

## 바이오가스 정제 설비의 실증 연구

이환철\*, 이재현\*\*†

\*한국지역난방공사, \*\*†한양대학교 기계공학부

## Empirical Study of Biogas Purification Equipment

Hwan Cheol Lee\*, Jae-Heon Lee\*\*†

\*Korea District Heating Corporation

\*\*†School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

(Received Aug. 30, 2020; Revised Sept. 6, 2020)

**ABSTRACT** : In this study, to increase the methane content of biogas supplied from Nanji Water Regeneration Center and to purify impurities, a three-stage membrane purification process was designed and installed to demonstrate operation. The methane concentration of biomethane produced in the 2 Nm<sup>3</sup>/h purification process was set to three cases: 95%, 96.5%, and 98%, and the membrane area ratio of the membrane was 1:1, 1:2, 1:1:1. The optimum conditions for the membrane area of the separator were derived by changing to five of 1:2:1 and 1:2:2. 3 stage separation membrane process of 30 Nm<sup>3</sup>/h was installed to reflect the optimum condition of 2 Nm<sup>3</sup>/h, and biomethane production of 98% or more of methane concentration was demonstrated. As a result of the operation of the 2 Nm<sup>3</sup>/h refining device, the methane recovery rate at the 98% methane concentration was 95.6% when the membrane area ratio was 1:1 as the result of the two-stage operation of the separator, and the recovery rate of methane at 1:2 was increased to 96.8%. The methane recovery rate of the membrane three-stage operation was highest at 96.8% when the membrane area ratio was operated at 1:2:1. The carbon dioxide removal rate was 16.4 to 96.4% and the 2:2 to 95.7% film area ratio in the two-step process. In the three-step process, the film area ratio was 1:2:1 to 95.4%, and the two-step process showed higher results than the three-step process. In the 30 Nm<sup>3</sup>/h scale biogas purification demonstration operation, the methane concentration after purification was 98%, the recovery rate of methane was 97.1%, the removal rate of carbon dioxide was 95.7%, and hydrogen sulfide, the cause of corrosion, was not detected, and the membrane area ratio was 1:2:1 demonstration operation, biomethane production with a methane concentration of 98% or higher was possible.

**초록** : 본 연구에서는 난지물재생센터에서 공급되는 바이오가스의 메탄 함량을 높이고 불순물을 정제하기 위해 3단 분리막 정제 공정을 설계하고 설치하여 실증 운전하였다. 2 Nm<sup>3</sup>/h 정제 공정에서 생산되는 바이오메탄의 메탄농도를 95%, 96.5%, 98%의 3가지 경우로 설정하고 분리막의 막면적비를 1:1, 1:2, 1:1:1, 1:2:1, 1:2:2의 5가지로 변경하여 분리막의 막면적에 대한 최적조건을 도출하였다. 2 Nm<sup>3</sup>/h의 최적조건을 반영하여 30 Nm<sup>3</sup>/h 규모의 3단 분리막 공정을 설치하였으며 메탄농도 98% 이상의 바이오메탄 생산을 실증하였다. 2 Nm<sup>3</sup>/h의 정제장치 운전결과 메탄 설정농도 98%

# 바이오가스 정제 설비의 실증 연구

에서 메탄 회수율은 분리막 2단 운전결과 막면적비가 1:1인 경우 95.6%이며 1:2에서 메탄의 회수율은 96.8%로 증가하는 결과를 나타내었고 분리막 3단 운전의 메탄 회수율은 막면적비를 1:2:1로 운전하였을 때 96.8%로 가장 높게 나타났다. 이산화탄소 제거율은 2단공정 막면적비 1:1에서 96.4%이며 1:2에서 95.7%였다. 3단공정에서 막면적비 1:2:1에서 95.4%로 2단공정이 3단공정보다 높은 결과를 보였다. 30 Nm<sup>3</sup>/h 규모의 바이오가스 정제 실증운전에서 정제 후 메탄 농도는 98%이었으며, 메탄의 회수율은 97.1 %, 이산화탄소의 제거율은 95.7%이며 부식의 원인인 황화수소는 검출되지 않았으며 막면적비 1:2:1의 실증운전에서 메탄농도 98%이상의 바이오메탄 생산이 가능했다.

Key words : :Biogas(바이오가스), Membrane(분리막), Permeance(투과도)

† Corresponding Author, lhc@kdhc.co.kr

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 필요성

지구 온난화와 화석연료 자원고갈 문제로 인해 재생에너지의 관심이 높아지고, 유기성 폐기물을 이용하는 바이오가스는 환경파괴를 유발하지 않으며, 다른 재생에너지원에 비해 경제성이 높아 유럽, 미국 등 선진국뿐만 아니라 한국, 일본, 동남아시아 등에서 바이오가스를 통한 바이오메탄 활용이 증가하고 있다.

특히 2013년부터 해양투기가 전면 금지되는 가축분뇨 및 음식물류폐기물의 혐기성소화를 통한 에너지화는 환경규제 대응과 대체에너지 생산이라는 일석이조의 효과를 가져다 줄 수 있어 기술개발 노력이 매우 필요하다. 이에 따라 정부는 저탄소 녹색성장이라는 새로운 정책적 전환을 통한 돌파구를 마련하고, 환경산업을 신성장 동력으로 내세워 경제발전을 이룩하고자 하고 있으며, EU, 미국, 영국, 일본 등은 유기성 폐기물의 혐기성 소화 방식을 통한 바이오가스의 생산 및 활용을 위한 기술개발과 보급을 위한 다양한 정책을 추진하고 있다.

바이오가스는 하수슬러지, 음식물쓰레기, 가축분뇨 및 농업 부산물 등과 같은 유기성 폐기물에 포함된 유기물을 공기가 없는 혐기성 상태에서 분해함으로써 생산되는 바이오연료이다.

국내 유기성 폐기물의 발생량은 매년 113만 톤이 발생하지만 에너지로 전환하여 이용되는 비율은 약 3.7%에 불과하다. 현재까지 국내의 경우 바이오가스의 활용기술은 주로 보일러온수로 사용하거나 가스발전을 통해 전기를 생산

하는 기술이 전부이다.

따라서, 바이오가스를 차량연료 및 대체 천연 가스로 고부가 가치화하여 활용하기 위해서는 메탄의 함량을 95% 이상으로 높이고 불순물을 제거하는 공정의 도입이 필요하다. 100% 수입에 의존하고 있는 천연가스의 자급도를 올리고, 지구온난화 지수가 이산화탄소 대비 21배 높은 메탄을 바이오가스로 활용하여 온실가스 감축을 기대할 수 있다.

### 1.2 연구내용 및 방법

본 연구에서는 난지물재생센터에서 생산되는 바이오가스를 메탄 농도 98% 이상의 바이오메탄으로 정제하는 공정을 설계 및 제작하여 실증하였다. 연구는 분리막 제작과 투과도 실험, 현장 소규모 파일럿 장치 운전, 실증을 위한 파일럿 플랜트 설치와 운전 이렇게 3단계로 진행하였다.

첫째, 분리막의 소재를 비교하여 최적화된 소재를 선정하고 단일 분리막 모듈을 제작하여, 고순도 기체를 투과하여 각각의 기체 투과도를 측정하였다.

둘째, 메탄 농도 98% 이상의 바이오메탄 정제 공정의 변수 확인을 위해 난지물재생센터에 바이오가스 처리용량 2 Nm<sup>3</sup>/h 규모의 정제 장치를 설치하고 운전하였다. 분리막의 막면적 즉 단별 모듈 개수에 따라 일정한 메탄 농도에서 메탄 회수율, 이산화탄소 제거율, 재순환율 등의 값을 확인하여 현장적용을 위한 장치 스케일업 공정설계 데이터로 활용했다.

셋째, 2단계 실험 결과를 반영하여 바이오가스 처리용량 30 Nm<sup>3</sup>/h 규모의 정제장치를 설치하였고, 운전을 통해 2단계 실험 결과를 실증하였다.

## 2. 분리막 이론

### 2.1 분리막 기체 분리

분리막(membrane)이란 액체 또는 기체 상태의 혼합물질에 대해 원하는 물질만 선택적 투과, 전달 및 분리하는 물리적 경계층이라고 할 수 있다.

본 연구에서 사용하는 분리막은 여러 종류의 기체혼합물이 통과할 수 있는 미세한 중공사 형 태이다. 혼합기체가 중공사를 통과하며 중공사 내부의 분리막에서 흡수, 확산에 따른 선택적 투과현상으로 기체가 분리되게 된다. 분리막을 빠르게 투과한 기체는 중공사의 외벽에 투과기 체로 분리되는 반면 투과하지 못한 기체는 중공 사의 내부를 통과하여 잔류기체로 따로 분리되 게 된다. 바이오가스 정제 시 상대적으로 투과성 능이 높은 이산화탄소가 분리막을 통과하여 투 과기체가 되고 메탄은 잔류기체로 분리된다. 각 기체의 투과율은 분리막을 구성한 고분자물질과 대상 기체 사이의 확산속도 차이에 의해 결정되 며 작은 분자량의 기체는 큰 분자량 기체보다 분리막을 빠르게 투과하는 특성이 있다.

분리막 소재에 대한 평가 지표는 투과도와 선택도로 구분 할 수 있다. 단일 기체의 투과도 (Permeance)를 나타내는 단위는 GPU(Gas Perme-ation Unit)이며 단위면적, 단위시간, 단위압력 당 투과된 유량을 나타내는 물리량이다. 이 때 투과도를 G, 단위면적을 A, 단위시간을 t, 단위 압력 P, 투과된 유량을 V라고 하며, 투과도는 식 (2-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$G = \frac{V}{AtP} 10^{-6} \quad (2-1)$$

선택도(Selectivity)는 혼합기체에서 주입된 기체의 성분비와 투과된 기체의 성분비를 계산 하여 나타낸 지표이며, 선택도는 S로 나타낸다.

$$S = \frac{G_{CO_2}}{G_{CH_4}} \quad (2-2)$$

### 2.2 분리막 공정 평가 지표에 대한 정의

공정평가에 대한 지표는 순도(Purity), 회수 율(Recovery),

재순환율(Recycle Ratio)이 있다.

순도는 분리막의 투과부에서 나오는 기체의 농도를 나타내며 단위는 vol%로 나타내며 식 (2-3)과 같이 나타낸다. 회수율은 분리막으로 주입되는 유량과 농도에서 분리막으로 투과 되는 기체의 유량과 농도를 계산하여 나타낸 것으로 주입한양 대비 투과부의 양을 %로 표현 한 것이다. 회수율은 메탄과 이산화탄소 모두 같은 개념으로 적용된다. 재순환율은 분리막으로 주입되는 유량과 농도에서 분리막에서 투과 되지 않고 순환하게 되는 기체의 유량과 농도를 계산하여 나타낸 것으로 주입한양 대비 투과되 지 않은 양을 %로 표현한 것이며, 식 (2-4)와 같이 나타낼 수 있다. 이때 주입되는 유량은  $V_f$ , 농도는  $C_f$ 이며, 투과되지 않고 순환하게 되는 기체의 유량은  $V_d$ , 농도는  $C_d$ 와 같이 나타낼 수 있다.

본 연구에서는 바이오가스를 정제하여 고순도의 바이오 메탄을 생산하는 연구이므로 메탄에 대한 순도와 회수율을 나타내었다. 메탄에 대한 순도는 분리막의 투과부에서 나온 메탄의 농도를 나타낸다. 메탄의 회수율은 분리막으로 유입되는 절대적인 메탄의 양과 투과되는 절대적인 양에 대한 표현을 말한다. (1)

$$R = \frac{C_d V_d}{C_f V_f} \quad (2-3)$$

## 3. 실증 장치 및 방법

### 3.1 실증 장치

분리막 정제 공정의 변수 확인을 위해 난지물 재생센터에 2 Nm<sup>3</sup>/h 규모의 바이오가스 전처리 설비와 분리막 장치를 설치하였다. 폴리설피론 소 재를 사용하여 제작하였고, 크기는 직경 35 mm, 길이 18 cm이며 표면적 1,000 cm<sup>2</sup>이다.

바이오가스 2 Nm<sup>3</sup>/h 처리용량의 정제 장치이며, 1단 2 개, 2단 2개, 3단 2개 총 6개의 분리막을 설치하였고 각 단 별 분리막에 밸브를 설치하여 분리막의 개수 즉 막면적을 1:1, 1:2, 1:1:1, 1:2:1, 1:2:2로 변화시킬 수 있으며, 가스의 온도를 낮 추는 냉각기, 탈황 제거타워, 공급압력 7 bar 의 압축기, 저장탱크, 3단 투과부 압력 차이를 발생시키는 진공펌프로 구성되어 있다.

## 바이오가스 정제 설비의 실증 연구

또한, 2 Nm<sup>3</sup>/h 바이오가스 정제장치의 실증을 위해 30 Nm<sup>3</sup>/h를 처리 할 수 있는 정제 장치를 설치하였다. 가스온도조절기, 1차 제습기, 탈황 제거타워, 탄화수소 제거타워, 가스압축기, 저장 탱크, 2차 제습기, 분리막 모듈, 유량 측정 장치, 메탄 감지기로 구성되어 말한다.(2)

### 3.2 실증 방법

기체 투과도의 측정은 대기온도 25 °C, 압력 5 kgf/cm<sup>2</sup>에서 1시간 이상 시운전 후 측정하였으며, 질소, 산소, 메탄, 이산화탄소에 대하여 증공사를 투과하는 기체의 부피를 측정하였으며 유량계를 이용하였다. 분리막 투과 특성 시험을 통해 측정 된 투과 유량을 활용하여, 기체 투과도와 선택도를 계산하였다.

Fig. 3-1은 분리막 면적비 1:1:1의 계통도이며, 공급되는 바이오가스는 냉각기를 통해 10°C로 낮아지며, 제습기를 통해 1차 제 습된 가스는 황제거 설비를 통과하며 황이 제거되며, 탄화수소 제거설비를 통과하며 탄화수소가 제거 된다.

압축기를 통과한 바이오가스는 5~7 bar로 승압되어 저장탱크에 저장된다. 저장탱크 를 통과한 바이오가스는 2차 제습기를 통해 제 습된 후 1차 분리막으로 공급된다. 1단 분리막과 2단 분리막을 거치면서 농축된 메탄은 회수 되게 되고 1단 분리막에서 투과된 가스는 3단 분리막을 거치게 되는데 여기서 투과된 가스는 고농도 이산화탄소로 버려지게 되고 생산된 가스는 재순환되어 유입가스와 같이 분리막 공정을 다시 거치게 되고 2단 분리막에서 투과된 가스 또한 재순환되어 분리막 공정을 다시 거치게 된다. 각 단별 분리막 면적 즉 단별 분리막 조합을 1:1, 1:2, 1:1:1,

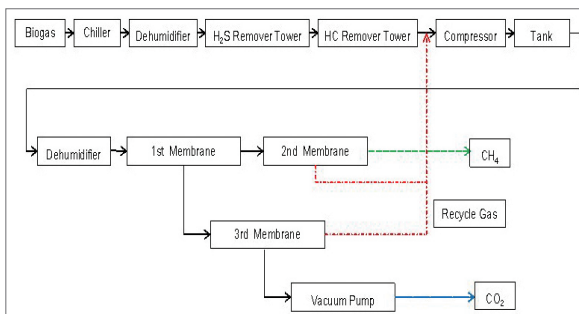


Fig. 3-1 Biogas purification process block diagram

1:2:1, 1:2:2로 변경하여 일정한 메탄 농도 생산기준에서 메탄 회수율, 이산화탄 소 제거율, 재순환율 등의 값을 확인하였다. 현장 파일럿 장치에 대한 실증은 Fig. 3-1의 소규모 파일럿 장치와 동일한 공정으로 운전되나 2단계 실험에서 확인된 변수를 바탕으로 3단 분리막은 1:2:1의 막면적비로 운전하며 2단계 실험에서 확인된 변수들을 현장에 적용하여 생 산되는 바이오가스의 메탄 농도, 메탄 회수율, 이산화탄소 제거율, 황화수소 농도의 결과 값을 얻었다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 분리막의 단일기체 투과 특성 시험

기체 투과도의 측정은 대기온도 25°C, 압력 5 kgf/cm<sup>2</sup>에서 1시간 이상 시운전 후 실시하였으며, 질소, 산소, 메탄, 이산화탄소에 대하여 투과도를 측정하였다. 질소, 산소, 메탄, 이산화탄소를 측정하였으며 메탄의 투과도는 7.6 GPU이며, 이산화탄소는 222 GPU, 산소는 39.8 GPU로 측정되었다. 하지만, 질소는 메탄 보다 작은 7.1 GPU로 질소와 메탄의 선택적 분리는 불가능 하다. 이 데이터로 폴리설폰 소재의 분리막은 바이오가스의 메탄과 이산화탄소의 분리가 가능함을 확인하였고 2단계 소규모 파일럿 장치 시험에 사용하였다.

### 4.2 2 Nm<sup>3</sup>/h 정제장치를 통한 최적조건 도출

생산되는 바이오메탄의 메탄 농도를 95%, 96.5%, 98%의 3가지 경우로 설정하고, 분리막의 막면적비를 1:1, 1:2, 1:1:1, 1:2:1, 1:2:2의 5가지로 변경하여 각 경우의 메탄 회수율을 확인하였다. Fig. 4-1은 바이오메탄 농도에 따른 메탄 회수율을 측정 한 결과를 나타낸다. 세로축은 메탄의 회수율로 분리막으로 유입되는 절대적인 메탄의 양과 투과되는 절대적인 양에 대한 비율을 말한다. 가로축은 95%, 96.5%, 98%의 메탄 설정농도를 표시한다. 메탄 설정농도 98%에서 메탄 회수율은 분리막 2단 운전결과 1단 막면적과 2단 막면적비가 1:1인 경우 95.6%이며 1:2에서 메탄 의 회수율은 96.8%로 증가하는 결과를 나타내었다.

이는 2단 분리막의 면적 증가에 따라 2단 분리막의 투과량이 증가하고 재순환율이 증가하여 공급가스의 이산화탄소 제거가 잘 이루어지게 되어 같은 메탄농도 생산기준으로 메탄 회수율이 증가하는 결과가 나타난다.

메탄 설정 농도 98%에서 분리막 3단 운전의 메탄회수율은 막면적비를 1:2:1로 운전하였을 때 96.8%로 가장 높게 나타났다. 이는 2단 운전 결과와 마찬가지로 2단의 막면적비 증가에 따라 2단의 투과량이 증가하고 재순환율이 증가하여 메탄 회수율을 증가시키게 된다. 반면 3단의 막 면적 증가는 메탄회수율을 감소시키는 결과를 나타내었다. 이 데이터를 통해 1단에서 투과된 가스가 3단에 공급되어 막면적이 증가하면 투과량이 증가하고 투과량 증가에 따라 투과가스의 메탄농도가 증가되어 배출되기 때문에 3단에서의 재순환량은 감소하고 공정의 메탄 회수율은 감소하는 결과를 알 수 있다.

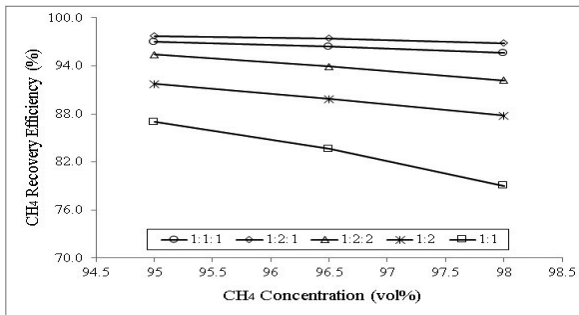


Fig. 4-1 Result of CH<sub>4</sub> recovery efficiency

Fig. 4-2는 바이오메탄 농도에 따른 이산화탄소 제거율을 나타낸다. 세로축은 이산화탄소의 제거율로 분리막으로 유입되는 절대적인 이산화탄소의 양과 투과되는 절대적인 양에 대한 비율을 말한다. 가로축은 95%, 96.5%, 98%의 메탄 설정농도를 표시한다. 결과에서와 같이 메탄설정 농도 98%에서 이산화탄소 제거율은 2단공정 막 면적비 1:1에서 96.4%이며 1:2에서 95.7%였다. 3단공정에서 막면적비 1:2:1에서 95.4%로 2단 공정이 3단공정보다 높은 결과를 보이고 있다. 이는 2단공정의 경우 1단의 투과가스가 전부 배출되어 이산화탄소 제거측면에서 좋은 결과를 보이고 있는 것이고 3단의 경우 1단에서 투과된 가스가 3단 분리

막에서 이산화탄소는 분리투과 배출되고 투과되지 않은 일부의 이산화탄소는 재순환되기 때문에 나타나는 현상으로 설명할 수 있다.

2단 분리막 운전의 경우 2단 분리막의 막면적이 증가하게 되면 2단 분리막에서 투과되어 재순환되는 이산화탄소의 양이 증가하여 1단 분리막에서 투과되어 제거되는 이산화탄소의 양은 감소하여 이산화탄소 제거율은 감소하는 것을 알 수 있다.

3단운전의 경우 2단 분리막의 막면적 증가에 따른 영향보다는 3단 분리막의 막면적이 지배적인 역할을 하게 된다. 이로 인해 3단 분리막의 막면적이 커지면 3단 분리막을 투과하여 배출되는 이산화탄소의 양이 증가하게 되고 이산화탄소 제거율이 증가하게 된다. 3단 분리막 공정에서 2단의 막면적의 증가는 이산화탄소 제거율을 증가시키는 결과를 알 수 있다. 이는 2단의 막면적비가 증가하여 1단으로 투과되는 이산화탄소 농도가 증가하고 3단에서 이산화탄소가 더욱 높은 농도로 투과되어 제거되기 때문이다.

반면 3단 분리막 공정에서 2단 분리막의 막면적이 감소하면 1단 투과가스의 이산화탄소 농도가 낮아져 3단에서 제거되는 이산화탄소의 양이 감소하게 되고 3단 재순환가스에 이산화탄소의 양이 증가하게 되어 이산화탄소 제거율은 감소하게 된다는 것을 알 수 있다.

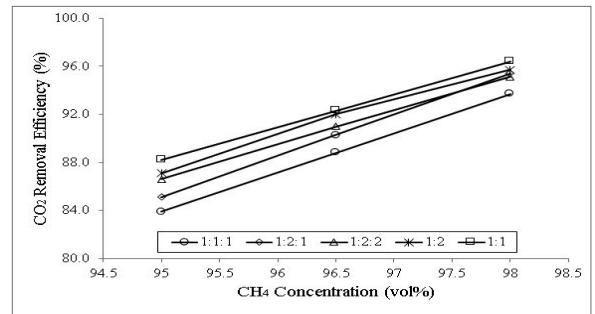


Fig. 4-2 Result of CO<sub>2</sub> removal efficiency

Fig. 4-3은 바이오메탄 농도에 따른 재순환율을 나타낸 것이다. 세로축은 재순환율로 분리막으로 주입되는 유량과 농도에서 분리막에서 투과되지 않고 순환하게 되는 기체의 유량과 농도를 계산하여 나타낸 것으로 주입한양 대



## 바이오가스 정제 설비의 실증 연구

비 투과 되지 않은 양을 %로 표현한 것이다. 가로축은 95%, 96.5%, 98%의 메탄 설정농도를 표시한다. 메탄 설정농도 98%에서 1:1의 재순환율은 0.2 이며 1:2의 재순환율은 0.36이다. 1:1:1의 재순환율은 0.82이며 1:2:1은 0.93이고 1:2:2는 0.91 이다. 2단보다는 3단의 재순환율이 높고 2단의 막면적을 증가시킬수록 재순환율이 증가하며 3 단 분리막의 막면적을 감소시킬수록 재순환율이 증가하는 결과를 나타낸다.

이 데이터를 통해 2단 분리막의 막면적 증가는 2단 분리막의 투과량을 증가시키게 되고 3 단 분리막의 막면적 증가는 3단 분리막의 투과 량 증가로 재순환 양이 감소하는 것을 알 수 있다.

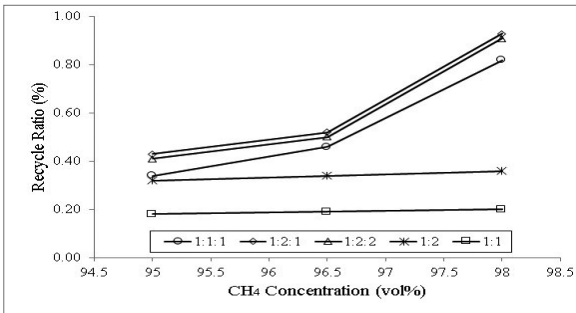


Fig. 4-3 Result of recycle ratio

### 4.2 30 Nm<sup>3</sup>/h 정제장치를 통한 실증운전

앞선 2단계 연구에서 메탄 농도를 95%, 96.5%, 98%로 설정하고 분리막 면적을 1:1, 1:2, 1:1:1, 1:2:1, 1:2:2로 변경하여 메탄 회수율, 이산화 탄소 제거율과 재순환율에 대한 최적화 변수를 확인하였다. 바이오가스를 바이오메탄으로 정제 하여 연료로 사용가능한 메탄의 농도는 98% 이상이다. 따라서 현장에 설치되는 실증 장치는 메탄 농도 98%를 생산 가능한 공정이어야 한다. 2단계 연구에서 설정한 98%의 메탄 농도에서 최적의 메탄 정제 성능을 보여준 분리막 면적비 1:2:1로 파일럿 정제 장치를 설치하였으며, 바이오가스 처리능력은 30 Nm<sup>3</sup>/h이며, 6일간 44 시간 운전을 통해 메탄 농도 98%의 바이오메탄 이 생산 가능함을 확인하였다.

초기 바이오가스 공급압력 5 bar로 운전하였으며 메탄

농도 99%, 메탄 회수율 96%, 이산화 탄소 제거율 96%와 재순환율 58%의 결과를 보였다. 이후 공급압력을 7 bar로 조정하여 운전하였고 메탄 농도 98%, 메탄 회수율 97.1%, 이산화탄소 제거율 95.7%와 재순환율 56.9%의 결과를 얻었다. 공급압력 상승시 메탄 회수율은 상승하나 이산화탄소 제거율을 0.3%p 하락하는 것을 볼 수 있으며 이는 이산화탄소 투과성과 압력과의 관계를 보여준다. 압력을 증가시키게 되면 메탄가스 회수율과 재순환율이 많이 증가 되지는 않지만 유입유량을 증가시킬 수 있다.

Fig. 4-4는 파일럿 정제장치를 가동하여 생산된 바이오메탄의 메탄 농도를 나타내는 그래프이다. 세로축은 생산되는 메탄의 농도를 나타내며 가로축은 운전시간을 나타낸다. 그래프를 보면 공급되는 바이오가스의 메탄농도는 평균 65%이며 생산되는 바이오메탄의 메탄농도는 98%로 정제되었음을 볼 수 있다. 이 결과는 정제 공정을 통해 생산된 바이오메탄이 천연가스의 메탄 농도 95%를 상회하는 것으로 발전 또는 수송 연료로 사용 가능함을 알 수 있다.

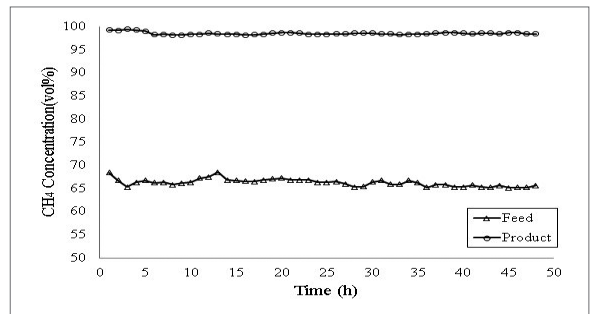


Fig. 4-4 Result of CH<sub>4</sub> concentration

Fig. 4-5는 파일럿 정제장치를 가동하여 생산된 바이오메탄에서 황화수소가 얼마나 제거 되는지를 알 수 있는 그래프이다. 세로축은 생산된 바이오메탄의 황화수소 농도를 나타내며 가로축은 운전시간을 나타낸다. 공급되는 바이오가스의 황화수소 농도는 평균 160 ppm으로 이로 인해 발전설비의 부식이 심각한 상황이었지만, 생산되는 바이오메탄에서는 검출이 되지 않은 것을 확인할 수 있다. 이는 황화수소 흡착제로 사용된 활성탄과 수산화철의 흡착력에 기인한 것으로 향후 생산되는 바이오메탄의 순도와 안정성이 우수하여 상용화가 가능함을 알 수 있다.

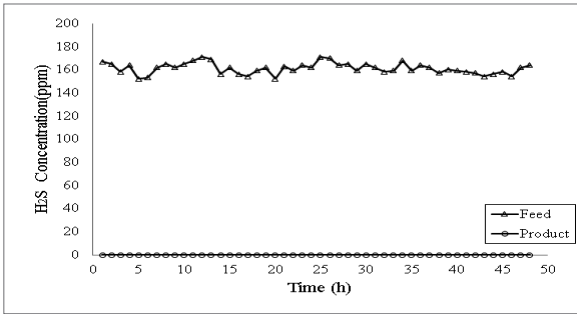


Fig. 4-5 Result of H2S concentration

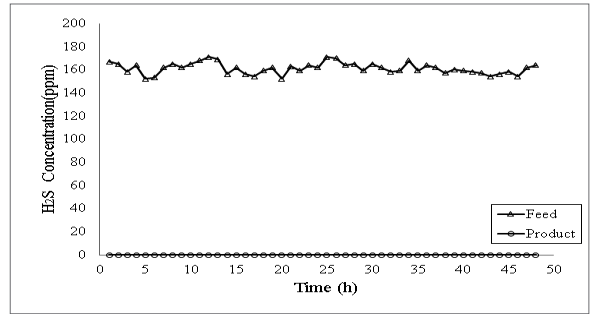


Fig. 4-7 Result of CO2 removal efficiency

Fig. 4-6은 파일럿 정제장치를 가동할 때 공급되는 바이오가스의 메탄 양과 정제 후 생산되는 메탄의 양을 측정하여 얼마나 많은 메탄가스를 회수하는지를 알 수 있는 데이터이다. 세로 축은 생산된 메탄의 회수율을 나타내며 가로 축은 운전시간을 나타낸다. 공급되는 바이오가스의 메탄 양에서 97.1%의 메탄회수율을 얻었으며 이는 제작된 분리막과 막면적이 효과적으로 메탄을 회수했음을 알 수 있다. 그러나 44시간 운전결과 메탄 회수율의 변동이 있는 것으로 보아 장시간 테스트가 필요하다고 판단된다.

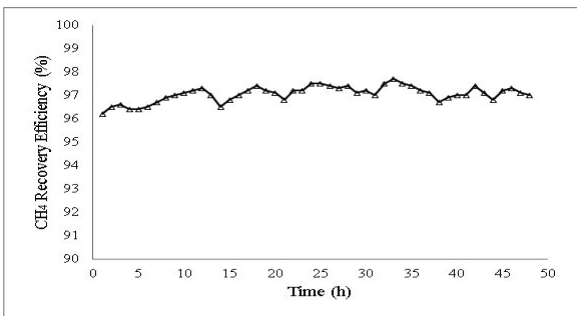


Fig. 4-6 Result of CH<sub>4</sub> recovery efficiency

Fig. 4-7은 파일럿 정제장치를 가동할 때 공급되는 바이오가스에서 정제 후 이산화탄소가 얼마나 많이 제거되었는지를 알 수 있는 지표이다. 세로축은 생산된 이산화탄소의 제거율을 나타내며 가로축은 운전시간을 나타낸다. 제거율은 공급되는 바이오가스의 이산화탄소 농도와 생산되는 바이오메탄의 이산화탄소 농도를 비교하여 산출되며, 평균 95.7%의 이산화탄소를 제거했다. 바이오가스 정제설비의 목적은 생산되는 바이오메탄의 농도를 최대한 높

여야 하고 버려지는 가스는 최대한 이산화탄소 농도를 높여서 내보내야 한다. 95.7%의 이산화탄소가 제거되어 연료로 사용가능한 기준인 메탄 외 기체 5% 미만 함량에 만족한다.

## 5. 결론

본 연구는 난지물재생센터에서 발전연료로 사용되는 바이오가스를 전처리를 통해 불순물을 정제하고 메탄 함량을 높이기 위한 정제설비를 설치하여 운전한 결과이다.

(1) 메탄 회수율을 높이기 위해서는 막면적비 1:2:1의 3단 운전이 가장 적합하며, 이산화탄소 제거율을 높이기 위해서는 막면적비 1:1의 2단 운전이 가장 적합하다고 분석할 수 있다. 또한 재순환율은 막면적비 1:2:1의 3단 운전에서 가장 높게 나왔고, 막면적비 1:1의 2단 운전에서 가장 낮게 나왔는데 이를 통해 재순환율이 높을 경우 메탄 회수율이 높고 재순환율이 낮을 경우 이산화탄소 제거율이 높은 결과를 얻었다. 이는 막면적비 1:2:1의 3단 운전 공정이 프로토타입의 발전소에 적용 가능할 것으로 판단된다.

(2) 30 Nm<sup>3</sup>/h 규모의 바이오가스 정제 장치에 면적비 1:2:1의 3단 분리막 공정을 설치하여 정제 후 바이오메탄의 메탄 농도는 평균 98%이었으며, 황화수소는 검출되지 않았고 이때 메탄의 회수율은 97.1%이며, 이산화탄소의 제거율은 95.7%이었다. 생산된 바이오메탄이 천연가스의 메탄 농도 95%를 상회하는 것으로 연료로 사용 가능함을 알 수 있다.

## 바이오가스 정제 설비의 실증 연구

### 참고문헌

- (1) 이다훈, 2018, 발전소 배가스의 이산화탄소 포집을 위한 분리막 공정, 석사학위논문, 한양대학교, pp. 6~7
- (2) 임성묵, 2020, 유기성 폐기물 바이오가스 정제 및 고순도화를 위한 막분리 공정연구, 석사학위논문, 서울과학기술대학교, pp. 28~ 30, 36, 39~41 