



친환경 자원순환정책

5차시

5. 국내 폐자원 에너지화 시설 설치현황

‘폐자원 및 바이오매스 에너지화 대책’ 실행계획은 환경부 등 7개 부처 청에서 수립된 계획으로서, 가연성 폐기물(생활폐기물, 건설폐기물 등), 유기성 폐기물(음식물, 하폐수 슬러지, 음폐수, 가축분뇨 등), 소각여열, 매립가스의 에너지화를 목표로 한다.

대상 폐기물 종류별 에너지화 목표량 제시하였다.(표1 참고)

가용 가연성폐기물(384만톤/년)의 목표는 2013년까지 47%, 2020년까지 90%를 에너지화하는 것이며, 가용 유기성폐기물(785만톤/년)은 2013년까지 26%, 2020년까지 36%를, 매립가스(1억 169만 m^3 /년)는 2013년까지 91% 에너지화, 소각여열(53만 Gcal/년)은 2013년까지 77%, 2020년까지 81%를 에너지화 할 것을 목표로 한다.

표1. 실행계획 '연도별 폐자원 에너지화 시설 설치 계획'

(단위: 개, 억원)

사업구분		계		2009~2011		2012~2013		2014~2020	
		시설수	금액	시설수	금액	시설수	금액	시설수	금액
계	계획	123	29,862	37	12,230	53	9,450	33	8,182
	실적	19	7,469	9	7,469	-	-	-	-
가연성폐자원 에너지화시설	계획	42	19,165	14	6,141	13	6,915	15	6,109
	실적	4	2,426	4	2,426	-	-	-	-
유기성폐자원 에너지화시설	계획	32	9,745	9	5,685	12	2,138	11	1,922
	실적	8	4,806	8	4,806	-	-	-	-
소각열회수 시설	계획	24	534	4	158	13	225	7	151
	실적	1	101	1	101	-	-	-	-
매립가스 자원화	계획	25	418	10	246	15	172	-	-
	실적	6	136	6	136	-	-	-	-

(출처: 폐자원 및 바이오매스 에너지대책 실행계획, 2009.7, 환경부 등 관계부처
합동계획)

6. 유기성 폐자원 에너지화 시설의 운전관리 현황

'14년 말 음식물류 등 유기성폐자원에서 바이오가스를 생산·이용하는 시설은 71개소로 전년도에 비해 10개소(16.4%) 증가하였다. 음식물, 음폐수, 병합 바이오가스화 처리시설은 지속적으로 증가 추세이다.

표2. 연도별 설치현황

(단위 : 개소)

구 분	계	음식물류	음폐수	가축분뇨	하수슬러지	병 합
2012	57	2	9	7	20	19
2013	61(9)	4(0)	12(1)	7(3)	20(0)	18(5)
2014	71(9)	5(0)	15(1)	6(2)	21(0)	24(6)

※ ()는 민간시설

(출처: 2014 유기성폐자원 에너지 활용시설 현황, 2015, 환경부)

1) 유기성 폐자원 에너지화 시설의 유형분류

국내 유기성 폐자원은 크게 음식물, 음폐수, 하수슬러지, 가축분뇨, 기타(분뇨) 다섯 종류로 분류할 수 있다. 유기성 폐자원 에너지화 시설은 이들 각 폐자원으로부터 바이오가스를 생산하여 에너지화하는 시설로서 크게 단일 유기성 폐자원을 에너지화 원료로 활용하는 '단독처리시설'과 여러 유기성 폐자원을 원료로 동시에 활용하는 '병합처리시설' 두 가지로 나눌 수 있다. 국내 총 71개 시설을 이러한 기준에 따라 분류하면, 단독처리시설은 폐자원의 종류에 따라 음식물(5개소), 음폐수(15개소), 하수슬러지(21개소), 가축분뇨(6개소)의 네 가지 유형으로 분류할 수 있다. 한편, 병합처리시설은 에너지화를 위해 병합하는 원료들의 조합에 따라 다음과 같이 구분할 수 있다.

국내 병합처리시설은 크게 하수처리장과 연계한 시설(이하 '하수처리 연계시설')과 그렇지 않은 시설(이하 '하수처리 비연계시설')로 분류할 수 있으며, 에너지화 원료를 병합하는 조합 기준으로는 총 8종류로 분류할 수 있다.

표2. 유기성 폐자원 병합처리시설의 분류

시설명	가동년도	생산량	이용량	미이용량
서울 중랑물재생센터	1997	34,105	22,684	11,421
서울 난지물재생센터	1995	15,434	13,314	2,120
부산환경공단 수영사업소	2001	5,690	1,446	4,244
대구 신천 공공하수처리시설	2002	7,213	5,469	1,744
인천환경공단 승기사업소	1995	1,508	1,508	-
울산광역시 온산바이오에너지센터	2014	3	3	-
울산 용연 음식물 하수병합처리시설	2010	10,672	10,320	352

세종시 크린에너지센터	2014	681	681	-
경기 파주시 음식물 및 축분혼합 처리시설	2004	815	815	-
경기 의정부 공공하수처리시설	2003	2,566	1,800	766
경기 포천 바이오에너지(주)	2013	864	823	41
강원 속초 음식물 하수병합처리시설	2005	1,385	1,334	51
청양 여양농장 바이오가스 플랜트	2007	702	702	-
전북 군산 공공하수처리장	1987	3,131	3,131	-
전북 정읍 가축분뇨 공동자원화 시설	2012	1,314	1,314	-
전남 순천 공공하수처리시설	2010	1,835	1,835	-
전남 담양군 가축분뇨바이오 열병합발전소	2014	540	540	-
전남 보성군 가축분뇨공공처리시설	2010	116	116	-
경북 구미 하수처리장	1987	1,685	1,685	-
경남 밀양 음식물쓰레기 하수병합처리시설	2003	810	449	361
경남 창녕 (주)우포월드 바이오가스 플랜트	2008	1,841	1,841	-
경남마산 (주)MH에탄올 혐기성분해시설	2005	4,941	4,941	-
경남 의령군 하수슬러지 처리시설	2011	-	-	-
경남 양산 바이오가스화 처리시설	2014	1,318	1,318	-

2) 시설 유형별 유기성 폐자원 처리 및 에너지화 현황

가. 시설 유형별 유기성 폐자원 처리 및 가스 생산 현황

2014년 기준으로 국내에는 총 71개의 유기성 폐자원 에너지화 시설이 있으며 이 중 단독처리 시설을 47개소이며, 병합처리시설은 24개소이다. '14년도 처리량은 15,838천 톤으로 조사되어 전년도(15,775천톤)에 비해 63천톤(0.4%) 증가하였으며, 특히 음식물 및 음폐수의 증가율이 높다. 전체 유기성 폐자원 에너지화 시설의 총 처리량 15,838천 톤/년 중 단독처리시설은 약 53.7%인 8,503천 톤/년을, 병합처리시설은 총 처리량 대비 약 46.3%인 7,335천 톤/년을 처리하고 있어 단독처리시설 유형이 처리하는 유기성 폐자원량 비중이 병합처리시설 처리량 비중보다 높음을 알 수 있다.

표3. 시설 유형별 유기성 폐자원 처리현황

(단위: 천톤/년)

구분	계	음식물류	음폐수	가축분뇨	하수슬러지	병합
2012	13,594	83	443	146	7,412	5,510
2013	15,775	109	724	181	7,571	7,190
2014	15,838	168	867	143	7,325	7,335
증감 (%)	63 (0.4)	59 (35.1)	143 (16.5)	△38 (△26.6)	△246 (△3.4)	145 (2.0)

※ 하수처리장 일부 시설은 소화조 투입량 계량화 곤란하여 전체 슬러지처리량 제출

나. 시설유형별 바이오가스 이용 현황

(1) 가스 이용

각 시설의 바이오가스 이용 현황을 살펴보면, 2014년 기준 바이오가스 총생산량 (248,805천m³/년) 중 70.7%인 176,024천m³/년이 이용된 반면, 29.3%인 72,781천m³/년은 미활용된 것으로 나타났다. 이를 바이오가스 이용 방식별로 세부 검토하면 크게 발전, 외부판매, 자체이용, 단순처리(미활용) 네 가지로 나눌 수 있으며, 총 바이오가스 생산량의 13.0%를 발전에, 12.7%는 가스공급에 사용되고 시설 내 자체이용에는 45.0%가 사용되는 것으로 나타났다.

표4. 시설별 바이오 가스 생산 및 이용량

(단위: 천³/년, %)

구분	총 생산량	이용량				미활용
		소계	발전	가스공급	자체이용	단순처리
합계	248,805 (100)	176,024 (70.7)	32,408	31,689	111,927	72,781 (29.3)
음식물류	28,262 (100)	7,758 (27.5)	4,817	2,011	930	20,504 (72.5)
음폐수	43,759 (100)	26,541 (60.6)	6,195	6,194	14,152	17,218 (39.4)
가축분뇨	522 (100)	363 (69.5)	205	-	158	159 (30.5)
하수슬러지	77,093 (100)	63,293 (82.1)	8,826	3,255	51,212	13,800 (17.9)
병합	99,169 (100)	78,069 (78.7)	8,511	20,150	42,478	21,100 (21.3)

(출처: 2014 유기성폐자원 에너지 활용시설 현황, 2015, 환경부)

바이오가스 생산량은 248,805천³로 조사되어 전년도(205,435천³)에 비해 21.1%(43,370천³) 증가했다. 이용용도는 자체이용, 발전, 외부공급 순으로 높은 것으로 나타났다.

생산된 바이오가스는 발전 13.0%, 가스공급 12.7%, 자체이용 45.0%으로 활용되었으며, 나머지 29.3%는 미활용(단순처리)된 것으로 나타났다. 한편, 24개 병합처리시설에서 생산된 바이오가스 총량은 99,169천³/년으로, 이 중 42.8%를 자체이용에 20.3%를 가스공급에, 8.6%를 발전에 이용하고 있으며, 나머지 21.3%를 단순처리하고 있다. 자체이용된 가스의 용도로는 소화조 가온, 건조기 보일러 가동, 소각장 연료 사용, 관리동 난방 등을 들 수 있으며, 이중 소화조 가온이 가장 높은 비중을 차지하고 있다.

시설별 활용비율은 하수슬러지바이오가스시설이 가장 높고(82.1%), 음식물 바이오가스화시설이 가장 낮게 나타났다(27.5%). 발전·외부공급량이 가장 높은 시설은 음식물류폐기물 시설로 조사되었다. 음식물바이오가스화시설의 경우 일부 시설에서 정제 등에 문제가 발생하여 가스 이용량이 낮으나 향후 시설 보완 이후에는 활용비율이 높아질 것으로 전망된다.

두 시설 유형 모두 생산된 바이오가스의 50% 이상을 자체이용에 활용하고 있으며, 그 외로는 단독처리시설의 경우 발전에 사용된 비율이 높은 반면, 병합처리시설은 가스공급

에 상대적으로 많이 이용되었음을 확인할 수 있다. 또한, 두 유형의 시설 모두 생산된 바이오가스를 단순처리(소각)하는 양이 15% 이상의 비율을 차지하고 있으며, 단독에 비해 병합처리시설에서 단순처리 비율이 상대적으로 더 높은 것으로 나타났다.

병합처리시설을 보다 세부적으로 살펴보면 발전, 외부판매, 자체이용, 단순처리 네가지의 이용 방식으로 나타났다.

(2) 전기 생산

전체 71개 에너지화 시설에서 연간 61,062MW의 전기를 생산하는 것으로 나타났다. 이중 32.6%인 19,920MW/년을 한전에 판매하여 수익을 얻고 있다. 67.4%인 34,253MW/년을 자가이용 하는 것으로 파악되었다.

표5. 바이오가스 발전 및 이용 현황

조사년도	발전량 (MW/년)	판매량 (MW/년)	수입액 (백만원/년)	자가사용 (MW/년)
2012	41,263	14,087	2,435	27,176
2013	46,972	18,545	2,854	28,426
2014	61,062	19,920	3,477	41,142
증감 (%)	14,090 (30.0)	1,375 (7.4)	623 (21.8)	12,716 (44.7)

(출처: 2014 유기성폐자원 에너지 활용시설 현황, 2015, 환경부)

3) 시설 유형별 유기성 폐자원 에너지화 효율 분석

시설 유형별 에너지화 효율 분석을 위해서는 우선 에너지화의 효율성을 판단하기 위한 기준을 정할 필요가 있다. 유기성 폐자원 에너지화 시설의 1차 산물이 바이오가스라는 점에 주목하여 처리하는 폐자원량에 대한 바이오가스 생산량(바이오가스 생산량(m^3)/폐자원 처리량(톤)) 이하 '바이오가스 생산효율(m^3 /톤)'을 시설의 에너지화 효율 판단의 기준으로 삼는다.

전체 55개 에너지화 시설의 바이오가스 생산효율은 $13.0m^3$ /톤이다. 이를 기본으로 시설 유형별로 비교하면, 단독처리시설 38개소의 효율은 $12.6m^3$ /톤으로 병합처리시설 17개소의 효율인 $13.4m^3$ /톤보다 낮게 나타난다. 다만 단독처리시설 내에서도 유형별로 가스 생산 효율의 편차가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 음식물과 음폐수 단독처리시설의 생산 효율이 여타 유형의 시설에 비하여 높은 효율을 보이고 있으며, 가축분뇨 단독

의 경우 가스 생산 효율은 5.5m³/톤으로 낮게 나타나고 있다.

표6. 시설 유형별 바이오가스 생산효율

처리시설 구분(개소)		유기성 폐자원 처리현황(천톤/년)	가스 생산효율 (m ³ /톤)	가스 생산량 (천 m ³ /년) (%)
		계		
계(71)		15,838	15.7	248,805
단독처리 (47)	음식물(5)	168	168.2	28,262
	음폐수(15)	867	50.5	43,759
	가축분뇨(6)	143	3.7	522
	하수슬러지(21)	7,325	10.5	77,093
	소계	8,503	17.6	149,636
병합처리(24)		7,335	13.5	99,169

병합처리시설의 경우 유형별로 에너지화 효율을 검토하면 다음과 같다. 본시설에서 유기성 폐자원 총 처리량의 생산효율을 별도로 계산하면 15.7m³/톤이다. 이는 하수슬러지 단독처리시설 47개소의 전체 생산량을 기준으로 한 바이오가스 생산효율 17.6m³/톤보다 낮은 수치로, 하수 병합처리가 하수 단독처리에 비하여 가스 생산 효율이 낮음을 확인할 수 있다.

또한 병합처리시설 유형의 생산효율은 13.5m³/톤으로 이 역시 가축분뇨 단독처리시설(6개)의 생산효율 3.7m³/톤, 하수슬러지 단독처리시설(21개소)의 생산효율 10.5m³/톤에 비하여 높은 수준이다. 다만, 음식물쓰레기 단독처리시설(5개소)의 생산효율 168.2m³/톤과, 음폐수 단독처리시설(15개)의 생산효율 50.5m³/톤에 비교할 경우 생산효율이 낮은 수준이라고 볼 수 있다. 따라서, 병합처리시설의 바이오가스 생산효율은 음식물쓰레기 및 음폐수 단독처리시설을 제외한 여타 단독처리시설의 생산효율에 비하여 높다고 볼 수 있다. 다만, 하수연계 병합처리시설 중 생산효율이 매우 저조한 사례도 있으므로 개별 병합처리시설의 바이오가스 생산효율이 단독처리시설보다 높다고 단정하기는 어렵다.

7. 유기성 폐자원 에너지화 시설 운영실태 분석

1) 바이오가스 시설 운영주체의 전문성 부족

앞서 검토한 바와 같이 병합처리시설의 바이오가스 생산효율은 일반적으로는 음식물쓰레기를 제외한 가축분뇨, 음폐수, 하수슬러지 단독처리시설의 생산효율에 비하여 높다고 할 수 있다. 그러나 하수처리 연계 유형의 병합처리시설 중에는 동일한 유기성 폐자원 조합의 시설임에도 바이오가스 생산효율의 편차가 크게 나타나고 있다. 때문에, 일반적인 생산효율 수준만으로 병합처리시설이 단독처리시설보다 바이오가스 생산효율이 높다고 단정하는 것은 한계가 있다. 오히려, 각 하수처리 연계 병합처리시설 11개중 절반가량이 5개소 10m³/톤 미만의 매우 낮은 생산효율을 보이고 있다는 점을 감안할 때, 상당수의 병합처리시설이 낮은 바이오가스 생산효율을 보이는 원인에 대한 보다 다각적인 검토가 필요하다.

이와 관련 유기성 폐자원 에너지화 시설들의 바이오가스 생산효율 저하의 원인 중 하나로 ‘시설 운영, 관리미흡’을 제시한 국회예산정책처(2012a)의 분석 내용을 참고할 수 있다. 이에 따르면, 일부 바이오가스화 시설의 경우 적정 운영방식에 대한 전문 지식 및 경험 부족으로 문제가 발생한 초기에 신속하게 대응하지 못하여 소화조가 가동을 멈추는 상태에 이르는 경우도 나타났다. 즉, 선진 공법을 이용하여 시설 설치가 잘 이루어지더라도 정작 생물학적 혐기발효에 대한 이해와 지식없이 운전이 하게 될 경우 메탄생성균의 생장을 위한 조건들을 제어하기 어려워 폐자원 처리뿐만 아니라 바이오가스 생산 또한 원활이 이루어지기 어렵게 된다. 이와 같은 시설운영, 관리상 문제는 일부 시설에 국한하는 문제라고 보기 어렵다. 전문가들을 대상으로 실시한 설문조사 결과에 따르면, 현재 유기성 폐자원 바이오가스화 시설의 운영 및 관리가 부적절하게 되고 있으며, 유기성 폐자원 에너지화 사업 평가 시 시설 부문이 가장 저조한 것으로 지적하고 있다.

한편, 바이오가스화 시설의 운영 및 관리 담당 주체에 관한 설문조사에서는 시설의 운영·관리에 있어서 가장 큰 애로사항으로 기술/경험 부족을 들고 있으며, 이에 절반 이상의 전문가들은 에너지화 시설을 전문업체에 위탁하여 운영하도록 하는 것이 바람직하다는 의견을 제시한 바 있다. 또한 시공업체에서 최소한 1~2년 정도는 의무적으로 운영하도록 한 후에 지자체에 이관시키는 것이 적절하다는 의견이 그다음으로 큰 비중을 차지하고 있다.

현재 국내 바이오가스 시설 현장에서는 재정 또는 근무환경의 열악함을 이유로 시설 운전경험을 갖춘 전문 인력을 찾거나 양성하는데 어려움을 겪고 있다. 또한, 시설 운영에

있어서 중요한 시기인 가동 초기단계에 운영을 위한 기본적인 매뉴얼 또는 시운전기간을 충분히 확보하지 못하는 점 역시 적정 운영을 저해하는 원인으로 볼 수 있다. 유기성 폐자원 에너지화 시설을 설치하는 건설업체들은 관련 설비를 완공한 이후 특별한 문제가 없을 시 시운전기간 이후 별다른 사후관리가 이루어지고 있지 않은 상황이다. 이에 계절별 폐자원 성상 차이나 각종 이물질 반입 등으로 인해 운전에 지장을 미치는 경우 등에 대해 보다 신속하고 적절하게 대응할 수 있도록 시설 설치 이후 가동 초기에 필요한 시운전 기간 확보 또는 매뉴얼 제공을 보장하는 제도적 장치가 필요하다.

2) 전처리 및 소화액 처리문제

음식물쓰레기(음폐수 포함), 가축분뇨와 하수슬러지 각각에 대한 구체적인 전처리 방법이 미비한 실정으로 현장에서의 폐자원별 전처리 필요성 및 방안은 다음과 같다.

음식물쓰레기의 경우 분리수거가 미흡하여 기기에 손상을 주는 이물질이 혼합 반이되고 있는 경우가 종종 발생하고 있다. 특히, 음식물쓰레기 내에는 조개껍데기, 각종 뼈, 금속품(수저, 젓가락, 나이프 등), 비닐봉투 등이 포함되어 있어 소화조에 유입시키기 전에 이들 이물질들을 제거하여야 한다. 이들 이물질들이 제거되지 않고 소화조에 유입될 경우 바이오가스 플랜트 내의 각종 펌프류 및 밸브들의 고장을 유발하게 되어 정상적인 시설 운영이 불가능하게 될 수 있다.

일반적으로 투입호퍼에 음식물이 투입된 후 소화조에 유입되기 전까지 각종 전처리 공정을 거치게 되는데 첫 번째, 파봉파쇄기를 거쳐 음식물쓰레기 내 포함되어 있는 비닐봉지를 제거한 후 소화에 유리한 일정한 크기로 잘라지게 된다. 두 번째, 자력 선별기를 설치하여 금속품을 제거하고, 세 번째, 비중선별기를 설치하여 비철금속 및 조개껍데기 등을 제거하게 된다. 통상 음식물류폐기물의 경우 파봉파쇄기, 자력선별기, 비중선별기를 설치하여 음식물쓰레기에 포함되어 있는 이물질을 제거한 후 소화효율을 증가시키기 위해 펄퍼와 같은 미세파쇄기를 설치한다.

한편, 음폐수의 경우에는 음식물 자원화시설(사료화, 퇴비화)에서 호퍼탈리액과 음식물쓰레기 탈수과정에서 발생하는 탈리액, 건조 시 발생하는 응축수 등으로 구성되어 있는데, 음식물쓰레기와는 달리 음식물 자원화시설에서 파봉파쇄, 자력선별, 비중선별 등의 전처리 과정을 거치기 때문에 소화조에 유입 전 추가적인 전처리시설은 불필요한 것으로 판단된다. 다만, 음폐수 내에 포함되어 있을 수 있는 실이나 끈과 같은 이물질로 인하여 기계류의 고장을 예방하고자 스크린 등을 설치하나 음폐수의 높은 점성으로 인하여 정상가동이 어려운 것으로 판단된다.

가축분뇨의 경우 축산농가 정류소에서 체류 후 시설로 이송되기 때문에 커다란 이물질이

포함되어 있지 않지만, 가축의 털 및 미세 협잡물들이 포함되어 있을 수 있으므로 종합 협잡물 제거기를 설치하여 이물질 제거할 필요가 있다.

마지막으로 하수슬러지는 생슬러지와 잉여슬러지로 구분되는 데 생슬러지의 경우 소화 효율과 가스발생량도 높은 편이나 잉여슬러지의 경우 주로 세포벽을 가진 세포로 구성되어 있어 소화효율이 낮다고 할 수 있다. 특히, 고도처리공정 운영 시 소화가스량이 전년 대비 34.5%가량 감소하고 설제 SRT를 3.8일에서 8.1일로 증가함에 따라 잉여슬러지 성분 중 유기성분이 대부분 사화 분해(서울 탄천물재생센터 사례)되는 것으로 나타났다. 따라서 소화효율을 향상시키기 위해 초음파, 캐비테이션, 고온고압 가수분해, 약품주입 등 세포벽을 파괴하는 가용화설비가 필요한 것으로 사료된다.

3) 바이오가스 시설 규모의 경제 실현 문제

바이오가스 생산 및 바이오가스를 이용한 전기 생산 두 가지 측면에 대해 각각 경제성을 분석한 선행연구에 따르면 바이오가스 생산과 발전 모두 경제성이 낮은 것으로 나타났다. 먼저 바이오가스를 이용한 발전의 경우, 앞서 검토한 것과 같이 시설 운전기술 미흡, 설비 오작동에 의한 잦은 시설의 가동 중단과 그에 따른 가동률 저하 문제 등이 복합적으로 작용하여 바이오가스 생산량이 낮은 수준에 그치는 것이 경제성을 낮게 하는 원인으로 지적되었다. 한편, 바이오가스 생산의 경우 폐기물 처리 수수료가 일정 수준 이상인 일부 시설을 제외한 나머지 경제성 분석 대상이 된 시설들은 경제성이 없는 것으로 분석되었다. 이러한 바이오가스 시설의 경제성 분석결과는 바이오가스 시설의 경제성을 확보하기 위해서는 일정수준 이상의 폐기물 처리수수료, 전기 및 가스판매단가 책정이 뒷받침되어야 이들 시설의 경제성이 확보될 수 있음을 시사한다.