

2017년도 국회사무처 연구용역보고서

폐기물의 처리 및 에너지화 동향과
지속가능한 환경구축을 위한 신기술 현황분석

2017

에스라이프재단

2017년도 국회사무처 연구용역보고서

폐기물의 처리 및 에너지화 동향과 지속가능한 환경구축을 위한 신기술 현황분석

책임연구위원 : 이성훈(재단법인 에스라이프)
공동연구위원 : 박희성(재단법인 에스라이프)
김민정(재단법인 에스라이프)

연구기간 : 2017. 10. 10. ~ 2017. 11. 9.

연구단체 : 재단법인 에스라이프

- ▷ 이 책자는 2017년도 입법활동연구과제(의정활동지원현안과제 또는 해당 부서예산내역) 용역계획에 의하여 재단법인 에스라이프로부터 제출 받은 보고서로서 의정활동연구에 활용되도록 발간한 것입니다.
- ▷ 본 보고서의 내용은 연구용역 수행자의 의견으로 국회사무처의 공식적인 견해와 다를 수 있습니다.

목 차

요약문	viii
제1장 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 범위 및 방법	3
제2장 폐기물 처리 과정과 문제점	4
1. 폐기물 처리의 현황	4
1) 폐기물 처리 과정의 발전	4
2) 폐기물 배출 현황	7
3) 폐기물 처리 현황	8
(1) 매립	10
(2) 소각	13
(3) 재활용	18
(4) 해양배출	21
2. 폐기물 처리의 과정과 문제점	25
1) 매립에 관한 문제	25
(1) 매립지 부족의 문제	25
(2) 사후 관리의 문제	26
2) 환경오염 및 기타의 문제	32
(1) 환경오염의 문제	32
(2) 효율적 활용의 문제	35
(3) 지역갈등 및 내부갈등의 문제	40
(4) 처리비용의 문제	44
(5) 기타 안전의 문제	48

제3장 폐기물의 에너지화 과정과 문제점	49
1. 폐기물 에너지화	49
1) 폐기물 에너지화 현황	50
2) 폐기물 에너지화 정책	52
3) 폐기물 에너지화 과정	62
(1) 가연성폐자원	65
(2) 유기성폐자원	72
(3) 소각여열회수	81
(4) 매립가스활용	86
2. 폐기물 에너지화의 문제점	92
 제4장 폐기물 처리의 신기술 동향	 99
1. 신기술 개발 동향	99
2. 국내 특허관련 동향	104
1) 소각열 회수를 통한 유기성 폐자원의 건조기술	108
2) 폐기물 탈수 / 건조 공정 및 설비기술	119
3) 고형폐기물의 가스화 기술	131
4) 도시고형폐기물(MSW)의 소각에너지 회수기술	144
5) 고체연료 연소장치의 폐열에너지 회수기술	147
6) 폐열에너지 회수를 통한 증기 생산기술	152
 제5장 문제해결을 위한 개선 방안	 156
1. 폐기물 처리 기술의 지향점	156
2. 폐기물 처리 신기술 개발의 시사점	161
 제6장 결론	 163
 참고문헌	 166

표 목 차

[표1] 하·폐수오니(Sewage Sludge) 재활용 비율	22
[표2] 폐기물 해양투기금지 추진경과	23
[표3] 사용종료 매립지의 발생가능 문제점	30
[표4] 폐기물매립지의 사용종료 경과년에 따른 토지활용 가능여부	31
[표5] 전국 소각장 등 다이옥신 배출 현황	34
[표6] 2015년 지자체별 폐기물 소각시설 운영 현황	39
[표7] 수도권매립지 논란 과정	43
[표8] 2015년 지자체별 폐기물 소각시설 설치비 및 유지비 현황	45
[표9] 2015년 지자체별 폐기물 매립시설 설치비 및 유지비 현황	47
[표10] 폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획 사업분야	54
[표11] 폐자원 에너지화 연도별 시설확충 계획	55
[표12] 환경에너지타운 조성 계획	56
[표13] 폐기물 에너지화 관련 기술개발 로드맵	58
[표14] 폐기물 에너지화 촉진을 위한 제도개선	59
[표15] 연차별 재정투자계획	61
[표16] 사업부문별 재정투자계획	61
[표17] 에너지화 용어의 정의	63
[표18] 폐기물, 폐자원 및 폐자원에너지화의 용어 정의	63
[표19] 폐기물 에너지화 시설 분류별 원료 및 방법	64
[표20] 주요설비의 기능	67
[표21] 가연성폐자원 에너지화시설의 신·재생에너지 비중	70
[표22] 가연성폐자원 전처리시설 연도별 계획	70
[표23] 가연성폐자원 전용보일러시설 연도별 계획	71
[표24] 가연성폐자원 고품연료화 시장잠재량	71
[표25] 가연성폐자원 에너지화 실행목표	72
[표26] 유기성 폐자원 병합처리시설 분류	73
[표27] 규모별 유기성폐자원 처리	77

[표28]	유기성폐기물 바이오가스화 비중	78
[표29]	유기성폐자원 바이오가스화시설 연도별 확충 계획	79
[표30]	유기성폐기물 바이오가스화 시장 잠재량(toe)	80
[표31]	유기성폐자원 바이오가스화 실행목표(%)	80
[표32]	하수슬러지 고품연료화시설 연도별 계획	81
[표33]	하수슬러지 고품연료화 시장잠재량 대비 실행목표	81
[표34]	여열이용방법	82
[표35]	소각여열회수시설의 신·재생에너지 비중	85
[표36]	소각여열 회수시설 연도별 계획	85
[표37]	소각여열 회수의 실행목표	86
[표38]	매립가스 활용 현황	88
[표39]	매립가스 자원화 실행목표	89
[표40]	폐자원 에너지화시설 설치 및 운영상 문제점	92
[표41]	부식의 종류와 대책	94
[표42]	송도 및 청라 소각시설의 현황	96
[표43]	폐기물에너지 활용한 해수의 담수화 기술	101
[표44]	폐기물처리설비 분야 과제신청현황 및 수요조사결과	104
[표45]	폐기물처리설비 분야 요소기술 도출	105
[표46]	폐기물처리설비 분야 핵심기술	106
[표47]	가연성 폐기물의 에너지 잠재량	156
[표48]	신재생 에너지 보급 기여도 전망	157
[표49]	폐기물 에너지화 전략제품별 핵심기술	157
[표50]	폐기물처리설비 기술의 중소기업형 기술로드맵	159
[표51]	폐기물처리설비 분야의 세계 시장 규모 및 전망	160
[표52]	폐기물처리설비 분야의 국내 시장 규모 및 전망	160
[표53]	폐정책 및 사업의 방향성에 따른 신기술 분류	163

그림 목 차

[그림1] 폐기물 관련 정책 변화	5
[그림2] 폐기물 발생 현황	8
[그림3] 국가별 도시폐기물 발생량 변화 추이	10
[그림4] 생활폐기물 처리현황	11
[그림5] 사업장폐기물 처리현황	12
[그림6] 시도별 소각시설 추이	15
[그림7] 시도별 연간 평균 소각량	15
[그림8] 시도별 소각시설의 1톤당 연간 평균 유지비	16
[그림9] 소각시설 경과년수(대상시설 : 2톤/h 이상)	17
[그림10] 소각시설 사용년수와 유지관리비용 관계	18
[그림11] 연도별 재활용 업체 추이	19
[그림12] 연도별 재활용량 및 판매액 추이	20
[그림13] 국가별 도시폐기물 재활용률 변화 추이	21
[그림14] 연도별 폐기물 해양투기량	23
[그림15] 쓰레기 매립 전의 난지도(1970년도초)	27
[그림16] 쓰레기 매립지 당시 난지도	27
[그림17] 난지도 안정화 사업 단면도	29
[그림18] EU와 미국의 소각시설수	36
[그림19] EU와 미국의 시설별 연간 소각량(톤/년)	36
[그림20] 일본과 한국의 소각시설	37
[그림21] 일본과 한국의 시설별 연간 소각량	38
[그림22] 수도권매립지 지역별 반입량	41
[그림23] 수도권매립지 종류별 반입비율	41
[그림24] 생활폐기물 예산 집행내역 추이	44
[그림25] 생활폐기물 관리예산 집행내역	45
[그림26] 국가 온실가스 통계-폐기물 부문	51
[그림27] 폐자원 및 바이오매스 에너지 보급 목표	53

[그림28] 가연성폐자원 에너지화시설 시설공정	66
[그림29] 가연성폐자원 에너지화시설 주요설비 구성	66
[그림30] 유기성폐자원 에너지화시설 공정도	75
[그림31] 혐기성소화조 시설	76
[그림32] 바이오가스저장조 시설	76
[그림33] 소각여열회수시설 시설공정	82
[그림34] 매립가스 자원화 공정 계통도	87
[그림35] 폐기물 에너지화 기술 및 계통도	90
[그림36] 음식물, 가연분, 발열량의 변화	96
[그림37] 청라 소각시설의 발열량 변화	97
[그림38] 송도 소각시설의 발열량 변화	97
[그림39] 폐기물처리 정책으로 향상된 이산화탄소 비율	100
[그림40] 일본 4차 환경기본계획 목표	102
[그림41] 폐기물처리설비 분야 키워드 클러스터링	105
[그림42] 유기성 폐기물 건조장치 구조도	109
[그림43] 수직원통형 폐기물 소각장치 구조도	113
[그림44] 기존의 악취제거 및 연료 절약 시스템 구조도	115
[그림45] 자원화 시설용 고농도 악취 제거 및 연료 절약 시스템 구조도	117
[그림46] 전기식 탈수기를 이용한 하수 슬러지 퇴비화 설비 구조도	121
[그림47] 유기성 폐기물 처리 시스템 구조도	123
[그림48] 자생 그레놀을 이용한 슬러지 건조장치 및 그 건조방법 구조도	125
[그림49] 건조장치 구조도	127
[그림50] 블레이드가 내부에 장착된 향아리 드럼타입의 슬러지 감량화 장치 및 향아리드럼타입의 슬러지 감량화 장치를 이용한 하·폐수 탈수슬러지의 감량화 방법 구조도	130
[그림51] 폐기물을 이용한 연료 저감형 합성가스 생산 시스템 구조도	133
[그림52] 열분해가스 순환구조를 갖는 가스화장치 구조도	135
[그림53] 모듈식 가스화장치 구조도	137
[그림54] 전자파 고온 복합 가스화 장치와 방법 구조도	139

[그림55] 산화반응과 환원반응이 분리되어 일어나도록 하는 환원용버너 및 이를 이용한 합성가스 리사이클링 시스템 구조도	142
[그림56] 유기성 폐기물 처리장치 구조도	145
[그림57] 폐열 회수 시스템 구조도	149
[그림58] 고품 폐기물 연소로 구조도	151
[그림59] 레디얼 터빈을 이용한 폐열 회수 터빈 시스템 구조도(1)	154
[그림60] 레디얼 터빈을 이용한 폐열 회수 터빈 시스템 구조도(2)	154

요 약 문

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라의 2016년 총 에너지 소비량은 세계 9위인 268백만toe로 이 중 94.1%인 809억\$를 수입하였고, 이는 2016년 국가 총수입의 19.9%를 차지할 정도로 매우 큰 비중을 차지한다. 2016년의 에너지 총수입은 유가하락 등의 영향에 따라 2009년 이후 최저치를 보였지만, 2013년 1,786억달러, 2014년 1,741억달러 등 최근 몇 년을 볼 때 에너지 소요량의 부족분을 충당하기 위하여 매우 높은 수입 의존도를 보여왔다. 이는 매년 약 100조원 정도로 총수입액대비 그 차지비율이 매우 높은 상태이다(에너지경제연구원, 2017).

외국 또한 에너지를 수입하여 사용하고 있지만 그 비율을 낮추기 위한 기술 개발을 통하여 에너지 수입액 대체와 함께 기후환경의 변화에 대응 하고 있다. 미국, EU 등 각 국가는 자국의 부족한 에너지 확보를 위하여 버려지는 폐기물을 효과적으로 에너지화 하여 에너지 수입량을 줄이고 있다. 특히 EU의 국가들은 인근 국가로부터 폐기물까지 수입하여 에너지화 하기도 한다. 그러나 우리나라는 총 사용량의 94.1%인 에너지를 수입하고 있으면서도 폐기물을 자원으로 적극 활용하지 못하고 있을 뿐 아니라 기후환경 변화에도 비효율적인 대응을 하고 있다. 우리나라의 1994년 당시 생활폐기물 부문 각 처리 비율은 매립처리 81.2%, 소각처리 3.5%, 재활용처리 15.4%로 폐기물 처리의 대부분을 값싼 매립방식에 의존함으로써 경제적, 사회적 문제가 확대되고 있다(기획재정부·국토연구원, 2016).

최근 우리나라도 기후변화의 대응, 에너지 회수 등 세계적 이슈와 트렌트에 따라 폐기물 에너지화 기술 개발에 관심을 가지고 있지만 폐기물 처리를 통한 에너지 활용과 기술 수준은 선도국에 비해 아직 부족한 실정이다.

이에 본 연구는 ‘폐기물의 처리 및 에너지화 동향과 지속가능한 환경구축을 위한 신기술 현황’을 분석하기 위하여 ‘폐기물 처리 과정과 문제점’ 및 ‘폐기물의 에너지화 과정과 문제점’을 조사하고, ‘폐기물 처리의 신기술 동향’을 파악하여 ‘문제해결을 위한 개선방안’을 도출하고자 한다.

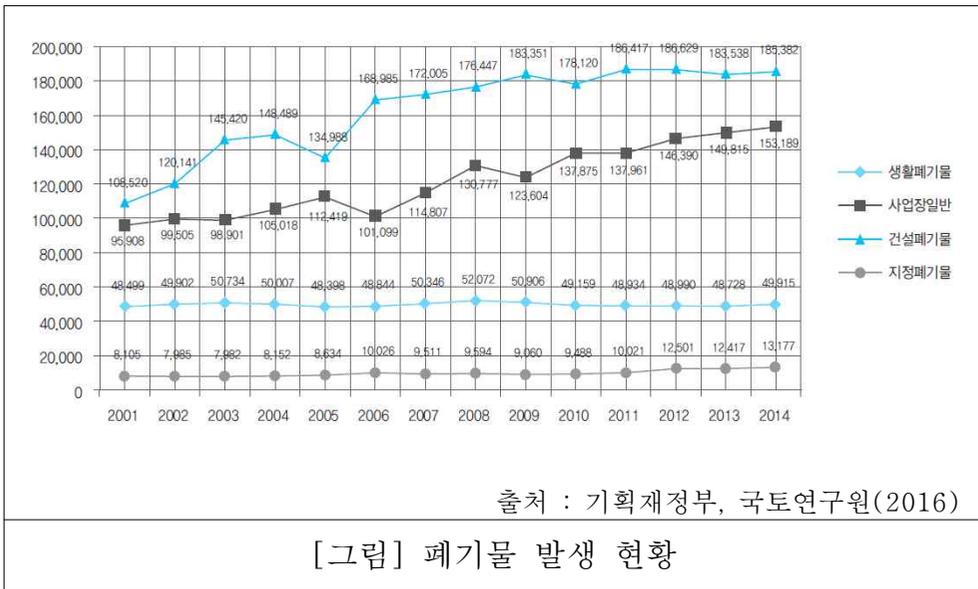
제2장 폐기물 처리 과정과 문제점

1. 폐기물 처리의 현황

우리나라의 폐기물 관리정책은 크게 1980년대의 안전처리중심에서 1990년~2000년 초반까지는 재활용중심, 2000년 중반부터의 자원순환중심으로 구분할 수 있다(기획재정부·국토연구원, 2016).

1970년~1980년대에는 폐기물 관리에 대한 법적 시스템이 미흡한 시기였기 때문에 폐기물처리와 관련한 사회적 문제가 빈번하게 발생되었다. 1990년으로 들어서면서, 폐기물을 사후 관리하던 기존 제도에서 발전하여 폐기물 사전 감량과 재활용을 촉진하며 예방적 폐기물 관리정책을 수립하였다. 2000년대에는 환경에 초점을 맞춘 폐기물관리 제도가 구축되었다. 폐기물을 모으고 처리하는 단순관리에서 벗어나 지속가능한 관리체계를 구축하였고, 건설폐기물의 재활용 및 음식물쓰레기 직매립금지 제도 등이 시행되었다. 경제성장으로 폐기물의 양은 과거에 비하여 증가하였지만, 관리체계가 발전하면서 폐기물 처리의 방식도 선진화되어가고 있다.

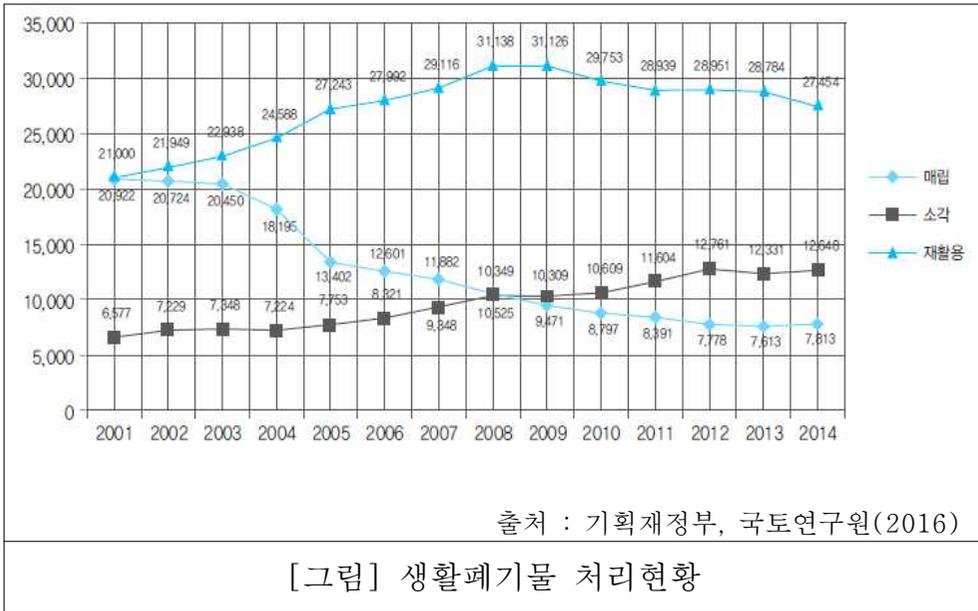
폐기물 처리과정 중 매립의 비중은 지속적으로 감소하고 있으며, 소각처리는 과거 유해물질 발생 등으로 사회적 문제가 되었지만, 최근에는 다이옥신 배출기준의 적용을 받는 등 규정 강화로 개선되고 있는 실정이다. 재활용 처리는 매년 증가 추세로 나타났고 해양 배출은 2016년 전면 금지되었다.



2. 폐기물 처리의 과정과 문제점

우리나라는 국토가 넓지 않고 도시가 집중화되어 있어 지자체들은 지역 인근의 매립지 확보에 어려움을 겪고 있다. 산업과 생활 수준이 향상되면서 폐기물의 양은 점점 증가하고 있지만 주민의 반대로 새 매립장 확보는 어려워지고 있다. 또한 매립장은 수용 용량이 초과되면 운영을 종료하고 지속적으로 관리하여 환경오염 등의 문제를 예방해야 하지만, 매립장의 사후관리는 안정성 확보를 위해 여러 단계로 구분되어 있고, 토지 재활용 가능 기간까지 오랜 시간이 걸려 큰 비용이 소요되어 몇몇 매립장에서는 부도로 방치되어

있거나 부실관리로 사회적 문제를 발생시키고 있다.



폐기물 소각처리의 방법은 폐기물의 양적 처분을 주목적으로 운영되어 왔지만, 최근 기후변화 대응에 대한 폐기물 정책변화로 폐기물 양의 감소를 위한 소각뿐만 아니라 에너지 회수라는 기능이 부가되었고, 한국기계연구원 등 연구소에서는 기술의 발전으로 소각 때 발생하는 유해물질인 질소산화물(Nox)을 감소할 수 있는 저공해 소각시스템 등을 개발하기도 하였다. 하지만 폐기물 소각 등으로 인하여 발생하는 온실가스 배출량은 국가 전체 배출량의 3%~7%를 차지하고 있다. 폐기물 소각 이외의 전반적 공정(폐기물 수집·운반, 이송, 소각장 운영 등) 과정에서 발생하는 온실가스 배출을 감안한다면 폐기물은 온실가스 배출에 더 큰 영향을 미친다고 볼 수 있다(한국환경정책·평가연구원, 2010).

소각처리 시설의 경우 타 국가와 우리나라의 현황을 비교해 보았을 때 소각시설 규모에서 큰 차이를 보이는 것으로 나타났는데, 이

는 우리나라가 그동안 단순 처리 목적의 감량화를 위한 소각 중심으로 운영되다 보니 1개 소각시설 당 규모의 소각량에서 큰 차이를 보였다. 향후 규모를 대용량화함으로써 소각량 증대로 인한 경제성 확보와 소각 시설에서 에너지 회수까지 처리 가능한 효율적 운영이 필요할 것이다.

폐기물 처리 시설은 기피시설 이다보니 시설 설립 등으로 인하여 지역 간 갈등이 야기되기도 한다. 수도권쓰레기매립지의 경우, 사용연장에 대하여 서울시와 인천시 간에 오랜 시간동안 갈등이 있어왔고, 충청남도 서산시의 경우 지자체와 주민 간 입장차이로 내부 갈등을 겪기도 하였다.

또한 폐기물 처리과정에는 환경에 대한 문제 뿐만 아니라 비용에 대한 문제도 발생하는데 통계청 자료를 보면, 전국 생활폐기물(가정생활폐기물 및 사업장생활폐기물)의 예산집행내역을 보면 증가세에 있음을 알 수 있다. 1996년 1조 3천억원이던 예산은 2015년 3조 4천억원으로 증가하였다.

제3장 폐기물의 에너지화 과정과 문제점

1. 폐기물 에너지화

폐기물 에너지화 기술은 매립·소각되는 가연성 폐기물 및 유기성 폐기물과 매립가스, 산업폐가스 등을 열화학적 또는 생물학적 방법으로 열, 전력, 수송연료 등으로 에너지화하는 기술이다(한국환경산업기술원, 2013).

우리나라의 폐기물 에너지화 정책은 기존 화석연료에 의한 환경오염, 신재생에너지의 발전단가 하락, 국제 흐름 등에 따라 논의

시작하게 되었다. 2008년 5월, 환경부는 폐기물의 에너지 자원화를 통하여 경제 활성화 및 기후변화에 대응한다는 계획 하에 「경제살리기와 기후변화대응을 위한 폐기물 에너지화 종합대책」을 수립하였다. 당시 정부는 ‘저탄소 녹색성장’을 국가 비전으로 정하고 환경부, 지식경제부, 농림수산부 등 관계부처가 「폐자원 및 바이오매스 에너지대책」을 수립하였으며, 7월에는 환경부 외 6개 부처가 「저탄소에너지 생산·보급을 위한 폐자원 및 바이오매스 에너지대책 실행계획」을 발표하였다.

산업통상자원부는 「제3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획(2009~2030)」을 통해 로드맵을 설정하였다. 기본계획은 총 3단계로 구분하여 시간적 목표를 설정하였으며, 국산 모델 개발을 위해 원천기술과 상용화 및 실증기술을 개발한다는 계획이며, 자원 에너지화시설은 가연성폐자원에너지화시설, 유기성폐자원에너지화시설, 소각여열회수시설, 매립가스활용시설 등으로 구분된다.

[표] 폐기물 에너지화 시설 분류별 원료 및 방법

구분	시설명	투입 원료	에너지화 방법
가연성 폐자원 에너지화 시설	일반고형연료제품 제조시설	가연성 고형폐기물	가공 연료화
	일반고형연료제품 사용시설	일반 고형연료제품	연소
	액상연료제품 제조시설	폐유, 폐플라스틱, 폐고무, 폐식용유, 액상지정폐기물	가공(정제, 유화, 열분해, 탄화) 연료화
	기상연료제품 제조시설	폐합성고분자화합물, 폐타이어, 폐목재	가공(열분해, 탄화) 연료화
유기성 폐자원	음식물류폐기물 바이오가스화시설	음식물, 음폐수	혐기성 소화

에너지화 시설	가축분뇨 바이오가스화 시설	가축분뇨	혐기성 소화
	하수슬러지 바이오가스화 시설	하수슬러지	혐기성 소화
	병합 바이오가스화 시설	2개 이상의 유기성 폐자원	혐기성 소화
	바이오 고형연료제 품 제조시설	유기성 고형폐기물	가공 연료화
	바이오 고형연료제 품 사용시설	유기성 고형연료제품	연소
소각열회수시설	소각시설	가연성 고형폐기물	소각 열 회수
매립가스 활용시설	매립시설	매립장 유기성폐기물	매립지 가스 회수

출처 : 한국환경공단(2016)

2. 폐기물 에너지화의 문제점

국내 폐기물 에너지화 기술은 그 동안 많은 발전을 이루어 왔지만 선진국의 기술에는 아직 미치지 못하는 실정이다. 한국환경공단(2016)의 현장조사 결과에 따르면 폐자원 에너지화시설 설치사업에서 국내 폐기물 특성을 반영하지 못한 공법 적용과 시스템 안정성 등 국내 기술 수준으로 폐자원 에너지화 시설의 설치, 운영상의 문제점이 다수 발견되고 있다. 한국환경정책평가연구원(2013)은 유기성 폐기물의 효율적 에너지화를 위해 에너지화 시설 운영실태를 조사하여 문제점을 지적하기도 하였다.

최근 에너지화의 효율성을 높이기 위해 시설의 한계점을 해결하고 있고 기술 개발이 이루어지는 등 기존의 문제점들이 많이 개선

되고 있다. 하지만 현황분석과 에너지화 시설 운영 실태 결과 측면에서 볼 때, 효율적 에너지화를 위한 새로운 기술 개발의 구체적 방안이 마련되기 위해서는 에너지화를 위한 신기술의 적극적인 검토가 필요함을 시사한다.

제4장 폐기물 처리의 신기술 동향

1. 신기술 개발 동향

유럽은 폐기물 처리의 선진국가로 Babcock & Wilcox, Volund, Martin 등 원천기술을 보유하고 있는 회사가 다수 존재한다. 덴마크는 이미 100년 전부터 폐기물 소각 에너지를 회수하는 정책을 추진하였으며 소각 가능한 물질은 매립을 금지하고 폐기물에너지 자원화설비는 비영리 원칙에 입각하여 운영 중이다. 또한 스웨덴, 노르웨이 및 덴마크 등의 북유럽 국가들은 열병합발전으로 지역난방에 열과 전력을 공급, 남부 유럽 국가들은 주로 소각열을 이용한 발전에 주력하고 있다.

일본 또한 안전이 보장된 사회, 저탄소, 건강한 물질 순환, 자연과 조화 실현을 목표로 하는 지속가능한 사회를 위한 환경기본계획을 수립하고, 소각 시설의 배출가스 중 SO_x, HCl, NO_x, 스모그 등 유해물질을 저감하는 기술을 개발하였으며, 다이옥신 저감을 위해 완전소각 기술, 다이옥신 재합성 방지를 위한 배기가스 냉각기술, 백필터 기술, 활성탄 및 촉매 기술 등이 개발되었다.

2. 국내 특허관련 동향

본 연구에서는 중소기업청(2016)이 폐기물 처리 설비 분야의 기술수요를 파악하기 위하여 중소기업 기술수요조사 및 중소기업청

R&D 신청과제를 분석한 자료를 바탕으로 기술수요를 조사하였고, 이에 따라 폐기물처리설비 분야의 핵심기술을 도출하였다.

[표] 폐기물처리설비 분야 핵심기술

분류	요소기술	개요
폐기물 탈수/건조 /연소 설비	소각열 회수를 통한 유기성 폐자원의 건조기술	폐기물 소각시 발생하는 배가스의 폐열을 회수하여 음식물 폐기물, 하수슬러지 등을 건조하여 고형연료 또는 재활용이 가능한 제품을 생산하는 기술
	폐기물 탈수/건조 공정 및 설비기술	하수 또는 폐수슬러지, 음식물 폐기물 등 수분 함량이 높은 폐기물을 탈수 및 건조하여 함수율을 크게 감소시키는 기술
	폐기물의 고효율 열풍 건조기 및 환경·안전장치 부품기술	유기성폐기물을 건조하여 고형연료 등으로 자원화하는 공정의 핵심기기로 고온의 열풍을 공급하는 부품, 대기방지 및 화재방지용 설비 또는 부품기술
	고형폐기물의 가스화 기술개발	유기성폐기물을 건조 후 가스화 반응기에 투입하여 고온, 고압조건에서 합성가스로 전환하는 기술
폐열 회수/이용 설비	도시고형폐기물(MSW)의 소각에너지 회수기술	가연성 물질이 대부분인 도시 발생 고형폐기물의 소각시 발생하는 소각열을 증기, 전기에너지로 회수하여 활용하는 기술

고체연료 연소장치의 폐열에너지 회수기술	일반 고형연료(SRF) 또는 바이오 고형연료(Bio-SRF)등 다양한 고체상태의 연료를 연소하여 열 또는 전기 등의 에너지로 회수하여 이용하는 기술
폐열에너지 회수를 통한 증기 생산기술	폐기물 또는 고형연료 등의 연소로에서 발생한 열에너지를 이용하여 고효율 발전 또는 산업용 증기로 활용이 가능한 고온/고압의 과열증기를 생산하는 기술

출처 : 중소기업청(2016)

위의 표와 같이 도출된 7가지 요소기술 중 ‘폐기물의 고효율 열풍 건조기 및 환경·안전장치 부품기술’을 제외한 6개 요소기술을 중심으로 특허청에 등록된 기술을 설명하고, 새로운 기술에 대한 기대효과를 파악하였다. 특허청에 등록된 주요 기술은 다음과 같다.

1) 소각열 회수를 통한 유기성 폐자원의 건조기술

- ① 유기성 폐기물 건조장치
- ② 수직원통형 폐기물 소각장치
- ③ 자원화 시설용 고농도 악취 제거 및 연료 절약 시스템
- ④ 폐 음식물, 오니, 하수 슬러지 및 가축분뇨 처리방법

2) 폐기물 탈수 / 건조 공정 및 설비기술

- ① 전기식 탈수기를 이용한 하수 슬러지 퇴비화 설비
- ② 유기성 폐기물 처리 시스템
- ③ 자생 그래놀을 이용한 슬러지 건조장치 및 그 건조방법
- ④ 건조장치

- ⑤ 블레이드가 내부에 장착된 향아리 드럼타입의 슬러지 감량화 장치 및 향아리 드럼타입의 슬러지 감량화 장치를 이용한 하·폐수 탈수슬러지의 감량화 방법

3) 고형폐기물의 가스화 기술

- ① 폐기물을 이용한 연료 저감형 합성가스 생산 시스템
- ② 열분해가스 순환구조를 갖는 가스화장치
- ③ 모듈식 가스화장치
- ④ 전자파 고온 복합 가스화 장치와 방법
- ⑤ 산화반응과 환원반응이 분리되어 일어나도록 하는 환원용버너 및 이를 이용한 합성가스 리사이클링 시스템

4) 도시고형폐기물(MSW)의 소각에너지 회수기술

- ① 유기성 폐기물 처리장치와 그 방법

5) 고체연료 연소장치의 폐열에너지 회수기술

- ① 폐열 회수 시스템
- ② 고형 폐기물 연소로

6) 폐열에너지 회수를 통한 증기 생산기술

- ① 레디얼 터빈을 이용한 폐열 회수 터빈 시스템

제5장 문제해결을 위한 개선 방안

1. 폐기물 처리과정의 지향점

국내 가연성 폐기물이 보유한 에너지 잠재량은 발생량 기준으로 2030년에 1,470만 toe/년으로 예측되고 있다. 중소기업청(2012) 기술로드맵에서는 폐기물 에너지화를 위한 전략제품을 소개하고 있

고, 이를 토대로 중소기업청(2016)은 2017~2019 기술로드맵을 정비하여 폐기물 처리설비 및 에너지 자원화 기술 개발을 최종 목표로 설정하였다. 하지만, 폐기물처리에 대한 세계시장의 연평균 성장률은 7.4%인 반면 국내의 연평균 성장률은 5.0%로 예상되고 있다. 따라서 독자적인 국내 기술개발과 이에 대한 투자가 빠르게 이루어져야 한다.

2. 폐기물 처리 신기술 개발의 시사점

폐기물을 활용한 에너지화 기술은 주목을 받고 있으며, 매년 새로운 기술들이 개발되어 특허를 받고 있다. 폐기물 처리의 신기술이 상용화 된다는 것은, 폐기물 처리 시장의 발전에만 끝나는 것이 아니라 주거 형태의 변화까지 가능하며 우리사회에 당면한 다양한 사회 문제를 해소할 수 있으며 지속가능한 환경을 구현할 수 있음을 의미한다. 따라서 신기술의 상용화를 위해서는 적극적인 투자와 개발이 필요할 것으로 보인다.

제6장 연구결론

본 연구에서는 지속가능한 환경구축을 위한 폐기물 처리의 신기술을 알아보기 위하여, 기존 폐기물 처리 과정을 검토하고 폐기물 에너지화 과정과 현황을 파악하였다. 또한 신기술의 동향 파악을 위하여 특허청의 특허정보넷을 활용하여 폐기물 에너지화와 관련된 기술을 추출하여, 에너지(에너지생산 및 활용), 폐기물(폐기물 감량), 친환경(환경개선·기후변화 대응)의 3가지 기준으로 분류하였고, 그 결과, 국가 정책 및 사업의 목적에 따라 어떤 기술을 육성해야 하는지 방향성을 확보하는 유의미한 결과를 얻을수 있었다.

폐기물 처리방법은 단순 처리에서 에너지 회수가 가능한 시설로

변화되는 추세이므로 관련시설에 대한 제도적 지원과 적극적인 기술개발이 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

본 연구는 향후 폐기물 에너지화와 관련된 기술개발과 정책적 방향을 모색하는데 중요한 근거자료가 될 것으로 기대한다.

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 에너지 소비량이 268백만toe로(세계 9위) 에너지의 94.1%를 수입에 의존하고 있고, 에너지 수입액은 2016년 기준 809억 \$로 국가 전체 수입액의 19.9%를 차지하고 있어 에너지 수급에 매우 취약한 구조를 가지고 있다(한국에너지공단, 2017). 에너지 수입액은 2016년의 경우 유가하락 등의 영향으로 2009년 이후 최저치를 보이고 있지만, 2013년 1,786억달러, 2014년 1,741억달러 등 그동안 부족한 에너지를 충당하기 위하여 매년 약 100조 원의 비용이 소요되어 왔다(에너지경제연구원, 2017). 정부는 에너지 의존도를 낮추는 한편 국내 에너지 수요에 대응하기 위하여 폐기물 처리 시설을 확대 하는 등 투자를 통해 에너지를 회수하고 있으며 관련 기술 개발을 위해 노력하고 있다. 폐기물 에너지화는 기존 폐기물의 단순 처리 방식에서 벗어나 환경오염을 최소화하는 동시에 버려지는 폐기물을 통해 에너지를 얻을 수 있는 기술로, 미국, EU 등 해외에서는 에너지 확보를 위하여 적극적으로 활용하고 있는 기술이다.

그러나 우리나라는 그동안 폐기물을 자원으로 활용하지 못하였고 처리 방식 또한 매립에 의존하여 왔다. 1994년 당시 생활폐기물 부문의 비율을 보면, 매립처리가 81.2%, 소각처리가 3.5%, 재활용처리가 15.4%로 개도국과 마찬가지로 대부분의 폐기물 처리방식은 값싼 매립에 의존하고 있었다(기획재정부·국토연구원, 2016). 현재는 매립처리 8.7%, 소각처리 5.9%, 재활용 85.2% 등으로 큰 변화를 보이고 있고, 폐기물 처리 수준은 기술, 법규 등이 정비되어 개도국들의 벤치마킹 대상이 되고 있다. 하지만 폐기물 처리를 통한 에너지 활용과 기술 수준은 아직 선도국에 비해 부족한 실정이다.

폐기물 에너지화의 기술 개발에 대한 방안 마련을 위하여 본 연구에서는 ‘폐기물의 처리 및 에너지화 동향과 지속가능한 환경구축을 위한 신기술 현황’을 분석하기 위하여 ‘폐기물 처리 과정과 문제점’ 및 ‘폐기물의 에너지화 과정과 문제점’을 조사하고, ‘폐기물 처리의 신기술 동향’을 파악하여 ‘문제해결을 위한 개선방안’을 도출하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 폐기물 처리과정과 폐기물 에너지화의 동향 파악 및 선행연구 조사, 폐기물 처리과정과 폐기물 에너지화의 현황과 문제점 조사, 폐기물 처리의 특허 신기술 현황 파악, 폐기물 처리과정의 지향점 도출, 지속가능한 폐기물 처리를 위한 주요 신기술 도출을 위하여 다음과 같은 방법을 사용하고자 한다.

○ 문헌조사 및 분석

- 국내 폐기물 처리 과정의 현황에 대한 문헌 및 선행연구 조사 및 분석
- 폐기물 에너지화의 현황에 대한 문헌 및 선행연구 조사 및 분석
- 폐기물 처리과정 신기술 현황 조사 및 분석

○ 시사점 및 지향점 도출

- 폐기물 처리과정의 지향점 도출
- 지속가능한 환경구축을 위한 폐기물 처리 주요 신기술 도출

제2장 기존 폐기물 처리 과정과 문제점

1. 폐기물 처리과정 및 동향

1) 폐기물 관리의 발전

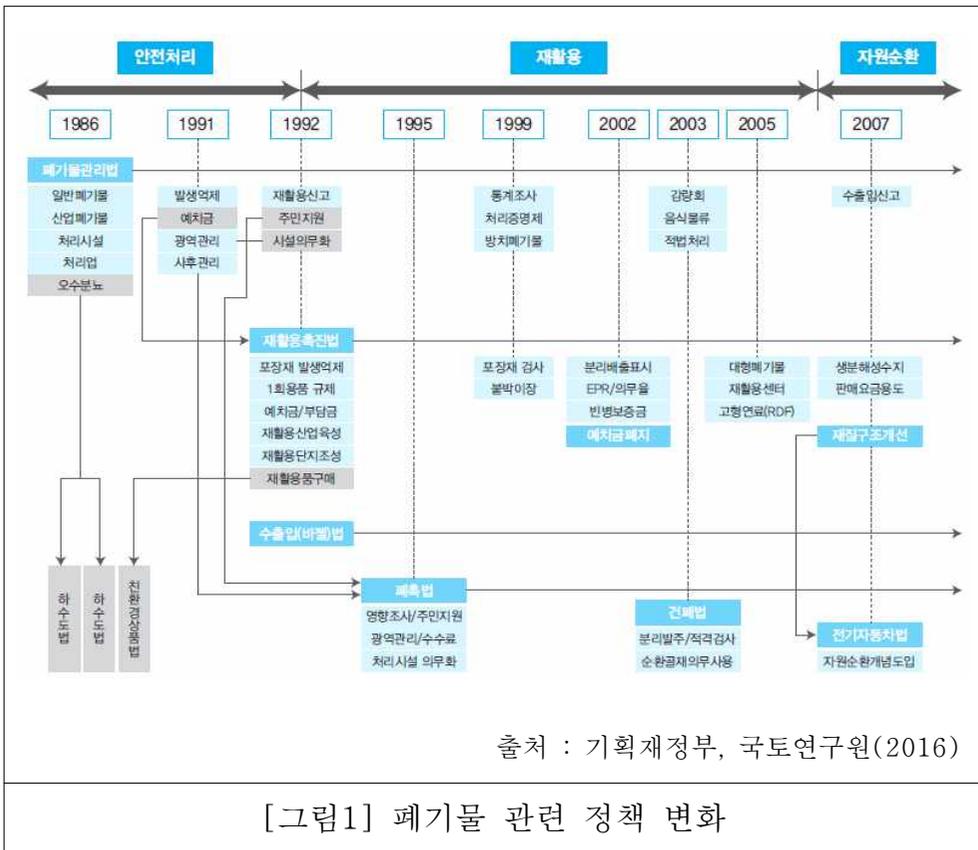
우리나라의 폐기물 관리 수준은 선진국의 수준에 이른 것으로 평가받고 있다. 연세대학교 환경공학부 교수이자 전 한국폐기물자원순환학회 서용칠 회장은 폐기물 관련 법과 제도, 기술 발전과 전문가 및 정책 입안자의 협력으로 우리나라의 폐기물 관리 수준은 선진국의 수준에 이르렀다고 평가하였다(내외경제, 2014. 3. 28.). 실제로 1980~90년대의 매립 비율이 80%에 이르던 것이 지금은 8.9% 정도로 감소하였고, 재활용 비율 또한 85.2%, 소각 5.9%로 크게 감소하였고(환경부, 2016), 개발도상국들이 우리의 제도와 기술을 벤치마킹 하고 있어 폐기물 관리의 선진국임을 자부할 수 있다. 하지만 자원순환사회 목표실현을 위한 과제가 남아 있다.

우리나라 초기의 폐기물 관리 방법은 폐기물을 오물로 구분하여 처리하는 「오물청소법」과 유해한 폐기물을 포함하는 산업폐기물을 다루는 「환경보전법」으로 분리되어 관리되어 왔다. 이후 각 법의 규정이 통합되면서 폐기물관리체계의 일원화를 이루었다. 1986년 제정된 「폐기물관리법」 이후 우리나라는 산업폐기물과 생활폐기물을 통합 관리하는 체제로 바뀌었으며, 지금까지 개정과 분법을 거치며 폐기물 관리의 기본이 되는 법으로 남아 있다.

폐기물의 관리 및 처리는 산업과 삶의 질 변화에 따라 함께 발전해 왔는데, 특히 사회적·경제적 발전과 변화에 따라 폐기물 관리법과 제도가 폐지되고 수정·보완되었다.

우리나라의 폐기물관리정책은 [그림1]과 같이 1980년대 안전처리중심에서 1990년~2000년 초반까지 재활용중심, 2000년 중반부터 자원순환으로 구분할 수 있다(기획재정부·국토연구원, 2016).

1970년~1980년대는 국가 경제가 급속한 성장을 이룩하였고, 산업화 및 도시화 현상으로 폐기물의 발생량이 증가하였으며, 발생지역 또한 집중화되었다. 당시에는 폐기물 관리에 대한 법적 시스템이 미흡한 시기였기 때문에 사회적 문제 또한 발생되었으며, 난지도 매립장은 용량 한계로 새로운 처리시설이 필요하였지만, 새로운 폐기물 처리시설 건립은 지역민의 반발에 부딪히는 등 진행에 어려움을 겪기도 하였다.



1990년으로 들어서면서, 폐기물을 사후관리하던 기존 제도에서 발전하여 폐기물 사전 감량과 재활용을 촉진하며 예방적 폐기물관리정책을 수립하였다. 「재활용촉진법」 발효로 포장재 발생억제, 재활용 산업 육성 등의 정책을 펼쳤고, 고정요금을 부과하던 방식에서 배출량에 따라 요금을 부과하는 ‘쓰레기 종량제’ 시행으로 배출량 감소를 이끌기도 하였다. 또한 님비현상을 예방하기 위해 「폐기물처리시설설치촉진및주변지역지원등에관한법률」을 제정하여 기피시설이 설립되는 지역에 지원사업을 추진하고 지역주민과의 갈등을 해소하고자 하였다.

2000년대에는 환경에 초점을 맞춘 폐기물관리 제도가 구축되었다. 폐기물을 모으고 처리하는 단순관리에서 벗어나 지속가능한 관리체계를 구축하였고, 건설폐기물의 재활용 및 음식물쓰레기 직매립금지 제도 등이 시행되었다. 또한 유해물질에 대한 법이 제정되어 지속가능한 발전이 가능한 관리의 틀이 구축되었다. 또한 파리 기후협약 등 온난화 현상과 미세먼지 등의 문제가 국내외에서 큰 이슈가 되면서 폐기물 재활용 및 에너지화에 대한 필요성이 강하게 제기되고 있고, 폐기물을 활용하여 새로운 에너지원으로의 사용을 실시하게 되었다.

앞으로 우리나라는 단순 매립 또는 소각 대신 최첨기술을 통한 재활용의 극대화가 가능한 ‘자원순환사회’를 목표로 2018년 「자원순환기본법」 시행 예정을 앞두고 있다. 자원순환 성과관리제, 폐기물처분부담금제, 순환자원 인정제, 자원순환기반 구축 등 자원순환사회를 구현하기 위하여 패러다임 전환 방안을 구체적으로 제시하고, 자원순환 업계를 지원하기 위한 정책 수단 등이 포함되어 있다.

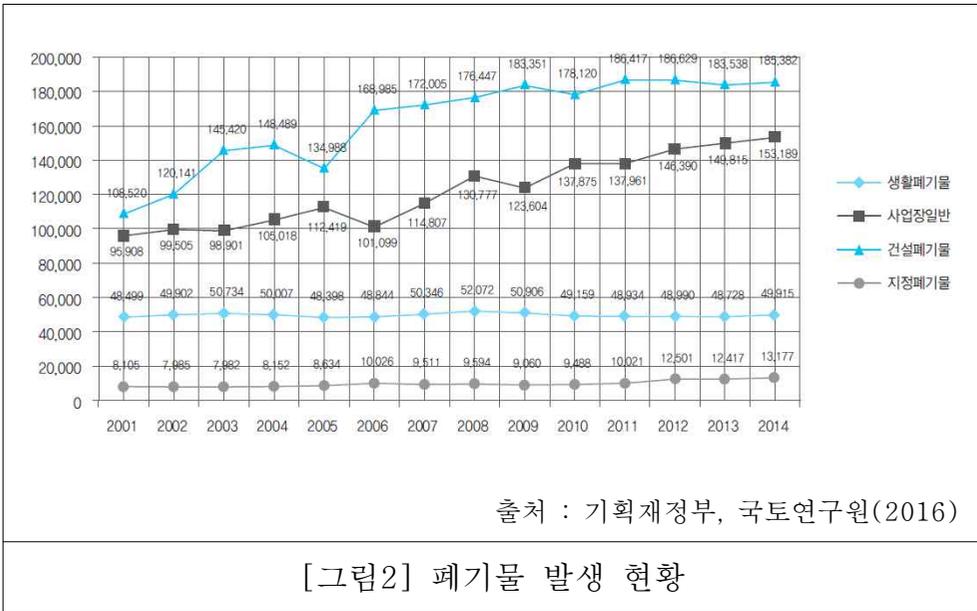
환경부는 「자원순환기본법」 도입으로 폐기물 중 재활용자원의 매립률을 최소화한다는 계획이다. 이를 통해 재활용량이 연간 약 1,000만 톤 늘어나고 재활용시장이 1조 7천억원으로 확대되며 일자리도 약

1만개가 창출되는 경제적 효과가 발생할 것으로 전망하고 있다. 또한 재활용 가능자원의 매립을 없애(제로화) 매립지 수명을 20년 이상 연장하고 처분대상 물질을 최소화함으로써 환경오염 예방과 지역 간 형평성을 높이는 효과도 발생할 것이라고 예상하고 있다(환경부 보도자료, 2016. 9. 9).

2) 폐기물 배출 현황

폐기물의 구분은 1차적으로 발생원과 폐기물발생량에 따라 생활폐기물과 사업장폐기물로 구분되며, 2차적으로는 유해성에 따라 사업장일반폐기물, 지정폐기물로 3차적으로는 발생특성에 따라 사업장 생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물, 건설폐기물, 의료폐기물 등으로 분류된다(기획재정부, 국토연구원 2016).

생활폐기물의 경우 쓰레기 종량제가 시행되기 전인 1994년에는 58,118톤이었으나 종량제 시행 후 44,583톤(1998년)으로 낮아졌다가 2014년 현재 49,915톤으로 발생하고 있다. 반면, 사업장 폐기물은 우리나라의 산업과 경제 성장에 따라 지속적으로 증가세를 보이고 있으며 건설경기의 흐름에 따라 건설폐기물 발생량이 크게 증가한 것을 볼 수 있다([그림2]). 환경부(2015) 자료에 따르면, 2009년 1일 357,861톤이던 폐기물 발생량은 2010년 365,154톤, 2011년 373,312톤, 2012년 382,009톤, 2013년 380,709톤 그리고 2014년에는 388,486톤으로 증가세에 있다. 2014년도 폐기물은 건설폐기물이 47.7%, 사업장배출시설계폐기물이 39.4%, 생활폐기물이 12.9%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.



[그림2] 폐기물 발생 현황

이중 생활폐기물*은 2009년도 이후 감소세를 보이다 다시 증가하였지만 발생량에는 큰 변동이 없는 양상을 보이고 있다. 2014년에는 생활폐기물을 1인당 1일 발생량으로 환산 시 0.95kg 정도의 양이 배출되었으며, 전년대비 0.01kg 증가한 것으로 나타났다(환경부, 2015).

* 생활폐기물은 가정생활폐기물과 사업장생활계폐기물, 공사장생활계폐기물을 포함하는 수치이며, 가정생활폐기물은 사업장폐기물 이외의 폐기물로 가정에서 발생하는 폐기물 및 가정에서 일련의 개보수 공사·작업 등으로 인하여 5톤 미만으로 발생하는 폐기물을 말함(환경부, 2015).

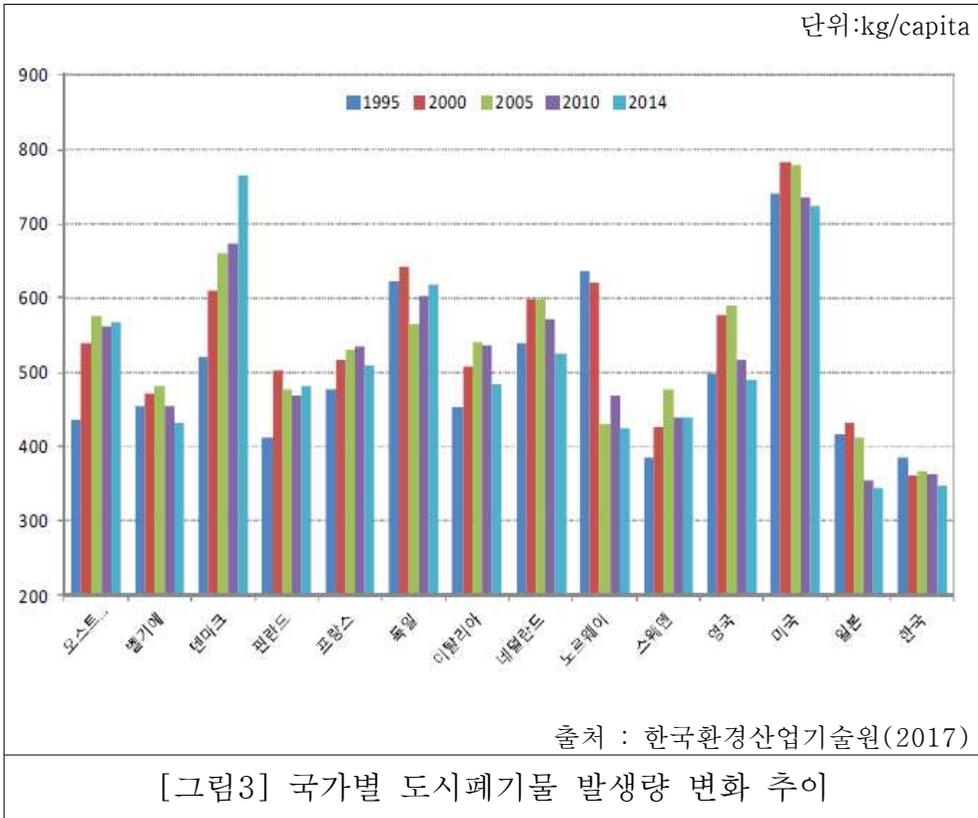
3) 폐기물 처리 현황

일반적으로 폐기물 관리 체제는 매립과 소각, 재활용 그리고 해양배출 등으로 이루어지고 있다. 과거 80~90%정도였던 매립 비율이 2015년 현재 8.7%로 떨어지고, 소각 비율도 5.9%로 낮아진 것은 폐기물을 자원화하기 위한 발전된 전처리 과정과 재활용의 증가

때문인 것으로 보인다. 특히, 폐기물 재활용은 지속적인 상승세에 있으며, 해역배출은 국제협약에 의해 점차 감소하였고 2016년 전면 금지하고 있다.

폐기물 처리에 선도적인 몇몇 국가의 폐기물 발생과 처분에 대한 동향을 우리나라와 비교하고자 20년간의 변화를 파악해보면 몇 가지 차이점을 발견하게 된다. 한국환경산업기술원(2017)는 우리나라를 포함한 14개 국가에 대한 1995년부터 2014년까지 5년 주기의 폐기물 발생량과 처분에 대한 결과를 발표하였다.

[그림3]에서와 같이 비교대상 국가들은 회원국에 따라 다른 양상을 보였지만, 1인당 도시폐기물 발생량이 증가하는 경향을 보인 국가는 덴마크가 유일한 것으로 확인되었고 시간 경과에 따라 감소하는 경향을 보인 국가는 미국, 일본, 그리고 우리나라로 나타났다. 기타 국가들은 복합적인 형태를 보이고 있었다. 1인당 발생량 기준에서 보면 우리나라가 조사 년도 모두에서 400kg 이하를 보이고 있어 발생량이 낮은 국가에 속하였다. 반면 감소추세에 있지만 미국이 가장 많은 720kg~780kg을 발생하는 것으로 나타났다. 이런 결과를 보면 우리나라가 여러 폐기물 정책을 시행함으로써 인해 발생억제 현상이 정착되었다고 볼 수 있다. 또한 2018년부터 자원순환기본법이 시행되면서 폐기물정책 최우선 순위인 발생억제에 대한 정책이 펼쳐질 예정이어서 큰 변화가 없을 것으로 예상된다.

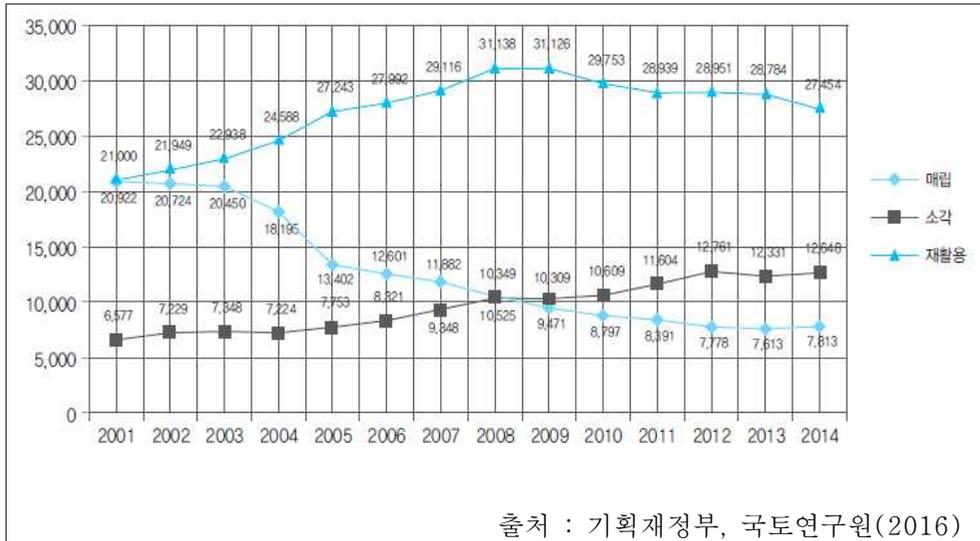


(1) 매립

매립지로 반입되는 폐기물은 매립 전처리 과정을 거친다. 선별, 분리 등 공정과정을 통해 재활용 및 에너지회수율을 제고하고 최종 단계에서 처리되는 폐기물의 양 또한 최소화 할 수 있다. 특히 잔류생활폐기물의 전처리과정은 재활용이 가능한 물질을 선별하는 것 뿐만 아니라 침출수, 매립가스 등의 오염을 감소시키는 처리과정이라 할 수 있다(수도권매립지관리공사, 2005).

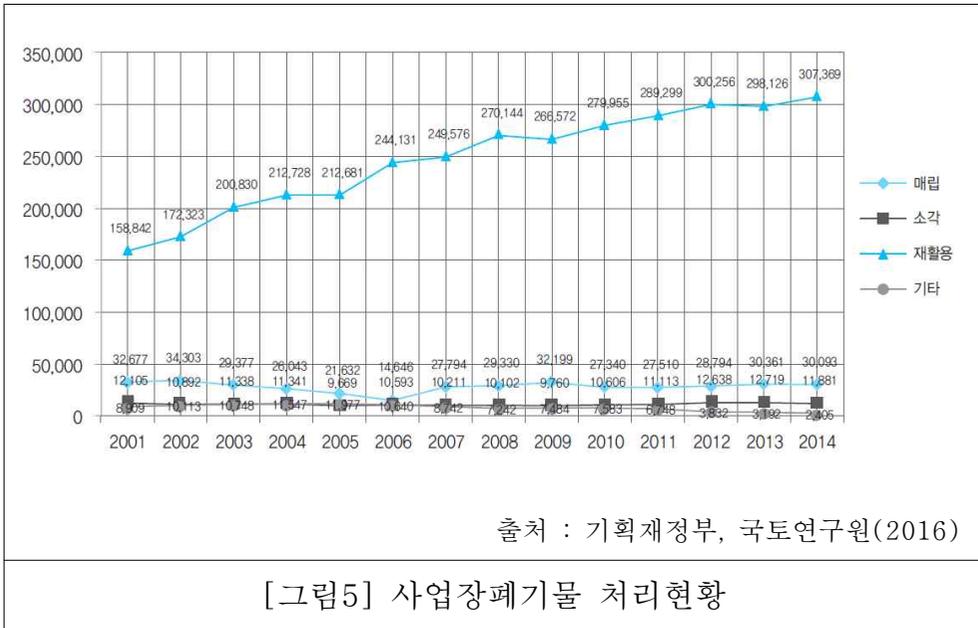
[그림4]와 같이 매립되는 폐기물 중 생활폐기물 매립의 비율은 지속적으로 감소하고 있는 반면 소각 비율은 지속적으로 증가하고 있다. 폐자원에너지화 정책으로 폐기물이 에너지화로 전환됨에 따

라 재활용비율은 2009년 이후 감소하지만, 2011년부터는 지속적으로 약 59.1%를 유지하고 있다(환경부, 2016).



[그림4] 생활폐기물 처리현황

2008년 이후 사업장 폐기물의 매립처리 비율은 감소하고 있으며, 재활용은 증가 추세를 보이고 있다. 사업장 폐기물 중 건설폐기물이 차지하는 비중이 높으며 사업장 폐기물의 재활용률은 87.4%로 거의 모두 재활용되고 있다([그림5]). 배출시설계 폐기물 및 지정폐기물의 재활용비율은 증가하고 있다(환경부, 2016). 사업장폐기물은 종류별로 건설폐기물의 97.9%는 재활용, 0.5%는 소각, 1.6%는 매립 되었고, 배출시 설계 폐기물은 77.3%가 재활용, 16.1%가 매립, 5.7%가 소각, 0.9%가 해역배출 되었으며, 지정폐기물은 57.3%가 재활용, 16%가 소각, 19.2%가 매립, 7.5%가 기타(보관) 등으로 처리되었다(환경부, 2016).



[그림5] 사업장폐기물 처리현황

우리나라는 분리수거와 재활용률이 세계 최고수준으로 유지되고 있을 정도로 높지만, 실제 매립지로 들어오는 폐기물에는 여전히 재활용이 가능한 물질이 함유되어 있다(수도권매립지관리공사, 2005). 최종처리 단계에서의 폐기물량 감소를 위해 적절한 인프라 구축에 초점을 맞출 필요가 있다(수도권매립지관리공사, 2005). 더욱이 소각 및 매립 방식의 한계에 도달한 현재의 상황에서 폐기물을 통한 자원순환이라는 새로운 패러다임 도입이 보다 필요한 시점이라 할 수 있다.

우리나라는 국토의 협소함으로 인하여 매립부지가 절대적으로 부족한 실정이다(수도권매립지관리공사, 2005). 생활폐기물 만을 대상으로 조사한 자료에 따르면 전국 매립의 잔여용량은 약 15년이고 수도권매립지를 제외할 경우 7년 정도라고 조사되었다. 경상남북도 지역의 경우 잔여기간이 3년 내외에 불과한 것으로 조사되었다. 폐기물 처리 기술이 발전되면서 과거에 비해 매립지의 잔여용량이 늘

어나고는 있지만 각 매립장은 허용치에 다다르면 폐기물 반입을 제한하는 등의 조치를 취하고 있는 실정이다. 국토 면적의 한계로 기존 매립지를 확장하거나 신규로 매립지를 추가하는 것은 어려우며, 이런 국내 상황을 고려할 때 매립 폐기물의 양을 획기적으로 감소시킬 수 있는 대책이 필요한 실정이다.

(2) 소각

우리나라는 1996년 6월 환경부의 ‘국가폐기물관리종합계획’에서 생활폐기물의 소각 처리 비율을 95년 말 4.0%에서 2001년까지 20% 수준으로 증대하기로 목표를 설정하면서 소각처리 과정에 대한 변화가 시작되었다. 소각시설 등 폐기물처리시설의 설치를 용이하게 하고자 ‘폐기물처리시설설치촉진및주변지역지원등에관한법률’을 1995년 제정·시행함으로써 소각기술이 폐기물처리에 매우 중요한 것으로 인식되게 된 것이며, 법률의 시행으로 [그림4], [그림5]와 같이 소각처리 비율은 지속적으로 증가하게 되었다. 그동안 폐기물 처리 방식은 매립이었는데, 매립방식은 폐기물 매립 이후 지속적인 관리가 필요하며 그렇지 않으면 악취 및 생성가스, 침출수 등이 발생되어 매립지가 2차 오염원이 되어 환경오염을 유발해왔기 때문에 소각처리 방식이 주목을 받게 되었다.

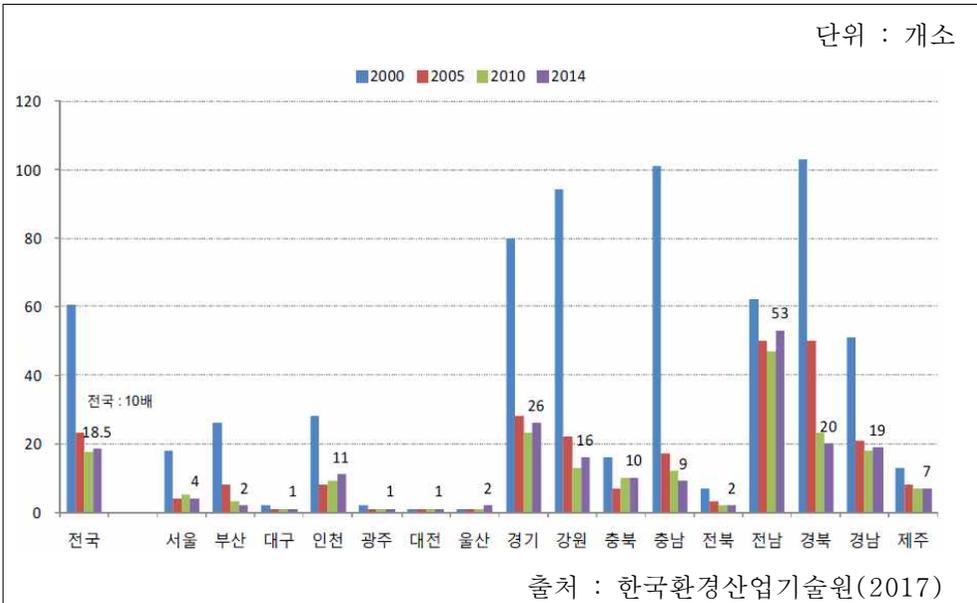
폐기물 성분 중에는 상당부분이 가연성 물질로 되어 있어 연소에 의해 가연성물질을 처리할 뿐만 아니라 폐기물에 함유되어 있는 수분까지 건조하여 최종적으로는 전체 폐기물의 13~16% 정도만 재로 남게 되며, 짧은 시간에 많은 양의 폐기물을 위생적으로 처리할 수 있다. 또한 폐기물의 재만을 매립함으로써 매립지의 수명연장에도 기여하며 소각 시 발생하는 열을 에너지로 활용하기도 한다.

소각기술은 노천에서 폐기물을 태우는 원시적인 방법에서 출발하

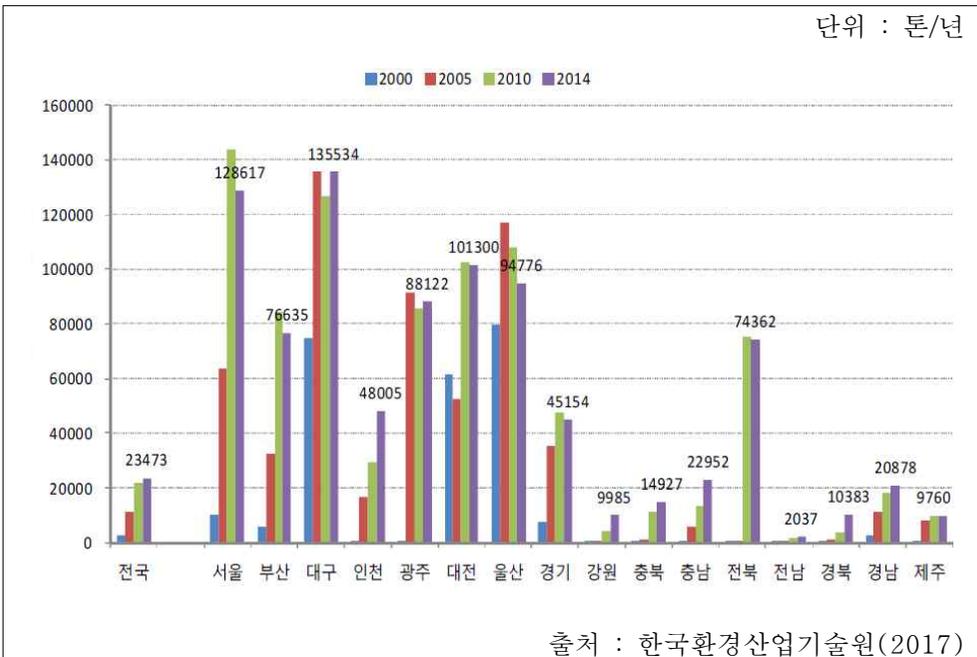
였으나 폐기물의 양이 증가되고 폐기물의 성상이 다양해지면서 폐기물 소각에 따른 유해물질의 발생이 사회적 문제로 대두되기 시작하였다. 이를 해소하기 위하여 일정부분 밀폐된 공간에서 소각하는 Batch 소각방식이 등장하였고, 급속한 산업화와 생활수준이 향상되면서 산업 폐기물과 생활 폐기물이 증가하여 다량의 폐기물을 소각하게 되었다.

환경부의 전국 폐기물발생 및 처리현황을 보면 지방자치단체에서 운영하는 소각 시설의 수는 큰 변화가 없지만 자가 처리업체에서 운영하는 소각시설은 감소하고 있다. 2007년 자가 처리업체 1,016개소에서 2008년 640개소로 급격히 감소하였는데, 이는 환경부의 소각시설관리기준 강화로 인한 결과이다(한국환경산업기술원, 2014). 2006년 1월 1일부터 시간당 소각능력 25kg 이상 200kg 미만의 소각시설도 다이옥신 배출기준 적용을 받게 됨에 따라 해당 소각시설의 폐쇄가 이루어져 소각시설은 '10년도 672개소, '11년도 611개소, '12년도 552개소, '13년도 502개소, '14년도 476개소로 지속적으로 감소하였다(환경부, 2015).

[그림6]과 [그림7]에서 전국 시도별 소각시설 추이와 평균 소각량을 살펴보면, 2000년 기준 전국적으로 605개였던 소각시설은 2005년 230개로 현저히 감소하였다. 광역시보다는 주로 도에서의 감소가 두드러졌는데 감소된 이유 중 가장 큰 요인은 소각시설에서의 다이옥신 발생이 사회문제화 됨에 따라 소규모 소각시설인 회분식 소각로를 감축하려는 정책적 의도가 반영된 것으로 보인다(한국환경산업기술원, 2017).

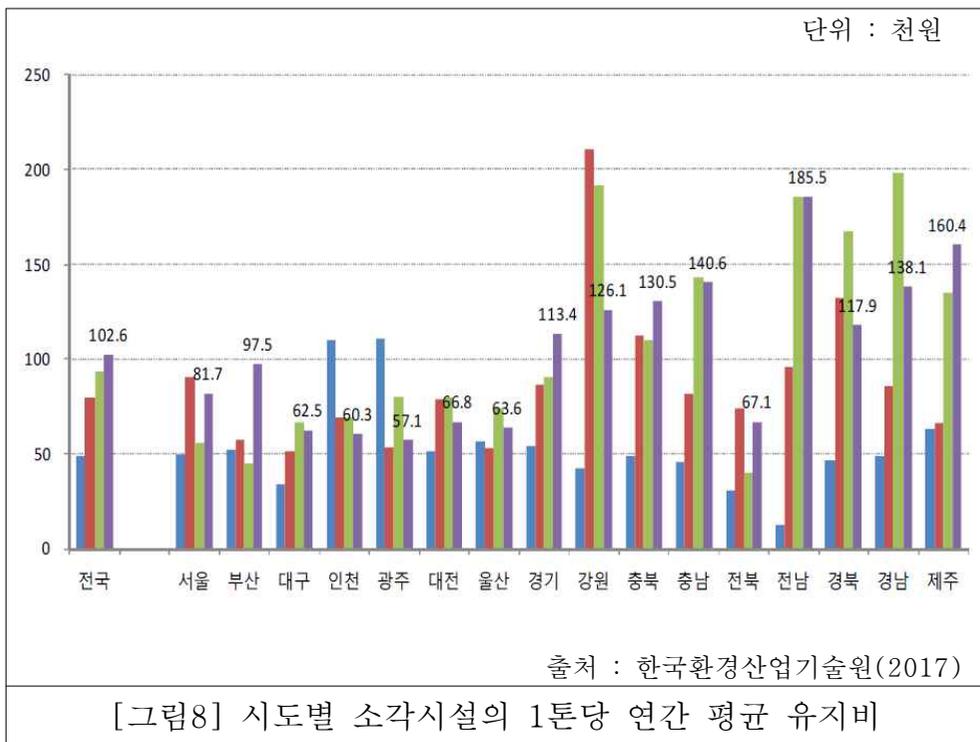


[그림6] 시도별 소각시설 추이



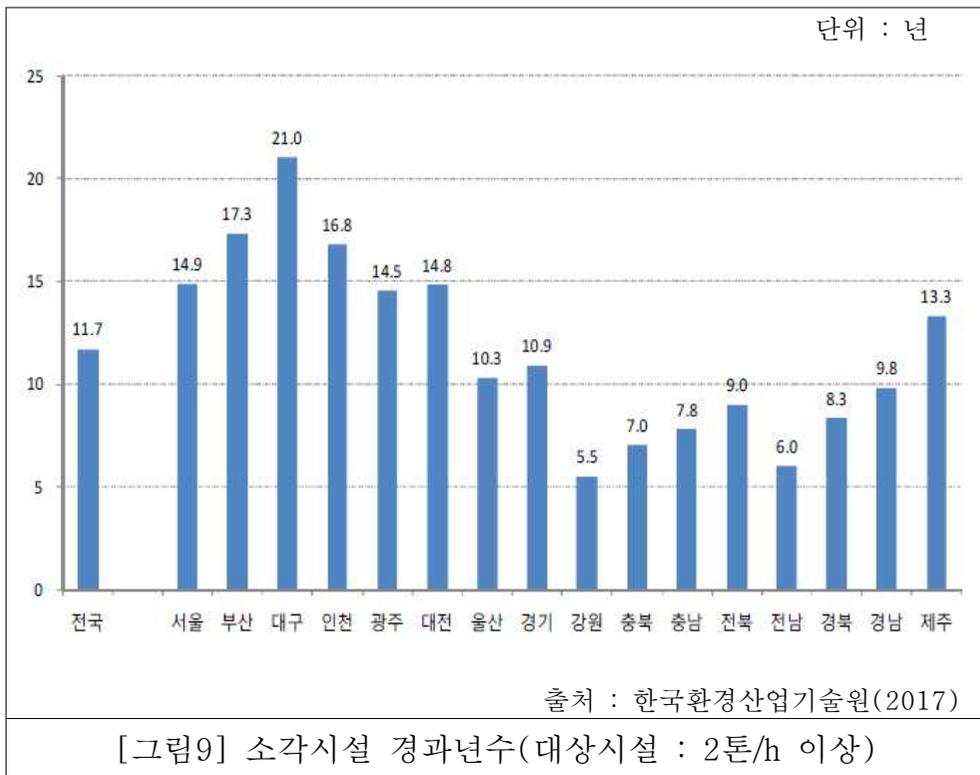
[그림7] 시도별 연간 평균 소각량

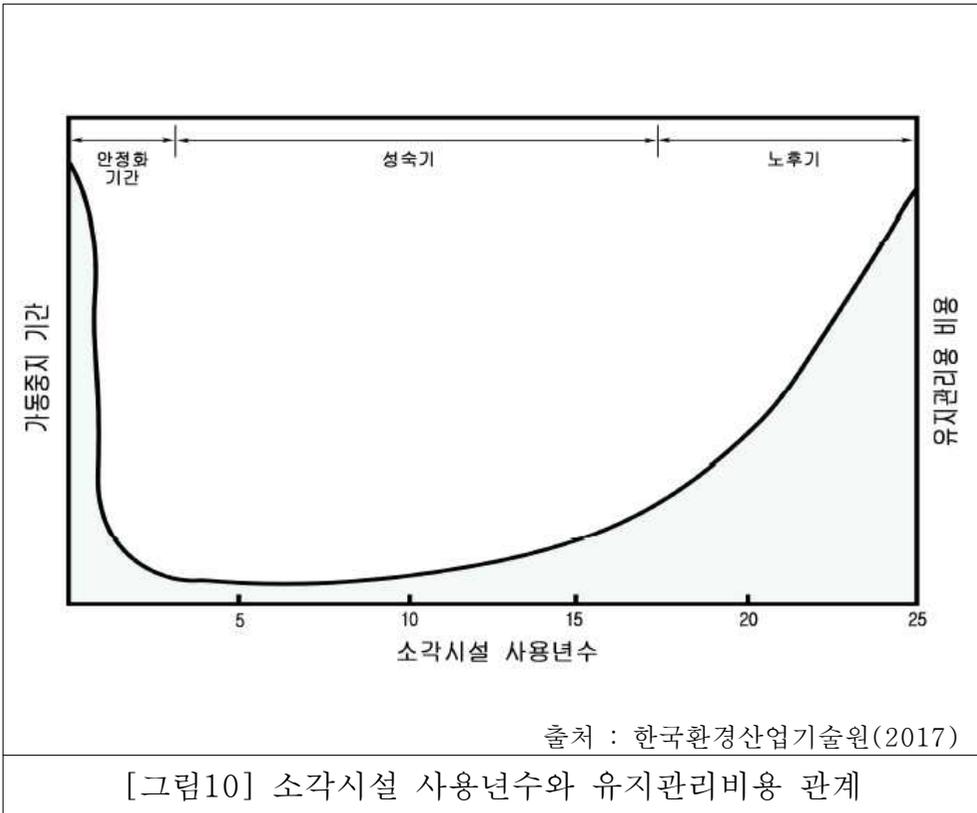
한편, 소각시설의 유지비는 지속적인 상승 경향은 보이지 않는 것으로 나타났지만(한국환경산업기술원, 2017), 유지비 절감을 위한 노력이 필요한 지역도 있는 것으로 판단된다([그림8]). 전라남도도 전국 소각시설 수 185개 중 53개 시설이 전라남도에 편중되어 있는데, 지역적 특성상 낙도지역 등에 설치된 시설이 많아 전라남도가 고정적인 유지비의 비중이 높았던 것으로 볼 수 있지만 지역 차원에서 광역화나 집적화 등으로 유도하기 위한 노력이 필요할 것으로 보인다.



7개 광역시의 평균 유지비는 69,900원이고 9개 광역도의 평균 유지비는 131,100원으로 광역시 대비 1.87배 높은 것으로 나타났다.

한국환경산업기술원(2017) 자료에 따르면, 소각시설 조사 대상시설인 2톤/h 이상 기준 전국 평균 사용년수(경과년수)는 11.7년 정도로 양호한 것으로 나타났다([그림9]). [그림10]에서와 같이 소각시설의 사용연한은 일반적으로 15년을 기준으로 하지만 국내 대형생활폐기물 소각시설의 경우 약 20년 이상 사용이 가능할 것으로 예상되고, 외국의 경우 30년 이상 사용하는 사례도 있는 것으로 조사되었다.

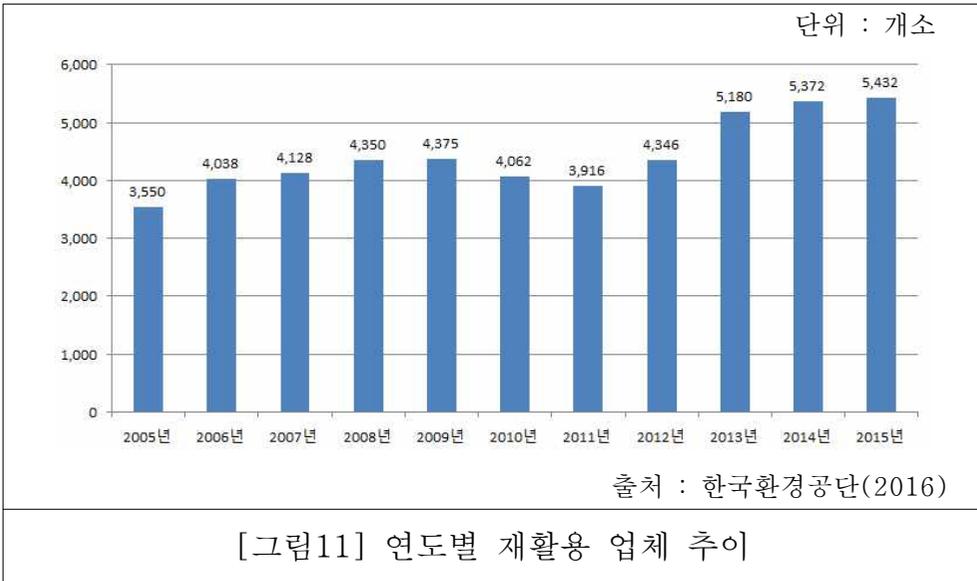




* 2000년과 2005년, 소각시설에서 에너지회수의 인식보다 안정적 처분(감량화) 개념이 자리하고 있어 충분한 자료가 수집되어 있지 않은 것으로 보이며, 이 때문에 폐기물 통계에 수록되지 않았던 것으로 보임.

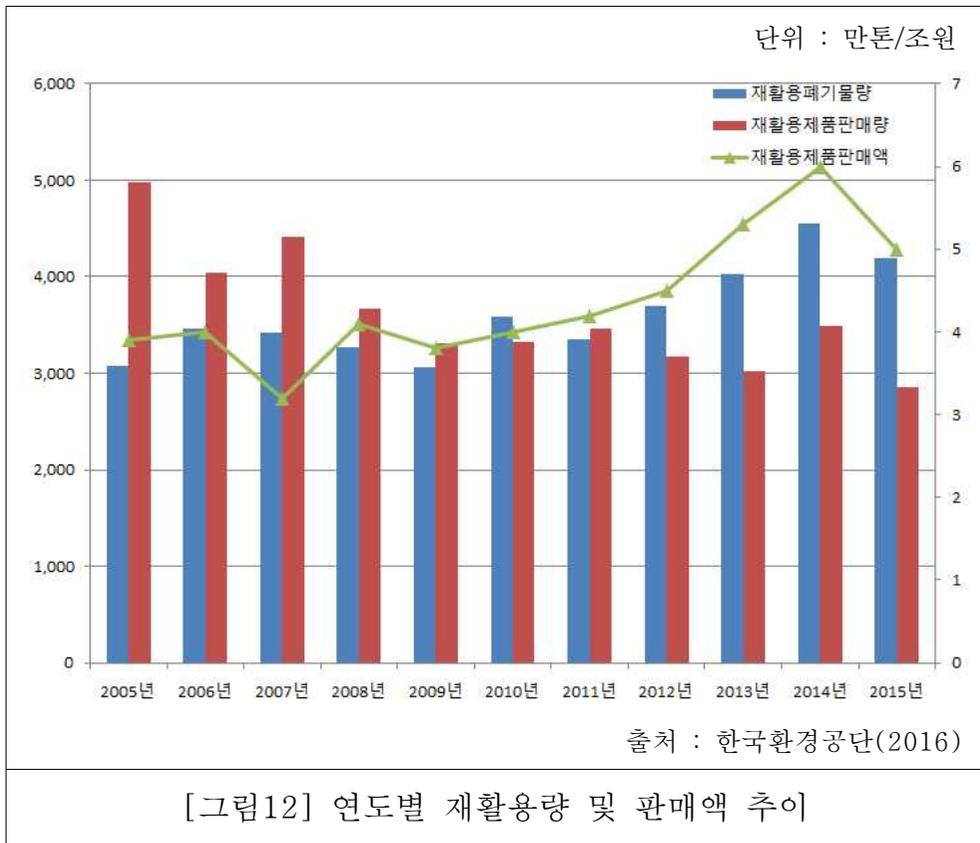
(3) 재활용

폐기물의 처리에 있어 주요 방법은 재활용이며, 폐기물 재활용 비율은 매년 증가세에 있다. 2014년도 재활용 비율은 84.8%로 전년대비 0.9% 증가하였다(환경부, 2015).



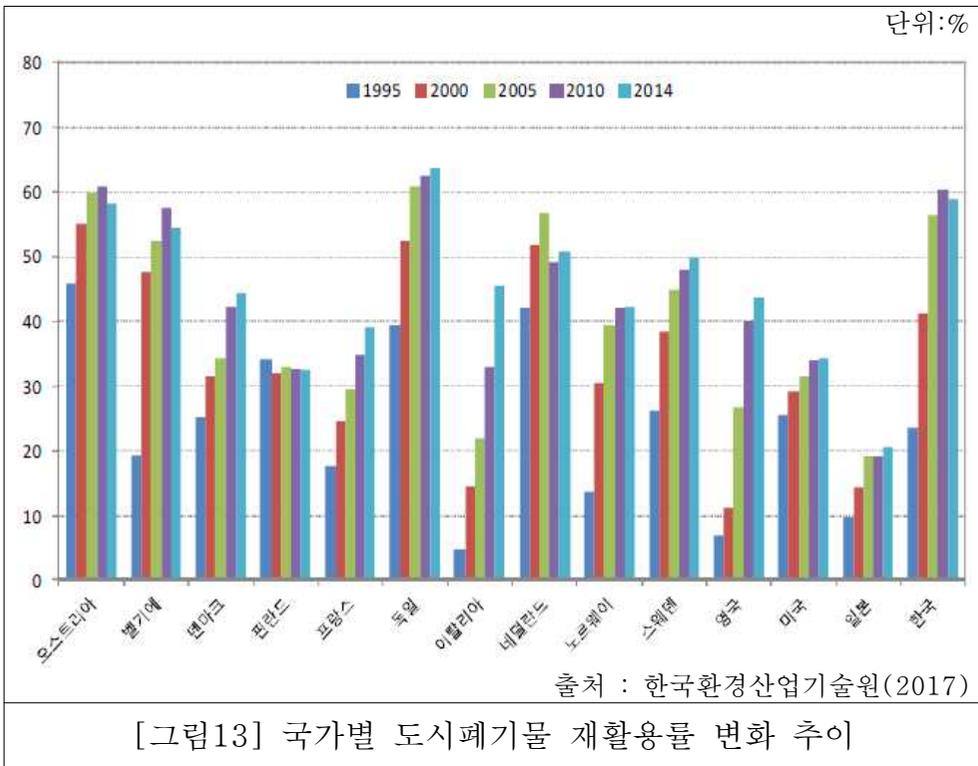
[그림11]과 같이 국내 폐기물 재활용 업체는 2015년 현재 5,432개로 작년대비 소폭 증가하였다. 재활용 업체수는 2005년 이후 지속적인 증가추세를 보이다 2010년도 감소하였으나 이후 다시 증가세를 보이고 있다.

[그림12]의 재활용 제품 판매액 그래프는 2007년 감소가 있었으나 증가세로 돌아섰고 2014년 약6조원의 매출 규모를 보였다. 이후 재활용 폐기물량과 판매량의 감소로 2015년 판매액은 16.7% 감소한 것으로 나타났다.



* 「건설폐기물재활용촉진에관한법률」 시행으로 인하여 건설폐기물이 2005년부터 재활용 실적 대상에서 제외됨.

한국환경산업기술원(2017)의 자료에 따라 폐기물 처리에 선도적인 몇몇 국가의 폐기물 발생과 처분에 대한 동향을 우리나라와 비교해 보면, 14개 국가 중 핀란드와 네덜란드를 제외한 모든 국가에서는 시간 경과에 따른 재활용률이 증가하는 추세인 것으로 나타났다([그림13]).



특히 OECD-EU 회원국들은 1999년도 도입한 생분해 가능한 폐기물의 매립금지정책이 1995년 이후 재활용률을 증가하게 한 직접적인 원인인 것으로 분석된다. 다만 핀란드는 매립률이 조사시점인 1995년 기준 65%정도 이었던 점에 비추어 보면 재활용보다는 소각 의존도를 높인 것으로 보인다.

(4) 해양배출

그동안 중금속 등 위해물질을 함유하고 있는 폐기물은 해저퇴적물에 축적되어 해양 환경오염을 가속화 시켜왔고, 수산물 오염으로 수산업 피해와 국민건강 등 사회적 문제가 야기되었다. 또한 우리나라의 투기해역은 대부분 한국과 일본, 한국과 중국 간 공동 어업 수역에 위치하고 있어, 해양오염으로 주변 국가들과 분쟁의 소지가

있어왔다. 실제 중국과 일본에서 해양 투기금지를 수시로 요구하기도 하였다. 특히 [표1]과 같이 우리나라는 국제적으로 녹색성장을 주창하였으나 투기 방지 협약 가입국 중 유일한 해양투기국으로서 매년 국제협약 당사국회의에서 해양투기에 대한 보고와 소명이 필요한 불명예를 겪기도 하였다(국토해양부, 2012).

또한 폐기물 정책은 재활용, 소각, 매립, 해양투기로 우선순위가 이루어지다 보니 자원순환이 이루어지지 않는 면도 있었다(국토해양부, 2012). 2011년 당시 많은 국가들은 하·폐수오니를 재활용하였으나 우리나라는 53% 정도만이 재활용하여 사용하고 있는 실정 이어서 육상폐기물의 조기 해양 투기 금지가 불가피한 상황이었다.

[표1] 하·폐수오니(Sewage Sludge) 재활용 비율

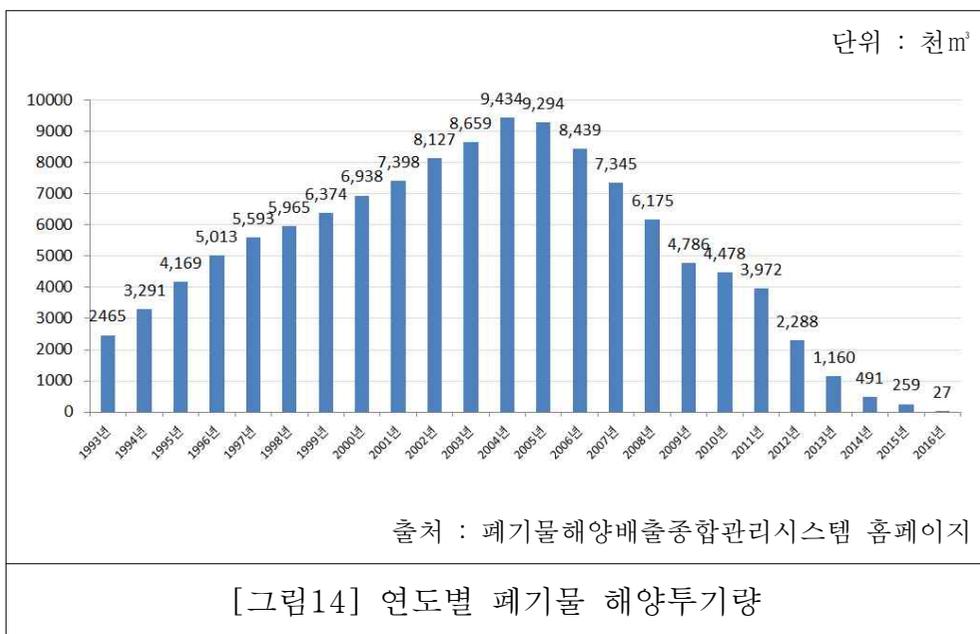
구 분	재활용	매 립	소 각	해양투기	비 고
핀란드('08)	100%	-	-	-	
독 일('08)	97%	3%	-	-	
호 주('09)	85%	15%	-	-	
오스트리아('08)	82%	18%	-	-	
일 본('08)	78%	20%	2%	-	
한 국('10)	53%	16%	13%	18%	폐수오니

출처 : 국토해양부(2012 재인용;국제물협회 보고서, 2011)

국제적으로는 해양 투기에 관한 규제의 필요성과 해양오염 방지를 위해 환경협정인 런던협약이 1972년에 출범하였고, 우리나라는 2009년에 가입하였다. 또한 정부는 2006년부터 개정된 법에 따라 폐기물 해양배출을 단계적으로 감축시키고 궁극적으로 해양배출을 금지시키는 해양배출 저감정책을 시행하였으며, 2015년 12월 산업 폐수와 폐수오니를 마지막으로 육상 폐기물 해양배출이 전면 금지되었다([그림14], [표2]). 정부는 이로 인한 폐기물 처리 문제를

최소화하기 위해 관계부처 합동으로 폐기물 육상처리 시설 확충 및 육상전환 지원 등 병행을 추진하고 있다(해양수산부, 2015).

해양투기종합관리시스템에서 제공하는 데이터를 보면, 해양투기량은 1993년부터 연평균 약 16%씩 증가하다, 2005년을 기점으로 연평균 약 31%씩 감소하였다([그림14]).



[표2] 폐기물 해양투기금지 추진경과

연도	주요내용
2006년	해양오염방지법 시행규칙 개정령 공포 육상폐기물 해양투기 종합대책 수립
2009년	런던의정서 가입
2012년	하수처리오니, 가축분뇨 해양투기 금지

2013년	음폐수, 분뇨 해양투기 금지
2014년	폐수, 폐수처리오니 해양투기 원칙적 금지 -불가피성 업종시에만 2년 한시 적용
2016년	모든 하수오니(폐수처리오니 포함) 해양투기 전면 금지

출처 : 폐기물해양배출종합관리시스템 홈페이지

2. 폐기물 처리의 과정과 문제점

1) 매립지에 관한 문제

(1) 매립지 부족의 문제

우리나라는 국토가 넓지 않고 도시가 집중화되어 있어 지자체들은 지역 인근의 매립지 확보에 어려움을 겪고 있다. 또한 산업과 생활 수준이 향상되면서 폐기물의 양은 점점 증가하고 있지만 주민의 반대로 새 매립장 확보는 어려워지고 있다.

울산은 우리나라 중화학공업 지역의 중심으로, 산업 폐기물량 또한 많이 발생하는 지역이다. 그러나 울산의 산업폐기물 매립장이 포화상태에 이르자 각 기업들은 50km나 떨어진 경주 매립장에 높은 비용을 내고 폐기하고 있다.

울산의 매립장 3곳의 평균 잔여용량은 1.4년 가량으로 보고 있는데, 한곳은 현재 포화상태에 있으며, 다른 한 곳은 연간 매립량이 20만^m인데 잔여용량이 28만여^m로 1년 내에 포화상태에 이를 것으로 보인다. 나머지 한 곳은 2년 이내에 초과될 것으로 예상되고 있다. 폐기물 처리를 위해 매립장을 증설하고 있지만 매립허용량의 1/4 수준이어서 새로운 매립지 확보가 필요한 실정이지만 울산 지역내 추가 매립지 확보를 주민들이 반대하고 있어 어려운 실정이다 (울산제일일보, 2017. 10. 11).

여수시의 경우 2011년 기존 매립장에 도시형 폐기물종합처리시설을 준공하여, 과거의 단순매립방식(만흥, 월내)에서 벗어나 도시형 폐기물 종합처리시설에서 소각 후 잔재물을 매립하는 방식으로 변경하였다. 지난 1997년 건립된 만흥매립장은 하루 평균 120여톤의 생활폐기물을 처리하고 있으며, 매립가스(LFG)를 연료로 하는

발전시설을 통해 1,500~2,000MW/h의 전력을 생산하고 있다. 1994년부터 운영된 월내매립장의 경우 하루 100톤의 생활쓰레기 소각이 가능하고 30톤의 재활용품을 선별할 수 있는 등 효율적 처리가 가능한 도시형 폐기물종합처리시설로 발전하였다. 이로 인하여 월내매립장은 열의 회수와 함께 바이오 가스화 시설을 통해 발생한 에너지는 재활용하여 인근 여수국가산단에 판매하고, 수입증대 효과까지 거둔다는 계획이다. 여수시는 만흥동과 월내동 종합처리시설 준공으로 매립량을 하루 평균 283톤에서 184톤으로 감소하는 효과를 거두었다(경향신문, 2011.4.18.).

그러나 도시형 폐기물종합처리시설에 따른 만흥·월내매립장의 수명이 7~8년 연장되어졌지만, 연장 기한 이후에는 새로운 매립지를 또 다시 확보해야 하는 상황으로, 근본적인 해결을 위한 과제가 남아있는 실정이다.

(2) 사후 관리의 문제

매립장은 수용 용량이 초과되면 운영을 종료하고 지속적으로 관리하여 환경오염 등의 문제를 예방해야 한다. 하지만 매립장의 사후관리는 안정성 확보를 위해 여러 단계로 구분되어 있고, 토지 재활용 가능 기간까지 오랜 시간이 걸려 큰 비용이 소요된다.

매립장 부작용의 대표적인 예는 난지도 매립장이다. 난지도는 한강 하류에 발달한 범람원으로 난초와 지초를 의미하며 꽃들이 많아서 꽃섬이라고 불리기도 했고, 맑고 깨끗한 수질 덕분에 수생 동식물이 풍부하여 겨울 철새들이 머무는 자연의 보고였다. 하지만 서울의 급성장과 도시화로 난지도가 1978년 서울시 쓰레기 매립장으로 지정되었다. 경제성장과 인구의 도시 집중으로 생활쓰레기와 산업쓰레기가 증가하였고 당시에는 지정된 폐기물 처리장이 없어 생활폐기물을 택지 조성지, 저습지 등에 매립하는 실정이었다. 서울시

는 대규모 쓰레기 매립지를 물색하던 중 서울시 외곽지이면서 교통이 편리하고 제방축조 공사 중인 난지도를 대상으로 선정하였다. 1978년 3월부터 난지도에 쓰레기 매립이 시작되었으며 1988년에는 쓰레기 매립이 하루 2만 8,877톤으로 늘어났다. 이후 1992년 11월 서울·인천·경기 지역의 쓰레기를 공동으로 매립하는 수도권 매립지가 생겨남에 따라 1993년 3월, 난지도 쓰레기 매립이 종료되었다. [그림15], [그림16]과 같이 15년 동안 난지도에는 812,800평 부지에 약 9,200만톤의 폐기물이 매립되었고 평형했던 섬은 두 개의 거대한 쓰레기 더미로 이루어진 산으로 변했다. 난지도 매립지 계획 수립당시, 부지의 규모를 고려하여 1978년부터 1984년까지 6년간 쓰레기 처분장으로 사용할 계획이었으나, 난지도 매립지를 대체할 수 있는 매립지 확보에 어려움을 겪으면서 1992년까지 연장하게 되었고 결국 100m에 이르는 거대한 산이 되었다(월드컵공원, 2006).

	
<p>출처 : 월드컵공원(2006)</p>	<p>출처 : 월드컵공원(2006)</p>
<p>[그림15] 쓰레기 매립 전의 난지도(1970년도초)</p>	<p>[그림16] 쓰레기 매립지 당시 난지도</p>

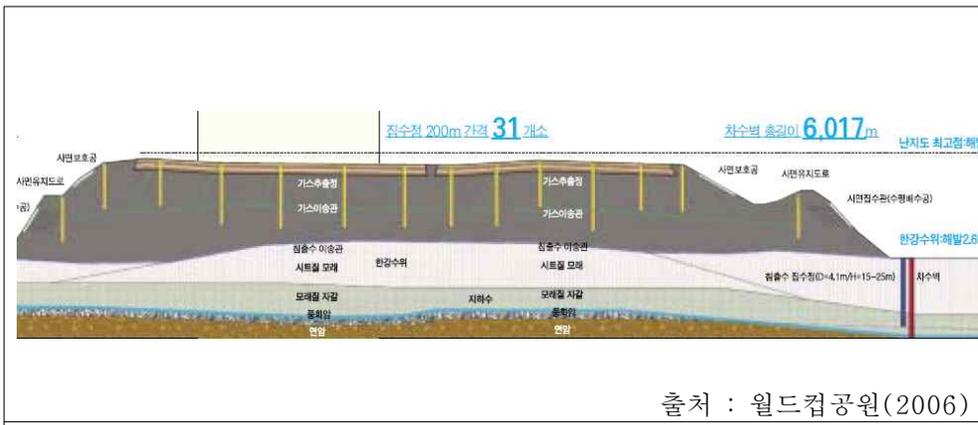
난지도 매립지는 전형적인 비위생 매립방식으로 운영되었고 여기에 과도한 양의 쓰레기를 매립하여 다양한 문제를 야기하였다. 침출수와 매립가스가 토양, 수질, 대기 오염의 문제 등의 환경 문제를 일으켰고, 비계획적인 과도한 양의 매립은 지반침하와 사면붕괴 같은 안전문제를 초래했다. 침출수의 경우 BOD(생물학적 산소요구량) 72mg/l, COD(화학적 산소요구량) 605mg/l, T-N(총질소)

1,418mg/l로 매우 높아 주변지천, 지천이 연결되는 한강, 그리고 시민건강과 직결될 수 있는 지하수 오염과 같은 악영향이 우려되었다. 쓰레기 분해과정에서 발생하는 매립가스는 대표적인 온실가스인 메탄가스와 이산화탄소가 주성분인데, 특히 인화성과 폭발성이 강한 메탄가스로 인해 난지도는 수차례의 화재 사고를 겪기도 하였다. 이와 함께 매립된 쓰레기가 분해되는 과정에서 쓰레기 층의 불균일한 침하와 막대한 쓰레기량의 무게로 인하여 진공공간이 사라지면서 침출수 수위가 상승하여 사면붕괴의 가능성도 누적되는 상황이었다. 환경 및 안전 문제 이외에도 난지도 매립지는 사회문제를 야기했다. 쓰레기더미에서 찾아낸 유가품으로 생계를 이어가는 다수의 도시 빈민들에게는 난지도 매립장이 생계의 터전이었고, 이들은 쓰레기 악취, 먼지, 해충, 차량이 내뿜는 대기오염물질을 접하는 작업을 매일 진행하면서 도시 빈민들은 환경, 보건, 안전 모든 측면에서 위협에 노출되어 있었다.

서울시는 난지도를 되살리고 친환경 공원으로 새롭게 탈바꿈시키기 위한 작업을 착수하게 되었다. 매립지 안정화 공사에는 침출수가 새어나오지 않도록 차수벽을 세우고 오염된 물을 정화시키는 침출수 처리, 매립지 상부에 흙을 덮어 초지를 조성하는 상부 복토화 작업, 유해가스를 모으고 처리하는 가스 처리, 매립지 주변 환경을 관리하는 사면 안정 처리 등 크게 네 가지의 처리 방법이 적용되었다. 쓰레기 산위에 흙을 덮는 상부 복토공사로 매립지 내부로 빗물이 스며드는 것을 방지하고 매립가스의 발산을 억제하며 식물이 성장할 수 있는 환경을 조성하였다. 쓰레기 매립층 위에 50cm 두께로 흙을 덮고 물이 스며드는 것을 막을 수 있는 차수막을 깔 다음 물이 잘 빠지도록 배수층과 식물이 자랄 수 있는 흙을 덮은 식생층, 그리고 표층의 흙을 각각 30cm씩 덮은 후에 잔디와 키작은 나무 등을 심었다. 또한 쓰레기 산의 경사진 면이 무너지지 않도록 경사를 완만하게 조정하고 보호공을 설치하였으며, 침출수 처리, 매

립가스 처리 등을 통해 오염된 환경을 복원시키려 노력하였다([그림17]).

이후 2002년 5월 난지천공원, 노을공원, 하늘공원, 평화의공원 등 5개 공원으로 구성된 월드컵 공원이 개원하였다. 난지도 매립지의 경우 정부와 서울시는 물론 학계 및 업계에서 활용방안을 모색하였고 친환경적인 생태공원 조성을 위한 정책이 수립되는 등 매립지 사후관리의 모범으로 꼽히는 몇 안되는 사례이다.



출처 : 월드컵공원(2006)

[그림17] 난지도 안정화 사업 단면도

난지도 매립장과는 달리 대부분의 타 매립지의 경우 관리부실로 어려움을 겪고 있다. 기존에 사용 종료된 매립지는 현재의 기준과 규정이 적용되지 않은 상태에서 운영되었기 때문에 불량 매립지의 주변에는 심각한 환경문제가 발생하고 있고 경영악화로 문을 닫은 매립장의 경우 사후관리가 더 부실한 실정이다. 원칙적으로 폐기물 매립시설의 사용이 종료, 중단 될 경우 매립지로 인한 주민의 건강·재산 또는 주변 환경의 피해를 방지하기 위하여 사후관리를 해야 하며, 사용종료 또는 폐쇄한 매립장이 오염원으로 작용하여 주변지역에 영향을 미치고 있다고 판단되는 경우, 토지활용을 일정기간

제한할 수 있으며 제한 기간은 최대 30년까지도 가능하다(폐기물관리법 제 50조 2항, 제54조).

사후관리를 위해서는 우선 사후계획을 수립하여 매립장으로 인한 주민의 건강과 재산, 주변 환경의 피해를 효율적으로 방지하여야 하고, 폐기물 매립 종료 후 안정화 기간 동안 매립층이 안정화, 무해화 될 때까지 침출수, 매립가스 등 환경위해요소들을 적극적으로 관리해야 한다([표3]). 또한 주변 환경에 미치는 영향을 파악하기 위하여 지표수, 지하수 및 토양 등에 대한 지속적 관리가 필요하며 시간경과에 따른 주기적인 모니터링 및 유지관리를 통하여 시설물의 효율적 운영, 장애발생 추이 파악, 계측 결과 분석을 통하여 사후관리의 범위와 목표 등을 조정해야 한다.

타 국가 또한 폐기물 매립지의 사후관리 기간은 약20~30년 이상 소요되며 사후관리 기간 중에는 매립부지의 토지이용이 제약 받게 되며, 적지 않은 비용이 소요된다([표4]).

[표3] 사용종료 매립지의 발생가능 문제점

구 분	내용
매립가스 영향	매립가스 중의 메탄가스가 밀폐공간(건축물 지하)에 축적될 경우 폭발의 위험성이 있음
침하에 의한 영향	폐기물층 상부 구조물에 영향을 미치며 특히 부등침하에 의한 영향은 심각할 수 있음 최종복토층의 균열 유발로 매립가스 누출 및 우수침투 우려
우수 집배수시설	기존 우수측구의 상태 및 기능은 매립지반의 장기침하에 의한 손상 및 매립가스 유출 우려가 있음

사면부 안정성	폐기물매립 경사면의 장기침하 및 변형은 상부 구조물의 안정성에 영향을 미칠 수 있음
---------	--

출처 : 한국농어촌공사(2013)

[표4] 폐기물매립지의 사용종료 경과년에 따른 토지활용 가능여부

경과년도		0~5년	5~10년	10~15년	15~20년	20년이상
토지 이용 판단 기준	침하	◎	○	×	×	×
	가스발생	◎	◎	○	○	×
	침출수 발생	◎	○	○	×	×
	금속, 콘크리트 부식	◎	◎	○	×	×
	식생가능성 문제	◎	○	×	×	×
	쓰레기 물성변화	◎	○	○	○	×
	매립 쓰레기 필요성	◎	○	○	○	○
토지이용 가능범위	초지, 공원녹지	도로, 수로	골프장, 단층주택	산업용지, 공업용지	고급주택, 고층빌딩	

◎ : 빨리 일어남

○ : 어느정도 일어남

× : 별로 문제 안됨

출처 : 한국농어촌공사(2013)

하지만 이런 사후 관리 규정에도 불구하고 실제로 잘 이루어지지 않은 경우가 많다. 폐기물 매립장 운영업체의 부도, 소유권 이전 등으로 인해 유독성 침출수 유출 등 정상적으로 관리되지 않는 폐기물 매립장이 전국 곳곳에 있는 것으로 나타났다. 일부 매립장은 시설 붕괴로 유독성 침출수가 유출되는 등 환경오염이 나타나고 있지만 해당 지자체와 정부가 수년째 관리 책임을 전가하는 곳도 있다.

충청북도 제천시 왕암동 폐기물 매립장의 경우 2010년 사용이 중단되었고 2012년 폭설로 에어돔이 무너졌지만 5년째 그대로 방치되고 있다. 정밀조사 결과 침출수가 유출되는 것으로 파악되었지만 기본적 조치가 이루어지지 않고 있다. 2015년 조사에서 매립시설 남서쪽 55m 지점까지 침출수가 유출되어 지하수가 오염된 것으로 확인되었는데, 오염이 계속 확산하고 있는 것으로 조사되었고 침출수를 통해 염소이온, 암모니아성 질소 등 독성 오염물질이 퍼지는 것으로 나타났다. 특히 매립시설 하류 8km 지점에는 수도권 식수원인 남한강 지류 제천천이 있어서 대책 마련이 시급한 실정이다. 1995년 사용이 종료된 전라남도 여수시의 매립장은 토지 소유자가 자주 변경되면서 사후관리 의무가 이행되지 않고 있었다. 경상남도 양산 매립장도 2012년 사후관리 중 사업자 부도로 방치되어 있는 것으로 나타났다. 세종시 매립장은 2002년 사후관리 기간에 사업자의 부도로 공매를 통해 소유권이 이전되었으나 사후관리 의무자 선정을 놓고 혼란이 발생되어 현재 행정소송 중이며 관리 역시 이루어지지 않고 있는 실정이다(연합뉴스, 2017. 3. 14).

2) 환경오염 및 기타의 문제

(1) 환경오염의 문제

폐기물 소각은 그동안 폐기물의 처분을 주목적으로 운영되어 왔

다. 그러나 최근 기후변화 대응에 대한 폐기물 정책변화로 폐기물 양의 감소를 위한 소각 뿐만 아니라 에너지 회수라는 기능이 부가되었고, 한국기계연구원 등 연구소에서는 기술의 발전으로 소각 때 발생하는 유해물질인 질소산화물(Nox)을 감소할 수 있는 저공해 소각시스템 등을 개발하기도 하였다.

하지만 이는 저감기술이어서 지금까지도 소각시설은 지역사회에 직간접적으로 영향을 끼쳐오고 있다. 우리나라의 경우 폐기물 소각 비율은 지난 10년 간 약 6% 정도의 비율을 나타내고 있으며 지난 2015년에는 폐기물 중 5.8%를 소각하였고(환경부, 2016), 폐기물 소각 등 국내 폐기물로 인하여 발생하는 온실가스 배출량은 국가 전체 배출량의 3%~7%를 차지하고 있다. 그러나 폐기물 소각 이외의 전반적 공정(폐기물 수집·운반, 이송, 소각장 운영 등) 과정에서 발생하는 온실가스 배출을 감안한다면 폐기물은 온실가스 배출에 더 큰 영향을 미친다고 볼 수 있다(한국환경정책·평가연구원, 2010).

환경부가 실시한 다이옥신 배출 실태조사를 보면, 조사 대상 시설 중 매년 약 13%가 기준치 이상의 다이옥신을 배출해 적발된 것으로 나타났다(한겨레, 2013. 9. 20). 다이옥신은 인간에게까지 영향을 끼치는 잔류성 유기오염물질로 독성이 매우 높아 위험 물질로 분류되어 있다. 환경부(2013)의 ‘잔류성 유기오염물질 배출시설 다이옥신 측정·분석 사업 최종 보고서’에 따르면, 한국환경공단이 전국 폐기물 소각장과 산업체 다이옥신 배출시설을 대상으로 조사한 결과 10%가 넘는 소각장에서 배출허용 기준 이상의 다이옥신을 배출한 것으로 나타났다([표5]). 이중 양주의 한 소각시설은 배출허용 기준의 27배를 초과하였고, 2012년 기준 평균 4.49배를 초과 배출하였다.

[표5] 전국 소각장 등 다이옥신 배출 현황

구분	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	계
점검 대상(곳)	89	100	100	100	100	100	120	709
기준 초과(곳)	14	12	16	14	9	15	13	93
비율(%)	15.7	12	16	14	9	15	10.8	13.1

출처 : 환경부(2013)

짧은 기간 내에 급격히 배출량이 증가한 지역도 있었다. 대전시의 경우 다이옥신 배출량이 2년 사이 급격히 증가하였는데, 일부 소각시설에서 나오는 다이옥신의 배출농도가 2년 사이 2~3배 급격히 증가한 것으로 조사되었다. 대전시와 환경부의 자료를 따르면 조사된 시설 모두 법적기준 이하로 나타났지만 매년 빠르게 증가하고 실정이다. 또한 오염물질 측정방식도 미흡하다는 지적도 있다. 다이옥신은 현재 관련법에 따라 6개월 마다 1회 이상 측정하도록 규정되어 있지만, 몇시간 시료채취 후 측정하는 방식에 대해 정확한 방법과 대책이 요구되고 있는 실정이다.

이런 실태조사 후 개선명령이 빠른 이행여부로 연결되지 않는 점 또한 문제로 지적되고 있다. 환경부(2013) 자료에 따르면 2012년 배출허용 기준을 위반한 13개 시설이 다이옥신 측정에서부터 개선명령 발령까지 평균 132일, 개선명령 이행 여부에 대한 확인까지는 평균 255일이 걸린 것으로 나타났다. 측정 시점에서부터 이행 여부 확인까지 걸리는 시간이 길다는 것은 그 기간 동안 다이옥신이 계속 배출될 가능성이 높다는 것을 의미하기 때문에 철저하고 신속한 대처가 필요한 상황이다.

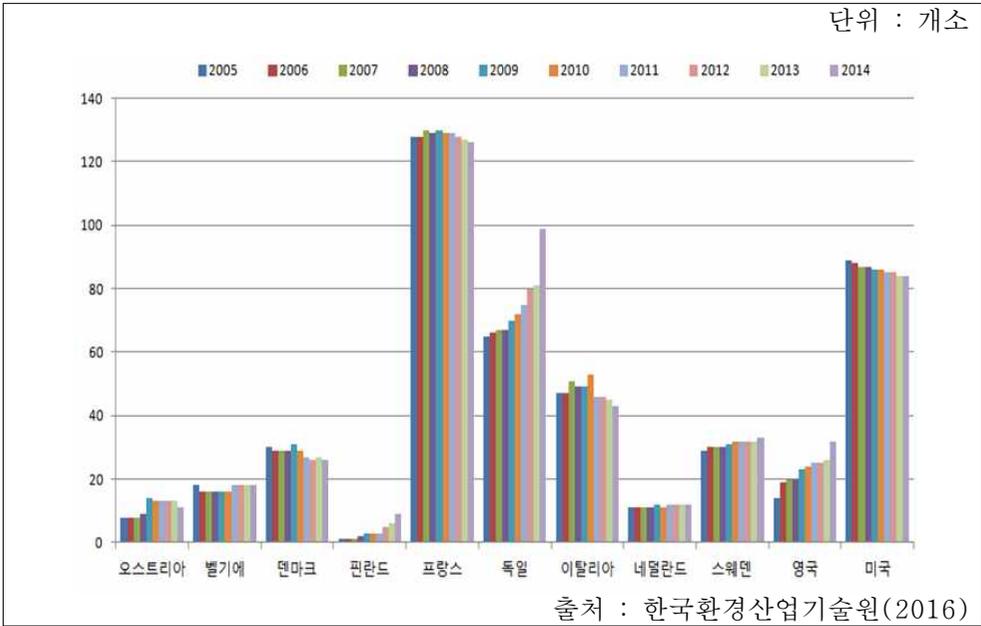
(2) 효율적 활용의 문제

폐기물 소각 시설 개수나 소각량으로 보면 우리나라의 수치가 높은 편은 아니다. OECD, EU 등 타 국가들은 높은 시설 개수와 소각량을 보였지만 지속가능한 친환경적 운영과 소각시설에 에너지 회수 기능을 부가하여 소각시설을 적극적으로 활용하고 있는 것으로 나타났다. 중요한 것은 소각시설 수에 대한 의미보다 소각 처분율의 증가와 발생하는 에너지의 활용이다.

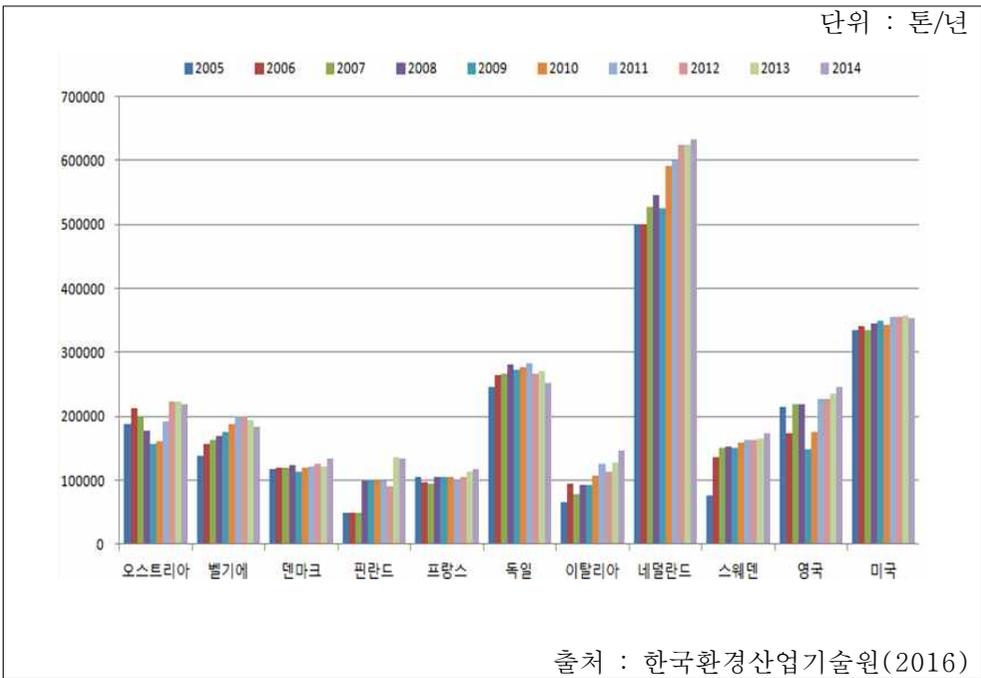
폐기물 소각 시설을 운영하는 국가는 크게, EU와 미국 등 에너지회수시설의 기능에 중점을 두고 운영하는 국가와 우리나라와 같이 폐기물의 안정적인 감량을 목적으로 하는 국가로 2가지 유형으로 분류할 수 있다. EU는 에너지원으로 폐기물을 활용하고 있어 인근 국가로부터 폐기물을 하여 소각하기도 한다. 따라서 국내 폐기물로만 소각하는 우리나라와 타 국가를 비교하는 것은 모순될 수 있다. 이런 한계점에도 불구하고 네덜란드와 독일은 소각시설 1곳당 평균 소각량이 큰 것으로 확인되고 있다.

한국환경산업기술원(2016)의 조사국가 중 OECD-EU와 미국의 경우 프랑스만 제외하고 소각시설이 100개 이하인 것으로 보이고 있다. 미국은 조사년도 모두 큰 변화를 보이지 않고 있는데 이는 1차, 2차 오일쇼크 이후 에너지 확보를 위해 대안책을 마련하여 운영해 오고 있어 1980년대 이후 유사한 결과가 나타난 것으로 보인다.

네덜란드의 경우, 연간 소각시설 1곳당 50만~60만 톤을 처리하고 있다. 특히 2005년부터 소각시설의 수가 크게 증가하지 않았음에도 소각량이 증가 추세를 보이고 있는 것으로 보아 폐기물 소각에 대한 정책이 강력하게 추진되고 있는 것임을 알 수 있다([그림 18], [그림19]).

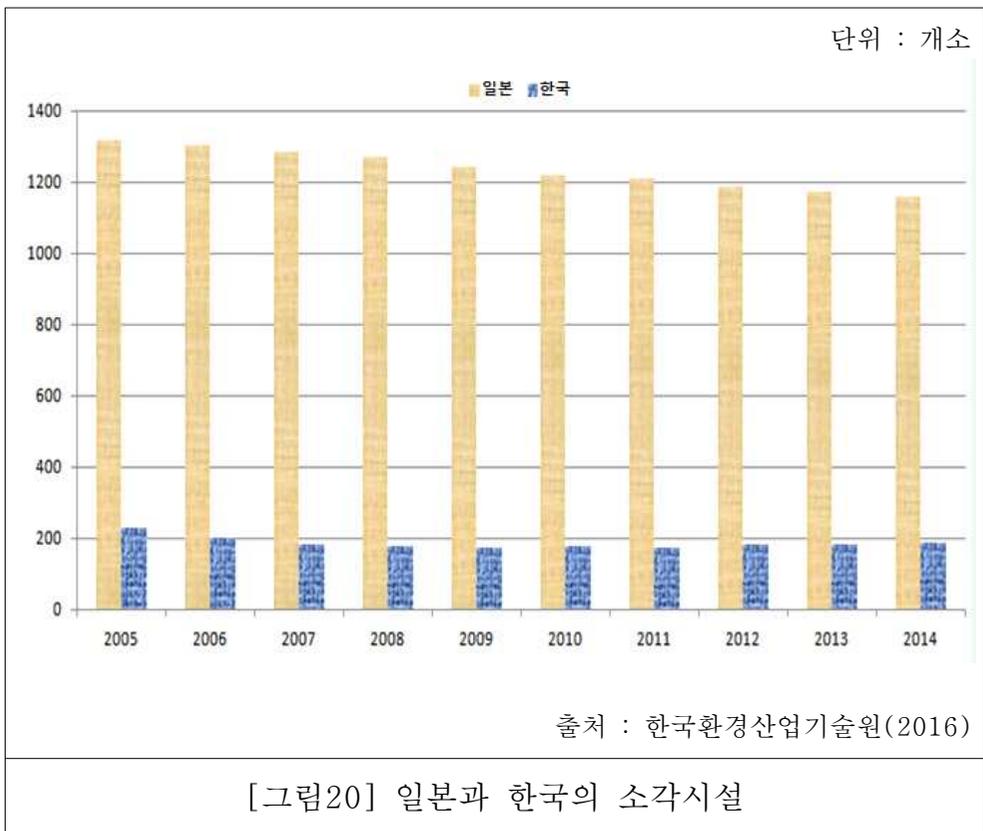


[그림18] EU와 미국의 소각시설수



[그림19] EU와 미국의 시설별 연간 소각량(톤/년)

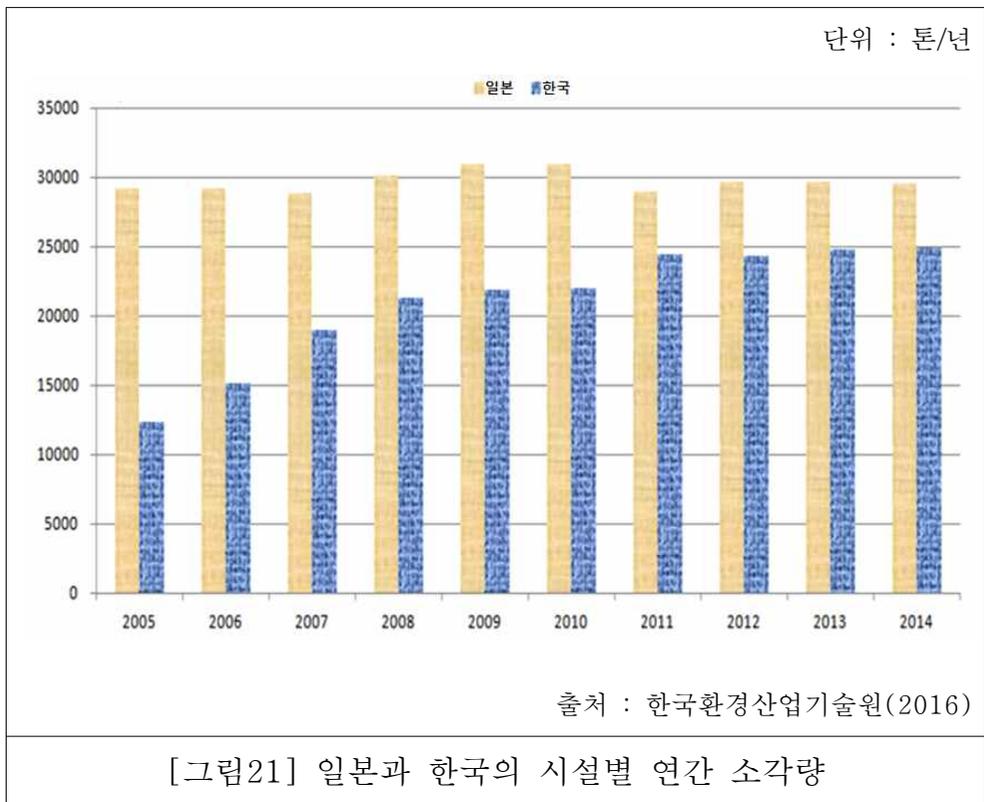
반면, 일본의 경우 [그림20]과 같이 소각시설의 수가 1,318곳에서 1,161곳으로 줄어들었지만 일본의 소각률이 78%인 점을 감안하면 많은 수치이다. 이는 일본 만이 가지고 있는 특성 때문인데, 에너지 회수시설은 일반적으로 대형화되어 있지만 일본은 소각시설을 폐기물의 처분 목적으로 운영해왔기 때문에 중·소형 소각시설이 많은 것으로 보인다. 우리나라 역시 일본과 유사한 방식으로 운영되어왔고 시설수가 줄어들고 있다.



연간 소각량을 보면, 일본은 2005년부터 2014년까지 2.9~3.1만 톤으로 OECD-EU 국가 중에서 가장 낮은 소각량을 보인 프랑스의 평균(10만 톤)보다 낮은 수치를 나타내고 있다. 우리나라는 일본보다 더 낮은 1.2~2.5톤 가량의 소각량을 보이고 있다. 또한 일본은

소각 시설의 수가 줄어들고 평균 소각량이 증가하는 추세를 보이고 있는데, 이는 소형 소각시설수의 감소와 신규시설 설치 시 폐기물 처리시설의 최적화 전략에 기인한 것으로 보인다([그림21]).

타 국가와 우리나라의 현황을 비교해 보았을 때, 소각시설 규모에서 큰 차이를 보이는 것으로 나타났는데, 이는 단순처분 목적의 감량화를 위한 소각 중심으로 운영되다 보니 1개 소각시설 당 규모의 소각량에서 큰 차이를 보였다. 규모를 대용량화함으로써 소각량 증대로 인한 경제성 확보와 소각 시설에서 에너지 회수까지 처리 가능한 효율적 운영이 필요할 것이다.



대용량화 이외에도 적극적인 기술 개발을 유도해야 한다. 국내

폐기물 관리 수준은 개발도상국의 벤치마킹 대상이 될 정도로 성장하였지만 폐기물 에너지화 등 소각에 관한 기술은 선진국에 비해 아직 초보적인 수준(Pilot 플랜트 및 소규모시설 설치·운영 단계)이고, 바이오가스 생산공정의 안정성 및 경제성 확보에 필요한 실시간 모니터링 기술이 부족하며, 하수슬러지 건조·연료화에 대한 기술 또한 연구가 필요한 실정이다.

시설의 효율적 사용의 문제는 폐기물 감량에 초점을 둔 운영 방식 때문이기도 하지만, 지역갈등의 문제에서 기인하기도 한다. 폐기물 처리 시설은 기피시설이다보니 전국 각 지역에서 기피시설 건립을 반대하고 있다(음성시, 서산시, 포항시 등). 사정이 이렇다 보니 각 기초자치단체별로 시설이 설치되어 가동률, 처리비용, 에너지 활용률 등에서 비효율성이 나타나고 있다.

환경부(2015) 전국 폐기물 발생 및 처리현황 자료를 보면, 전국 186개 소각시설은 연간 평균 73%의 가동률을 보이고 있다. [표6]과 같이 지역별로 살펴보면, 가동률이 높은 지역은 부산, 인천, 대전 지역으로 가동률이 80%를 넘었고 가동률이 낮은 지역은 전남, 전북, 경기 지역으로 60% 후반대의 가동률을 보였다.

[표6] 2015년 지자체별 폐기물 소각시설 운영 현황

시도	시설수	시설용량 (톤/일)	2015년 처리량(톤)	가동률
합계	186	17,238	4,582,405	73%
서울	5	2,898	763,049	72%
부산	2	510	155,897	84%
대구	1	480	132,119	75%
인천	9	877	268,355	84%

광주	1	320	86,937	74%
대전	1	320	96,790	83%
울산	2	650	187,149	79%
세종	1	45	12,358	75%
경기	26	5,164	1,299,861	69%
강원	15	570	162,556	78%
충북	10	709	182,299	70%
충남	11	885	244,524	76%
전북	2	600	146,731	67%
전남	56	501	119,037	65%
경북	20	837	229,955	75%
경남	17	1,594	425,024	73%
제주	7	278	69,765	69%

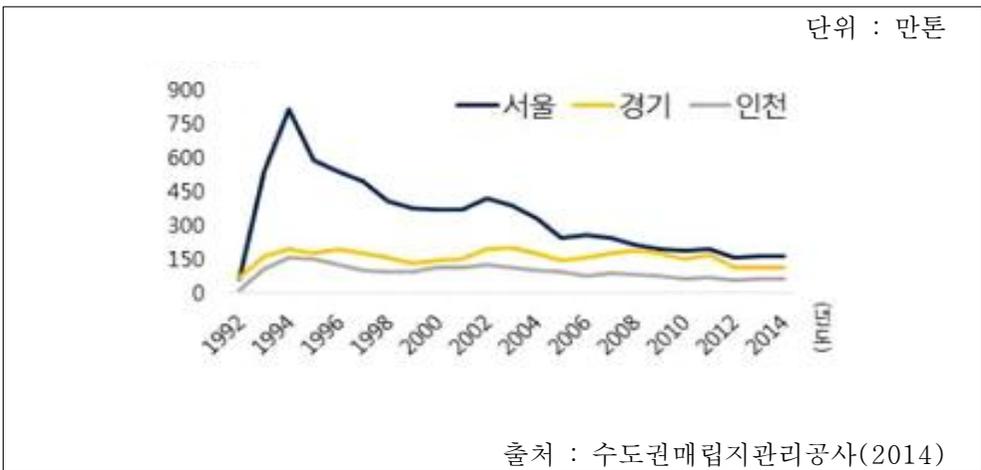
출처 : 환경부(2016)*

* '2015 전국 폐기물 발생 및 처리현황'에서 정리 및 분석하였으며, 가동률은 시설용량 대비 연간 처리량을 의미함.

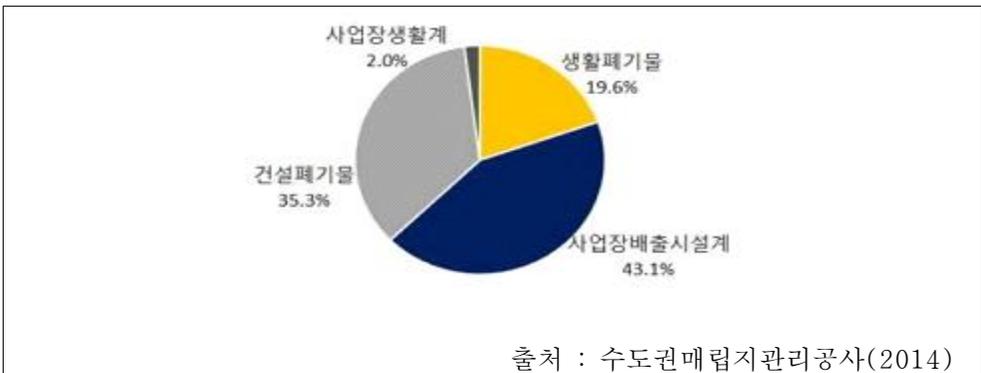
(3) 지역갈등 및 내부갈등의 문제

폐기물 처리 시설로 인하여 지역 간 갈등이 야기되기도 한다. 수도권쓰레기매립지의 경우, 사용 연장에 대한 서울시와 인천시 간의 갈등은 혐오시설인 매립지 대체 부지 마련이 어려웠고 기존 매립지

의 실제 사용 가능 연한이 늘어났기 때문에 발생되었다. 또한 서울의 폐기물로 인천 주민들이 불편을 겪는다는 인식이 갈등을 더 야기시켰다. 수도권매립지로 폐기물을 반입하는 자치단체는 서울시 및 인천시, 경기도 24개 시·군으로 경기도의 7개 시·군(용인시, 안성시, 이천시, 여주시, 양평군, 연천군, 가평군)은 자체처리 하고 있다. 폐기물 반입량은 2014년 기준 336만 톤으로 지역별 반입량은 서울시가 48%(161만톤), 경기도 34%(114만톤), 인천시 18%(61만톤) 순으로 나타났다([그림22]).



[그림22] 수도권매립지 지역별 반입량



[그림23] 수도권매립지 종류별 반입비율

수도권 매립지 반입폐기물은 생활폐기물 및 사업폐기물(지정 및 감염성폐기물 제외) 등 15종으로 생활계 4종, 사업장생활계 2종, 사업장배출시설계 8종, 건설폐기물 1종으로 나타났다. 종류별 반입 비율은 [그림23]과 같이 2014년 기준 사업장폐기물이 80.4%로 대부분을 차지하였고 생활폐기물은 19.6%이었다. 또한 인천시의 수도권매립지 반입 수수료는 사업장생활폐기물이 43,404원으로 소각 비용 10~20만원, 재활용 처리 5~10만원에 비해 저렴한 수준이어서 사업장폐기물의 반입 감소를 위해서 적정한 매립비용의 산정과 부과기준 개선이 필요하다는 입장이다.

수도권매립지는 1996년 인천시가 공유수면매립 실시계획 인가를 내주면서 매립지 사용 기한을 2016년으로 정하였다. 당시 폐기물 반입량과 면적을 고려했을 때 2016년도에는 매립지가 포화될 것으로 예상되었기 때문이다. 그러나 적극적인 분리수거와 쓰레기종량 제도 시행으로 폐기물 양이 줄어들면서 매립지 사용 가능 기간은 2044년으로 늘어났고, 인천시는 기존 2016년 종료를 주장한 반면 서울시와 환경부는 2044년까지 연장 사용을 주장했다.

본 갈등은 수도권매립지를 연장하는 대신 수도권매립지공사를 인천시 산하로 이관받고, 인천시와 환경부, 서울시, 경기도 등 매립지 4자 협의체로부터 테마파크 사업에 협조하는 것으로 일단락 되는 것으로 보였으나, 2017년 현재 수도권매립지공사 이관은 법 개정이 어려워 이관이 쉽지 않고 테마파크 조성 또한 진척이 없다. 다만 2017년 1월 고시한 '폐기물 전처리시설 설치사업 기본계획'에 따라 전처리시설을 착공하여 2020년부터 가동한다는 계획이다. 전처리시설이 가동될 경우 폐기물을 매립하기 전에 소각하거나 재활용할 수 있는 것을 따로 분리하기 때문에 매립지에 묻는 폐기물 양이 줄어들어 매립지 사용 기한이 연장된다. 때문에 수도권매립지의 문제는 명확한 해결점을 찾지 못하고 있는 실정이다([표7]).

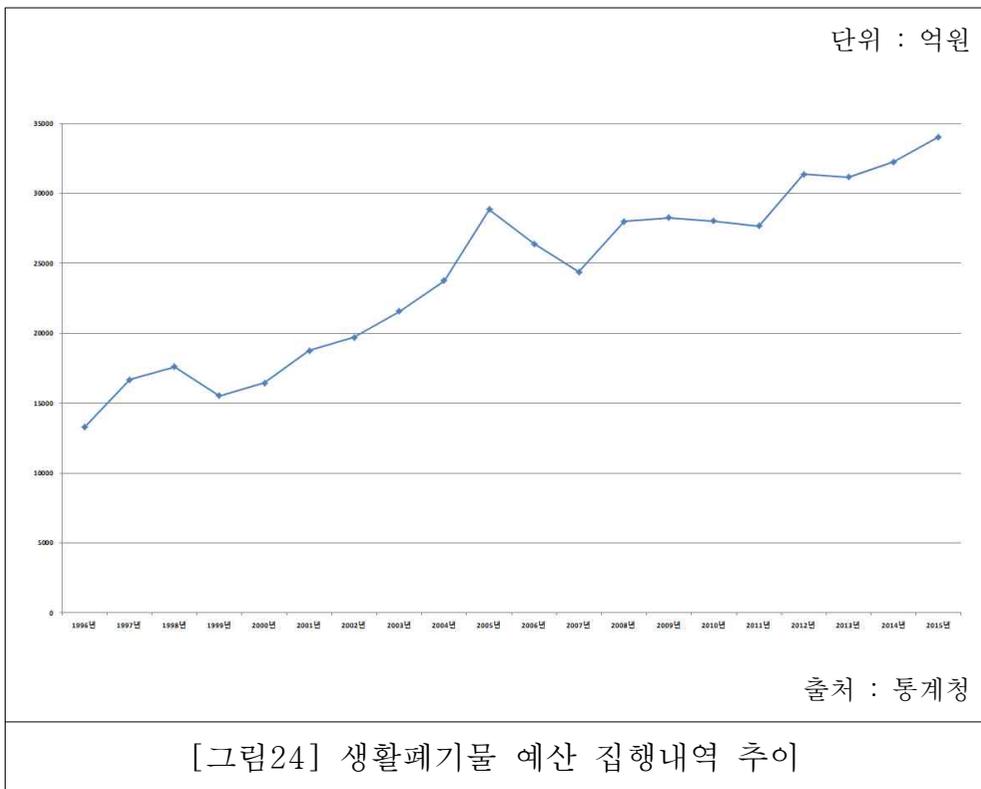
[표7] 수도권매립지 논란 과정

구분	내용
1987년 11월	정부, 김포간척지구(매립지) 양수양도 협정 체결
1991년 11월	인천, 서울, 경기도가 매립지 운영관리조합 설립
1992년 2월	쓰레기 반입 시작
2010년	인천시, 매립지 사용연장 불허 방침
2011년 11월	인천시와 서울시, 매립지 문제 해결을 위한 합의문 서명
2012년 8월	인천시와 서울시 협의중단, 갈등시작
2013년 12월	인천시, 환경부 요청 거부
2014년	유정복 인천시장 당선자, 매립지 사용연장 불가
2014년 12월	인천시, 4자 협의체 구성 및 선제적 조치 제안
2015년 6월	4자 협의체 최종합의
2015년 11월	4자 협의체 세부 이행계획 합의
2016년 1월	대체매립지 확보 추진단 첫 회의
2016년 7월	대체매립지 후보지 용역 시행 합의

충청남도 서산시는 내부 갈등을 겪고 있다. 서산시 지곡면 산업 폐기물 매립장 건설과 관련하여 충청남도와 서산시가 입장차이를 보이고 있기 때문이다. 충청남도가 최초 허가 당시보다 폐기물 발생량을 7.5배 증가시키고, 매립량도 4.2배 증가한 수치로 매립장 허가를 내주었고 환경영향평가를 협의하면서 이를 묵인했다는 의견이 제기되는 한편, 문자 발송 등 정치세력이 개입했다는 의견이 제기되면서 서산시민들은 전면 백지화를 주장하고 있다(충청신문, 2017. 10. 23.; 충청타임뉴스 2017. 10. 28.).

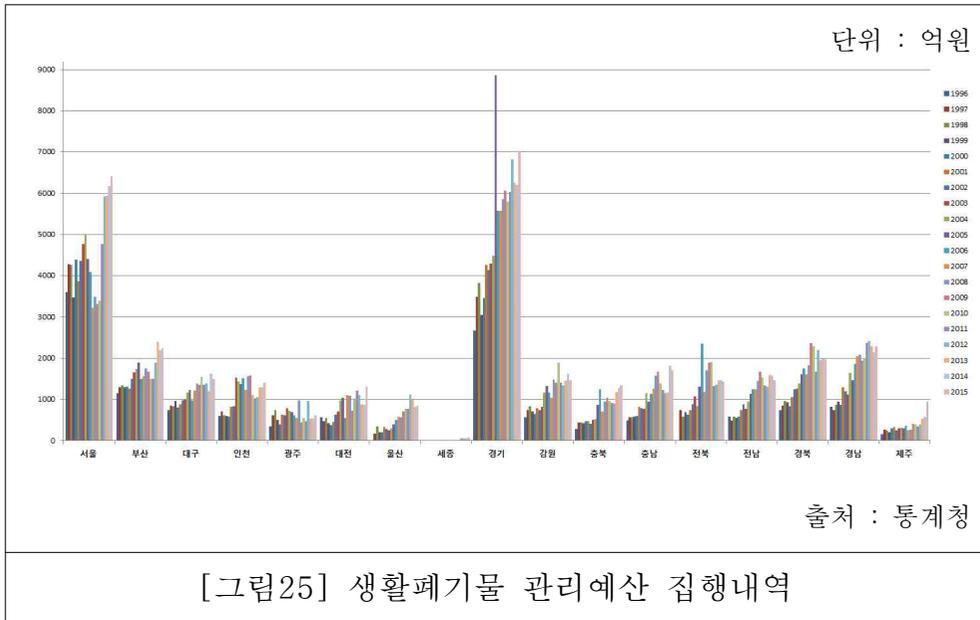
(4) 처리비용의 문제

폐기물 처리과정에는 환경에 대한 문제 뿐만 아니라 비용에 대한 문제도 발생한다. 통계청 자료를 보면, [그림24]와 같이 전국 생활폐기물(가정생활폐기물 및 사업장생활폐기물)의 예산집행내역이 증가세에 있음을 알 수 있다. 1996년 1조 3천억원이던 예산은 2015년 3조 4천억원으로 증가하였다.



지역별로 예산 집행내역을 보면, 경기도가 예산이 가장 높은 것을 알 수 있으며, 2005년 최고점을 기록한 이후 감소하였지만 다시 증가하는 추세이다. 서울은 2007년 큰 폭으로 감소하였지만 다시 가파르게 상승 중에 있다. 이밖에 부산, 대구 등 대부분 지역이 상

증세에 있어 폐기물 정책에 큰 변화가 있기 전까지 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.



소각시설과 매립시설을 유지하기 위해서도 매년 높은 비용이 사용되고 있다. 2015년 한해 동안 소각시설을 유지하기 위해 투입된 비용은 4천400억원이 넘었으며, 매립시설 유지비 또한 4천 300억원가량인 것으로 나타났다([표8], [표9]).

[표8] 2015년 지자체별 폐기물 소각시설 설치비 및 유지비 현황

시도	시설수	설치비 (백만원)	연간유지비 (백만원)
합계	186	4,149,671	444,863
서울	5	401,410	59,064
부산	2	89,540	14,249

대구	1	72,018	8,823
인천	9	219,965	16,410
광주	1	74,300	6,250
대전	1	70,613	9,462
울산	2	134,443	9,818
세종	1	31,350	2,400
경기	26	1,469,229	139,006
강원	15	173,012	21,584
충북	10	236,680	16,138
충남	11	235,812	26,221
전북	2	66,390	11,424
전남	56	168,889	22,274
경북	20	293,337	24,407
경남	17	342,526	45,674
제주	7	70,157	11,659

출처 : 환경부(2016)*

* '2015 전국 폐기물 발생 및 처리현황'에서 정리함.

[표9] 2015년 지자체별 폐기물 매립시설 설치비 및 유지비 현황

시도	매립지수	설치비 (백만원)	연간유지비 (백만원)
합계	225	3,574,310	431,789
부산	1	363,802	8,474
대구	1	202,449	6,803
인천	5	378,212	250,200
광주	1	156,200	2,647
대전	1	154,158	5,032
울산	2	107,660	914
세종	2	8,964	92
경기	9	177,513	4,353
강원	24	386,693	14,607
충북	13	149,092	3,357
충남	16	206,671	78,325
전북	14	208,667	3,944
전남	61	330,337	15,709
경북	38	342,981	13,014
경남	27	328,975	13,284
제주	10	71,936	11,034

출처 : 환경부(2016)*

* '2015 전국 폐기물 발생 및 처리현황'에서 정리함.

(5) 기타 안전의 문제

폐기물 처리시설에서는 안전사고 발생 가능성에 항상 노출되어 있을 수 밖에 없다. 특히 관리가 소홀하거나 규정을 어긴 불법 폐기물 매립장 시설의 경우 가스포집관 기능 상실로 내부에서 발생한 독성가스가 외부로 분출되기도 하며, 기온이 올라가면 가스 분출량이 증가하여 내부 폭발 가능성도 가지고 있다.

2015년 성주 폐기물매립장에서는 폭발 사고가 발생하여 연이틀 화재가 발생하기도 하였다. 화재의 위험이 있는 알루미늄 분말에 불이 붙어 대량의 메탄가스가 발생하는 등 화학사고가 발생하였고 12시간 만에 진화되었지만, 다음 날 매립장에서 굴착기 작업을 하던 차량이 엔진과열로 바퀴에 불이 붙어 굴착기 및 부근 폐기물을 태우고 4시간 만에 진압되었다.

같은 해 경주의 폐기물 매립장에서는 불법으로 설치된 저장조가 무너지면서 수만 톤의 침출수와 오니가 쏟아져 인근 토양과 지하수에 피해를 주기도 하였다. 매립장은 사용 중지와 영업정지 조치가 내려졌지만 이를 수습하는데 6개월 이상이 걸리기도 하였다.

지금까지 살펴본 여러 폐기물 처리시설에 대한 사회 갈등 문제를 해소하기 위해 정부는 여건 조성을 위한 주민 홍보과 교육활동(환경 친화적 명칭 사용, 지역주민 사전 선진 환경시설 견학)과, 지역주민 지원을 위한 획기적인 인센티브 제공, 주민참여방식의 입지후보지 공개모집 등의 방안을 적용하고 있으며, 다양한 생활편의시설과 연계하여(구리타워, 구리시민스포츠센터 등) 님비시설을 주민들의 편의 시설로 활용되는 사례도 있다. 하지만 주민 인식변화 중심의 정책 보다 장기적이고 근본적인 해결책이 필요한 시점이다.

제3장 폐기물의 에너지화 과정과 문제점

1. 폐기물 에너지화

폐기물 에너지화는 다양한 종류의 가연성 및 유기성 폐기물을 친환경적으로 가공, 처리하여 생산한 에너지를 말한다. 폐기물 에너지화 기술은 3R(Reduce, Reuse, Recycle) 이후 매립·소각 되는 가연성 폐기물 및 유기성 폐기물과 매립가스, 산업폐가스 등을 열화학적 또는 생물학적 방법으로 열, 전력, 수송연료 등으로 에너지화하는 기술이다(한국환경산업기술원, 2013).

최근 정부는 자원 장비를 줄여 순환사회를 실현하고자 2016년 5월 「자원순환기본법」을 제정하였고 2018년 시행을 앞두고 있다. 독일을 비롯한 선진국들은 이미 1980년대부터 기술개발이 이루어져 왔고, 폐기물 에너지는 풍력의 3배, 태양광보다 10배 가량 생산성이 높기 때문에 경제적인 것 뿐 아니라 환경 보존이 가능한 기술이다. 하지만 우리나라의 기술 수준은 선진국의 50~60% 수준으로 평가되고 있다. 가연성폐기물 에너지의 경우 품질이 미흡하여 수요처가 시멘트 소성로 등으로 한정되어 있고, 유기성 폐기물 에너지는 생산 공정의 안정성과 경제성이 높지 않다는 과제를 가지고 있다.

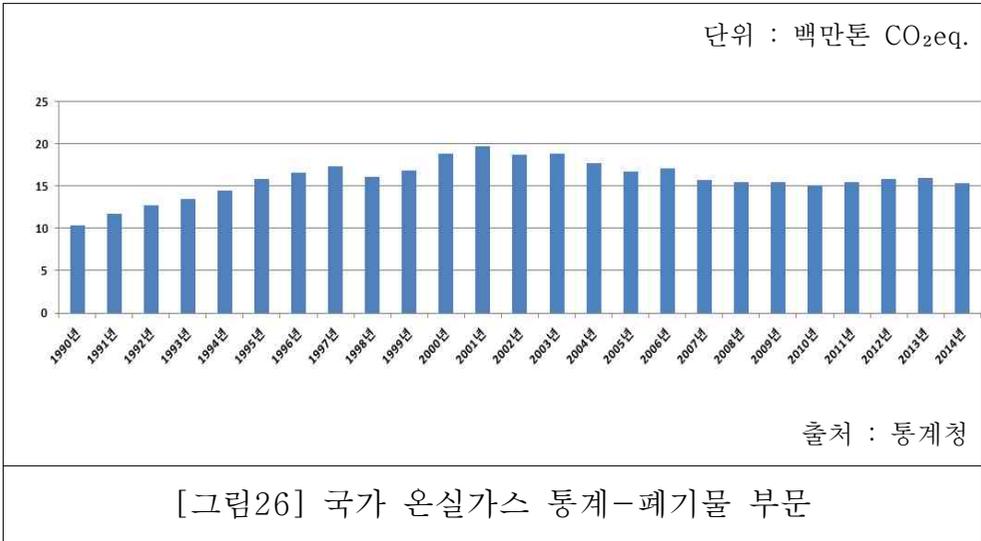
국토가 넓지 않고 도시에 인구가 집중되어 있는 우리나라 특성상 단위면적 당 생활폐기물이 과다하게 발생하고 있다. 또한 도시개발 및 중화학공업의 발달로 폐기물 관리 및 처리과정의 비용도 상승하고 있다. 또한 세계적 추세에 따라 2013년과 2014년에 가축분뇨와 폐수오니 등의 해양배출이 금지되는 등 환경규제에 대응하기 위하여 가연성 폐기물의 고형연료화, 유기성 폐기물의 바이오가스화 등 폐기물 에너지화 기술 연구와 활성화에 적극적이고 관심을 가져야 한다.

1) 폐기물 에너지화 현황

우리나라의 폐기물 에너지화 정책은 기존 화석연료에 의한 환경 오염, 신재생에너지의 발전단가 하락, 국제 흐름 등에 따라 논의가 시작하게 되었다. 폐기물을 처리하는 과정에서는 온실가스가 발생하게 되는데 과거 음식물쓰레기 매립 금지 등에 따라 고형폐기물 매립으로 인한 온실가스 발생은 지속적으로 감소하고 있으나, 폐기물 소각으로 인한 온실가스 발생은 지속적으로 증가하고 있는 추세이다(한국환경산업기술원, 2013).

우리나라는 2014년 기준 온실가스 배출량은 690.6백만톤 CO₂eq. 이고 이중 폐기물은 2.2%가량인 15.4백만톤 CO₂eq.* 정도가 배출되고 있다([그림26]). 폐기물 부문의 온실가스 양은 2010년을 기점으로 다시 증가하는 것으로 나타났다. 환경부 '2030 온실가스 감축 로드맵'에 의하면 폐기물부문 핵심 감축수단은 폐기물 감량화, 재활용, 에너지화 등으로 BAU 15.5백만톤 대비 3.56백만톤을 감축하기 위해 사전예방, 재사용, 재활용 그리고 에너지회수 정책을 중점적으로 추진한다는 계획을 수립한 바 있다.

* CO₂eq.란, 이산화탄소 증가를 뜻하는 단위로서, 온실가스 종류별 지구온난화 기여도를 수치로 표현한 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential)를 곱한 이산화탄소 환산량.



또한 ‘제2차 자원순환기본계획’의 유기성 부문에서 33개소의 바이오가스화 시설을 확충하여 연간 바이오가스 약 1억 2,145만m³를 회수하여 2020년까지 가용 잠재량의 41%를 에너지화 하도록 추진한다는 방침이다. 유기성폐자원 통합처리 및 스마트소화조 시스템 구축을 위한 시범사업 추진 및 지역 맞춤형 최적모델 개발·확대 보급사업은 2020년까지 10개소를 추진한다는 계획이다(한국환경공단, 2016).

기존 계획된 정책의 후속대책 마련을 위하여 2016년 2월 ‘폐자원 에너지화 활성화 대책’이 수립되었는데, 이는 ‘2009년 폐자원 및 바이오매스 에너지대책 실행계획’ 1차와 2차의 후속조치로 에너지화 활성화를 위한 것이다.

한편, 기후변화의 경고, 자원의 위기 등으로 인한 에너지 패러다임의 변화로 타 국가에서도 폐기물 에너지화를 위한 노력이 지속되고 있다. 특히 온실가스 감축과 청정에너지 확보 문제가 국가 발전의 중요 변수로 대두됨에 따라 환경과 에너지 문제를 동시에 해결

하기 위하여 폐기물 에너지화의 기술개발과 보급을 확대하고 있다.

EU는 그린페이퍼, 바이오매스에너지 액션플랜 등을 통해 2000년대 초반부터 폐기물 및 바이오매스 에너지 기술개발과 사업화를 진행해오고 있다. 신재생에너지 보급률도 5년 동안 2배가량으로 향상시키는 것을 목표로 ‘재생에너지 로드맵’을 제정하였다.

독일은 폐기물 에너지화 부분에서 세계 최고 수준의 기술을 보유하고 있다. 또한 운데마을, 슐뢰벤마을, 알텐멜리히마을 등 에너지 자립형 마을이 전국에 조성되어 각 국가의 모델이 되고 있으며, 우리나라의 에너지 자립마을에서도 독일의 마을을 벤치마킹하여 운영하고 있다.

미국은 폐기물을 중요 에너지로 규정하고 기존 소각공정을 열적처리공정으로 전환하여 전기 및 열생산 에너지 시설을 설치하였다. 또한 환경보호국(EPA)의 MACT(Maximum Achievable Control Technology : 최대달성가능제어기술) Rule을 통해 폐기물 에너지화에 따른 환경적 피해를 최소화 하고 있다(한국환경산업기술원, 2013).

우리나라와 가장 비슷한 폐기물 관리 정책을 펼쳐온 일본은 에너지 확보를 위한 바이오매스 에너지 정책을 강화하고 있다. 이로 인하여 2005년부터 일본은 소형 소각시설수 감소, 평균 소각량의 증가, 신규시설 설치 시 폐기물처리시설의 최적화가 이루어지고 있다(한국환경산업기술원, 2016).

2) 폐기물 에너지화 정책

2008년 5월, 환경부는 폐기물의 에너지 자원화를 통하여 경제 활성화 및 기후변화에 대응한다는 계획 하에 「경제살리기와 기후변화대응을 위한 폐기물 에너지화 종합대책」을 수립하였다. 당시 정부는 ‘저탄소 녹색성장’을 국가 비전으로 정하고 환경부, 지식경제부, 농림수산부 등 관계부처가 「폐자원 및 바이오매스 에너지대

책」을 수립하였으며, 7월에는 환경부 외 6개 부처가 「저탄소에너지 생산·보급을 위한 폐자원 및 바이오매스 에너지대책 실행계획」을 발표하였다.

[그림27]과 같이 당시 2009년 실행계획에 따르면, 2007년 신재생에너지 보급 2.37%, 폐자원 및 바이오매스 1.38%였던 보급 비율을 2020년에는 각각 6.08%와 4.16%, 2030년에는 11%와 7.12%를 달성하는 것을 목표로 설정하였다.



[그림27] 폐자원 및 바이오매스 에너지 보급 목표

「저탄소에너지 생산·보급을 위한 폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획」은 ‘폐자원 에너지화’, ‘저탄소 녹색마을 조성’, ‘농수산 바이오매스 에너지화’, ‘산림 바이오매스 에너지화’ 등 4분야로 구성되어 있다([표10]).

[표10] 폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획 사업분야

분야	사업(과제)
폐자원 에너지화	폐자원 에너지화 시설확충
	폐자원 에너지화 기술개발
	폐자원 에너지화 인력양성
저탄소 녹색마을 조성	도시형
	도농복합형
	농어촌형
	산촌형
농수산 바이오매스 에너지화	가축분뇨 자원화 및 에너지화
	농산바이오매스 에너지화 및 바이오디젤용 유채생산
	수산 및 해양 바이오매스 에너지화 기술개발
산림 바이오매스 에너지화	숲가꾸기 산물 수집 및 목재 펠릿 보급확대
	바이오 순환림 조성
	산림에너지화 기술개발

출처 : 환경부 외 6개 부처(2009)

실행계획 자료에 따르면, 지식경제부의 협조로 환경부가 추진하는 ‘폐자원 에너지화’ 분야는 ‘폐자원 에너지화 시설확충’, ‘폐자원 에너지화 기술개발’, ‘폐자원 에너지화 인력양성’ 등 3개의 사업으로 구분되는데 지자체 생활폐기물을 중심으로 각종 폐자원 에너지화

시설을 조기 확충하고, 소각장 여열 17개소, 매립가스 회수·이용 시설 25개소를 확충하는 폐자원 에너지화 시설 확충사업을 중심으로 계획되어 있다. 폐자원 에너지화 시설확충사업은 가연성 폐자원 에너지화사업, 유기성 폐자원 에너지화사업, 소각여열 회수·이용사업, 매립가스 회수·이용사업으로 분류할 수 있다([표11]). 또한 사업 추진을 위해 2020년까지 가연성 폐자원 에너지화에 1조 9,165원(64%), 유기성 폐자원 에너지화에 9,745억원(33%), 소각여열 회수에 534억원(2%), 매립가스에 418억원(1%) 등 총 2조 9,862억원을 투자하여 시설을 확충한다는 계획이다.

[표11] 폐자원 에너지화 연도별 시설확충 계획

구분		2013	2020	
가연성	RDF제조	개소	20	29
		시설용량(톤/일)	5,455	7,855
	전용보일러	개소	6	10
		시설용량(톤/일)	2,180	2,830
	건설폐기물	개소	1	3
		시설용량(톤/일)	500	4,000
유기성	바이오가스화	개소	17	28
		시설용량(톤/일)	3,168	5,638
	하수슬러지 고형연료화	개소	-	4
		시설용량(톤/일)	-	2,770

소각여열	개소	17	24
	시설용량(만Gcal)	41	43
매립가스	개소	25	
	시설용량(만m ³ /년)	9,219	-

출처 : 환경부 외 6개 부처(2009)

저탄소 녹색마을 조성사업의 경우 도시형, 도농복합형, 농어촌형, 산촌형 등 대상지의 특성에 따라 세부과제로 구분하고, ‘환경·에너지 종합타운’ 조성을 통해 2020년까지 에너지타운을 조성한다는 계획이다([표12]).

[표12] 환경에너지타운 조성 계획

구분	시설		2013	2020
수도권 환경에너지타운	가연성	RDF 제조	2개소 1,200 톤/일	7개소 6,800 톤/일
		전용보일러	1개소 600 톤/일	
		건설폐기물	1개소 500 톤/일	
	유기성	바이오가스화	1개소 800 톤/일	5개소 4100 톤/일
		하수슬러지 고형연료화	2개소 2,300 톤/일	
		바이오가스화 자동차연료화	1개소 30m ³ /분	1개소 30m ³ /분

8대 권역 13개 에너지타운	가연성	RDF 제조	9개소 3,450 톤/일	21개소 6,380 톤/일
		전용보일러	5개소 1,580 톤/일	
	유기성	바이오가스화	6개소 1,240 톤/일	11개소 2,360 톤/일
		하수슬러지 고형연료화	1개소 390 톤/일	
	매립가스		1개소 15m ³ /분	1개소 15m ³ /분

출처 : 환경부 외 6개 부처 (2009)

이후 2011년에는 대내적 여건변화 및 지역간·분야간 연계처리 미흡 등으로 인하여 계획의 불일치를 해소하기 위하여 「폐기물처리시설 최적화 전략(환경부)」을 수립하였고, 폐기물처리시설 최적화 권역 조정 및 확정(2011-2012), 폐기물처리시설 국고보조사업 예산관리시스템 구축(2015), 폐기물처리시설 최적화 지자체 인센티브 부여(2016)등의 사업을 추진하였다.

또한 「폐기물처리사업 및 시설의 설치·운영 실태평가 추진방안」을 수립(2013)하여 2014년도에는 690개의 폐기물처리시설 운영실태를 시범평가 하였으며, 2015년도에는 649개소, 2016년도에는 651개소를 평가하였다(한국환경공단 홈페이지).

폐기물 에너지화를 위한 기술개발을 위해서 기본계획을 수립하였다. 산업통상자원부는 지난 2008년 「제3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획(2009~2030)」을 통해 로드맵을 설정하였다. 기본계획은 총 3단계로 구분하여 시간적 목표를 설정하였으며, 국산 모델 개발을 위해 원천기술과 상용화 및 실증기술을 개발한다는 계획이다([표13], [표14]).

[표13] 폐기물 에너지화 관련 기술개발 로드맵

구분	폐기물 에너지화 기술개발 목표	
개발 목표	<ul style="list-style-type: none"> · RDF 실증기술 추진을 통한 RDF 확산 인프라 구축 <ul style="list-style-type: none"> - RDF 발전 규모('10) : 10MWe 실증 · 열분해 유화 기술의 기술의 복합/활용 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> * 플랜트 상용화 규모 : ('10) 3,000톤/년 → ('20) 18,000톤/년 · 폐기물 가스화 시스템 활용 및 국산 고유모델 개발 	
단계별 목표	<p style="text-align: center;">단계 (~2010)</p>	<ul style="list-style-type: none"> · RDF전용 순환유동층 발전보일러 개발 · 상용 규모의 RPF 혼소 기술 개발 · 고분자 폐기물의 열분해 유화 상용화 기술 개발 · 상용급의 폐기물 가스화 용융시스템 및 연소 보일러 기술 개발 · 상용급 플랜트의 연속운전을 통한 신뢰성 운전기술 확보 · 폐기물 에너지의 고효율 발전시스템 원천기술 개발
	<p style="text-align: center;">2단계 (~2020)</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 해양 폐기물의 RPF화 기술개발 · PVC 함유 혼합폐플라스틱의 열분해 유화기술 개발 · 폐기물 가스화 합성가스를 이용한 수소 제조 시스템 실증기술 개발 · 합성가스 전용 1MW급 가스엔진 개발 · 소각 폐열을 이용한 고효율 열병합 발전시스템 개발 · 하이브리드 소각 폐열 발전 기술개발

3단계 (~2030)	<ul style="list-style-type: none"> · 초고효율 신형 RDF 발전시스템 기술 개발 · 미활용 폐기물의 열분해 유화 및 복합/활용기술 개발 · 석유대체용의 복합 가스화 플랜트 실증기술 개발 · 폐기물 가스화 연계 CO₂ 저감 실증 기술 개발 · 산소부화 소각 및 고효율 발전 기술 개발
----------------	---

출처 : 산업통상자원부(2008)

[표14] 폐기물 에너지화 촉진을 위한 제도개선

구분	내용
고부가 가치화	<ul style="list-style-type: none"> · 유기성 바이오가스를 도시가스로 공급할 수 있도록 허용 · 비성형 고택연료제품(Fluff Type) 품질·관리기준 마련
수요처 확대	<ul style="list-style-type: none"> · 고체연료 사용금지지역에서 고택연료제품을 사용토록 법령 개정 · 청정연료 사용지역 내에서 고택연료제품을 사용할 수 있도록 개정 · 석탄화력발전소에서 하수슬러지 연료 사용이 가능하도록 개정
제품 다양화 및 에너지량 확대방안	<ul style="list-style-type: none"> · 고효율소화조 등 바이오가스 생산설비 기술개발 촉진을 위해 음식물류폐기물 가스자원화시설 검사방법 개선 · 동물성잔재물/동물사체를 신재생에너지에 이용할수 있도록 개정 · 음식물·가축분뇨 병합시설의 소화액의 액비 사용 허용

	<ul style="list-style-type: none"> · 음식물 바이오가스화 시설의 부산물을 연료화 공정의 원료로 재활용하거나 적정처리할 수 있도록 개선
발전차액/ RPS대응	<ul style="list-style-type: none"> · 바이오가스 전원에 대한 발전차액 지원금 10원/kwh 추가 반영 · RPS 도입에 따른 바이오가스 발전 공급 인증서 가중치(안) 협의
처리방법 다각화	<ul style="list-style-type: none"> · 팜껍질 등 고품질연료제품의 수입 허용(재활용법 하위 법령 정비 시행) · 유기성 오니의 발전연료 사용범위 확대(폐관법 규칙 개정) · 수입 바이오고형연료의 생산, 유통, 사용까지의 전과정에 대한 품질(생산, 관리, 보관, 세척 등) 및 환경영향분석 등 모니터링 · 가축분뇨의 고품질연료화 허용(‘자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률’)
기 타	<ul style="list-style-type: none"> · 에너지회수기준의 검사방법 및 절차 등에 관한 고시 개정 등 · 고품질연료제품 품질시험기관의 지정 등에 관한 업무처리 지침 제정 · 생활폐기물 자원화를 위한 처리시설 설치지침 마련 · 폐열 또는 폐증기 등 폐자원에너지를 산단 내 입주업체 간 공급·이용하는 경우, 구역별 업종 배치의 예외를 허용 · 음폐수 바이오가스화 시설을 폐기물처리시설로 분류하여 설치·관리할 수 있도록 개선

출처 : 환경부(2014)

「폐기물처리시설 국고보조금 예산지원 및 통합업무처리지침」 등 폐기물 관련 재정투자계획을 보면, 2017년에는 3,335억원, 2018년에는 3,283억원, 2019년에는 142억원의 재정을 투자할 계획이며 사업부문별로도 재정투자계획이 세분화되어 있다([표15], [표16]).

[표15] 연차별 재정투자계획

단위 : 억원

구분	총계	2014	2015	2016	2017	2018	2019
국고	7,638	1,120	1,602	2,051	1,332	1,503	29
지방비	5,243	548	711	1,235	1,109	1,575	64
민간투자	4,497	888	1,104	1,357	894	205	49
총계	17,377	2,556	3,418	4,643	3,335	3,283	142

출처 : 환경부(2014)

[표16] 사업부문별 재정투자계획

단위 : 억원

구분		총계	국고	지방비	민간투자	
가연성 폐기물 에너지화	전처리시설	소계	4,387	1,906	1,364	1,118
		개별	1,391	667	555	169
		타운	2,996	1,239	809	949
	전용보일러	소계	2,018	703	0	1,315
		개별	405	123	0	282
		타운	1,613	580	0	1,034

유기성 폐기물 에너지화	바이오가스화	소계	5,255	2,158	1,286	1,811
		개별	3,068	1,398	853	817
		타운	2,187	760	434	994
	하수슬러지	소계	2,857	1,529	1,121	206
		개별	1,157	772	178	206
		타운	1,700	757	943	-
소각여열		소계	2,554	1,252	1,261	40
		개별	2,554	1,252	1,261	40
		타운	-	-	-	-
매립가스회수정제·발전		소계	-	-	-	-
		개별	-	-	-	-
		타운	-	-	-	-
총계			17,071	7,548	5,033	4,491

출처 : 환경부(2014)

3) 폐기물 에너지화 과정

현행 폐기물 관련 법률에서는 ‘에너지화’에 대한 용어 정의는 하지 않고 사용되고 있지도 않지만 「폐기물관리법」 제2조 7호 나목 재활용의 용어정의에서 ‘폐기물로부터 「에너지법」 제2조제1호에 따른 에너지를 회수하거나 회수할 수 있는 상태로 만들거나 폐기물을 연료로 사용하는 활동으로서 환경부령으로 정하는 활동’으로 폐기물의 에너지화 활동을 설명하고 있으므로 이를 해석하면 [표17]과 같이 ‘에너지화’의 용어를 정의할 수 있다(한국환경공단, 2016).

[표17] 에너지화 용어의 정의

용어	정의
에너지화	사람의 생활이나 사업 활동에 필요하지 아니하게 된 물질 및 물건으로부터 「에너지법」 제2조제1호에 따른 에너지를 회수하거나, 회수할 수 있는 상태로 만들거나, 연료로 사용하는 활동으로서 환경부령으로 정하는 활동

출처 : 한국환경공단(2016)

일반적으로 폐기물 에너지화는 폐자원 에너지화라는 용어로 사용되기도 한다. 현행 폐기물 관련 법률에서 ‘폐자원’에 대한 용어 정의는 직접적으로 하고 있지 않지만, 「폐기물관리법」 상의 ‘폐기물’과 「자원재활용법」 상의 ‘폐자원에너지’에 대한 용어 등을 정리해보면 다음과 같이 정의할 수 있으며(한국환경공단, 2016), 본 연구에서는 폐기물 에너지화의 용어가 단어의 설명력과 이해도가 높아 폐기물 에너지화의 용어로 사용하였으며, 자료를 인용할 경우 원문에 따라 폐자원에너지화의 용어도 혼용에서 사용하고자 한다([표 18]).

[표18] 폐기물, 폐자원 및 폐자원에너지화의 용어 정의

용어	정의	법규
폐기물	사람의 생활이나 사업 활동에 필요하지 아니하게 된 물질	폐기물관리법
폐자원	사람의 생활이나 사업 활동에 필요하지 아니하게 된 물질 또는 물건 중 환경부령으로 정하는 폐기물의 재활용 유형에	폐기물관리법 개정안

	해당하는 것	
폐자원 에너지화	고형연료제품, 폐기물합성가스 등 폐기물로부터 회수된 에너지 또는 에너지를 회수할 수 있도록 전환된 물질로서 환경부령으로 정하는 것	자원재활용 법

출처 : 한국환경공단(2016)

위 용어의 정의를 바탕으로, 자원 에너지화시설은 가연성폐자원 에너지화시설, 유기성폐자원에너지화시설, 소각열회수시설, 매립가스활용시설로 구분할 수 있으며, 폐자원 종류 및 에너지화 방법을 나타내면 [표19]와 같다.

[표19] 폐기물 에너지화 시설 분류별 원료 및 방법

구분	시설명	투입 원료	에너지화 방법
가연성 폐자원 에너지화 시설	일반고형연료제품 제조시설	가연성 고형폐기물	가공 연료화
	일반고형연료제품 사용시설	일반 고형연료제품	연소
	액상연료제품 제조시설	폐유, 폐플라스틱, 폐고무, 폐식용유, 액상지정폐기물	가공(정제, 유화, 열분해, 탄화)연 료화
	기상연료제품 제조시설	폐합성고분자화합물, 폐타이어, 폐목재	가공(열분해, 탄화) 연료화
유기성 폐자원 에너지화	음식물류폐기물 바이오가스화시설	음식물, 음폐수	혐기성 소화
	가축분뇨	가축분뇨	혐기성 소화

시설	바이오가스화 시설		
	하수슬러지 바이오가스화 시설	하수슬러지	혐기성 소화
	병합 바이오가스화 시설	2개 이상의 유기성 폐자원	혐기성 소화
	바이오 고형연료제품 제조시설	유기성 고형폐기물	가공 연료화
	바이오 고형연료제품 사용시설	유기성 고형연료제품	연소
소각여열 회수시설	소각시설	가연성 고형폐기물	소각 열 회수
매립가스 활용시설	매립시설	매립장 유기성폐기물	매립지 가스 회수

출처 : 한국환경공단(2016)

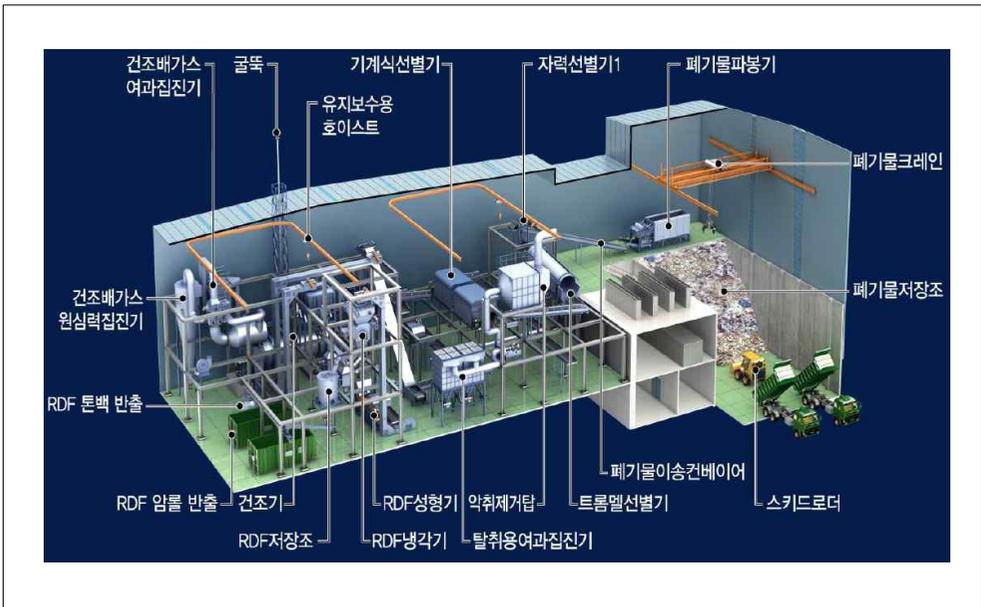
(1) 가연성폐자원

가연성폐자원은 종이류, 목재류, 폐합성고분자화합물 등이 있으며 가연성폐자원 에너지화란 재활용시설에서 가연성폐자원을 변환시켜 얻어지는 연료와 이를 연소 또는 변환시켜 발생하는 에너지를 의미한다.



출처 : 무주·진안군(2016)

[그림28] 가연성폐자원 에너지화시설 시설공정



[그림29] 가연성폐자원 에너지화시설 주요설비 구성

[그림 28], [그림29]와 같이 가연성폐자원 시설은 가연성폐자원을 원료로 분쇄-분리-선별-건조-성형 등의 가공공정을 거쳐 생활폐기물 고품연료제품, 폐플라스틱 고품연료제품, 폐타이어 고품연료제품, 폐목재 고품연료제품을 생산하고 고품연료제품 제조시설과 제조된 고품연료제품을 연료로 사용하여 발전 및 열에너지를 생산하는 고품연료제품 사용시설이 대표적인 에너지화시설이다(한국환경공단, 2016).

시설공정 과정에서 사용되는 주요 설비로는 파쇄기, 트롬멜스크린, 레이크 선별기, 디스크스크린, 건조기, 성형기, 열원설비, 여과집진기 등이 있으며 [표20]과 같은 기능을 가진다.

[표20] 주요설비의 기능

설비	기능
파쇄기	<ul style="list-style-type: none"> · 파분/파쇄기 효율 보완의 목적으로 설치 · 반입 폐기물의 수분 균질화를 통해 효율 향상이 가능
트롬멜스크린	<ul style="list-style-type: none"> · 가연성폐기물 회수 목적으로 설치 · 회전 원통에 Mesh의 Size에 따라 가연성물질 분류
레이크 선별기	<ul style="list-style-type: none"> · 가연물 선별 목적으로 설치 · 종이류 & 플라스틱류 선별효율 우수
디스크스크린	<ul style="list-style-type: none"> · 트롬멜스크린에서 배출된 가연물 추가 회수
건조기	<ul style="list-style-type: none"> · 열풍건조방식 · 건조물 수분 5~15%로 제어

	건조물 수분 5% 이하 시 화재위험 발생 건조물 수분 15% 초과 시 성형 불가
성형기	· 회전압출성형방식 · 건조물 수분 15% 초과시 Trouble 발생
열원설비 (열풍로/탈취로)	· 건조열원 & 배가스 탈취 목적으로 설치 · 360~460℃ & 650℃ 이상 유지 · 투입폐기물 함수율에 따라 열풍온도 조절 · 고온 운전으로 악취물질 완벽히 제거
여과집진기	· 건조기에서 배출되는 입자상물질 제거 · 열교환기 전단에 설치해 열교환기 폐색 방지

가연성폐자원을 원료로 가공공정을 거쳐 만들어진 가연성폐자원 고형연료는 폐플라스틱 고형연료제품(RPF:Refuse Plastic Fuel), 생활폐기물 고형연료제품(RDF:Refuse Derived Fuel) 등이 있다. 1990년대 중반부터 국내에서 본격적으로 연구가 시작된 RDF를 제조하기 위해서는 먼저 수거된 생활폐기물은 쓰레기봉투를 파봉하여 캔과 자력에 의해 금속류를 분리하고 파쇄기를 거쳐 건조기에 유입되어 수분을 건조한다. 건조에 필요한 열량은 보일러를 활용하여 공급된 열풍을 이용하며, 건조된 폐기물에서 풍력 선별에 따라 유리, 도기류 등의 성분을 분리하며 비철금속을 분리하면 전처리가 완성된다. 이 폐기물에 석회석을 혼합하고 성형기에 공급하여 일정한 형태의 RDF를 생성하게 된다. 성형기에서 생산된 RDF는 고온, 고압에서 성형이 이루어지기 때문에 냉각과정을 거쳐 실온에서 보관된다(신병철·이조영·최형욱, 2002)

고형연료제품을 만들기 위한 투입폐기물의 성상에 따라 여러 가지 다른 용어가 사용되기도 하지만 「자원의절약과 재활용촉진에 관한 법률」에서는 폐기물을 원료로 가공한 연료는 모두 SRF(Solid Refuse Fuel/폐기물고형연료)라는 용어로 통일하고 있다.

고형연료는 제조 과정에서 수분을 제거한 안정된 pellet 형태로서 석탄에 준하는 연료 특성을 가지고 있다. 즉, 발열량이 2,800~7,000kcal/kg 으로 역청탄이 6,200kcal/kg인 것을 보면 발열량이 비교적 높은 편이다. 또한 발화가 쉽고 연소반응성이 좋으며, 고형화되어 있어 수송하기 편리하고 저장 또한 용이하다(신병철·이조영·최형옥, 2002). 또한 정형화된 연료의 특성을 가지고 있어 일반 폐기물보다 제어설비가 적게 필요하고 연속운전과 운전제어가 용이하다는 장점을 가지고 있다(이하백, 2001).

이 밖에도 유해물질 발생을 감소할 수 있다. 다이옥신의 고형연료 내 수분함량이 낮아 안정적인 연소가 가능하여 다이옥신 생성이 억제되며, 첨가제의 Ca 성분이 C1 성분을 고정화시켜 전구물질을 제거하기 때문에 다이옥신의 생성을 낮출 수 있다(신병철, 2002).

고형연료제품 제조에 사용되는 폐기물을 혼합하는 재료에 따라 일반 고형연료제품(SRF)와 바이오 고형연료제품(Bio-SRF)으로 나뉜다. 생활폐기물(음식물 제외), 폐합성수지류, 폐합성섬유류, 폐고무류, 폐타이어 등을 혼합하여 제조한 것을 일반 고형연료제품으로 분류하며, 폐지류, 농업폐기물, 폐목재류, 식물성잔재물(음식물 제외), 초본류 폐기물 등으로 혼합하여 제조한 것을 바이오 고형연료제품으로 분류한다(한국환경공단, 2016).

2014년 기준 신·재생에너지 중 가연성폐자원 에너지화시설의 에너지생산량은 SRF와 Bio-SRF를 합한 586toe이고 신·재생에너지 중 차지하는 비중은 약 5.1%이다([표21]).

[표21] 가연성폐자원 에너지화시설의 신·재생에너지 비중

구분	합계	SRF	Bio-SRF
생산량(천toe)	586	59	527
비중	5.1	0.5	4.6

출처 : 한국환경공단(2016)

환경부(2014)는 생활계, 사업장배출시설계 및 건설폐기물 중 가연성 폐기물을 대상으로 시장 잠재량 대비 시설 완공실적 및 계획을 반영하여 실행목표를 산정하였고([표22], [표23], [표24]), 에너지화 실행목표를 달성하기 위한 세부과제를 운영 중에 있다([표25]).

[표22] 가연성폐자원 전처리시설 연도별 계획

단위 : 개소, 톤/일

구분		계	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
신규	개소수	2	1	1	-	-	-	-	-
	용량	1,450	250	1,200	-	-	-	-	-
완공	개소수	10	4	-	2	4	-	-	-
	용량	4,640	690	-	1,600	2,350	-	-	-

출처 : 환경부(2014)

[표23] 가연성폐자원 전용보일러시설 연도별 계획

단위 : 개소, 톤/일

구분		계	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
신규	개소수	-	-	-	-	-	-	-	
	용량	-	-	-	-	-	-	-	
완공	개소수	3	-	-	1	2	-	-	-
	용량	850	-	-	380	470	-	-	-

출처 : 환경부(2014)

[표24] 가연성폐자원 고품연료화 시장잠재량

단위 : 천toe/년

연도	생활계		사업장		건설
	최소	최대	최소	최대	
2017	263	277	413	418	2.9
2020	244	268	444	448	3.3

출처 : 환경부(2014)

[표25] 가연성폐자원 에너지화 실행목표

연도	시장잠재량(만톤/년)				완공실 적 및 계획 (만톤/ 년) ²⁾			실행목표(%) ⁴⁾					
	생활계		사업장		건설 ¹⁾	생활 계	그 외 ³⁾	생활계				생활+ 그외	
	최소	최대	최소	최대				생활계		전체		전체	
								최소	최대	최소	최대	최소	최대
2017	195	205	102	103	0.7	159	104	78	82	52	53	85	88
2020	181	199	110	111	0.8	159	104	80	88	52	54	85	90

출처 : 환경부(2014)

- 1) 공공부문에 해당하는 생활폐기물 전처리시설을 대상으로 실행목표를 수립하였으며, 실행목표는 생활폐기물의 잠재량 대비 에너지화 가능한 비율로 정의
- 2) 생활폐기물 전처리시설 가동일수: 260일 적용
- 3) 생활계 외 사업장배출시설계 및 건설폐기물 대상
- 4) 실행목표 = 시장 잠재량 대비 실적 및 계획 비율(%)

(2) 유기성폐자원

일반적으로 ‘유기성’은 무기성이 아닌 모든 것을 통칭하는 개념이며 일반적으로 생분해성을 의미한다(한상운 외, 2013). 따라서 유기성폐자원은 생물에 유래한 동식물성의 유기물을 이용한 폐기물로 그 범주 내에 포함되는 폐기물의 종류 및 발생원이 다양하며, 음식물, 음폐수, 하수슬러지, 가축분뇨, 기타(분뇨) 다섯 종류로 분류할 수 있다. 슬러지류와 음식물류 폐기물의 직매립 및 해양배출이 금지되어 유기성 폐기물의 자원화 기술의 적용 증가로 유기성폐기물 대신 유기성폐자원이라는 용어를 사용한다.

유기성폐자원은 열화학적, 생물학적 반응을 통해 생성되는 메탄 가스로 열, 전기 등 에너지를 생산·판매하는 산업을 지칭한다. 유기성 폐기물을 이용한 에너지 생산의 기본 원리는 혐기성 소화 작용이다. 혐기성 소화(anaerobic digestion) 작용이란 산소 없이 유기물을 분해하기 위해 미생물을 이용하는 생물학적 공정으로 가수분해, 산 생성, 메탄 생성 단계로 구분된다(수도권매립지관리공사, 2016).

유기성 폐자원은 매우 다양한 구성 성상을 가지고 있으므로 획일적인 몇 개의 기술만을 적용하여 관리할 수 없고 폐기물 발생지역의 특성을 고려하여 혐기성 소화, 호기성 퇴비화, 하수병합, 사료화, 지렁이 퇴비화, 소각 및 탄화 등과 같은 다양한 방식이 적용되고 있다.

유기성폐자원 에너지화 시설은 이들 각 폐자원으로부터 나오는 바이오가스를 생산하여 에너지화 하는 시설로 크게 단일 유기성 폐자원을 에너지화 원료로 사용하는 ‘단독처리시설’과 여러 유기성 폐자원을 원료로 동시에 활용하는 ‘병합처리시설’ 두 가지로 나눌 수 있다.

또한 병합처리시설은 하수처리장과 연계한 ‘하수처리 연계시설’과 하수처리장과 연계되지 않은 ‘하수처리 비연계시설’로 분류되어 있고 원료 조합 기준에 따라 8종류로 분류되어 관리되고 있다([표 26]).

[표26] 유기성 폐자원 병합처리시설 분류

유형		시설명	비고
하수 연계	A(2)	서울 중량물재생센터	하수슬러지, 분뇨
		의정부 공공하수처리시설	
	B(4)	서울 난지물재생센터	하수슬러지, 음폐수

		대구 신천 공공하수처리시설	
		인천환경공단 승기사업소	
		군산 공공하수처리장	
	C(2)	부산 수영사업소	하수슬러지, 음식물
		울산 남구 음식물 하수병합처리 시설	
	D(1)	속초 음식물 하수병합처리시설	하수슬러지, 음식물
E(1)	순천 공공하수처리장	하수슬러지, 음폐수, 가축분뇨, 분뇨	
F(1)	구미 칠곡 하수 처리장	하수슬러지, 음폐수, 가축분뇨	
하수 비연계	G(5)	파주 음식물 및 축분혼합 처리 시설	음식물, 가축분뇨
		안성 국제 축산영농조합 유기성 폐기물 바이오가스 연구시설	
		청양 여양농장 바이오가스 플랜트	
		영암 바이오가스 플랜트	
		밀양 음식물 하수병합처리시설	
	H(1)	창녕 (주)이지바이오 시스템 바이오가스 플랜트	음폐수, 가축분뇨

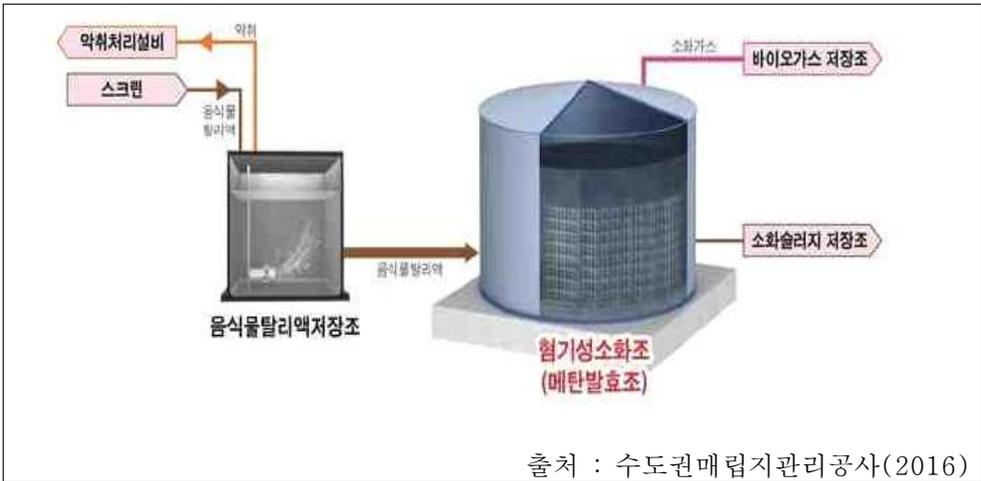
출처 : 환경부(2012) 자료 재정리



출처 : 유기성 폐자원에너지화사업단 홈페이지

[그림30] 유기성 폐자원 에너지화시설 공정도

주요 유기성 폐자원 에너지화 시설에는 [그림30]과 같이 혐기성 소화조와 바이오가스 저장조가 있다. 혐기성소화조는 유기성 폐기물을 혐기성상태에서 발효시키는 에너지화 시설의 주공정이며 원리는 단일 소화조에서 산발효와 메탄발효를 동시에 수행하는 것이다 ([그림31]). 바이오가스 저장조의 경우는 발생된 바이오가스를 에너지자원으로 이용 가능하게 하기 위한 설비이다([그림32]). 그 외에 유기성 폐기물의 처리 과정에서 발생하는 악취를 제거하고 포집하기 위한 악취설비와 발생된 폐열을 혐기성소화조 가온 및 소내 냉·난방으로 활용하는 발전기 등의 시설이 있다.



[그림31] 혐기성소화조 시설



[그림32] 바이오가스저장조 시설

[표27] 규모별 유기성폐자원 처리

구분	처리방식
소규모 유기성폐자원	호기성퇴비화의 변형방식인 지렁이 퇴비화, 하수병합방식 등
중규모 유기성폐자원	생물학적 처리방식은 호기성 퇴비화를 우선 고려하여 양질의 퇴비를 생산하고 퇴비가 아니더라도 안정화된 결과물을 매립지의 복토재나 악취제거 바이오필터로 사용할 수 있음
일정 규모 이상의 유기성폐자원	혐기성 소화가 유리하지만 단일 폐기물 성상이 생물학적 반응 최적 활성화 조건에 맞지 않는 경우가 많으므로 타 생분해성 폐기물의 조합을 통해 최적 반응조건을 형성하여 병합처리하는 것이 효율적임

출처 : 수도권매립지관리공사(2005)

[표27]과 같이 유기성폐자원의 처리 및 자원화는 주로 퇴비 및 사료로 재활용되어 왔고 그 중에서 퇴비화가 가장 일반적인 방법으로 사용되었으나, 최근에는 혐기성 분해를 통한 메탄가스(CH₄) 생산, 즉 바이오가스화 시설을 이용한 유기성폐자원 재활용이 늘고 있다. 형태에 따라 슬러지를 퇴비화한 후 녹지 및 농지 등에 이용되고, 도시가스 에너지원, 보조연료, 발전 및 동력원 등의 가스화 이용, 소각 후 에너지 이용 및 고형연료 등의 에너지로 사용하게 된다.

바이오가스란 혐기성조건 하에서 혐기성미생물의 유기물 분해와 산발효과정을 거쳐 생성되는 메탄과 이산화탄소를 주성분으로 하는 가연성 혼합가스이다. 바이오폐자원 에너지화시설의 에너지 사용실태조사 및 이용 활성화 방안 마련에 대한 가스의 특성은 유기성폐자원의 종류와 공법 등 여러 변수에 따라 다르지만, 일반적으로 메탄함량이 55% 이상일 경우 발전기나 보일러를 이용하여 에너지를 회수할 수 있으며, 정제 과정을 통해 메탄 95%이상, 수분 32mg/Nm³이하, 황분 10ppmm 불활성가스(CO₂, N₂ 등) 5.0%이하로 제조할 경우 자동차연료로서 수송용화석연료를 대체할 수 있다(한국환경공단, 2016).

[표28]과 같이 유기성폐자원 바이오가스화시설은 총 23개소로 시설용량 100톤/일 이상 시설이 14개소, 100톤/일 미만 시설이 9개소로 조사되었다. 유기성폐자원 바이오가스화시설을 처리방법에 따라 분석하면 음식물처리가 6개소, 음폐수처리가 6개소, 음식물, 음폐수, 하수슬러지, 가축분뇨 등의 병합처리가 11개소로 조사되었으며, 시설의 가동률은 음식물처리가 79.2%, 음폐수처리가 87.6%, 병합처리가 91.4%를 보였다(한국환경공단, 2016).

[표28] 유기성폐기물 바이오가스화 비중

구분	시설수 (개소)	폐기물반입량 (톤/년)	가스화 처리량 (톤/년)	가스화 처리 비율
음식물	84	2,203,685	535,259	24.3 %
음폐수	15	701,457	701,457	100.0 %
축산분뇨	1	14,542	14,542	100.0 %
병합	8	226,782	224,540	99.0 %

출처 : 한국환경공단(2016)

유기성폐자원 바이오가스화시설의 연간 바이오가스 발생량은 73,485천Nm³이었다. 바이오가스의 사용방식에 따라 발전, 열공급, 가스공급, 기타로 구분하였으며, 소화조 가온 및 차량연료 공급에 사용되는 바이오가스는 가스공급으로, 잉여가스로 연소되는 바이오가스는 기타로 분류하여 전체 바이오가스 생산량 중 가스공급이 27,939천Nm³으로 가장 많았으며, 기타가 26,999천Nm³, 발전이 15,784천Nm³, 열공급이 2,763천Nm³로 조사되었다. 2014년 기준 신·재생에너지 중 유기성폐기물 바이오가스화시설의 에너지생산량은 143천toe이고 신·재생에너지 중 차지하는 비중은 약 1.2%이다 (한국환경공단, 2016).

환경부는 [표29]와 같이 유기성폐자원 바이오가스화 및 하수슬러지 고형연료화에 대한 시장 잠재량 대비 완공 실적 및 계획을 반영하여 실행목표를 산정하였고, 이를 달성하기 위한 세부과제를 운영 중에 있다([표30], [표31], [표32], [표33]).

[표29] 유기성폐자원 바이오가스화시설 연도별 확충 계획

구분		계	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
신규	개소수	12	6	4	2	-	-	-	-
	용량	1,940	960	710	270	-	-	-	-
완공	개소수	24	7	3	7	3	3	1	-
	용량	3,685 +10m ³ /분	840 +10m ³ /분	265	1,400	570	410	200	-

출처 : 환경부(2014)

[표30] 유기성폐기물 바이오가스화 시장 잠재량(toe)

단위 : 천toe/년

연도	음식물류 폐기물		음폐수		가축분뇨
	최소	최대	최소	최대	
2017	21.5	23.2	44.8	46.7	2.6
2020	23.6	26.5	46.1	49.5	4.7

출처 : 환경부(2014)

[표31] 유기성폐자원 바이오가스화 실행목표(%)

연도	잠재 생산용량(만 톤/년)								완공실적 및 계획		실행 목표 (%)	
	음식물류 폐기물		음폐수		가축 분뇨	합계						
	최소	최대	최소	최대		최소	최대	톤/일	만톤/년	최소	최대	
2017	82	89	333	347	39	454	475	4,593 (+20m ³ /분)	152 (+20m ³ /분)	32	33	
2020	90	102	343	368	70	503	540	5,203 (+20m ³ /분)	172 (+20m ³ /분)	32	34	

* 유기성폐자원 바이오가스화시설 가동일수: 330일, 실행목표에는 자동차연료화 사업 20m³/분은 미반영

출처 : 환경부(2014)

[표32] 하수슬러지 고품연료화시설 연도별 계획

구분		계	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
신규	개소수	6	4	2	-	-	-	-	-
	용량	1,380	315	1,065	-	-	-	-	-
완공	개소수	10	2	4	1	1	2	-	-
	용량	1,745	105	95	240	240	1,065	-	-

출처 : 환경부(2014)

[표33] 하수슬러지 고품연료화 시장잠재량 대비 실행목표

연도	시장잠재량		완공실적 및 계획		실행목표 (%)
	천toe/년	만톤/년	톤/일	만톤/년	
2017	122	227	4,255	128	56
2020	131	244	5,320	160	66

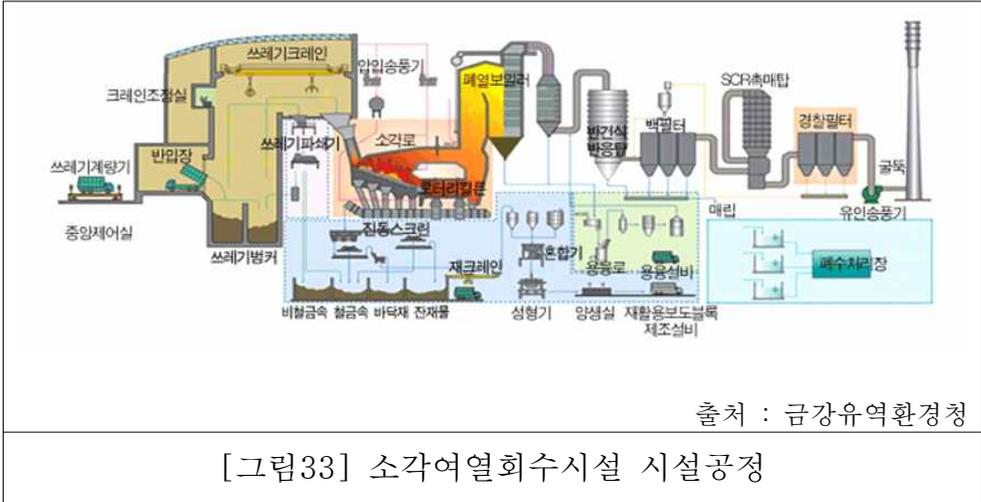
* 하수슬러지 고품연료화 시설 가동일수: 300일 적용

출처 : 환경부(2014)

(3) 소각여열회수

소각여열회수는 가연성폐기물을 소각하여 발생하는 열을 스팀이나 온수로 회수하여 열원으로 재활용하는 것을 말한다([그림33]). 쓰레기를 불에 태워 기체 중에 고온 산화시키는 폐기물 처리방법으로 폐기물 관리체계 중 중간처리 과정의 하나로 폐기물을 매립하는 것보다 부피는 95%이상, 무게는 80%이상 줄일 수 있어 매립시설의 공간을 절약하여 포화시기를 늦추어, 효과적이고 지속적인 폐기

물 처리방법이라고 할 수 있다.



소각시설은 가정과 사업장에서 배출되는 생활폐기물 처리를 위한 생활폐기물 소각 시설과 사업장폐기물의 처리를 위한 사업장폐기물 소각시설로 구분할 수 있다. 이중 소각 시 발생하는 연소여열을 소각여열이라 정의하며 이로부터 증기 또는 온수, 전기 등의 에너지를 회수하는 시설을 소각여열 회수시설이라 한다. 폐기물 소각시 발생하는 여열은 가스 형태를 취하고 있지만 직접 이용 또는 에너지 변환을 통해 사업장 안팎의 다양한 용도로 이용할 수 있다.

[표34] 여열이용방법

에너지원	에너지변환방식				이용방법 (예)
	1차 변환	1차 매체	2차 변환	2차 매체	
폐기물 소각여열 (연소가스)	여열 보일러	증기	증기터빈	전기	전력 (장내동력, 장외송전)
			증기터빈	동력	기기구동 (팬, 펌프 등)

		열교환기 (증기-물)	온수	농축·난방· 급탕열원
		열교환기 (증기-공기)	공기	연소공기, 건조열원
		흡수식냉동기 (증기구동식)	냉수	냉방열원
				건조열원, 난방열원
열교환기 (가스- 공기)	공기	열교환기 (공기-물)	온수	농축·난방· 급탕열원
				연소공기, 건조·난방열원
열교환기 (가스- 물)	온수	열교환기 (가스-대상물)		농축·난방· 급탕열원
열교환기 (가스-대상물)				농축·건조열원
연소가스 직접이용				건조열원

출처 : 한국환경산업기술원(2016)

에너지 변환 방식으로는 [표34]와 같이 열교환기에 의해 연소가스의 열에서 온수를 만드는 방식과 여열 보일러에 의해 증기를 얻어 증기터빈으로 발전하는 방식이 있다. 기타 연소가스, 온수, 냉수, 공기, 동력, 전력 같은 에너지 형태가 있다. 또한 사용 방법은 건조열원 농축 열원 연소 공기, 보조기기 구동, 냉방 열원, 난방 열원, 급탕 열원 및 전력 이용이 있다. 이용 대상 가운데 장내는 열 손실이 적지만 수요량이 비교적 한정되고 장외는 입지 조건에 따라 열이용에 대한 수요가 크게 달라진다(한국환경산업기술원, 2016).

소각시 발생하는 열에너지의 회수와 유효 이용 과정에는 연소 배가스의 열교환이용, 증기터빈 여열류에서의 열이용, 히트펌프·냉동기, 잠열 축열재와 같은 요소기술이 활용된다.

소각여열회수시설에서 회수한 에너지는 폐열보일러에 의한 온수

제조 및 난방, 고압증기를 이용한 발전, 열병합발전을 통한 집단에너지 공급 등이 있으며, 가연성폐기물 소각열량 당 연소·배기가스에서 회수 가능한 열량 비율은 평균 70% 정도로 나타났다(2014년 국내 75개 소각열회수시설의 연간 폐기물 소각열량 대비 회수이용열량 비율 평균값).

폐기물 소각시에는 발열량에 해당하는 열량이 발생하고 이에 따라 고온의 배기가스가 발생한다. 고온의 배기가스는 후처리 설비의 장치를 보호하고 외부로의 열오염(Thermal pollution)을 줄이기 위하여 냉각(250~350℃)하여 배출하여야 하며, 냉각설비는 폐열보일러식, 물 분사식, 공기 혼입식, 간접 공냉식이 있다.

소각시 발생한 열량을 단순히 온도만 강하하여 배출할 경우 폐자원의 에너지를 낭비하게되므로 폐열의 에너지를 회수하여 재이용하는 것이 경제적이며, 에너지 회수를 위한 냉각설비는 폐열보일러식으로 보일러는 연소열을 압력용기 속의 물로 전달하여 증기를 발생시키는 장치이다(한국환경공단, 2016).

에너지를 회수하는 방법은 그 이용 목적에 따라 연소공기의 예열, 온수의 생산, 증기의 생산, 전력 생산 및 열병합 발전(전력생산, 지역난방, 온수공급)으로 활용할 수 있다. 온수생산이나 연소용 공기예열 및 증기생산 등의 단순에너지 활용은 소규모 소각 시스템에서 적용하고, 전력생산이나 열병합 발전 등의 고급 에너지 활용은 대규모 소각 시스템에서 적용하고 있으며, 단순히 전력만을 생산시 30~40%의 에너지 효율을 얻을 수 있는 반면 열병합 시스템을 활용하면 60~70%의 에너지 효율을 기대할 수 있다.

2014년 기준 신·재생에너지 중 소각열회수시설의 에너지생산량은 산업폐기물과 생활폐기물, 대형도시쓰레기를 합한 1,663천toe이고 신·재생에너지(11,537천toe) 중 차지하는 비중은 약 14.4%으로

조사되었다([표35]).

[표35] 소각여열회수시설의 신·재생에너지 비중

구분	합계	산업폐기물	생활폐기물	대형도시쓰레기
생산량 (천toe)	1,663	781	157	725
비중(%)	14.4	6.8	1.4	6.3

출처 : 한국환경공단(2016)

[표36] 소각여열 회수시설 연도별 계획

단위 : 개소, 톤/일

구분		계	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
신규	개소수	9	2	2	2	2	1	-	-
	용량	2,280	400	540	490	800	50	-	-
완공	개소수	12	3	1	2	3	2	1	-
	용량	2,728	448	200	540	690	800	50	-

출처 : 환경부(2014)

환경부(2014)는 과거 산업폐기물 소각시설의 에너지 생산량 증가변화율을 고려하여([표36]), 에너지 생산량이 꾸준히 증가하여 2020년에는 생활폐기물의 경우 실행목표의 100%를, 산업폐기물의 경우 잠재량 대비 90.7%의 회수율에 도달 할 것으로 판단하고 있다([표37]).

[표37] 소각여열 회수의 실행목표

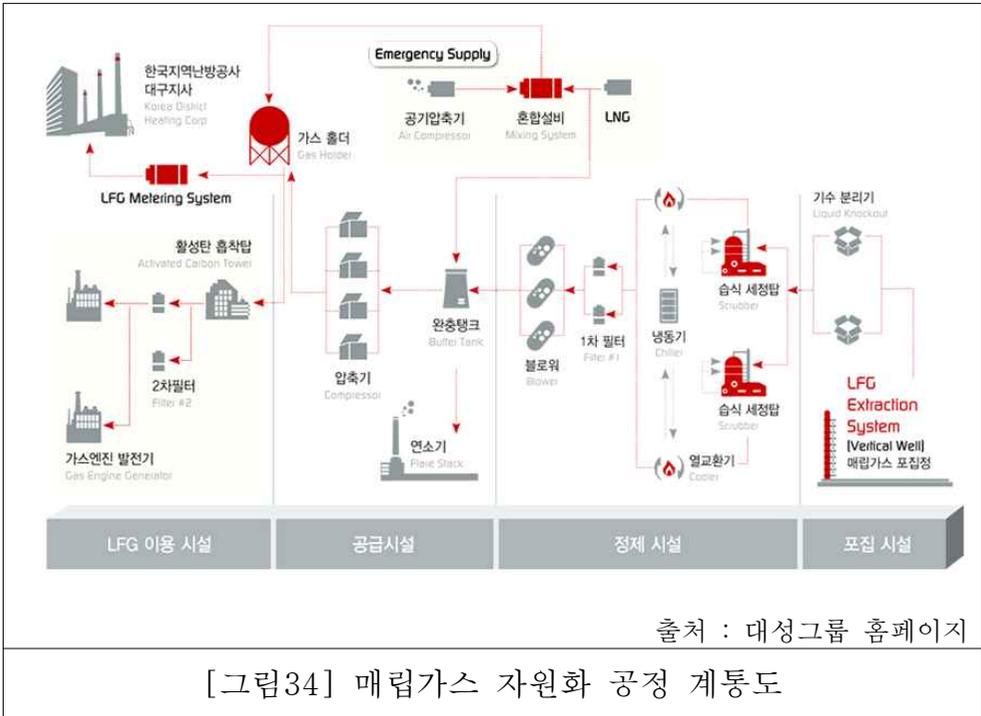
연도	생활폐기물 소각시설		산업폐기물 소각시설		합 계	
	에너지 생산량 (Gcal)	실행목표 (%)	에너지 생산량 (Gcal)	잠재량 대비 회수율 (%)	에너지 생산량 (Gcal)	실행 목표 (%)
2017	10,438,391	93.8	11,111,953	79.7	21,550,343	85.9
2020	11,124,293	100.0	12,650,000	90.7	23,774,293	94.8

출처 : 환경부(2014)

(4) 매립가스활용

매립가스는 매립지에 매립된 폐기물 중에 포함되어 있는 생물학적으로 분해가능한 물질이 미생물의 활동에 의해 분해되면서 발생되는 메탄을 주성분으로 한 혼합가스로 장기간에 걸쳐 발생되며 포집시설을 통해 포집하여 직접 또는 간접적으로 중·고질 연료로 사용할 수 있다([그림34]).

가스터빈이나 가스엔진, 연료전지 등을 이용한 전력생산을 통해 에너지로 전환하여 활용되고 있으며, 일반적으로 매립가스를 활용하기 위해서는 매립가스 발생량이 최소 1Nm³/min 이상 되어야 경제성이 있는 것으로 알려져 있다. 환경부 폐기물 에너지화 종합대책(2008)에서는 매립가스 발생량이 2Nm³/min 이상되는 매립지를 매립가스 회수 가능 대상으로 설정하고 있다.



2015년 환경부와 한국환경공단에서 실시한 폐기물 처리시설 운영실태 조사평가 보고서에 따르면, 평가 대상이었던 191개 매립시설 중 매립가스를 활용하는 시설은 11개였는데, 매립가스 포집량은 총 79,344천Nm³이었으며, 이중 발전에 26,283천Nm³, 가스공급에 51,193천Nm³ 총 77,476천Nm³의 매립가스를 활용하고 있는 것으로 조사되었다. 포집한 매립가스를 발전시설에 활용한 매립장은 9개 시설이었으며, 총 발전량은 37,166MWh이었다. 포집한 매립가스를 가스공급에 활용한 시설은 2개 시설이었으며 총 가스공급량은 51,193천Nm³이었다(환경부, 2015). 본 조사는 평가기관을 대상으로 한 결과이지만 주요 매립가스 활용시설 현황을 파악할수 있는 것으로 보인다([표38]).

[표38] 매립가스 활용 현황

구분	시설명	가스포집량	가스활용방법	
			발전 (MWh)	가스공급 (천Nm ³)
합계		79,344	37,166	51,193
1	부산 생곡쓰레기매립장	10,971	14,029	-
2	대구 환경자원사업소	46,196	-	45,061
3	광주 광역위생매립장	4,581	5,535	-
4	대전 금고동 위생매립장	6,676	-	6,132
5	충북 청주시 자원관리사업소	1,678	2,517	-
6	전남 목포시 위생매립장	3,958	5,691	-
7	전남 여수시 만흥위생매립장	1,0550	1,554	-
8	전남 순천시 매립장	1,153	3,133	-
9	경남 창원시 덕동매립장	80	96.5	-
10	경남 진주시 매립장	2,289	3,189	-
11	제주 회천매립장	712	1,421	-

* 충북, 청주, 경남, 진주, 제주 매립장은 포집한 매립가스를 모두 발전에 활용한 것으로 처리

출처 : 환경부(2015)

2014년 국내 폐기물 통계에 의하면 최종처분업체(매립시설)는 총 32개소이며, 처리량은 4,422,633톤/년이다. 총 매립용량은

40,885,559m³이고, 이 중 22,978,655m³(56.2%, 2014년 매립량 포함)가 매립처리된 것으로 나타났다. 2014년 기준 신·재생에너지 중 매립가스활용시설의 에너지는 신·재생에너지 중 약 0.7%이다(한국환경공단, 2016).

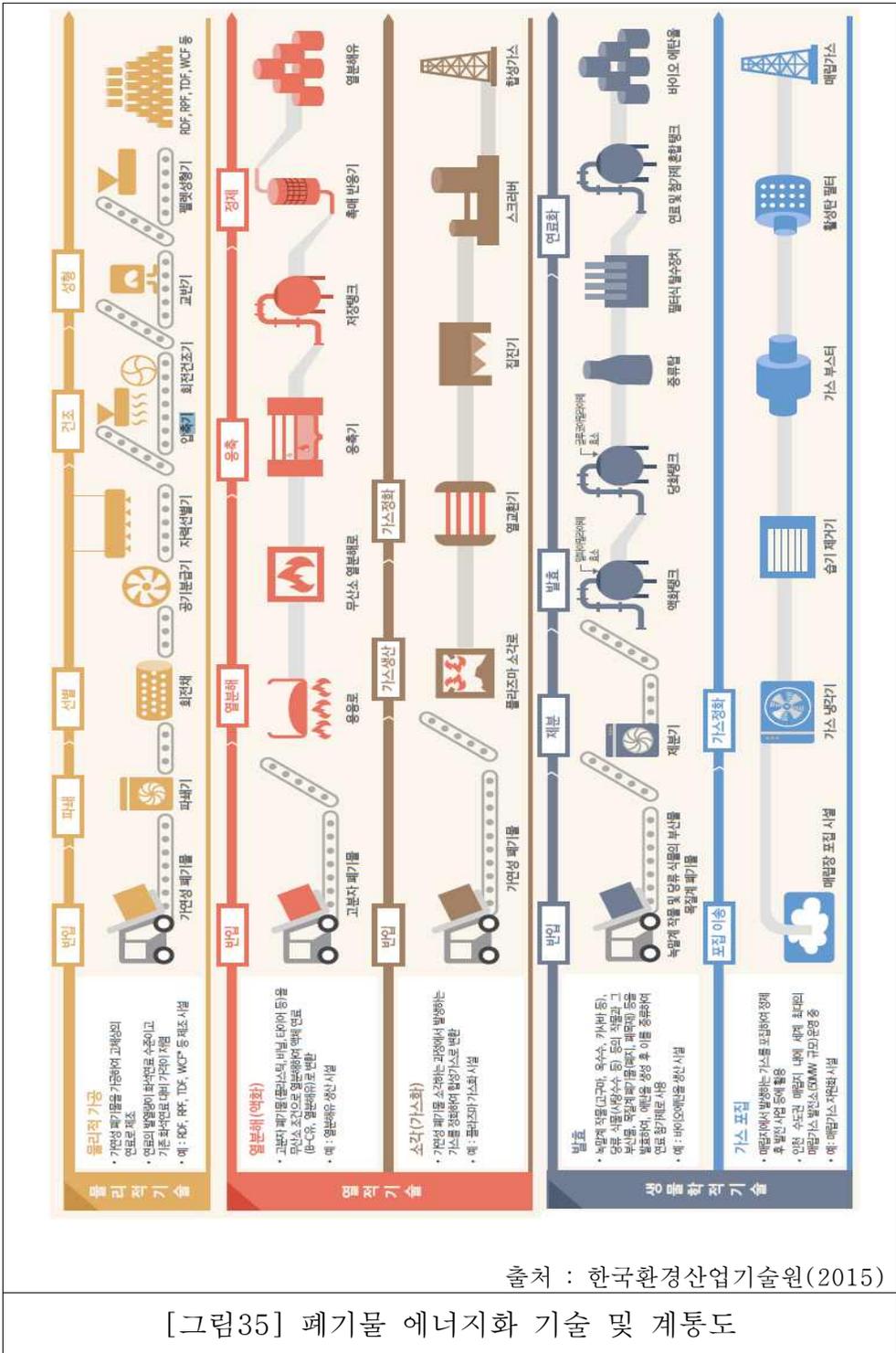
환경부는 2017년까지 매립가스의 회수·이용 대상 매립장 중 에너지화시설이 설치되지 않는 1개 생활폐기물매립장에서 발생하는 매립가스를 회수하여 에너지화 한다는 계획이다. 그렇게 되면 환경부가 세운 목표를 100% 달성하게 된다([표39]).

[표39] 매립가스 자원화 실행목표

단위 : 만m³ LFG/년

연도	시장잠재량	완공실적 및 계획	실행목표 (%)
2017	41,144	41,144	100.0
2020	33,197	33,197	100.0

출처 : 환경부(2014)



출처 : 한국환경산업기술원(2015)

[그림35] 폐기물 에너지화 기술 및 계통도

- * RDF(Refuse Derived Fuel) : 폐기물에서 재활용물질을 골라내고 불에 타지 않는 물질을 선별한 뒤, 가연성 물질을 잘게 부수고 압축하여 만든 연료
- * RPF(Refuse Planstic Fuel) : 폐플라스틱을 60% 이상 사용하여 잘게 부수고 압축하여 만든 연료
- * TDF(Tire Derived Fuel) : 폐타이어를 잘게 부수고 압축하여 만든 연료
- * WCF(Wood Chip Fuel) : 폐목재를 잘게 부수고 압축하여 만든 연료

2. 폐기물 에너지화의 문제점

국내 폐기물 에너지화 기술은 그 동안 많은 발전을 이루어 왔지만 선진국의 기술에는 아직 미치지 못하는 실정이다. 특히 폐자원 에너지화시설 설치사업에서 국내 폐기물 특성을 반영하지 못한 공법 적용과 시스템 안정성 등으로 폐자원에너지화시설의 설치, 운영상의 문제점이 다수 발견되고 있다. 한국환경공단(2016)의 현장조사 결과에서는 [표40]과 같이 설계오류 및 설계사양의 불만족 등 개선 사항이 제시되었다.

[표40] 폐자원 에너지화시설 설치 및 운영상 문제점

시설오류사항	문제점 및 개선여부
소화가스 발생량 과소 산정으로 활용시설 부족	잉여가스 소각량 과다발생으로 추가 활용 시설(500kw 발전기) 계획 중
설계시 한전계통 연계설비 누락으로 풀부하운전 불가	20kw 2기가 설치되었으나 현재까지 60kw정도 소내사용량만 발전하고 잉여가스량은 소각됨. 시설보완 중
주변 악취로 인한 지속적인 민원 발생	소화조 등 에너지화시설 전체를 철거하고 악취방지시설 신설 중
탈황설비 필터의 황함량 초과로 발전기 고장	설계규격상의 황함량보다 낮은 비율에서 운전되어 시스템 변경, 필터교체비용의 과다

탈황설비의 설계오류로 발전기 과부하 및 오류. 소화조 공급배관이 협소하여 침착이 자주 발생	탈황설비를 추가 보완, 필터교체 매뉴얼을 수립, 운영 주기적(주 0.5회)으로 운영인력이 직접 세관작업을 통해 예방조치
--	--

출처 : 한국환경공단(2016)

이밖에 한국환경정책평가연구원(2013)은 유기성 폐기물의 효율적 에너지화를 위해 에너지화 시설 운영실태를 조사하였고, 몇가지 문제점을 지적하였다.

첫째, 전처리 및 소화액 처리의 문제이다. 적절한 전처리는 병합처리시설의 바이오가스 생산효율을 향상시키는데 크게 기여할 수 있으나, 병합처리시설의 유형에 따른 유기성 폐자원 전처리 방안이 부재한 상태이다.

한편, 바이오가스를 생산하고 배출하는 소화액을 액비로 활용할 경우 경제성 확보가 가능하나 국내 경우 액비 수요처가 부족하고 2차 환경오염 유발 등의 문제로 액비 활용이 제한적인 상황이다. 소화액을 폐수처리 하는 방법을 대안으로 생각할 수 있으나, 바이오가스 시설에 추가로 폐수처리 시설을 건설 및 운영해야 하므로 이에 따른 비용이 바이오가스 시설의 편익을 상쇄하여 경제성이 낮아지는 문제가 있다(한국환경정책연구원, 2013).

두 번째, 바이오가스 시설 규모의 경제실현 문제이다. 기존에 경제성을 분석한 국회예산정책처(2012), 환경부(2008)의 자료에 따르면 바이오가스 생산과 발전 모두 경제성이 낮은 것으로 나타났다. 바이오가스를 이용한 발전의 경우, 운전기술 미흡, 설비 오작동에 의한 잦은 시설의 가동 중단과 가동률 저하의 문제 등 복합적인 문제로 생산량이 낮았고, 바이오가스 생산의 경우 폐기물 처리 수수료가 일정 수준 이상인 일부 시설을 제외한 나머지 시설들은 경제성이 없는 것으로 분석되었다(한국환경정책연구원, 2013).

국내 열에너지회수시설에 대한 관리기술에 있어서 에너지회수율은 투입되는 폐기물의 발열량 산정결과에 따라 큰 영향을 받으며, 이러한 소각로에 투입되는 전체 폐기물의 평균 발열량 산정은 폐기물이 함유하고 있는 기본적인 특성을 고려할 경우 적지 않은 오차를 동반할 수 있으므로 투입되는 폐기물에 대한 대표적인 발열량 산정방법과 함께 에너지 효율산정방식에 대한 구체적인 적용방법 등의 검토가 요구된다(한국환경산업기술원, 2014).

쓰레기 소각로의 경우 [표41]처럼 150°C이하에서는 저온부식이 일어나고, 320°C이상의 금속면에서는 고온부식이 일어난다. 320°C 이상 480°C까지는 염화철 또는 알칼리철 황산염의 생성에 의한 부식이고, 480°C부터 700°C까지는 염화철 또는 알칼리철 황산염의 분해에 의한 부식으로 650°C에서 피크를 이룬다. 그 이상의 온도에서는 퇴적물이 완전히 분해하여 부식속도가 기상(氣相)에 의한 부식속도와 같은 속도가 된다. 따라서, 소각발전 시스템 개발을 위하여 고온·고압에 견디며 내식성이 강한 재질 개발, 고압보일러 개발, 폐기물 소각발전시스템과 연계한 지역 냉난방 시스템 구축, 사용처별 공급 증기압 제어 및 온수제조 시스템 개발 등이 필요하다(최경빈, 2002).

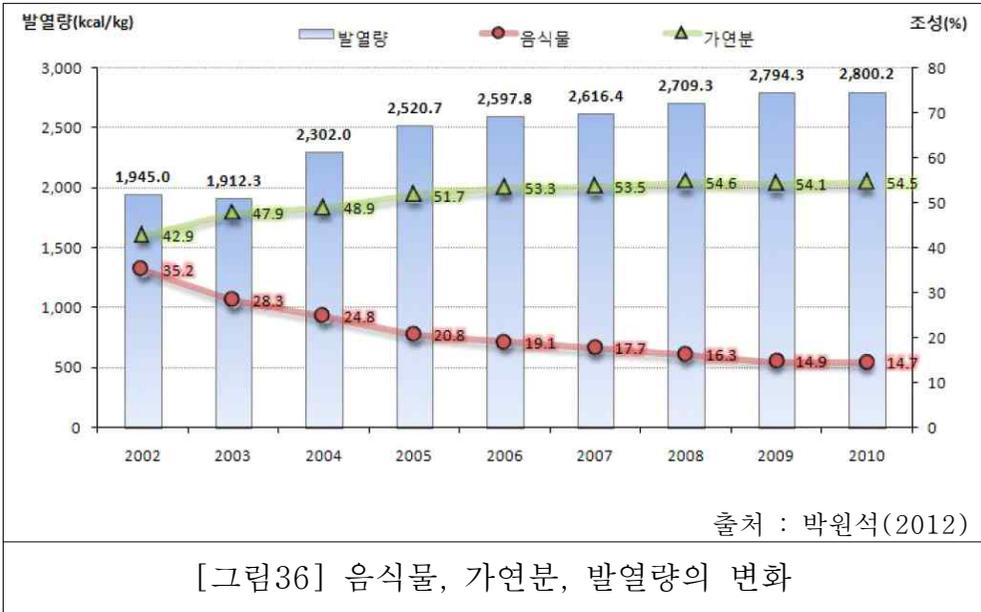
[표41] 부식의 종류와 대책

부식위치		부식상황	방식대책
고온부식	보일러의 증기 과열기	관벽온도 320°C 이상에서 부식되어 구멍이 뚫림	1) 과열증기온도를 300°C이하로 억제함 2) 고압·고온이 필요 - 가스온도 650°C까지의 위치에 배치 - 해머링에 의한 더스트의 부착을 방지

			<ul style="list-style-type: none"> - 교환하기 쉬운 구조로 변환 - 내식재를 연구개발하거나 고온 부 과열기를 독립과열기로 별도 설치하고 가스 또는 등유로 추가 열을 가함
저온 부식	온수열 교환기	관벽온도가 약 150℃ 이하에서 부식되어 단기간에 구멍이 뚫림 외부내식재 라이닝 정도로는 방지되지 않음(관벽온도=수온+5℃)	<ol style="list-style-type: none"> 1) 공기에열기로 고온공기를 만들고 공기-물의 열을 교환함 2) 관의 내벽에 불소수지의 열저항 막을 라이닝하여 관벽온도를 올림 3) 2중관으로 하여 외관과 내관 사이에 공기층을 두어 가스에 접촉하는 외관의 온도를 올려줌

출처 : 최경빈(2002)

고온 부식에 대하여 박원천(2012)은, 종량제생활폐기물과 음식물류폐기물의 분리 배출이 정착되면서 가연분의 증가와 음식물류폐기물의 성상이 감소되었기 때문에 소각시설에 반입되는 생활폐기물의 발열량이 점차 높아지고 있는 추세를 보이고 있는 것으로 보고 있다. 폐기물이 가진 발열량이 높다는 것은 많은 양의 에너지 생산이 가능하다는 뜻이지만, 한편으로는 소각시설의 설계조건에 맞지 않는 발열량의 증가는 고온부식과 화격자의 마모와 같은 소각시설의 치명적인 고장 원인으로 작용할 수 있다

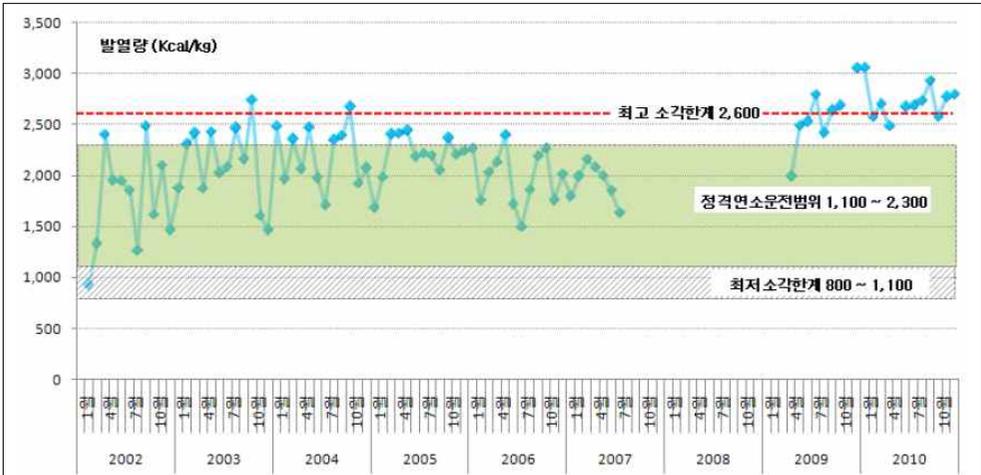


이러한 고발열량 문제는 전국에 있는 소각시설에도 보이고 있는 것으로 나타났다([그림36]). 인천에 설치된 청라, 송도 소각시설의 소각로 설계조건을 보면 소각시설의 운전가능한 범위인 정격연소운전범위는 2002년부터 가동된 청라시설의 경우 1,100~2,300kcal/kg으로, 이후 2007년부터 가동된 송도시설의 2,200~3,000kcal/kg보다 낮은 것을 알 수 있다([표42]).

[표42] 송도 및 청라 소각시설의 현황

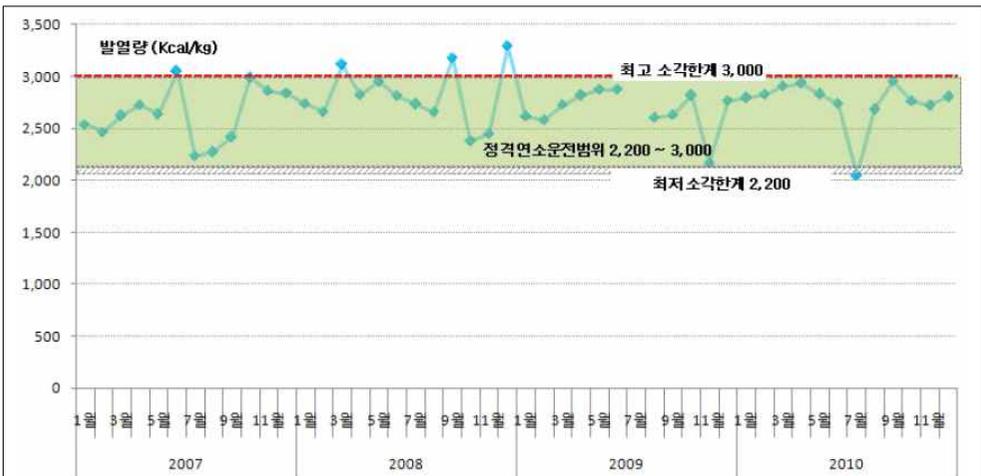
시설명	최저 소각한계	정격연소운전범위	최고 소각한계
청라	800~1,100	1,100~2,300	2,600
송도	2,200	2,200~3,000	3,000

출처 : 박원석(2012)



출처 : 박원석(2012)

[그림37] 청라 소각시설의 발열량 변화



출처 : 박원석(2012)

[그림38] 송도 소각시설의 발열량 변화

[그림37]과 [그림38]을 보면, 청라 및 송도 소각시설의 가동초기부터 현재까지 폐기물의 발열량을 분석한 결과 청라시설은 정격연

소운전범위를 넘어선 경우가 2006년까지 종종 발생하였고 최고 소각한계를 넘어선 경우는 2건에 불과하였으나, 2009년 이후 정격연소운전범위를 넘어 최고소각한계인 2,600kcal/kg을 벗어나 운영되었다.

최근 에너지화의 효율성을 높이기 위해 시설의 한계점을 해결하고 있고 기술 개발이 이루어 지는 등 기존의 문제점들이 많이 개선되어 왔다. 하지만 현황분석과 에너지화 시설 운영 실태 결과에서 볼 때, 효율적 에너지화를 위한 새로운 기술 개발의 구체적 방안이 마련되기 위해서는 에너지화를 위한 신기술의 적극적인 검토가 필요함을 시사한다.

제4장 폐기물 처리의 신기술 동향

1. 신기술 개발 동향

유럽은 폐기물 소각분야의 선진국가로, 이미 1870년대에 소각로를 설치하고 폐열을 회수하는 높은 수준의 원천기술을 보유하고 있는 회사가 다수 존재하며, 동유럽 국가들의 폐기물 소각로 시장 역시 매립금지 등의 정책으로 점차 증대 중이다.

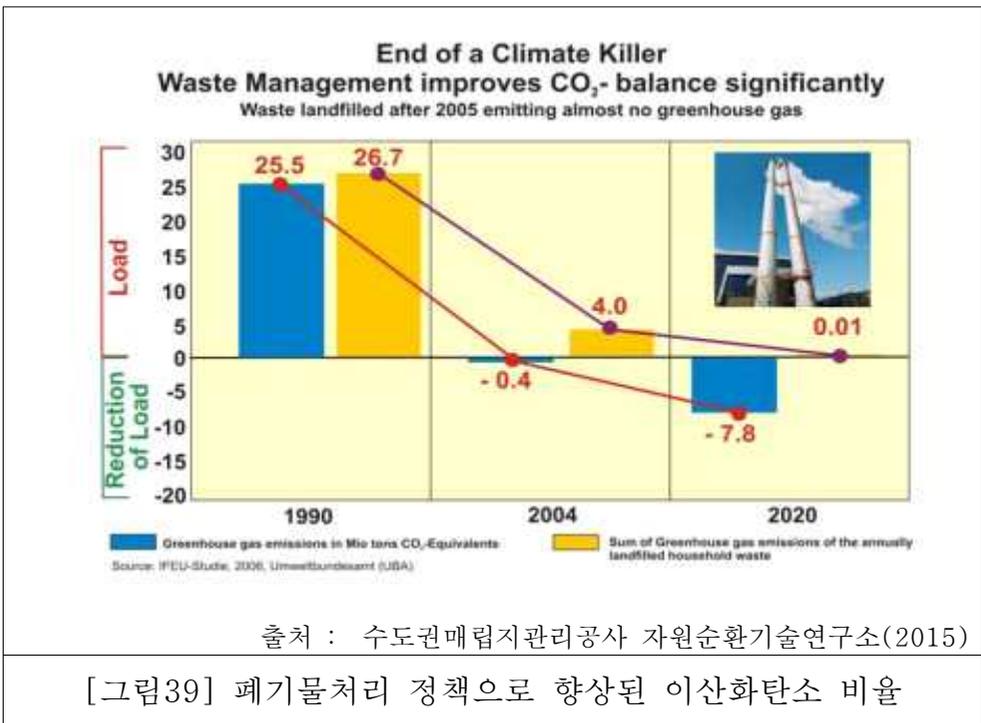
폐기물 소각열 회수·이용의 유럽 주요국가 소각에너지 이용현황을 보면 연간 6.3%의 성장률을 보이고 있고, 일본은 70년대 이후 가장 많은 소각로를 개발한 세계 제1의 소각로 보유국이 되었다.

중국은 환경문제가 지속적으로 대두되고 있어 해결책을 마련하고자 해외기술의 벤치마킹 및 독자 기술을 적극적으로 개발 중에 있다. 도심지역 폐기물 발생량 2억 6천만 톤의 20%, 2020년 발생량 3억 2천만 톤의 25%를 소각처리 하여 폐기물 에너지생산량을 높일 계획을 2015년에 수립하였고, 이에 따른 소각 발전 에너지시장은 매년 중국전체 폐기물 처리시장의 약 25%인 100억 위안 이상에 이를 것으로 전망하였다. 한편, 동남아의 신흥개발도상국들은 폐기물 처리 기술개발의 시작단계에 이르고 있어 소각로 열 이용 분야의 큰 시장이 열릴 것으로 보고 있다.

유럽은 Babcock & Wilcox, Volund, Martin 등 폐기물 소각분야의 원천기술을 보유하고 있는 회사가 다수 존재한다. 덴마크는 이미 100년 전부터 폐기물 소각 에너지를 회수하는 정책을 추진하였으며 소각 가능한 물질은 매립을 금지하고 폐기물에너지 자원화설비는 비영리 원칙에 입각하여 운영 중이다. 또한 스웨덴, 노르웨이 및 덴마크 등의 북유럽 국가들은 열병합발전으로 지역난방에 열과

전력을 공급, 남부 유럽 국가들은 주로 소각열을 이용한 발전에 주력하고 있다.

특히 독일은 상용원 17개를 2022년까지 폐쇄하고, 신재생 에너지 보급 확대, 에너지 효율화 등을 추진한 결과, 2020년에는 이산화탄소 배출 균형을 맞출 수 있게 되었다([그림39]).



독일의 다양한 폐기물 처리 기술 중 폐기물 에너지를 활용한 해수의 담수화 기술은 기후를 보호하는 순환시스템과 음용수 공급을 위한 지속가능한 개념으로 평가받고 있으며([표43]), 주민 수용도를 높이기 위한 W2W 프로젝트로 매년 2,690만 리터 석유 대체 효과를 가져왔다(수도권매립지관리공사 자원순환기술연구소, 2015).

[표43] 폐기물에너지 활용한 해수의 담수화 기술

구분	내용
폐기물 소각기술	<ul style="list-style-type: none"> · GF(Grate Firing) : 불균질한 폐기물 소각 방식 이용 · 소각시 스팀 이용한 열적 담수화 기술 적용
담수화 기술	<ul style="list-style-type: none"> · 역삼투압(RO)을 이용한 멤브레인 기술 이용 · 다중효과 증류(MSF)와 다단계 증발(MED)을 이용한 열적 처리 기술 · GF 소각로에서 전기와 회수열 이용시 MSF, MED 열적처리 기술에 적용

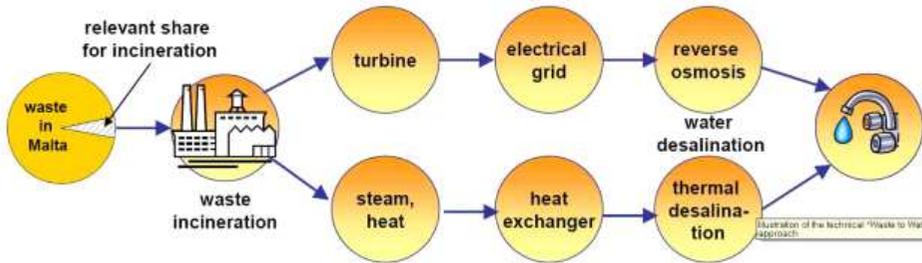
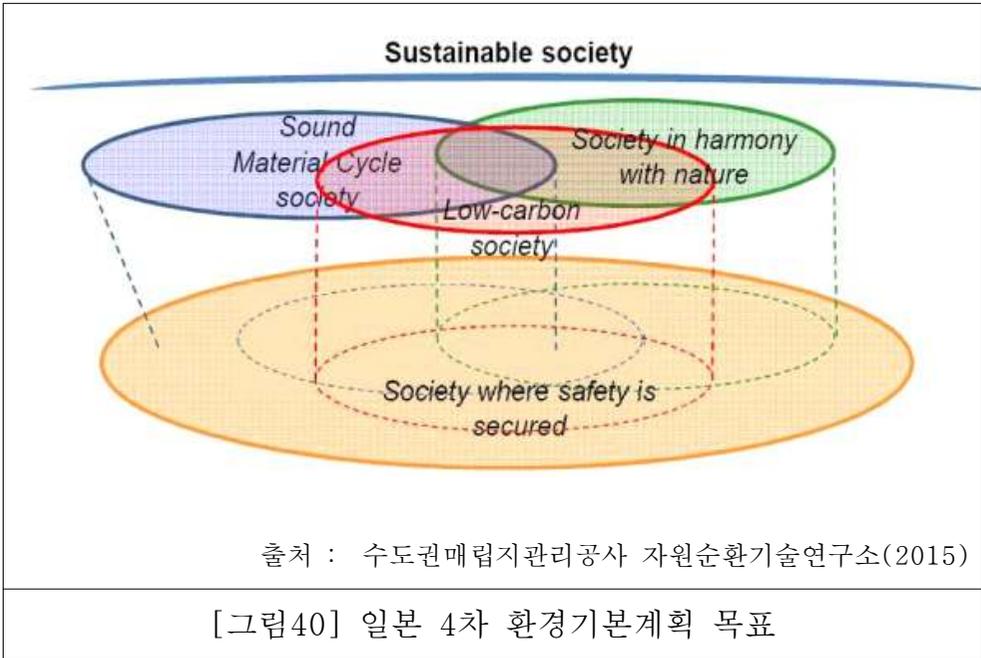


Fig. 1: Illustration of the technical “Waste to Water” approach

출처 : 독일 환경부 사이트

일본의 경우, 1994년 1차 환경기본계획이 수립된 후 2012년 4월 안전이 보장된 사회, 저탄소, 건강한 물질 순화, 자연과 조화 실현을 목표로 하는 지속가능한 사회를 위한 환경기본계획을 수립하였다.



이에 따라 폐기물 수집부터 운반 시스템 및 소각 기술 등 유지관리 표준을 수립하여 적용하고 있다. 또한 고효율 전력생산 기술, 자동 소각장치, 자동 크레인 등 안전 관련 기술을 개발하고 저칼로리 폐기물부터 고칼로리 폐기물까지 다양한 폐기물의 소각기술을 보유하였으며, 최근에는 적은 공기를 사용하여 고효율 전력을 생산하는 스토커 기술이 개발되어 오염방지 및 고효율 전력생산 성능을 갖춘 시설 사례를 보여주고 있다([그림40]).

일본은 소각 시설의 배출가스 중 SO_x, HCl, NO_x, 스모그 등 유해물질을 저감하는 기술을 개발하였으며, 다이옥신 저감을 위해 완전소각 기술, 다이옥신 재합성 방지를 위한 배기가스 냉각기술, 백필터 기술, 황성탄 및 촉매 기술 등이 개발되었다. 또한 스토커 소각에서 열회수 개선 및 고효율 전기생산이 가능하고 온실가스 배출 측정이 가능한 차세대 소각 기술을 개발하였다.

오염 없는 소각 방식에서 고효율 전기 생산이 가능하면서 장기간 사용이 가능한 소각로로 개발 방향이 바뀌었으나 안전한 기술로 신뢰를 구축하고 주민들과 소통을 원활히 하여 도시 주거지역에도 소각 시설이 설치되고 있다.

2. 국내 특허관련 동향

폐기물 처리 설비 분야의 기업 기술수요를 파악하기 위하여 중소기업 기술수요조사 및 중소기업청 R&D 신청과제를 분석한 결과 [표44]의 내용과 같은 수요들이 다수 있는 것으로 분석되었다(중소기업청, 2016).

[표44] 폐기물처리설비 분야 과제신청현황 및 수요조사결과

전략제품	기술 분류	관심기술
폐기물 처리 설비	폐기물 탈수/건조/연소 설비	<ul style="list-style-type: none"> · 슬러지 탈수기술 · 슬러지 건조기술을 고려한 저에너지 고효율 탈수기술 개발 · 건설폐기물 중간처리시설의 소각로폐열을 활용한 폐슬러지 건조시스템 개발
	폐열 회수/ 이용 설비	<ul style="list-style-type: none"> · 생활폐기물의 연료화장치 · 자원 회수와 자가 열원 공급을 통한 에너지 절약형 산업용 음식물 쓰레기 처리 시스템 · 건설폐기물 중간처리시설의 소각로 폐열을 활용한 폐슬러지 건조시스템 개발 · 폐기물 연료화 및 폐열을 재활용한 저압 동력 터빈 발전 시스템 개발

출처 : 중소기업청(2016)

폐기물처리설비 분야 기업은 최근에 슬러지 고효율 탈수기술, 생활폐기물 연료화 장치, 자원 회수를 통한 에너지 절약형 폐기물 처리 시스템, 폐기물 연료화 및 폐열 재활용을 통한 발전시스템 등에 대한 수요가 있는 것으로 나타났다.

설비	고형폐기물의 가스화 기술개발
	폐기물 탈수/건조 공정 및 설비기술
	열분해, 흡착 탈취기술
	벨트/필터프레스, 원심탈수기 등 탈수기 부품기술
	폐기물의 고효율 열풍 건조기 및 환경·안전장치 부품기술
	플라즈마를 이용한 열분해 용융기술
폐열 회수/ 이용 설비	도시고형폐기물(MSW)의 소각에너지 회수기술
	폐기물 또는 저등급 연료 소각설비의 폐열에너지 회수기술
	고체연료 연소장치의 폐열에너지 회수기술
	폐열에너지 회수를 통한 증기 생산기술
	하수슬러지와 가연성 폐기물 처리 기술

출처 : 중소기업청(2016)

이후 산·학·연 전문가로 구성된 핵심기술 선정위원회에서 확정된 요소기술을 대상으로 기술개발시급성, 기술개발과급성, 단기개발가능성, 중기업 적합성을 고려하여 7가지 핵심기술을 최종 선정하였다 ([표46]).

[표46] 폐기물처리설비 분야 핵심기술

분류	요소기술	개요
폐기물 탈수/건조/연소 설비	소각열 회수를 통한 유기성 폐자원의 건조기술	폐기물 소각시 발생하는 배가스의 폐열을 회수하여 음식물 폐기물, 하수슬러지 등을 건조하여 고형연료 또는 재활용이 가능한 제품을 생산하는 기술

	폐기물 탈수/건조 공정 및 설비기술	하수 또는 폐수슬러지, 음식물 폐기물 등 수분 함량이 높은 폐기물을 탈수 및 건조하여 함수율을 크게 감소시키는 기술
	폐기물의 고효율 열풍 건조기 및 환경·안전장치 부품기술	유기성폐기물을 건조하여 고품연료 등으로 자원화하는 공정의 핵심기기로 고온의 열풍을 공급하는 부품, 대기방지 및 화재방지용 설비 또는 부품기술
	고형폐기물의 가스화 기술개발	유기성폐기물을 건조 후 가스화 반응기에 투입하여 고온, 고압조건에서 합성가스로 전환하는 기술
폐열 회수/이용 설비	도시고형폐기물(MSW)의 소각에너지 회수기술	가연성 물질이 대부분인 도시 발생 고형폐기물의 소각시 발생하는 소각열을 증기, 전기에너지로 회수하여 활용하는 기술
	고체연료 연소장치의 폐열에너지 회수기술	일반 고형연료(SRF) 또는 바이오 고형연료(Bio-SRF)등 다양한 고체상태의 연료를 연소하여 열 또는 전기 등의 에너지로 회수하여 이용하는 기술
	폐열에너지 회수를 통한 증기 생산기술	폐기물 또는 고형연료 등의 연소로에서 발생한 열에너지를 이용하여 고효율 발전 또는 산업용 증기로 활용이 가능한 고온/고압의 과열증기를 생산하는 기술

출처 : 중소기업청(2016)

본 연구에서는 중소기업청(2016)에서 도출한 ‘폐기물처리설비 분야 핵심기술’의 7개 요소기술 중 ‘폐기물의 고효율 열풍 건조기 및

환경·안전장치 부품기술'을 제외한 6개 요소기술을 중심으로 특허청에 등록된 기술을 설명하고, 새로운 기술에 대한 기대효과를 살펴보고자 한다.

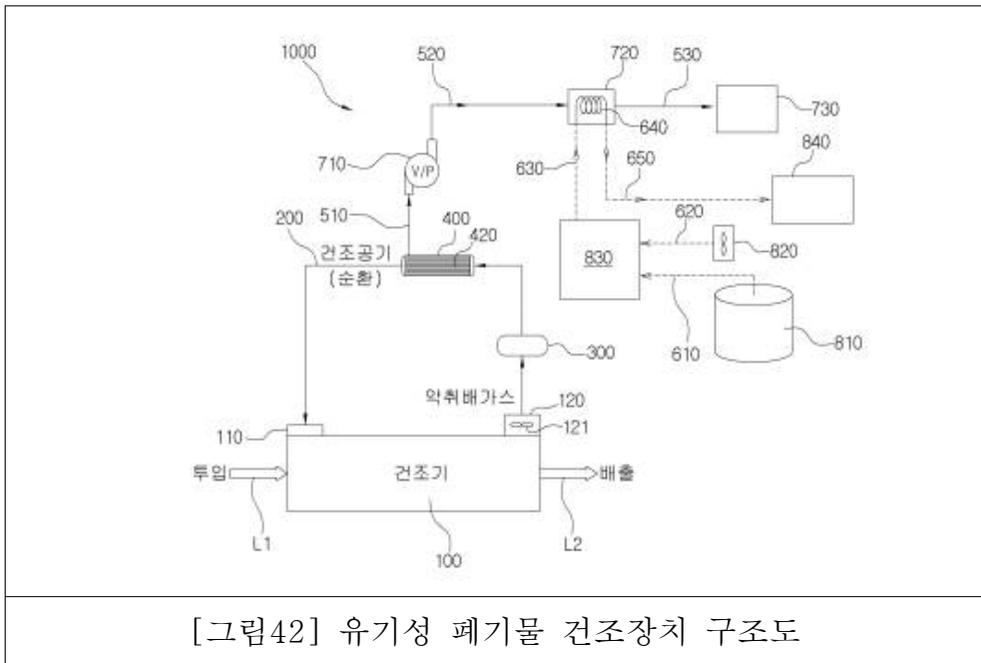
1) 소각열 회수를 통한 유기성 폐자원의 건조기술

① 유기성 폐기물 건조장치

기술의명칭	유기성 폐기물 건조장치
등록특허	제10-1716659호
목적	<ul style="list-style-type: none"> · 별도의 악취제거시설을 설치하지 않고도 유기성 폐기물의 건조 공정의 악취 문제를 해결 · 에너지 효율 향상 · 유기성 폐기물의 건조 공정에서 배출되는 악취배가스에 포함되는 수증기(또는 수증기의 잠열과 현열)를 재활용

유기성 폐기물을 건조하여 함수율을 저감시키면 3,000~4,000 kcal/kg 이상의 발열량을 가지는 우수한 고형 연료가 되어, 근래에는 유기성 폐기물을 건조하여 재생 에너지 자원으로 활용하기 위한 건조 방법이 주목받고 있다. 그러나 건조 가열설비는 연소열 또는 전기열 등을 대류를 통해 피건조물에 전달하므로 효율이 대체로 낮은 에너지 다소비 장치이다. 특히 산업분야에서 사용되는 건조기는 대형이고 많은 에너지를 사용할 뿐만 아니라 건조과정에서 온실가스, 악취 등의 대기오염물질이 발생하게 된다. 특히, 유기성 폐기물의 건조과정에서 피건조물로부터 증발되는 수증기를 제거하기 위해서는 반드시 공기의 흐름이 동반되어야 하므로, 건조장치에서는 필연적으로 다량의 고습도/고온의 악취배가스가 발생하게 된다. 이러한 악취배가스는 피건조물로부터 가열 증발된 수증기를 함유하고

있어 고온일 뿐만 아니라 상당한 양의 열에너지(잠열과 현열)를 함유하고 있다. 그러므로 건조공정에서 에너지 효율을 상승시키기 위해서는 반드시 악취배가스에 포함된 열에너지를 재활용하기 위한 기술이 필요한 실정이나, 종래기술의 건조기는 이러한 배기가스 열에너지 재생 기술을 구비하고 있지 않다.



ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림42])

- 건조기 : 내부로 투입된 유기성 폐기물 건조
- 순환유동관로 : 건조기에서 배출된 악취배가스가 건조기로 재유입되어 반복 순환하도록 건조기의 공기유입구와 배가스출구를 연결
- 수증기분리부 : 순환유동관로에 구비되고, 악취배가스에서 수증기를 분리하여 분리된 수증기를 수증기배출구로 배출
- 수증기 유동라인 : 수증기배출구에 연결되어 수증기 이동

- 제1재생 열교환부 : 수증기 유동라인에 구비되고, 외부 공기 또는 외부용수와 수증기를 열교환
- 외부 유동라인 : 외부 공기 또는 외부 용수가 이동하도록 구성되고, 적어도 일부분이 제1재생 열교환부를 통과하도록 구성

ㄴ. 기대효과

건조기에서 발생하여 배출된 악취배가스가 다시 건조기의 공기유입구로 유입되어 재순환됨으로써 악취배가스가 건조기의 외부로 배출되지 않으므로 별도의 악취제거시설이 필요없다. 따라서, 악취제거시설의 설치와 운영에 비용이 소모되지 않게 되며 건조기에서 발생한 악취 성분이 외부로 배출되지 않으므로 건조기 주변의 악취문제를 근본적으로 해결할 수 있다.

고습도/고온의 악취배가스에 포함된 수분 또는 수증기가 악취배가스 순환 경로상에 설치된 수증기분리부에 의해 제거되어 건조기로 고온의 건조한 공기가 도입됨으로써 건조 성능이 향상되고, 건조열 발생에 소비되는 에너지량이 감소된다.

수증기분리부에서 분리된 수증기와 외부 공기 또는 외부 용수를 열교환시켜 외부 공기 또는 외부 용수의 온도를 상승시킬 수 있고, 이로 인해 온도가 상승된 외부 공기 또는 외부 용수를 난방, 온수로 활용할 수 있어 에너지 효율을 향상시킨다.

악취배가스 배출 경로에 열교환기가 설치되어 악취배가스의 열을 회수하여 이용할 수 있게 됨으로써 건조장치의 에너지 효율을 더욱 향상시킨다.

수증기분리부에서 분리된 고온의 수증기와 고온의 수증기가 가지

는 내부 에너지를 재사용 및 활용할 수 있으므로, 배기가스의 폐열 이용효율을 극대화할 수 있으며, 결과적으로 유기성 폐기물 건조장치의 에너지 효율을 더욱 향상시킬 수 있다.

건조기에 의해 건조되어 고체연료화된 건조물을 수증기가열부의 연료로 활용함으로써 유기성폐기물 건조장치의 에너지 효율을 더욱 향상시킬 수 있다.

유기성 폐기물을 건조하여 형성되는 고체연료화된 건조물과 악취 배가스에 포함된 수증기를 모두 재사용 및 재활용할 수 있으므로, 유기성 폐기물의 재활용 효율을 상당히 향상시킬 수 있다.

② 수직원통형 폐기물 소각장치

기술의명칭	수직원통형 폐기물 소각장치
등록특허	제10-1765779호
목적	<ul style="list-style-type: none"> · 수분 함유량이 높은 가연성 폐기물을 투입하더라도 연소 표면의 일시적 폐쇄가 되는 것을 방지하여 완전연소가 가능하도록 함 · 폐기물이 투입되는 부위의 하부에 완충부를 구비하여 투입된 수분 함유량이 높은 가연성 폐기물을 완충되도록 함으로써 폐기물의 일부는 연소로 하부로 투입되도록 하고 일부는 상부에 거치되어 1차 건조되도록 하여 연소로 하부로 투입되도록 함으로써 연소효율을 높임 · 완충부의 열적변형을 방지하도록 수냉식으로 구비하고 폐열을 이용할 수 있도록 함

폐기물 소각설비는 가연성 성분을 연소하는 연소설비, 폐열을 회

수하는 냉각폐열 회수설비, 발생한 대기오염물질, 수질오염물질, 재를 처리하는 공해방지설비, 폐기물의 공급을 원활히 할 수 있는 전처리 설비 등 일련의 설비로 하나의 시스템을 구성한다. 가연성 폐기물 중 수분 함량이 높은 가연성 폐기물은 발열량을 높이기 위해 기계적, 열적 또는 생물학적 기술을 이용하여 폐기물에 함유된 수분을 제거하는 과정을 거치게 된다. 하지만, 이러한 폐기물 수분 제거 시설은 시간이 많이 소요되고 시설비용 및 운용비용이 많이 소요되므로 대부분의 소각시설에서는 채용하지 않고 있다.

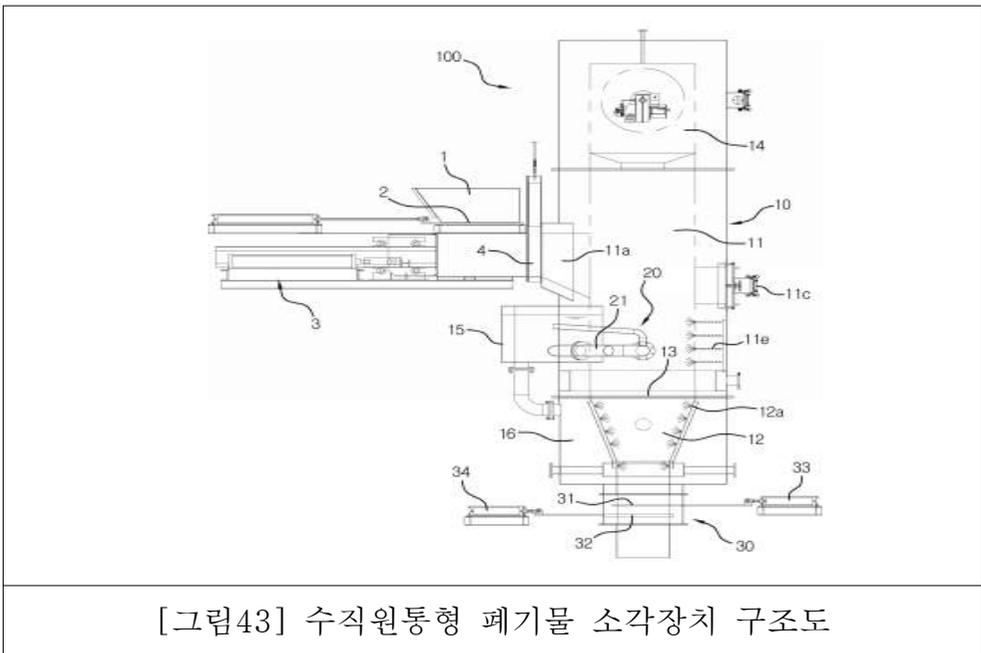
한편, 대부분의 소각장치는 연소실 내부가 고정된 단순한 형태로 연소효율이 높고 초기 예열시 이외에는 보조연료를 필요로 하지 않으며, 설비비용이 적게 소요되고 장소를 적게 차지하는 수직 원통형 소각장치가 주류를 이루고 있으나, 수분제거를 거치지 않은 수분 함유량이 높은 가연성 폐기물을 바로 연소로에 투입하게 되면 투입된 가연성 폐기물이 연소 표면을 일시적으로 폐쇄 하게 되어 불완전 연소를 가져오게 되며, 이러한 불완전 연소에 의해 발생되는 배기가스가 증가하게 되고, 불완전 연소로 인한 대기오염물질이 증가하게 되는 문제점이 있다. 아울러, 수분 함유량이 높은 투입된 폐기물은 함유된 높은 수분에 의해 연소하는데 시간이 많이 소요되므로 연소 효율이 높지 않게 된다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림43])

- 폐기물 투입부(11a) : 폐기물 투입
- 연소실(11) : 폐기물 투입부의 하부 대향면에 구비되는 착화용 버너(11b)가 구비된 원통형
- 소각로 본체(10) : 연소실 하부에 구비되며 콘 형태로 된 후실(12) 구비
- 수냉식 완충부(20) : 연소실의 폐기물 투입부 직하부에 이격 설치

되어 폐기물 투입부로부터 투입되어 낙하된 폐기물이 완충되며, 수평방향으로 소각로 본체 외부에서 내부로 설치되되, 일정간격으로 서로 평행하게 설치

- 배출부(50) : 소각로 본체(10)의 연소실(11) 상부에 구비되며 배기가스를 배출
- 재배출부(30) : 소각로 본체(10)의 후실(12) 하부에 구비되며 재를 배출



ㄴ. 기대효과

완충부(20)는 낙하되는 폐기물을 완충하게 됨으로써 하부에 연소되는 폐기물을 일시적으로 덮어 연소 표면이 폐쇄 되는 것을 방지하여 완전연소가 가능하게 된다. 아울러, 완충부(20)에 의해 남아 있는 폐기물은 1차 건조를 거쳐 연소하게 되므로 수분 함유량이 많은 폐기물을 소각하더라도 완전연소가 가능하게 된다. 또한 연소실

의 하부에서만 연소되는 것에 비해 연소속도를 증가시켜 연소효율을 극대화할 수 있게 된다.

급수레벨탱크(17)에서 공급된 물은 하부에 구비된 후실 수냉부(16)로 공급되어 1차 열교환 되어진 후 상부에 구비된 기수분리탱크로 유입되고 기수분리탱크에 연결된 완충부가 연소실 내부에서 발생된 고열에 의해 2차 열교환되어 온수 또는 열발전에 이용하게 되므로 폐열을 재활용할 수 있게 된다.

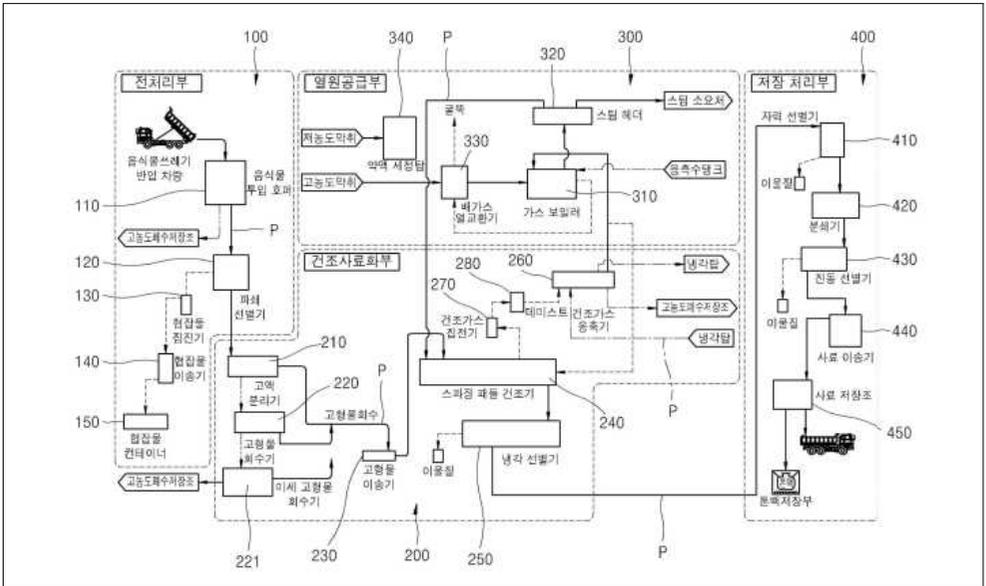
기수분리탱크(15)로부터 분리된 수증기는 기수분리기(40)에 유입되어 기액 분리되며, 일부의 증기는 응축되어 응축된 물이 급수레벨탱크(17)에 유입되어 재순환되게 되며, 기수분리기(40)에 의해 분리된 나머지 증기는 외부로 배출되게 된다. 이와 같이, 기수분리탱크(15)로부터 분리된 수증기는 기수분리기에 의해 기액 분리되고 응축된 물은 급수레벨탱크로 재유입되므로 외부로 배출되는 폐열을 줄일 수 있어 폐열을 최대한 활용할 수 있게 된다.

③ 자원화 시설용 고농도 악취 제거 및 연료 절약 시스템

기술의명칭	자원화 시설용 고농도 악취 제거 및 연료 절약 시스템
등록특허	제10-1703870호
목적	<ul style="list-style-type: none"> · 음식물 쓰레기 또는 하수 슬러지를 건조시키는 건조기의 고농도 악취를 공기 예열기가 폐열 보일러에서 배출되는 폐열을 이용하여 예열시킨 다음 탈취로로 공급하여 소모되는 연료량을 줄이도록 함 · 건조기에서 배출되는 응축수를 응축수 트랩을 통해 배출하지 않고, 모두 압력 탱크에 저장해서 재증발되는 스팀을 건조기로 재투입시키며, 압력 탱

크의 고온의 응축수를 보일러로 직접 공급하거나 응축수 탱크에 저장한 후 절탄기를 통해 폐열 보일러로 공급하여 에너지를 절감하고자 함

음식물 쓰레기 또는 하수 슬러지를 건조하는 건조기에서 배출되는 악취를 제거하고, 연료를 절약하기 위해 다양한 방법이 개발되었으며, 일례로 국내 등록특허공보 제10-1367745호(3단계 고액분리와 저에너지형 음식물폐기물전용 패들건조기 및 악취처리와 건조열원을 생산하는 멀티보일러를 적용한 음식물쓰레기 건조사료화 시스템)는 건조사료화부(200), 열원공급부(300) 및 저장처리부(400)를 포함하며, 열원공급부(300)는 에너지 절감과 환경성 향상을 위한 공정으로, 건조사료화부(200)로부터 전달된 응축 건조가스를 이용해 열교환 후 열교환시 발생한 스팀을 소요처로 공급한다.

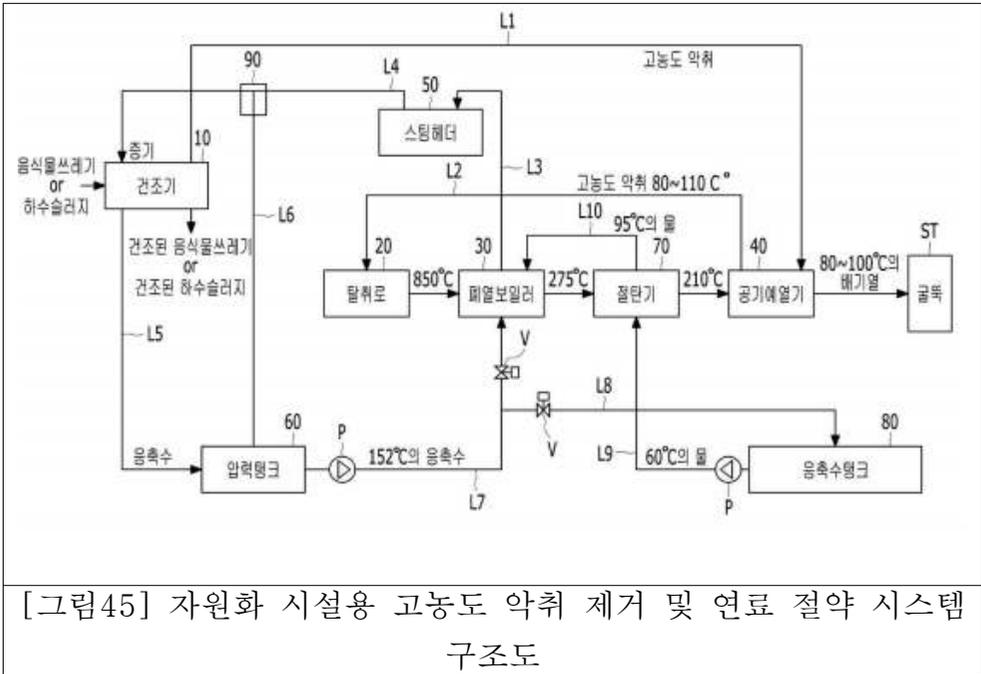


[그림44] 기존의 악취제거 및 연료 절약 시스템 구조도

그러나, [그림44]와 같이 이러한 종래의 상기 3단계 고액분리와 저에너지형 음식물폐기물전용 패들건조기 및 악취처리와 건조열원을 생산하는 멀티보일러를 적용한 음식물쓰레기 건조사료화 시스템은 건조가스가 보일러로 직접 투입되기 때문에 대용량의 보일러를 사용하여 초기 투자 비용과 연료 소비가 증대되고, 보일러 내부를 주기적으로 청소해야만 하나 실제 청소가 어렵기 때문에 유지 관리가 어려운 문제점이 있다. 또한, 건조기의 건조가스가 냉각수에 의해 응축되어 응축수는 폐수 저장조에 저장되고, 냉각된 건조가스가 보일러로 공급되기 때문에 에너지를 회수하지 못하는 문제점이 있다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림45])

- 건조기 : 외부에서 공급되는 증기를 통해 음식물 쓰레기 또는 하수 슬러지를 건조하여 배출
- 탈취로 : 연료를 연소시켜 발생하는 고열로 외부에서 공급되는 악취 증기를 탈취
- 폐열 보일러 : 탈취로에서 배출되는 고온의 배기열로 증기를 생성
- 공기 예열기 : 폐열 보일러에서 배출되는 배기열로 건조기에서 악취 배출 배관을 통해 배출되는 악취 증기를 예열시켜 악취 공급 배관을 통해 탈취로로 공급하고, 배기열를 굴뚝으로 배출
- 스팀 헤더 : 폐열 보일러에서 제 1스팀 배관을 배출되는 증기를 제 2스팀 배관을 통해 건조기로 공급
- 압력 탱크 : 건조기에서 응축수 배관을 통해 배출되는 응축수를 저장하고, 재증발 스팀을 배관을 통해 상기 제 2스팀 배관으로 공급하여 상기 건조기로 재투입하고, 응축수를 응축수 리턴 배관을 통해 상기 폐열 보일러로 배출



ㄴ. 기대효과

음식물 쓰레기 또는 하수 슬러지를 건조시키는 건조기의 고농도 약취를 공기 예열기가 폐열 보일러에서 배출되는 폐열을 이용하여 예열시킨 다음 탈취로로 공급하여 소모되는 연료량을 줄일 수 있다. 또한, 건조기에서 배출되는 응축수를 응축수 트랩을 통해 배출하지 않고, 모두 압력 탱크에 저장해서 재증발되는 스팀을 건조기로 재투입시키며, 압력 탱크의 고온의 응축수를 보일러로 직접 공급하거나 응축수 탱크에 저장한 후 절탄기를 통해 폐열 보일러로 공급하여 에너지를 절감할 수 있다.

④ 폐 음식물, 오니, 하수 슬러지 및 가축분뇨 처리방법

기술의명칭	폐 음식물, 오니, 하수 슬러지 및 가축분뇨 처리방법
등록특허	제10-1703390호
목적	· 음식물쓰레기를 연료로 사용할 수 있게 하는 방법을 제공하여 음식물 처리 비용을 절감하고 음식물 처리를 효과적으로 수행할 수 있게 하는 방법을 제공

현재까지 개발된 음식 폐기물 또는 오니 및 하수슬러지 처리 방법으로는 연료, 비료, 매탄가스화 등으로 구분하고 있으나 확실한 결과와 효과에 대해 대체로 회의적으로 인식하고 있는 게 사실이며, 국내 하루 발생량도 15,000톤 이상의 많은 양이 배출되고 있는 실정이나 이를 완벽하게 처리할 수 있는 기술이 없는 상태이다. 결국, 지금까지 음식물 폐기물의 처리방법은 건조공정과 규격화를 거친 후 사료 비료 등에 한정적 사용하여 왔다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식

음식 부산물 연료화 공정의 신재생 연료로 공해 발생 없이 연소할 수 있는 가스화장치 구조를 이용, 발생된 유기성 가스를 연소하여 얻는 열 발생과 그 열을 이용하여 각종 폐수를 어떠한 화학적 폐수처리 없이 제올라이트를 포함하는 광물질을 이용하여 오폐수를 건조 처리하는 공법을 특징으로 한다.

- 악취 제거 : 폐 음식물, 오니, 하수 슬러지 및 가축 분뇨를 포함하는 유기성 폐기물을 열처리 소독
- 제올라이트 혼합 : 악취가 제거된 유기성 폐기물에 제올라이트를 혼합하여 유기성 폐기물의 수분이 제올라이트에 흡수되어 유기성

폐기물의 함수율을 낮춤

- 건조 : 유기성 폐기물과 제올라이트의 혼합물 건조
- 제올라이트 분리 : 건조된 유기성 폐기물과 제올라이트를 분리
- 분체화 : 분리된 제올라이트는 재사용하고, 유기성 폐기물은 분쇄하여 분체화
- 가스 생성 : 건조 분체화 된 유기성 폐기물을 유기성 가스 발생기 내부에 저장한 후, 유기성 기체를 발생시키는 가스 발생기에 의해 상기 건조된 유기성 폐기물을 열분해 값의 온도로 가열하여 가스를 발생
- 연소 : 생성된 가스를 가스연소장치로 연소하여 필요 열량을 얻음

ㄴ. 기대효과

음식물 쓰레기를 기체연료로 사용할 수 있는 규격 및 조건을 갖춘 신 재생에너지로 생산하고, 이에 맞는 연소와 열화로 구조로 연소시켜 발생된 열을 이용하는 에너지 회수 설비인 건조기, 보일러, 연료 제조 등에 에너지를 공급하도록 하는 구조를 갖추고 연속공정으로 음식물 처리 양의 제한을 받지 않고 처리할 수 있다.

2) 폐기물 탈수 / 건조 공정 및 설비기술

① 전기식 탈수기를 이용한 하수 슬러지 퇴비화 설비

기술의명칭	전기식 탈수기를 이용한 하수 슬러지 퇴비화 설비
등록특허	제10-1750062호
목적	· 하수처리장에서 발생된 하수 슬러지를 퇴비로 재 활용할 수 있는 전기식 탈수기

하수처리장에서는 일상생활에서 발생하는 오폐수 및 음식물 쓰레

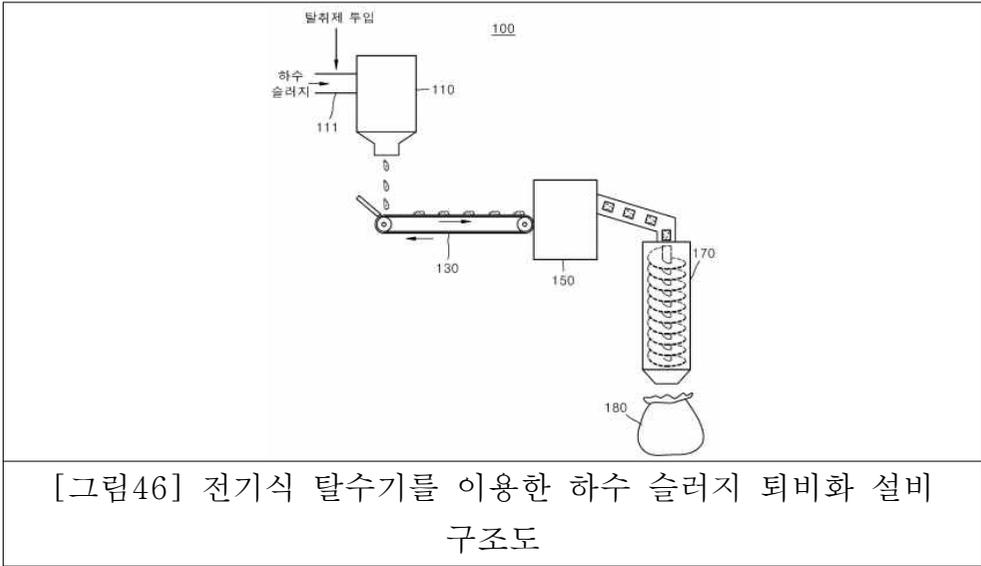
기 등을 처리하고, 물리화학적인 방법과 생물학적인 방법을 병행하여 처리하고 있다. 이로 인해 부산물인 하수 슬러지가 필연적으로 발생한다. 하수 슬러지는 하수처리 과정에서 발생하는 액상 부유물질의 총칭으로서, 하수처리장에서 유입된 하수가 1차침전조에서 체류하면서 중력에 의해 가라앉은 생슬러지와 생물학적 처리를 거쳐서 2차침전조에서 분리된 잉여슬러지, 반속슬러지, 농축슬러지 및 소화슬러지 등이 포함된다.

이러한 하수 슬러지는 질소, 인, 유기물 등과 같은 비료성분을 풍부하게 함유하고 있어 식물 성장에 유용한 원소를 제공할 수 있기에 매우 유용한 자원이 될 수 있으며, 퇴비화된 하수슬러지는 작물에 영양물질을 공급하고, 토양의 비옥도를 증진시키며 물리화학적 성질을 개선할 수 있다.

선진국에서는 폐기물이 아닌 자원 개념으로서 '바이오 솔리드(Bio-solid)'로 개칭하고 재활용을 위한 연구가 이루어지고 있다. 미국의 경우, 실제로 바이오 솔리드를 토양에 투입하기 위한 제도적인 장치를 마련하였으며 농업적으로 활발히 사용하고 있다. 일본과 EU에서도 30 내지 50% 이상의 수준으로 하수 슬러지를 농경지에 재이용하고 있다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림46])

- 1차 탈수기 : 하수 슬러지를 공급받아 하수 슬러지의 함수율이 제 1 설정 함수율이 되도록 탈수
- 컨베이어 벨트 : 1차 탈수기에서 탈수된 상기 하수 슬러지를 운반
- 2차 탈수기 : 컨베이어 벨트와 연결되어 있으며, 유입되는 하수 슬러지의 함수율이 제 2 설정 함수율이 되도록 전기식으로 탈수
- 분쇄수단 : 2차 탈수기와 연결되며, 2차 탈수기에서 토출되는 하수 슬러지가 유입되면 분쇄하여 발효시키는 건조용 포대로 이송



ㄴ. 기대효과

각종 유기물을 포함하고 있는 하수 슬러지를 탈수 후 건조시켜 퇴비로 생산함으로써, 하수 슬러지에 의한 환경오염을 방지한다. 또한, 하수 슬러지로 생산된 퇴비는 토지의 지력 향상 및 농작물, 수목, 화초 등에 자연친화적이며, 토양미생물을 증식시켜 토양개량 효과도 기대할 수 있다.

제어부를 더 포함시킴으로써, 탈수된 하수 슬러지의 함수율에 따라 하수 슬러지 퇴비화 설비의 제어로직을 조절하여 하수 슬러지의 탈수 효과를 향상시킨다. 특히, 탈수된 하수 슬러지의 함수율을 실시간 체크할 수 있어 하수 슬러지 퇴비화 설비가 과잉 가동되는 것을 방지하여 설비운영 비용 절감 및 하수 슬러지의 퇴비화 효율도 향상시키는 효과를 기대할 수 있다.

② 유기성 폐기물 처리 시스템

기술의명칭	유기성 폐기물 처리 시스템
등록특허	제10-1698296호
목적	· 유기성 폐기물에 함유된 수분을 제거하고, 폐기물을 처리하는 과정에서 이용되는 에너지 소모량을 최소화하여 유기성 폐기물 처리 시스템의 효율성을 극대화하고자 함

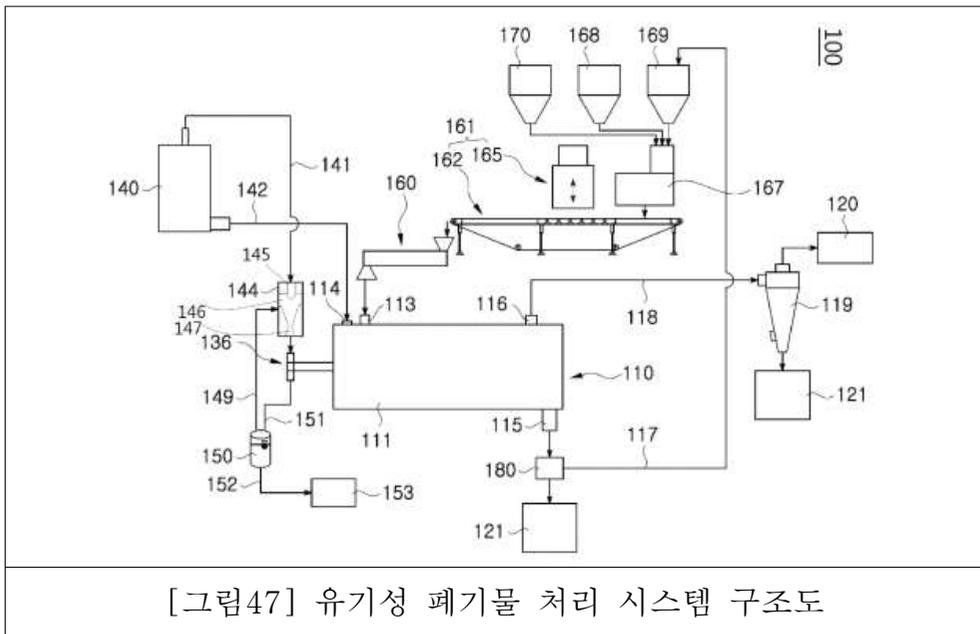
음식물 쓰레기, 축산 분뇨, 인분, 농수산물 가공공정에서 배출되는 폐기물, 식품 가공공정에서 배출되는 폐기물, 도축공장에서 배출되는 폐기물 등을 유기성 폐기물이라고 한다. 이러한 유기성 폐기물은 수분 함유율이 높으면서 배출되는 오염 물질의 농도가 높아 처리가 쉽지 않고, 소각, 매립, 퇴비화, 사료화 등의 방법으로 처리되는 실정이다.

소각을 통해 상기와 같은 폐기물을 처리하는 경우, 막대한 연료 비용이 소요될 수 있고, 소각 시 발생하는 분진이나 다이옥신 등의 소각 잔재물이 2차적인 환경오염을 야기시키는 문제가 있다. 그리고 매립의 경우, 매립 부지의 확보가 어렵고, 폐기물에서 발생된 침출수에 의해 주변 토양 및 하천이 오염되는 문제가 있어 수분 함유율이 높은 유기성 폐기물을 처리할 수 있는 시스템에 관한 기술이 개발되었다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림47])

- 투입부 : 폐기물 투입
- 건조기 : 건조실에 공기를 공급하는 공기 공급부 및 건조실에서 건조된 폐기물을 배출부를 포함하고, 투입된 폐기물을 건조

- 스팀보일러 : 스팀을 생성하여 건조기에 공급
- 응축수 탱크 : 건조기에서 생성된 응축수를 저장
- 압축 탈수기 : 건조기에 공급되는 폐기물을 압축하여 폐기물의 수분을 저장
- 폐기물 공급기 : 압축 탈수기에서 탈수된 폐기물을 투입부를 통해 건조기에 공급
- 폐기물 저장 호퍼 : 건조 대상 폐기물 저장
- 혼합기 : 폐기물 저장 호퍼의 폐기물과 부형 저장 호퍼의 부형제를 제공받아 이들을 혼합하여 압축 탈수기에 공급
- 선별기 : 건조기의 건조 폐기물 배출부에서 배출된 건조 폐기물을 공급받아 건조 폐기물에서 부형제를 선별



ㄴ. 기대효과

유기성 폐기물에 함유된 수분을 효과적으로 제거할 수 있고, 사

용되는 부형제를 선별하여 재사용함으로써 소요되는 부형제의 양을 줄일 수 있으며, 전체적으로 에너지 소모를 최소화하면서 유기성 폐기물을 효율적으로 처리할 수 있는 효과가 있다.

③ 자생 그레놀을 이용한 슬러지 건조장치 및 그 건조방법

기술의명칭	자생 그레놀을 이용한 슬러지 건조장치 및 그 건조방법
등록특허	제10-1736191호
목적	<ul style="list-style-type: none"> · 통상의 슬러지 건조에서 주된 해결과제인 글루존 (Glue Zone) 문제 해결 · 저온(45~95℃) 건조로 폭발 및 화재 위험 제거 · 80wt% 이상의 함수율을 갖는 습(濕)슬러지를 함수율 조절(건슬러지와 혼합) 없이 직투입하는 것이 가능 하도록함

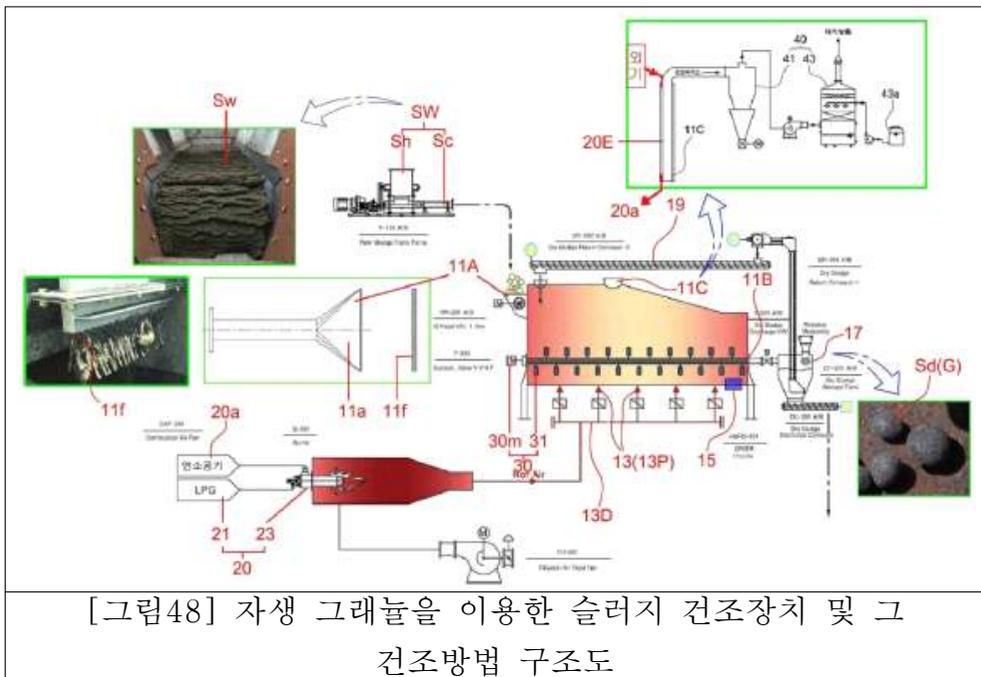
기존의 슬러지 건조설비는 과대한 열원(중유, 등유, LPG, LNG 등)을 필요로 하므로 경제적인 측면에서 운영비가 과대하며, 환경적인 측면에서 세계적인 화석연료사용 규제 추세에도 역행하고 있다. 또한 열원에 의한 건조로 심한 악취의 발생과 대기오염물질의 방출로 심각한 민원이 발생하고 발열량도 감소되는 등의 문제가 있어 보다 높은 에너지 효율성을 갖는 건조 방안을 제시한다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림48])

통상 80wt% 이상의 함수율을 갖는 습(濕)슬러지를 함수율 조절(건슬러지와 혼합) 없이 직투입하는 것이 가능하도록 건조드럼에 내장된 축열매디아(heat storage media)인 그레놀을 달성하게 한다. 특히 건(乾)슬러지인 자생 그레놀이 열원에 의하여 예열되어 극대화된 전열면적을 제공하여 습슬러지의 빠른 건조를 보장하면서

건조드럼에 내장된 그레놀머신의 패들이 슬러지의 그레놀레이션을 달성한다.

축열메디아인 그레놀에 의한 직접 제1건조, 열원(예: 열풍)에 의한 직접 제2건조, 건조드럼 및 열풍 안내로 벽체의 열기에 의한 간접 제3건조를 통하여 열효율을 획기적으로 높이고 그만큼 신속하고 완벽한 건조(함수율1~15wt%)가 가능한 슬러지 건조장치 및 건조방법이다.



나. 기대효과

열원(예: 열풍), 축열메디아(heat storage media)인 자생 그레놀 (granule) 및 그레놀머신의 타격 성형기를 구성하는 패들(paddle) 을 통하여 슬러지 건조에서 심각한 문제 중 하나인 글루존(Glue

Zone) 문제를 해결한다.

저온(45~95℃) 건조로 폭발 및 화재위험이 없으며, 통상 80wt% 이상의 함수율을 갖는 습(濕)슬러지를 함수율 조절(건슬러지와 혼합) 없이 직투입하는 것이 가능하다.

건조드럼에 내장된 축열메디아인 그레놀이 열원에 의하여 예열되어 일종의 유동체가 되어 외주면 전체가 극대화된 전열(傳熱)면적을 제공하여 습(濕)슬러지의 빠른 건조가 이루어진다.

저온(45~95℃) 건조 방식을 취하므로 그만큼 악취발생량이 획기적으로 줄일 수 있고, 배가스 온도 역시 50~60℃ 정도로 탈취를 위한 전처리설비가 불필요하며, 그레놀화(granulation) 건(乾)슬러지 배출 외에 미분(먼지)형 건조물을 집진설비를 이용하여 포집하고, 그레놀화 건(乾)슬러지 그대로 보조연료로 납품하는 것이 가능하여 별도의 선별기가 불필요하며, 또한 후단 집진설비가 불필요하여 관련 부하가 그만큼 감소한다.

습(濕)슬러지를 함수율 조절(건슬러지와 혼합) 없이 직투입하는 만큼 컨베이어벨트, 혼합기 등의 전처리설비가 불필요하여 설비비, 운전비 등을 절약할 수 있고 혼합기 마모에 따른 교체나 유지보수 비용이 획기적으로 절감된다.

④ 건조장치

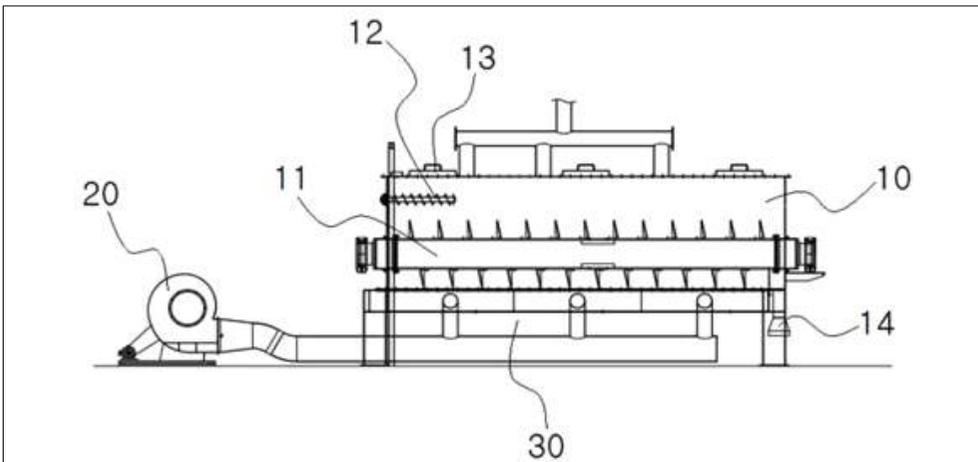
기술의명칭	건조장치
등록특허	제10-1780983호
목적	· 함수율이 높은 상태의 초기 슬러지를 효과적으로 하류로 이송하면서 분쇄하며, 건조열가스와의 접촉효율을 증가시켜 건조효율을 개선

- 이송력이 우수하고 점착성인 슬러지의 달라붙음이 방지되는 구조를 가진 스크루 세트가 적용된 건조장치를 제공
- 열풍건조와 열전도건조가 동시에 일어나도록 하여 건조효율을 개선

열풍건조방식의 스크루식 슬러지 건조장치인 기술은 철강, 화공, 농업분야에서 또는 가정이나 축사 등에서 발생하는 슬러지와 같은 고함수율 재료를 단시간에 대량으로 건조하여 처리할 수 있다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림49])

전단에 투입구와 후단에 배출구를 가지는 건조실, 건조실 내에 종방향으로 설치된 스크루, 건조실로 건조열풍을 공급하는 건조열풍공급부의 구조를 갖추며, 스크루 날개부의 일부 또는 전부는 날개단과 공동부가 반복적으로 형성된 분절형이며, 날개부의 피치간격이 전단에서 후단으로 갈수록 좁아지는 부등피치형인, 건조장치인 것을 특징으로 한다.



[그림49] 건조장치 구조도

ㄴ. 기대효과

분절형이면서 피치간격이 변하는 부등피치형인 스크루에 의해 피건조물이 건조실 전단에 정체/적층되지 않고 빠르게 이동됨과 동시에 반복적으로 파쇄되면서 그 사이로 건조열이 쉽게 전달되어 수분의 증발이 효과적으로 일어나기 때문에 대량의 고풍수 폐기물(슬러지)을 빠른 시간 내에 건조시킬 수 있게 된다.

또한 본 기술에 의하면 피건조물이 스크루에 달라붙거나 멎치지 않고 파쇄·교반되면서 효과적으로 열에너지가 피건조물로 전달되어 수분이 증발함과 동시에 피건조물이 이송된다. 즉, 피건조물의 파쇄·교반·이송 효과에 우수한 장점이 있다.

- ⑤ 블레이드가 내부에 장착된 향아리 드럼타입의 슬러지 감량화 장치 및 향아리 드럼타입의 슬러지 감량화 장치를 이용한 하·폐수 탈수슬러지의 감량화 방법

기술의명칭	블레이드가 내부에 장착된 향아리 드럼타입의 슬러지 감량화 장치 및 향아리 드럼타입의 슬러지 감량화 장치를 이용한 하·폐수 탈수슬러지의 감량화 방법
등록특허	제10-1780266호
목적	<ul style="list-style-type: none"> 탈수슬러지의 중량부하에도 효율적으로 혼합·교반하여 함수율 30% 이내로 처리하여 슬러지 처리 비용을 절감 탈수슬러지의 형태에 따라 다양한 대처가 어려운 종래의 처리기술 개선

사업장에서 발생하는 하·폐수오니는 기계적 탈수를 거치며, 탈수된 슬러지는 80~85%정도의 함수율을 가진다. 이를 매립 또는 소각 등으로 처리하며 폐기물처리단가는 고단가로 많은 비용을 들여 처리를 하고 있다. 이에 함수율 80~85%정도의 탈수슬러지를 함수율 30%이하로 감량화할 경우 그 부피는 71~64%로 감소되고 폐기물처리단가도 71~64% 절감하게 되므로 탈수슬러지를 감량화하는 것이 폐기물 처리비용을 대폭 줄일 수 있고, 또한 폐기물매립장도 줄어든 부피만큼의 사용연수를 늘릴 수 있게 된다.

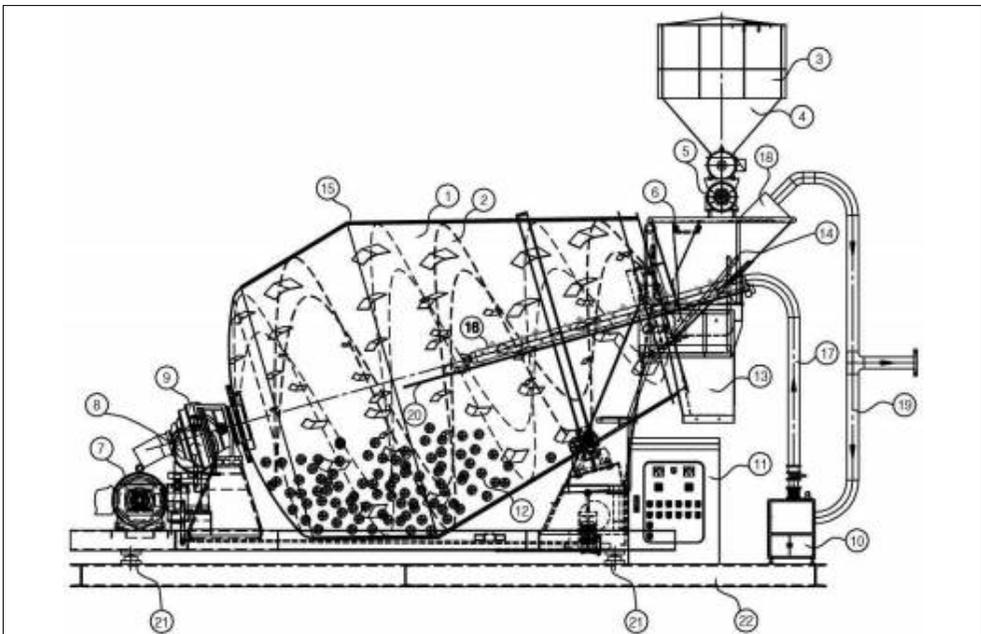
탈수슬러지의 함수율을 감소시키기 위해 현재 폐기물 발효장치 및 유사장치 등이 개발되어 사용 중에 있으나 원통형 내부에 임펠러가 부착된 주축의 교반에 의해 탈수슬러지를 혼합하는 구조로 되어 있어 원통형 하부는 중력에 의해 탈수슬러지가 하부에 집중되어 회전부하에 의해 잦은 고장이나 파손되는 경우가 많이 있고, 하부에 집중된 슬러지의 혐기화로 인한 부패로 탈수슬러지 발효장치는 요구하는 효율을 제대로 발휘하지 못하는 경우가 많다.

따라서 탈수슬러지의 중량부하에도 효율적으로 혼합·교반하여 24시간 이내에 함수율을 30% 이내로 처리할 수 있고 내부 일정온도 유지에 필요한 에너지를 줄일 수 있으며 함수율 감소로 인한 슬러지 부피를 줄임으로 슬러지 처리 비용을 절감할 수 있는 발효조건 감량장치의 개발이 필요하다. 또한 종래 하·폐수처리장에서 발생하는 탈수슬러지 감량화 방법은 일정 탈수슬러지의 종류에 한정되어 있어 탈수슬러지의 형태에 따라 다양한 대처가 어려우며, 효율도 떨어지는 등의 단점이 있어, 이를 개선하기 위한 기술이 요구된다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림50])

본 기술 장치는 내부공간이 형성되어 있되, 상단이 기울어지게

형성되어 있는 드럼본체, 드럼본체의 내측면에 나선형으로 장착되어 있는 블레이드, 기울어져 있는 드럼본체의 상단에 슬러지 및 고온발효미생물이 투입되는 투입구, 기울어져 있는 드럼본체의 상단부 측 하부 측면에 드럼본체 내에서 감량화된 슬러지를 외부로 배출하는 배출슈트, 드럼본체의 외부에 드럼본체를 회전시키도록 설치되어 있는 구동모터로 구성되어 있다. 또한, 블레이드에는 드럼본체의 회전에 의해 드럼본체의 내부에서 감량화된 슬러지가 블레이드를 따라 외부로 배출될 수 있도록 블레이드의 일면에 직교하는 방향으로 장착된 복수 개의 버킷이 서로 일정간격 이격되어 배열되어 있는 것이 특징이다.



[그림50] 블레이드가 내부에 장착된 향아리 드럼타입의 슬러지 감량화 장치 및 향아리드럼타입의 슬러지 감량화 장치를 이용한 하·폐수 탈수슬러지의 감량화 방법 구조도

ㄴ. 기대효과

발효건조감량을 촉진하기 위한 고온발효미생물(TY-EM) 및 팽화제 역할을 하는 세라믹 볼을 투입하여 온도와 산소의 원활한 공급으로 탈수슬러지의 감량화를 더욱 촉진시킬 수 있으며, 항아리형 드럼본체 내부의 고온열과 수분은 열풍기에 장착된 송풍기의 주입 공기압과 대류현상에 의해 항아리형 드럼본체 상부로 모아진 고온 열과 수분은 다시 열풍기로 회수하여 재사용함으로써 에너지를 절약할 수 있다.

3) 고품폐기물의 가스화 기술

일반적으로, 가스화 기술은 탄화수소로 구성된 연료에 부분산화열을 이용하여, 연료 중 탄소 흡열 반응을 통해 CO와 H₂가 함유된 합성가스를 생산하는 기술이다. 이러한 가스화 기술을 적용한 가스화 장치는 연료나 산화제 종류와 사용 목적에 따라 다양하게 개발되고 있다.

① 폐기물을 이용한 연료 저감형 합성가스 생산 시스템

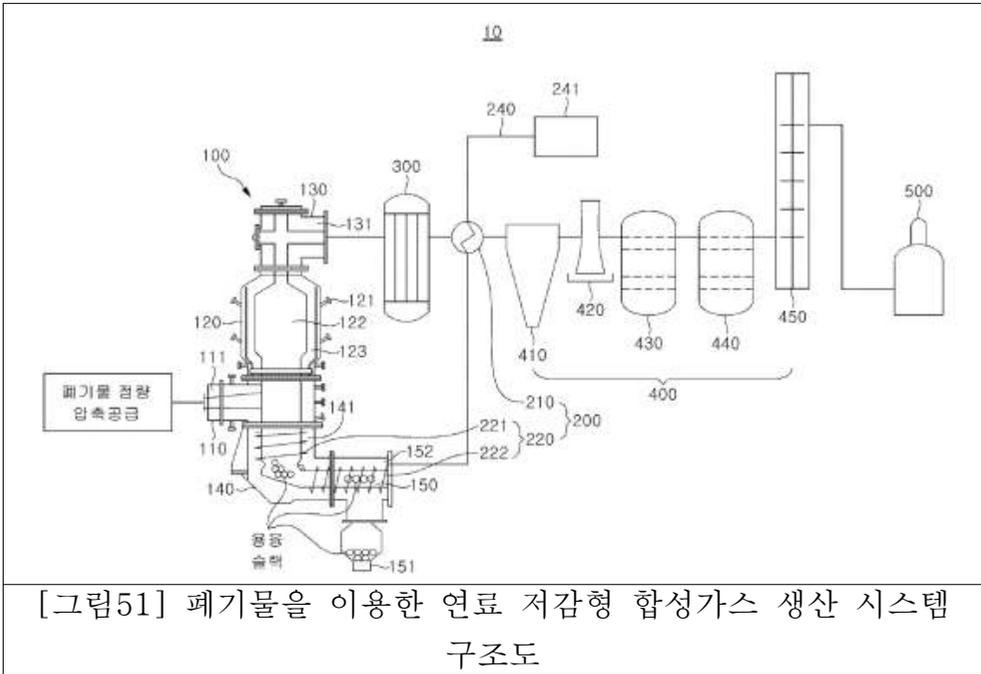
기술의명칭	폐기물을 이용한 연료 저감형 합성가스 생산 시스템
등록특허	제10-1705094호
목적	· 산화제를 가스화 용융로에서 발생하는 고온의 합성가스와 열교환하여 예열하고 가스화 용융로에 투입되는 보조연료의 양을 줄이고자 함

가스화를 위한 산화제 공급을 위해서 기존에는 보일러 후단에서 예열하여 200~300℃ 온도로 산소를 공급하였으나, 이는 가스화를 위한 온도에 미치지 못함으로 보조연료의 양을 많이 투입하여야 하

는 문제점이 있었다. 또한 산화제를 예열하기 위해 고온의 합성가스를 예열관에 직접 접촉을 할 경우 고온 부식의 문제점이 발생하였다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림51])

- 가스화 용융로 : 폐기물을 공급받아 가스화에 의해 합성가스와 슬랙을 생성하여 배출
- 산화제 : 가스화 용융로에 공급됨
- 산화제 예열부 : 산화제 예열
- 폐열회수 보일러 : 가스화 용융로로부터 배출되는 합성가스의 폐열을 회수
- 정제설비 : 폐열회수 보일러로부터 배출되는 합성가스를 정제
- (정제설비) 급속냉각탑 : 가스화 용융로에서 배출되는 합성가스를 급속 냉각
- (정제설비) 분진세정탑 : 급속냉각탑에서 냉각된 합성가스의 입자상 오염물질을 제거
- (정제설비) 중화세정탑 : 분진세정탑에서 배출되는 합성가스를 탈염
- (정제설비) 탈황세정탑 : 중화세정탑에서 배출되는 합성가스를 탈황
- (정제설비) 습식 전기 집진기 : 탈황세정탑에서 배출되는 합성가스의 입자상 오염물질을 제거



ㄴ. 기대효과

산화제를 가스화 용융로에서 발생하는 고온의 합성가스와의 열교환하여 예열함으로써 예열을 위한 추가 연료원이 필요없으며, 가스화 용융로에 투입되는 보조연료의 양을 줄이는 효과가 있다. 또한, 가스화 용융로 내화물 내부에 예열관을 마련함으로써 고온의 합성가스가 예열관에 직접 접촉되지 않으므로 예열관의 내구성이 높아지는 효과가 있다.

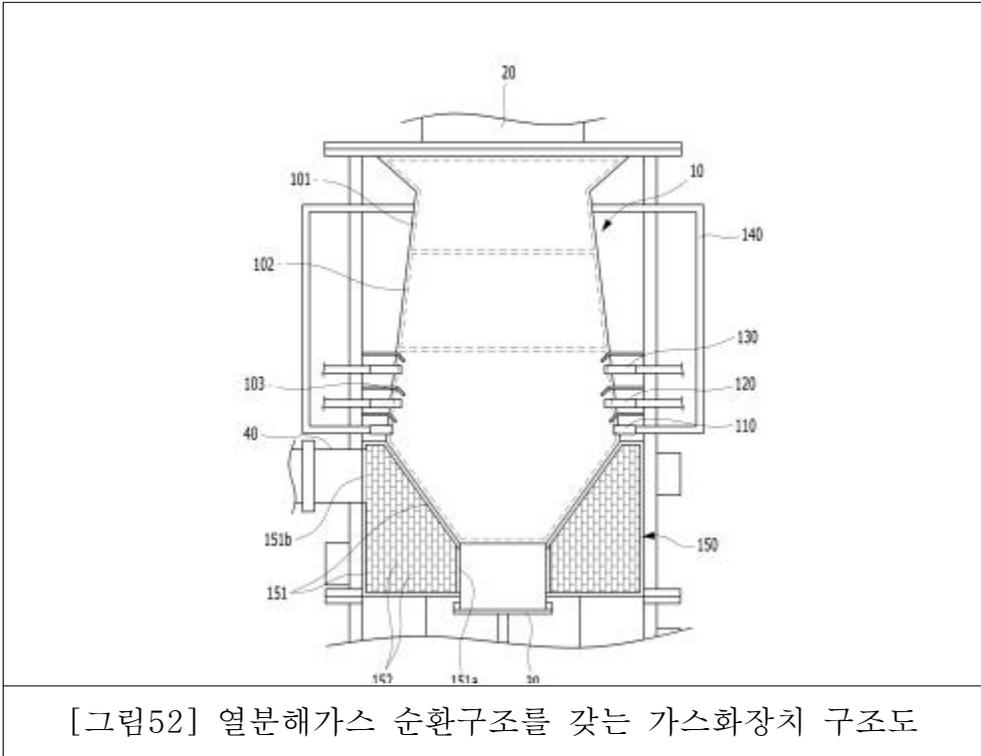
② 열분해가스 순환구조를 갖는 가스화장치

기술의명칭	열분해가스 순환구조를 갖는 가스화장치
등록특허	제10-1704767호
목적	· 생산공정을 보다 효율적으로 개선하여 합성가스 생산이 용이하도록 함

가스화 기술은 탄소물질이 함유된 폐기물 등을 화학 반응을 통해 처리하고 가연성의 생산물(합성가스/syngas)을 얻는 기술이다. 가스화 기술은 폐기물 등을 연료로 사용하여 열 반응 시키는 기술로 특정 반응조건을 유지하는 가스화(gasification) 공정을 통해 연료의 완전 연소를 막고 추가적인 화학반응을 유도한다. 이를 통해 유용한 에너지원인 합성가스를 얻을 수 있으나, 가스화 공정을 원활히 진행하기 위해서는 장치 내부에 특정 반응물질을 적절히 공급해 주어야 하는바 이러한 반응물질의 공급이 효율적으로 이루어지지 못하여 합성가스의 생산성이 감소하거나 순도가 떨어지는 등의 문제가 있었다. 또한, 최적 반응조건을 유지하기 위해 온도를 일정 온도로 조절하고 유지해야 하나 종래 반응온도의 조절 및 유지가 쉽지 않은 문제가 있다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림52])

탄소물질이 포함된 연료가 건조되는 제1영역, 건조된 연료가 탄화되는 제2영역, 연료의 탄소성분과 공급된 반응물질이 열에 의해 산화 및 환원 반응하여 수소, 및 일산화탄소를 포함하는 합성가스를 생성하는 제3영역을 내부에 포함하는 반응로, 반응로 상부에 형성된 연료투입부, 반응로 하부에 형성된 연료찌꺼기배출부, 반응로에서 생성된 합성가스를 반응로 외부로 배출하는 가스배출관, 반응로 내부의 제3영역에 배치되어 반응로로 수분을 포함하는 열분해가스를 공급하는 제1노즐 및 제1노즐과 제1영역 또는 제2영역을 연결하여 제1영역 또는 제2영역의 수분을 포함하는 열분해가스를 제1노즐로 제공하는 순환관을 포함한다.



ㄴ. 기대효과

반응조건을 유지하기 위한 반응물질을 장치 내부에 보다 효율적으로 공급할 수 있다. 특히, 열분해 가스 순환구조를 이용하여 장치 내에서 반응물질을 효율적으로 공급할 수 있으며, 반응장치 내부온도를 공정에 필요한 적정온도로 매우 편리하고 안정적으로 유지할 수 있고, 간단한 방식으로 장치 내 반응을 촉진할 수 있어 가스화공정이 매우 효과적으로 진행된다. 따라서, 합성가스의 생산성을 높일 수 있으며 보다 순도 높은 합성가스를 제조하는 것이 가능하다.

③ 모듈식 가스화장치

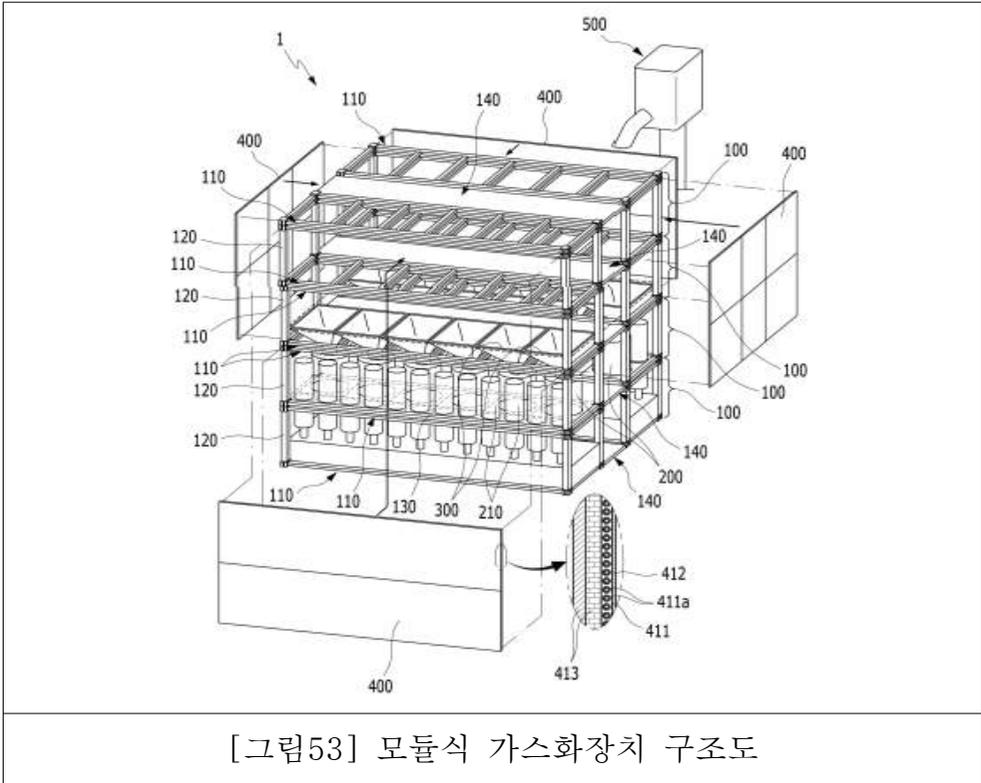
기술의명칭	모듈식 가스화장치
등록특허	제10-1704767호
목적	· 보다 손쉽게 설치하여 효율적으로 사용 가능한 모듈식 가스화 장치 제공

폐기물 등을 활용하여 가용 에너지를 생산하는 가스화 장치는 대개 반응로 등을 포함하는 대형화된 설비로 형성된다. 가스화 장치는 반응로, 반응로에 연결된 각종 구조물, 연료를 투입하기 위한 구조물 등이 복잡하게 연결된 구조를 포함하며 이를 지지하기 위한 지지구조 등도 포함한다. 따라서 종래 이를 손쉽게 설치하여 사용하기는 어려웠다. 즉, 폐기물 등을 재활용하고자 하는 다양한 요구가 있음에도 불구하고 설치조건이나 제작여건 등이 조금이라도 맞지 않는 경우 가스화 장치를 설치하여 적용하기 어려운 문제가 있었다. 부지를 확보하기 어렵거나 복잡한 구조로 인해 장시간 공사기간이 소모되는 등 가스화 장치를 쉽게 적용하기 어려워 활용 가능한 연료 등이 그대로 폐기되기도 하였다.

1. 구조 및 처리 방식([그림53])

동일 평면상에 배치되며 적어도 일부는 직사각형의 네 변을 이루는 복수 개의 연결바와, 연결바의 사이를 연결하며 직사각형의 모서리부분에 배치되는 내부에 공간이 형성된 6면체의 블록으로 이루어지며, 일 면에는 요철결합부가 형성되고 반대편 타 면에는 장홈이 형성된 복수 개의 모서리블록을 포함하는 한 쌍의 수평프레임, 및 양 단이 각각 요철결합부와 결합하여 한 쌍의 수평프레임 사이를 연결하는 수직프레임을 포함하는 적어도 하나의 프레임모듈 및 프레임모듈의 내측에 배치되며 탄소물질을 포함하는 연료를 열반응

시켜 수소와 일산화탄소를 함유하는 합성가스를 생성하는 반응로를 포함한다.



ㄴ. 기대효과

가스화장치를 매우 손쉽게 설치하여 사용할 수 있다. 가스화장치를 모듈 형식으로 구성하여 보다 편리하게 설치지점까지 운반할 수 있고, 설치지점에서 모듈화된 구성품을 결합하여 단시간에 견고히 가스화장치를 구현할 수 있다. 또한, 모듈화된 구성품을 다양한 방식으로 결합하고 연결하여 가스화장치를 용이하게 확장할 수 있으며 설치장소에 알맞게 변형할 수 있다. 이를 통해 종래 적용이 어려웠던 다양한 장소에 본 발명의 가스화장치를 손쉽게 적용하여 폐

기물 등의 연료로부터 에너지를 재생산하는 것이 가능하다.

④ 전자파 고온 복합 가스화 장치와 방법

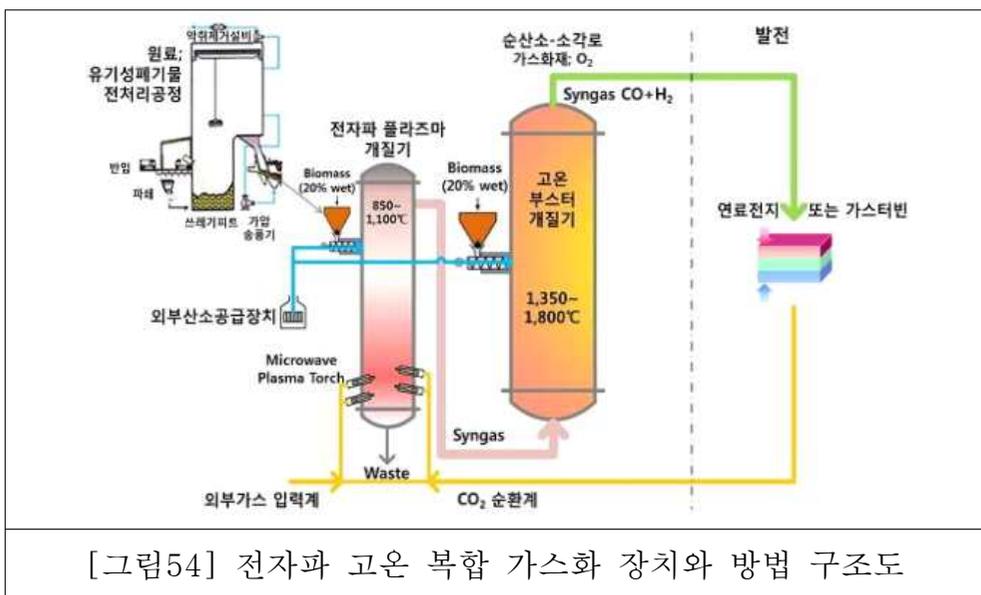
기술의명칭	전자파 고온 복합 가스화 장치와 방법
등록특허	제10-1697291호
목적	· 전자파 토치를 이용하여 탄화수소 화합물을 효과적으로 개질 하여 고온의 합성가스를 생산하고 생산된 고온가스를 산소와 함께 부스터 가스화기에 주입하여 대량의 유기성 폐기물을 고온에서 가스화하여 대량의 합성가스를 생산하고자 함

폐기물은 공통적으로 탄화수소 화합물로 구성되어 있으며, 적절한 관리와 처리를 하면 고 부가가치의 연료로 변신할 수 있다. 고온의 플라즈마를 이용하여 유기물질을 환경 친화적으로 가스화하려는 종래의 특허 중 전자파 플라즈마토치를 이용한 순수 수증기 토치를 발생하는 장치로 이산화탄소를 재 자원화할 수 있는 단초를 제공하고 유기성 폐기물을 환경친화적으로 처리하여 합성가스를 생산하고 우리에게 필요한 재생 에너지를 제공하게 되었으나, 전자파의 발생과 이의 전달 등에서 나타나는 제한 때문에 현 시점에서는 전자파 토치를 이용한 유기성 폐기물의 대량 가스화는 어려운 실정이다.

이에 전자파 토치를 이용함과 동시에 유기성 폐기물을 대량으로 가스화 할 수 있는 새로운 개질 장치를 확보하여 고온에서 대량으로 유기성 폐기물을 가스화하는 고온 복합 가스화기를 제안하는 기술이다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림54])

- 전자파 공급부 : 전자파 토치 발생에 필요한 전력을 공급
- 전자파 토치장치 : 전자파 공급부로부터 전력을 받아 입력가스에 전자파 플라즈마 토치를 발생
- 탄화수소 공급부 : 개질 할 탄화수소 화합물을 공급
- 전자파 플라즈마 토치 : 탄화수소 화합물 개질에 필요한 고온 열을 공급
- 전자파 플라즈마 개질기 : 공급된 탄화수소를 전자파 토치 열로 개질 하여 개질 가스를 생산
- 고온 부스터 개질기 : 산소공급부에서 제공되는 산소와 함께 전자파 플라즈마 개질기에서 고온의 개질 가스를 받아 탄화수소 공급부로부터 제공되는 탄화수소 화합물을 개질
- 냉각부 : 고온의 개질 가스를 냉각
- 합성가스 배출구 : 개질 가스를 정제하는 정제 장치 및 정제된 합성가스를 연료전지, 발전기 등과 같은 합성가스 응용장치에 제공



ㄴ. 기대효과

전자파 토치를 이용하여 전자파 플라즈마 개질기와 고온 부스터 개질기를 통해서 대량의 유기성 폐기물을 가스화 하여 새로운 재생 에너지를 생산할 수 있으며, 짧은 시간 내에 거의 완벽하게 탄화수소 화합물을 개질하여 합성가스를 생성함으로써 합성가스발생의 효율을 높일 수 있는 장점이 있다.

또한, 자연환경을 훼손하는 생활쓰레기, 음식물쓰레기, 가축오물 등과 같은 각종 환경 오염물질을 환경 친화적으로 처리하여 재자원화 할 수 있으며, 대량으로 생성되는 정제된 합성가스를 여러 분야에 이용할 수 있다. 예를 들어 이 합성가스를 가스엔진이나 연료전지에 주입하여 전기를 생산할 수 있고 생산된 합성가스를 재합성하여 새로운 원료를 생산할 수도 있다.

⑤ 산화반응과 환원반응이 분리되어 일어나도록 하는 환원용버너 및 이를 이용한 합성가스 리사이클링 시스템

기술의명칭	산화반응과 환원반응이 분리되어 일어나도록 하는 환원용버너 및 이를 이용한 합성가스 리사이클링 시스템
등록특허	제10-1604679호
목적	· 서로 격리되지 않은 하나의 공간에서 산화와 환원 반응을 분리하고, 환원반응으로 폐기물을 환원시킴에 따라 2차 처리 없이 순도가 높은 합성가스를 얻을 수 있도록 함

일반적으로 현대 산업에서 사용하는 모든 종류의 산화반응로(연

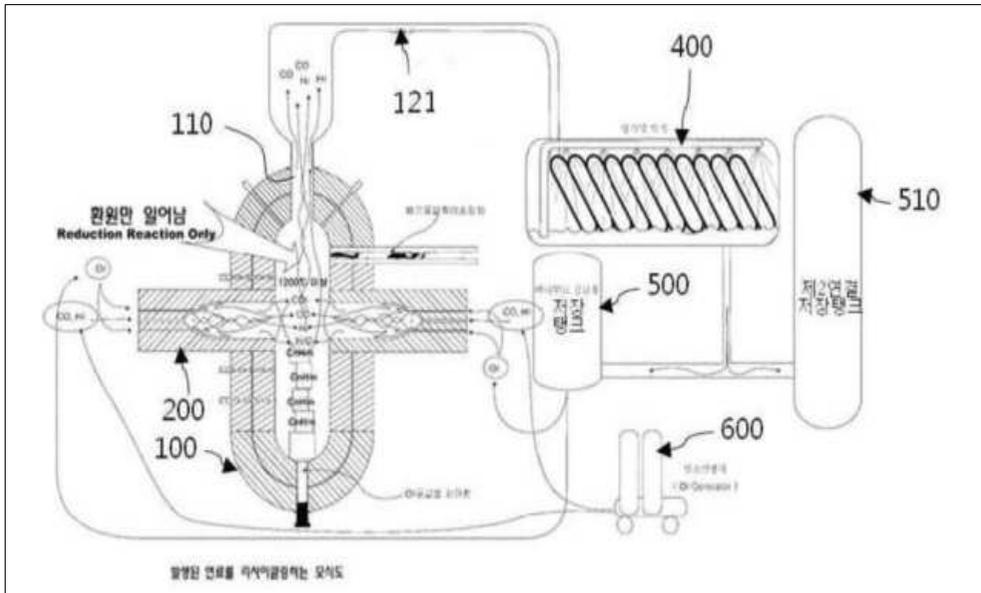
소로)는 1200℃ 이하의 저온 산화 환경에서 견딜 수 있는 단열재와 버너를 주로 사용하고 있으며, 환원에 대한 인식이 부족하여 모든 산업 폐기물 등을 소각로와 같은 연소로에서 불로 태워 부피를 줄이는 산화처리 방법을 채택하고 있다. 그런데, PVC와 같이 염소를 포함한 물질들은 소각 시 인체 유해 물질인 다이옥신이 다량 발생되며, 다이옥신 중 고열제나 제조제에 사용되는 테트라클로르디벤조피디옥신(TCDD)은 1g으로 몸무게가 50kg인 사람 2만명을 죽일 수 있을 정도로 청산가리보다 1,000배나 강한 독성을 가졌다. 고온 1,200℃ 이상에서 다이옥신을 2차 처리한다고 해도 온도가 낮아지면서 다시 생성될 가능성이 높으며, 소각에 있어서 산소가 미치지 않는 내부는 소각이 불가능하고 일부 산소가 미치지 않는 경계점은 낮은 온도로 처리될 수밖에 없는 환경이므로 소각에 있어서 다이옥신 생성을 완전히 막는 것은 불가능하다고 할 수 있다.

이에 따라 석탄가스화복합발전(IGCC) 등의 석탄가스화장치에서는 특정온도(약 1,200℃) 이상에서 환원반응이 일어난다는 사실을 인지하여 이 온도에 도달하기 위해 처리 대상물질인 석탄의 분말형태인 분탄을 하나의 공간에서 산화시키고, 산화반응의 열로 1,200℃ 이상의 고온에 도달하면 산소를 차단하여, 산화하고 남은 분탄이 그 온도에서 환원 반응을 일으키게 하는, 같은 공간 내에서 산화 환원이 혼합해서 일어나는 방법을 이용하고자 한다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림55])

연료공급공과 다수의 산소공급공이 구비된 환원용버너를 반응로의 벽체에 다수 설치하는 환원반응로를 구성할 때, 환원용버너의 헤드 선단에는 환원용버너의 점화 후 연료와 함께 공급되는 산소를 환원용버너 내에서 완전히 없앨 수 있도록 충분한 깊이의 연소실을 형성한다. 즉 공급되는 연료의 산화에 필요한 양보다 산소를 충분

히 적게 공급함으로써 불완전 연소하게 하고, 공급공을 통해 공급되는 산소가 환원용버너 연소실 내부에서 산화(연소)반응으로 완전히 소모될 수 있도록 연소실을 충분히 길게 만들면, 산화반응은 환원용버너 내부에서만 일어난다. 이 환원용버너를 이용해 반응로의 내부를 1,200℃ 이상 가열하면, 반응로 내부에서는 환원용버너에서 나온 복사열과 미 연소된 연료(C, CO, H₂), 환원용버너 내에서 산화에 의해 발생된 H₂O분자나 CO₂분자에 의한 환원 반응만이 일어나게 되어, 산화반응과 환원반응이 분리된 환원용버너에 의한 환원 반응로를 구성할 수 있다.



[그림55] 산화반응과 환원반응이 분리되어 일어나도록 하는 환원용버너 및 이를 이용한 합성가스 리사이클링 시스템 구조도

ㄴ. 기대효과

환원용버너에서 나오는 고온의 수증기($3H_2O$)와 이산화탄소($3CO_2$)가 환원반응하여 합성가스(H_2 와 CO 의 혼합가스)를 생성하고 소석회(CaO)와 환원반응으로 중성염인 염화칼슘($CaCl_2$)를 생성하므로 다이옥신(Dioxin)과 같은 2차 오염 없이 PVC를 효과적으로 처리할 수 있게 된다.

또한 PVC를 포함하는 모든 유기물 폐기물을 2차 화합물이 거의 없는 환원상태로의 처리가 가능하며, 이러한 환원용버너를 석탄가스화 장치에 이용하면 혼합반응로 내에서는 환원반응만 일어나므로 산화로 인한 2차 화합물의 처리가 불필요하고 고농도의 합성가스를 대량으로 얻을 수 있으므로 석탄을 새로운 청정에너지원으로 사용하게 되는 효과가 있다.

특히 산화와 환원이 분리되어 일어나 산화에 의한 독성이 강한 이외의 화합물질(PHAs, Dioxin 등)이 발생하지 않고, 석탄을 비롯한 악성유기화합물 폐기물(폐유, 페타이어, PVC, PCBS, 병원성 쓰레기 등)을 환원반응으로 합성가스(Synthesis gas)로 분해하여 처리할 수 있으며, 청정 합성가스(Synthesis gas)를 얻을 수 있다.

환원용버너가 가동되는 동안 환원이 연속적으로 일어나 청정 합성가스(Synthesis gas)를 멈춤 없이 계속 생산하고, 생성된 가스 일부를 환원용버너에서 재사용하고 나머지는 저장하거나 메탄가스로 만들어 일반 취사 및 난방용으로 사용할 수 있다.

4) 도시고형폐기물(MSW)의 소각에너지 회수기술

① 유기성 폐기물 처리장치와 그 방법

기술의명칭	유기성 폐기물 처리장치와 그 방법
등록특허	제10-1714043호
목적	· 각종 유기성 폐기물과 음식물류 쓰레기 등을 소정의 수증기를 사용하여 밀폐된 공간 내에서 단시간에 효과적이고 대량으로 멸균 처리 또는 (부분)분해 처리(열분해, 가수분해, 분쇄 등) 또는 (부분)탄화 처리를 하여서 재자원화 하고자 함

음식물류 쓰레기, 식품 폐기물, 농·축·수산물의 폐기물, 하수 오니 및 페플라스틱 등의 유기성 폐기물을 밀폐된 압력용기 내에 수용한 후에 압력용기의 외부에서 생성된 소정의 1차 수증기를 도입하여 재가열의 수단을 통해서 소정의 2차 수증기를 생성시키고, 생성된 소정의 2차 수증기를 이용하여 유기성 폐기물의 성상에 알맞게 멸균처리·(부분)분해처리·(부분)탄화처리 등을 거치면서 그로부터 얻게 되는 처리물을 안전하게 재자원화할 수 있도록 한다.

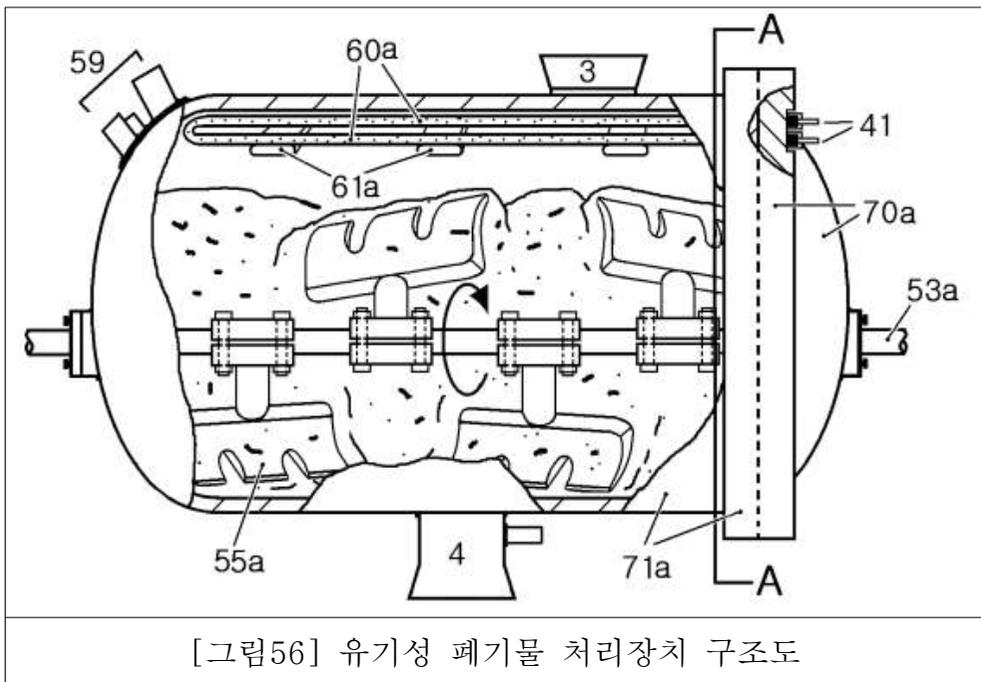
ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림56])

다음의 유기성 폐기물처리 장치는, 소정의 유기성 폐기물이 수용되어 처리되기 위한 압력용기와, 압력용기와 연결된 외부에 1차 포화수증기 생성용 저압 보일러(0.1MP a, 100℃~1.0MP a, 179℃의 포화수증기 생성기)를 설치하거나, 또는 2.0MP a 이하 200~800℃ 정도, 바람직하게는 1.0MP a 이하 200~400℃ 정도의 1차 과열수증기를 생성할 수 있는 과열기를 설치하고, 압력 용기 내부에는 외부에서 생성된 1차 포화수증기 또는 1차 과열수증기를 그대로 재가

열시킨다.

또는 이를 포함하여 압력용기 내부에 수용된 유기성 폐기물에 함유되어 있거나 별도로 준비된 수분을 가열시켜서 1차 포화수증기 또는 1차 과열수증기를 압력용기 내부에 공급할 때의 압력과 온도 중의 어느 하나 이상의 인자의 값과 동등하거나 그보다 더 높은 2차 포화수증기 또는 2차 과열수증기를 생성하고 소정의 시간을 유지시킬 수 있는 히터를 설치한다.

그리고, 압력용기 내부에 수용된 유기성 폐기물은 이와 같이 하여 생성된 2차 포화수증기 또는 2차 과열수증기를 이용하여서 배출물의 성상과 재활용 용도에 알맞게 소정의 처리를 하고, 처리가 끝나면 서서히 감온 감압을 하여서 압력용기 밖으로 그 처리물을 회수한다.



ㄴ. 기대효과

수증기 발생 압력이 낮은 보일러나 과열기를 사용함으로써 고압 보일러를 사용할 때보다도 장치제작이 저렴하고, 관리가 용이하며, 안전하게 사용할 수 있다.

압력용기 외부에서 생성한 1차 포화수증기 또는 1차 과열수증기를 압력용기 내부에 도입하여 유기성 폐기물을 처리하여 완료하기까지는 1차 포화수증기 또는 1차 과열수증기를 더 이상 공급할 필요성이 없기 때문에, 이들 수증기 생성용 보일러나 과열기의 가동 정지에 따른 에너지를 절약할 수 있게 되고, 이들의 사용 수명도 보다 더 오래 유지할 수 있다.

압력용기 내부에 구성된 히터에 의해서 유기성 폐기물의 성상에 알맞는 2차 수증기를 생성하여 직접 처리하기 때문에, 에너지 효율을 극대화할 수 있다.

2개 이상이 병렬로 연결된 압력용기를 사용하게 될 때에는 폐증기를 인접하는 압력용기 간에 재공급하여 사용할 수 있기 때문에, 2번째 처리 이후부터는 압력용기에 1차 포화수증기 또는 1차 과열수증기를 공급하는 대신에 폐증기를 공급 사용함으로써 에너지 절약을 물론 경제성도 추구할 수 있다.

밀폐된 압력용기 내에서 유기성 폐기물의 성상과 처리 후의 용도 및 수증기 조건에 따라서 가축의 사료, 토양개량제, 퇴비, 유기질 비료, 고체연료(RDF), 바이오 가스 등으로 그 처리물의 용도를 다양하게 전개할 수 있다.

5) 고체연료 연소장치의 폐열에너지 회수기술

① 폐열 회수 시스템

기술의명칭	폐열 회수 시스템
등록특허	제10-1719788호
목적	· 산업폐열의 부하변동(온도 또는 열량변동) 및 산업폐열을 이용하여 냉난방하는 온실 등 농업시설의 냉난방 부하변동에 대응함으로써 산업폐열의 적정한 회수 및 온실 등 농업시설의 온도환경을 작물의 성장에 최적화 하고자 함

일반적으로, 농작물들은 특정의 생육조건을 필요로 하며, 그중 온도는 매우 중요한 요소 중 하나이다. 이를 위하여 온실과 같은 농업시설을 만들어 주고, 농업시설 내의 온도를 적정하게 유지하기 위해서 난방기를 설치하여 가동하고 있다. 이러한 난방기를 가동시키기 위해서 가스나 석유 등의 화석연료를 사용하고 있어, 시설원예농가의 경영비중 난방비가 차지하는 비율은 작물별로 차이가 있으나 30~40%에 이르는 수준이며, 많게는 50% 수준으로, 이는 시설농가의 직접적 경제적 부담이 되고 있는 실정이다.

산업폐열이라 함은 화석에너지 등 연료의 연소열을 산업적으로 활용하거나 처리하는 과정에서 재활용되지 않고 버려지는 열로서 그 대표적인 사례는 화력발전소에서 터빈을 냉각하고 바다에 버려지는 온배수이다. 그런데 산업폐열은 제품의 생산량 등 내외부적 영향에 따라 그 양과 온도가 변하게 된다. 또한 산업폐열을 이용하여 온실 등 농업시설을 냉난방하고자 하면 외기온도에 따라 농업시설의 냉난방 부하가 변하게 된다. 일례로 대표적 산업폐열이라 할 수 있는 화력발전소에서 배출되는 온배수는 바닷물의 온도에 따라

배출온도가 달라지며, 쓰레기 소각장의 소각열은 쓰레기의 유입량에 따라 배출되는 폐열의 양이 변화한다.

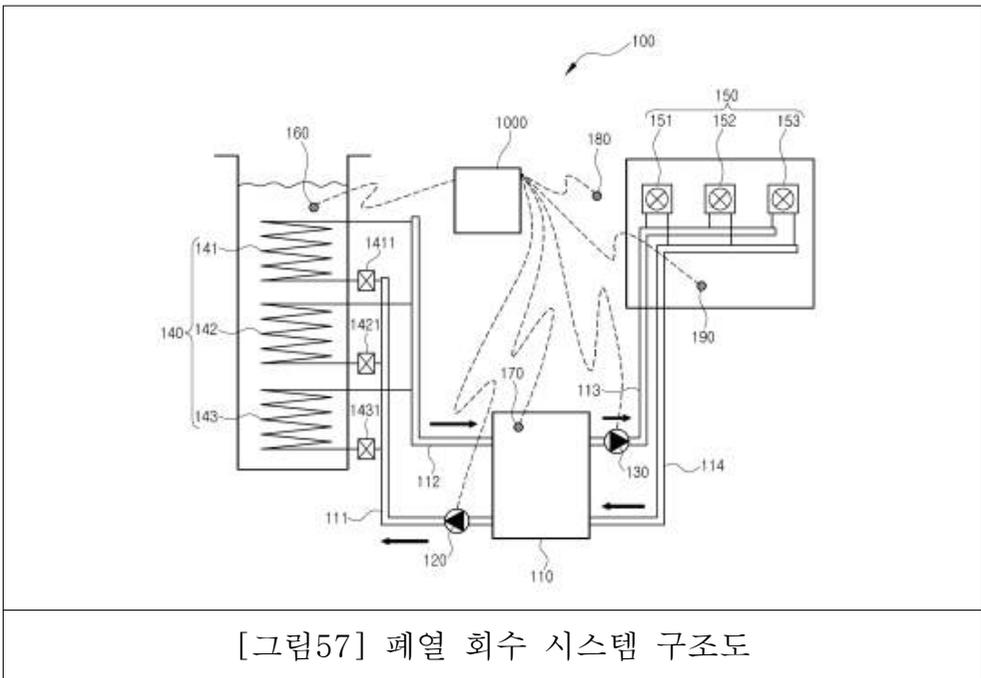
이때, 종래의 폐열 회수 시스템은 열매체를 포함하는 축열조와 외부 폐열을 흡수하기 위한 온배수의 온도 차이에 무관하게 열매체를 순환시키고 있다. 그러나, 축열조와 온배수의 차이가 적은 경우, 열매체가 축열조와 온배수 사이를 연결하는 파이프를 순환하는 동안 모두 열을 빼앗겨 실제 축열의 효과가 크지 않음에도 불구하고, 열매체 순환을 위한 에너지를 소모하게 되며, 더욱이 파이프가 노출된 땅속이나, 공기의 온도가 매우 낮은 경우 오히려, 열매체의 온도가 축열조보다 더욱 낮아져 차라리 구동하지 않은 것이 유리한 경우도 발생된다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림57])

축열조, 제1 펌프, 제2 펌프, 폐열 회수용 열 교환부, 온실내 열 교환부, 제1 온도 센서, 제2 온도 센서, 제3 온도 센서, 제4 온도 센서 및 제어부를 포함한다.

- 축열조 : 제1 및 제2 열매체 배출 파이프, 제1 및 제2 열매체 인입 파이프와 연결되고, 열 매체가 저장됨
- 제1 펌프 : 제1 열매체 배출 파이프에 설치
- 제2 펌프 : 제2 열매체 배출 파이프에 설치
- 폐열 회수용 열 교환부 : 제1 열매체 배출 파이프 및 제1 열매체 인입 파이프 중 어느 하나와 밸브를 통해서 연결된 다수의 폐열 회수용 열교환기를 포함하여, 산업 폐열로부터 밸브의 개폐에 따라서 가변적으로 열교환이 가능
- 온실내 열 교환부 : 각각이 제2 열매체 배출 파이프 및 상기 제2 열매체 인입 파이프와 연결된 다수의 온실내 열교환기를 포함하

- 여, 온실 내에 열을 공급
- 제1 온도 센서 : 폐열 회수용 열 교환부가 설치된 곳에 위치
 - 제2 온도 센서 : 축열조 내에 위치
 - 제3 온도 센서 : 온실 외부 위치
 - 제4 온도 센서 : 온실 내부에 위치
 - 제어부 : 제1 내지 제4 온도 센서들에서 센싱된 온도들에 따라서, 제1 펌프, 제2 펌프, 밸브들을 제어



ㄴ. 기대효과

산업폐열의 부하변동(온도 또는 열량변동) 및 산업폐열을 이용하여 냉난방하는 온실 등 농업시설의 냉난방 부하변동에 대응함으로써 산업폐열의 적절한 회수 및 온실 등 농업시설의 온도환경을 작물의 성장에 최적화하여 고품질 농산물을 생산하고 냉난방비용을

절감할 수 있다. 즉, 축열조와 외부 폐열을 흡수하기 위한 온배수의 온도 차이가 큰 경우, 온배수와 접촉하는 열매체를 증가시키고, 온도 차이가 작은 경우, 온배수와 접촉하는 열매체를 감소시킴으로써, 축열의 최적화를 도모할 수 있다.

또한, 온도 차이가 높아져, 열매체가 다수의 폐열 회수용 열 교환기가 구동되는 경우, 열매체가 분산되어 압력이 낮아짐에 따라 제1 펌프의 구동을 강하게 하여 열매체의 순환속도 저하를 방지할 수 있다.

제3 온도 센서의 온도가 제4 온도 센서의 온도 차에 무관하게, 다수의 온실내 열교환기를 모두 구동하여, 온실의 급격한 온도 변화에 따른 작물의 스트레스를 방지할 수 있다.

② 고품 폐기물 연소로

기술의명칭	고형 폐기물 연소로
등록특허	제10-1787051호
목적	· 증기 생산량을 증대할 수 있는 고품 폐기물 연소로

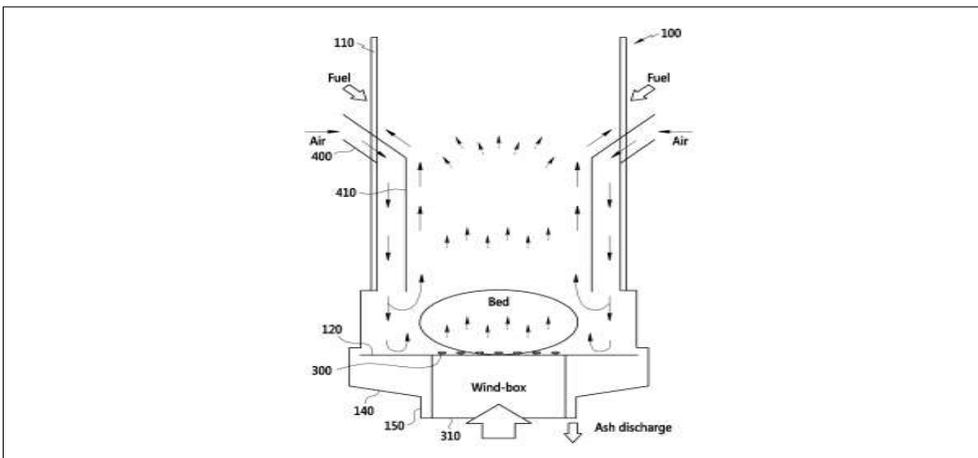
스토커 연소로의 경우 연료가 연소로 바닥면에 밀집되어 쌓이므로 공기와의 혼합이 불리하며, 덩어리 형태의 바닥재들이 형성되어 주기적으로 이를 제거해야 한다. 그렇지 않으면 쌓인 연료의 복사열 등에 의한 국부 과열이 발생한다. 유동층 연소로의 경우 연료 및 유동사가 유동함으로써 공기와의 혼합은 촉진되나, 마모가 증가하고 비산되는 양이 급증하며, 유동사 손실이 발생한다. 또한 유동 및 마모로 인해 연소로 벽면을 수관으로 구성하기 어려워 벽면 열손실이 발생한다.

종래의 사이클론 버너의 경우 기체 및 액체 연료를 주로 사용하며, 공기와 연료의 분사방향이 동일하게 구성된다. 따라서, 수직형 버너의 경우 연료가 하부에서 공급되며, 특히 고체 연료를 사용할 경우 안정적인 정량 공급이 어려워 연료공급 설비의 고장이 빈번하게 발생한다. 일반적인 폐기물 연소로는 고온의 바닥재를 배출 및 이송하는 과정에서 폐열을 활용하지 못하고 냉각 처리한다.

따라서, 종래의 유동층, 사이클론 방식의 연소로에서 개선이 필요한 공기와의 혼합 촉진, 벽면 열손실 감소, 연료의 상부 공급 및 바닥재 폐열을 충분히 활용할 수 있는 방안이 요구되고 있다.

ㄱ. 구조 및 처리 방식([그림58])

측면을 이루는 벽면과 그 바닥을 이루는 바닥면을 갖는 연소로 본체, 연소로 본체의 벽면 상부에 적어도 하나 이상 형성되는 연료 투입구, 연소로 본체의 바닥면에 설치되어 1차로 공기를 공급하는 분사노즐, 및 연소로 본체의 벽면에 설치되고 연소로 본체의 내부 바닥 방향으로 2차로 공기를 공급하는 공기 유로를 포함한다.



[그림58] 고품 폐기물 연소로 구조도

ㄴ. 기대효과

연료와 공기의 혼합 촉진을 통해 연소를 충분히 이루어지게 하여 배출재(비산재 및 바닥재)에 함유된 미연탄소함량(또는 강열감량) 감소를 통해 연소 효율을 향상시키고, 연소로 벽면을 수관으로 구성하여 벽면 열손실을 줄이고 보일러 급수를 증발하여 증기생산량 증대시킨다. 또한, 연료의 상부 공급을 통해 하부로 제한된 연료공급을 통해 발생할 수 있는 문제들을 미연에 방지하고, 바닥재의 미회수 폐열을 공기 예열에 활용함으로써 열효율을 향상시키는 효과가 있다.

6) 폐열에너지 회수를 통한 증기 생산기술

① 레디얼 터빈을 이용한 폐열 회수 터빈 시스템

기술의명칭	레디얼 터빈을 이용한 폐열 회수 터빈 시스템
등록특허	제10-1704306호
목적	· 폐열이 농가용 온실난방 또는 소각로에서 열원으로 재활용할 수 있도록 재공급함으로써 에너지 소비 절감 및 에너지 효율 향상을 증대시킬 수 있도록 함

중래 발전소의 순환 구조는 보일러에서 가열된 물은 증기상태로 변화되어 터빈으로 공급되고, 터빈은 증기의 열에너지를 기계적 에너지로 변환시키며, 에너지의 변환과정에서 증기의 열에너지는 소모되어 고온의 배기증기는 복수기로 배출된다. 배기증기는 복수기에서 응축되어 물의 상태로 변화하며, 이때 환원된 물은 복수펌프를 통해 보일러로 보내지며, 이와 같은 순환과정을 되풀이 하게 된다. 그러나 시설이 복잡하고 시스템 구축에 어려운 문제점이 있어,

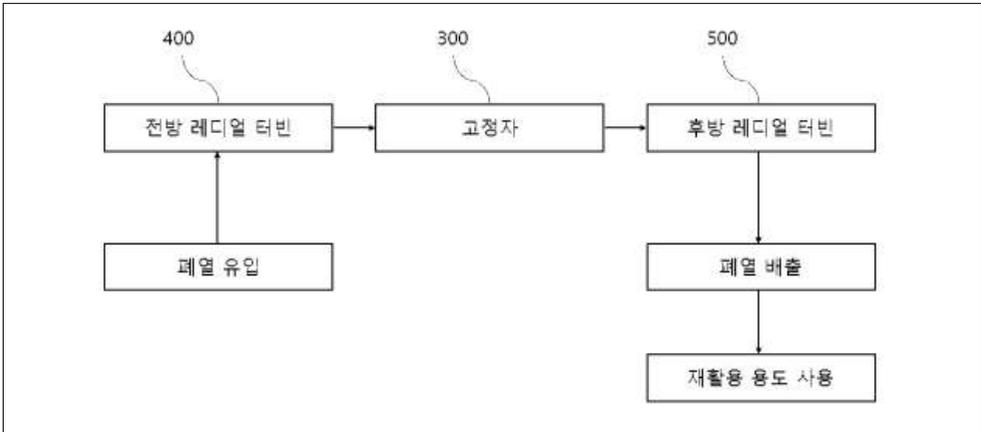
서로 마주보도록 배치된 레디얼 터빈 사이에 고정자를 배치하고 전방 레디얼 터빈에서 후방 레디얼 터빈으로 폐열이 단계를 거쳐 이동하게 함으로써 폐열의 재활용을 통한 발전기 터빈의 회전 효율을 증대시키고자 한다.

ㄱ. 구조 및 처리방식([그림59], [그림60])

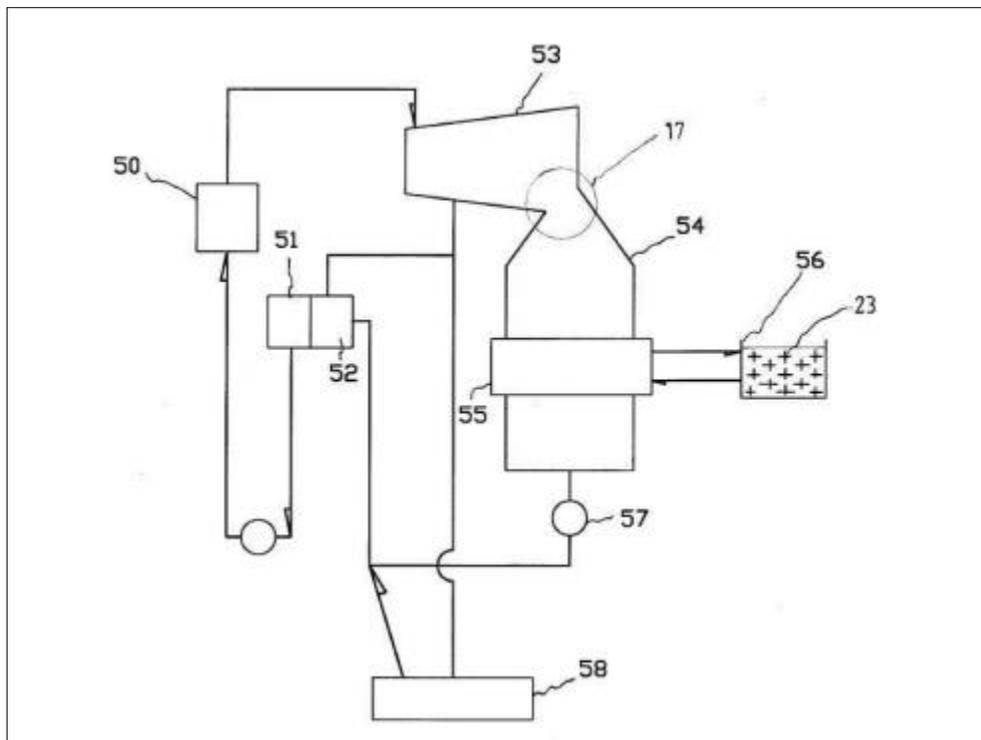
하우징과 하우징을 따라 일방향으로 배치되는 샤프트, 샤프트에 배치되는 고정자 및 고정자를 중심으로 전방 및 후방에 각각 배치되는 전방 레디얼 터빈과 후방 레디얼 터빈을 포함하고, 전방 레디얼 터빈은 보일러에서 발생된 폐열이 유입되는 입구와 유입된 폐열을 압축하는 제1 블레이드를 구비, 후방 레디얼 터빈은 제1 블레이드와 마주보도록 배치되는 제2 블레이드와 압축된 폐열을 제2 블레이드를 통하여 배치되는 출구를 구비한다.

고정자는 반경방향을 향하여 복수의 날개가 형성되어 제1 블레이드에서 압축된 폐열이 제2 블레이드를 향하여 비틀어지지 않고 샤프트를 따라 일방향으로 이동시켜 압축된 폐열의 효율이 감소되거나 버려지는 것을 방지한다.

전방 레디얼 터빈의 입구 및 후방 레디얼 터빈에 마련된 출구는 하우징 외부로 돌출되어 형성될 수 있으며, 여기서 출구로 배출된 폐열은 농가용 온실난방 또는 소각로의 재가열 열원으로 사용된다.



[그림59] 레디얼 터빈을 이용한 폐열 회수 터빈 시스템 구조도(1)



[그림60] 레디얼 터빈을 이용한 폐열 회수 터빈 시스템 구조도(2)

ㄴ. 기대효과

레디얼 터빈을 이용한 폐열 회수 터빈 시스템은 폐열의 재활용을 통한 발전기 터빈의 회전 효율을 증대시킴으로써 발전 효율을 향상시킬 수 있다. 보일러에서 발생하는 폐열을 서로 마주보도록 배치된 레디얼 터빈 사이에 고정자를 배치하고, 전방 레디얼 터빈에서 후방 레디얼 터빈으로 폐열이 단계(multi-stage)를 거쳐 이동하고, 고정자가 폐열의 회수효율을 높여 에너지 효율 향상을 통한 농가용 온실난방 또는 소각로의 재가열 열원으로 사용함으로써 에너지 절감을 이룰 수 있다.

또한, 발전분야의 기계 시장분야와 접목이 가능하여 소형터빈 제작을 통해 수입대체가 가능하며, 관련기반 기술개발의 상용화로 인한 제조업의 활성화를 이룰 수 있다.

제5장 문제해결을 위한 개선 방안

1. 폐기물 처리 기술 기술의 지향점

국내 가연성 폐기물이 보유한 에너지 잠재량은 [표47]과 같이 발생량 기준으로 2030년에 1,470만 toe/년으로 예측되고 있다. 또한 국내 가연성 폐기물이 보유한 에너지 잠재량을 기준으로 2030년에 폐기물 분야의 신재생에너지 보급 기여도는 폐가스 기술 분야를 포함할 경우 약 770만 toe/년으로 전망되고 있다([표48]).

[표47] 가연성 폐기물의 에너지 잠재량

단위 : toe/년

구분	2005년	2012년	2020년	2030년
생활폐기물	3,141,082	2,965,181	2,977,746	2,940,053
사업장배출시설계 폐기물	2,881,745	4,334,144	5,489,724	6,691,411
건설폐기물	906,900	1,363,978	1,727,645	2,105,822
지정폐기물	1,279,710	1,924,684	2,437,848	2,971,487
합계	8,209,437	10,587,987	12,632,963	14,708,773

출처 : 한국환경산업기술원(2016)

[표48] 신재생 에너지 보급 기여도 전망

단위 : toe/년

구분		2006년	2012년	2020년	2030년
고형연료(RDF, RPF)		100,000	300,000	500,000	800,000
열분해 유화	폐플라스틱	5,000	40,000	100,000	150,000
	폐유	302,830	350,000	400,000	450,000
	합계	307,830	390,000	500,000	600,000
가스화		14,200	152,265	238,632	392,605
소각열 회수		1,548,437	2,196,487	3,006,004	3,664,350
합계		1,970,467	3,038,752	4,244,636	5,456,955

출처 : 한국환경산업기술원(2016)

중소기업청(2012) 기술로드맵에서는 폐기물 에너지화를 위한 전략제품을 ‘폐기물 고형연료’, ‘폐기물 합성가스’, ‘소각열 회수/이용 장비’로 정하고 전략제품별 핵심기술을 [표49]와 같이 기술하였다.

[표49] 폐기물 에너지화 전략제품별 핵심기술

전략제품명	핵심기술명
폐기물 고형연료	고효율 불연성 물질 선별기술
	유기성 슬러지 폐기물의 고효율 건조 기술
	Fluff 형태의 폐기물 고형연료 생산 기술

	폐기물 고형연료 연소열풍의 건조이용 기술
	폐기물 고형연료의 탄화 및 활용 기술
폐기물 합성가스	합성가스의 타르 제거 기술
	합성가스의 저온 휘발성 중금속성분 제거 기술
	고순도 합성가스 생산을 위한 분진 및 Acid Gas 정제 기술
	고효율 폐기물 가스화 반응기술
	합성가스 압출공급(압축 및 유량제어)
소각열 회수/이용 장비	가연성 폐기물 혼소 기술
	폐기물 산소부하연소기술
	소각로 배가스의 저온 폐열 회수 유동층 열교환기술

출처 : 중소기업청(2012)

이를 토대로 중소기업청(2016)은 2017~2019 기술로드맵을 정비하여 폐기물 처리설비 및 에너지 자원화기술 개발을 최종 목표로 설정하였다. 2017년에는 기초핵심공정 및 요소기술을 확보하고 2018년에는 개발기술 및 시스템을 고도화 하며 2019년에는 공정개발 산물을 실증화 하여 최종적으로 폐기물처리 설비 및 에너지자원화 기술 개발을 완성한다는 계획이다([표50]).

[표50] 폐기물처리설비 기술의 중소기업형 기술로드맵

Time Span		2017	2018	2019	최종
연도별 목표		기초핵심공정 및 요소기술 확보	개발기술 및 시스템 고도화	공정개발 산물의 실증화	폐기물처리 설비 및 에너지자원화 기술 개발
폐기물처리설비	폐기물 탈수/건조/연소설비	폐기물 탈수/건조공정 및 설비기술			폐기물 탈수/건조/연소 설비의 기존기술대비 처리용량 증대 및 성능/효율 향상
		폐기물의 고효율 열풍 건조기 및 환경/안전장치 부품기술			
		소각열 회수를 통한 유기성 폐자원의 건조기술			
		고형폐기물의 가스화 기술개발			
핵심기술	폐열 회수/이용설비	도시고형폐기물의 소각 에너지 회수기술			소각에너지 회수 국산모델 개발 및 폐열 에너지 회수율 향상
		고체연료 연소장치의 폐열에너지 회수 기술			
		폐열에너지 회수를 통한 증기 생산 기술			

출처 : 중소기업청(2016)

폐기물 처리에 대한 세계 시장 또한 지속적으로 규모가 확대될 것으로 예측하고 있는데, 특히 중국은 2015년 도심지역 폐기물 발생량 2억 6천만 톤의 20%, 2020년에는 발생량 3억 2천만 톤의 25%를 소각처리하여 폐기물 에너지생산량을 높일 계획이며, 이에 따른 소각 발전 에너지시장은 매년 중국전체 폐기물 처리시장의 약 25% 이상에 이를 것으로 전망되고 있다. 한편, 동남아의 신흥 개발도상국들은 폐기물 문제가 시작되는 단계에 이르고 있으며 조만간 소각로 열 이용 분야의 큰 시장으로 열릴 가능성이 존재한다(중소

기업청, 2016). 또한 폐기물처리에 대한 세계시장의 [표51]과 같이 연평균 성장률은 7.4%인 반면 국내의 연평균 성장률은 [표52]와 같이 5.0%로 예상되고 있다. 따라서 독자적인 국내 기술개발과 이에 대한 투자가 빠르게 이루어져야 한다.

[표51] 폐기물처리설비 분야의 세계 시장 규모 및 전망

단위 : 억달러, %

2015	2016	2017	2018	2019	2020	CAGR (‘13~‘15)
258	277	297	320	343	368	7.4

출처 : 중소기업청(2016)

[표52] 폐기물처리설비 분야의 국내 시장 규모 및 전망

단위 : 억원, %

2015	2016	2017	2018	2019	2020	CAGR (‘13~‘15)
47,250	49,610	52,090	54,695	57,430	60,300	5.0

출처 : 중소기업청(2016)

2. 폐기물 처리 신기술 개발의 시사점

앞서 언급한 ‘자원순환기본법’이 2018년 시행되면서, 폐기물 감소·억제 기술 및 재활용 시장이 빠르게 성장할 것으로 전망되고 있다. 특히 폐기물을 활용한 에너지화 기술은 주목을 받고 있으며, 매년 새로운 기술들이 개발되어 특허를 받고있으나, 상용화 되기 위해서는 적극적인 투자와 개발이 필요할 것으로 보인다.

특허청에 등록된 폐기물 처리의 기술을 보면, 기존의 단점을 보완하여 효율성을 높이는 기술과 함께 폐기물을 완전 처리하고 에너지를 생산하는 혁신적인 기술이 최근 들어 등장하고 있다. 예로, 폐기물 완전연소로 폐기물을 제로화하고 폐기물 합성가스* 생성으로 수익을 창출한다는 구조이다. 소량 가스만을 얻을 수 있었던 기존의 기술에서 나아가 산화와 환원이 동일 공간에서 작용하며, 생성되는 가스 또한 수익성이 높아 경제적 효과까지 거둘 수 있다.

* 폐기물 합성가스는 탄화수소로 구성된 폐기물을 부분산화 및 수증기 반응을 이용하여 CO, H₂, CH₄ 등 가장 간단한 분자 형태로 전환한 합성가스를 의미.

합성가스 생성은 해외에서도 주목을 받고 있다. 최근 미국, EU, 일본 등 폐기물 처리 선도국가에서는 폐기물 및 바이오매스를 활용하여 합성가스를 생산하고 합성가스의 고부가가치 연료인 고순도 수소, 일산화탄소를 생산하거나 제어하여 다양한 석유화학계 연료를 대체하는 상용플랜트를 보급하고 있으며, 폐기물 가스화를 통한 합성가스의 고부가가치 연료 생산기술이 개발되어 상용화되고 있다. 이에 따라 국내에서도 중점 투자를 통한 개발이 필요하다고 판단된다(한국환경산업기술원, 2016). 폐기물 가스화 기술은 가연성 폐기물을 모두 활용할 수 있으며, 바이오매스, 저급 연료를 모두 활용할 수 있다. 따라서 앞서 언급한 에너지 효율이 낮은 소각로의 문제점 등 폐기물 처리기술의 한계점을 해소할 만한 대체 기술의

개발이 시급한 시점이다. 폐기물을 통한 고부가가치 연료를 생산하는 기술을 적극 개발한다면 경제적 및 산업적 효과가 클 것으로 전망된다.

폐기물 처리의 신기술이 상용화 된다는 것은, 폐기물 처리 시장의 발전에만 끝나는 것이 아니라 주거 형태의 변화까지 가능하며 우리사회에 당면한 다양한 사회 문제를 해소할 수 있다. 작게는 주택단지 내 폐기물 완전처리로 지역문제를 해결하고, 합성가스 판매로 지역사회에 수익을 창출할 수 있으며, 크게는 도시, 지자체의 인프라로 적용하여 지속가능한 환경을 구현할 수 있다는 점에서 폐기물 처리 기술은 우리 사회에 의미하는 바가 크다 하겠다.

제6장 결론

본 연구는 지속가능한 환경구축을 위한 폐기물 처리의 신기술을 알아보기 위하여, 폐기물 처리 과정과 문제점 및 폐기물 에너지화 과정과 문제점을 검토하였다. 또한 신기술의 동향 파악을 위하여 특허청의 특허정보넷을 활용하여 폐기물 에너지화와 관련된 기술을 그룹핑하여 주요 기술을 도출하였다.

또한 중소기업청(2016)이 제시한 ‘폐기물처리설비 분야 핵심기술’ 기준을 토대로, ‘소각열 회수를 통한 유기성 폐자원의 건조기술’ 등 6개 주요 요소기술을 중심으로 특허정보넷에 등록된 폐기물 18개의 처리 기술을 추출하였고, [표53]과 같이 에너지(에너지생산 및 활용), 폐기물(폐기물 감량), 친환경(환경개선·기후변화 대응)의 3가지 기준으로 분류하였다.

[표53] 정책 및 사업의 방향성에 따른 신기술 분류

요소기술	특허명	분류
소각열 회수를 통한 유기성 폐자원의 건조기술	유기성 폐기물 건조장치	폐기물 친환경
	수직원통형 폐기물 소각장치	폐기물 에너지
	자원화 시설용 고농도 악취 제거 및 연료 절약 시스템	폐기물 친환경
	폐 음식물, 오니, 하수 슬러지 및 가축분뇨 처리방법	폐기물
폐기물 탈수 / 건조 공정 및 설비기술	전기식 탈수기를 이용한 하수 슬러지 퇴비화 설비	폐기물
	유기성 폐기물 처리 시스템	폐기물
	자생 그레놀을 이용한 슬러지 건조장치 및 그 건조방법	폐기물

	건조장치	폐기물
	블레이드가 내부에 장착된 항아리 드럼타입의 슬러지 감량화 장치 및 항아리 드럼 타입의 슬러지 감량화 장치를 이용한 하·폐수 탈수슬러지의 감량화 방법	폐기물
고형폐기물의 가스화 기술	폐기물을 이용한 연료 저감형 합성가스 생산 시스템	폐기물 에너지
	열분해가스 순환구조를 갖는 가스화장치	에너지
	모듈식 가스화장치	에너지
	전자과 고온 복합 가스화 장치와 방법	에너지
	산화반응과 환원반응이 분리되어 일어나도록 하는 환원용버너 및 이를 이용한 합성가스 리사이클링 시스템	폐기물 에너지
도시고형 폐기물(MSW)의 소각 에너지 회수기술	유기성 폐기물 처리장치와 그 방법	에너지
고체연료 연소장치의 폐열에너지 회수기술	폐열 회수 시스템	에너지
	고형 폐기물 연소로	에너지
폐열에너지 회수를 통한 증기 생산기술	레디얼 터빈을 이용한 폐열 회수 터빈 시스템	에너지

* 에너지(에너지생산 및 활용), 폐기물(폐기물 감량), 친환경(친환경·기후변화 대응)

3가지 기준으로 폐기물 처리의 신기술을 분류한 결과, 국가 정책 및 사업의 목적에 따라 어떤 기술을 육성해야 하는지 방향성을 확보하는 유의미한 결과를 얻을 수 있었다.

폐기물 처리에 있어서 중요한 국산의 신기술이 사장되지 않기 위해서는 현장에 적용될 수 있도록 시범사업의 장을 마련하는 등 적

용 방법 마련을 위하여 구체적인 기술 검토가 요구된다. 또한 폐기물 처리방법은 단순 처리에서 에너지 회수가 가능한 시설로 변화되는 추세이므로 관련시설에 대한 제도적 지원과 적극적인 기술개발이 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

본 연구가 향후 폐기물 에너지화와 관련된 기술개발과 정책적 방향을 모색하는데 중요한 근거자료가 될 것을 기대한다.

참고문헌

□ 사이트

대성그룹. www.daesung.com.

독일 환경부. www.bmu.de.

산업통상자원부. www.motie.go.kr.

유기성폐자원에너지화사업단. www.coweb.re.kr.

통계청. www.kostat.go.kr.

특허청 특허정보넷. www.kipris.or.kr.

폐기물해양배출종합관리시스템. www.oceandumping.re.kr.

환경부. www.me.go.kr.

한국환경공단. www.keco.or.kr.

□ 논문 및 자료집

국토해양부(2012). 육상폐기물 해양투기 제로화 추진계획.

국회예산정책처(2012). 유기성폐자원 바이오가스화시설 설치사업의
문제점 및 개선과제.

기획재정부·국토연구원(2016). 2016 경제발전경험모듈화사업:한국
의 폐기물 자원관리 및 활용정책.

무주·진안군(2016). 무주·진안군 광역 폐기물 전처리시설.

박원석(2012). 도시폐기물의 특성변화에 따른 처리에 관한 연구.
인천대학교 박사학위논문.

산업통상자원부(2008). 제3차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보
급 기본계획(2009~2030).

- _____ (2014). 신재생에너지융합원천기술개발-고열량 폐기물 합성
가스로부터 메탄올 회수기술 개발 보고서.
- 수도권매립지관리공사(2005). 생활폐기물 처리방법 및 시설의 다변
화를 위한 조사연구.
- _____ (2014). 수도권매립지통계연감.
- _____ (2016). 유기성 폐기물 에너지화 시설 확대의 경제적 편익
및 파급 효과 분석.
- 수도권매립지관리공사 자원순환기술연구소(2015). 국내외 자원순환
기술 및 연구 동향 자료집.
- 신병철(2002). RDF 제조 및 연소기술, 폐기물에너지기술세미나.
폐기물연구회.
- 신병철·이조영·최형욱(2002). 폐기물 고형연료(RDF)의 활용방안
및 전망. 「고분자과학과기술」. 한국고분자학회.
- 월드컵공원(2002), 환경생태공원으로 다시 태어난 월드컵공원, 난
지도 그 향기를 되찾다.
- 이하백(2001). 폐기물 처리 및 재활용 특강. 한국화학공학회 유동
층부분위원회.
- 중소기업청(2012). 2012 중소기업 기술로드맵-에너지자원.
- _____ (2016) 중소·중견기업 기술로드맵-에너지/환경기계시스템.
- 최경빈(2002). 폐기물 소각열이용 제고 방안, 「설비저널」. 대한
설비공학회.
- 한국농어촌공사(2013). 사용종료 매립장 주변환경조사.
- 한국에너지공단(2017), KEA 에너지 편람.
- 한국환경공단(2016). 2015년 폐기물 재활용실적 및 업체현황.
- 한국환경산업기술원(2013). 폐자원 에너지화 기술동향보고서.
- _____ (2014). 폐기물소각 열에너지화 기술동향.
- _____ (2015). 폐기물 에너지화 기술 및 계통도.
- _____ (2016). 폐기물 에너지화 기술의 미래 연구 방향.

한상운, 조지혜, 이희선, 김윤정, 김충현(2013). 유기성 폐자원의 효율적 에너지화를 위한 관리체계 구축방안 연구. 「기후환경 정책연구」. 한국환경정책평가연구원.

해양수산부 보도자료(2015.12.28.) 육상 폐기물 해양배출, 이제 역사 속으로 사라진다.

환경부(2008). 폐기물 에너지화 사업의 경제성 분석연구.

_____ (2011). 폐기물처리시설 최적화 전략.

_____ (2012). 2011 유기성 폐자원 에너지 활용시설 현황.

_____ (2013). 2012년 잔류성 유기오염물질 배출시설 다이옥신 측정·분석 사업 최종보고서.

_____ (2014). 폐자원에너지 활성화대책 수립을 위한 연구.

_____ (2015) 2014년 폐기물 처리시설 설치·운영실태 조사·평가 결과 보고서.

_____ (2016). 전국 폐기물 발생 및 처리 현황.

환경부 보도자료(20160527). 자원부국으로 가는 길...자원순환기분법 제정·공포.

_____ (2016.09.09). 자원순환사회 전환을 위한 국정과제 본격추진.

환경부의 6개 부처(2009). 「저탄소에너지 생산·보급을 위한 폐자원 및 바이오매스 에너지대책 실행계획」.

□ 언론자료

경향신문(2011. 4. 18). 여수시, 월내 도시형 폐기물 처리장 준공.

내외경제(2014. 3. 28). 폐기물 관리의 기적과 자원순환사회로의 길(연세대학교 환경공학부 서용칠 교수, 전 한국폐기물자원순환학회 회장).

연합뉴스(2017. 3. 12.). 유독성 침출수 유출방지, 폐기물매립장들

환경오염 '비상'.

울산제일일보(2017. 10. 11). 울산지역 기업들, 산업폐기물 처리
끝머리.

충청탐뉴스 2017. 10. 28). 환경부·충남, 폐기물발생량 과대추정 알
고도 폐기물 매립장 설치 허가.

충청신문(2017. 10. 23). 서산 지곡 산업폐기물매립장 설치 새로운
국면 맞아.

한겨레(2013. 9. 20). 다이옥신 관리 '구멍' 매년 10곳 중 1곳 과
대배출.