

## 유기성폐기물의 바이오가스화 기술 및 보급 현황

허 남효

### The Status of Commercial Plant and Different Technologies for Bio-gasification of Organic Wastes

Namhyo Heo

**Key words** : Bio-gasification(바이오가스화), Anaerobic digestion(혐기성소화), Organic waste(유기성 폐기물), Methane(메탄), Renewable energy(재생에너지), Biomass(생물자원), Recycling(재활용)

**Abstract** : 국내에서 발생하는 고형폐기물 중 자원으로 재활용 가능한 유기성폐기물은 하수슬러지, 음식물류폐기물, 축산분뇨 등을 대표 할 수 있다. 이들 유기성폐기물은 환경적인 측면에서 볼 때 다른 유기성 폐수 및 폐기물에 비하여 오염부하량이 상대적으로 높지만, 이를 생물자원(Biomass)으로 인식하고 이용할 경우 지구온난화와 같은 환경문제 뿐만아니라 향후 자원고갈문제를 동시에 해결할 수 있는 대체에너지 자원이다. 유기성폐기물을 대체에너지 자원으로 효율적으로 이용하기 위해서는 우선적으로 국제적 환경규제와 에너지 정책에 능동적으로 대응할 수 있는 자원순환형 폐기물관리 시스템 구축이 필요하며, 이를 위한 체계적인 정책적 지원책과 기술 개발이 뒷받침 되어야 할 것이다. 자원 재활용과 에너지회수 기술에 있어 혐기성소화(anaerobic digestion)는 유기성폐기물의 효과적인 감량화, 재이용화, 안정화를 만족시키는 동시에 유용 에너지원인 메탄가스를 회수할 수 있는 바이오가스 전환기술로 최근에 주목을 받는 biotechnology 중의 하나로 자리매김 하고 있다. 특히, 소비자원의 대부분이 해외에 의존하는 국내 현실과 최근 고유가에 따른 국가 에너지 정책을 제고해야하는 현 시점에서 유기성폐기물을 이용한 바이오가스화 기술을 널리 보급하기 위해서는 요소기술 개발과 정부의 적극적인 정책적 지원 방안이 마련되어야 할 것이다.

#### 1. 서 론

지금까지 국내외적으로 유기성폐기물의 최종처분은 대부분 매립, 해양투기, 소각에 의존하여 왔으나, 소각에 따른 다이옥신에 의한 환경피해 사례와 그리고 해양오염, 메탄가스가 이산화탄소에 비하여 온실효과(greenhouse effect)가 약 21배정도 높다는 사실이 밝혀지면서 유기성폐기물의 국가적 규모의 체계적인 관리 및 이용에 있어 새로운 전환기를 맞이하게 되었다.

이에 최근 국내의 유기성폐기물 관리정책에 있어 환경오염 저감과 동시에 자원화를 유도하기 위한 일환으로 기존 매립장의 조기 안정화와 수면을 연장하기 위하여 하수슬러지 경우 2003년 7월부터, 음식물쓰레기의 경우 2005년 1월부터 육상 직매립을 전면적으로 금지하였고, 해양투기 또한 "96런던협약 의정서" 발효와 함께 폐기물의 해양배출 기준강화 함께 2012부터 유기성폐기물류의 해양투기가 전면적으로 금지 될 예정이다. 한편, EU, 일본 그리고 미국 등은 유기성폐기물을 생물유래의 자원으로 인식하여 바이오매스(Biomass)로 정의하고 있으며, 유기성폐기물의 매립, 해양

투기, 소각을 금지하는 환경법 제도정비와 함께 자원순환형 시스템 구축을 통하여 유기성폐기물의 감량화·자원화 및 에너지화를 위한 정책적 지원 방안과 기술개발에 박차를 가하고 있다.

유기성폐기물은 환경적인 측면에서 볼 때 다른 유기성 폐수 및 폐기물에 비하여 오염부하량이 상대적으로 높지만, Biotechnology 중의 하나인 혐기성소화(Anaerobic digestion)를 통하여 생물자원(Biomass)으로 이용할 경우 지구온난화와 같은 환경문제 뿐만아니라 향후 자원고갈문제를 동시에 해결할 수 있는 에너지 자원으로 재활용할 수 있다. 따라서 이제는 유기성폐기물을 폐기물이라는 관점에서 벗어나 자원으로 인식 전환이 필요하며, 이와 동시에 국가 에너지 정책에 있어 유기성폐기물의 바이오가스화(Bio-gasification) 기술의 보급 활성화를 위한 제도정비 및 정책적 지원 방안이 마련되어야 한다.

1) 한라산업개발(주) 영업본부 기술영업실  
E-mail : bionhhec@hallasanup.com  
Tel : (02)2047-5146 Fax : (02)2047-5397

## 2. 혐기성소화 Life-cycle

혐기성소화공정은 절대적으로 산소가 존재하지 않는 조건하에서 생분해성 유기물(biodegradable organics)이 가수분해, 산생성, 아세트산생성 그리고 메탄생성의 다단계 생화학적 반응을 거쳐 최종적으로 메탄(CH<sub>4</sub>)와 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)로 분해되는 과정으로 정의된다.

Fig. 1의 물질순환체계에 있어 인간이 사용하는 자원 중에서 가장 많은 양을 차지하는 것이 유기물이며, 화석연료를 제외한 생물 유래의 유기물은 바이오매스(Biomass) 자원이다. 따라서 인간의 소비활동으로부터 발생하는 다양한 유기성폐기물은 생물 유래의 바이오매스(Biomass)이므로 재생 가능한 자원이다. 바이오매스는 태양에너지를 이용하여 물과 이산화탄소로부터 생물의 광합성 작용을 통해 얻어지며, 태양에너지와 생명체가 존재하는 한 지속적으로 재생산 가능한 자원이다. 유기성폐기물의 혐기성소화 Life-cycle에서 소화슬러지는 퇴비로 재이용되어 토양으로 환원되고, 생성 바이오가스의 에너지(전력 및 열원) 전환과정에서 발생하는 이산화탄소는 생물의 성장과정에서 흡수한 것으로 대기중에 이산화탄소 양을 증가시키지 않는 "탄소 중립(carbon neutral)" 즉, CO<sub>2</sub> Zero emission의 특징을 지니며, 따라서 에너지생산에 있어 화석연료 대신 폐기물 바이오매스를 이용하면 이산화탄소의 배출을 줄여 지구온난화 방지에 크게 기여할 수 있다.

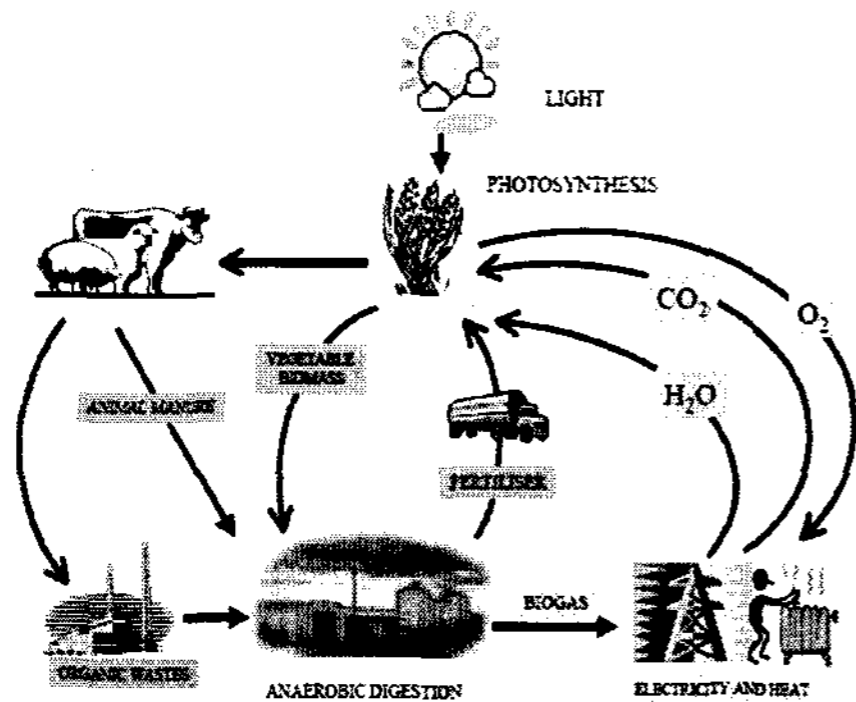


Fig. 1 Resource-recycling system of organic wastes by anaerobic digestion

## 3. 유기성폐기물의 발생량 및 처리 현황

국내에서 발생하는 고형폐기물 중 자원으로 재활용 가능한 유기성폐기물은 하수슬러지, 음식물류폐기물, 축산분뇨 등을 대표 할 수 있다.

### 3.1 하수슬러지 발생량 및 처리현황

'90년 이후 4대강 상수원 수질개선을 위해 하수관거정비 및 하수처리장 증·신설 사업을 점진적으로 추진한 결과 2005년 하수도 보급율은 83%까지 증가하였다. 2005년도 기준 전국적으로 294개소의 가동 중인 하수처리장에서 7,052톤/일의 하수슬러지가 발생하였고, 처리방식에 있어 해양투

기 77%, 소각 및 재활용 각각 11%, 육상매립 1%로 순으로 조사되었는데, 해양투기가 가장 높은 이유는 하수슬러지의 직매립 금지에 따른 결과와 다른 방식에 비하여 처리비용이 가장 저렴하기 때문으로 사료된다.

환경부는 하수도 보급률 향상을 위해 점진적으로 하수종말처리장 신·증설을 계획하고 있으며, 2011년에 하수슬러지는 '05년 대비 43% 증가한 약 10,071톤/일 발생할 것으로 전망하고 있다. 하지만 현재까지 하수슬러지 주 처리방식인 해양투기가 2012년 1월부터 전면적으로 금지되므로 하수슬러지의 육상처리시설 기반을 확충하기 위한 새로운 국면을 맞이하게 되었다. 이에 2011년말까지 하수슬러지 육상처리시설 기본계획은 해양투기 0%, 재활용율 67%, 소각 30%, 매립 3%를 목표로 하고 있으며, 이에 하수슬러지의 효율적인 관리를 위한 추진전략은 우선적으로 슬러지 발생량 최소화 및 생성 바이오가스 재활용율을 증대시키기 위해 다양한 슬러지 감량화 기술의 적용을 검토하고 있다.

Table 1 Production of sewage sludge

년도	발생량 (톤/일)	처리방식 (%)			
		재활용	해양투기	소각	매립
2001	5,209	6.3	73.0	7.3	13.4
2003	6,208	6.7	76.1	12.3	4.8
2005	7,052	11.0	77.0	11.0	1.0
2011	10,071	67.0	0	30.0	3.0

### 3.2 음식물쓰레기 발생량 및 처리현황

음식물쓰레기 발생량은 Table 1에 나타난 바와 같이 '03년까지 일정 수준을 유지하였으나, '05년부터 증가하여 13,028 톤/일을 나타내었다. 처리현황에 있어 매립의 경우 97년 폐기물관리법시행규칙 개정에 의해 '05년 1월부터 음식물류폐기물 직매립 금지됨에 따라 급격히 감소한 반면, 재활용량은 이에 상반되게 '05년도까지 꾸준히 증가하여 발생량의 93.8%인 12,215톤/일이 재활용되었다. '05년 기준 재활용량의 88%가 사료화, 퇴비화 방법에 의해 자원화 되었으며, 혐기성소화 방식에 의한 재활용량은 '99년도 대비 20배, '03년도 대비 3배 증가한 1,396톤/일을 나타내어 향후 꾸준히 증가할 것으로 예상된다.

한편, '05년도까지 음식물쓰레기 자원화를 위한 처리시설 용량 및 처리장수 각각은 13,364톤/일과 256개소로 시설용량 기준 공공처리 시설 대비 민간처리 시설이 2배 높다. 전체 자원화 시설의 가동율은 74% 수준으로 민간시설 158개소의 가동율은 66% 수준인 반면, 공공시설의 경우 91%(90개소)를 나타내어, 가동율 향상을 위한 방안으로 2010년까지 기존 노후시설 폐쇄 및 신설을 통하여 공공시설 처리용량을 60%까지 확충할 계획이다. 처리시설의 양적인 증가에도 불구하고 가동율이 낮은 이유는 재활용 제품(사료, 퇴비)의 품질저조 및 소비부진이 가장 큰 요인으로 작용하고 있다.

Table 2 Production of food waste

구분	'99	'01	'03	'05
발생량 (톤/일)	11,577	11,237	11,398	13,028
처리 현황 (%)	매립 (58.8)	3,856 (34.3)	2,836 (24.9)	333 (2.50)
	소각 (7.30)	1,003 (8.90)	844 (7.40)	480 (3.70)
	재활용 (33.9)	6,378 (56.8)	7,718 (67.7)	12,215 (93.8)
재활용 (%)	사료화 (61.1)	2,400 (55.3)	3,832 (49.6)	5,349 (43.8)
	퇴비화 (37.1)	1,457 (40.7)	3,391 (43.9)	5,470 (44.8)
	혐기 소화 (1.80)	71 (4.00)	495 (6.40)	1,396 (11.4)

### 3.3 축산분뇨 발생량 및 처리현황

국내 축산분뇨 발생량은 전체 오·폐수 발생량의 0.6%에 불과하지만, 오염부하량 기준으로 볼 때 전체 수질오염 부하량의 25.9%에 수준이며, 관리가 부실할 경우 심각한 토양 및 수계오염의 주요인으로 작용함으로 철저한 관리 및 처리가 요구된다. '06년 국내 축산분뇨 발생량은 120,732톤/일이며, 발생량의 약 83%인 100,562톤/일이 퇴비 및 액비화 과정을 통하여 자원화되고, 나머지는 정화처리 및 해양투기에 방식에 의해 처리되고 있다.

Table 3 Production of livestock manure ('06)

발생량 (톤/일)	자원화		정화처리		해양 배출 (위탁)
	퇴비	액비	자기 처리	공공 (위탁)	
120,732 (100%)	97,000 (80.3)	3,562 (2.95)	4,033 (3.34)	7,723 (6.40)	8,414 (6.97)

## 4. 바이오가스 플랜트 보급 현황

### 4.1 하수슬러지 바이오가스 플랜트

2003년 기준 국내 소화조가 설치된 하수처리장 시설용량은 100,000톤/일 이상이며, 하수처리장의 소화조를 운영 중인 처리장은 59개소였다. 하수슬러지의 혐기성소화 처리는 슬러지 안정화·감량화, 슬러지내 병원성균 사멸, 유용자원(메탄가스) 회수 등의 장점에도 불구하고 소화조 설치 실적이 저조한 이유는 높은 초기투자비 및 넓은 부지 확보, 유지관리비용 상승 등의 이유로 소화조 공정을 기피하여 왔기 때문이다.

Table 4에 소화조가 설치된 하수처리장의 가동율(설계기준 대비 실제 바이오가스 발생량)을 살펴보면, 100% 이상이 7개소로 12%, 80~100%가 5개소로 8.5%, 60~80%가 16개소 27.5%이고, 가동율 60% 미만인 처리장은 31개 52%로 조사되었다. 하수관거 정비 사업으로 인해 하수도 보급률 상승에도 불구하고 소화조 가동율이 낮은 주 원인은

저농도 하수 유입, 고도처리로 인한 슬러지 발생량 감소, 슬러지의 낮은 생분해도 특성, 그리고 설계단계에서 소화조 용량을 과다하게 산정하였기 때문이다.

Table 4 Status of A/D plant for sewage sludge

구분	합계	소화조 가동율 (%) (바이오가스, 발생량/계획량)			
		100% 이상	80%~100%	60%~80%	60% 미만
처리장 수	59 (100%)	7 (12%)	5 (8.5%)	16 (27.5%)	31 (52%)

한편, 2003년 하수슬러지 직매립 금지 이후 현재까지 하수슬러지 주 처리방식인 해양투기가 2012년부터 전면적으로 금지됨에 따라 하수슬러지 관리 방안으로 환경부는 '05년부터 “하수처리장 소화조 효율 개선 사업”을 통하여 육상처리시설 기반을 확충하고, 소화조 효율 개선을 통하여 근본적으로 슬러지 발생량 최소화하며, 이와 동시에 부생 바이오가스를 대체에너지원으로 적극적으로 활용하는 하수슬러지 자원화 정책을 적극적으로 추진하고 있다.

### 4.2 음식물쓰레기 바이오가스 플랜트

음식물쓰레기의 사료화와 퇴비화는 전체 재활용량의 88%를 차지하고 있으나 자원화 시설의 기준강화, 생산 제품의 안정성 및 수요처 확보 제한 등의 문제로 수용한계에 직면함에 따라 사료화와 퇴비화 이외의 다양한 자원화 방법과 처리 기술 개발이 절실히 요구되고 있다. 최근의 이러한 상황에서 음식물쓰레기의 효과적인 감량화 뿐만 아니라 자원화를 위한 대안으로 혐기성소화(anaerobic digestion, AD)에 대한 관심이 고조되고 있다.

'07년 현재 국내에 적용된 음식물쓰레기 혐기성소화 처리기술은 건식과 습식 전용소화와 하수병합소화 방식이며, 처리시설 현황을 Table 5, 6에 나타내었다. 처리시설의 대부분은 국고와 지방비가 투입된 공공시설이며, 현재 가동 중인 전용소화와 하수병합 처리시설 용량은 각각 513톤/일과 440톤/일로 전용소화 방식에 의해 처리되는 음식물쓰레기양이 다소 높으며, 향후 계획시설의 용량을 볼 때 2010년 이후에는 전용소화 시설용량이 월등하게 증가할 것으로 예상된다. 특히 환경부의 음식물자원화시설 가동율 향상을 위한 방안으로 2010년까지 기존 노후 시설 폐쇄 및 신설을 통하여 공공시설 처리용량을 60%까지 확충할 계획이며, 향후 혐기성소화 처리기술이 상당히 보급될 것으로 예상된다.

전용소화시설은 반입 및 전처리공정, 소화공정, 바이오가스 재이용공정, 소화슬러지 처리공정, 폐수처리공정, 악취처리 공정으로 구성하며, 생성 바이오가스는 소규모 시설의 경우 보일러 열원으로 이용하며, 과주와 부산 생곡의 경우 열병합 발전기를 이용하여 전력과 열을 생산하여 처리시설에 공급하고 있다. 기존의 하수처리장 소화조를 이용하는 하수병합소화 방식의 경우는 우선적으로 소화조의 여유용량 확보가 선행되어야 하며, 반입 및 전처리공정에서 이물질이 선별된 음식물

을 파쇄 후 소화조로 이송하여 처리하는 방식으로 전용소화에 비하여 시설이 단순하며, 특히 슬러지와 폐수는 하수처리장의 기존 처리시설을 이용함에 따라 낮은 운전비용으로 처리가 가능하다.

**Table 5 Status of single anaerobic digestion plant for food waste**

소재지	시설형태	운전상태	시설용량 (톤/일)
경기 광주시	공공처리	운전중	20
경기 의왕시	공공처리	운전중	30
경기 파주시	공공처리	운전중	30
경기 김포시	민간시설	운전중	50
강원 고성군	공공처리	운전중	10
충남 태안군	공공처리	운전중	10
경북 영덕군	민간시설	운전중	10
부산 강서구	공공시설	운전중	200
경기 화성시	공공시설	공사중	45
서울 동대문	공공시설	공사중	98
운전 및 공사 시설 용량 합계			513
서울 K구	공공시설	계획중	300
서울 K구	공공시설	계획중	300
계획시설 용량 합계			600

**Table 6 Status of anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge**

소재지	시설형태	운전상태	시설용량 (톤/일)
서울 강서구	공공처리	운전중	20
부산 수영구	공공처리	운전중	120
대구 북구	공공처리	운전중	200
울산 남구	민간시설	운전중	40
강원 속초시	공공처리	운전중	20
경남 밀양시	공공처리	운전중	20
경남 사천시	공공시설	운전중	20
운전시설 용량 합계			440
경기 H시	공공시설	계획중	20
전남 G시	공공시설	계획중	300
계획시설 용량 합계			320

### 4.3 축산분뇨 바이오가스 플랜트

국내에 적용된 축산분뇨 혐기성소화 처리기술은 습식 전용소화와 다른 유기성폐기물(음식물)과 통합소화 방식이며, 처리시설 현황을 Table 7, 8에 나타내었다. 축산분뇨 바이오가스화 시설의 도입은 90년대 중반부터 민간시설 위주로 시도하였으나 시설관리 미흡과 전문적인 운영기술 부족으로 시설이 폐쇄된 상태이며, 최근 유기성폐기물의 자원화와 국가 에너지정책에 있어 대체에너지 개발의 필요성이 증대됨에 따라 다시 바이오가스화

시설에 대한 관심이 집중되고 있다.

현재 가동 중인 축산분뇨 전용소화 시설의 대부분은 소규모 연구용이며, 이에 산업자원부는 바이오가스화시설 활성화를 위한 방안으로 신재생에너지 지방보급 사업을 지원하고 있으며 향후 처리 시설 용량150톤/일의 축산분뇨 바이오가스시설이 신설 될 예정이다. 한편, 축산분뇨의 효율적인 관리와 동시에 바이오가스시설의 에너지생산성을 향상시키기 위해 '90년대 후반부터 에너지 생산성이 높은 유기성폐기물(음식물쓰레기)과의 통합소화 방안이 검토되었다. 그 결과 국내 최초로 파주시에 상용화 축산분뇨(60톤/일)와 음식물쓰레기(20톤/일) 통합소화 시설이 가동되고 있으며 생성 바이오가스는 열병합발전기에 의해 전력과 열원을 생산하여 처리시설에서 재이용하고 있다.

**Table 7 Status of single anaerobic digestion for livestock manure**

소재지	시설형태	운전상태	시설용량 (톤/일)
전남 영광	민간시설	폐쇄	130('95)
경북 군위	민간시설	폐쇄	60('97)
충남 아산	민간시설	폐쇄	25('98)
충남 아산	연구시설	시험종료	10('99)
충남 홍성	민간시설	운전중	15('07)
경기 이천	연구시설	운전중	20('07)
충남 청양	연구시설	운전중	20('07)
운전시설(전용소화) 용량 합계			55
전북 J시	공공시설	계획중	50
전북 G군	공공시설	계획중	50
전북 M군	공공시설	계획중	50
계획시설(전용소화) 용량 합계			150

**Table 8 Status of anaerobic co-digestion for livestock manure and food waste**

소재지	시설형태	운전상태	시설용량 (톤/일)
경기 파주	공공시설	운전중	80('04) 돈분 60톤 + 음식물 20톤
경기 G시	공공시설	계획중	200 돈분 50톤 + 음식물 150톤

### 5. 결 론

혐기성소화 기술은 국내에서 문제시되고 있는 축산분뇨, 음식물쓰레기, 하수슬러지 등과 같은 유기성폐기물의 효과적인 감량화와 동시에 자원화를 위한 기술적 대안으로 유망하며, 국가 에너지정책을 제고해야하는 현시점에서 에너지생산 공정으로 자리매김 할 수 있도록 정책적 지원과 함께 기술 개발과 보급에 힘써 나가야 할 것이다.