



## 혐기성 필터를 이용한 맥주 폐수 처리에서 메탄 생산 특성

최영기, 최석순\*<sup>†</sup>, 정형근, 정태영<sup>†</sup>

연세대학교 환경공학부, 세명대학교 바이오환경공학과\*

(2011년 07월 27일 접수, 2011년 08월 21일 수정, 2011년 09월 24일 채택)

## Characteristics of methane production for treatment of brewery wastewater using anaerobic filter

Young-Ki Choi, Suk Soon Choi\*<sup>†</sup>, Hyung Keun Chung, Tae-Young Jeong<sup>†</sup>

Division of Environmental Engineering, Yonsei University, Wonju 220-710, Korea,

Department of Biological and Environmental Engineering, Semyung University, Jecheon 390-711, Korea\*

### ABSTRACT

In the present work, the anaerobic filter was used to treat the high concentration of organic wastewater which was produced in the beer production process. During the whole operation periods, wastewater treatment with methane production was effectively performed. The average removal efficiencies of BOD, COD<sub>Cr</sub>, SS, TN and TP were 61.4, 60.9, 31.4, 70.7 and 70.0 %, respectively. Also, methane content in the total gas and methane production amount were 68.8 % and 0.08 ~0.77 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgCOD, respectively. As a consequence, the practical anaerobic digestion technology developed in this study showed a feasibility of an effective method to treat brewery wastewater with enhancing the methane productivity.

Keywords : Brewery wastewater, Anaerobic filter, Methane production

### 초 록

본 연구에서는 맥주 생산 공정에서 발생하는 고농도 유기성 폐수를 처리하는데 혐기성 필터를 사용하였다. 전체 운전 기간 동안, 메탄 생산과 맥주 폐액 처리가 효과적으로 이루어졌다. BOD, COD<sub>Cr</sub>, SS, TN, TP의 평균 처리효율은 각각 61.4 %, 60.9 %, 31.4 %, 70.7 %, 70.0 %를 나타내었다. 그리고, 전체가스 중 메탄 함량과 메탄 생산량은 각각 68.8 %와 0.08~0.77 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgCOD가 됨을 알 수 있었다. 이번 연구를 통하여 개발된 기술은 맥주 폐액 처리와 메탄 생산성 향상에 효과적인 방법으로 서 실질적인 혐기 소화 처리로 사용될 수 있을 것이다.

<sup>†</sup>Corresponding author(sschoi@semyung.ac.kr, jtaey67@yonsei.ac.kr)

핵심용어 : 맥주 폐수, 혐기성 필터, 메탄 생산

## 1. 서론

전 세계적으로 온실가스로 인한 지구온난화가 점점 심각해짐에 따라 화석연료를 대체하기 위한 신재생에너지 기술개발이 대두되고 있으며, 이에 폐자원 에너지 화에 대한 관심이 날로 높아지고 있다. 우리나라의 이산화탄소 배출량은 세계 9위로 지속적인 경제성장과 에너지 다소비 산업 구조로 인해 꾸준히 성장하고 있는 실정이다. 온실가스별로 보면 이산화탄소 배출량의 비중은 1990년 83.2 %에서 2004년 90.2 %로 증가하였고, 메탄은 1990년 이후 농경지 감소 및 폐기물 감축대책 추진 등으로 연평균 3.9 %의 감소세를 보여, 그 결과로 1990년 13.9 %에서 2004년 4.3 %로 크게 감소하였다. 온실가스 배출량은 에너지, 산업 공정에서 급격히 증가하는 반면, 농업, 폐기물 등의 분야에서 배출량은 감소하는 것으로 파악 되고 있다<sup>1)~4)</sup>. 특히, 각종 유기성 폐수와 폐기물의 혐기성 소화처리에서 발생하는 바이오 가스는 메탄 함량이 높아서<sup>5)</sup>, 이를 산업 현장의 에너지원으로 활용 가능하며 메탄 생산 효율을 보다 향상시키는 기술 개발이 이루어진다면 온실가스 탈루량 저감 대책으로 손색이 없을 것으로 판단된다.

공장 폐수 중 맥주 폐액은 탄수화물, 유기산, 알코올을 함유한 고농도 유기성 및 산성의 특징을 가지고 있기에 상당한 환경 문제를 일으킬 수 있다고 알려졌다<sup>6)</sup>. 따라서, 이러한 폐수의 오염물질 처리와 환경 보호를 위하여 수체에 방류되어서 않된다고 보고되었다<sup>7)</sup>.

본 연구에서는 강원도 홍천군에 소재하고 있는 H맥주 공장에서 발생하는 폐수의 효과적인 처리를 위하여 연속적인 혐기성 처리 실험이 이루어졌다. 이 실험 연구에서는 혐기성 필터 (Anaerobic Filter)를 사용하였으며, 폐수의 유입은 소화조 상부에서 이루어졌으며, 하향류 (Down Flow Type) 방식과 교차 흐름 (Cross

Flow)이 적용되었다. 이러한 실험적 고찰로부터 혐기성 필터를 이용한 맥주 처리 특성과 메탄 가스 발생량에 실증적인 자료를 분석하고 이해함으로써, 향후 고농도 유기성 폐수의 혐기성 소화공정의 진단 도구로서 활용하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시료의 특성

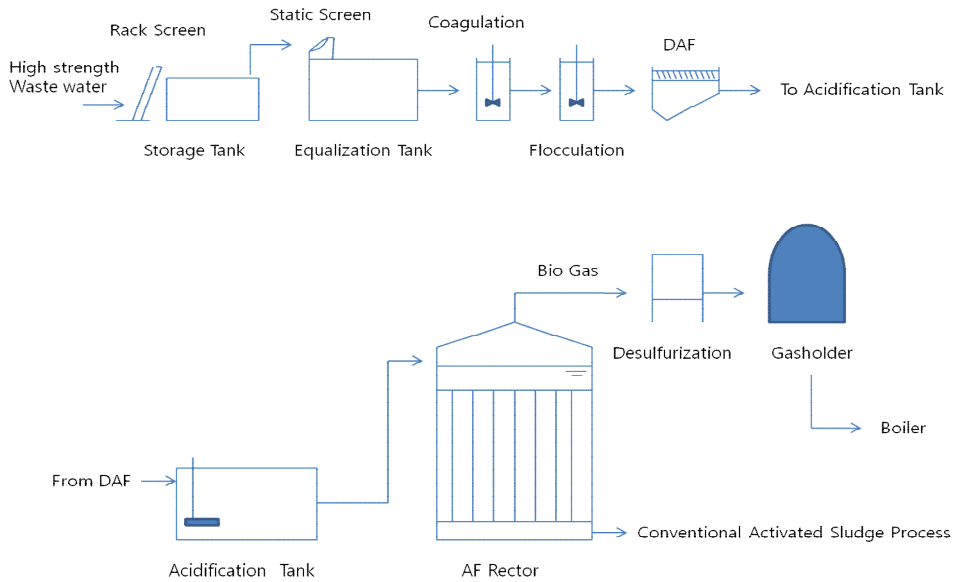
맥주 공정에서 발생하는 폐수량은 제맥 공정의 유무, 맥주 생산량에 따라서 크게 차이가 나며, 맥주 제조 공정 폐수는 맥박, 효모 등을 분리할 때의 세정수, 발효저장 탱크 세척수로 이루어진다. 그리고 제품 제조 폐수로서는 세병폐수, 현장 청소수로 구분된다. 전체적인 폐수발생량은 맥주 1kl당 9~13 m<sup>3</sup>이며 BOD는 약 2,000 mg/L이라고 보고되었다<sup>8)</sup>. 본 연구를 위하여 맥주 제조 공정에서 발생 폐액을 분석한 결과를 [Table 1]에 나타내었다. [Table 1]에 제시된 것과 같이 맥주 폐수는 고농도 유기성 폐수로서 탄수화물, 단백질, 유기산, 알코올을 함유하고 있다.

### 2.2 실험방법

본 실험에서 사용한 연속 장치는 강원도 홍천에 소재한 H맥주 공장의 Anaerobic Filter (AF)이며, 2기로 병렬식 운전 방식으로 이루어졌다. [Fig. 1]에서는 AF 반응조를 포함하여 맥주 폐액 처리를 위한 전체적인 공정도를 나타내었으며, 반응조 제원과 특징을 [Table 2]에 나타냈다. 그리고, 본 소화조의 처리특성을 살펴보기 위하여 시료의 pH, Chemical Oxygen Demand (COD), Suspended Solid (SS), Total Nitrogen (TP), Total Phosphorus (TP)와 같은 수질분석 항목들은 Standard methods<sup>9)</sup>에 의하여 분석하였다. 또한, 혐기성 소화 공정에서 발생하는 가스 분석은 TCD-gas chromatograph (GC-14A, Shimadzu, Japan)를 이용하였으며, carrier gas

[Table 1] Characteristics of Brewery Wastewater

Parameters	Field data (#1)	Field data (#2)	Average
pH	3.963	4.621	4.292
TCODcr(mg/L)	5,406.3	4,769.7	5,088
SCODcr(mg/L)	4,249.6	3,841	4,045.3
NH <sub>3</sub> -N(mg/L)	13.527	10.506	12.017
T-P(mg/L)	32.172	15.426	23.799
TSS(mg/L)	820	550	685
VSS(mg/L)	540	380	460
TS(mg/L)	3,690	3,000	3,345
VS(mg/L)	2,000	1,470	1,735



[Fig. 1] Schematic diagram of overall brewery wastewater treatment process.

[Table 2] Characteristics of Anaerobic Filter (AF)

Item No	TS-0301 A/B
Treatment Capacity	2,000 m <sup>3</sup> /day
Dimension	18.4 m ID × 15.2 mH
Type of Media	Cross Flow
Media Volume	3,100 m <sup>3</sup>

는 아르곤을 사용하였으며, column과 detector의 온도 각각 50, 150 °C의 조건에서 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 폐수처리

소화조에서 유기물 처리 효율을 고찰하고자, CODcr를 측정하였으며, 측정 기간은 2010년 6월1일부터 11월11일 까지 161일 동안 연속적으로 이루어졌다. [Fig. 2]에 나타난 것과 같이, 유입수 최대 COD 농도가 7,855 mg/L였으며 최소 농도는 2,850 mg/L으로 수질의 편차가 비교적 높은 폐수임을 알 수 있다. 유입수의 평균 수질은 5,088 mg/L, 유출수의 평균 수질은 1,990 mg/L이며, CODcr 제거율은 30~83 % 유입 수질에 따라 변동 폭이 컸으며, 평균 제거율은 60.9 %임을 알 수 있었다. 그리고, 유입수의 부하량은 2.2~6.0 kg COD/day를 나타내었다.

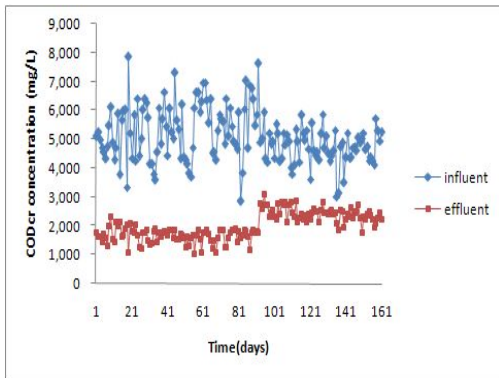
[Fig. 3]에 나타난 것과 같이. 부유물질은 전처리로서 Dissolved Air Flotation (DAF)를 통해서 1차적으로 제거된 후, AF로 유입되었다. 이때, 유입수의 부유물질 농도는 460~1,870 mg/L로서 평균 농도 793 mg/L를 나타냈으며, 유출수 평균 농도는 544 mg/L로 나타났다. 그리고, 부유물질의 최대 제거효율을 66 %를 나타내었기 때문에 따라서, 부유물질의 제거효율 향상을 위해서는 현재보다 보다 효과적인 DAF 운전이 필요함을 알 수 있었다.

[Fig. 4]에서는 TN의 유입과 유출 농도를 나

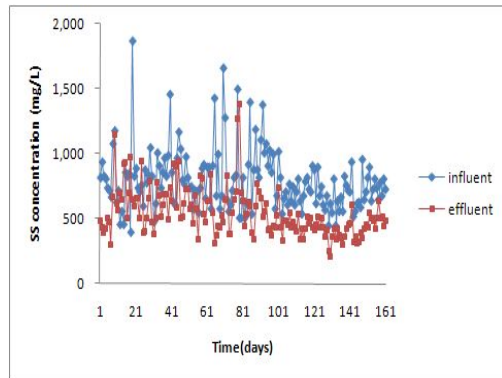
타냈으며, 유입수는 최대 155.35 mg/L와 최소 33.48 mg/L로 나타났다. 평균유입수질 농도는 92.21 mg/L이며, 유출수의 농도는 최대 86.56 mg/L, 최소 2.05 mg/L로 평균 26.60 mg/L로 나타났다. TN의 제거율은 최소 33.0~92.3 %로 나타났으며, 이는 소화조내부 미생물의 영양원으로 공급됨을 알 수 있다. 그리고, TP의 유입과 유출농도를 [Fig. 5]에 나타내었다. 유입수의 최대 및 최소 TP는 각각 69.41, 11.27 mg/L를 나타냈으며, 유입수 평균 농도는 30.05 mg/L로 산출되었다. 그리고 유출수 최대 TP는 17.83 mg/L, 최소는 0.986 mg/L로서 평균 농도는 9.0 mg/L로 산출되었다. 본 실험으로부터 TP 제거율은 최소 26.4 %에서 최대 94.6 %로 나타났다. 이는 TN과 마찬가지로 소화조 내부 미생물의 영양원 공급으로 제거됨을 알 수 있었다.

#### 3.2 메탄 가스 생산

맥주 폐액을 혐기성 생물 반응조인 AF에서 연속적으로 운전한 결과, 최대 가스발생량과 평균 가스발생량은 각각 5930, 2974 m<sup>3</sup>/day를 나타내었으며, 이 발생가스 전량을 보일러 가동에 이용함으로써 에너지활용이 효과적으로 이루어짐을 알 수 있었다. 그리고, 전체가스 중에서 메탄가스가 68.6 %의 높은 메탄 생산성을 얻을 수 있었다([Fig. 6]참조).



[Fig. 2] Time course of Chemical Oxygen Demand (CODcr) concentrations in the anaerobic filter during whole experiment.

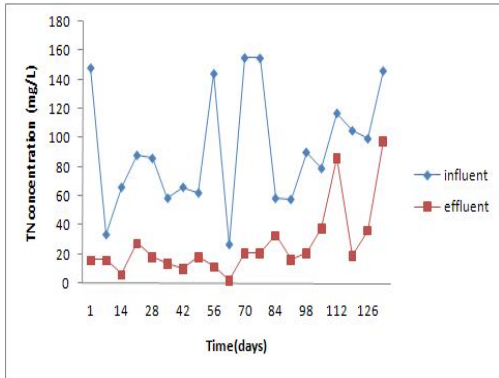


[Fig. 3] Time course of Suspended Solid (SS) concentrations in the anaerobic filter during whole experiment.

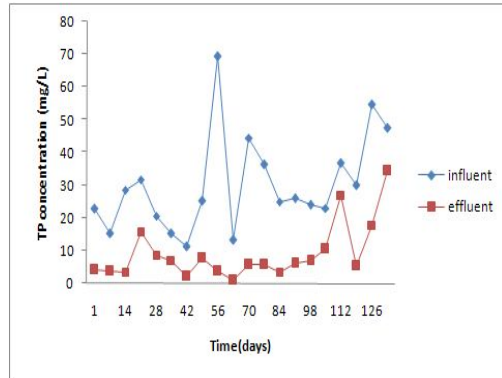
[Fig. 7]에서는 메탄 수율에 대하여 자세히 고찰하였으며, 수율은  $0.08 \sim 0.77 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgCODcr}$  이고, 평균 수율은  $0.19 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgCODcr}$ 로 산출되었다. 이러한 결과는 이론적으로 얻을 수 있는 메탄 수율이  $0.35 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgCOD}$ 로서 CODcr의 값에 54.3 %에 해당됨을 알 수 있었다. 또한, CODcr 제거 효율이 높아질수록 메탄의 수율이 향상됨을 알 수 있었다. 그리고, 본 실험 자료를 이용하여 총괄 물질수지를 계산한 결과, 총 메탄 발생량은  $2,040 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{day}$ , 발열량은  $5,500 \text{ kcal}/\text{Nm}^3$ 임을 구할 수 있었다. 또한, 1톤의 폐수 처리로 산출할 때  $0.576\text{m}^3$  메탄이 생산됨을 알

수 있었다. 따라서, 메탄가스의 경제적 가치는 산업용 도시가스가  $700\text{원}/\text{m}^3$  (2010년12월 기준) 발열량  $10,400 \text{ kcal}/\text{Nm}^3$ 에 해당되므로 이를 환산하면 1일 약 755,192원으로 산정됨을 구할 수 있었다. 이러한 결과는 메탄가스의 에너지 활용 측면에서 매우 경제성을 나타내는 것이다.

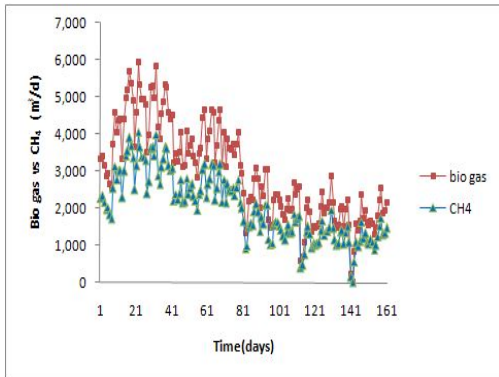
그리고, 본 H사의 혐기성 필터(AF) 성능을 향상시키기 위하여, 혐기성 소화공정의 저해인자를 보다 구체적이고 종합적으로 파악하고, 산생성조의 운전상의 여러 가지 단점을 보완 및 개선한다면 혐기성 필터의 메탄 생산효율이 증가시킬 수 있다고 판단되었다.



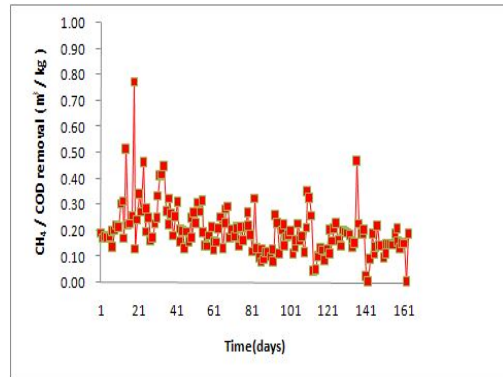
[Fig. 4] Trends of Total Nitrogen (TN) concentration in the anaerobic filter.



[Fig. 5] Trends of Total Phosphorus (TP) concentration in the anaerobic filter.



[Fig. 6] Time course of total gas and methane gas in the anaerobic filter.



[Fig. 7] Time course of methane production amount ( $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{kgCOD}$ ) in the anaerobic filter.

#### 4. 결론

맥주 제조 공정에서 발생하는 고농도 유기성 폐수를 대상으로 혐기성 필터(Anaerobic Filter)를 효과적으로 사용함으로써 아래와 같은 결론을 얻었다.

- 1) 161일 동안 연속적으로 운전한 결과, 발생가스 중 메탄함량과 메탄발생량은 각각 68.8 %, 0.08~0.77 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgCOD를 나타냈었다.
- 2) 맥주 폐액의 BOD, CODcr, SS, TN, TP 70.0의 제거효율은 각각 61.4, 60.9, 31.4, 70.7, 70.0 % 임을 알 수 있었다.
- 3) CODcr의 제거효율이 증가할수록 총가스와 메탄 생산량이 증가하였으며, 또한, CODcr 제거효율이 높아질수록 메탄의 수율이 향상됨을 알 수 있었다.
- 4) 본 실험결과들은 맥주 폐액 처리와 메탄 생산을 효과적으로 수행할 수 있는 실용적인 혐기 소화 기술로 활용될 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

1. William D. N., A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change, Journal of Economic Literature, American Economic Association, 45(3), pp. 686~702 (2007).
2. Craig Green, Michigan Law Review, A Failure of Capitalism : The Crisis of '08 and the Descent into Depression, pp. 101~102 (2010).

3. Lemke, P., Ren, J., Alley, R.B., Allison, I., Carrasco, J., Flato, G., Fujii, Y., Kaser, G., Mote, P., Thomas, R.H. and Zhang, T., Changes in Snow, Ice and Frozen Ground, UNEP, pp. 337~383 (2007).
4. 환경백서, 환경부. (2009).
5. 정태영, 슬러지의 혐기성소화에 있어서 황산염 농도에 따른 메탄생성균과 황산염환원균의 역할, 연세대, 박사학위논문, (2003).
6. Zvauya R., Parawira W., and Mawadza C., "Aspect of aerobic thermophilic treatment of Zimbabwean traditional opaque-beer brewery wastewater", Bioresource Technology, 48, pp. 273~274 (1994).
7. Parawira W., Kudita I., Nyandoroh M. G. Zvauya R., "A study of industrial anaerobic treatment of opaque beer brewery wastewater in a tropical climate using a full-scale UASB reactor seeded with an activated sludge", Process Biochemistry, 40, pp. 593~594 (2005).
8. 이민선, 맥주폐수 처리를 위한 활성오니 시스템의 운전개선을 위한 실험적 연구, 연세대 석사학위논문. (1991).
9. APHA, American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th edition, Washington, D. C., USA. (1989). 