하여 2011년 3월부터 온실가스·에너지 목표관리제를 시행하였으나 직접 감축만 인정하는 목표관리제의 경직성을 보완하기 위해, 2012년 5월에 ‘온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률’을 제정하고 2015년 1월부터 온실가스 배출권거래제를 도입하였으며 대전시도 할당대상업체로 배출권거래제에 참여하고 있음

- 대전시의 배출권거래제 대상업체는 금고동 환경자원사업소, 신일동 환경에너지사업소, 음식물광역자원화시설, 수도시설관리사업소, 송촌정수사업소, 월평정수사업소, 신탄정수사업소, 대전하수처리장, 대전위생처리장, 흑석하수처리장, 대덕산단환경사업소로 총 11개 환경기초시설
- 이 중 대전하수처리장은 대전시 배출권거래제 대상사업장으로 대전시 전체 온실가스 배출량에 약 70%를 차지하고 있으며 이중 대부분은 하수처리와 소화조 운영에 따른 공정배출
- 현행 배출권거래제도의 영향을 받는 하수처리장의 하수처리 공정배출은 소화조 운영 여부에 따라 배출량 산정방법이 달라지므로 대전하수처리장 배출권거래제의 효율적인 운영을 위하여 운영방안에 따른 배출량을 조사할 필요가 있음
- 따라서 본 연구에서는 대전하수처리장의 소화조 운영 현황을 파악하고 소화조 운영 여부 및 운영 방안 시나리오별 온실가스 배출량을 조사하고 그에 따른 대전하수처리장의 효율적인 배출권거래제 대응방안을 찾아보고자 함

■ 연구결과

□ 온실가스 배출권거래제

- 우리나라는 POST-2020 신기후체제 출범에 대비하여 2030년 국가 온실가스 감축목표 37%(2030년 BAU 대비)를 설정하여 2015년 6월에 UN에 제출하였고, 2016년 6월에 「녹색성장기본법」 시행령에 새로운 국가 온실가스 감축목표를 반영
- 이에 따라 2016년 12월에 국가 단위의 감축로드맵을 설정하여 기업의 기후변화대응 기술개발과 투자를 유도 및 시장중심의 감축수단 활용을 위한 정책 등을 제시하며 국제 탄소시장에서 주도적인 역할을 수행하기 위한 노력을 기하고 있으며 이를 효과적으로 달성하기 위한 핵심 수단인 목표관리제와 배출권거래제를 시행
- 온실가스 배출권거래제는 교토의정서 제17조에 규정되어 있는 온실가스 감축체제로서, 정부가 온실가스를 배출하는 사업장을 대상으로 연단

위 배출권을 할당하여 할당범위 내에서 배출할 수 있도록 하고, 할당된 사업장의 온실가스 배출량을 평가하여 여분 또는 부족분의 배출권에 대해 사업장 간 거래를 허용하는 제도

- 온실가스 배출권거래제는 2015년 도입 시 환경부 총괄로 시행되었으나 2016년 6월 배출권거래제법 시행령 개정 후 총괄부처가 기획재정부로 변경되고 4개의 관장부처(산업부, 환경부, 국토부, 농림부) 체계로 개편
- 그러나 2017년 정부는 「국정운영 5개년 계획」을 발표하고 전담부서를 환경부로 재조정하고 탄소시장 운영의 핵심 실무를 담당하는 온실가스 종합정보센터도 총리실(국무조정실) 소속에서 환경부로 다시 환원되어 할당계획 및 배출량 인증 등 관련 모든 운영 담당을 총괄하게 함
- 2차 계획기간의 단계별 할당
 - 정부는 국가 에너지관련 정책(온실가스 감축 로드맵, 전력수급기본계획 등)의 결정이 지연되자 2차 계획기간 할당을 2단계로 나누었음
- 유상할당
 - 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」 제12조 및 동법 시행령 제13조에 의거 배출권의 유·무상 할당과 관련하여 1차 계획기간에는 할당대상업체에게 100% 무상으로 할당하고 2차 계획기간에는 무상할당 기준에 해당하지 않는 업종에 한해 유상할당의 비율을 유상할당업종 업체별 할당량의 3%로 하도록 규정하고 있음
- BM(BenchMark) 할당
 - 현재 배출권 할당 방식은 과거배출량 기반 할당(GF, Grand Farthering)과 과거활동자료 기반 할당(BM, BenchMark)으로 구분되며 정부는 BM할당 방식을 2차 계획기간에 확대할 계획
- 상쇄제도(Offset) 운영
 - 상쇄제도는 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」 제29조(상쇄)에 따라 할당대상업체가 국제적 기준에 부합하는 방식으로 외부 사업에서 발생한 온실가스 감축실적(외부 감축실적)을 보유하거나 취득한 경우, 그 전부 또는 일부를 배출권으로 전환(KOC, 상쇄배출권)하여 거래 및 배출권 제출 등에 활용할 수 있는 제도

□ **대전하수처리장 현황**

- 대전광역시 인구는 2017년 말 기준 약 152만명이며, 일일 하수 발생량은 479,898 m³로 대부분 하수처리장에서 처리
- 대전의 하수처리장은 현재 대전광역시 유성구에 원촌동에 위치하고 있는 하수종말처리장이 대부분의 하수를 처리하고 있으며 일일 처리규모 900천 m³ 으로 1989년부터 가동하기 시작하여 약 30년간 운영되어져 왔음
- 주요 구성시설은 생물학적 질소와 인 제거를 위한 NPR, Bio-Sac, MLE 공법을 중심으로 구성되어 있으며 무산소, 호기조, 혐기조를 교차적으로 배치하여 구성
- 흑석동의 하수처리장은 흑석동 일대의 하수를 처리하고 있으며 일일 1,000 m³의 처리에 소규모 시설
- 생물학적으로 미생물을 이용하는 공법의 특성상 처리과정에서 슬러지가 발생하는 데, 1차 침전조에서 발생하는 생슬러지와 2차 침전조에서 발생하는 잉여슬러지로 구분
- 호기조에서 질산화가 이루어진 처리수를 내부순환을 통해 다시 무산소조로 보내 탈질공정을 거쳐 질소가스로 하여 제거
- 하수처리장에서 발생하는 슬러지는 난형의 소화조를 통해 혐기성미생물에 의해 메탄과 이산화탄소가 주를 이루는 바이오가스를 생산하는 원료로 사용되는데, 1차 침전지에서 발생하는 생 슬러지만 처리하고 2차 침전지에서 발생하는 잉여 슬러지는 혐기소화효율이 낮고 처리를 위해서는 전처리 등이 필요하기 때문에 혐기소화를 시키지 않고 농축 및 탈수 처리 후 최종 처분

□ **경제성 분석을 위한 소화조 운영 시나리오 설정**

- 첫 번째 시나리오는 기존 하수처리 운영 방법으로 하수처리장의 유입 시설 - 호기조 - 2차 침전지 - 슬러지 소화조 운영에 대한 전반적인 자료를 바탕으로 경제성 분석을 실시하는 시나리오 이며 다른 시나리오와 대비하여 비교하기 위한 대조군

- 두 번째 시나리오는 기존 운영에 음폐수를 병합처리하여 기존보다 많은 바이오가스를 생산했을 때의 시나리오로 음폐수 처리량은 현재 금고동에 있는 음식물광역자원화시설의 처리 용량을 참고
- 세 번째 시나리오는 기존 하수처리장운영에서 소화조 처리시설을 제외한 경우로서 1차 침전지에서 발생하는 생슬러지를 소화조로 보내지 않고 2차 침전지에서 발생하는 잉여슬러지와 묶어 원심탈수 및 농축을 통해 함수율을 최대로 제거하고 위탁처리 하는 시나리오로 바이오가스화 시설 운영에 대한 비용과 슬러지를 위탁처리하게 되는 비용을 비교
- 대전광역시 하수처리장 운영자료(바이오가스 생산 데이터, 하수처리장 초기 건설비용, 운영비용, 감가상각비, 반입수수료 등) 일체를 수집하여 분석하는 것이 원칙이나 공개상의 어려움이나 현재 가치 환산이 어려울 경우에는 기존의 참고 문헌을 이용하여 진행
- 물질수지는 일반적으로 공정으로의 유입과 유출, 내부 생성 또는 소멸 등의 질량 이동경로와 균형(balance) 등을 파악할 수 있어 분석을 위한 자료로서 일반적으로 이용되고 있으며 계(System)에 들어오는 질량과 계에서 나가는 질량의 차는 계 내에 축적되거나 혹은 계 내의 화학 반응에 의해 생성, 소멸 되는 질량의 합과 같음을 전제
- 경제성 분석은 시스템에 소요되는 비용과 수익을 계산하여 비교할 수 있는 비용편익분석기법을 활용하고 비용에 해당하는 부분은 시설의 건설비, 운영비 등이고 폐수를 처리하지 못해서 발생하는 수질악화나 악취, 토양의 오염, 병원균 발생 등의 문제는 사회적 비용으로 구분
- 편익에 있어서는 폐수의 처리비, 음식물쓰레기의 반입비, 바이오가스, 등을 판매하여 얻어진 수익과 이들을 처리함으로써 얻어지는 환경오염의 저감 효과는 사회적 편익으로 구분

□ 시나리오별 경제성 분석 결과

- 각 시나리오별 편익/비용 분석 결과를 요약하면, 하수슬러지 단독소화의 경우 B/C ratio는 0.15로서 경제성이 없는 것으로 나타났으며 이는 위탁처리의 비용이 하수처리 반입 수익에 비해 약 7배 높은 비용

차이를 나타내기 때문에 수익성은 없는 것으로 판단됨

- 하수슬러지 단독소화의 경우 위탁처리보다 2배 이상 높은 0.36의 B/C ratio를 나타냈으나 여전히 경제성은 거의 없는 것으로 나타났으며 이는 시설 설치비와 운영비용은 높으나, 편익에서 낮은 바이오가스 생산량, 낮은 하수처리 반입비용으로 그 격차가 좁혀지지 않음
- 마지막으로 하수슬러지 및 음식물류폐기물의 병합소화의 경우에는 B/C ratio가 1.03으로 기존 2가지 공정에 비해서는 경제성이 높은 것으로 나타났으며 이는 하수슬러지에 비해 음식물류폐기물의 반입비가 비싸고 바이오가스 생산 효율이 하수슬러지에 비해 월등히 높아 전체적으로 편익을 향상시켰기 때문으로 사료

[표] 경제성분석 결과

구 분	하수슬러지 위탁처리	하수슬러지 단독소화	하수슬러지 및 음식물류폐기물 병합소화
편익 (백만원)	12,530	29,118	90,975
비용 (백만원)	83,238	81,670	88,690
B/C ratio	0.15	0.36	1.03

차례

1장 서론	1
1절. 연구의 배경 및 필요성	3
2절. 연구의 목적 및 방법	5
2장 국가 온실가스 감축 및 배출권거래제	7
1절. 국가 온실가스 감축 로드맵	9
2절. 온실가스 배출권거래제 제도	18
3장 배출권거래제 폐기물부문 개요	33
1절. 배출권거래제 폐기물부문 현황	35
2절. 하수처리장 온실가스 배출 산정 방법	39
4장 대전하수처리장 및 공정 이해	45
1절. 대전하수처리장 개요	47
2절. 하수처리 공정의 이해	53
3절. 바이오가스화 공정에 대한 이해	59
5장 경제성 분석 및 정책 제언	63
1절. 소화조 운영 시나리오 및 경제성 평가 방법	65
2절. 경제성 분석 결과	69
3절. 정책 제언	78
참고문헌	80

표 차례

[표 2-1] 2030 부문별 감축목표	11
[표 2-2] 2030 부문별 감축수단	14
[표 2-3] 2030 부문별 감축목표 수정 전·후 비교	16
[표 2-4] 국가별 배출권거래제 도입 현황	21
[표 2-5] 주요국 배출권거래제 운영 현황	22
[표 2-6] 일본 JCM 프로젝트 추진 현황	23
[표 2-7] 2차 계획기간 부문 및 업종별 할당량	26
[표 2-8] 외부사업 방법론 목록	31
[표 3-1] 폐기물부문 보고대상 시설	38
[표 4-1] 대전하수처리장 수처리시설 현황	49
[표 4-2] 대전하수처리장 슬러지처리시설 현황	50
[표 4-3] 다양한 전처리 방법들의 설치비 및 운영 유지 비용	57
[표 4-4] 다양한 전처리 공정에 대한 경제적 접근	58
[표 5-1] 경제성 평가 분석 기준	66
[표 5-2] 음식물류폐기물 성상 기준	67
[표 5-3] 하수처리장 설계 및 유입유량	69
[표 5-4] 대전광역시 음식물류폐기물 발생 및 처리량	70
[표 5-5] 바이오가스 발생량	71
[표 5-6] 경제성 분석을 위한 비용 산출	73
[표 5-7] 경제성 분석을 위한 편익 산출	75
[표 5-8] 경제성 분석 결과 요약	76
[표 5-9] 경제성 분석 결과	77

그림 차례

[그림 1-1] 온실가스 주요 구성비	3
[그림 1-2] 경제성 분석을 위한 시나리오	5
[그림 2-1] 국가 온실가스 감축 목표 및 로드맵 설정 경과	10
[그림 2-2] 2030 국가 온실가스 감축 목표	10
[그림 2-3] 2030 국가 온실가스 부문별 배출 전망	11
[그림 2-4] 2030 예상배출량 대비 부문별 온실가스 감축률	12
[그림 2-5] 2030 예상배출량 대비 부문별 온실가스 감축 잠재량	12
[그림 2-6] 기존 감축로드맵과 수정안의 국가 감축목표 비교	17
[그림 2-7] 국가 온실가스 감축 로드맵	17
[그림 2-8] 온실가스 배출권거래제 개념	18
[그림 2-9] 국가 온실가스 배출권거래제 운영체계	19
[그림 2-10] 국가별 배출권거래제 도입 시기	20
[그림 2-11] 온실가스 배출권거래제 전담부서 조정 전후	24
[그림 2-12] 온실가스 배출권거래제 전담부서 조정 현황	24
[그림 2-13] 유상할당 및 시장안정화 조치에 의한 할당을 위한 경매 흐름도	28
[그림 3-1] 일반적인 하수처리 시설	40
[그림 3-2] 슬러지 반출 공정	41
[그림 3-3] 반출슬러지 유량 및 BOD 산정 예시	42
[그림 3-4] 하수처리장 공정배출 산정을 위한 가정	42
[그림 3-5] 하수처리장 공정배출 산정 예시	44
[그림 4-1] 대전하수처리장 전경	47
[그림 4-2] 대전하수처리장 처리 공정도	51

[그림 4-3] 대전하수처리장 세부처리 공정	52
[그림 4-4] 일반적인 하수처리 공정도	53
[그림 4-5] 호기성 처리와 혐기성 처리의 에너지 밸런스	54
[그림 4-6] 하수슬러지 구성	60
[그림 4-7] 전처리시 에너지 사용과 가용화율의 관계	57
[그림 4-8] 바이오가스 생산 공정	60
[그림 5-1] 하수처리장 소화조시설 규모별 시설 비용	72

서론

제1절 연구의 배경 및 필요성

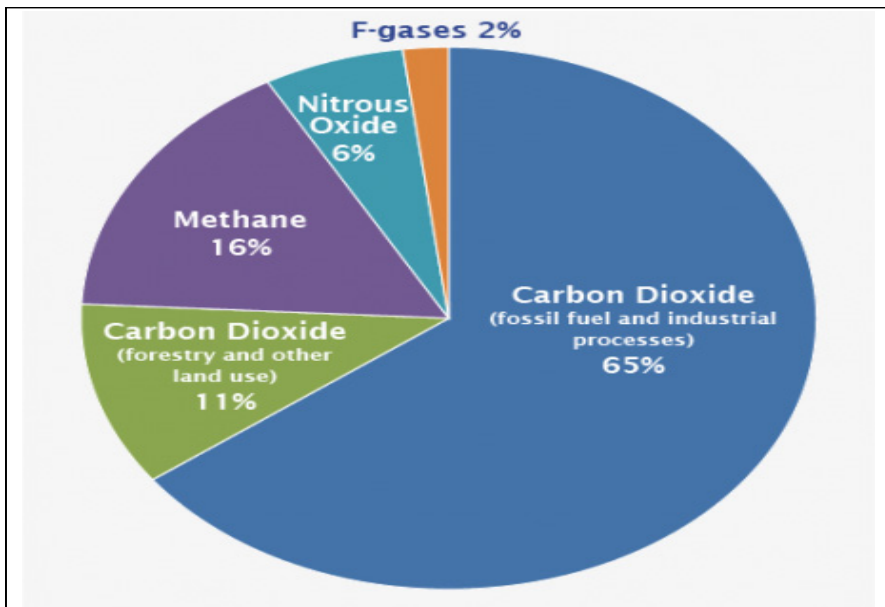
제2절 연구의 목적 및 방법

1장

1장 서론

1절. 연구의 배경 및 필요성

- 지구 온난화에 대한 관심은 산업혁명 이후 20세기 후반부터 지속적으로 증가해왔으며 엘니뇨, 라니냐 등의 전 세계적 기후변화는 이를 가속화 시키고 있음
- 지구 평균기온의 상승은 전세계 기후에 영향을 미쳐 여름의 온도는 상승하고 겨울에는 더욱 추워지는 이상 기온 현상을 유발하며 특히 지구 온난화는 단순한 기온의 변화에 그치는 것뿐만 아니라 강우량의 변화, 극지방 얼음층의 두께 감소, 해양 산성화 등 자연재해로 이어지기 때문에 인류 문명에도 큰 위협을 끼치고 있는 실정(IPCC, 2014)



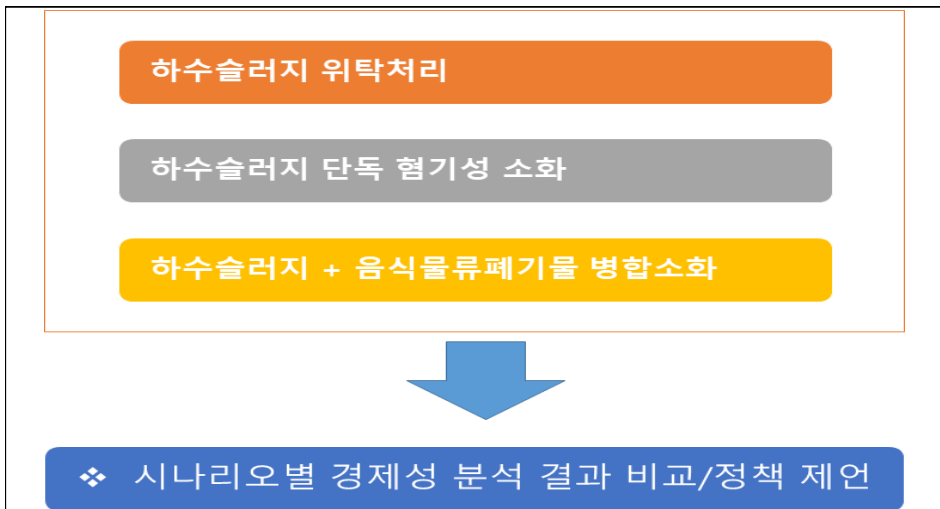
[그림 1-1] 온실가스 주요 구성비(IPCC 2014)

- 2014년 기후변화에 대한 정부 간 협의체 (IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change)의 보고에 따르면, 온실가스 배출량 중 이산화탄소가 약 76%로 가장 큰 배출 비율을 나타내고 있으며, 그 다음의 순서로 메탄(16.0%), 아산화질소(6.0%), F-gases(2.0%)의 순으로 기여도를 나타내고 있음
- 이에 따라 우리나라도 국제사회에 발맞추어 온실가스 감축을 위한 국가 온실가스 감축 로드맵을 제시
- 국가 온실가스 감축 로드맵에서는 발전 등을 비롯한 산업부문과 건물, 수송 등의 분야와 공공에서 담당하는 폐기물 부문에서도 온실가스 감축 목표를 제시
- 폐기물 부문의 경우, 가장 많은 부분의 배출량을 차지하는 사업장 중의 하나는 하수처리장이며, 하수처리장에서의 온실가스 배출경로를 살펴보면, CO₂는 주로 연소반응에 의해 생성·배출 되지만 CH₄와 N₂O는 주로 생물학적 반응에 의해 생성되어 대기 중으로 배출되는 것으로 알려져 있음
- 이러한 온실가스 배출 가스 중 메탄은 주로 하수처리과정에서 발생하는 슬러지를 이용한 혐기성소화에서 전체의 97.6%가 생산된다고 알려져 있으며 대부분 에너지원으로 회수되어 사용될 경우 실제적인 온실가스로서의 기여는 거의 없다고 알려져 있음(Prendez and Lara-Gonzalez, 2008)
- 하수처리장에서 배출되는 메탄의 대부분을 담당하는 바이오가스의 국내 이용현황에 따르면 2016년 말 기준, 전체 바이오가스 생산량 중에서 79.1%만 이용되고 있고 나머지 20.9%는 미활용으로 연소처리 되고 있는 실정(환경부 2018)
- 하수슬러지의 메탄소화 시 미활용으로 연소 처리하는 가스는 2018년 한해 15,829 m³으로 하수슬러지로부터 생산되는 바이오가스의 15.9%를 차지하며 이러한 메탄의 경우 CO₂에 비해 온실가스 기여도가 21배나 높기 때문에 반드시 에너지원으로 사용하거나 처리해야할 필요성이 있음

- 또한 배출권거래제의 영향을 받는 하수처리장의 하수처리 공정배출은 소화조 운영 여부에 따라 배출량 산정방법이 달라지므로 대전하수처리장 배출권거래제의 효율적인 운영을 위하여 운영방안에 따른 배출량을 조사할 필요가 있음
- 따라서 본 연구에서는 대전하수처리장의 소화조 운영 현황을 파악하고 소화조 운영 여부 및 운영 방안 시나리오별 온실가스 배출량을 조사하고 그에 따른 대전하수처리장의 효율적인 배출권거래제 대응방안을 찾아보고자 함

2절. 연구의 목적 및 방법

- 본 연구에서는 대전광역시 하수처리장 하수슬러지 소화조 처리시설의 온실가스 배출기여도를 파악하고자 소화조시설의 유무에 따른 온실가스 배출량 비교와 시나리오 별 경제성분석을 통한 효율적인 하수처리 계통 방안 제시를 목적으로 함



[그림 1-2] 경제성 분석을 위한 시나리오

국가 온실가스 감축 및 배출권거래제

1절 국가 온실가스 감축 로드맵

2절 온실가스 배출권거래제 제도

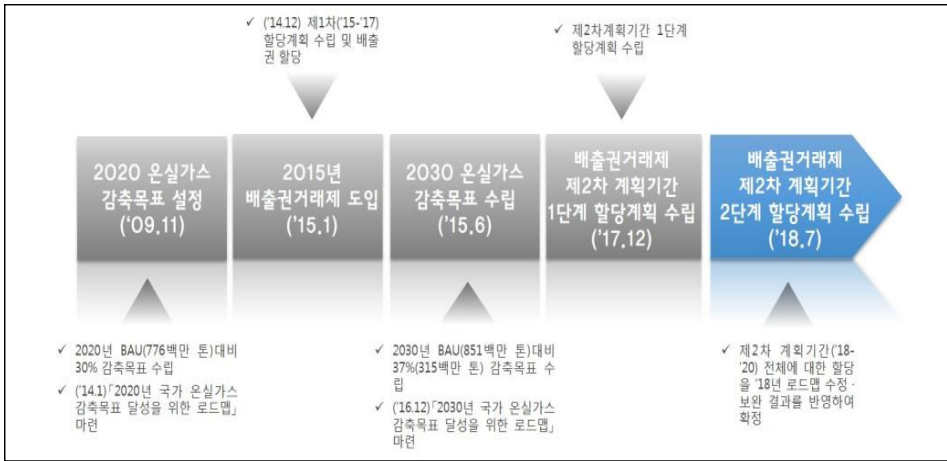
2장

2장 국가 온실가스 감축 및 배출권거래제

1절. 국가 온실가스 감축 로드맵

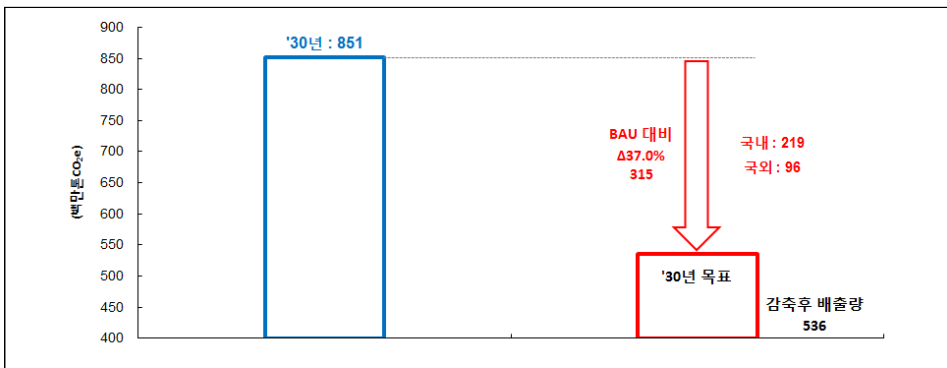
1. 국가 온실가스 감축 로드맵 수립

- 정부는 2008년 8월 국가 녹색성장 선포를 시작으로 2009년 11월 온실가스 감축목표를 2020년 배출 전망치 대비 30%로 설정하고 2011년 7월 세부 감축목표를 설정하였음
- 2014년 12월에 제1차 계획기간 배출권을 할당하고 2015년 1월에 배출권 거래제를 시행하였으며, 2012년 1월 온실가스·에너지 목표관리제를 시행하고, 2015년 6월에는 2030 온실가스 감축목표를 예상배출량(BAU)(851백만 톤)대비 37%(315백만 톤)로 수립하였음
- 감축목표 이행을 위해 2016년 12월에 ‘제1차 기후변화대응 기본계획’과 ‘2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵’을 마련하였으며, 2017년 12월에 배출권거래제 제2차 계획기간 1단계 할당계획을 수립하였고 2018년 7월 ‘제2차 계획기간 국가배출권 할당계획 2단계 계획’이 확정되어 배출권거래제 할당대상업체에 2차 계획기간(2018~2020)에 대한 할당을 모두 진행하였음
- 이를 바탕으로 수립된 국가 온실가스 감축 기본로드맵(2016.12.)은 국가 제1차 기후변화 대응 기본계획과 함께 확정되었으며 국가 온실가스 감축목표 예상배출량(BAU)대비 37%를 효율적으로 달성하기 위한 체계적인 이행방안을 담고 있음
- 온실가스 감축 기본 로드맵은 신기후체제 출범 전 기본계획의 성격으로 소관부처를 중심으로 관련 협회, 단체 및 주요 기업 등으로 이루어진 민관 협의체를 통해 도출



[그림 2-1] 국가 온실감축 목표 및 로드맵 설정 경과(관계부처 합동)

- 기본 로드맵에 따르면 2030년 감축량 315백만 톤 중 국내에서는 전환(발전), 산업, 건물 등의 8개 부문에서 219백만 톤(예상배출량(BAU)대비 25.7%)을 감축하는 것으로 함
- 이를 바탕으로 우리나라는 파리협정을 통해 온실가스를 국내에서 2030년 예상배출량(BAU) 대비 25.7%를 감축하고, 국제탄소시장 및 초과감축을 통해 국외에서 11.3% 감축하는 총 37%의 감축 목표를 제출



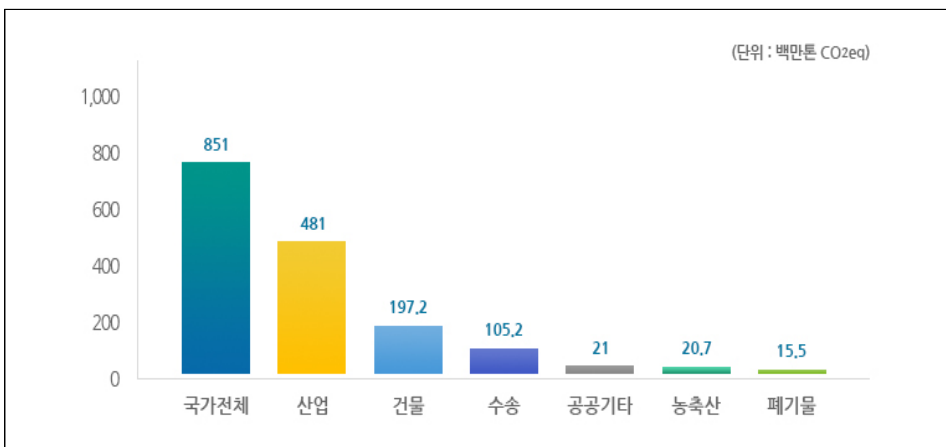
[그림 2-2] 2030 국가 온실가스 감축 목표(한국에너지공단)

[표 2-1] 2030년 부문별 감축목표(2016년 발표)

부문	예상배출량 (BAU) (백만 톤)	감축량 (백만 톤)	감축률(%)	
			부문 예상배출량 (BAU) 대비	국가 예상배출량 (BAU) 대비
전환	(333)*	64.5	(19.4)	7.6
산업	481	56.4	11.7	6.6
건물	197.2	35.8	18.1	4.2
에너지신산업	-	28.2	-	3.3
수송	105.2	25.9	24.6	3.0
공공·기타	21	3.6	17.3	0.4
폐기물	15.5	3.6	23.0	0.4
농축산	20.7	1	4.8	0.1
국내 감축	851*	219	25.7%	
국외 감축		96	11.3%	

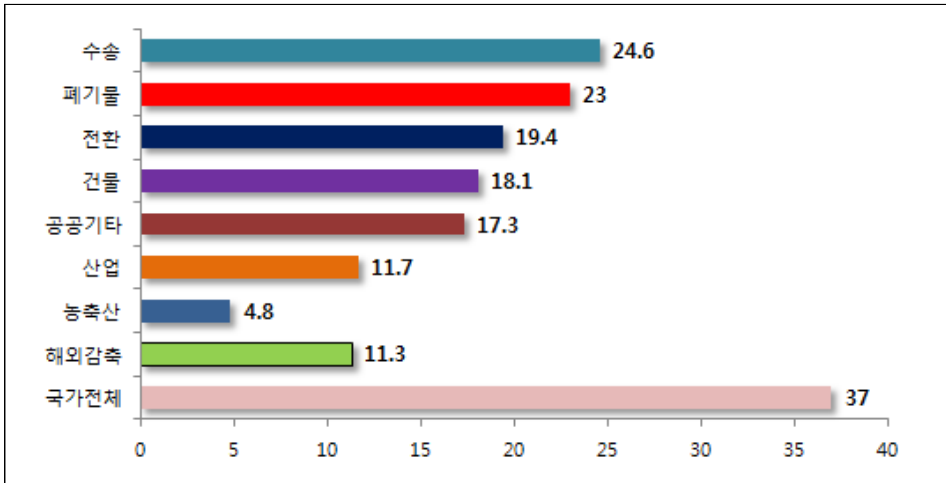
* 배출량 총계(851백만 톤)은 부문별 예상배출량(BAU)에 공정배출, 가스제조 등으로 인한 배출량(약 2백만 톤) 및 탈루배출량(약 8.4백만 톤)이 추가된 수치이며, 전환부문의 예상배출량(BAU)는 각 부문별 배출량에 간접적으로 포함되어 있어 전체 감축량 산정에서는 제외

자료 : 관계부처 합동

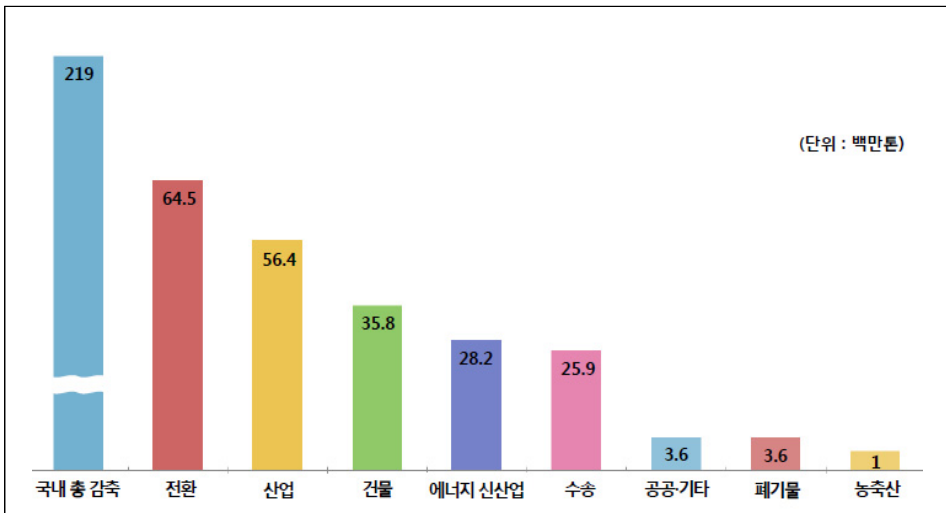


[그림 2-3] 2030 국가 온실가스 부문별 배출 전망(한국에너지공단)

○ 전환(발전) 부문은 국내에서 가장 많은 64.5백만 톤(부문 예상배출량 (BAU) 대비 19.4%)을 감축하도록 하였으며 전환(발전) 부문에서 집단 에너지 업종을 발전 업종에서 분리하여 진행



[그림 2-4] 2030 예상배출량 대비 부문별 온실가스 감축률(환경부)



[그림 2-5] 2030 예상배출량대비 부문별 온실가스감축 잠재량(관계부처합동)

- 산업 부문은 56.4백만 톤(11.7%)을 감축을 목표로 하고 있으며 이는 국가경제에 미치는 영향을 감안하여, 감축량을 12% 이내로 고려하여 진행
- 건물 부문은 35.8백만 톤(18.1%), 에너지 신산업 부문은 28.2백만 톤, 수송 부문은 25.9백만 톤(24.6%)을 감축하도록 하고 있으며, 공공/기타 부문은 3.6백만 톤(17.3%), 폐기물 부문은 3.6백만 톤(23%), 농축산 부문은 1.0백만 톤(4.8%)을 각각 감축하도록 하는 계획
- 국외에서는 파리협정에서 제시한 국제시장 메커니즘(IMM)을 통해 96백만 톤을 감축할 계획을 제시하였음. 다만, 국외감축은 ① 감축관련 국제사회 합의, ② 글로벌 배출권 거래시장 확대, ③ 재원조달 방안 마련 등 전제조건 충족이 필요한 사항으로 진행 현황 및 감축수단별 세부사업 발굴결과 등을 반영하여 2020년까지 온실가스 국외감축 세부 추진계획을 마련할 계획
- 정부는 「기본로드맵」을 토대로, 국제 동향 및 국내 여건 등을 반영하여, 매년 지속적으로 수정·보완한 「이행 로드맵」을 NDC(국가 온실가스 감축 기여방안) 제출(20년 예정) 전까지 마련해 나갈 예정

2. 국가 온실가스 감축 로드맵 수립 수정¹⁾

- 정부는 2016년 수립된 온실가스 감축로드맵은 국내외로부터 감축의지가 약하다는 비판과 구체적인 감축수단 제시가 미흡하다는 지적을 받아, 국내 온실가스 감축잠재량을 재평가하여 국가 온실가스 감축목표의 이행가능성을 높이고자 2018년 7월 「2030 국가 온실가스 감축 기본 로드맵 수정안」을 발표
- 2016년에 수립한 「2030 국가 온실가스 감축 기본로드맵」은 감축량 기준으로 전환 · 산업 · 에너지 신산업에서 149백만 톤, 건물 · 수송에서 62백만 톤, 폐기물 · 공공 · 농축산에서 8백만 톤을 감축하여 국내에서 총 219백만 톤을 감축하고, 국외에서 향후 구축될 국제탄소시장 메커

1) 관계부처합동, 2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵

니즘을 통해 96백만 톤을 감축하는 것

- 반면 수정된 로드맵에서는 구체적으로는 기존 로드맵상 감축 후 배출량 목표인 5억 3천6백만 톤은 그대로 유지하되, 감축목표의 1/3을 차지함에도 불구하고 이행방안이 불확실했던 9천 6백만 톤의 국외감축량을 최소화하고 이를 국내 감축 대책으로 보완

[표 2-2] 2030 부문별 감축수단

부문	감축 목표량	주요 감축수단
합계	276.5백만 톤	
전환	57.8백만 톤	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미세먼지 관리 종합대책('17.9), 제8차 전력수급기본계획('17.12) 및 RE 3020 이행계획 등 현 정부 기후·대기·에너지정책 반영(23.7백만 톤) ○ 에너지세제 개편 및 환경급전 강화 등을 통해 34.1백만 톤 추가감축 추진('20년까지 확정)
산업	98.5백만 톤	<ul style="list-style-type: none"> ○ 스마트공장 확대 등 에너지 효율화, 우수감축기술 확산 등 생산 공정 개선, 제품 고부가 가치화 등
건물	64.5백만 톤	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신축 건축물 에너지 기준 강화, 기존 건축물 그린리모델링 활성화 등
수송	30.8백만 톤	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전기차 보급 확대(100만대 → 300만대), 친환경 대중교통 확충, 자동차·선박·항공기 연료효율 개선 등
폐기물	4.5백만 톤	<ul style="list-style-type: none"> ○ 폐기물발생 쉰부문에서 감량화와 재활용 강화, 매립 최소화, 메탄가스 포집·자원화 등
공공	5.3백만 톤	<ul style="list-style-type: none"> ○ 공공기관 목표관리제 강화, LED 조명·가로등 보급 확대, 재생에너지 시설 확충 등
농축산	1.6백만 톤	<ul style="list-style-type: none"> ○ 논물관리 감축기술, 양질사료 및 저메탄사료 보급 등
CCUS	10.3백만 톤	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 로드맵 감축량 10.3백만 톤을 반영하되, 관계부처 합동용역 결과를 토대로 구체화
기타	3.1백만 톤	<ul style="list-style-type: none"> ○ 탈루부문 배출량 감소 반영

자료 : 환경부

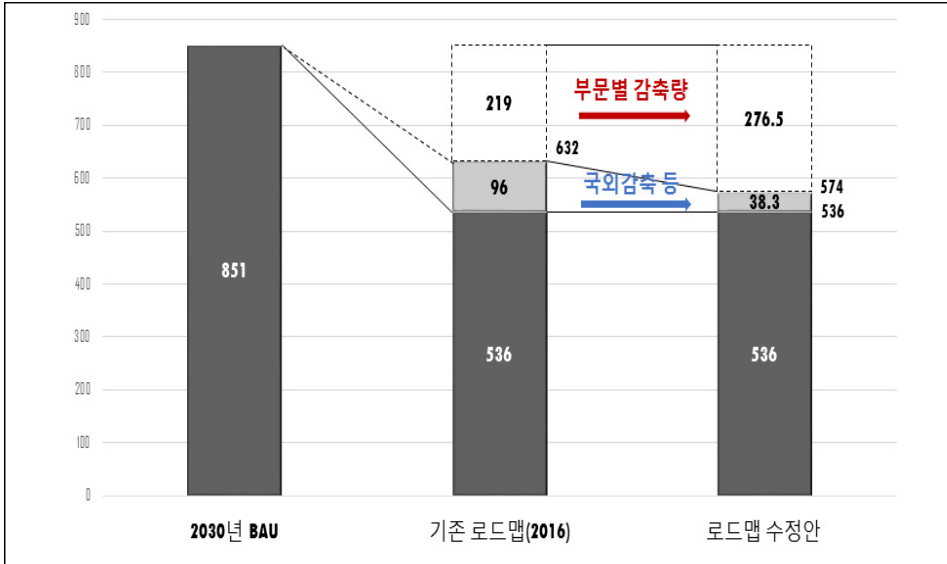
- 수정된 내용을 자세히 살펴보면 국내 각 부문별로 에너지 수요관리 강화, 에너지 효율화 추진, 저탄소 산업 육성 등을 통해 온실가스 감축량을 이전 로드맵보다 약 58백만 톤을 더 줄여 약 277백만 톤을 줄이는 것(기존: 예상배출량(BAU) 대비 25.7% → 수정: 예상배출량(BAU) 대비 32.5% 감축)으로 보완
- 전환(발전, 집단에너지) 부문에서는 미세먼지 저감과 친환경에너지로 전환정책을 반영하여 약 24백만 톤 감축을 확정하고, 약 34백만 톤은 제3차 에너지 기본계획 수립 및 에너지세제 개편, 환경급전 강화 등과 연계하여 2020년 유엔에 수정된 국가감축기여(NDC, Nationally Determined Contribution)를 제출하기 전까지 구체화하기로 함
- 산업부문에서는 산업공정 개선과, 에너지 절감, 우수감축기술 확산 등으로 약 99백만 톤을 감축하고, 건물부문에서는 신축 건축물 에너지기준 강화, 기존 건축물 그린리모델링 활성화 등을 통해 약 65백만 톤을 줄일 계획
- 수송부문에서는 2030년까지 전기차 300만 대를 보급하고 친환경 대중교통 확충 등의 방법으로 약 31백만 톤을 줄이고, 그 외 폐기물 감량화와 재활용 활성화, 공공부문 온실가스·에너지 목표관리제 강화 등의 조치로 약 11백만 톤을, 이산화탄소 포집·저장·활용기술(CCUS)을 활용하여 약 1백만 톤을 줄일 계획
- 또한, 감축 수단으로 줄이기 어려운 약 38.30백만 톤(4.5%)은 산림흡수원과 국외감축 등을 활용하여 해소하되, 구체적인 계획은 파리협정 후속협상 결과를 반영하여 마련하기로 하였으며, 북한 산림복구 등 남북협력사업이나 수소경제 기반시설(인프라) 구축을 활용하는 등의 다양한 감축방안도 지속적으로 검토해 나갈 예정
- 이번 로드맵은 기존 로드맵이 2030년 단일 목표만을 제시한데 반하여 3년 단위로 감축경로를 제시

[표 2-3] 2030년 부문별 감축목표 수정 전·후 비교

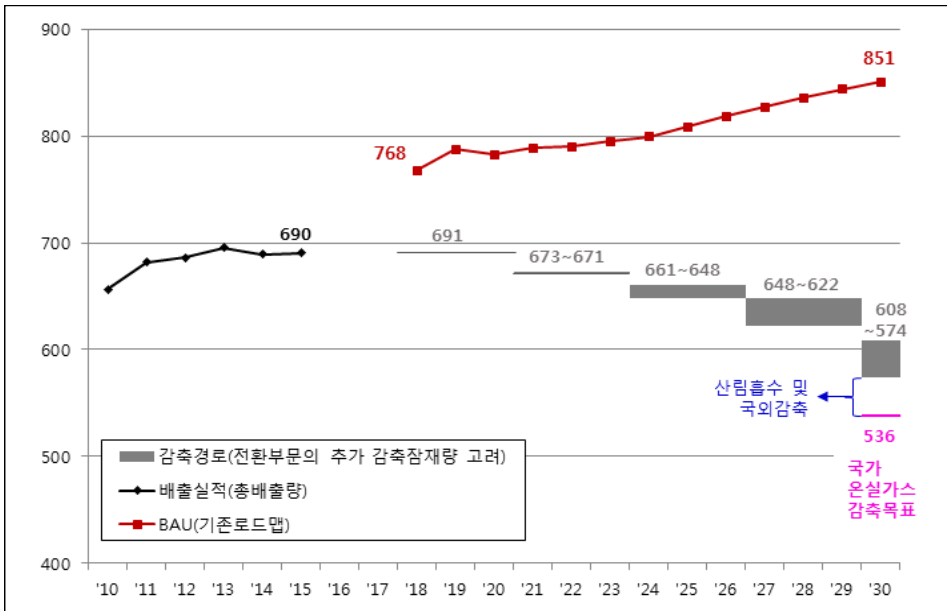
부문	배출 전망 (예상 배출량 (BAU))	2016년 로드맵		2018년 로드맵		
		감축후 배출량 (감축량)	예상 배출량 (BAU) 대비 감축률	감축후 배출량 (감축량)	예상 배출량 (BAU) 대비 감축률	
배출원 감축	산업	481.0	424.6	11.7%	382.4	20.5%
	건물	197.2	161.4	18.1%	132.7	32.7%
	수송	105.2	79.3	24.6%	74.4	29.3%
	폐기물	15.5	11.9	23.0%	11.0	28.9%
	공공(기타)	21.0	17.4	17.3%	15.7	25.3%
	농축산	20.7	19.7	4.8%	19.0	7.9%
	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) -34.1 ₂	
	E신산업/CCUS	-	- 28.2	-	- 10.3	-
	산림흡수원		-		- 38.3	4.5%
	국외감축 등	-	- 95.9	11.3%		
기존 국내감축			631.9	25.7%	574.3	32.5%
합계		850.8	536.0	37.0%	536.0	37.0%

비고 : 1. 전환부문 배출량(333.2백만 톤)은 부문별 전기/열 사용에 할당, 전체 합계에서 제외
 2. 전환부문 감축량 23.7백만 톤 확정, 추가감축 잠재량은 '20년 NDC 제출 전까지 확정

자료 : 환경부



[그림 2-6] 기존 감축로드맵과 수정안의 국가 감축목표 비교(환경부)

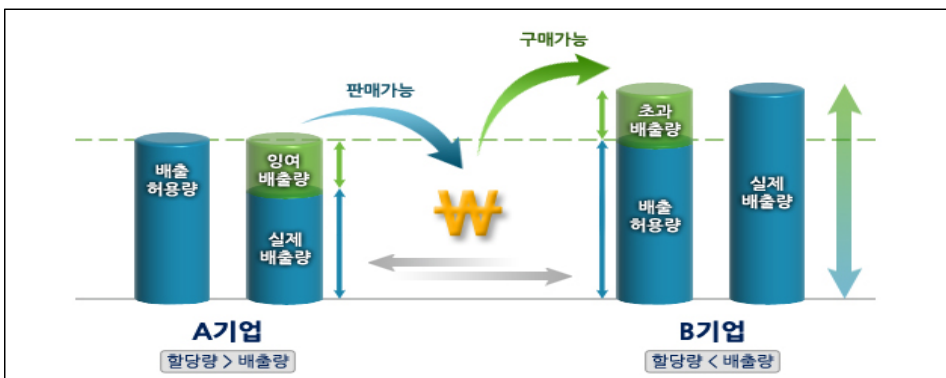


[그림 2-기] 국가 온실가스 감축 로드맵 경로(환경부)

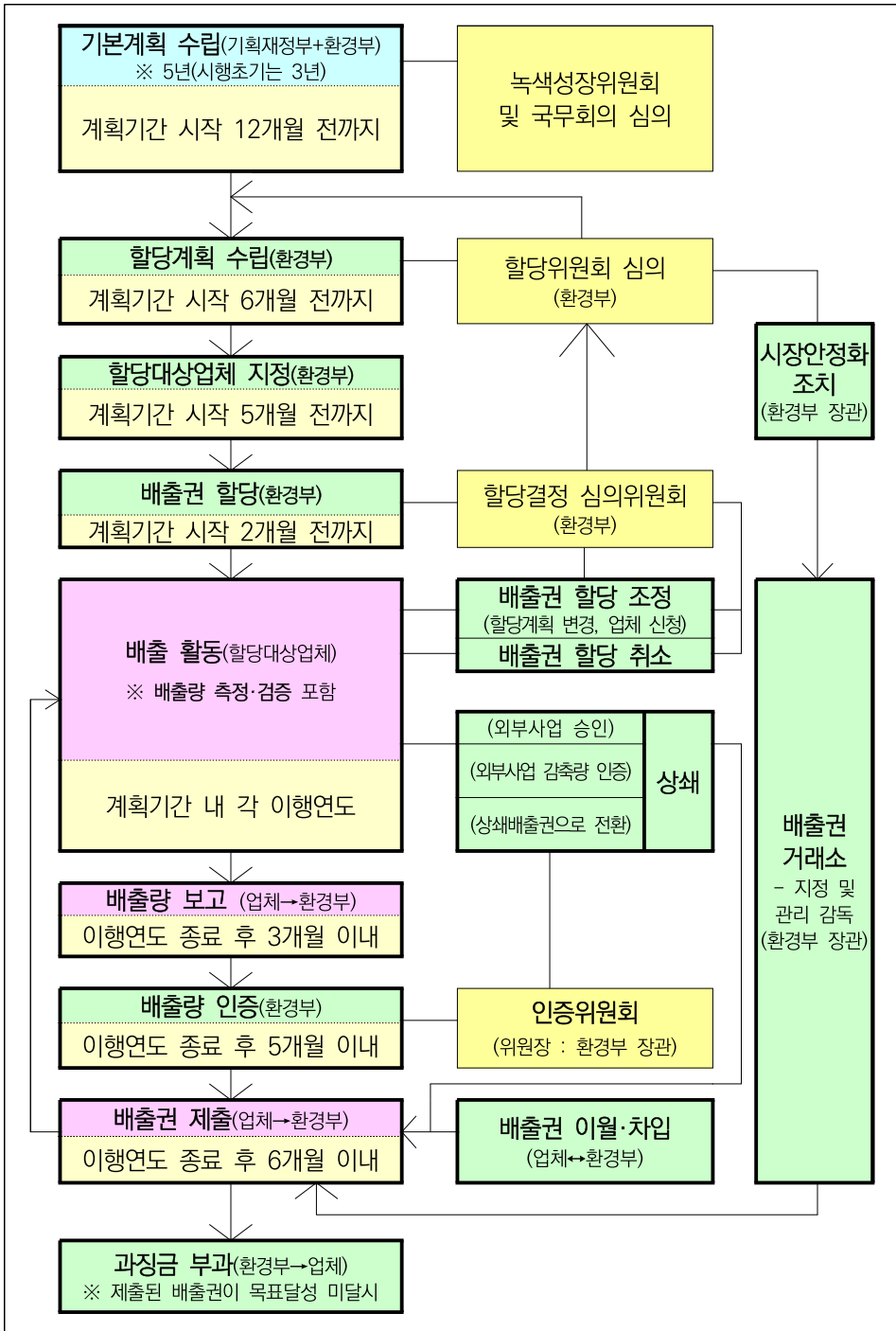
2절. 온실가스 배출권거래제 제도

1. 온실가스 배출권거래제 개요

- 우리나라는 POST-2020 신기후체제 출범에 대비하여 2030년 국가 온실가스 감축목표 37%(2030년 BAU 대비)를 설정하여 2015년 6월에 UN에 제출하였고, 2016년 6월에 「녹색성장기본법」 시행령에 새로운 국가 온실가스 감축목표를 반영
- 이에 따라 2016년 12월에 국가 단위의 감축로드맵을 설정하여 기업의 기후변화대응 기술개발과 투자를 유도 및 시장중심의 감축수단 활용을 위한 정책 등을 제시하며 국제 탄소시장에서 주도적인 역할을 수행하기 위한 노력을 기하고 있으며 이를 효과적으로 달성하기 위한 핵심 수단인 목표관리제와 배출권거래제를 시행
- 온실가스 배출권거래제는 교토의정서 제17조에 규정되어 있는 온실가스 감축체제로서, 정부가 온실가스를 배출하는 사업장을 대상으로 연단위 배출권을 할당하여 할당범위 내에서 배출할 수 있도록 하고, 할당된 사업장의 온실가스 배출량을 평가하여 여분 또는 부족분의 배출권에 대해 사업장 간 거래를 허용하는 제도



[그림 2-8] 온실가스 배출권거래제 개념(환경부)

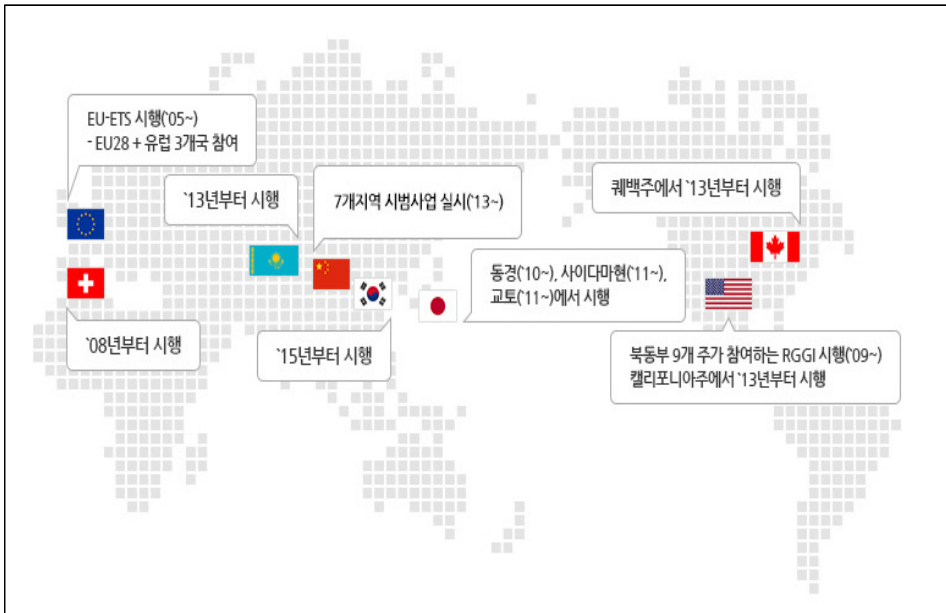


[그림 2-9] 국가 온실가스 배출권거래제 운영체계(환경부)

2. 온실가스 배출권거래제 국내외 동향

1) 국외 동향

- 해외 배출권거래제는 EU를 시작으로 도입국가와 지역이 확대되는 추세에 있으며 총 39개 국가에서 시행하고 있음. EU-ETS의 경우 28개 회원국 외 3개 비회원국 (노르웨이, 아이슬란드, 리히텐슈타인)이 참여하는 등 점차 주변국가로 확장되고 있으며, EU-ETS와 스위스는 배출권 거래제 연계를 추진
- EU는 수준 높은 감축목표를 설정하고 기후변화 선도국으로서 모범적 역할을 수행하고 있으며 계획기간을 1기에서 4기까지 3년 → 5년 → 8년 → 10년으로 점차 확대하여 정책 변동성을 낮추고 기업의 예측가능성을 높이려는 노력을 기하고 있음



[그림 2-10] 국가별 배출권거래제 도입 시기(한국에너지공단)

- 또한 혁신 기술을 사용하는 기업에 대한 재정지원 프로그램²⁾을 확대하고 기술발전을 적극 반영하여 BM 할당방식을 지속적으로 업그레이드하고 있으며 실제 1990년부터 2014년까지 GDP가 47% 성장하였지만 온실가스는 24.4% 감축하는 성과를 이루고 있음
- 한편, 세계1위 온실가스 배출국인 중국(전 세계 배출량의 약 20%)은 환경문제에 대한 국내외적으로 인식이 높아짐에 따라 2013년부터 도시단위로 배출권거래제를 시범으로 시행하고 있었으며, 2017년 하반기부터 국가단위로 확대 예정에 있으며 이에 배출권거래제로 관리되는 세계 온실가스 감축범위가 증대 될 예정
- 이에 따라, 배출권거래제 도입을 검토하는 국가³⁾도 점점 증가하는 추세임

[표 2-4] 국가별 배출권거래제 도입 현황

국가	추진 동향
유럽 EU ETS (31개국)	· 2005년부터 시행(현재 3기 ('13~'20)) · 2008년부터 EU 28개 회원국과 비회원국 3개국(노르웨이, 리히텐슈타인, 아이슬란드)의 거래제 연계(12,000개 시설)
미 국	· (RGGI: 북동부 9개주) 2009년부터 시행 · (WCI: 서부지역 연합) 2012년부터 시행 · (캘리포니아) 2012년부터 시행, WCI와 연계(360개 기업)
중 국	· 2013년부터 7개 지역에서 시범 시행 · 2017년에 전국 단위 도입계획
일 본	· 2012년 아시아 최초로 '지구온난화 대책세' 도입(탄소세의 일종) · 도쿄(2010)와 사이다마현(2011) 등 3개 지역에서 자체적으로 시행 중
뉴질랜드	· 2008년부터 산림부문 시행(현재 4기 ('13~'20)) · 2010년 산업, 2015년 농업 부문으로 확대

자료 : 기획재정부

2) EU 혁신펀드(Innovation Fund) : 재생에너지 기술, 탄소포집 및 저장(CCS), 에너지 집약적 산업의 혁신 기술 지원

3) 브라질, 칠레, 일본, 멕시코, 러시아, 대만, 태국, 터키, 베트남 등

- 캘리포니아와 퀘벡은 최초로 탄소시장에서 국제연계 사례이며, 2014년부터 양국 간 탄소배출권 및 상쇄배출권을 모두 인정해주고 있음. 탄소배출권은 2016년 기준 \$12.9~\$13.2의 가격을 형성하고 있으며, 10% 유상할당을 시행하고 있음

[표 2-5] 주요국 배출권거래제 운영 현황

구분	EU ETS 3기	WCI (Western Climate Initiative)		중국(북경)	일본
		캘리포니아	퀘벡		
지역	EU 비회원국 포함 총 31개국	미국 캘리포니아	캐나다 퀘벡	북경	도쿄
		'14년 이후 시장 연계			
배출량	4,611.6 MtCO2 ('12년 기준)	459.28 MtCO2 ('13년 기준)	78.3 MtCO2 ('12년 기준)	188.1 MtCO2 ('12년 기준)	70.1 MtCO2 ('12년 기준)
적용 대상	전력, 항공, 산업 업종 약12,000개 시설 (화학, 암모니아, 알루미늄 추가)	전력, 시멘트, 철강 등	전력, 산업	전력, 시멘트, 석유화학 업종 약 1,000개 사업장	상업, 업무부분 약 1,300개 사업장
		25,000톤 이상 사업장			
할당	유상할당 점차 확대 (발전) 100%, (기타 산업) 20%	10% 유상할당		'09-'12년 평균배출량	'02-'07년 연속 3개년 배출량
가격	5.4~8.3유로 ('16년 기준)	\$12.9~\$13.2 ('16년 기준)		40.5~50.8위안 ('16년 기준)	1500~3500엔 ('16년 기준)

자료 : 기획재정부

- 캘리포니아는 2020년까지 1990년 수준으로 감축하고, 퀘벡은 2020년까지 1990년 대비 20% 감축하는 것으로 목표를 설정하여 온실가스 감축을 위한 노력을 기하고 있음
- 일본의 경우 현재 도쿄에 한정적으로 도시단위의 배출권거래제를 시행하고 있으며 2016년 기준으로 배출권은 1,500~3,500엔의 가격대를 형성하고 있으며 또한 온실가스 배출량 대비 80% 감축한다는 2050 지구온난화 대책 계획을 수립하여 적극적으로 온실가스에 대응하고 있음
- 일본은 현재 JCM(Joint Crediting Mechanism) 프로젝트를 시행중에 있으며 이는 개도국의 저탄소 기술, 시스템 보급 등 온실가스 감축 활동 지원을 수행하며 개도국의 지속가능발전에 기여하고 동시에 일본의 상쇄배출권을 확보하는 프로젝트

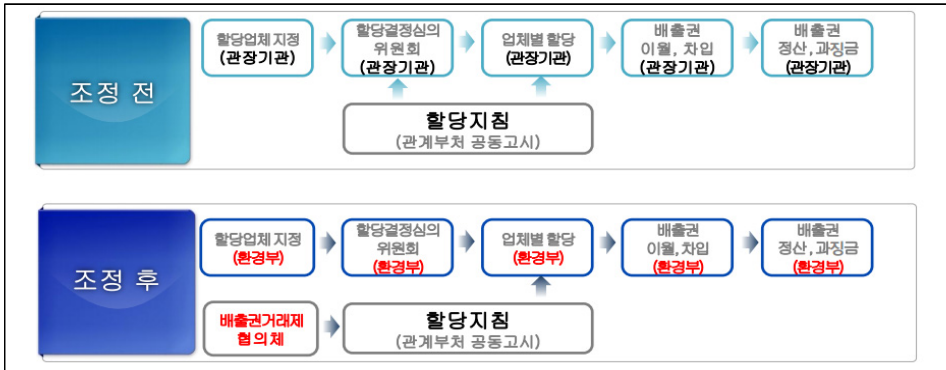
[표 2-6] 일본 JCM 프로젝트 추진 현황

국가	체결일	승인방법론 수	JCM 등록 프로젝트 수
몽골	2013.1.8.	3	2
방글라데시	2013.3.19.	1	-
에티오피아	2013.5.27.	1	-
케냐	2013.6.12.	3	-
몰디브	2013.6.29.	1	-
베트남	2013.7.2.	6	4
라오스	2013.8.7.	1	-
인도네시아	2013.8.26.	12	7
코스타리카	2013.12.9.	-	-
팔라우	2014.1.13.	1	3
캄보디아	2014.4.11.	1	-
멕시코	2014.7.25.	-	-
사우디아라비아	2015.5.13.	-	-
칠레	2015.5.26.	-	-
미얀마	2015.9.16.	-	-
태국	2015.11.19.	2	-
필리핀	2017.1.12.	-	-
합계		32	16

자료: 기획재정부

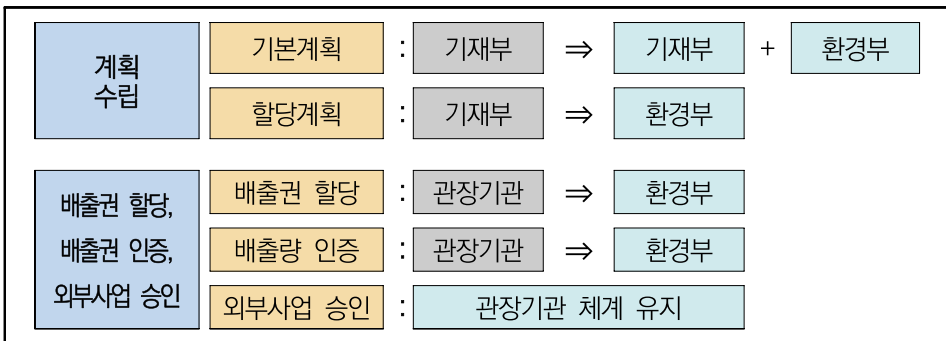
2) 국내 동향

- 온실가스 배출권거래제는 2015년 도입 시 환경부 총괄로 시행되었으나 2016년 6월 배출권거래제법 시행령 개정 후 총괄부처가 기획재정부로 변경되고 4개의 관장부처(산업부, 환경부, 국토부, 농림부) 체계로 개편



[그림 2-11] 온실가스 배출권거래제 전담부서 조정 전후(환경부)

- 그러나 2017년 정부는 「국정운영 5개년 계획」을 발표하고 전담부서를 환경부로 재조정하고 탄소시장 운영의 핵심 실무를 담당하는 온실가스 종합정보센터도 총리실(국무조정실) 소속에서 환경부로 다시 환원되어 할당계획 및 배출량 인증 등 관련 모든 운영 담당을 총괄하게 함



[그림 2-12] 온실가스 배출권거래제 전담부서 조정 현황(환경부)

○ 2차 계획기간의 단계별 할당

- 정부는 국가 에너지관련 정책(온실가스 감축 로드맵, 전력수급기본계획 등)의 결정이 지연되자 2차 계획기간 할당을 2단계로 나누었음
- 2단계 할당은 1단계에서 2018년 할당(1단계)을 우선적으로 실시할당('17.12. 통보)한 후 2단계('19~'20) 할당은 2018년 상반기 중에 할당 할 계획임 우선 할당된 2018년도 할당량을 유지하고 2단계 할당에서 2019~20년도 할당량을 조정하여 2차 계획기간 할당량을 확정하는 방식
- 1단계('18년) 할당량은 할당대상업체의 기준연도('14~'16) 기준 예상 온실가스 배출량(환경부 인정량)에서 제1차 계획기간 연평균 배출량(538,461천 톤)을 기준으로 1단계 할당비율을 결정하여 우선적으로 할당
- 따라서 1단계 할당에서는 모든 할당대상업체에 과거배출량 기반 할당 방식(GF)을 적용하여 할당하였음. 1단계 할당량은 임시적으로 할당되었지만 할당대상업체의 2018년도 원활한 배출권 운용을 위해 할당량을 보장하도록 하고 있음
- 2단계 할당에서는 8차 전력수급기본계획, 제3차 에너지 기본계획, 2030 온실가스 감축 기본 로드맵 수정·보완사항 등 환경·에너지 정책사항을 고려하여 2차 계획기간 전체 배출권 할당을 확정함. 본래 2차 계획기간에 계획되었던 BM(Bench Mark)할당방식과 유사할당제도, 온실가스 감축실적 인센티브 적용도 업체별 할당량이 확정되는 2019년 이후 시행하기로 함

[표 2-기] 2차 계획기간 부문 및 업종별 할당량

부문	업종	이행연도별 할당량		
		2018년	2019년	2020년
배출권 총 수량		552,461	2단계 할당 시 확정	
사전할당량		538,461		
예비분		14,000		
전환(2)	발전에너지	240,732	2단계 할당 시 확정	
	집단에너지	9,379		
산업(20)	산업단지	13,340		
	광업	746		
	음식료품	2,427		
	섬유	2,645		
	목재	332		
	제지	6,202		
	정유	16,891		
	석유화학	49,421		
	유리	3,370		
	요업	2,155		
	시멘트	39,186		
	철강	88,195		
	비철금속	7,029		
	기계	839		
	반도체	11,152		
	디스플레이	9,904		
	전기전자	3,448		
	자동차	3,976		
조선	2,309			
통신	2,873			
건물(1)	건물	3,624		
공공-폐기물(2)	수도	1,634		
	폐기물	629		
수송(1)	항공	16,023		

*2단계 배출권 할당 시 부문-업종 분류 개편 검토
 자료 : 관계부처 합동(2017)

○ 유상할당

- 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」 제12조 및 동법 시행령 제13조에 의거 배출권의 유·무상 할당과 관련하여 1차 계획기간에는 할당대상업체에게 100% 무상으로 할당하고 2차 계획기간에는 무상할당 기준에 해당하지 않는 업종에 한해 유상할당의 비율을 유상할당업종 업체별 할당량의 3%로 하도록 규정하고 있음

「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」

제12조(배출권의 할당) ③ 제1항에 따른 배출권의 할당은 유상 또는 무상으로 하되, 무상으로 할당하는 배출권의 비율은 (중략) 대통령령으로 정한다.

「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률 시행령」

제13조(배출권의 무상할당비율 등) ① 법 부칙 제2조제1항에 따른 1차 계획기간에는 할당대상업체별로 할당되는 배출권의 전부를 무상으로 할당한다.

② 법 부칙 제2조제1항에 따른 2차 계획기간에는 할당대상업체별로 할당되는 배출권의 100분의 97을 무상으로 할당한다.

③ 3차 계획기간 이후의 무상할당비율은 100분의 90 이내의 범위에서 이전 계획기간의 평가 및 관련 국제 동향 등을 고려하여 할당계획에서 정한다. (후략)

④ 법 제12조제3항에 따라 계획기간에 할당대상업체에 유상으로 할당하는 배출권은 할당대상업체를 대상으로 경매 등의 방법으로 할당한다.

- 그러나 2018년부터 유상할당을 도입하려 하였지만 2차 계획기간 할당이 늦어짐에 따라 2019년부터 시행하기로 되었으며 2차 계획기간 업체별 할당량의 3%를 유상할당 하겠다는 계획과 1단계 할당은 보장하기로 한 계획 때문에 2019년과 2020년 할당량에서 각각 4.5%로 할당하여 2차 계획기간 유상할당 계획인 3%를 맞추려고 하고 있음
- 유상할당 대상 업종은 2018년 6월 확정 예정이며, 업체별 유상할당량은 같은 해 9월에 결정 될 예정이며 폐기물부문은 현재 환경부에서 유상할당 대상 업종으로 선정하도록 추진

- 이와 관련한 입찰낙찰 절차, 방식 등을 규정하는 행정규칙 「배출권 유상할당 및 시장안정화 조치를 위한 배출권 추가할당에 관한 규정」은 2018년 5월에 제정되었으며 추후에 구체적인 경매방식이 결정될 예정

「배출권 유상할당 및 시장안정화 조치를 위한 배출권 추가할당에 관한 규정」
제2조(정의)

2. "유상할당"이라 함은 환경부장관이 법 제5조제1항제7호에 따라 법 제12조제3항 및 영 제13조에 따른 유상할당을 받는 할당대상업체(이하 "유상할당업체"라 한다)를 대상으로 배출권을 경매 등의 방법으로 할당하는 것을 말한다.

3. "경매"라 함은 법 제22조 및 영 제26조제1항에 따라 배출권거래소로 지정된 한국거래소(이하 "거래소"라 한다)에 의해 개설된 시장(이하 "배출권시장"이라 한다)에서 경쟁입찰을 통하여 제2호의 배출권 유상할당 및 제4호의 시장안정화 예비분 추가할당을 하는 것을 말한다.

제3조(유상할당 계획 및 입찰 공고) ① 환경부장관은 경매를 통한 유상 할당에 관한 연간 유상 할당 계획을 매 이행연도 개시 1개월 전까지 거래소가 운영하는 홈페이지 등을 통하여 공표한다.

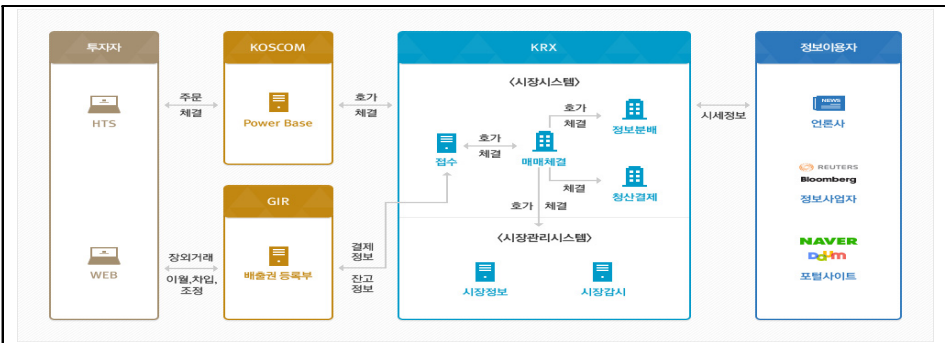
제4조(입찰 일시 등) ① 입찰은 매월의 둘째 수요일(공휴일인 경우에는 직전 매머거래일로 한다)을 정기 입찰일로 한다. 다만, 시장 상황 등에 따라 입찰일을 변경할 수 있다.

제6조(입찰 및 낙찰 방법) ③ 환경부장관은 배출권 경매가격의 공정한 형성을 위하여 낙찰 하한가를 정할 수 있다. (후략)

⑤ 낙찰은 유효 응찰 가격 중 가장 높은 가격의 수량부터 총 입찰수량에 도달하는 가격의 수량까지 순차적으로 결정한다.(후략)

제11조(추가할당 대상 및 방법 등) ① 환경부장관은 법 제23조에 따른 시장안정화 조치를 위하여 예비분을 유상으로 추가할당 할 수 있다.

② 제1항에 따른 배출권 추가할당은 이 규정에 따른 경매의 방법을 준용한다



[그림 2-13] 유상할당 및 시장안정화 조치에 의한 할당을 위한 경매 흐름도(KRX홈페이지)

○ BM(BenchMark) 할당

- 현재 배출권 할당 방식은 과거배출량 기반 할당(GF, Grand Farthering) 과 과거활동자료 기반 할당(BM, BenchMark)으로 구분되며 정부는 BM할당 방식을 2차 계획기간에 확대할 계획
- BM할당은 설비 효율이 높은 기업에 유리한 할당 방식으로 생산 원단 위당 온실가스 배출량이 낮은 기업에게 할당을 유리하도록 하는 방식

$$\text{BM 할당량} = \text{제품생산 1단위당 온실가스 배출량 BM 지표} \times \text{업체 제품생산량}$$

- BM 할당 대상 업종은 1차 계획기간에 시멘트 업종(회색클링커), 정유 업종(석유정제시설), 항공 업종(민간항공기 국내운항시설)에 한해 시행되고 있었지만, 2차 계획기간에는 발전에너지 업종(석탄기력, 중유기력, LNG복합, LNG열병합), 집단에너지 업종(LNG열병합), 산업단지 업종(석탄열병합), 석유화학 업종(스티렌모노머, 고밀도폴리에틸렌), 폐기물 업종(하수처리 전력사용)으로 확대
- 더하여, 3차 계획기간('21~'25)에는 BM 할당 방식을 추가 개발하고, BM 계수를 최신 기술 수준에 맞게 강화하여 산업혁신 수단으로 정착시킬 계획

○ 배출권 시장 안정화 방안

- 2017년 배출권 거래시장은 연 초에 거래량이 미미한 가운데 가격이 빠르게 상승하는 등 불안한 모습을 보였으며, 이는 배출권을 공급 가능한 기업에서 향후 배출권 부족을 우려해 여유분을 시장에 매도하지 않아 수급 불균형의 문제가 발생되었기 때문
- 이에 따라 정부는 이월제한과 차입 한도를 조정하는 배출권거래 시장 안정화 방안(17.4.5.)을 발표하고 2차 계획기간의 수급 안정 대책을 마련
- 정부는 여유 배출권 매도를 유도하기 위해 1차 계획기간의 배출권 여유분을 2차 계획기간으로 과다 이월할 경우 2차 계획기간 배출권 할당 시 불이익을 부과하기로 함

- 구체적으로는 “1차 계획기간 연평균 할당량의 10% + 2만 톤” 만큼의 할당량을 초과하여 이월할 경우 초과 이월량 만큼 2차 계획기간 할당량에서 차감하기로 함
- 예를 들어 연평균 할당량이 100만 톤인 기업은 이월 제한이 12만 톤으로 만약 20만 톤을 이월하려고 할 경우 초과분인 8만 톤만큼 2차 계획기간 할당량에서 차감하는 방식
- 정부는 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률 시행령」 제36조(배출권의 차입)을 개정(17.8.9.)하고 2차 계획기간의 차입한도를 15%로 조정하되, 첫 이행연도(18년) 차입비율의 50%를 다음 해(19년) 차입한도에서 차감하기로 함
- 원래의 차입한도는 1차 계획기간에 20%, 2차 계획기간에 10%로, 차입한도를 조정하지 않을 경우 배출권 부족기업의 대응이 어려웠음. 이에 2차 계획기간 첫 이행연도(18년)에 배출권이 시장에 충분히 공급(매도)되지 않을 가능성에 대비하여 차입한도를 조정하기로 한 것
- 또한, 첫 이행연도의 차입비율이 클수록 다음 해(19년)에 차입한도가 많이 줄어들도록 하여 차입물량을 점차 줄이도록 유도할 계획

○ 상쇄제도(Offset) 운영

- 상쇄제도는 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」 제29조(상쇄)에 따라 할당대상업체가 국제적 기준에 부합하는 방식으로 외부 사업에서 발생한 온실가스 감축실적(외부 감축실적)을 보유하거나 취득한 경우, 그 전부 또는 일부를 배출권으로 전환(KOC, 상쇄배출권)하여 거래 및 배출권 제출 등에 활용할 수 있는 제도
- 반드시 법령에 의한 의무 사항이 아닌 업체 조직경계 외부에서 자발적으로 시행하는 온실가스 감축사업에 한정되며, 온실가스 배출원을 근본적으로 제거·개선하는 사업으로 생산량 감소·유지 보수 등에 의한 감축은 제외
- 정부는 2차 계획기간에 국내에서 시행하여 획득한 외부감축실적 및 국내 기업이 해외에서 시행하여 획득한 외부감축실적을 상쇄배출권으로 전환 가능하도록 하였음

- 본래에는 해외 온실가스 감축실적은 3차 계획기간(21~25)에 인정하기로 했었지만 기업들의 해외시장 진출 촉진을 위해 2차 계획기간(18~20)으로 개선
- 상쇄배출권은 할당대상업체별로 주무관청에 제출해야하는 배출권의 100분의 10 이내에서 제출 가능하며, 해외에서 시행한 외부감축실적을 전환한 상쇄배출권은 상쇄배출권 제출 한도의 100분의 50 범위 내에서만 제출 용도로 사용 가능

「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률 시행령」

제40조(외부사업 온실가스 감축량의 인증) ④부분별 관장기간은 제3항에 따른 인증을 할 때 외국에서 시행된 외부사업에서 발생된 감축량에 대해서는 외부사업 온실가스 감축량을 1차 계획기간과 2차 계획기간 동안에는 인증하지 아니한다. 다만, 국내기업 등이 외국에서 직접 시행한 제39조제6항에 따른 청정개발체제 사업에서 2016년 6월 1일 이후 발생된 온실가스 감축량에 대해서는 2차 계획기간부터 인증할 수 있다<신설 2017.3.27., 2017.12.29.>

[표 2-8] 외부사업 방법론 목록

NO.	방법론 번호	방법론
1	01A-001-Ver01	목재펠릿을 활용한 연료전환 사업의 방법론
2	01A-002-Ver02	농촌지역에서 목재펠릿을 활용한 연료전환 사업의 방법론
3	01A-003-Ver02	왕겨를 이용한 미곡종합처리장(RPC) 곡물 건조기 연료전환 사업의 방법론
4	01B-001-Ver01	재생에너지를 이용한 전력 생산 및 계통 연계 사업의 방법론
5	01B-002-Ver02	농촌지역에서 지열에너지를 이용한 화석연료 사용량 절감 사업의 방법론
6	01B-003-Ver01	태양열에너지를 이용한 열에너지 생산 및 이용 사업의 방법론
7	01B-004-Ver01	재생에너지를 이용한 전력 생산 및 자가 사용 사업의 방법론
8	01B-005-Ver01	순환식 수막재배를 이용한 화석연료 사용량 절감 방법론
9	01B-006-Ver01	농촌지역에서 재생에너지 이용 전력생산 및 자가 사용 방법론
10	01B-007-Ver01	농촌지역에서 태양열 이용 열 생산 방법론

11	02B-001-Ver01	집단에너지 열공급시설에서 목질계 바이오매스 연료를 이용하여 생산된 열에너지 공급을 통한 수용가의 화석연료 사용량 절감 사업의 방법론
12	03A-002-Ver01	미활용 열에너지 회수 및 이용 사업의 방법론
13	03A-002-Ver01	연료 전환 사업의 방법론
14	03A-003-Ver01	전력절감설비 설치사업의 방법론
15	03A-004-Ver01	고효율 설비 교체 사업의 방법론
16	03A-005-Ver01	건물 고효율 조명기기 교체사업의 방법론
17	03A-006-Ver01	고효율 도로조명 설치 사업의 방법론
18	03A-007-Ver02	농촌지역에서 미활용 열에너지를 이용한 화석연료 사용량 절감사업의 방법론
19	03A-008-Ver01	미활용 열에너지 회수를 통한 전력생산 및 계통연계 사업의 방법론
20	03A-009-Ver01	건물 전력소비기기의 고효율 기기 교체 사업 방법론
21	03A-010-Ver01	고효율 보온자재를 이용한 원예시설의 난방용 에너지 사용량 감축 방법론
22	03A-011-Ver01	농촌지역의 LED 조명기기 설치 사업의 방법론
23	07A-001-Ver01	바이오 CNG 생산 및 자동차 연료 이용 사업의 방법론
24	13A-001-Ver01	폐목재를 활용한 열에너지 생산 및 이용 사업의 방법론
25	13A-002-Ver01	하수처리장의 바이오가스 회수 및 이용 사업의 방법론
26	13A-003-Ver02 15B-001-Ver01	농촌지역에서 바이오가스 플랜트를 활용한 에너지 생산 및 이용 사업의 방법론
27	13A-004-Ver01	바이오메탄을 도시가스 공급망에 주입하는 사업의 방법론
28	14A-001-Ver01	신규조립/재조립 사업의 방법론
29	14A-002-Ver01	목제품 이용 사업의 방법론
30	14A-003-Ver01	식생복구 사업의 방법론
31	15A-001-Ver01	논벼 재배 시 물관리를 통한 온실가스 감축 방법론
32	15A-002-Ver01	완효성비료를 이용한 질소질비료 사용 저감 방법론
33	15A-003-Ver01	부산물비료를 이용한 질소질비료 사용 저감 방법론
34	03A-012-Ver01	건물의 난방방식을 중앙난방에서 지역난방으로 전환하는 사업의 방법론
35	03A-013-Ver01	주거용 시설의 심야 전기보일러에서 축열식 히트펌프 보일러로 교체 사업의 방법론
36	11B-001-Ver01	가스절연개폐장치 검사용 SF6 회수-정제 및 재사용을 통한 SF6 감축사업의 방법론

자료 : 상쇄등록부시스템 홈페이지

2017년 12월 12일 기준

배출권거래제 폐기물부문 개요

1절 배출권거래제 폐기물부문 현황

2절 하수처리장 온실가스 배출 산정 방법

3장

3장 배출권거래제 폐기물부문 개요4)

1절 배출권거래제 폐기물부문 현황

- 온실가스 배출권거래제 폐기물부문은 한국표준산업분류 기준에 의해 업종별로 구분되며 폐기물부문은 수도사업(36), 하수·폐수 및 분뇨 처리업(37), 폐기물 수집운반, 처리 및 원료재생업(38), 환경 복원업(39)이 이에 해당
- 폐기물부문은 폐기물 감량화 및 재활용, 가연성 폐기물 에너지화, 매립가스 회수 및 발전 등을 통해 목표관리제를 수행
- 한국표준산업분류에 따른 수도사업(36)

분류명	생활용수 공급업	분류코드	36010
- 수요자에게 생활용수를 공급하기 위하여 취수, 집수, 정수 및 급수를 하는 산업활동으로서 이러한 생활용수는 배관시설에 의하여 공급된다			
분류명	산업용수 공급업	분류코드	36020
- 수요자에게 공업용수 및 상업용수를 공급하기 위하여 취수, 집수, 정수 및 급수를 하는 산업활동으로서 이러한 산업용수는 산업용수용 배관시설에 의하여 공급된다			

- 한국표준산업분류에 따른 하수폐수 및 분뇨처리업(37)

분류명	하수 처리업	분류코드	37011
- 하수를 하수도관에 의해서 수집하고, 수집된 하수를 처리하는 하수도관시설 및 하수처리 시설을 운영하는 산업활동을 말한다			
분류명	폐수 처리업	분류코드	37012
- 산업폐수를 폐수 수집관에 의해서 수집하고, 수집된 폐수를 처리하는 폐수도관시설 및 폐수처리 시설을 운영하는 산업활동을 말한다			

4) 한국환경공단(2016) 폐기물부문 온실가스 배출량 산정 매뉴얼 참조

분류명	분뇨 처리업	분류코드	37021
- 분뇨의 수집운반, 처리 및 처분을 수행하는 산업활동을 말한다			
분류명	축산분뇨 처리업	분류코드	37022
- 가축 사육장에서 배출되는 액체성 또는 고체성 오염물질의 수집운반, 처리 및 처분을 수행하는 산업활동을 말한다			

○ 한국표준산업분류에 따른 폐기물 수집운반, 처리 및 원료재생업(38)

분류명	지정의 폐기물 수집운반업	분류코드	38110
- 가정 및 사업장에서 발생하는 무해폐기물(지정의폐기물)을 수집운반하는 활동을 말한다			
분류명	지정폐기물 수집운반업	분류코드	38120
- 사업장 폐기물 중 주변환경을 오염시킬 수 있는 유해물질로서 특별관리되는 폐기물을 수집운반하는 산업활동을 말한다			
분류명	건설 폐기물 수집운반업	분류코드	38130
- 건설관련 폐기물(건물 해체물 등)을 수집운반하는 활동을 말한다			
분류명	지정의 폐기물 처리업	분류코드	38210
- 가정 및 사업장에서 발생하는 무해폐기물(지정의폐기물)을 매립, 소각 등의 방법으로 처리하는 시설을 운영하는 산업활동을 말한다. 부수적으로 처리과정에서 열과 증기를 생산할 수 있다			
분류명	지정폐기물 처리업	분류코드	38220
- 유기성폐기물, 병원폐기물 등의 유해폐기물(지정폐기물)을 처리하는 시설을 운영하는 산업활동을 말한다			
분류명	건설폐기물 처리업	분류코드	38230
- 건설관련 폐기물(건물 해체물 등)의 처리시설을 운영하는 산업활동을 말한다. 처리과정에서 재활용이 가능한 골재를 부수적으로 얻을 수 있다. 광재 및 폐주물사를 처리하는 산업활동도 포함된다			

분류명	방사성 폐기물 수집운반 및 처리업	분류코드	38240
- 폐기대상인 방사성폐기물을 수집운반, 처리 및 처분을 하는 산업활동을 말한다			
분류명	금속원료 재생업	분류코드	38301
- 폐기물, 스크랩, 기타 폐품 등을 처리하여 재생용의 금속원료 물질로 전환하는 산업활동을 말한다. 연속적으로 투입되는 재활용이 가능한 폐기물로부터 금속 원료 물질을 분리 및 분류하여 회수하는 산업활동이 포함된다			
분류명	비금속원료 재생업	분류코드	38302
- 폐기물, 스크랩, 기타 폐품 등을 처리하여 재생용의 비금속원료 물질로 전환하는 산업활동을 말한다. 연속적으로 투입되는 재활용이 가능한 폐기물로부터 비금속 원료물질을 분리 및 분류하여 회수하는 산업활동이 포함된다			

○ 한국표준산업분류에 따른 환경 정화 및 복원업(39)

분류명	토양 및 지하수 정화업	분류코드	39001
- 기계적, 화학적 또는 생물학적 방법을 이용하여 오염된 지역의 토양 및 지하수를 정화하는 산업활동을 말한다. 정화활동은 오염 현장에서 할 수도 있고, 오염 현장 이외의 장소에서 할 수도 있다			
분류명	기타 환경 정화 및 복원업	분류코드	39009
- 토양 및 지하수 정화활동 이외의 오염된 건물, 지역, 지표수, 대기 등을 정화하여 복원하는 활동을 말한다			

[표 3-1] 폐기물부문 보고대상 시설

폐기물 처리방법	보고대상 배출시설	보고대상 온실가스
고형폐기물의 매립	차단형 매립시설	CH ₄
	관리형매립시설	
	비관리형매립시설	
고형폐기물의 생물학적 처리	사료화·퇴비화·소멸화·부숙토생산 시설	CH ₄ , N ₂ O
	혐기성 분해시설	
하수처리	가축분뇨공공처리시설	CH ₄ , N ₂ O
	공공하수처리시설	
	분뇨처리시설	
	기타 하수처리	
폐수처리	폐수종말처리시설	CH ₄
	기타 폐수처리	
폐기물 소각	소각보일러	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
	특정폐기물 소각시설	
	일반폐기물 소각시설	
	폐가스 소각시설	
	적출물 소각시설	
	폐수소각시설	

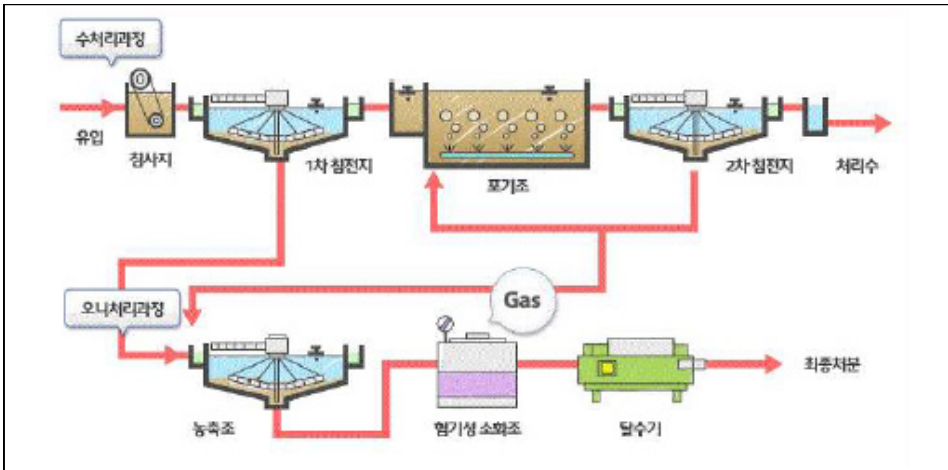
자료: 한국환경공단(2016)

2절. 하수처리장 온실가스 배출 산정 방법

1. 배출권거래제 내 하수처리의 정의

- 하·폐수처리는 가정, 상업, 산업 및 공업시설에서 발생하는 수질오염물질을 처리하여 수자원 이용에 장애를 초래하거나 수중 생태계를 파괴하지 않도록 하는 과정임
- 현재는 하·폐수처리시설 내 고도처리 공정의 확대로 BOD, SS 뿐만 아니라 질소나 인과 같은 영양염류 제거율도 높아지고 있는 실정임
- 하수처리는 사람의 생활이나 경제활동으로 인하여 발생하는 수질오염물질을 처리하는 과정임. 하수종말처리시설, 가축분뇨공공처리시설, 마을하수도, 수질오염 방지시설 및 오수처리시설 등이 이에 속함
- 하수처리과정은 처리유형에 따라 물리·화학적 처리와 생물학적 처리로 구분되며, 생물학적 처리는 호기성 처리와 혐기성 처리로 구분됨
- 일반적으로 스크린, 침사지 등 기계적 장치를 이용하여 수중의 부유물이나 고형물을 제거하며 이후 미생물을 이용하여 잔류하는 입자성 부유물질과 용존 유기물을 제거하는 과정을 거침
- 하수처리 과정에서 발생하는 온실가스는 CO₂, CH₄, N₂O가 있으나 CO₂는 생물 기원으로 배출량 산정 시 제외
- N₂O는 폐수가 아닌 질소성분(요소, 질산염 등)을 포함한 하수처리 과정에서 배출되어 하수처리 과정에서 산정·보고하는 온실가스는 CH₄, N₂O임
- 하수처리의 온실가스 공정 배출 시 사용하는 활동자료로는 유량, BOD, T-N농도가 있으며 BOD는 CH₄의 배출량 산정에 이용되며 T-N농도는 N₂O 배출량 산정 시 이용됨
- 하수처리 공정 중 슬러지감량과 바이오가스 생산을 목적으로 하는 혐기성 처리(소화조)는 산소가 없는 밀폐된 공간에서 미생물을 이용하여 유기물을 메탄과 이산화탄소로 분해시키는 공정을 의미함

- 슬러지 감량과 바이오가스 생산을 목적으로 하는 혐기성 처리 공정이 있는 경우, CH₄ 배출계수는 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인에 따라 CH₄ 발생 수용량 기본값(0.6)과 MCF 값(0.8)을 곱한 0.48이며 그렇지 않은 경우 온실가스 배출계수는 0.01532을 이용하여 산정

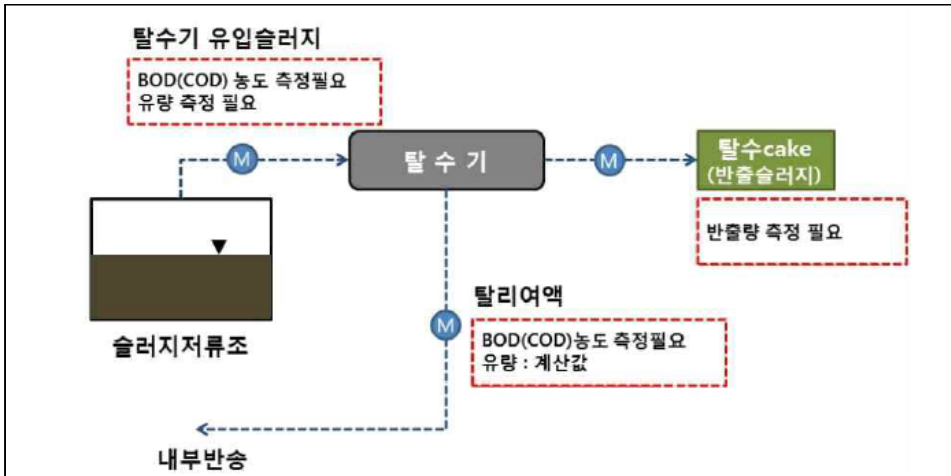


[그림 3-1] 일반적인 하수처리 시설

2. 하수처리 배출량 산정 시 유의사항

- 하수 처리시설에서 온실가스 배출량 산정 시 가장 먼저 확인해야 할 사항은 유입물질의 종류와 유입형태를 확인하는 것으로 하수 단일유입 인지, 하수를 포함한 다른 물질이 연계처리 되는지 여부를 먼저 파악해야함
- 연계유입의 경우 유입물질이 병합되는 지점에서 유량 및 농도 측정을 시행하며 개별로 측정이 되는 경우 각각의 값을 가중평균하여 유량과 농도를 산정
- 하수처리 시설로 폐수 유입 시 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침 별표 16」에 따라 배출량은 하수처리 배출량 산정식을 적용

- 회수하는 바이오가스의 유량과 메탄농도를 실측하지 않는 경우에는 산정 방법론의 메탄회수량을(R)을 '0'으로 간주
- 슬러지의 반출량과 농도를 측정한 자료가 있을 시 산정방법론에 반영



[그림 3-2] 슬러지 반출 공정

- 탈수기를 기준으로 하여 탈수기 유입슬러지의 BOD부하량과 탈리여액의 BOD부하량의 차이로 탈수케익의 BOD부하량을 산출
- 이러한 산정을 위해서는 탈수기 유입슬러지에 대한 BOD 및 유량 측정, 탈리여액의 BOD측정, 탈수케익의 유량 측정이 되어야 함
- 결과적으로 반출슬러지 BOD부하량 적용을 위하여 3개의 신규 모니터링 포인트가 추가되어야 하며, TN농도도 동일한 방법으로 적용 가능
- 탈수기 유입슬러지 유량정보와 탈수케익의 유량정보를 통하여 탈리여액의 유량을 계산하며 탈수기 유입슬러지의 유량, BOD측정농도와 탈리여액의 유량, BOD 측정농도를 통해 각각의 BOD 부하량을 산정
- 탈수케익의 BOD 부하량을 연간 반출량으로 나누어 BOD 농도를 산정하고 반출슬러지의 TN농도도 동일한 방법으로 적용이 가능

구분	활동 자료	
	유량 (Qm ³)	BOD 농도 (mg-BOD/L)
탈수기 유입 슬러지(in)	430,000	8,000
탈수 cake(반출슬러지)	30,000	계산값
탈리여액	계산값	300

반출슬러지 BOD 농도 산정	
탈리여액 유량(m ³)	유입 슬러지량 - 반출슬러지량 = 430,000 - 30000 = 400,000
탈수 cake BOD부하량 산정(kg BOD)	유입 슬러지 BOD부하량 - 탈리여액 BOD부하량 = (430,000 × 8,000) - (400,000 × 300) = 3,320,000 kg BOD
탈수 cake BOD 농도(mg/l)	3,320,000 ÷ 30,000 × 10 ³ = 110,666mg/l

[그림 3-3] 반출슬러지 유량 및 BOD 산정 예시

○ 하수처리시설에 대하여 다음과 같이 가정하여 산정한 예시를 나타냄

일반 현황			
보고대상 배출시설	공공 하수처리시설	처리시설 유형	혐기성 처리(소화조)
처리대상 폐기물	하수	반출슬러지 유무	X
연계처리 여부	O	연계처리 대상	분뇨처리수
매개변수 정보			
CH ₄ 배출계수	0.48 kgCH ₄ /kgBOD	바이오 가스 회수량(m ³)	920,000
N ₂ O 배출계수	0.005 gN ₂ O-N/kg-T-N	바이오 가스 중 메탄 함유율(%)	65
메탄 환산계수 (m ³ /ton)	0.7156 × 10 ⁻³	회수량/발생량 75% 초과 여부	75% 이하
구분	활동 자료		
	유량 (Qm ³)	BOD 농도 (mg-BOD/L)	T-N 농도 (mg-T-N/L)
하수 유입수(in)	15,000,000	112	40
연계수(분뇨처리수) 유입수(in)	5,000,000	240	100
하수 방류수(out)	18,000,000	4	13

[그림 3-4] 하수처리장 공정배출 산정을 위한 가정

- 이러한 가정된 사업장의 하수처리 공정배출에 대한 온실가스 배출량 산정 결과는 21,426.889 tCO₂eq 이고 여기에 고정연소, 이동연소, 전력사용을 포함한 간접배출 등의 온실가스 배출량을 산정하여 합산하면 하수처리장 전체 사업장의 배출량이 됨

가중평균	
산정식	$\text{유입수의 } BOD\text{농도} = \frac{Q_1 \times BOD_1 + Q_2 \times BOD_2}{Q_1 + Q_2}$
	Q_1 하수의 유입유량(m ³)
	Q_2 분뇨처리수의 유입유량(m ³)
	BOD_1 하수의 유입 BOD(mg-BOD/L)
	BOD_2 분뇨처리수의 유입 BOD(mg-BOD/L)
BOD 농도(mg/l)	$= \frac{(15,000,000 \times 112 + 5,000,000 \times 240)}{(15,000,000 + 5,000,000)} = 144$
산정식	$\text{유입수의 } TN\text{농도} = \frac{Q_1 \times TN_1 + Q_2 \times TN_2}{Q_1 + Q_2}$
	Q_1 하수의 유입유량(m ³)
	Q_2 분뇨처리수의 유입유량(m ³)
	TN_1 하수의 유입 TN(mg-T-N/L)
	TN_2 분뇨처리수의 유입 TN(mg-T-N/L)
TN 농도(mg/l)	$= \frac{(15,000,000 \times 40 + 5,000,000 \times 100)}{(15,000,000 + 5,000,000)} = 55$
보고대상 온실가스	
산정식	$\frac{R}{(BOD_{in} \times Q_{in} - BOD_{out} \times Q_{out} - BOD_{sl} \times Q_{sl}) \times 10^{-8} \times EF_1} \leq 0.75$ $CH_4\text{Emissions} = (BOD_{in} \times Q_{in} - BOD_{out} \times Q_{out} - BOD_{sl} \times Q_{sl}) \times 10^{-8} \times EF - R$
	$CH_4\text{Emissions}$ 하수처리에서 배출되는 CH ₄ 배출량(ICH)
	BOD_{in} 유입수의 BOD ₅ 농도, (mg-BOD/L)
	BOD_{out} 방류수의 BOD ₅ 농도, (mg-BOD/L)
	BOD_{sl} 반출 슬러지의 BOD ₅ 농도, (mg-BOD/L)
	Q_{in} 유입수의 유량(m ³)
	Q_{out} 방류수의 유량(m ³)

	Q_{si}	슬러지의 반출량(m ³)
	EF	배출계수(kgCH ₄ /kg-BOD)
	R	메탄회수량(CH ₄)
메탄회수량(R)	$\text{인간 바이오가스 회수량(m}^3\text{)} \times \text{바이오가스의 인평균 메탄농도(}\%\text{)} \times 0.7156 \times 10^{-3}$ $= 920,000 \times 0.65 \times 0.7156 \times 10^{-3} = 427.928$	
75% 초과여부 확인	$\frac{427.928}{(144 \times 20,000,000 - 4 \times 18,000,000) \times 10^{-6} \times 0.48}$ $= \frac{427.928}{1.347-840}$ $= 0.317$	
총 CH ₄ 배출량	$= (144 \times 20,000,000 - 4 \times 18,000,000 - 0) \times 10^{-6} \times 0.48 - 427.928$ $= 919.911 \text{ tCH}_4$	
산정식	$N_2O\text{Emissions} = (TN_{in} \times Q_{in} - TN_{out} \times Q_{out} - TN_{si} \times Q_{si}) \times 10^{-6}$ $\times EF \times 1.571$	
	$N_2O\text{Emissions}$	하수처리에서 배출되는 N ₂ O 배출량(tN ₂ O)
	TN_{in}	유입수의 총 질소농도, (mg-T-N/L)
	TN_{out}	방류수의 총 질소농도, (mg-T-N/L)
	TN_{si}	반출 슬러지의 총 질소농도, (mg-T-N/L)
	Q_{in}	유입수의 유량(m ³)
	Q_{out}	방류수의 유량(m ³)
	Q_{si}	슬러지의 반출량(m ³)
	EF	아산화질소 배출계수(kgN ₂ O-N/kg-T-N)
	1.571	N ₂ O의 분자량(44.013)/N ₂ 의 분자량(28.013)
총 N ₂ O 배출량	$= (55 \times 20,000,000 - 13 \times 18,000,000 - 0 \times 10^6) \times 0.005 \times 1.571$ $= 6.802 \text{ tN}_2\text{O}$	

각 온실가스별 배출량		총 온실가스 배출량(GWP 적용)		
tCH ₄	tN ₂ O	tCH ₄ _GWP	tN ₂ O_GWP	tCO ₂ eq
919.911	6.802	(919.911 × 21)	(6.802 × 310)	21,426.889

[그림 3-5] 하수처리장 공정배출 산정 예시(한국환경공단, 2016)

대전하수처리장 및 공정 이해

1절 대전하수처리장 개요

2절 하수처리 공정의 이해

3절 바이오가스화 공정에 대한 이해

4장

4장 대전하수처리장 및 공정 이해

1절. 대전하수처리장 개요

- 하수의 처리는 오수의 처리 및 병원균의 제거라는 공중보건의 중요성으로 19세기 초 영국에서 시작되었고 활성슬러지 공법이 개발된 1914년 이후 대표적인 하수처리 공정으로 자리 잡았으며 국내외를 막론하고 대부분의 하수처리장에서 적용
- 대전광역시 인구는 2017년 말 기준 약 152만명이며, 일일 하수 발생량은 479,898 m³로 대부분 하수처리장에서 처리



[그림 4-1] 대전하수처리장 전경

- 대전의 하수처리장은 현재 대전광역시 유성구에 원촌동에 위치하고 있는 하수종말처리장이 대부분의 하수를 처리하고 있으며 일일 처리규모 900천 m³ 으로 1989년부터 가동하기 시작하여 약 30년간 운영되어져 왔음
- 주요 구성시설은 생물학적 질소와 인 제거를 위한 NPR, Bio-Sac, MLE 공법을 중심으로 구성되어 있으며 무산소, 호기조, 혐기조를 교차적으로 배치하여 구성
- 흑석동의 하수처리장은 흑석동 일대의 하수를 처리하고 있으며 일일 1,000 m³의 처리에 소규모 시설

대전광역시 하수종말처리장 개요

<ul style="list-style-type: none"> ▪ 위치: 대전광역시 유성구 엑스포로 326 ▪ 부지면적: 404, 334 m² ▪ 건축면적: 63,795 m² ▪ 시설규모: 900천 m³/일 (제 1처리장 150천m³/일, 제 2처리장 150천 m³/일, 제 3처리장 300천 m³/일, 제 4처리장 300천 m³/일) ▪ 처리 공정 ✓ 수처리공정: <ul style="list-style-type: none"> 1) 생물학적 질소 및 인 제거 공법 + 화학적 인제거(공침) 병행 <ul style="list-style-type: none"> - 1, 2 처리장: NPR 공법 + Alum(알룸) 약품 투입 - 3 처리장: BIO-SAC 공법 + Alum(알룸) 약품 투입 2) 생물학적 질소제거 + 화학적 인제거(공침) 병행 <ul style="list-style-type: none"> - 제 4처리장: MLE 공법 + Alum(알룸) 약품 투입 ✓ 슬러지 공정: 혐기성 중온소화법(난형) ▪ 사업비: 297,385백만원(국고 13,275백만원, 지방비 284,110백만원)

- 생물학적으로 미생물을 이용하는 공법의 특성상 처리과정에서 슬러지가 발생하는 데, 1차 침전조에서 발생하는 생슬러지와 2차 침전조에서 발생하는 잉여슬러지로 구분
- NPR 공법은 기존의 혐기조-무산소조-호기조로 이루어진 A2O 공법을 변형한 질소와 인제거 공법으로 혐기조, 무산소조, 호기조, 침전조로 구성되며 유입수를 혐기조와 무산소조에 분배주입하여 탈질에 필요한 유기탄소원을 일부 확보하고 호기조 내에 다공질의 담체를 충전하여 질산화 미생물 고정으로 SRT를 길게 가져갈수 있고 수온저하시에 도 높은 처리 효율을 나타내는 것이 특징
- BIO-SAC 공법은 하·폐수처리시설에 생물학적이고도처리 공정을 추가한 것으로 혐기조, 무산소조, 담체가 충전된 호기조, 반응축진조, 이차 침전지 등으로 구성

[표 4-1] 대전하수처리장 수처리시설 현황

시설명	1처리장	2처리장	3처리장	4처리장
유입침사지	W3.7m×L21.5m×H1.0m×3지		W3.8m×L21.5m×H1.5m×6지	
스크린설비	<ul style="list-style-type: none"> · 조목(수동):75mm×3대 · 세목(자동):20mm×3대 · 미세목(자동):5mm×3대 		<ul style="list-style-type: none"> · 조목(수동):75mm×6대 · 세목(자동):20mm×6대 · 미세목(자동):5mm×6대 	
유입펌프	100 ^m /min×H11.0m ×260kW×4대 (인버터 2대)		50 ^m /min×H12.5m×160kW×2대 120 ^m /min×H12.5m×350kW×6대	
일차침전지	Ø36.5m× H3.0m×4지	Ø36.5m× H3.0m×4지	W14.1m×L37.0m ×H3.0m ×16지	W9.0m×L40.0m × H3.0m×24지
생물반응조	NPR공법 (혐기조→무산소조→호기조) W8m×L78m×H5m×24지	Bio-Sac공법 (혐기조→무산소조→호기조) W9.5m×L65m×H5m×24지	MLE공법(무산소조→호기조) W9m×L35m× H10m×24지	
이차침전지	Ø43.0m× H3.2m×4지	Ø43.0m× H3.2m×4지	Ø43.6m× H3.2m×8지	W9.0m×L56.0m ×H3.6m×24지
송풍기	125 ^m /min× 6,000 ^{mm} Aq×6대	125 ^m /min× 6,000 ^{mm} Aq×6대	180 ^m /min× 6,500 ^{mm} Aq×12대	135 ^m /min× 12,000 ^{mm} Aq×9대 101 ^m /min× 6,500 ^{mm} Aq×1대

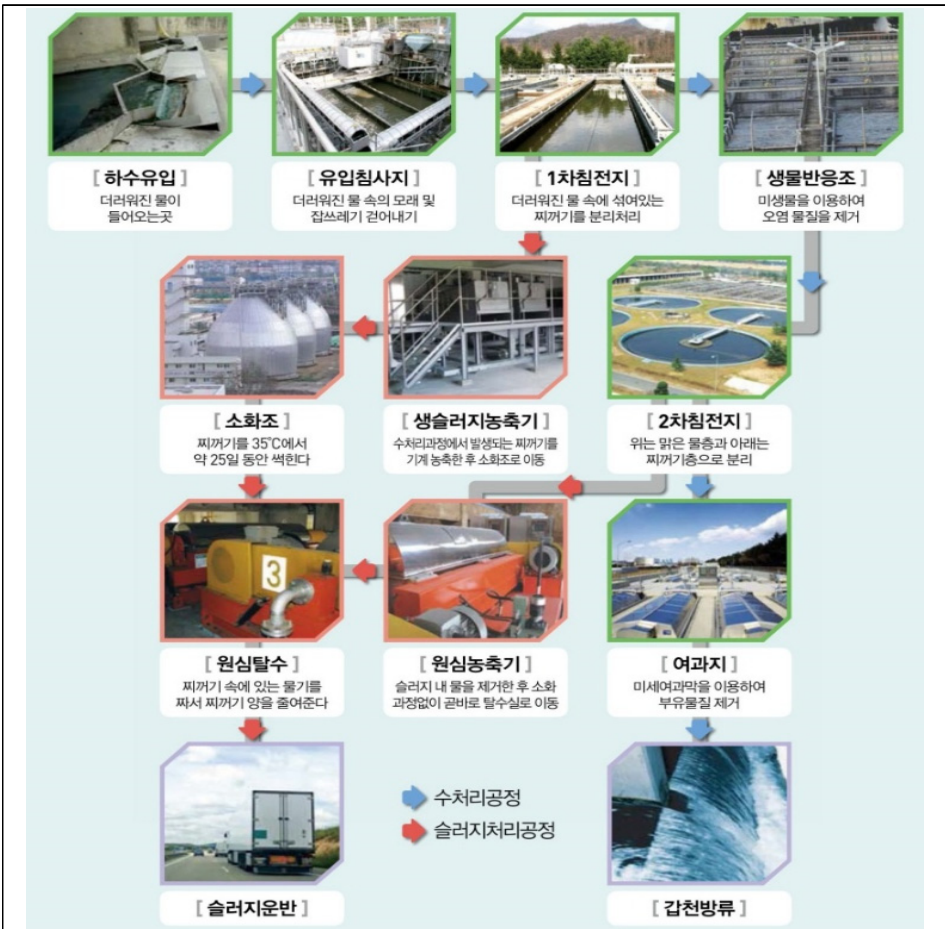
- 담체로는 페타이어를 이용하는 경우가 있으며 호기조내에 페타이어를 충전하여 유동상 생물막공정으로 담체표면에 부착된 미생물이 함께 반응하여 질산화 및 탈질속도가 빠르다는 특징
- MLE 공법은 생물학적으로 질소를 제거하기 위해 무산소조와 호기조를 조합한 것으로 호기조에서는 유기물을 제거하고 질산화를 통한 암모니아성 질소를 질산성질소로 전환시키는 기능을 수행
- 호기조에서 질산화가 이루어진 처리수를 내부순환을 통해 다시 무산소조로 보내 탈질공정을 거쳐 질소가스로 하여 제거

[표 4-2] 대전하수처리장 슬러지처리시설 현황

시설명	1처리장	2처리장	3처리장	4처리장
생슬러지저류조	.	Ø15.5m× H3.0m×2지	Ø15.0m× H3.0m×3지	Ø15.0m× H3.0m×3지
원심농축기	60m ³ /hr×3대		60m ³ /hr×6대	
소화조(난형)	.	Ø17.9m×H25.2m (3,500m ³)×3지	Ø22m×H32.6m (7,000m ³)×3지	Ø22m×H32.6m (7,000m ³)×3지
소화슬러지저류조	.	Ø11.5m× H4.0m×2지	Ø11.5m× H4.0m×3지	Ø11.5m× H4.0m×3지
탈수기	40m ³ /hr × 4대 (원심탈수기)		40m ³ /hr × 4대 (원심탈수기)	
케익호퍼	75m ³ × 3조		75m ³ × 2조	

- 하수처리장에서 발생하는 슬러지는 난형의 소화조를 통해 혐기성미생물에 의해 메탄과 이산화탄소가 주를 이루는 바이오가스를 생산하는 원료로 사용되는데, 1차 침전지에서 발생하는 생 슬러지만 처리하고 2차 침전지에서 발생하는 잉여 슬러지는 혐기소화효율이 낮고 처리를 위해서는 전처리등이 필요하기 때문에 혐기소화를 시키지 않고 농축 및 탈수 처리 후 최종 처분

- 하수처리는 유입하수가 침사지를 거쳐 모래 및 그립과 조대 헝잡물을 걸러내고, 1차 침전조에서 중력을 이용한 분리를 실시
- 이때 침전지 아래에 슬러지가 모이게 되는데 이를 생슬러지라고 하며 생슬러지 농축기와 소화조를 통해 바이오가스를 생산
- 이후 생물반응조에서 호기성미생물에 의한 유기물 분해가 일어나게 되고 2차 침전지로 이동 후 침전된 미생물을 잉여슬러지라고 하며 일부는 반송시키고 나머지는 유출시켜 농축 및 탈수공정을 거친 후에 최종 처분되며 2차 처리수는 여과지를 거친 후 최종적으로 갑천으로 방류



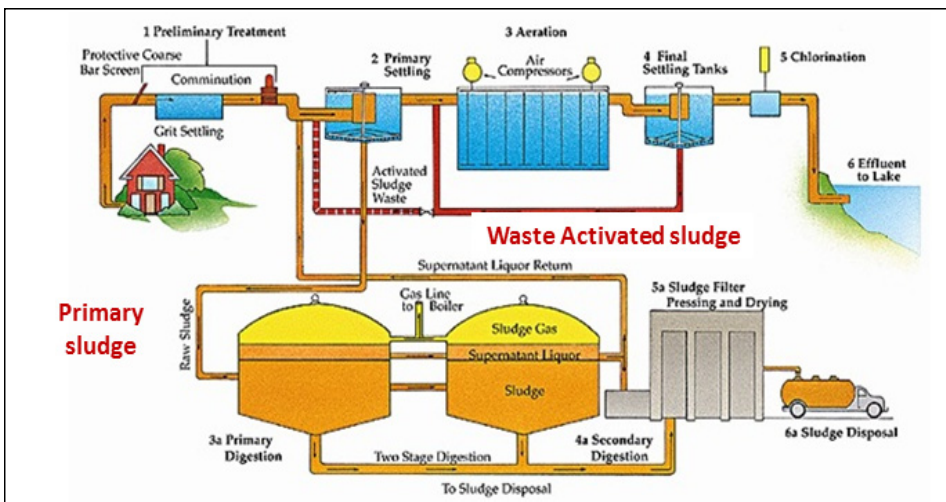
[그림 4-2] 대전하수처리장 처리 공정도

<ul style="list-style-type: none"> • 유입침사지 							
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>기능</td> <td>차집관로를 통해 유입된 하수중에 협잡물 및 모래 침전제거</td> </tr> <tr> <td>주요설비</td> <td>유입펌프, 조목스크린, 세목스크린</td> </tr> </tbody> </table>	기능	차집관로를 통해 유입된 하수중에 협잡물 및 모래 침전제거	주요설비	유입펌프, 조목스크린, 세목스크린		
기능	차집관로를 통해 유입된 하수중에 협잡물 및 모래 침전제거						
주요설비	유입펌프, 조목스크린, 세목스크린						
<ul style="list-style-type: none"> • 유입펌프 							
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>기능</td> <td>침사/협잡물이 제거된 유입하수를 일차침전지로 이송</td> </tr> <tr> <td>형식</td> <td>입축사류 펌프</td> </tr> </tbody> </table>	기능	침사/협잡물이 제거된 유입하수를 일차침전지로 이송	형식	입축사류 펌프		
기능	침사/협잡물이 제거된 유입하수를 일차침전지로 이송						
형식	입축사류 펌프						
<ul style="list-style-type: none"> • 일차침전지 							
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>기능</td> <td>유입침사지에서 제거되지 않은 생슬러지를 중력 침강시켜 농축조로 이송</td> </tr> <tr> <td>형식</td> <td>중력식 원형(장방형) 침전지/체류시간 2시간</td> </tr> <tr> <td>주요설비</td> <td>슬러지수집기, 생슬러지펌프</td> </tr> </tbody> </table>	기능	유입침사지에서 제거되지 않은 생슬러지를 중력 침강시켜 농축조로 이송	형식	중력식 원형(장방형) 침전지/체류시간 2시간	주요설비	슬러지수집기, 생슬러지펌프
기능	유입침사지에서 제거되지 않은 생슬러지를 중력 침강시켜 농축조로 이송						
형식	중력식 원형(장방형) 침전지/체류시간 2시간						
주요설비	슬러지수집기, 생슬러지펌프						
<ul style="list-style-type: none"> • 생물반응조 							
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>기능</td> <td>1차 처리된 하수를 미생물을 이용 유기물, 질소, 인 제거</td> </tr> <tr> <td>형식</td> <td>장방형/체류시간 6시간</td> </tr> <tr> <td>주요설비</td> <td>산기장치/담체/교반기(혐기/무산소)</td> </tr> </tbody> </table>	기능	1차 처리된 하수를 미생물을 이용 유기물, 질소, 인 제거	형식	장방형/체류시간 6시간	주요설비	산기장치/담체/교반기(혐기/무산소)
기능	1차 처리된 하수를 미생물을 이용 유기물, 질소, 인 제거						
형식	장방형/체류시간 6시간						
주요설비	산기장치/담체/교반기(혐기/무산소)						
<ul style="list-style-type: none"> • 이차침전지 							
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>기능</td> <td>미생물에 의해 처리된 하수를 일정시간 체류시켜 슬러지 침전 제거 및 상등수 방류</td> </tr> <tr> <td>형식</td> <td>중력식 원형(장방형) 침전지/체류시간 3시간</td> </tr> <tr> <td>주요설비</td> <td>슬러지 수집기, 잉여 슬러지펌프, 반송 슬러지펌프</td> </tr> </tbody> </table>	기능	미생물에 의해 처리된 하수를 일정시간 체류시켜 슬러지 침전 제거 및 상등수 방류	형식	중력식 원형(장방형) 침전지/체류시간 3시간	주요설비	슬러지 수집기, 잉여 슬러지펌프, 반송 슬러지펌프
기능	미생물에 의해 처리된 하수를 일정시간 체류시켜 슬러지 침전 제거 및 상등수 방류						
형식	중력식 원형(장방형) 침전지/체류시간 3시간						
주요설비	슬러지 수집기, 잉여 슬러지펌프, 반송 슬러지펌프						
<ul style="list-style-type: none"> • 여과설비 							
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>기능</td> <td>2차 처리된 하수를 미세여과막을 이용 부유물질제거</td> </tr> <tr> <td>형식</td> <td>마이크로디스크필터(MDF)</td> </tr> <tr> <td>주요설비</td> <td>여과조, 여과디스크필터, 자동세척장치, 세척수 이송배관</td> </tr> </tbody> </table>	기능	2차 처리된 하수를 미세여과막을 이용 부유물질제거	형식	마이크로디스크필터(MDF)	주요설비	여과조, 여과디스크필터, 자동세척장치, 세척수 이송배관
기능	2차 처리된 하수를 미세여과막을 이용 부유물질제거						
형식	마이크로디스크필터(MDF)						
주요설비	여과조, 여과디스크필터, 자동세척장치, 세척수 이송배관						
<ul style="list-style-type: none"> • 송풍기 							
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>기능</td> <td>호기조의 용존산소 농도를 일정하게 유지시켜 호기성 미생물이 유기물을 분해 할 수 있도록 산소 공급</td> </tr> <tr> <td>형식</td> <td>터보형(에어베어링)</td> </tr> </tbody> </table>	기능	호기조의 용존산소 농도를 일정하게 유지시켜 호기성 미생물이 유기물을 분해 할 수 있도록 산소 공급	형식	터보형(에어베어링)		
기능	호기조의 용존산소 농도를 일정하게 유지시켜 호기성 미생물이 유기물을 분해 할 수 있도록 산소 공급						
형식	터보형(에어베어링)						

[그림 4-3] 대전하수처리장 세부처리 공정

2절. 하수처리 공정의 이해

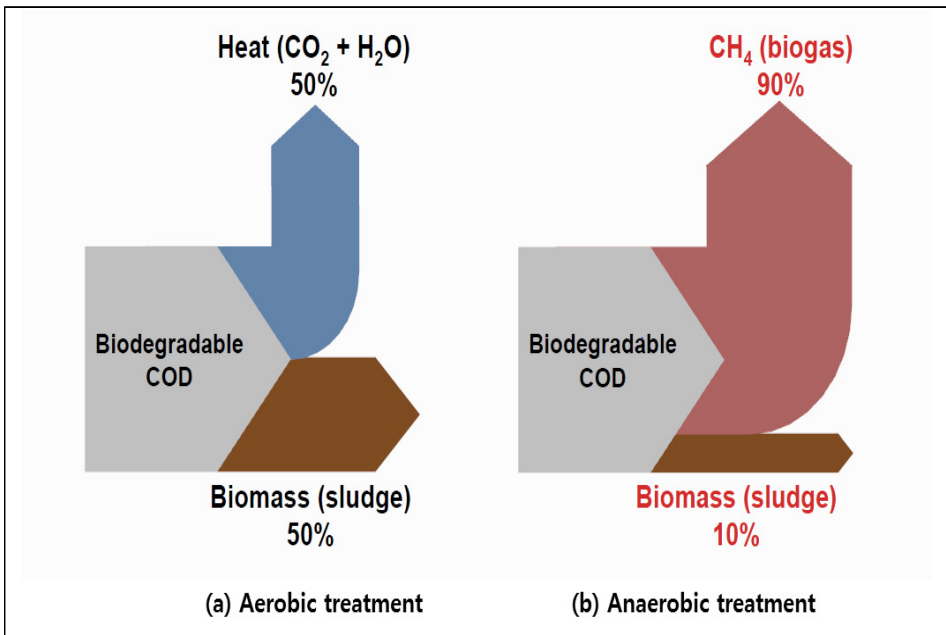
- 생물학적 하수처리 공정은 크게 산소를 필요로 하는 호기성 처리와 산소를 필요로 하지 않는 혐기성 처리로 나뉨
- 기존의 하수처리는 대부분 활성슬러지공법으로 불리는 호기성 처리방법에 의해 처리되어왔고 유기성물질의 지표로 불리는 BOD/COD 및 호수내에서 부영양화 및 조류 발생의 원인이 되는 영양물질(Nutrients, N,P)의 제거에 주목적이 있음



[그림 4-4] 일반적인 하수처리 공정

- 호기성소화의 장점은 호기성 미생물의 성장속도가 빠르기 때문에 유기물 제거속도가 혐기성소화에 비해 높고 안정적인 처리가 가능하다는 것이지만 공기주입에 소모되는 에너지가 많고 빠른 미생물 성장속도로 인한 슬러지 발생이 높다는 단점이 있음
- 하지만, 혐기성 소화는 유기물 제거와 동시에 유용한 에너지원인 메탄(CH_4)가스를 생산 할 수 있고 슬러지 발생량도 호기성소화에 비해 매우 적으며 공기를 주입하지 않기 때문에 호기성 소화에 비해 소모되는 에너지는 적다는 장점이 있음

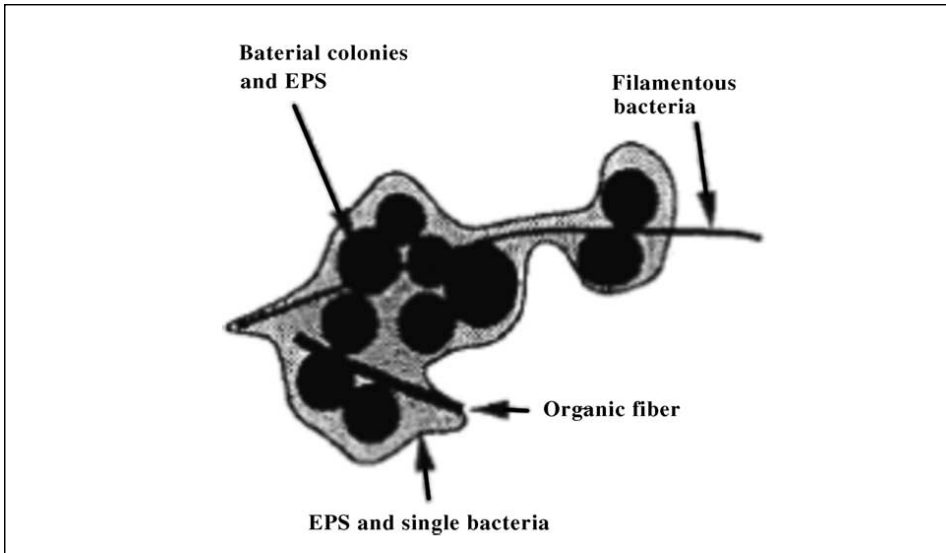
- 이러한 장점에도 불구하고 느린 미생물 성장속도, 긴 처리시간은 혐기성소화의 최대 단점으로 꼽히고 있음
- 느린 미생물의 성장속도를 보완하기 위해서는 수리학적 체류시간(Hydraulic retention time, HRT)과 고형물 체류시간(Solid retention time, SRT)의 분리가 필요한데, 일반적으로 완전혼합반응기의 형태에서는 HRT와 SRT가 동일하기 때문에 HRT를 낮출수록 침강성이 낮은 미생물은 외부로 유출(washout)되기 때문에 유기물 부하를 높일수록 반응조의 성능은 한계가 있을 수밖에 없음



[그림 4-5] 호기성 처리 와 혐기성 처리의 에너지 밸런스

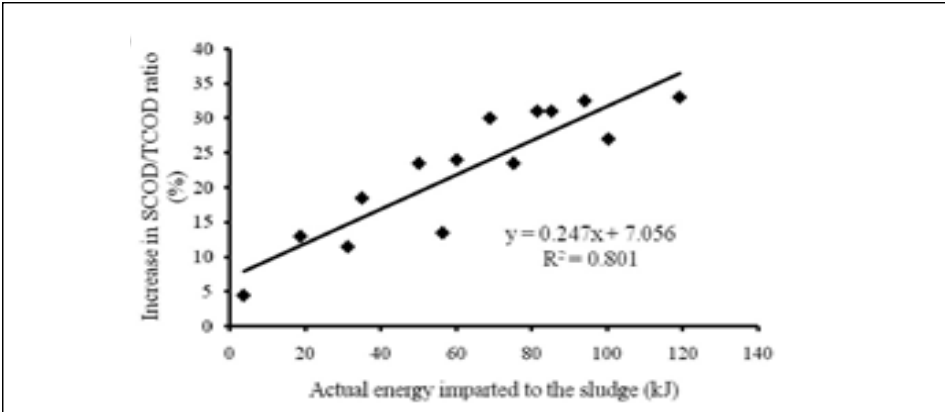
- 하수처리 공정은 유입 하수 → 스크린 → 1차 침전조 → 폭기조 → 2차 침전조 → 배출의 단계로 이루어지며 1차 침전조에서 침전된 슬러지를 일반적으로 생 슬러지(Primary sludge)라고 하고 2차 침전지에서 생산된 슬러지를 활성슬러지(Waste activated sludge)라고 함

- 이렇게 생산된 생슬러지와 활성슬러지는 각각의 성상이 다른데, 생 슬러지의 경우 침전성이 큰 유기물 또는 무기성분등이 대부분을 차지하고 있으며 활성슬러지의 경우 활성슬러지 공정에서 생산되는 미생물이 대부분이어서 단백질과 탄수화물 지방 등의 성분이 분포되어 있음
- 하수슬러지는 전체 부피의 95%가 물로 구성되어있으며 나머지부분이 미생물 바이오매스와 EPS(Extracellular polymeric substance)라하는 세포외 고분자 물질들로 구성되어져 있으며, 이 EPS는 세포벽 내에 위치하고 있고 5%의 슬러지 고형물중 18~30%를 차지하고 있으며 대표적인 역할은 미생물과 물을 병합하는 것으로 알려져 있음
- EPS 내의 구성성분은 탄수화물, 단백질, 지방과 핵산, 칼슘, 마그네슘과 같은 세포 생성에 필요한 물질이 포함되어 있고 물과 같이 병합되어져 있기 때문에 슬러지의 수분함량을 줄이기 위해서는 이들의 결합을 파괴하는 것이 중요
- 가수분해라고 하는 것은 결국 이러한 슬러지 내 EPS와 수분을 형성되어있는 플록(Floc) 밖으로 유출 시켜 부족한 슬러지의 유기성분을 보충하는 의미와 수분 함량을 줄이는 물리화학적, 생물학적, 열적 방법들을 의미
- 물리적 방법에는 기계를 이용한 압력 탈수, 초음파 처리 등이 있으며 화학적 방법에는 알칼리, 산, 오존 등의 방법이 있으며 열적 처리는 100℃ 이하의 저온 처리와 100℃ ~ 500℃ 정도의 초고온 처리가 있음
- 이와 반대로 냉각 처리 등의 동결 건조 등의 방법을 이용하여 세포벽을 파괴하기도 함
- 생물학적 방법에는 효소를 이용하는 것이 있고 그 외에는 이들 여러 방법들을 혼합하여 사용하는 병합 전처리가 있음



[그림 4-6] 하수슬러지 구성

- 일반적으로 가용화율은 전처리 후 슬러지내 용해성 Chemical Oxygen Demand(COD)의 증가 정도에 의해 평가되며 단일전처리 보다 병합처리 시 가용화율이 더 증가하는 것으로 알려져 있음
- 이는 병합 전처리 시 슬러지의 세포벽에 가해지는 서로 다른 영향이 상승효과(Synergistic Effect)를 가져오기 때문인데, 알칼리(pH 12)와 열처리(175℃, 30min)의 조합으로 55%의 가용화율을 보고되었고 (Penaud), 초음파, 마이크로파, 열처리 및 알칼리 처리에서 개별 처리 시 50%, 병합처리에서는 70%의 가용화율을 보고되었으며(조시경 등), 병합 전처리를 통해 86.5%의 가용화율을 보고된 것도 있음(Kim et al.)



[그림 4-7] 전처리시 에너지 사용과 가용화율의 관계

- 가용화율의 증대는 전처리 강도에 비례하는 것으로 많은 보고가 있었으며 전처리시 소요되는 에너지를 고려하지 않을 경우 초음파 및 알칼리 병합 전처리시에는 100%의 가용화도 보고된 바 있음
- 하지만 전처리의 강도 증가는 전처리시 소요되는 에너지의 증가로 이어지며, 전처리강도를 높이는 이유는 가용화된 유기성분을 바이오가스 생산을 통해 에너지를 회수하고 수분의 함량을 낮추려는 것인데 높은 가용화율을 얻기 위해서 전처리 강도를 높이는 경우 잘못하면, 주객전도의 결과를 불러올 수 있음

[표 4-3] 다양한 전처리 방법들의 설치비 및 운영 유지비용(Muller et al., 2001)

구분	물리적	열	화학		생물학적	냉동/해동
			오존	산/염기		
설치비용	중간	높음	중간	낮음	낮음	낮음/중간
운영/유지 비용	중간에서 높음	높음 or 낮음	중간에서 높음	낮음	낮음	낮음/높음

- 또한 이러한 고강도의 전처리 방법들을 실제 플랜트 공정에 적용할 경우, 설치비 및 운영비용을 고려하지 않을 수 없으며, 전처리 효과가 높은 열적처리는 초기 설치비와 운영비가 매우 높은 반면, 유지비는 적게 들고 기계적 방법의 경우 전처리 효과가 열처리에 비해 낮지만 설치비 및 운영비가 높은 양상을 띠고 있음
- 기존에는 전처리를 통해 가용화율을 높이는 부분만 고려하였지만 최근에는 에너지의 소요를 고려하여 적절한 가용화율을 찾으려는 노력들이 많이 이루어지고 있음

[표 4-4] 다양한 전처리 공정에 대한 경제적 접근

Economic assessment for different pretreatment processes compared to the control.^a

Set	Pretreatment cost ^b (\$)	Increase in CH ₄ production (\$)	Saving in H ₂ S removal cost (\$)	Dewatering, transportation and landfill cost		Net saving compared to the control ^d (\$)	
				Amount of solids ^c (ton)	Decrease in cost (\$)		
1	Ultra sound	20	8	11	0.54	55	54
2		98	10	11	0.51	63	-14
3		196	12	12	0.52	60	-112
4	Thermal	24	7	42	0.55	53	78
5		43	9	46	0.54	55	67
6		62	7	45	0.54	55	45
7	Combined	44	10	40	0.52	60	66
8		63	9	42	0.51	63	51
9		82	11	42	0.47	73	44
10		122	14	28	0.51	63	-17
11		141	13	44	0.48	70	-14
12		160	12	49	0.45	78	-21
13		220	14	46	0.46	75	-85
14		239	13	54	0.43	83	-89
15	258	15	46	0.42	85	-112	

^a All results are shown for per ton solid treatment compared to the control.

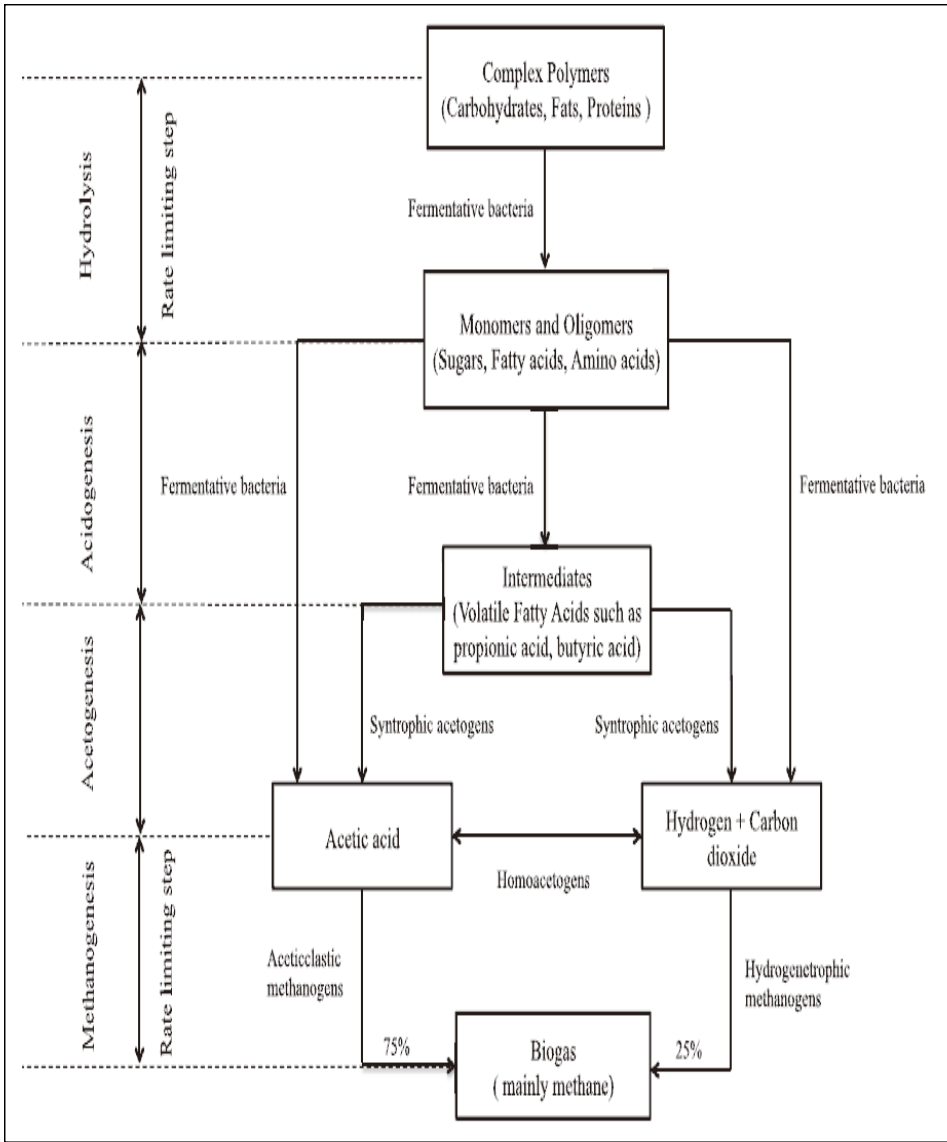
^b Energy input cost for different pretreatment process.

^c Amount of solid after pretreatment and anaerobic digestion.

^d Net saving compared to control = increase in methane (\$) + reduction in H₂S removal cost + reduction in dewatering, transportation and landfill cost (\$) - pretreatment cost (\$).

3절. 바이오가스화 공정에 대한 이해

- 바이오가스화 공정은 산소가 없는 혐기 조건에서 혐기성 미생물을 통해 유기물질로부터 메탄 및 이산화탄소를 생산하는 공정
- 호기성 소화와 비교하면, 호기성 소화는 공기를 주입해야하고 유기물의 50%가 슬러지로 생산되기 때문에 공기주입과 슬러지 처리에 소요되는 비용이 매우 높음
- 반면에 혐기성 소화의 경우에는 슬러지 생산은 유기물의 10%에 지나지 않고 대부분은 유용한 에너지원인 메탄가스를 생산할 수 있기 때문에 에너지 회수에 있어 호기성소화에 비해 효과적이라 할 수 있음
- 바이오가스화 공정의 단계는 크게 4가지 단계를 거치는데, 통상적으로 복합 고분자 물질을 단당류의 저분자 물질로 분해하는 가수분해(hydrolysis), 저분자 물질을 다양한 산발효 미생물에 의해서 뷰틸산, 프로피온산으로 분해하는 산발효 단계(acidogenesis), 생산된 프로피온산과 뷰틸산으로부터 아세트산과 수소로 분해하는 아세트산 생산단계(acetogenesis) 그리고 마지막으로 메탄 생산미생물들에 의해서 수소 및 아세트산이 메탄으로 전환되는 메탄생산단계(methanogenesis)로 구분
- 가수분해단계에서는 탄수화물, 단백질, 지방 등의 복합기질과 불용성 유기물질 등이 *Hydrolytic bacteria*로부터 분비되는 효소(Cellulases, Proteases, Lipases) 등에 의해 미생물이 세포벽을 통과할 수 있는 크기와 형태인 단당류, 지방산, 아미노산 등의 용해성 유기물질로 전환되는 과정이 일어남
- 용해성 물질이 먼저 생성되고 후에 불용성 물질이 생성되는데, 불용성 물질의 분해 작용이 다른 단계에 비해 상대적으로 반응속도가 느려 율속 단계로 알려져 있음

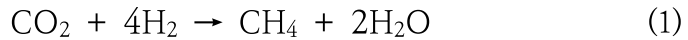


[그림 4-8] 바이오가스 생산 공정(Chen et al., 2016)

- 유기물질의 성분에 따른 분해과정을 보면, 지방은 Clostridia 로부터 생성된 lipase에 의하여 글리세롤(glycerol)과 긴 사슬지방산(long-chain fatty acid)으로 분해되며 아세트산 생산 박테리아에 의해 수소 또는 아세트산으로 전환

- 복합 고분자의 형태로 유입되는 Cellulose는 우선적으로 저분자로 분해되어야 한다. 주로 세포의 효소에 의하여 포도당으로 분해되며, 이렇게 분해된 저분자물질은 세포에 의하여 섭취된 후 이화 및 동화
- 이렇게 분해된 포도당은 세포에 흡수되어 에너지공급을 위한 해당경로를 거쳐서 피루브산까지 중간 분해된 후, 혐기성 상태에서 다시 여러 지방산, 알데히드, 알콜, CO₂, H₂ 등 다양한 물질로 생성
- 단백질은 *Pseudomonas*, *Proteus*, *Bacterianaceae*, *Bacillaceae* 속 세균의 단백질 분해효소(Proteases)에 의하여 분해되어 최종적으로 아미노산(amino acid)을 생성하며 생성된 아미노산은 세포에 섭취되어 암모니아, 이산화탄소, 아세트산, 포름산, 프로피온산 등으로 생성
- 산 생성 단계는 크게 산생성과 아세트산생성으로 진행되는데, 산생성은 산형성미생물(acidogenic bacteria)이 암모니아, 이산화탄소, 기타 부산물을 이용하여 휘발성 유기산으로 전환하는 과정이다. 산 생성 단계에서는 가수분해가 이루어진 수용성 유기물이 베타산화(beta oxidation)에 의해 수소 가스와 저분자 유기산으로 분해
- 아세트산 생성단계는 산 생산 단계를 거쳐 생산된 유기산과 에탄올을 직접 메탄으로 전환될 수 있는 아세트산으로 분해하는 과정이고 수소 분압에 의해서 조절
- 공정의 마지막 단계로 메탄 생성균에 의해 이루어지며 형태상으로 *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanosarcina*, *Methanospirillum* 의 4속으로 분류되고 있음
- 이러한 박테리아들이 직접적으로 이용할 수 있는 기질은 아세트산, 수소, 이산화탄소, 포름산, 메탄올뿐이며 이외의 지방산과 알콜 등은 비메탄균과 메탄균의 상호작용에 메탄과 이산화탄소로 전환
- 메탄 생성과정은 크게 두 그룹에 의해서 진행되는데, 첫 번째는 산 생산 단계에서 생성된 아세트산을 이용하여 메탄과 이산화탄소를 생산하는 그룹과 두 번째는 전자공여체와 전자수용체로 각각 수소와 이산화탄소를 이용하여 메탄을 생성하는 그룹으로 나뉘며 반응식은 아래와 같음

Hydrogenotrophic methane production



Acetoclastic methane production



- 공정에서의 메탄발생은 대부분 초산으로부터 약 70%가 생성되며, 수소로부터 약 30%가 생성된다고 알려져 있음
- 메탄 생산균은 증식속도가 느리고 온도, pH, 유기물의 부하, 유기물의 종류 및 독성 등의 환경요인의 영향을 많이 받으므로 적절한 조건을 유지시켜주는 것이 중요
- 일반적으로 메탄 생산균은 pH 6.5-7.5에서 최대 성장률을 나타내며, 중온조건(30-40℃)과 고온조건(55℃)에서 최대의 활성을 나타냄

경제성 분석 및 정책 제언

- 1절 소화조 운영 시나리오 및 경제성 평가 방법
- 2절 경제성 분석 결과
- 3절 정책 제언

5장

5장 경제성 분석 및 정책 제언

1절. 소화조 운영 시나리오 및 경제성 평가 방법

□ 소화조 운영 시나리오

- 소화조 운영에 따른 시나리오는 크게 3가지로 구성하였고 이에 따른 경제성 평가를 진행하였음
- 첫 번째 시나리오는 기존 하수처리 운영 방법으로 하수처리장의 유입 시설 - 호기조 - 2차 침전지 - 슬러지 소화조 운영에 대한 전반적인 자료를 바탕으로 경제성 분석을 실시하는 시나리오이며 다른 시나리오와 대비하여 비교하기 위한 대조군이라고 할 수 있음
- 두 번째 시나리오는 기존 운영에 음폐수를 병합처리하여 기존보다 많은 바이오가스를 생산했을 때의 시나리오로 음폐수 처리량은 현재 금고동에 있는 음식물광역자원화시설의 처리 용량을 참고로 하였음
- 세 번째 시나리오는 기존 하수처리장운영에서 소화조 처리시설을 제외한 경우로서 1차 침전지에서 발생하는 생슬러지를 소화조로 보내지 않고 2차 침전지에서 발생하는 잉여슬러지와 묶어 원심탈수 및 농축을 통해 함수율을 최대한 제거하고 위탁처리 하는 시나리오로 바이오가스화 시설 운영에 대한 비용과 슬러지를 위탁처리하게 되는 비용을 비교하고자 하였음

□ 경제성 평가 분석 방법

- 대전광역시 하수처리장 운영자료(바이오가스 생산 데이터, 하수처리장 초기 건설비용, 운영비용, 감가상각비, 반입수수료 등) 일체를 수집하여 분석하는 것이 원칙이나 공개상의 어려움이나 현재 가치 환산이 어려울 경우에는 기존의 참고 문헌을 이용하여 진행하는 것으로 하였음

[표 5-1] 경제성 평가 분석 기준

구분	산출기준		비고
비용	유지관리비	· 가동기간: 360일 기준	
		· 시설비의 약 12% (단, 운영 자료가 없을 경우)	
	감가상각비	· 내구 연한 20년, 잔존가치 5% 기준(정액법)	
	원료수집비용	· 없음(음식물류자원화시설에 근접하여 설치)	
편익	반입수수료	· 음식물류폐기물 처리비용: 자료에 근거하여 산정	대전시 및 민간 처리 비용 참고
	전력판매수익	· 92.1원/kW 적용(2018년 전력거래소 SMP 가격) 메탄가스 이용: $m^3 \text{ 메탄/년} \times 8,563 \text{ kcal}/m^3 \div 860 \text{ kcal/kWh} \times \text{전기 전환효율} 0.35 \times 92.1 \text{ 원}/\text{kW}$	
환경적 효과	CO ₂ 감축	· 국내 음식물류폐기물 퇴비화 시 소요되는 CO ₂ 발생량과 비교 또는 온실가스 감축 사업(바이오가스를 이용한 전기 생산 판매) · CO ₂ 배출량 원단위와 비교 (ton CO ₂ /kWh 기준)	

- 물질수지는 일반적으로 공정으로의 유입과 유출, 내부 생성 또는 소멸 등의 질량 이동경로와 균형(balance) 등을 파악할 수 있어 분석을 위한 자료로서 일반적으로 이용되고 있으며 계(System)에 들어오는 질량과 계에서 나가는 질량의 차는 계 내에 축적되거나 혹은 계 내의 화학 반응에 의해 생성, 소멸 되는 질량의 합과 같음을 전제로 하였음
- 경제성 분석은 시스템에 소요되는 비용과 수익을 계산하여 비교 할 수 있는 비용편익분석기법을 활용하였는데 비용에 해당하는 부분은 시설의 건설비, 운영비, 2차 폐수의 처리비용 등이고 폐수를 처리하지 못해서 발생하는 수질악화나 악취, 토양의 오염, 병원균 발생 등의 문제는 사회적 비용으로 구분하였음
- 편익에 있어서는 폐수의 처리비, 음식물쓰레기의 반입비, 바이오가스, 등을 판매하여 얻어진 수익과 이들을 처리함으로써 얻어지는 환경오염의 저감 효과는 사회적 편익으로 구분
- 음식물쓰레기의 분석자료는 실제 성상분석을 통해 이루어지는 것이 원칙이나 자료의 공개나 수집이 용이하지 않을 경우 국가 통계자료를 이용하여 분석

[표 5-2] 음식물류폐기물 성상 기준

항목		단위	성상	비고
수분 함량		%, w/w	88~84	단, 자료수집이 어려울 경우, 기존 통계자료 이용
총 고형물 (TS)		%, w/w	12~16	
휘발성 고형물 (VS)		%, w/w	11~14.5	
TCOD		g/L	200~250	
탄수화물		g Carbo. COD/L	100~120	
유기산	유산	g COD/L	1.0~1.5	
	아세트산	g COD/L	0.1~0.3	

○ 경제성 평가는 다음의 두가지 방법을 활용하여 진행

① 편익/비용 분석방법 (Benefit/cost ratio) :

사업 기간 동안의 총 비용과 총 수익을 현재가치로 환산하여 이들의 비율을 비교하는 방법, 1 또는 1 보다 큰 값이면 사업의 경제성이 타당하다고 판단

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

여기서, B/C : 편익/비용 비율, B_t : t 시간에서의 수익
 C_t : t 년에서의 비용, r : 할인율, n : 내구연수

② 순 현재가치 (NPV, Net present value) :

사업에 수반된 모든 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 총 편익에서 총 비용을 뺀 값으로, 0 또는 (+) 의 값을 가지게 되면 경제성이 있고 (-) 의 값을 갖게 되면 경제성이 없음을 의미.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서, NPV : 순 현재가치, B_t : t 시간에서의 수익
 C_t : t 년에서의 비용, r : 할인율, n : 내구연수

2절. 경제성 분석 결과

□ 하수발생량 및 음식물류폐기물 발생량

- 대전 하수처리장은 하루 900천 m³의 하수를 처리할 수 있도록 설계 되었으며 BOD와 T-N의 처리 설계값은 각각 163.0 mg/L, 33.5 mg/L
- 실제 유입 유량을 살펴보면 2010년 58.5만 m³/일, 2012년 59.5만 m³/일, 2014년 기준 59.5만 m³/일로 설계값의 약 66%로 유입되고 있음

[표 5-3] 하수처리장 설계 및 유입유량

구분	설계치	연도별 운영자료		
		2010년	2012년	2014년
유입유량 (m ³ /일)	900,000	584,500	595,641	595,062
BOD (mg/L)	163.0	136.3	150.2	173.5
T-N (mg/L)	33.5	35.9	36.5	39.1

- 대전광역시 발생 음식물류폐기물은 2017년 기준 하루 약 490.9톤/일 이었으며 이중 435.9톤이 분리배출에 의한 음식물류폐기물이었고 나머지 55.0톤은 종량제 봉투 내 음식물류 폐기물
- 대부분의 처리는 사료화 및 퇴비화에 의한 재활용으로 처리되었고 소 각 31.8 톤, 매립 23.2 톤으로 조사됨
- 본 연구에서는 대전광역시에서 발생하는 음식물류폐기물의 약 50%인 일 245.5 톤/일을 적용하여 바이오가스 발생량 산정에 적용

[표 5-4] 대전광역시 음식물류폐기물 발생 및 처리량

구분		연도별 자료(톤/일)			비고
		2015년	2016년	2017년	
발생량		466.3	467.2	490.9	종량제 봉투 내 음식물류폐기 물 발생량 포함
처리 방법	재활용	430.1	450.6	435.9	
	소각	11.0	9.1	31.8	
	매립	25.2	7.5	23.2	

□ 바이오가스 발생량

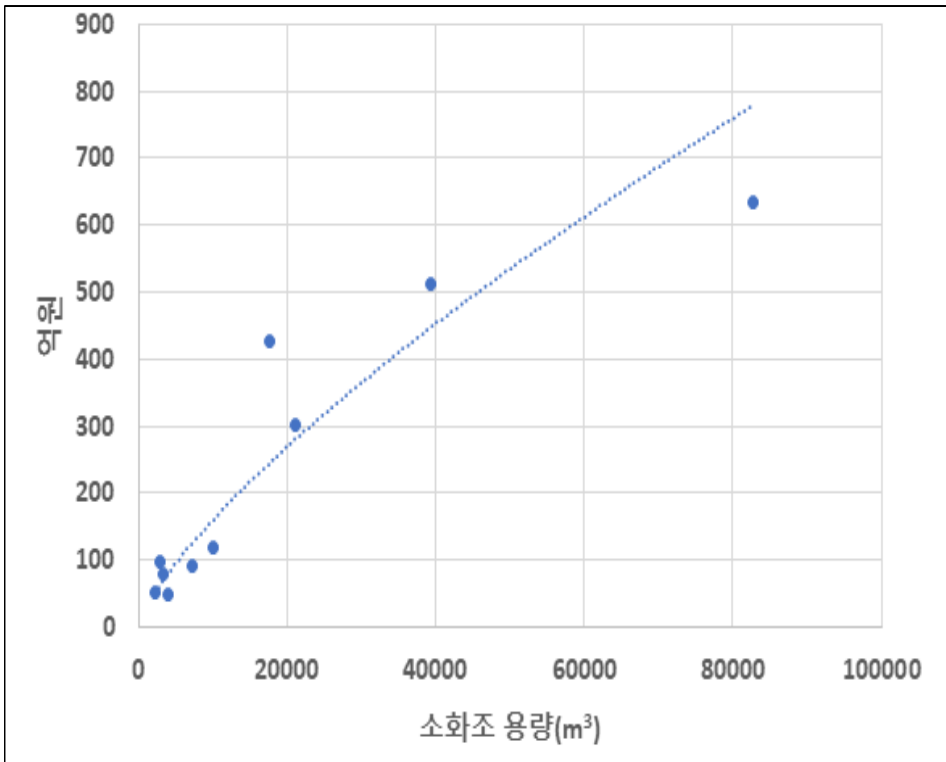
- 바이오가스 발생량은 하수슬러지의 혐기성소화과정을 거쳐 일어나는데, 생분해성이 높은 유기물질이 많을수록 바이오가스 발생량과 메탄 함량은 증가
- 일반적으로 음식물류폐기물은 총 고형물중에서 휘발성고형물의 함량이 80% 이상이지만 하수슬러지의 경우 60% 이하로, 하수슬러지에 비해 음식물류폐기물이 유기물질의 함량이 높기 때문에 바이오가스 발생량 역시 음식물류폐기물이 더 높은 편
- 하수슬러지의 바이오가스 생산량은 기존 대전하수처리장 소화조 운영 결과를 바탕으로 이론적 메탄 생산량을 계산한 것이며 하수슬러지 1톤 으로부터 약 8.9 Nm³의 바이오가스가 생산
- 하수슬러지의 소화조 유입량은 약 2,100 톤으로 체류시간은 약 25일로 계획운영 되었으며 음식물류 폐기물로부터의 바이오가스 생산량 산정은 대전 음식물류폐기물 자원화 시설의 유입수 분석 자료를 토대로 산정되었으며 음식물류폐기물 1톤 당 약 73.8 Nm³의 메탄가스가 생산

[표 5-5] 바이오가스 발생량

구분	바이오가스량 (Nm ³ /톤)	산정과정	비고
하수 슬러지	8.9	<ul style="list-style-type: none"> · 하수슬러지 평균 COD: 30 kg/톤 (평균 30,000 mg/L) · kg COD당 메탄 전환율 = 0.18 m³ CH₄/kg COD · 하수슬러지 톤당 메탄 생산량 = 0.18 m³ CH₄/kg COD × 30 kg/톤 = 5.4 m³/톤 	
		<ul style="list-style-type: none"> · 메탄 함량 60.0 % 고려 바이오가스량 산정 = 5.4 m³ CH₄/톤 ÷ 0.61 (메탄 함량) = 8.9 m³/톤 	
음식물 류폐기 물	73.8	<ul style="list-style-type: none"> · 음식물류폐기물 평균 COD : 150 kg/톤 · kg COD당 메탄 전환율 = 0.3 m³ CH₄/kg COD · 음식물류폐기물 톤당 메탄 생산량 = 0.3 m³ CH₄/kg COD × 150 kg/톤 = 45.0 m³/톤 	자원화 시설 자료 참고
		<ul style="list-style-type: none"> · 메탄 함량 60.0 % 고려 바이오가스량 산정 = 45.0 m³ CH₄/톤 ÷ 0.61 (메탄 함량) = 73.8 m³/톤 	

□ 시설비 및 비용 산정

- 대전광역시 하수처리시설의 시설비는 1989년 완공 시점에서 총 사업비 2,973억원으로 이중 국비 5%, 지방비 95%로 나타남
- 하지만 이는 하수처리장을 건립하기 위한 토지매입비, 하수처리 시설 일체가 포함된 부분이어서 소화조시설에 대한 초점을 맞추기 위해 하수처리장 소화조 용량 규모당 설치비를 참고하여 재산정(환경부, 2013)
- 시설 규모가 증가할수록 하수처리장 소화조 설치비용은 감소하는 규모의 경제가 반영된 모델로 하수 발생량 2,100 m³/일, 25일 체류시간을 고려한 52,500 m³의 반응조에 대한 시설비를 산정



[그림 5-1] 하수처리장 소화조시설 규모별 시설비용

- 운영비용은 인건비, 전기, 유지관리비, 재료비 등 다양한 항목의 비용이 산정되는데 본 연구에서는 기존 하수처리장운영 자료를 바탕으로 시설비의 약 10~15% 범위에서 운영비용을 산출(유기성폐자원에너지 활용시설, 2014)
- 감가상각비는 내구연한 20년, 시설비의 5%로 산정하였으며 하수의 처리비용과 하수슬러지 반출 비용은 대전시 운영자료를 바탕으로 산정

[표 5-6] 경제성 분석을 위한 비용 산출

구분	산출기준		비고
비용	소화조 용량	· 바이오가스 플랜트 규모 산정: - 체류시간 : 25일 - 슬러지 유입량 : 2,100 톤/일 - 소화조 용량 : 52,500 m ³	
	시설비용	· 소화조 규모별 시설비 산정식 이용 = 0.1674 × 52,500 ^{0.7458} = 55,469 백만원 (소화조 규모별 시설비 산정, 환경부, 2013)	
	운영비용	· 시설비의 약 10~15%로 산정 (시설비의 10% 산정) = 55,469 백만원 × 0.10 = 5,547 백만원 · 기존 하수처리시설 운영비율 고려 (시설비의 10%, 유기성폐자원에너지 활용시설 2014)	
	감가상각비	· 내구연한 20년, 잔존가치 5% 기준(정액법) = 55,469 백만원 × 0.05 = 2,773 백만원	
	슬러지 처리비용	· 반출슬러지 처리비용 = 72,522 원/톤 - 하수슬러지 반출량: 277톤/일 × 72,522원/톤 = 20,088,594 원/일	대전 운영 자료 참고
	하수리비	· 하수처리비용 - 1,440원/톤 (100톤 이상 처리 시)	

□ 시설비 및 비용 산정

- 소화조 운영으로 인한 편익에 해당하는 부분은 바이오가스를 생산하고 이를 판매하는 바이오가스 판매 수익이 주요하고 바이오가스를 이용하여 온수 생산 또는 전기를 생산 할 경우에는 온수판매 및 전기 판매에 따른 수익이 산정
- 음식물류폐기물의 처리 시에는 음식물류폐기물 반입비를 수익으로 포함시키며 공공처리시설의 경우에는 40,000원/톤 ~ 50,000원/톤이고 민간 처리시설의 경우 80,000원/톤~150,000원/톤 까지 처리대상과 지역에 따라 차이가 발생
- 공공하수처리시설의 경우 하수처리비가 포함되지 않으나 본 연구에서는 슬러지 소화시설의 경제성 산정을 위해 하수처리비를 소화조의 수익부분으로 산정
- 추가적으로 하수슬러지의 안정적 처리를 통한 환경적 효과, 슬러지 수분감소를 통한 반출비용에 기여하는 바를 적용시킬 수 있고 이산화탄소 감축으로 기여하는 환경적 효과 등을 산출할 수 있음
- 대전하수처리장의 경우 기존에 1989년 준공 당시 정부 보조 5%, 지방자치단체가 95%의 예산을 부담하였지만 최근 바이오가스화 시설의 경우 대부분 30%의 정부보조금이 설치비로 지원되므로 이를 고려하여 정부지원이 되지 않는 부분을 설치비로 산정하는 것이 타당할 것으로 판단
- 운영비의 세부 항목은 기존 하수처리장 운영 자료를 토대로 하여 인건비 20%, 폐기물처리비 40%, 재료비 30%, 기타 10%로 산정하여 반영
- 위탁처리의 경우소화조를 설치하지 않고 하수슬러지를 전량 위탁처리하는 경우로서 일일 하수슬러지 발생량 277톤에 위탁처리비로 72,522원/톤으로 산정
- 공공시설이기 때문에 하수반입비용은 산정되지 않지만 경제성분석을 위해서 하수슬러지의 반입 비용을 1,440원/톤, 슬러지의 반입량을 2,100톤/일로 하여 금액을 산정

- 바이오가스 판매 수익은 정제를 거치지 않기 때문에 1m³의 바이오가스를 187.8 원/m³의 판매비로 계산하였고 온실가스의 감축에 의한 수익은 바이오가스를 전기로 생산할 시의 이산화탄소 발생량과 온실가스 거래비용 30,000원/톤 CO₂를 적용

[표 5-7] 경제성 분석을 위한 편익 산출

구분	산출기준		비고
편익	바이오가스 생산량	<ul style="list-style-type: none"> · 유입 기질량 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 슬러지 유입량: 2,100 m³/일 - 음식물류폐기물 처리 시 : 245.5 톤/일 · 바이오가스 발생량 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 하수 슬러지 혐기성 소화 : 8.9 m³/m³ 하수 × 2,100 m³/일 = 18,690 m³/일 - 하수 슬러지 + 음식물류폐기물 혼합 혐기성 소화: (8.9 m³/m³ 하수 × 2,100 m³/일) + (245.5 톤 × 73.8 m³/톤) = 36,808 m³/일 · 바이오가스 판매 수익 산정 <ul style="list-style-type: none"> - 하수 슬러지 혐기성 소화 = 18,690 m³/일 × 187.8 원/Nm³ = 3,509,982 원/일 - 하수 슬러지 + 음식물류폐기물 혼합 혐기성 소화 = 36,808 m³/일 × 187.8 원/Nm³ = 6,912,524 원/일 	
	음식물류 폐기물 반입비	<ul style="list-style-type: none"> · 음식물류폐기물 반입 수수료 <ul style="list-style-type: none"> - 음식물 광역자원화시설 평균 반입비: 45,000 원/톤 - 245.5 톤/일 × 45,000 원/톤 = 11,047,500 원/일 	
	온실가스 판매	<ul style="list-style-type: none"> · 온실가스 거래 수익 <ul style="list-style-type: none"> - 온실가스 거래단가: 30,000 원/톤 CO₂ - 메탄 전기 전환량: 5.93 kWh/m³ (메탄 에너지량 5,100 kcal/m³, 860 kcal/kWh, 전기전환효율 35%, CO₂ 전환 0.424 CO₂/kWh) - 메탄 발생량(m³) × 5.93 kWh/m³ × 0.35 × 0.424 	
	하수처리비	<ul style="list-style-type: none"> · 하수처리비용 (위탁처리 및 하수슬러지 처리) <ul style="list-style-type: none"> - 1,440원/톤 (100톤 이상 처리 시) - 하수 2,100톤/일 × 1,440원/톤 = 3,024,000원/일 	

[표 5-8] 경제성분석 결과 요약

구 분		하수슬러지 위탁처리	하수슬러지 단독 소화	하수슬러지 음식물류폐기물 병합소화
설치비 (백만)	정부보조금 (30% 지원)	0	16,641	19,998
	지자체예산 (70% 할당)	0	38,828	46,661
	정부보조금 제외 정부보조금 포함	0 0	38,828 55,469	46,661 66,659
운영비 용 (백만)	인건비	0	777	843
	폐기물처리비	7,232	1,553	1,687
	재료비	0	1,165	1,265
	기타	0	388	422
	합계	7,232	3,883	4,217
편익 (백만)	폐기물 반입비	0	0	3,977
	하수처리	1,089	1,089	1,089
	바이오가스 판매	0	1,264	2,489
	온실가스 감축량	0	178	350
	합계	1,089	2,531	7,905

□ **경제성 분석 결과**

- 각 시나리오별 편익/비용 분석 결과를 요약하면, 하수슬러지 단독소화의 경우 B/C ratio는 0.15로서 경제성이 없는 것으로 나타났으며 이는 위탁처리의 비용이 하수처리 반입 수익에 비해 약 7배 높은 비용 차이를 나타내기 때문에 수익성은 없는 것으로 판단됨
- 하수슬러지 단독소화의 경우 위탁처리보다 2배 이상 높은 0.36의 B/C ratio를 나타냈으나 여전히 경제성은 거의 없는 것으로 나타났으며 이는 시설 설치비와 운영비용은 높으나, 편익에서 낮은 바이오가스 생산량, 낮은 하수처리 반입비용으로 그 격차가 좁혀지지 않음
- 마지막으로 하수슬러지 및 음식물류폐기물의 병합소화의 경우에는 B/C ratio가 1.03으로 기존 2가지 공정에 비해서는 경제성이 높은 것으로 나타났으며 이는 하수슬러지에 비해 음식물류폐기물의 반입비가 비싸고 바이오가스 생산 효율이 하수슬러지에 비해 월등히 높아 전체적으로 편익을 향상시켰기 때문으로 사료

[표 5-9] 경제성분석 결과

구 분	하수슬러지 위탁처리	하수슬러지 단독소화	하수슬러지 및 음식물류폐기물 병합소화
편익 (백만원)	12,530	29,118	90,975
비용 (백만원)	83,238	81,670	88,690
B/C ratio	0.15	0.36	1.03

3절. 정책 제언

- 본 연구에서 진행한 시나리오별 경제성 분석에 대하여 정리하면 다음과 같음
- 시나리오 1: 하수슬러지 소화조 미 운영(위탁처리)
 - 기존 하수처리장운영에서 소화조 처리시설을 제외한 경우로서 슬러지를 위탁처리 함으로써 소화조의 설치, 운영 유지비용이 없고 하수슬러지를 전량 위탁처리 하는 방법으로 편익보다 처리비용이 크기 때문에 경제성은 결여
 - 위탁처리 방법으로는 민간처리, 소각, 매립이 있는데 이중 가장 효과적인 방법을 찾는 것이 중요할 것으로 사료
- 시나리오 2: 하수슬러지 소화조 운영(기존 운영방법)
 - 기존 하수처리장운영 방법으로 하수처리장에서 발생하는 바이오가스 생산량이 연간 6.7백만 m^3 /년으로 이에 대한 편익은 29,118 백만원인데 반해 비용은 81,670 백만원으로 편익/비용이 0.36으로 경제성은 결여
 - 다만, 메탄가스를 회수하여 온실가스를 감축시키는 것과 하수슬러지의 부피감량, 안정적 처리라는 환경적 효과를 경제적으로 산정하기에 한계가 있기 때문에 이를 고려한 접근이 필요
- 시나리오 3: 하수슬러지+음식물류 폐기물 혼합 소화조 운영(병합 소화)
 - 1차 침전지에서 발생하는 생슬러지에 대전광역시에서 회수되는 음식물류 폐기물을 혼합하여 바이오가스를 생산하는 시나리오로서 음식물류 폐기물의 반입비용, 병합소화에 따른 높은 바이오가스 생산효율이 편익 항목을 높이는 효과를 나타내어 편익/비용이 1.03으로 경제성이 있는 것으로 나타남

- 병합처리로 인해 추가된 음식물류 폐기물은 소화조 운영비용과 초기 설치비용을 증가시켰으나 20년간의 운영기간을 고려하였을 경우 비용에 비해 편익이 높은 것으로 사료
- 하수슬러지의 위탁처리는 기본적으로 위탁처리 시설이 필요하며 이러한 시설이 없거나 운영되지 않는다면 그에 대한 시설 설치비 및 운영비 등이 필요하며 효과적인 슬러지 처리에 관한 방법을 제시할 필요가 있음
- 하수슬러지 소화조를 기본적으로 운영하는 것은 슬러지 감량화와 메탄가스 회수라는 장점이 있지만 회수되는 메탄가스가 이익을 창출하기에 충분하지 않기 때문에 경제성 분석에서 충분한 이점이 안 나타났음
- 시나리오에 따른 경제성 분석은 하수슬러지와 음식물류 폐기물 혼합 소화조 운영이 가장 좋게 나왔으며 이는 음식물류 폐기물 혼합에 따른 처리비용의 수익과 이에 따른 메탄가스 회수량이 증가되어 추가적인 판매 수익과 온실가스 감축 등의 편익 발생으로 경제성 분석에서도 매우 유리하게 작용
- 특히 배출권거래제 운영에 있어서 온실가스 감축의 실적은 1톤당 3만원 이상의 효과를 가져오고 있으며 온실가스 배출량을 감소시키는 효과도 가져오기 때문에 배출량의 직접적인 감축이나 구매밖에 없는 하수처리장의 경우에 소화조를 통하여 바이오가스를 회수하는 것은 필요하다고 판단됨
- 다만, 실제 하수처리장에서 음폐수 반입에 따른 주변지역 주민의 악취 민원 등으로 쉽게 이행하지 못하는 문제점도 있어 이를 해결하기 위한 시설 설치 등의 비용 등을 재산정할 필요도 있을 것으로 사료됨
- 이번 「자원순환기본법」 시행에 따라 환경부에서는 음식물류 폐기물에 대해 바이오가스화를 통해 처리를 적극 권장하고 있으며 이에 따라 관련 시설이 없는 경우에는 하수처리장의 소화조와 연계처리하는 방식의 계획도 대두되고 있음
- 따라서 시나리오 3과 같은 하수슬러지와 음식물류 폐기물의 혼합 소화조 운영은 하수처리장에서만의 문제가 아니라 각 지방정부의 자원순환 기본계획 또는 음식물류 폐기물 처리 계획과 같이 생각될 수 있다는 점도 간과할 수 없음

참고문헌

- 관계부처합동, 제1차 기후변화대응 기본계획 (2016.12.)
- 관계부처합동, 2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵
- 국가법령정보센터 홈페이지, www.law.go.kr
- 기획재정부, 제2차 배출권거래제 기본계획(안) (2017.1.)
- 대전광역시시설관리공단 홈페이지, www.djsiseol.or.kr
- 대전광역시 시설관리공단, 대전하수처리장 슬러지처리시설(2014)
- 대전광역시 시설관리공단, 대전하수처리장 수처리시설(2014)
- 대전광역시 시설관리공단, 흑석하수처리장 주요시설현황(2014)
- 대한환경공학회 전문가그룹 학술대회(2017)
- 문충만(2018), <대전시 온실가스 감축을 위한 외부사업 여건 조사>, 대전세종연구원
- 이종필 및 정경훈(2011) 비용편익을 통한 슬러지 처리과정 개선에 관한 연구, 한국
환경분석학회지, 14; 137-145
- 한국환경공단(2015) 모니터링 계획 관리방안
- 한국환경공단(2016) 폐기물부문 온실가스 배출량 산정 매뉴얼
- 한국환경공단(2016) 폐기물부문 온실가스·에너지 우수 감축기술 편람
- 환경부(2013) 폐자원의 효과적인 에너지 회수 및 이용방안 마련 연구
- 환경부(2016) 교토의정서 이후 신 기후체제 파리협정 길라잡이
- 환경부(2015) 환경통계 연감
- 환경부(2015) 유기성폐자원 에너지 활용시설 현황
- 환경부(2018) 공공데이터 포털
- 환경부(2018) 바이오가스 이용현황 보도자료
- 환경부(2019) 제2차 계획기간 국가배출권 할당계획 변경(안)
- UNEP(2014) IPCC 5차 보고서
- Prende z, M. & Lara-Gonzalez, S.(2008) "Application of strategies for sanitation management in wastewater treatment plants in order to control/reduce greenhouse gas emission", J. Environmental Management, 88, 658-64