

CH₄ 고도정제와 CO₂ 포집을 고려한 습식 바이오가스 정제시스템 개발

김미선*, 한상종**, 장향연**, 임현만**, 정진홍**, 안광호**, 김원재**

*과학기술연합대학원대학교 건설환경공학

**한국건설기술연구원 환경연구본부

e-mail: wjkim1@kict.re.kr

Biogas Purification Plant using Water Scrubbing for Efficient CH₄ Upgrade and CO₂ Capture

Mi-seon Kim*, Sang-jong Han**, Hyang-youn Chang**,

Hyun-man Lim**, Jin-hong Jung**, Kwang-ho Ahn**, Weon-jae Kim**

*Department of Civil and Environmental Engineering, KICT School, University of Science
and Technology

**Department of Environmental Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building
Technology

요 약

유기성 폐기물로부터 생산되는 바이오га스는 자동차 연료, 열과 전기 생산 등 다양한 에너지원으로 쓰일 수 있다. 그러나 정제되지 않은 바이오 메탄은 불순물(CO₂, H₂S 등)이 포함되어있고 이 가스들은 기기에 부식과 손상을 일으키기도 한다. 이를 방지하기 위해서는 정제과정을 거친 고순도 메탄 생산이 요구된다. 습식 바이오가스 정제공정은 물을 이용하여 바이오가스 내의 이산화탄소를 포함한 불순물을 제거하고 메탄의 순도를 높이는 공정이다. 전처리과정을 통해 유입되는 바이오가스는 메탄정제조, 메탄회수조, 이산화탄소정제조를 통해 메탄과 이산화탄소로 분리된다. 본 연구에서는 메탄의 고도 정제와 이산화탄소를 회수할 수 있는 실 규모 습식 바이오가스 정제 플랜트를 설계하여 구축했다.

1. 서론

바이오가스는 음식물 쓰레기, 축산분뇨 및 하수 슬러지 같은 유기성 폐기물의 혐기성 소화를 통해 생산된 가스다. 바이오가스는 약 40~65 vol%의 메탄(CH₄)과 약 30~55 vol%의 이산화탄소(CO₂), 소량의 질소(N₂), 산소(O₂), 암모니아(NH₃), 수소(H₂), 황화수소(H₂S) 및 기타 미량가스로 이루어져 있고, 정제한 가스(CH₄)는 수송용 연료, 도시가스 와 전기를 생산하는 등 다양한 용도로 활용할 수 있다.¹⁾ 2016년 이후 육상 폐기물의 해양투기가 전면 금지되고 육상 처리로 전환되면서 유기성 폐기물의 처리비용이 톤당 3만 원에서 톤당 13만 원까지 급증하였다. 또한, 음식물 쓰레기의 사료화와 퇴비화는 상품성이 떨어지고 음폐수의 처리문제도 수반되기 때문에, 유기성 폐기물을 지속 가능한 에너지원으로 전환할 수 있는 바이오가스 산업이 크게 주목받기 시작하였다.

그러나 바이오가스 산업의 활성화를 위해서는 악취와 폐수 처리, 에너지 회수 효율 제고 등의 문제를 극복해야 한다. 또한 바이오메탄은 다양한 불순물을 포함하고 있기에 장비의

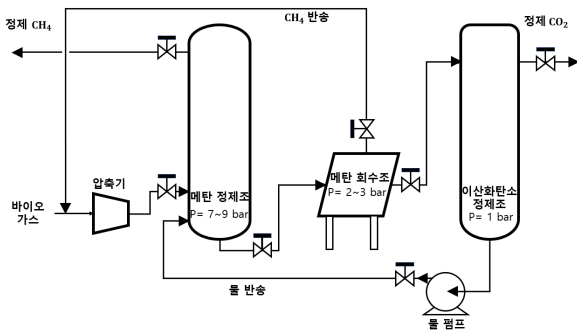
손상과 고장을 일으킬 수 있다. 황화수소 및 할로젠 화합물은 물과 함께 산성 수용액이 되어 배관부품, 임펠러 등에 심각한 부식을 유발하고, 실록세인은 산화하면 이산화규소(SiO₂)와 규산염으로 전환되어 밸브나 노즐 등에 퇴적된 후 막힘을 유발할 수 있다.²⁾ 이를 해결하기 위해서는 고순도의 메탄 정제와 이산화탄소 회수를 통해서 최종산물의 고급화 및 제거처의 다변화를 도모할 필요가 있다.

본 연구에서는 메탄가스의 순도 95% 이상 정제 및 이산화탄소를 포집할 수 있는 고효율 저비용 습식 바이오가스 고도 정제 공정을 개발하였다.

2. 연구방법

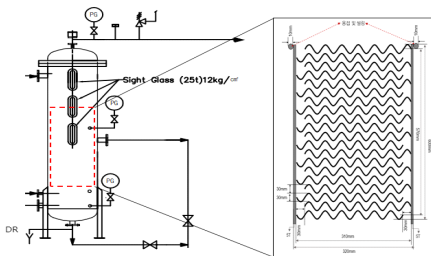
습식 바이오가스 정제 플랜트는 메탄정제조(처리용량: 300 L/min), 메탄회수조(용량: 92.2 L), 그리고 이산화탄소정제조(처리용량: 300 L/min)로 구성하였다(그림1). 메탄정제조(운전압력: 7~9 bar)는 콤프레서에서 보낸 바이오가스를 물을 이용해 이산화탄소 및 기타 불순물을 용해시키고, 메탄회수조(운전압력: 2~3 bar)에서는 물과 함께 유실된 메탄가스를 회수하여 컴프레서 전단으로 되돌려 보낸다. 마지막으로 이

산화탄소정제조는 물에 녹은 CO₂를 대기압에서 용출시켜 회수하고, 용존 CO₂를 방출한 용해수는 다시 메탄정제조로 반송시켜 순환이용하는 단위공정이다.



[그림 1] 습식 바이오가스 고도정제시스템의 구성

메탄정제조는 기액 접촉면적을 높이기 위해 40개의 파상형 플레이트가 내장되어 있고 10 bar까지 운전할 수 있도록 설계가 하였다(그림 2). 운전의 효율성 및 기액 접촉효율을 제고하기 위하여 바이오가스와 물의 유하 방향이 같은 병류식(co-current)을 채용하였다.



[그림 2] 메탄정제조 구조와 내부

메탄회수조의 모양은 바이오 메탄의 회수율을 증가시키기 위해 평행사변형의 형태로 제작하였다(그림 3). 일정한 직경을 갖는 기포를 부상시켜 제거·정제하는 조건에서 입자의 상승속도식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$W = \frac{1}{18} \cdot g \cdot \frac{\rho_s - \rho}{\mu} \cdot d^2 \quad (1)$$

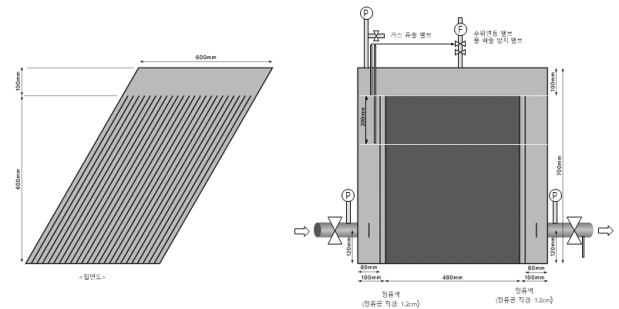
g 는 중력가속도(단위: cm/sec²)이고, ρ_s (단위: g/cm³)와 ρ (단위: g/cm³)는 입자의 밀도와 물의 밀도를 나타낸다. μ (단위: g/cm·sec)는 물의 점성계수를 의미하고, d (단위: cm)는 입자의 직경을 의미한다. 60°각도의 경사판을 내부에 설치하여 물과 같이 유실된 메탄가스의 회수율을 높이는 용도로 설계하였다.

$$V = Q_i \cdot \frac{d_w}{W} \quad (2)$$

메탄회수조의 용량(V , 단위: L)은 초기유량(Q_i , 단위: L/min)과 가스의 상승거리(d_w , 단위: cm)와 속도(W , 단위:

min)를 이용하여 구할 수 있다. 회수조의 위치, 정류판과 경사판을 고려해서 용량은 92.2L로 설계하였다.

이산화탄소정제조는 메탄정제조와 동일한 처리용량을 가지고 있으며 내부에는 파상형 플레이트가 없는 구조를 갖고 있다. 정제조의 내부 압력(1 bar)이 유입되는 물(2~3 bar)보다 작기 때문에 용존되어 있는 CO₂가 용출되어 포집되고, 용해수는 유출관을 통해 다시 메탄정제조로 순환·이용된다.



[그림 3] 메탄회수조의 구조와 내부

습식 바이오가스 정제플랜트에서 쓰이는 물은 수도물을 사용하였다. 바이오가스와 물의 체적유량비를 2:1, 1:1, 1:2로 선정하였으며, 메탄정제조 내부압력은 7.5 bar, 8.0 bar 및 8.5 bar로 각각 달리하여 운전하였다.

[표 1] 바이오가스 정제플랜트의 단위공정별 주요 설계인자

공정	사양 및 구성		단위
메탄 정제조	사이즈	3125*406	mm
	처리용량	300	L/min
	최대운전압력	10	bar
	파상형 플레이트 수	40	매
메탄 회수조	사이즈	H700*W680 *D680	mm
	내부용량	92.2	L
	내부압력	2~3	bar
	경사판 수	47	매
이산화탄소 정제조	사이즈	3125*406	mm
	처리용량	300	L/min
	최대운전압력	10	bar

3. 결론

- 1) 메탄정제조, 메탄회수조 및 이산화탄소정제조로 구성되는 실규모 습식 바이오가스 정제플랜트를 구축하여 다양한 조건에 대해 운전하였다.
- 2) 메탄의 정제율 85%와 이산화탄소 정제율 60%를 달성하였다. 향후 보다 높은 수준의 정제율을 달성하기 위해, 메탄과 이산화탄소 회수율을 높이는 방안을 마련하고 있다.

사사

본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원

연구운영비지원(주요사업)사업으로
수행되었습니다(과제번호 20220081-001,
유기성 폐기물 바이오가스를 활용한 자원·에너지
재생시스템 실용화기술 개발).

참고문헌

- [1] 김영준, 강용태, “바이오가스의 정제공정에 대한 고찰”, 대
한설비공학회, pp.694-699. 2009.
- [2] 김길정, 김래현, “하수처리장 바이오가스를 이용한 발전시
가스엔진의 고장원인 분석”, Journal of Energy
Engineering, Vol. 25, No. 4, pp.13-29, 2016.