



바이오가스 활용과 품질기준

김승수[†]

강원대학교 삼척캠퍼스 화학공학과

(2010년 7월 29일 접수, 2010년 9월 24일 수정, 2010년 9월 27일 채택)

Applications and technical standards for biogas

Seung-Soo Kim[†]

Department of Chemical Engineering, Samcheok Campus, Kangwon National University

ABSTRACT

The technology of anaerobic digestion of organic wastes has been researched for the production of biogas in various purposes. Biogas comes from anaerobic digestion and landfill in which that of main components are methane and carbon dioxide containing small amount of hydrogen sulfide and ammonia. Biogas can either be used directly on the site where it is generated after proper upgrading or distributed to external customer via separate pipelines like natural gas. There are four basic ways biogas can be utilized such as production of heat and steam, electricity production, vehicle fuel and production of chemicals. There is no international technical standard for biogas use but some countries have developed national standards and procedures for biogas use. In this paper, technical standards of biogas depending on purpose have reviewed for the several countries.

Keywords : Biogas, Biogas standard, Anaerobic digestion, Renewable Energy

[†]Corresponding author : sskim2008@kangwon.ac.kr

초 록

유기성 폐기물의 혐기성발효공정에 의한 바이오가스 연구가 다양한 목적으로 활발하게 진행되고 있다. 혐기성공정 또는 매립지에서 생성되는 바이오가스의 주요 조성은 메탄, 이산화탄소와 미량의 황화수소와 암모니아로 구성되며, 생산지에서 불순물을 정화시킨 후 바로 사용하거나 혹은 파이프라인을 통해 천연가스처럼 사용할 수 있다. 생산된 바이오가스는 열과 스티프생산, 전기생산, 자동차용 연료 및 화학물질 생산 등에 사용되어질 수 있다. 바이오가스는 사용 용도에 따라 여러 나라들의 관련 규정들이 정비되고 있지만 아직까지 국제적으로 공인된 표준 규격은 없다. 본 논문에서는 세계 각국의 바이오가스 용도별 품질특성을 살펴보았다.

핵심어 : 바이오가스, 바이오가스 표준, 혐기성소화, 재생에너지

1. 서론

2005년부터 석유가격이 급등하면서 이와 연동하여 천연가스도 높은 가격을 형성하고 있는데, 유기성폐기물로부터 생산된 바이오가스의 활용도에 대해 사회적 공감대가 필요하다. 열, 전기 및 연료로서의 바이오가스 개발을 장려하는 법률을 제정하는 국가가 점점 증가하고 있다. 2005년에는 바이오가스를 에너지로 사용하기 위해서 EU 각국에서 20 Mtoe 이상으로 추정되는 대상을 이용하여 5 Mtoe의 바이오가스를 생산하였다¹⁾. 바이오가스(Biogas)는 혐기성 공정(Anaerobic digestion) 또는 매립지(Landfill sites)에서 생성되며 주요 조성은 메탄(CH₄), 이산화탄소(CO₂)와 미량의 황화수소(H₂S)와 암모니아(NH₃)로 구성되며^{2),3)}, 수소(H₂), 질소(N₂), 할로젠화 탄수화물 또는 산소(O₂) 등이 극미량 포함되어 있다. 매립지에서 발생하는 바이오가스의 경우 매립조건, 분해단계, 매립폐기물 특성에 따라 혐기성 분해에 의해 일반적으로 주요성분인 메탄이 40~70%, 이산화탄소가 30~60%가 발생되고, 수소 0~5%, 질소 0~3%, 산소 0~3% 및 황화수소 0~2% 범위의 성분들이 포함되는 것으로 알려져 있다⁴⁾. 리그노셀룰로스(Lignocellulosic: 목재, 짚과 같이 셀룰로스, 헤미셀룰로스, 리그닌으로 구성된 바이오매스) 물질, 곡물 또는 유기성폐기물과 같은 바이오매스로부터 발생하는 순수한 바이오메탄과 혐기

성에 의하여 생성된 가스 그 자체를 의미하는 바이오가스는 다른 의미로 사용된다. 즉, 혐기성공정에 의하여 생성된 정제되지 않은 바이오가스는 일반적으로 수증기, 먼지, 황화수소와 유기 규소화합물(e.g Siloxanes)을 포함하고 있다⁵⁾. 리그노셀룰로스 물질은 헤미셀룰로스(Hemicellulose), 셀룰로스(Cellulose)와 리그닌(Lignin)으로 구성되며, 리그닌을 효율적으로 제거하고 헤미셀룰로스와 셀룰로스로부터 바이오메탄 생성을 위한 전처리 연구들이 다양하게 시도되었다⁶⁾. 바이오가스는 매립지에서 일반폐기물의 자연메탄화(바이오가스는 발생 시 회수된다) 또는 발효공정을 통해 발생한다. 모든 종류의 유기성 폐기물은 메탄생산에 사용할 수 있으며, 메탄화방법이나 적용되는 공정은 폐기물의 종류에 따라 달라진다. 도시하수 슬러지나 공장 배수에 의한 바이오가스는 통상 하수처리장에서 생산된다. 가정용 폐기물은 고품폐기물 메탄화 시설에서 처리된다. 그리고 유기액체비료나 수확작물에서 발생하는 농업폐기물은 농장규모의 단독 바이오가스 시설에서 처리된다. 바이오가스의 이용방법은 원료물질에 따라서 다르다. 매립지에서 발생하는 바이오가스는 주로 전기에너지로 변환되어 전력계통에 사용된다. 산업하수처리장에서 발생하는 바이오가스는 대부분 시설내의 열에너지 형태로 이용된다. 현재까지 단위 유기성폐기물에 대한 바이오가스의 생산기술은 어느 정도 확립된 것으로 평가된다⁷⁾.

바이오가스 내에 포함된 황화수소는 매립지 및 혐기성 소화조 내에서 황을 함유하는 유기물질로부터 분해되어 나온다. 황화수소의 발생은 매립지에 유입되는 유기성 폐기물의 성상에 따라 다양하게 나타나며, 부식성이 매우 강해서 황화수소를 함유한 바이오가스를 보일러에 사용할 때 반드시 제거를 해야 보일러 벽면과 엔진 실린더의 부식으로 인한 설비가동에 문제를 야기하지 않는다. 바이오가스 내 최대 허용 황화수소의 농도는 사용처에 따라 차이가 나며, 일반적으로 보일러에 사용할 경우 1000 ppm 이내로 제한이 된다⁹⁾. 유기 규소화합물인 실록산은 실리콘에 산소가 결합된 실리콘 혼합물(Si-O)을 의미한다. 규소성분을 포함한 휘발성 유기 규소화합물인 실록산 등이 바이오가스에 포함되어 가스터빈, 보일러, 내연기관 등의 연소공정에서 사용될 경우 산화되어 이산화규소(SiO₂) 형태의 침전물을 형성하여 효율저하 및 가동중지 등을 유발하는 원인이 될 수 있다. 폐수처리공정, 매립지가스 등 다양한 유기성 폐기물의 혐기성처리 공정으로부터 바이오가스 내 유기 규소화합물의 함량을 결정하기 위한 연구가 Rasi 등에 의해 연구되었다⁸⁾. 그리고, 바이오가스를 상업적으로 활용하기 위해 휘발성의 메틸 실록산(VMS: volatile methyl siloxanes) 제거를 위해 다양한 연구들이 시도되고 있다⁹⁾.

유기성폐기물의 혐기성 발효 과정에서 발생하는 바이오가스는 재생 가능한 에너지를 생산하기 위한 공급원으로 활용되며, 주요 구성 성분인 메탄과 이산화탄소가 연소되지 않은 채 대기 중에 방출되면 환경을 해치는 온실 가스 역할을 한다. 바이오가스 플랜트에서 바이오가스를 생산하면 바이오가스 형태로 재생 가능 에너지를 생성함으로써 메탄이 대기 중에 무분별하게 배출되는 것을 방지하고 화석 연료의 의존성을 줄여줄 수 있다. 국내외에서는 이러한 바이오가스를 연료로 활

용하기 위해 다양한 연구를 시도 하고 있다. 매립지와 농축산 폐기물로부터 생산되는 바이오가스의 안정적 공급과 활용에 대한 연구가 Funk Jr. 등에 의해 시도되었다⁸⁾. Chae 등은 양돈 폐기물을 대상으로 혐기성 발효과정에서의 온도변화에 따른 바이오가스 수율 연구를 수행하였다¹⁰⁾. Gioannis 등은 도시고형폐기물의 생물학적처리로부터 가스생성량 예측을 위해 속도상수 연구를 수행하였다¹¹⁾. 바이오가스의 품질기준과 품질 규격과 관련된 연구는 스위스, 독일 및 프랑스 등 유럽에서 진행되었다^{12),13)}. 국내에서도 환경관리공단 등 여러 기관에서 매립지에서 발생하는 바이오가스 활용을 위한 활발한 연구를 수행하고 있다¹⁴⁾.

바이오가스와 같은 신재생에너지를 국내에서 활용하기 위해 관련법도 정비가 되어야한다. 본 논문에서는 바이오가스 플랜트에서 생산된 외국의 바이오가스 품질기준들을 살펴보고, 제안된 내용이 바이오가스와 같은 청정연료를 석유대체연료로서의 보급 활성화하는데 기여하고자 한다.

2. 바이오가스 현황 및 활용

1988년부터 시행된 “폐기물 해양투기제도”와 하수슬러지의 육상 적매립이 금지된 1997년부터 2005년까지 년도별 하수처리슬러지 해양투기량 자료를 [Table 1]에 나타내었다. 이 기간 동안 해양에 투기된 하수슬러지의 양은 약 15배가 증가하였다. 최근 10년간 하수슬러지와 같은 폐기물 해양투기량의 급속한 증가로 해저 퇴적층에 크롬, 수은 등 중금속이 축적되어 일부 배출해역의 해저 퇴적물과 저서생물에서 중금속이 검출되는 등 해양오염이 가중되고 있는 실정이다. 이로 인해 국내 투기해역에서 어획한 홍게 등에서 중금속이 검출되는 등 폐기물에서 해양투기로 인한 바다

[Table 1] Ocean Dumping of Waste Sludge from 1997 to 2005 in Korea (Unit : km³)

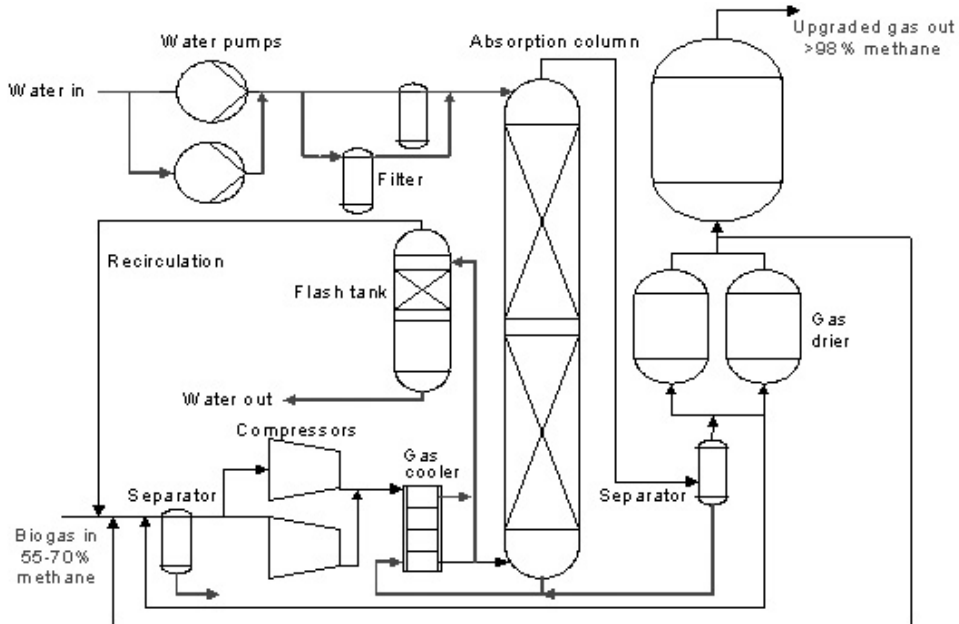
연 도	1997년	1998년	1999년	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년
투기량	266	489	658	920	1,145	1,268	1,364	1,547	1,629

오염의 심각성이 제기되고 있다. 폐기물의 해양투기에 대한 국제적 규제가 강화되고 있는 추세에서 투기 확대로 오염물질의 주변국 해역 유입 시 외교적 마찰이 우려되고 있으며, 특히 한국은 폐기물 대량배출국으로 런던협약에서 거명되고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 국내에서 관련법령 개정을 통해 중금속 등 해양오염 가능성이 매우 높은 하수처리슬러지와 축산폐기물은 2011년까지 원칙적으로 투기금지될 예정이다²⁴⁾. 하수처리슬러지 및 축산폐수는 2005년의 경우 해양투기량의 약 44%를 차지하였는데, 이들 물질에 대한 처리방법이 요구된다. 현재 하수슬러지 처리를 위해 슬러지 소각시설, 고화처리시설 등 육상처리시설의 확충 추진이 논의되고 있으나 아직까지 구체적인 실행된 예는 알려진 것이 없다. 따라서 하수슬러지와 축산폐기물 같은 유기성폐기물로부터 바이오가스를 생산하는 사업화 연구가 성공적으로 마무리될 경우 육상오염방지는 물론 해양오염방지 효과에도 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

유기성폐기물의 병합처리 공정으로부터 생성된 바이오가스의 순도는 공정의 효율에 따라 메탄의 함량이 55~70%정도에 이르며, 이산화탄소와 황화수소는 물을 이용한 스크러빙(Water scrubbing)을 통해 제거 효율을 높일 수 있으며 스웨덴 가스센터(Swedish Gas Center)에서 사용하고 있는 공정을 [Fig. 1]에 나타내었다²⁵⁾.

[Fig. 1]과 같은 정제공정을 거친 바이오가스는 98% 이상의 메탄으로 회수되며, 이런 과정으로 회수된 바이오가스는 “열과 스팀 생산, 전기 생산/배기열 재활용, 수송용 연료 및 화학물질 생산” 등과 같은 4개 분야에서 이용이 될 수 있다.

개발도상국에서 소규모로 생산되는 바이오가스는 주로 취사용과 조명용으로 사용된다. 재래식 가스버너와 가스램프는 공기와 가스비 조절만으로도 쉽게 바이오가스를 적용할 수 있다. 산업화된 나라에서는 복합발전기(Combined heat and power)를 제외한 보일러에 바이오가스를 연료로 사용하지만 대규모 산업적 적용

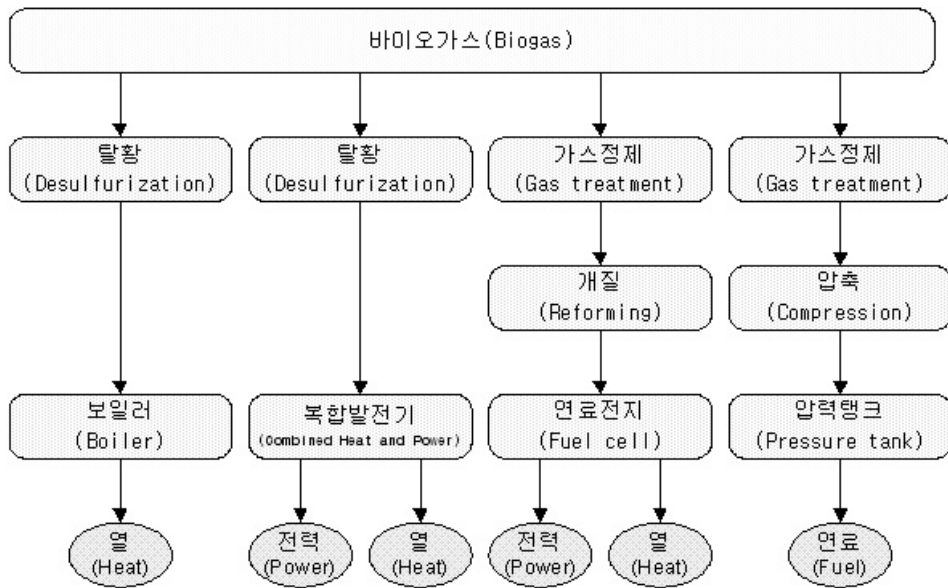


[Fig. 1] Schematic diagram of biogas purification.

은 스팀 생산을 위해 사용된다. 보일러에서 바이오가스의 연소는 이미 확립된 기술이며, 압력범위가 8~25 mbar에서 사용된다. 황화수소는 1000 ppm 이하의 수준으로 제한하는 것이 일반적이다. [Fig. 2]에 생산된 바이오가스를 대상으로 정제를 거쳐 활용되는 분야를 나타냈다¹²⁾. 청정연료인 바이오가스 상용보급화를 위해 각국은 품질기준 설정을 위한 연구들을 진행하고 있으며, 스웨덴의 경우 수송용 연료로 활용하기 위한 품질기준을 이미 설정하였다. 그러나 현재까지 바이오가스를 일반 연료나 수송용 연료로 사용하기 위한 국제표준 규격은 존재하지 않는 실정이다. 바이오가스는 정제공정을 거

친 후 압축하여 압력탱크에 저장되어 연료로 활용이 가능하다. 음식폐기물이나 하수슬러지를 통해 생산된 바이오가스가 취사, 난방, 발전 및 수송용 연료로 사용되기 위해서는 정제과정이 필요하며, 국내에서 이와 같은 연료를 사용하기 위해서는 품질특성평가를 통해 “석유 및 석유대체연료 사업법”의 석유대체연료로서 추가하는 제도적 정비가 필요하다.

다양한 분야에서 활용 가능한 바이오가스의 품질 요구조건을 [Table 2]에 나타내었다¹³⁾. 각종 유기성폐기물의 혐기성공정에서 생산되는 정제되지 않은 바이오가스는 황화수소, 이산화탄소 및 수증기 등을 포함하고



[Fig. 2] Application area of biogas.

[Table 2] Biogas Quality Requirements Depended on the Utilization

응용분야	H ₂ S	CO ₂	H ₂ O
보일러(Boiler)	< 1000 ppm	no	no
주방용(Kitchen stove)	yes	no	no
복합발전엔진(CHP)	< 1000 ppm	no	no (condensation)
수송용연료	yes	yes	yes
천연가스 배관망	yes	yes	yes

있다. 이들 물질은 보일러나 연소기를 부식시킬 수 있고, 바이오가스의 열량과 밀접한 관련이 있으므로 응용 분야에 따라 허용 여부와 농도가 엄격하게 제한된다.

[Table 3]은 2006년과 2007년 EU 각국의 1차 에너지생산에서 이용되고 있는 바이오가스의 원료별 생산량을 나타낸 결과이다³⁹⁾. 이 결과에 과잉가스 연소는 포함되어 있지 않다. 현재 바이오가스의 생산을 위해 가장 많이 이용되고 있는 원료는 쓰레기처리장의 폐기물이며, 2005년에 4898.9 ktOE 였다. 다음이 하수처리장과 기타 원료로 각각 867.8 ktOE와 1330.8 ktOE 였다. 유럽의 경우 바이오가스 활용을 위해 20여년 전부터 다양한 연구가 시도되어왔다. 국내에서도 매립가스 자원화 사업이 환경부훈령(제2001-499호)에 의해

추진되고 있으며, 그 외에도 런던협약에 의해 하수슬러지나 축산폐기물 등의 해양투기가 2012년부터 금지됨에 따라 혐기성처리를 통한 바이오가스 사업이 활발하게 진행되고 있다. 유럽 선진국의 예로 스페인은 한반도 면적의 약 2.5배 이다. 인구는 4,000만정도로 남한보다 약간 적다. 2007년 스페인에서 생산된 바이오가스의 양이 329.9 ktOE였으며, 이를 사용한 발전량은 915.5 GWh 였다. 현재 국내상황에서 생산할 수 있는 바이오가스의 양이 스페인의 경우와 비슷하다고 가정했을 때, 국내에서도 바이오가스로부터 이와 같은 경제적 이득을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

[Table 4]에 매립지 가스, 혐기성공정으로부터 생산된 바이오가스, 북해에서 생산된 천연가스와 네덜란드

[Table 3] Primary Energy Production of Biogas in the European Union in 2006 and 2007 (KtOE)

Countries	2006				2007			
	Landfill gas	Sewage sludge gas	Other biogases	Total	Landfill gas	Sewage sludge gas	Other biogases	Total
Germany	383.2	270.2	1011.7	1,665.1	416.4	270.2	1696.5	2,383.1
UK	1318.5	180.0	-	1,498.5	1433.1	191.1	-	1,624.2
Italy	337.4	1.0	44.8	383.2	357.7	1.0	47.5	406.2
Spain	251.3	48.6	19.8	319.7	259.6	49.1	21.3	330
France	150.5	144.0	3.6	298.1	161.3	144.2	3.7	309.2
The Netherlands	46.0	48.0	47.1	141.1	43.2	48.0	82.8	174
Austria	11.2	3.5	103.4	118.1	10.7	2.0	126.4	139.1
Denmark	14.3	21.0	57.6	92.9	14.3	21.0	62.6	97.9
Belgium	51.0	17.6	9.1	77.7	48.1	18.0	12.5	78.6
Czech Rep.	24.5	31.1	7.8	63.4	29.4	32.1	17.0	78.5
Poland	18.9	43.1	0.5	62.5	19.1	43.0	0.5	62.6
Greece	21.2	8.6	-	29.8	38.0	9.8	-	47.8
Finland	26.1	10.4	-	36.5	26.4	10.3	-	36.7
Ireland	25.4	5.1	1.8	32.3	23.9	7.9	1.7	33.5
Sweden	9.2	17.1	0.8	27.1	9.2	17.1	0.8	27.1
Hungary	1.1	8.0	3.1	12.2	2.1	12.4	5.7	20.2
Portugal	-	-	9.2	9.2	-	-	15.4	15.4
Slovenia	6.9	1.1	0.4	8.4	7.6	0.6	3.8	12
Luxembourg	-	-	9.2	9.2	-	-	10.0	10
Slovakia	0.4	6.9	0.4	7.7	0.5	7.6	0.5	8.6
Estonia	3.1	1.1	-	4.2	3.1	1.1	-	4.2
Lithuania	-	1.5	0.5	2	1.6	0.8	-	2.4
Cyprus	-	-	0.0	0	-	-	0.2	0.2
EU	2,700.2	867.9	1,330.8	4,898.9	2,905.3	887.3	2,108.9	5,901.5

에서 생산된 천연가스의 조성을 나타내었다¹²⁾.

[Table 4]에 설명한 인자들 중 가스이용의 매우 중요한 인자중 하나가 Wobbe index이다. 이 값은 아래 식으로 결정된다.

$$W = \frac{Q}{\sqrt{d}}$$

여기서, Q = 열량(heating value)

d = 상대밀도(relative density)

바이오가스의 열량은 메탄의 함량에 의해 결정된다. 1 nm³의 바이오가스가 연소될 때 고위발열량(Higher heating value)은 연소과정에서 생성되는 수분이 응축되었을 때 얻어지는 값이다. 반면, 저위발열량(Lower

heating value)은 수분이 응축되지 않았을 때 얻어지는 값이다. 상대밀도는 공기밀도에 대한 가스밀도이다. 메탄값(Methane number)은 연료가 엔진에서 연소과정 중 노킹(Knocking)에 저항하는 척도이다. 메탄값의 정의에 대한 메탄은 100이고 수소는 0이다. 이산화탄소는 높은 노킹 저항성을 가지는 불연소 가스이므로 메탄값을 증가시킨다. 따라서 정제된 바이오가스는 100 이상의 메탄값을 가진다.

유기성폐기물 병합처리로부터 생성된 바이오가스를 연료로 활용하기 위해 바이오가스의 주요 성분인 메탄을 제외한 이산화탄소 등은 분리·정제 되어야 한다. [Table 4]에서 살펴본바와 같이 혐기성공정의 효율에 따라 다소 차이는 있으나 바이오가스 중 메탄의 순도

[Table 4] Composition of Landfill Gas, Biogas from AD, North Sea Natural Gas, Dutch Natural Gas

	Unit	Landfill gas	Biogas from AD	North sea natural gas	Dutch natural gas
Lower heating value	MJ/nm ³	16	23	40	31.6
	kWh/nm ³	4.4	6.5	11	8.8
	MJ/kg	12.3	20.2	47	38
Density	kg/nm ³	1.3	1.2	0.84	0.8
Higher Wobbe index	MJ/nm ³	18	27	55	43.7
Methane number		>130	>135	70	-
Methane	vol%	45	63	87	81
Methane, variation	vol%	35-65	53-70	-	-
Higher hydrocarbons	vol%	0	0	12	3.5
Hydrogen	vol%	0-3	0	0	-
Carbon oxide	vol%	0	0	0	0
Carbon dioxide	vol%	40	47	1.2	1
Carbon dioxide, variation	vol%	15-50	30-47	-	-
Nitrogen	vol%	15	0.2	0.3	14
Nitrogen, variation	vol%	5-40	-	-	-
Oxygen	vol%	1	0	0	0
Oxygen, variation	vol%	0-5	-	-	-
Hydrogen sulfide	ppm	<100	<1000	1.5	-
Hydrogne sulfide, variation	ppm	0-100	0-10000	1-2	-
Ammonia	ppm	5	<100	0	-
Total chlorine (as Cl) ⁻	mg/nm ³	20-200	0-5	0	-

는 75% 미만이다. 따라서 천연가스에 해당하는 열량 (국내에서 공급되는 천연가스의 열량 : 10,400 kcal/nm³)의 메탄을 얻기 위해서 [Fig. 1]과 같은 공정을 거칠 수 있다. 바이오가스 내에 포함되어 있는 이산화탄소와 황화수소는 흡수공정을 거쳐 제거할 수 있으며, 이 경우 물은 가장 일반적인 용매로서 수분 세정 (Water scrubbing) 공정을 적용할 수 있다. 압축된 바이오가스는 세정기 아래 부분으로 공급되고 세정기 윗 부분에서 분무되는 물과 병류(Counter flow)로 접촉하게 된다. 세정탑은 바이오가스와 물의 접촉표면적을 높이기 위해서 충전물로 채워진다. 바이오가스에 혼합된 이산화탄소와 황화수소는 메탄보다 물에 대한 용해도가 크다. 세정탑 상류로는 포화된 물과 고순도의 메탄이 배출된다. 바이오가스에서 수분 증기압을 낮추기 위해 건조과정이 필요하다. 바이오가스를 정제 하는 세가지 주요이유는 “가스의 응용을 위한 요구조건을 만

족하기 위해서(가스엔진, 보일러, 연료전지, 차량 등), 가스의 발열량 향상 및 가스 표준화” 때문이다.

3. 용도별 바이오가스 품질기준

바이오가스는 생산지에서 바로 사용될 수도 있고, 파이프라인을 통해 소비자에게 공급될 수도 있다. 외부 소비자에게 공급될 경우 생산지에서 적절한 정제공정을 거쳐 천연가스 배관망을 통해 공급될 수 있다. 바이오가스에 대한 국제기술표준은 존재하지 않지만 몇몇 국가별 표준과 바이오가스 주입을 위한 표준이 개발되어 있다. 기존 가스배관망에 바이오가스 주입은 가스를 통해 질병이 옮겨지는 것에 대한 관심이 대두되기도 하였다. 스웨덴의 감염 질병 통제 연구소, 국립 수의학 연구소와 스웨덴대학교 농업과학연구소와 이런 위험성에 대해 연구를 하였고¹⁵⁾, 바이오가스를 통한 질병

[Table 5] Standard for Biogas as Vehicle Fuel in Sweden

Parameter	Unit	Demand in standard
Lower Wobbe index	MJ/nm ³	43.9-47.3 (95-99% 메탄 농도에 해당함)
MON (motor octane number)	-	> 130 (ISO 15403에 따른 계산)
Water dew point	°C	실온~5
CO ₂ +O ₂ +N ₂	vol %	< 5
O ₂	vol %	< 1
Total sulphur	mg/nm ³	< 23
NH ₃	mg/nm ³	20

[Table 6] Requirements for Unlimited Gas Injection according to Swiss Standard

Parameter	Unit	Demand in standard
Methane content	vol %	≥ 96
Gas relative humidity	-	≤ 60%
Dust	-	Technically free
CO ₂	vol %	≤ 6
O ₂	vol %	≤ 0.5
H ₂	vol %	≤ 5
H ₂ S	mg/nm ³	≤ 5
S	mg/nm ³	≤ 30

확산의 위험은 매우 낮다는 결론을 내렸다. 또한 바이오가스에 포함된 미생물은 천연가스에서 발견되는 것과 비슷한 숫자인 것을 확인하였다.

각국에 대한 바이오가스 품질기준에 대해 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 스웨덴은 1999년 자동차용 연료로서 바이오가스의 국가품질기준을 제정하였다¹²⁾. 바이오가스 표준의 주요인자들은 [Table 5]와 같다. MON(Motor Octane Number)는 연료가 노킹에 저항하는 정도를 나타낸다. 자동차용 연료로 사용되는 바이오가스 표준의 경우 이산화탄소, 산소와 질소의 합이 5 vol % 이하로 규정하고 있다. 스웨덴 표준은 천연가스 배관망에 주입되는 바이오가스에도 적용된다. 열량과 관련된 추가적인 요구사항은 프로판 가스에 준해서 적용된다.

스위스의 경우 바이오가스는 몇 개 지역의 천연가스 배관망을 통해 공급된다. 스위스 품질기준에 의해 2개

의 다른 품질규격이 허용되고, 하나는 제한적 주입기준이고 다른 하나는 비제한적 주입기준이다. 비제한적 주입기준 [Table 6]은 제한적 주입기준 [Table 7]보다 엄격하게 관리된다^{13,14)}. 비제한적 규격에서 메탄 함량은 96 vol % 이상이고, 제한적 규격에서는 50 vol % 이상인 것이 가장 큰 특징이다.

독일은 바이오가스 주입기준(G262)를 가지고 있으며, 이런 기준은 독일 물·가스 협회(German Water and Gas Association)와 독일 바이오가스 협회(German Biogas Association)의 상호검토에 의해 만들어졌다. 기준은 독일 천연가스 기준(DVGW G260)을 근간으로 해서 제정되었다. 기준에서 높은 열량을 내기위해 천연가스 배관망에 주입하기 위한 주요 요구사항은 [Table 8]과 같다¹⁵⁾. 독일 기준은 제한적 주입과 비제한적 주입 두 가지를 허용하고 있다. 품질기준

[Table 7] Requirements for Limited Gas Injection according to Swiss Standard

Parameter	Unit	Demand in standard
Methane content	vol %	> 50
Gas relative humidity	-	≤ 60%
Dust	-	Technically free
CO ₂	vol %	≤ 6
O ₂	vol %	≤ 0.5
H ₂	vol %	≤ 5
H ₂ S	mg/nm ³	≤ 5
S	mg/nm ³	≤ 30

[Table 8] Requirements for Gas Injection According to German Standard G260/G262

Parameter	Unit	Demand in standard
Higher Wobbe index	MJ/nm ³	46.1~56.5 (> 97.5% 메탄 농도에 해당함) 37.8~46.8 (87~98.5% 메탄 농도에 해당함)
Relative density	-	0.55~0.75
Dust	-	Technically free
Water dew point	℃	지온(ground temperature)
CO ₂	vol %	< 6
O ₂	vol %	< 3 (건조기준)
S	mg/nm ³	< 30

G260은 바이오가스가 [Table 6]과 같은 기준에 따를 경우 높은 발열량을 가진 정제 바이오가스의 비제한적 주입을 허용하고 있다. 독일 기준은 또한 바이오가스 생산자에게 바이오가스 취급과 관련된 건강 위험성을 나타내는 데이터(Safety data) 제공을 요구한다.

프랑스는 2004년에 천연가스 배관망에 가스 주입을 위한 품질기준을 제정하였다. 프랑스 품질기준은 산소의 함량에 대해 엄격하게 통제를 하고 있으며, 중금속과 할로젠 화합물에 대해서도 많은 제한 기준을 포함하고 있다.

우리나라는 운영되는 매립지에 매립된 폐기물은 물리적·화학적·생물학적인 반응에 의해 분해되고 정

화되는 과정에서 각종 가스상 물질이 발생된다. 가스상 물질은 메탄과 이산화탄소가 대부분이며 휘발성 유기 화합물 등도 미량 검출이 된다. [Table 10]은 환경관리공단에서 분석한 광역매립지 매립가스를 실측한 결과이다³⁶⁾.

국내 광역매립지에서 발생되는 매립가스의 주요 구성성분은 메탄과 일산화탄소이며, 메탄의 함량이 약 58%인 것을 확인할 수 있다. 대우건설기술연구원에서 발표한 자료에 의하면 50 m³급 축산분뇨로부터 메탄의 순도가 75~80%인 바이오가스를 생산하였고 1,700 m³급 음식물 처리시설로부터 메탄순도가 75%

[Table 9] Standard for Gas Injection into the National Gas Grid in France

Parameter	Unit	Demand in standard
Higher heating value	MJ/nm ³	고발열량 : 38.52~46.08 저발열량 : 34.2~37.8
Higher Wobbe index	MJ/nm ³	고발열량 : 48.24~56.52 저발열량 : 42.48~46.8
Hydrocarbon dew point	℃	< -5, 1~80 bar
Water dew point	℃	< -5
CO ₂	vol %	< 2
Dust	mg/nm ³	< 5
Total sulphur	mg/nm ³	< 100 일평균 < 75 년평균
O ₂	ppm _v	< 100
Hg	mg/nm ³	< 10 (천연가스) < 50 (액화천연가스)
Cl	mg/nm ³	< 1
F	mg/nm ³	< 10
H ₂	%	< 6
CO	%	< 2

[Table 10] Compositions of Landfill Gas at 12 Landfill Sites in Korea

구분	주요 구성성분 (vol %)				미량가스물질 (ppm)		
	CH ₄	CO	O ₂	N ₂	NH ₃	H ₂ S	VOCs
함량	57.9	39.5	0.6	2.1	8.5	86.2	2.48

인 바이오가스를 생산하였다⁶⁾. 국내에서도 유기성폐기물로부터 바이오가스를 생산하는 발전설비에 대한 기술은 이 분야에서 선도적인 유럽 각국과 별 차이가 나지 않는 것으로 판단된다. 그러나 유기성폐기물로부터 생산하는 청정연료인 바이오가스를 국내 시장에 보급하고 상용화하기 위해서 제도적인 문제점들이 보완되어야한다. 예를 들면, 가스전에서 직접 채취하거나 액화천연가스를 기화시킨 기체상태의 연료용 가스를 천연가스(Natural gas)라고 한다. 한국가스공사는 대량수송과 저장을 위해 천연가스를 영하 162℃로 냉각시켜 부피를 1/600으로 압축시킨 액화천연가스(LNG : Liquefied Natural Gas)를 국내에 공급하고 있다. 한국가스공사는 천연가스 표준열량을 10,400 kcal/nm³로 규정하여 공급하고 있으나 자체 공급기준 이외에 “액화석유가스의 안전 및 사업관리법” 및 다른 법으로 품질기준을 규정하고 있지 않다¹⁷⁾. 바이오가스를 수송용 연료로 사용하기 위해 스웨덴의 경우 관련 법령 “SS 155438”을 제정하였으나, 국제적으로 통용되는 제도적 정비는 아직까지 이루어지지 않은 상태이다¹⁸⁾. 따라서 바이오가스로부터 정제된 고순도의 바이오메탄을 국내에서 활용하기 위해 관련 법령이 우선 정비되어야한다.

바이오가스를 정제한 고순도 메탄을 국내 실정에 맞는 연료로 사용을 위한 “석유 및 석유대체연료 사업법” 품질기준 설정이 필요하다. 바이오가스의 품질기준 설정을 위한 시험항목과 관련규격을 [Table 11]에 나타내었다. 현재, “석유 및 석유대체연료 사업법”에 정의

된 석유대체연료의 종류는 “바이오디젤연료유, 바이오에탄올연료유, 석탄액화연료유, 유화연료유 등”이다¹⁹⁾. 바이오가스를 국내에 사용하기위해 지식경제부 등 관련 기관이 품질평가를 하고, 국내 실정에 맞는 품질평가를 통해 도출된 안을 바탕으로 자문위원회를 운영하고, 최종적으로 바이오가스를 “석유 및 석유대체연료 사업법”에 새로운 석유대체연료로 추가하는 과정이 필요하다.

4. 결론

바이오가스는 혐기성공정 또는 메립지에서 생성되며 주요 조성은 메탄, 이산화탄소와 미량의 황화수소와 암모니아로 구성된다. 각종 유기성 폐기물의 혐기성발효공정으로부터 발생하는 바이오가스를 정제하여 취사, 난방, 발전 및 수송용 연료로 사용하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있고, 사용 용도에 따라 여러 나라들이 관련 규정들이 정비되고 있지만 아직까지 국제적으로 공인된 표준 규격은 없다.

국내에서도 메립지가스나 하수슬러지 발효과정에서 발생하는 바이오가스 생성 연구를 활발하게 진행하고 있고, 이를 화석연료를 대체하기위한 청정 신재생에너지로 활용하기 위해 관련법도 정비가 되어야한다. 본 논문에서는 세계 각국의 바이오가스 용도별 품질특성을 살펴보았다. 바이오가스를 국내에 사용하기위해 지식경제부 등 관련 기관이 품질평가를 하고, 국내 실정에 맞는 품질평가를 통해 도출된 안을 바탕으로 자문

[Table 11] Test Items and Related Standard for the Preparation of Biogas Standard

시험항목	관련규격
메탄의 순도분석	-
황분	ASTM D 4468
밀도	KS M ISO 8973
잔류물질	ASTM D 2158
수분	ASTM D 2713
O ₂	-
NH ₃	-

위원회를 운영하고, 최종적으로 바이오가스를 “석유 및 석유대체연료 사업법”에 새로운 석유대체연료로 추가하는 과정이 필요하다.

참고문헌

1. <http://ind.kreire.kr/pdf/pdfsource/245958p.pdf>.
2. <http://www.biogas-nord.com/ko/renewable-energy-why-korea/what-is-a-biogas-plant-korea>.
3. Trendsetter Report No 2003:3, “Biogas as Vehicle Fuel – A European Overview” (2003).
4. Ajhar, M., Travessert, M., Y´ce, S. and Melin, T., “Siloxane removal from landfill and digester gas – A technology overview”, *Biore source Technology*, 101, pp. 2913~2923 (2010).
5. Hendriks, A.T.W.M. and Zeeman, G., “Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass”, *Biore source Technology*, 100, pp. 10~18 (2010).
6. 유성인, 홍성모, “축산폐수 Biogas 발전 플랜트”, *DICT Newsletter*, pp. 6~9 (2006).
7. http://www.iea-biogas.net/Dokumente/upgrading_rz_low_final.pdf.
8. Rasi, S., Lehtinen, J. and Rintala, J., “Determination of organic silicon compounds in biogas from wastewater treatments plants, landfills, and co-digestion plants”, *Renewable Energy*, 35, pp. 2666~2673 (2010).
9. Funk Jr., P.V.K., Bauer, D.J. and Morris D., “The promise and realities of biogas produced from landfills and farm waste”, *Cogeneration & Distributed Generation Journal*, 25(2), pp. 44~51 (2010).
10. Chae, K.J., Jang, A., Yin, S.K. and Kim, In S., “The effects of digestion temperature and temperaute shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure”, *Biore source Technology*, 99, pp. 1~6 (2008).
11. De Giannis, G., Muntoni, A., Gappai, G. and Milia, S., “Landfill gas generation after mechanical biological treatment of municipal solid waste. Estimation of gas generation rate constants”, *Waste Management*, 29, pp. 1026~1034 (2009).
12. Persson, M. and Wellinger, A., “Biogas upgrading and utilization”, *IEA Bioenergy*, (2006).
13. *Biogas Barometer*, *Euroberb's ER* 45, (2008).
14. <http://www.oceandumping.re.kr>.
15. Vinner´s, B., Sch'nnig, C. and Nordin, A., “Identification of the microbiological community in biogas systems and evaluation of microbial risks from gas useage”, *Science of the Total Environment*, 367, pp. 606~615 (2006).
16. <http://www.emc.or.kr/quotation/reclamation.asp>
17. http://www.kogas.or.kr/gas_info/industry/fuel/heat.jsp
18. Rutz, D., Janssen, R., “Overview and Recommendations on Biofuel Standards for Transport in the EU”, *WIP Renewable Energies*, (2006).
19. 석유 및 석유대체연료 사업법령집 (2007). 