



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

산업폐수처리시설의  
온실가스 배출 특성 연구

-유제품가공업을 중심으로-

Characteristics of Greenhouse Gas Emissions at  
Industrial Wastewater Treatment Facility  
-Case Study for Dairy Processing Industry-

2015년 2월

세종대학교 대학원  
기후변화협동과정  
오민희

산업폐수처리시설의  
온실가스 배출 특성 연구  
-유제품가공업을 중심으로-

Characteristics of Greenhouse Gas Emissions at  
Industrial Wastewater Treatment Facility  
-Case Study for Dairy Processing Industry-

지도교수 전 의 찬

이 논문을 공학 석사학위논문으로 제출함

2015년 2월

세종대학교 대학원  
기후변화협동과정  
오 민 희

오민희의 석사학위논문을 인준함

2015년 2월

심사위원장 \_\_\_\_\_ 사 재 환 (인)

심 사 위 원 \_\_\_\_\_ 박 종 호 (인)

심 사 위 원 \_\_\_\_\_ 전 의 찬 (인)

## 국문초록

본 연구는 국내 식품산업 중 유제품가공업의 폐수처리시설에서 배출되는 온실가스( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ )의 특성을 조사하기 위하여 7월, 8월 10월, 총 3회에 걸쳐 해당 사업장을 방문하였으며, 유입폐수의 성상을 알아보기 위해 BOD, TN을 측정하였다. 그리고 폐수처리과정 중 혐기적으로 처리되는, 즉 산소가 공급되지 않는 유입조, 반응조, 침전조 및 농축조와 산소를 공급하는 포기조를 대상으로 열린챔버(Dynamic Flux Chamber)를 이용하여  $\text{CH}_4$  및  $\text{N}_2\text{O}$  농도를 측정하였다. 그리고 측정된 값을 이용하여 폐수처리과정별 온실가스 flux, 표면배출량, 배출계수를 산정하였다.

유입폐수에서 BOD 농도는 33.2 mg/L ~ 2,724.0 mg/L, TN 농도는 2.9 mg/l ~ 24.8 mg/L의 범위로 분석되었으며, BOD 및 TN의 농도 분포가 큰 이유는 식품업 중 유제품가공업 폐수가 계절 및 시간뿐만 아니라 우유의 유입량, 용기 및 바닥 세척 회수, 그리고 제품불량률에 따라 폐수량 및 수질 농도 등이 크게 변화하기 때문이라고 사료된다. 유제품가공업 폐수처리과정별 온실가스 배출 특성을 살펴본 결과, 유기물 부하량이 높은 유입조 폐수에서  $\text{CH}_4$  및  $\text{N}_2\text{O}$  농도가 각각 6.56 ppm ~ 4,483.00 ppm, 0.38 ppm ~ 236.05 ppm의 범위로 가장 높게 측정되었다. 폐수처리과정별 온실가스 flux의 경우 유입조에서 그 평균값이  $\text{CH}_4$  78.36  $\text{mg/m}^2/\text{min}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  11.63  $\text{mg/m}^2/\text{min}$ 로 가장 높게 산정되었으며, 그 다음으로 반응조, 포기조순으로 높게 산정되었다. 유제품가공업 폐수처리과정별 온실가스 표면배출량의 경우, 유입조의  $\text{CH}_4$  표면배출량은 647.32 kg  $\text{CH}_4/\text{yr}$  ~ 1,325.36 kg  $\text{CH}_4/\text{yr}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  표면배출량은 118.87 kg  $\text{N}_2\text{O}/\text{yr}$  ~ 179.93 kg  $\text{N}_2\text{O}/\text{yr}$ 의 범위로 가장 크게 산정되었으며, 표면배출량의 경우, 폐수처리시설의 면적이 큰 포기조의 온실가스 표면

배출량이 반응조의 온실가스 표면배출량보다 크게 산정되었다. 유제품가공업 폐수처리과정별 온실가스 배출계수 산정 결과, 본 연구에서 산정한 유제품가공업 폐수처리시설의 CH<sub>4</sub> 배출계수는 8.24 g CH<sub>4</sub>/g BOD, N<sub>2</sub>O 배출계수는 22.60 g N<sub>2</sub>O/kg TN으로, CH<sub>4</sub> 배출계수의 경우, 2014년 국가 인벤토리 보고서(GIR, 2014)에 고시되어 있는 음식료품업종 폐수처리시설의 CH<sub>4</sub> 배출계수 11.00 g CH<sub>4</sub>/g BOD보다 2.76 g CH<sub>4</sub>/g BOD 낮지만 이는 유제품 가공업소에서 배출되는 폐수의 배출계수가 아닌 음식료품업종의 배출계수이므로 직접 비교는 어려울 것으로 판단된다.

현재 폐수부문에서 온실가스 연구는 하수 및 축산폐수처리분야에서 많은 연구가 이루어지고 있으며, 산업폐수처리분야에서는 연구가 미미한 실정이다. 따라서 본 연구의 유제품가공업 산업폐수처리시설에서의 온실가스 배출 특성은 향후 산업폐수부문 온실가스 배출과 관련된 연구에 도움이 될 것으로 사료된다.

주요어 : CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, 산업폐수처리시설, 유제품가공업, 온실가스 배출계수

# 목 차

<b>제1장 서론</b> .....	<b>1</b>
제1절 연구의 배경 및 목적 .....	1
제2절 연구 내용 및 방법 .....	4
<b>제2장 이론적 배경</b> .....	<b>5</b>
제1절 폐수처리시설에서의 온실가스 발생 .....	5
제2절 폐수처리과정에서의 온실가스 발생 메커니즘 .....	7
1. 생물학적 폐수처리로부터 메탄의 발생 메커니즘 .....	7
2. 생물학적 폐수처리로부터 아산화질소의 발생 메커니즘 .....	8
제3절 폐수처리시설에서의 온실가스 측정방법 .....	10
1. 닫힌챔버(Static Flux Chamber)를 이용한 온실가스 측정 .....	11
2. 열린챔버(Dynamic Flux Chamber)를 이용한 온실가스 측정 .....	12
제4절 2006 IPCC 가이드라인의 온실가스 산정방법 .....	15
1. 메탄의 배출량 및 배출계수 산정방법 .....	15
2. 아산화질소의 배출량 및 배출계수 산정방법 .....	17
<b>제3장 연구방법</b> .....	<b>19</b>
제1절 대상사업장 선정 및 현장조사 .....	19
제2절 폐수처리시설에서의 시료채취 및 분석 .....	21
1. 수질 분석 .....	21
2. 온실가스 시료채취 및 분석 .....	23

제3절 폐수처리시설의 온실가스 배출량 산정방법 .....	25
1. 폐수처리과정별 온실가스 flux 및 표면배출량 산정방법 .....	25
2. 온실가스 배출계수 산정방법 .....	26
<b>제4장 결과 및 고찰 .....</b>	<b>28</b>
제1절 유제품가공업 폐수의 수질분석 .....	28
제2절 유제품가공업 폐수처리로부터의 메탄 배출 .....	30
1. 폐수처리과정에 따른 메탄 농도 .....	30
2. 폐수처리과정에 따른 메탄 flux 특성 .....	35
3. 폐수처리과정별 메탄 표면배출량 .....	36
제3절 유제품가공업 폐수처리로부터의 아산화질소 배출 .....	39
1. 폐수처리과정에 따른 아산화질소 농도 .....	39
2. 폐수처리과정에 따른 아산화질소 flux 특성 .....	44
3. 폐수처리과정별 아산화질소 표면배출량 .....	45
제4절 온실가스 배출계수 .....	48
1. 메탄 배출계수 .....	48
2. 아산화질소 배출계수 .....	50
<b>제5장 결론 .....</b>	<b>52</b>
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>54</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>56</b>



## 표목차

<표 3-1> 대상 사업장의 폐수처리시설 현황 .....	20
<표 3-2> Photometrics system의 조건 .....	22
<표 4-1> 유제품가공업 유입폐수의 수질 현황 .....	29
<표 4-2> 유제품가공업 폐수처리과정별 메탄의 농도 .....	34
<표 4-3> 유제품가공업 폐수처리과정별 메탄 flux .....	36
<표 4-4> 유제품가공업 폐수처리과정별 메탄 표면배출량 .....	38
<표 4-5> 유제품가공업 폐수처리과정별 아산화질소의 농도 .....	43
<표 4-6> 유제품가공업 폐수처리과정별 아산화질소 flux .....	45
<표 4-7> 유제품가공업 폐수처리과정별 아산화질소 표면배출량 .....	47
<표 4-8> 유제품가공업 폐수처리시설의 메탄 배출계수 .....	49
<표 4-9> 유제품가공업 폐수처리과정별 아산화질소 배출계수 .....	51

## 그림목차

<그림 1-1> 연구 내용 및 방법 .....	4
<그림 2-1> 폐기물 분야 CH <sub>4</sub> 배출량(1990-2012) .....	6
<그림 2-2> 폐기물 분야 N <sub>2</sub> O 배출량(1990~2012) .....	6
<그림 2-3> 혐기성 반응에 의한 CH <sub>4</sub> 발생 원리 .....	7
<그림 2-4> 생물학적 폐수처리과정에서의 N <sub>2</sub> O 발생 경로 .....	9
<그림 2-5> 면오염원의 온실가스 배출량 산정방법 .....	10
<그림 3-1> 유제품가공업 폐수처리 공정도 .....	19
<그림 3-2> 열린챔버 측정시스템 .....	24
<그림 3-3> 농축조 수면에 부유시킨 열린챔버 .....	24
<그림 3-4> 온실가스 현장 측정 시스템 .....	24
<그림 4-1> 유제품가공업 폐수처리과정별 메탄 농도 변화 .....	33
<그림 4-2> 유제품가공업 폐수처리과정별 아산화질소 농도 변화 .....	42

# 제1장 서론

## 제1절 연구의 배경 및 목적

IPCC 5차 평가보고서에서는 기후변화의 원인은 자연적인 요인보다는 인위적인 온실가스 배출이 주된 요인이라고 규정하고 있으며, 최근 발생하는 이상기상 현상은 기후변화로 인해 그 발생빈도, 강도, 지속기간, 공간분포가 점차 변하고 있다고 한다.

세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)가 2014년 9월에 발표한 온실가스연보(Annual Greenhouse Gas Bulletin)에 따르면 2013년 대기 중의 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도는 산업화 이전인 1750년에 비해 142 % 높아졌고, 메탄(CH<sub>4</sub>)과 아산화질소(N<sub>2</sub>O) 역시 각각 253 %, 121 %씩 증가하였다고 한다.

지구온난화에 가장 크게 영향을 미치는 것은 CO<sub>2</sub>로 총 온실가스 중에서 64 %를 차지하고 있고, CH<sub>4</sub> 및 N<sub>2</sub>O는 각각 19 %, 6 %를 차지하고 있다(IPCC, 2006). 하지만 CH<sub>4</sub> 및 N<sub>2</sub>O의 지구온난화지수(Global Warming Potentials, GWP)는 CO<sub>2</sub>의 21배, 310배이고, 각각의 생주기는 약 12년, 120년으로 매우 길기 때문에 지구 온난화에 기여하는 바가 상당히 크다고 볼 수 있다. 이러한 CH<sub>4</sub> 및 N<sub>2</sub>O의 배출비중은 농업 분야에서 가장 크며, 이어서 에너지 분야, 폐기물 분야, 산업공정 분야 순으로 나타났다(IPCC, 2006).

폐수처리 부문의 온실가스는 폐수에 포함된 유기물이 혐기적으로 처리되는 과정에서 CO<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub>가 발생되며 또한, 폐수 내 질소성분에 의해 N<sub>2</sub>O가 배출될 수도 있다. 그러나 폐수로부터 배출된 CO<sub>2</sub>는 생물기원에 의해 자연

적으로 발생하는 것으로 국가 배출량에 포함하지 않는다(GIR, 2014).

폐수의  $\text{CH}_4$  발생가능성을 결정짓는 주요인은 폐수 내 분해 가능한 유기 물질의 양이다. 폐수의 유기적 구성요소를 측정하는 데 사용되는 일반적인 매개변수는 생화학적 산소 요구량(BOD)과 화학적 산소 요구량(COD)이다.

$\text{N}_2\text{O}$ 는 폐수 내 질소 성분인 요소, 질산염, 단백질 등의 분해와 관련이 있다.  $\text{N}_2\text{O}$ 의 직접적인 배출은 폐수 내 존재하는 질소성분의 질산화 작용 및 탈질 작용과 관련이 있다. 이 두 과정은 폐수가 유입되는 시설과 수환경에서 발생한다. 질산화(nitrification) 작용은 암모니아나 다른 질소 성분을 질산염( $\text{NO}_3^-$ )으로 전환시키는 호기성 과정인 반면, 탈질 작용(denitrification)은 산소가 결핍된 조건에서 발생하고, 질산염을 질소 가스( $\text{N}_2$ )로 전환시키는 생물학적인 전환 과정을 말한다.  $\text{N}_2\text{O}$ 는 이 두 과정의 중간 산출물이며, 탈질 작용에서 보다 많이 발생된다(IPCC, 2006).

2013년 국내 음식료품 부문 폐수발생량은 342천  $\text{m}^3/\text{d}$ 이며, BOD 발생부하량은 790천  $\text{kg}/\text{d}$ 로 다른 산업폐수에 비하여 그 양들이 높은 것으로 나타났다(환경부, 2014). 식품업 중에서 유제품가공업 폐수의 특성은 계절과 시간에 따라 변동이 심한 편이며, 우유의 유입량, 용기 및 시설 바닥 세척회수, 그리고 제품불량률에 따라 폐수량 또는 수질 농도 등이 크게 변한다. 또한 유제품가공업 폐수는 용존성 유기물을 다량 포함하고 있으며, 보통 생물학적 처리법인 표준활성슬러지법, 라군폭기법, 그리고 장기폭기법에 의해 주로 처리되고 있다(환경부, 2008).

현재 하·폐수부문에서의 온실가스 관련 연구는 하수 및 축산폐수처리분야에서 많은 연구가 이루어지고 있고, 산업폐수처리분야에서의 연구는 미미한 실정이다. 또한 폐수처리과정별로 정량화되지 않았고, 실질적인 배출량 연구가 이루어지지 않고 있다.

본 연구는 국내 식품산업 중 유제품가공업의 폐수처리시설에서 배출되는

온실가스( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ )의 특성을 조사하기 위하여 해당 사업장에서 현장측정을 실시하였으며, 폐수처리과정 중 혐기적으로 처리되는, 즉 산소가 공급되지 않는 유입조, 반응조, 침전조, 그리고 농축조와 산소를 공급하는 포기조를 대상으로 열린챔버(Dynamic Flux Chamber)를 이용하여 온실가스 배출량 및 배출계수를 조사하였다.

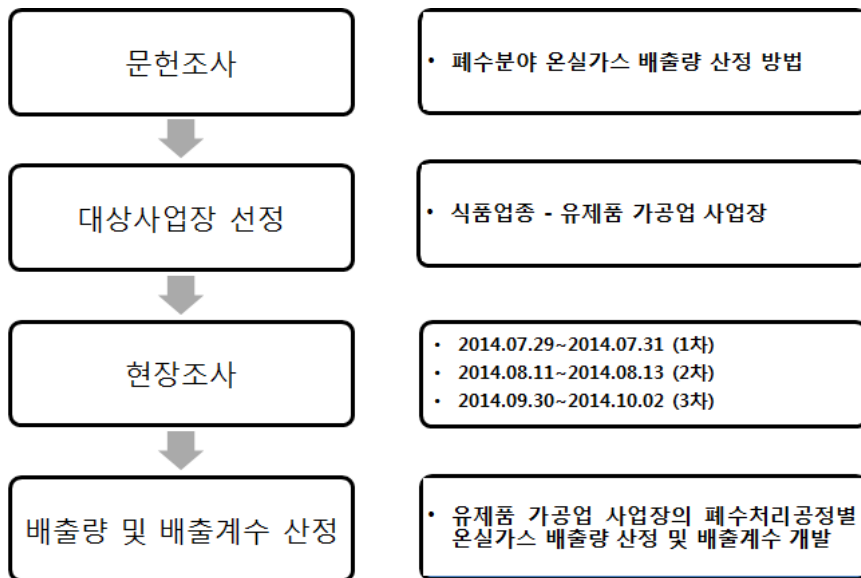
## 제2절 연구 내용 및 방법

본 연구는 유제품가공업 폐수처리시설에서 발생하는 온실가스를 조사하기 위해 대상 사업장을 방문하여 현장측정을 하였다.

현장측정에 앞서 폐수분야 온실가스 배출량 산정방법에 대하여 문헌조사를 하였으며, 그 다음으로 유제품가공업 대상 사업장을 선정하였다.

측정은 2014년 7월, 8월, 10월, 총 3회 진행하였으며, 현장측정을 통해 얻어진 온실가스 농도자료를 이용하여 폐수처리과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하고 배출계수를 개발하였다.

아래 <그림 1-1>에 연구 내용 및 방법을 나타내었다.



<그림 1-1> 연구 내용 및 방법

## 제2장 이론적 배경

### 제1절 폐수처리시설에서의 온실가스 발생

2012년 폐기물 분야 온실가스 배출량은 14.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 국가 총 배출량의 2.2 %를 차지하였으며, 1990년 대비 49.4 %, 전년 대비 1.6 % 증가하였다. 이 중 폐기물소각 부분의 배출량은 6.8 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 폐기물 분야 전체 배출량의 46.2 %를 차지하였으며, 폐기물매립 부문 배출량은 6.2 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 폐기물 분야 전체 배출량의 42.0 %를, 하·폐수 부문 배출량은 1.5 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 폐기물 분야 전체 배출량의 9.9 %를 차지하였다.

폐기물 분야에서 배출되는 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O이며, 이 중 CH<sub>4</sub>는 1990년부터 2012년까지 폐기물 분야에서 온실가스 배출량이 가장 많았으며, 그 다음으로는 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O 순이다. 하지만 1장 1절에서 언급한 바와 같이 폐수로부터 배출된 CO<sub>2</sub>는 생물기원에 의해 자연적으로 발생하는 것으로 국가 배출량에 포함하지 않는다.

폐기물 분야의 CH<sub>4</sub>은 폐기물 매립 부문, 하·폐수 부문, 기타 부문에서 발생하며 이 중 폐기물 매립 부문에서 가장 많이 발생한다.

<그림 2-1>에 1990년부터 2012년까지의 폐기물분야 CH<sub>4</sub> 배출량을 나타내었다. CH<sub>4</sub> 배출량은 1990년부터 2003년까지 증감을 반복하다가 2004년부터 감소하는 추세이다.

CH<sub>4</sub>의 2012년 하·폐수 부문 배출량은 0.4 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 1990년에 비해 31.5 % 감소하였으며, 주된 감소 원인은 하수도 보급률이 점차 증가함에 따라 관리되지 않고 강이나 하천으로 직접 배출되던 미처리·미차집량이 감소하였기 때문인 것으로 판단된다.

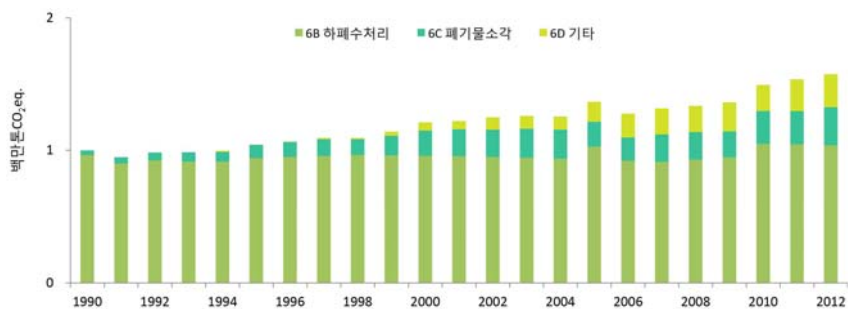


<그림 2-1> 폐기물 분야 CH<sub>4</sub> 배출량(1990-2012)

<그림 2-2>에 1990년부터 2012년까지의 폐기물분야 N<sub>2</sub>O 배출량을 나타내었다. N<sub>2</sub>O 배출량은 1990년부터 2003년까지 증감을 반복하고 있으나 대체적으로 증가하는 추세이다.

2012년 폐기물 분야의 N<sub>2</sub>O 배출은 하·폐수처리 부문, 폐기물소각 부문, 기타 부문에서 발생하였으며 가장 큰 배출원은 하·폐수처리 부문이었다.

부문별 N<sub>2</sub>O 배출량을 살펴보면 하·폐수처리 부문에서 1.0 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.이 배출되어 폐기물 분야 N<sub>2</sub>O 전체 배출량의 65.8 %를 차지하였으며, 이어서 폐기물소각 부문에서 N<sub>2</sub>O 배출량은 0.3 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 폐기물 분야 N<sub>2</sub>O 전체 배출량의 18.6 %, 기타 부문에서의 N<sub>2</sub>O 배출량은 0.2 백만톤 CO<sub>2</sub>eq.으로 폐기물분야 N<sub>2</sub>O 전체 배출량의 15.6 %를 차지하였다.



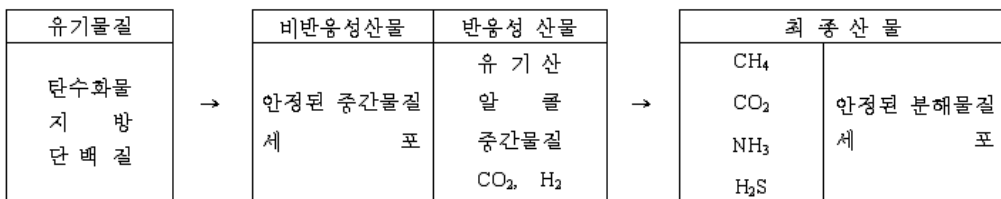
<그림 2-2> 폐기물 분야 N<sub>2</sub>O 배출량(1990~2012)



## 제2절 폐수처리과정에서의 온실가스 발생 메커니즘

### 1. 생물학적 폐수처리로부터 메탄의 발생 메커니즘

폐수는 혐기적으로 처리될 경우, 처리과정에서 CH<sub>4</sub>가 발생하게 된다. 혐기성 처리과정의 중간생성물과 최종산물 등은 <그림 2-3>에서 보는 바와 같다.



<그림 2-3> 혐기성 반응에 의한 CH<sub>4</sub> 발생 원리

혐기성처리법은 유기물질의 농도가 매우 높은 폐수에 적용되는 방법으로 식품산업, 축산분뇨와 같은 고농도 유기폐수와 슬러지를 처리하는 방법으로 이용되고 있으며, 개발도상국에서 많이 적용되고 있는 방법이다. 반면에, 선진국들은 폐수를 처리할 경우 주로 호기성 처리법을 이용하고 있으며, 혐기성 처리법을 이용할 경우에도 CH<sub>4</sub>를 다시 회수하여 활용할 수 있는 시스템을 적용하고 있다.

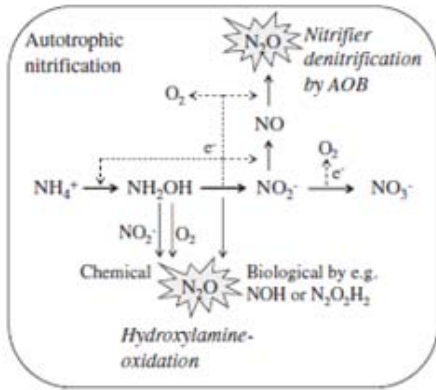
폐수처리과정에서 발생하는 CH<sub>4</sub>의 배출량은 폐수의 특성, 처리시스템, 체류시간, 그리고 온도와 같은 인자들에 우선적으로 영향을 받는다. 폐수의 유기물질을 측정하는 대표적인 변수로는 BOD가 있으며, 같은 조건하에서 BOD 농도가 높은 폐수 즉, 유기물질 농도가 높은 폐수가 BOD가 낮은 폐수보다 CH<sub>4</sub>를 더 많이 생성시킨다. 처리시스템의 환경도 CH<sub>4</sub> 생성에 큰 영향

을 미치는데, 혐기성 환경이 호기성 환경보다 다량의  $\text{CH}_4$ 를 생성하게 된다. 예를 들면, 도시하수와 식품, 펄프, 종이공장 등과 같은 산업과정에서 나오는 폐수를 lagoon에서 처리할 때, 1 m 이하의 얕은 lagoon에서는 혐기성 환경에 이르지 않으므로  $\text{CH}_4$  발생은 많지 않은 편이다. 그러나 lagoon의 깊이가 2.5 m 이상 되는 lagoon은 혐기성 환경으로 간주되며 다량의  $\text{CH}_4$ 가 발생하게 된다. 또 온도도  $\text{CH}_4$  발생의 중요 인자의 하나인데,  $\text{CH}_4$  생성에는 15 °C 이상의 온도가 필요하며, 온도가 증가하면  $\text{CH}_4$ 의 배출량도 증가하게 된다.  $\text{CH}_4$  생성의 또 다른 요인들은 폐수의 성상, 폐수의 체류시간, 폐수처리의 운영조건, 폐수처리과정(호기적처리, 혐기적처리 등) 및 그 지역의 특성 등이 있다.

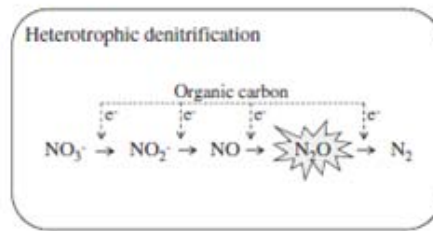
## 2. 생물학적 폐수처리로부터 아산화질소의 발생 메커니즘

생물학적 폐수처리에서  $\text{N}_2\text{O}$ 의 발생은 질산화 및 탈질산화와 관계가 있다. 질산화는 암모니아 산화 박테리아(Ammonia-Oxidizing Bacteria, AOB)에 의해 암모늄( $\text{NH}_4^+$ )이 아질산염( $\text{NO}_2^-$ )으로, 아질산염 산화 박테리아(Nitrite-Oxidizing Bacteria, NOB)에 의해 아질산염( $\text{NO}_2^-$ )에서 질산염( $\text{NO}_3^-$ )으로 전환되는 독립영양산화과정이다. 그리고  $\text{N}_2\text{O}$ 는 질산화과정 중 중간산화물인 하이드록실아민( $\text{NH}_2\text{OH}$ )의 화학적 분해에 의해 발생되는 것으로 알려져 있다(Pascal et al., 2012).

탈질산화는 종속 영양 탈질균(Hetero-Trophic Denitrifiers, HET)에 의해 질산염( $\text{NO}_3^-$ )이 질소( $\text{N}_2$ )로 환원되는 과정으로, 중간생성물로 아질산염( $\text{NO}_2^-$ ) → 산화질소( $\text{NO}$ ) → 아산화질소( $\text{N}_2\text{O}$ )가 발생된다. <그림 2-4>에 3가지 주요  $\text{N}_2\text{O}$  발생 경로를 나타내었다.



(a) 독립영양질산화

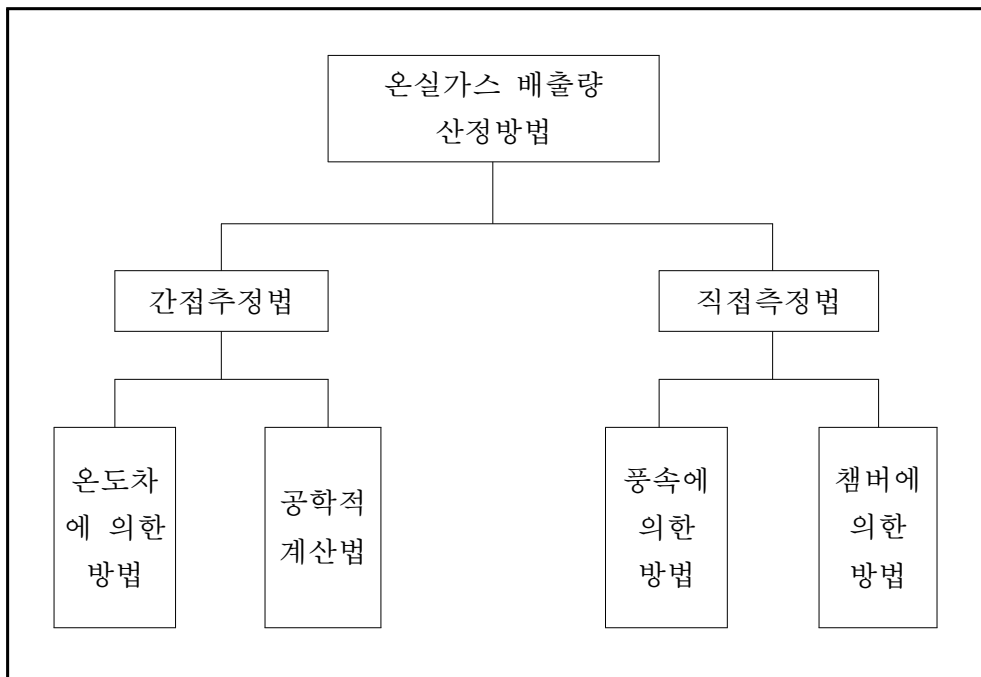


(b) 종속영양탈질산화

<그림 2-4> 생물학적 폐수처리과정에서의  $N_2O$  발생 경로

### 제3절 폐수처리시설에서의 온실가스 측정방법

면오염원에서의 온실가스 측정방법은 크게 면오염원 표면에서의 직접 시료를 채취하는 방법과 온실가스의 물리화학적 특성을 이용하여 추정하는 공학적 계산법이 있다. 면오염원 표면에서의 직접 시료를 채취하는 방법에는 챔버(chamber)법, 풍동(Wind Tunnel)법 등이 있으며, 챔버법에는 닫힌챔버(Static Flux Chamber)법과 열린챔버(Dynamic Flux Chamber)법이 있다. <그림 2-5>는 면오염원에서의 온실가스 배출량을 산정하는 방법을 나타내며, 각각의 방법별로 온실가스 시료 채취하는 방법이 달라진다.



<그림 2-5> 면오염원의 온실가스 배출량 산정방법

## 1. 닫힌챔버(Static Flux Chamber)를 이용한 온실가스 측정

### 가. 닫힌챔버의 개요

닫힌챔버를 이용한 방법은 단위면적당 단위시간당 배출되는 flux를 계산하는 것으로, 토양 및 수표면에서 대기 중으로 배출되는 표면배출량을 측정하는데 이용된다.

닫힌챔버법은 표면에서 대기 중으로 발산되는 가스상 물질을 챔버로 차단하고, 챔버 내의 가스 농도가 시간에 따라 선형적으로 증가하는 현상을 이용하여 flux를 측정하는 방법이다.

닫힌챔버는 구조가 비교적 간단하고, 장치구성도 경제적이며, 챔버의 설치와 이동이 용이하여 여러 장소를 열린챔버보다 단시간에 측정할 수 있다.

### 나. 닫힌챔버를 이용한 온실가스 flux 산정

닫힌챔버를 이용하여 매립장 표면이나 폐수처리시설 표면으로부터 발생하는 배출가스의 단위시간당 단위면적당 발생량은 식 (1)을 이용하여 계산된다.

$$F = \frac{V}{A} \frac{dC}{dt} \quad (1)$$

여기서, F = 표면 발생량 flux( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{min}$ )

V = 챔버 부피( $\text{m}^3$ )

A = 챔버 표면적( $\text{m}^2$ )

dC/dt = 시간에 따른 챔버 내의 농도 변화( $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{min}$ )

## 2. 열린챔버(Dynamic Flux Chamber)를 이용한 온실가스 측정

### 가. 열린챔버의 개요

열린챔버 방식은 일정한 유량의 오염물질이 들어있지 않는 이동가스(zero gas) 또는 주위 공기(ambient air)를 챔버 안으로 흐르게 한 뒤, 유출구에서 온실가스를 채취한 후 농도를 측정한다. 측정된 온실가스 농도에 열린챔버가 덮고 있는 면적과 유입유량을 적용하여 온실가스 flux를 산정한다.

### 나. 열린챔버를 이용한 온실가스 flux 산정

수표면에서 발생하는 배출량을 구하기 위해서는 flux 챔버 주위의 물질수지를 이용하여야 한다. 아래의 식 (2)부터 (5)까지는 물질수지식(mass balance equation)을 구하는 과정이다. 배출되는 총 가스( $Q_L$ ), 유입가스( $Q_S$ , sweep air), 표면배출량( $C_L$ ), chamber내부에서 배출되는 가스( $C_E$ ), 그리고 유입가스의 농도( $C_S$ )라고 정의한다.  $V$ 는 chamber의 부피이고  $A$ 는 chamber의 표면적 크기이다.

식 (2)와 식 (3)은 유입가스의 농도를 0이라고 가정하였을 때 나타낼 수 있다.

$$Q_L C_L = (Q_L + Q_S) C_E + V \frac{dC_E}{dt} \quad (2)$$

$$V \frac{dC_E}{dt} = - (Q_L + Q_S) C_E + Q_L C_L \quad (3)$$

$C_E$ 로 정리하면

$$C_E = \frac{Q_L C_L}{Q_S + Q_L} [1 - \exp(-\frac{t}{\tau})] \quad (4)$$

$$\tau = \frac{V}{(Q_L + Q_S)} \quad (5)$$

배출되는 가스의 농도가 평형상태라고 가정하면, 챔버에서 배출되는 가스( $C_E$ )와 유입되는 총 가스( $Q_L$ )은 유입가스( $Q_S$ )보다 작은 값을 가진다. 따라서 이론적 평형도달시간은  $4\tau$ 에서 이루어진다. 그러므로 다음의 식 (6)에서 (8)을 도출할 수 있고 이 식은 열린챔버에 적용된다.

$$1 - \exp(-\frac{4\tau}{\tau}) = 0.982 \cong 1.0 \quad (6)$$

$$C_E = \frac{C_L Q_L}{Q_S} \quad (7)$$

$$Flux = \frac{C_L Q_L}{A} \quad (8)$$

따라서 열린챔버를 이용하여 측정한 각 지점별 온실가스 발산량은 아래의 식 (9)와 같이 챔버 내 온도와 압력을 보정하여 산출된다.

$$F = C \times \frac{Molar\ wt.}{22.4\ L} \times \frac{Q}{A} \times \frac{273}{(273 + T)} \times \frac{P_{chamber}}{P} \quad (9)$$

여기서,  $F$  = 채취지점에서의 표면 발생량 flux( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{min}$ )

$C$  = 시료 채취지점의 온실가스 측정 농도(ppm)

Molar wt. = 몰분자량( $\text{CH}_4$  : 16 g/mol,  $\text{N}_2\text{O}$  : 44 g/mol)

22.4 L = 표준상태( $0^\circ\text{C}$ , 1기압)에서의 부피

$Q$  = 유입가스의 유속(L/min)

$A$  = 챔버의 단면적( $\text{m}^2$ )

$T$  = 챔버 내부 온도

$P_{\text{chamber}}$  = 챔버 내부 압력

$P$  = 표준대기압(1기압)



## 제4절 2006 IPCC 가이드라인의 온실가스 산정방법

### 1. 메탄의 배출량 및 배출계수 산정방법

2006 IPCC 가이드라인에서 산업폐수로부터 발생하는 메탄 배출량을 가장 정확하게 산정하는 방법은 점오염원으로부터 측정된 자료에 근거하는 것이라고 언급하고 있다.

측정에는 비용이 많이 들고 가능한 점오염원이 많기 때문에 종합적인 측정 자료를 수집하는 것은 매우 어렵다. 따라서 IPCC 가이드라인에서는 인벤토리 작성자가 다음의 일반적인 단계를 포함하는 하향식 접근법을 사용하는 방법을 추천한다.

· 1단계 : 산업부문 i에서 폐수 내 유기적으로 분해 가능한 탄소(TOW)를 산정하기 위해서는 식 (10)을 사용한다.

$$TOW_j = P_i \cdot W_i \cdot COD_j \quad (10)$$

여기서,  $TOW_i$  = 산업 i에 대한 폐수 내 유기적으로 분해 가능한 물질의 총량(kg COD/yr)

$i$  = 산업부문

$P_i$  = 산업부문 i에 대한 총 산업 생산량(t/yr)

$W_i$  = 발생된 폐수( $m^3/t_{\text{product}}$ )

$COD$  = 화학적 산소 요구량(폐수 내 산업적 분해 가능한 유기성분)(kg COD/ $m^3$ )

· 2단계 : 배출계수를 구하기 위해서는 식 (11)을 사용하라. 각 산업별

부문에서는 최대 메탄 발생 가능량과 평균 산업별 메탄 보정계수를 사용하여 배출계수를 산정하라.

MCF는 CH<sub>4</sub> 발생 잠재량(B<sub>0</sub>)이 각 유형의 처리 방법에서 실현되는 범위를 나타낸다. 그러므로 MCF는 해당 시스템의 혐기성 정도를 나타내는 지표이다.

$$EF_j = B_0 \cdot MCF_j \quad (11)$$

여기서, EF<sub>j</sub> = 각 처리/배출 경로 또는 시스템에 대한 배출계수(kg CH<sub>4</sub>/kg COD)

j = 각 처리/배출 경로 또는 시스템

B<sub>0</sub> = 최대 CH<sub>4</sub> 발생 용량(kg CH<sub>4</sub>/kg COD)

MCF<sub>j</sub> = 메탄 보정 계수 (비율)

· 3단계 : 배출량을 산정하기 위해 식 (12)을 사용하고, 가능한 슬러지 제거량과 CH<sub>4</sub> 회수량을 조정하고, 그 결과값을 합하라.

산업폐수로 인한 CH<sub>4</sub> 배출량을 산정하기 위한 일반적인 식은 다음 식 (12)와 같다.

$$CH_4 \text{ 배출량} = \sum_i [(TOW_i - S_i)EF_i - R_i] \quad (12)$$

여기서, CH<sub>4</sub> 배출량 = 인벤토리 연도의 CH<sub>4</sub> 배출량(kg CH<sub>4</sub>/yr)

TOW<sub>i</sub> = 인벤토리 연도의 산업 i로부터의 폐수 에 유기적으로 분해 가능한 물질의 총량(kg COD/yr)

i = 산업부문

S<sub>i</sub> = 인벤토리 연도에 슬러지로써 제거되는 유기성분(kg COD/yr)

EF<sub>i</sub> = 인벤토리 연도에 사용된 처리/배출 경로 또는 시스템에 대

하여 산업 i에 대한 배출계수(kg CH<sub>4</sub>/kg COD)  
 $R_i =$  인벤토리 연도에 회수된 CH<sub>4</sub>의 양(kg CH<sub>4</sub>/yr)

## 2. 아산화질소의 배출량 및 배출계수 산정방법

아산화질소 배출은 처리시설로부터의 직접적인 배출로써 일어나거나 또는 수로, 호수, 바다 유출수의 처리 후 폐수로부터의 간접적인 배출로 인해 발생할 수 있다고 2006 IPCC 가이드라인에서 언급하고 있다. 폐수처리시설에서 질산화 및 탈질화로부터 직접적인 배출은 가벼운 배출원으로 고려될 수 있으며, 이러한 배출량을 산정하기 위한 지침을 제공하였다.

### 가. 고도의 중앙집중화된 폐수처리시설로부터의 배출량 산정방법

고도의 중앙집중화 폐수처리시설로 인한 배출량은 대체로 유출수에 의한 배출량보다 훨씬 적고, 통제된 질산 및 탈질 단계를 갖춘 고도의 중앙집중화 폐수처리시설을 가진 국가에서만 중요하다. 그러한 시설로부터의 N<sub>2</sub>O 배출량을 산정하기 위한 포괄 배출계수는 3.2 g N<sub>2</sub>O/person/year이다. 이 배출계수는 미국 북부 지역의 가정폐수처리시설에서의 현장검증 기간 동안 결정되었다. 배출 자료는 가정 폐수만을 수용하는 시설에서 얻어졌다. 이 폐수에는 비소비 단백질은 포함되었지만, 함께 배출된 산업 및 상업 폐수는 포함되지 않았다. 다른 국가별 배출계수는 이용가능하지 않다. 중앙집중화된 폐수처리과정으로 인한 N<sub>2</sub>O 배출량은 다음 식 (13)과 같이 계산된다.

$$N_2O_{\text{시설}} = P \cdot T_{\text{시설}} \cdot F_{\text{산업-상업}} \cdot EF_{\text{시설}} \quad (13)$$

여기서,  $N_2O_{\text{시설}}$  = 인벤토리 연도의 시설로부터의 총  $N_2O$  배출량(kg  $N_2O$ /yr)

$P$  = 인구 수

$T_{\text{시설}}$  = 현대의 중앙집중화된 WWT 시설의 이용도(%)

$F_{\text{산업-상업}}$  = 동시 배출되는 산업 및 상업적 단백질의 비율

(기본값 = 1.25, Metcalf & Eddy(2003)의 자료 및  
전문가 판단에 근거함.)

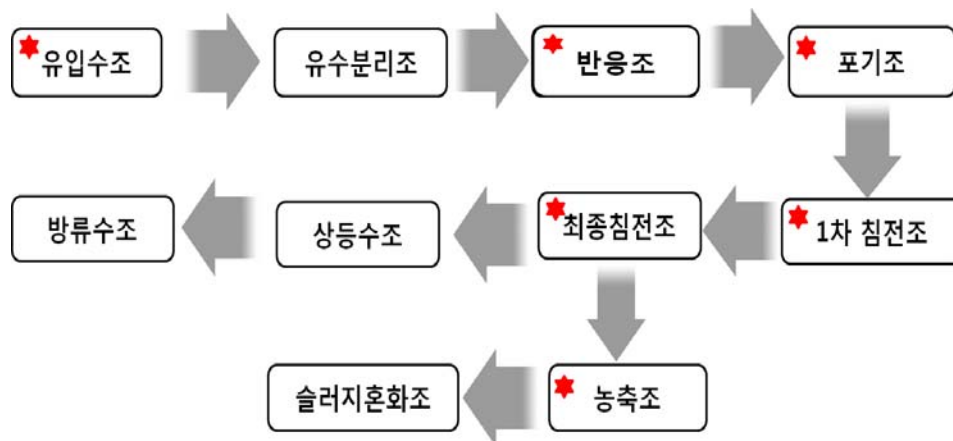
$EF_{\text{시설}}$  = 배출계수 (3.2 g  $N_2O$ /인/yr)

## 제3장 연구방법

### 제1절 대상사업장 선정 및 현장조사

유제품가공과정에서 배출되는 폐수의 온실가스 농도를 측정하기 위해 공장부지 전체 면적이 94,896 m<sup>2</sup>이고 건물면적이 22,249 m<sup>2</sup> 규모의 유제품가공 사업장을 대상 사업장으로 선정하였다. 이 사업장은 원료의 정밀 계량과 표준화 작업, 미생물 오염과 분진 발생을 차단한 위생시설, 주요 공정의 가동 기록장치 등 무인화 자동 설비가 갖추어져있으며, 주요 생산품은 분유, 우유, 유산균 발효유, 치즈 등이다. 본 사업장의 폐수처리시설에서 처리되는 폐수는 2,000 m<sup>3</sup>/일이며, 표준활성슬러지법으로 처리되고 있다.

다음 <그림 3-1>은 대상 사업장의 폐수처리과정도와 온실가스 시료채취 지점을 나타내었다.



<그림 3-1> 유제품가공업 폐수처리 공정도, ★ : 온실가스 시료채취 지점

유제품가공 후 배출된 폐수는 유수분리조에서 물과 기름으로 분리된 후 반응조에서 투입되는 약품에 의해 적정 pH로 조절된다. 그 후 폐수는 포기조에서 활성 오니와 혼합되어 산소를 공급 받은 뒤 1차 침전조에서 부유물질이 제거된다. 최종 침전조에서는 최종적으로 남아있는 고형분이 침전되면서 맑고 깨끗한 처리수가 되며, 깨끗이 처리된 처리수는 개울이나 하천으로 방류된다. 침전조에서 배출된 오염물은 수분이 95 ~ 98.8 %로 상당히 많기 때문에 농축조에서 농축을 시킨다.

다음 <표 3-1>에 대상 사업장의 폐수처리시설현황을 나타내었다.

<표 3-1> 대상 사업장의 폐수처리시설 현황

구분	폭 (m)	길이 (m)	직경 (m)	지수 (수)	총 면적 (m <sup>2</sup> )
유입조	8	3	-	1	24.00
반응조	3.15	3.15	-	1	9.92
포기조	13	13	-	4	676.00
1차 침전조	-	-	13	1	176.63
최종 침전조	-	-	13	1	176.63
농축조	-	-	9	1	63.59

## 제2절 폐수처리시설에서의 시료채취 및 분석

### 1. 수질 분석

폐수처리시설에서 발생하는 온실가스의 배출계수를 산정하기 위해서는 BOD, COD 및 TN의 부하량이 필요하기 때문에 각각의 농도를 측정하였다.

#### 가. 생물화학적 산소요구량 (BOD, Biochemical oxygen demand)

시료를 20 °C에서 5일간 저장하여 두었을 때 시료 중의 호기성 미생물의 증식과 호흡작용에 의하여 소비되는 용존산소의 양으로부터 측정하는 방법이다. 시료 중의 용존산소가 소비되는 산소의 양보다 적을 때에는 시료를 희석수로 적당히 희석하여 사용한다. 공장폐수나 혐기성 발효의 상태에 있는 시료는 호기성 산화에 필요한 미생물을 식중하여야 한다.

#### 나. 총 질소(TN, Total Nitrogen)

TN을 측정하는 방법에는 흡광도법, 카드뮴 환원법 및 환원 증류-킬달법이 있는데, 이 중 흡광도법을 이용하여 TN을 측정하였다.

TN은 수질분석기 Optizen POP QX(mecasys)를 이용하여 측정하였고, <표 3-2>에 본 기기의 사양을 나타내었다.

<표 3-2> Photometrics system의 조건

Photometrics System	Single Beam Type
Range	190~1100nm
Light Source	Tungsten-Halogen & Deuterium Lamp
Monochromator	Modified Czerny-Turner type with 1200lines/mm blazed Grating
Detector	Silicone Photodiode

TN을 본 기기로 분석하기 위해서 본 기기에 넣을 kit가 필요한데, 다음에 kit 제작 절차를 나열하였다. 우선 HS-TN-L(CA) Kit A(black cap)에 증류수 2 ml를 주입하여 Blank test용 Kit를 준비한다. 그런 다음 측정하고자 하는 시료를 정밀한 피펫으로 2 ml 취하여 HS-TN-L(CA) Kit A(black cap)에 2 ml 주입하고, 증류수 및 측정하고자 하는 시료를 주입한 HS-TN-L(CA) Kit A(black cap)에 P1을 한 스푼 넣고, 뚜껑을 닫은 후 10회 상/하로 서서히 흔들어 혼합한다. 그리고 나서 Kit를 반응기에서 120 °C로 30분간 가열한 후 상온까지 수냉하고, 상온까지 수냉한 HS-TN-L(CA) Kit A(black cap)에 P2 한 스푼을 넣고 P2 분말이 모두 용해될 때까지 30초간 거칠게 혼합한 후 3분 동안 반응시킨다. 그런 다음 HS-TN-L(CA) Kit (black cap)에 P3 한 스푼을 넣고 상/하로 10회 서서히 흔들어 혼합한 후 2분간 반응시킨 후 HS-TN-L(CA) Kit A(black cap)로부터 시료를 2 ml를 취해 HS-TN-L(CA) Kit B(White cap)에 주입하고 상/하로 10회 서서히 흔들어 혼합한 후 Kit를 10분간 방치한 뒤 측정에 들어간다.

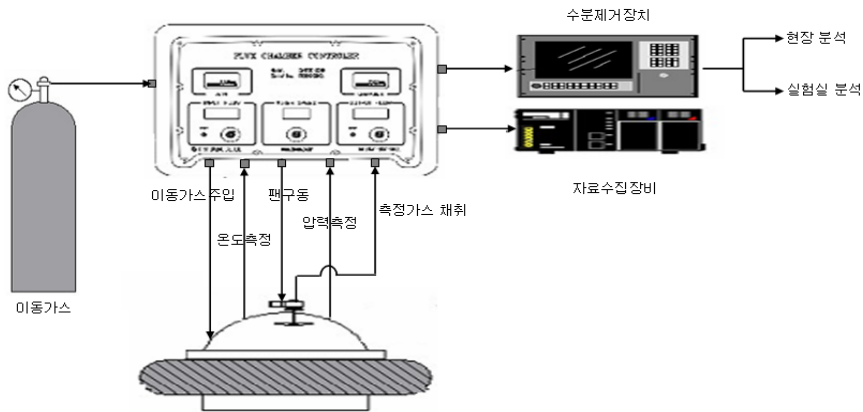


## 2. 온실가스 시료채취 및 분석

폐수처리시설에서 발생하는 온실가스의 표면배출량을 조사하기 위해 열린챔버 방식을 이용하여 측정하였다. 우선 열린챔버를 시료채취지점에 띄우고 유속에 의해 이동하지 않도록 고정하였다. 열린챔버로 채취한 가스는 수분을 제거하고, 채취 가스의 흡입 유량을 조절하기 위해 전처리장치(cooler의 온도 : 4 °C)를 통과시킨 후 비분산적외선분석기(NDIR, Non-dispersive infrared absorption)를 이용하여 현장에서 실시간으로 온실가스 농도를 측정하였다. 비분산적외선분석기는 SIEMENS사의 ULTRAMAT 6 를 사용하였으며 측정 시작 전에 제로(Zero) 및 스패(span) 교정가스로 교정하였다. 제로 교정가스는 N<sub>2</sub> gas(99.999 %), 스패 교정가스는 표준가스(CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 각각 894 ppm, 179 ppm)를 각각 사용하였다. CSTR(Continuous Stirred-Tank Reactor) 조건을 위해 챔버 내부의 상부에 fan을 설치하였으며(Viney P. et al., 2006), Thermocouple과 압력관을 챔버 내에 장착하여 시료채취 환경에 대한 온도와 압력을 측정하였다. 측정된 온도와 압력은 비분산적외선분석기의 측정값과 함께 자료수집장치(Dooil Tech, EMS-365)에 자동 저장되었다.

측정을 위하여 유입가스(N<sub>2</sub> gas)의 유속을 5 L/min으로 일정하게 열린챔버 안으로 흘려보냈다(단, 포기조에서는 산소가 공급되기 때문에 유입가스를 사용하지 않았다). 열린챔버의 유입 및 유출가스의 흐름이 안정한지를 확인하고 4 $\tau$ 의 측정농도를 온실가스 배출량 계산에 이용하였다(열린챔버는 이동가스 체류시간( $\tau$ ,  $\tau = \frac{\text{챔버부피}}{\text{이동가스유량}} = 6\text{min.}$ )의 4배가 될 때 안정된 상태가 된다고 EPA Guideline에 언급되어 있다). 이때 측정된 가스가 고농도일 경우 5 $\tau$ 의 측정농도와 4 $\tau$ 의 측정농도 대비 변화율  $\pm 10\%$  범위이면 안정화된 것으로 간주하였으며, 농도 변화가  $\pm 10\%$  범위를 벗어나는 경우에는 3 ~ 5 $\tau$ 의 평균값을 적용하였다. 단, 농도가 5 ppm이하인 저농도

의 경우는 전체배출량에 미치는 영향이 적으므로  $4\tau$ 의 값을 적용하였다 (EPA, 1986).



<그림 3-2> 열린챔버 측정시스템



<그림 3-3> 농축조 수면에 부유시킨 열린챔버



<그림 3-4> 온실가스 현장 측정 시스템

### 제3절 폐수처리시설에서의 온실가스 배출량 산정방법

#### 1. 폐수처리과정별 온실가스 flux 및 표면배출량 산정방법

폐수처리과정에서의 배출량을 산정하기 위해 시료채취지점의 온실가스 측정농도(C)를 이용하여 채취지점의 온실가스 유출속도(Y)를 계산하고, 이동가스의 유량 및 챔버의 단면적을 고려해 채취지점에서의 표면배출량 flux(F)을 계산한다.

채취지점의 온실가스 유출속도(Y)와 채취지점에서의 flux(F)을 구하는 식을 식 (14)와 (15)에 나타내었다.

$$Y = C \times \frac{\text{Molar wt.}}{22.4 L} \quad (14)$$

여기서, Y = 채취지점의 온실가스 유출속도( $\mu\text{g/L}$ , 단 0 °C, 1atm 기준)

C = 시료채취지점에서의 온실가스 측정농도(ppm, 단 포기조의 경우 측정농도에서 송풍동 농도를 뺀다.)

Molar wt. = 분자량( $\text{CH}_4$  : 16 g/mol,  $\text{N}_2\text{O}$  : 44 g/mol)

22.4 L = 표준상태(0 °C, 1기압)에서의 부피

$$F = \frac{(Q \times Y)}{A} \times \frac{273}{(273 + T)} \times \frac{P_{\text{chamber}}}{P} \quad (15)$$

여기서, F = 채취지점에서의 flux( $\mu\text{g/m}^2/\text{min}$ )

Q = 유입가스의 유속(L/min)

Y = 채취지점의 온실가스의 유출속도( $\mu\text{g}/\text{L}$ )

A = 챔버의 단면적( $\text{m}^2$ )

T = 챔버 내부 온도

$P_{\text{chamber}}$  = 챔버 내부 압력

P = 표준대기압(1기압)

각 지점별 flux(F)를 계산한 후 각 폐수처리시설의 면적을 이용하여 폐수 처리과정별 온실가스 배출량을 식 (16)을 통해 산정한다.

$$E_u = F \times AR \times (60 \times 24 \times 10^{-9}) \quad (16)$$

여기서,  $E_u$  = 폐수처리과정별 온실가스 배출량( $\text{kg CH}_4/\text{일}$ ,  $\text{kg N}_2\text{O}/\text{일}$ )

F = 채취지점에서의 flux( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{min}$ )

AR = 각 폐수처리시설의 면적( $\text{m}^2$ )

## 2. 온실가스 배출계수 산정방법

폐수처리시설에서의 온실가스 배출계수는 활동자료로 유입수의 유기물질 부하량을 사용한다. 즉, 메탄 배출계수는 주로 BOD 농도와 폐수발생량을 활동자료로 사용하고, 아산화질소 배출계수는 TN 농도와 폐수발생량을 사용한다.

각 폐수처리과정별 온실가스 배출량( $E_u$ )을 유입수의 유기물질 부하량으로 나누어 지점별 배출계수를 산정한 후 이를 모두 합산하여 처리과정의 최종 배출계수를 개발한다.

식 (17)과 식 (18)에 처리과정별 배출계수( $EF_u$ ) 산정식과 유제품가공업 전

체 폐수처리시설의 배출계수(EF) 산정식을 나타내었다.

$$EF_u = \frac{E_u}{AD} \quad (17)$$

여기서,  $EF_u$  = 폐수처리과정별 온실가스 배출계수(kg CH<sub>4</sub>/kg BOD, kg N<sub>2</sub>O/kg TN)

$E_u$  = 폐수처리과정별 온실가스 배출량(kg CH<sub>4</sub>/일, kg N<sub>2</sub>O/일)

AD = BOD 부하량, TN 부하량(kg BOD/일, kg TN/일)

$$EF = \sum EF_u \quad (18)$$

여기서, EF = 유제품가공업 폐수처리시설에서의 온실가스 배출계수

(kg CH<sub>4</sub>/kg BOD, kg N<sub>2</sub>O/kg TN)

$EF_u$  = 폐수처리과정별 온실가스 배출계수

(kg CH<sub>4</sub>/kg BOD, kg N<sub>2</sub>O/kg TN)

## 제4장 결과 및 고찰

### 제1절 유제품가공업 폐수의 수질분석

본 연구는 유제품가공업 폐수처리시설의 CH<sub>4</sub> 및 N<sub>2</sub>O의 배출량 및 배출계수를 산정하기 위해 폐수처리 유입수의 수질분석을 실시하였다. 폐수의 수질분석항목은 BOD 및 TN이며, 총 3회의 현장측정 동안 2회씩 유입폐수를 채취하여 분석하였고, 그 결과값을 <표 4-1>에 나타내었다.

총 6회의 BOD 분석 결과, 33.2 mg/L ~ 2,724.0 mg/L의 범위(평균 89.5 mg/L ~ 1,444.2 mg/L)를 나타내었다. 가장 높은 BOD 값은 2,724.0 mg/L로 10월 현장측정 시 1차에 채취한 시료에서 측정된 값이고, 가장 낮은 BOD 값은 33.2 mg/L로 7월 현장측정 시 1차에 채취한 시료에서 측정된 값이다.

TN의 경우, 2.9 mg/L ~ 24.8 mg/L의 범위(평균 6.3 mg/L ~ 19.5 mg/L)를 나타내었다. 가장 높은 값은 24.8 mg/L로 8월 현장측정 시 2차에 채취한 시료에서 측정된 값이며, 가장 낮은 값은 2.9 mg/L로 7월 현장측정 시 1차에 채취된 시료에서 측정된 값이다.

이처럼 BOD 및 TN의 농도 분포가 큰 이유는 식품업 중에서 유제품가공업 폐수가 계절 및 시간뿐만 아니라 우유의 유입량, 용기 및 바닥 세척 회수, 그리고 제품불량률에 따라 폐수량 및 수질 농도 등이 크게 변화하기 때문이다(Dogan et al., 2014). 또한 시료채취시간에 따른 폐수 성상 변화에 의한 것으로 판단된다.

<표 4-1> 유제품가공업 유입폐수의 수질 현황

(단위 : mg/L)

시험항목		7월	8월	10월
BOD	1회(2014.07.29.)	33.2	378.0	2,724.0
	2회(2014.07.30.)	145.7	638.0	164.4
	평균	89.5	508.0	1,444.2
TN	1회(2014.09.30.)	2.9	14.2	6.0
	2회(2014.10.01.)	9.8	24.8	19.5
	평균	6.3	19.5	12.7

## 제2절 유제품가공업 폐수처리로부터의 메탄 배출

본 연구는 유제품가공업 폐수처리시설의 CH<sub>4</sub> flux 및 표면배출량 산정하기 위해 폐수처리시설별 CH<sub>4</sub> 농도, 챔버 내부 온도 및 압력을 측정하였다.

### 1. 폐수처리과정에 따른 메탄 농도

7월 현장 측정은 7월, 8월 현장측정은 8월, 10월 현장측정은 10월에 실시하였고, 측정지점 및 측정횟수는 유입조 2회, 반응조 2회, 4개의 포기조에서 각각 2회씩 총 8회, 1차 침전조 2회, 최종 침전조 1회, 농축조 2회로 총 17회 측정을 하였다. 그리고 1회 측정은 30분 동안 진행되었다.

<그림 4-1>은 유제품가공업의 폐수처리과정에서 배출되는 메탄 농도를 상자그림으로 나타낸 것이고, <표 4-2>에는 폐수처리과정별 메탄농도를 통계분석(최고, 최저, 평균, 표준편차)하여 나타내었다.

7월 현장측정에서 4τ 시 메탄 농도가 가장 높았던 폐수처리과정은 유입조로 그 값은 3,826.50 ppm이다. 유입조에서 메탄 최저 농도는 1,059.10 ppm, 최고 농도는 4,483.00 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 3,687.99 ppm(S.D. 801.64)이다. 반면, 4τ 시 농축조에서는 메탄이 배출되지 않았다. 농축조에서 메탄 최저 농도는 0.00 ppm, 메탄 최고 농도는 2.32 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 0.35 ppm(S.D. 0.61)이다.

4τ 시 반응조, 포기조, 1차 침전조, 그리고 최종 침전조의 메탄 농도는 각각 162.92 ppm, 4.92 ppm, 2.73 ppm, 2.40 ppm이다. 반응조에서 메탄 최저 농도는 16.83 ppm, 메탄 최고 농도는 256.95 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 153.30 ppm(S.D. 81.66)이다. 포기조에서 메탄 최저 농도는 1.05 ppm, 메탄 최고 농도는 22.66 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 5.91 ppm(S.D. 3.19



)이다. 1차 침전조에서 메탄 최저 농도는 2.52 ppm, 메탄 최고 농도는 4.77 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 3.04 ppm(S.D. 0.53)이다. 최종 침전조에서 메탄 최저 농도는 2.40 ppm, 메탄 최고 농도는 4.53 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 2.90 ppm(S.D. 0.60)이다.

8월 현장측정 때도 4τ 시 메탄 농도가 가장 높았던 폐수처리과정은 유입조로 그 값은 2,749.33 ppm이다. 유입조에서 메탄 최저 농도는 19.95 ppm, 메탄 최고 농도는 3,265.40 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 2,277.22 ppm(S.D. 730.52)이다. 반면, 4τ 시 메탄 농도가 가장 낮았던 폐수처리과정은 1차 침전조로 그 값은 0.29 ppm이다. 1차 침전조에서 메탄 최저 농도는 0.00 ppm, 메탄 최고 농도는 2.66 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 0.90 ppm(S.D. 0.73)이다.

4τ 시 반응조, 포기조, 최종 침전조, 그리고 농축조의 메탄 농도는 각각 139.97 ppm, 5.72 ppm, 2.28 ppm, 5.94 ppm이다. 반응조에서 메탄 최저 농도는 5.50 ppm, 메탄 최고 농도는 182.25 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 124.83 ppm(S.D. 35.89)이다. 포기조에서 메탄 최저 농도는 0.00 ppm, 메탄 최고 농도는 180.12 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 5.97 ppm(S.D. 11.89)이다. 최종 침전조에서 메탄 최저 농도는 1.97 ppm, 메탄 최고 농도는 2.62 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 2.22 ppm(S.D. 0.17)이다. 농축조에서 메탄 최저 농도는 2.76 ppm, 메탄 최고 농도는 74.93 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 12.33 ppm(S.D. 16.34)이다.

10월 현장측정 때도 4τ 시 메탄 농도가 가장 높았던 폐수처리과정은 유입조로 그 값은 1,868.87 ppm이다. 유입조에서 메탄 최저 농도는 6.56 ppm, 메탄 최고 농도는 3,906.40 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 1,518.16 ppm(S.D. 1,204.06)이다. 반면, 4τ 시 메탄 농도가 가장 낮았던 폐수처리과정은 1차 침전조로 그 값은 0.23 ppm이다. 1차 침전조에서 메탄 최저 농도

는 0.00 ppm, 메탄 최고 농도는 3.13 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 0.51 ppm(S.D. 0.66)이다.

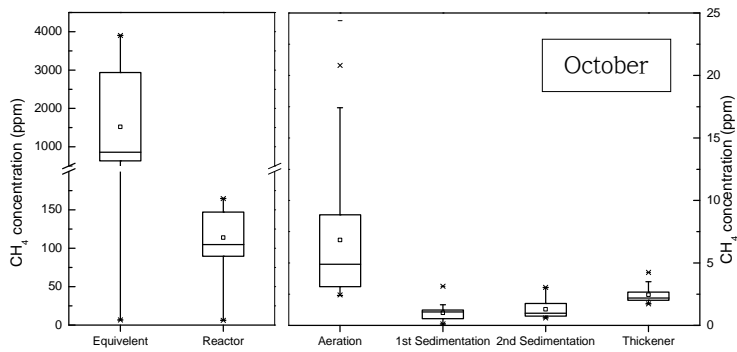
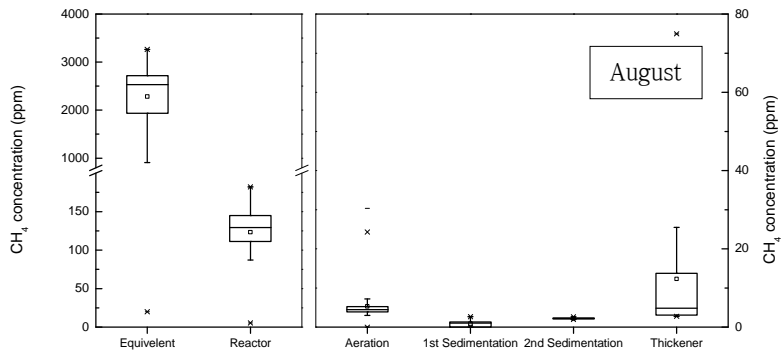
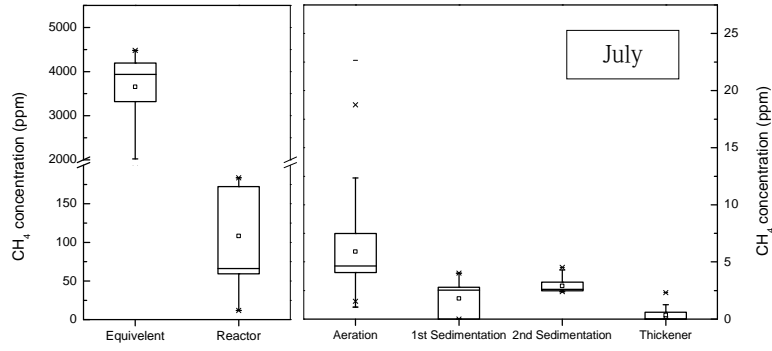
4τ 시 반응조, 포기조, 최종 침전조, 그리고 농축조의 메탄 농도는 각각 129.82 ppm, 7.47 ppm, 0.85 ppm, 1.94 ppm이다. 반응조에서 메탄 최저 농도는 6.23 ppm, 메탄 최고 농도는 164.70 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 113.87 ppm(S.D. 36.20)이다. 포기조에서 메탄 최저 농도는 0.00 ppm, 메탄 최고 농도는 24.39 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 5.96 ppm(S.D. 5.19)이다. 최종 침전조에서 메탄 최저 농도는 0.59 ppm, 메탄 최고 농도는 3.04 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 1.28 ppm(S.D. 0.73)이다. 농축조에서 메탄 최저 농도는 1.72 ppm, 메탄 최고 농도는 4.24 ppm, 전체 메탄 농도의 평균은 2.46 ppm(S.D. 0.62)이다.

총 3회의 현장측정을 통해 조사한 결과, 유기물 농도가 높은 유입조에서 메탄 농도가 가장 높게 측정되었으며, 그 다음으로 높은 메탄 농도를 보인 폐수처리과정은 유입조 다음 처리과정인 반응조였다. 반응조의 메탄 평균 농도는 유입조의 메탄 평균 농도의 약 1/20이다.

일반적으로 메탄은 유기물농도가 높고 산소가 공급되지 않는 혐기성상태 일 때 많이 발생된다고 한다. 이렇듯 본 연구에서 유입조와 반응조의 경우는 산소를 공급하지 않는 상태였고 유기물 농도 또한 편차는 심하지만 고 농도이기 때문에 메탄 농도가 높은 것으로 판단된다(IPCC, 2006)

월별 메탄농도는 7월, 8월 10월 순으로 높게 측정되었는데, 이는 본 대상 시설의 생산제품 특성상 기온이 낮은 가을보다 기온이 높은 여름에 더 많이 판매되면서 폐수 안의 유기물 농도가 높아졌기 때문이라 판단된다.

1차 침전조, 최종 침전조, 농축조는 산소가 공급되고 있으나 유기물 농도가 낮고, 폐수처리 운영 조건 중 슬러지의 HRT(Hydraulic Retention Time)가 매우 짧은 것으로 조사되었다(송한철, 2009).



<그림 4-1> 유제품가공업 폐수처리과정별 메탄 농도 변화

<표 4-2> 유제품가공업 폐수처리과정별 메탄의 농도

(단위 : ppm)

구분		7월	8월	10월	평균
유입조	최저	1,059.10	19.95	6.56	361.87
	최고	4,483.00	3,265.40	3,906.40	3,884.93
	평균	3,687.99	2,277.22	1,518.16	2,494.46
	표준편차	801.64	730.52	1,204.06	912.07
반응조	최저	16.83	5.50	6.23	9.52
	최고	256.95	182.25	164.70	201.30
	평균	153.30	124.83	113.87	130.67
	표준편차	81.66	35.89	36.20	51.25
포기조	최저	1.05	0.00	0.00	0.35
	최고	22.66	180.12	24.39	75.72
	평균	5.91	5.97	5.96	5.95
	표준편차	3.19	11.89	5.19	6.76
1차 침전조	최저	2.52	0.00	0.00	0.84
	최고	4.77	2.66	3.13	3.52
	평균	3.04	0.90	0.51	1.48
	표준편차	0.53	0.73	0.66	0.64
최종 침전조	최저	2.40	1.97	0.59	1.65
	최고	4.53	2.62	3.04	3.40
	평균	2.90	2.22	1.28	2.13
	표준편차	0.60	0.17	0.73	0.50
농축조	최저	0.00	2.76	1.72	1.49
	최고	2.32	74.93	4.24	27.16
	평균	0.35	12.33	2.46	5.05
	표준편차	0.61	16.34	0.62	5.86

## 2. 폐수처리과정에 따른 메탄 flux 특성

flux란 단위시간당 단위면적당 발산량을 말한다. EPA 가이드라인에 따르면 열린챔버 내부는 이동가스 체류시간의 4배가 될 때 안정된 상태가 되므로  $4\tau$  시 측정된 농도를 계산에 이용하였다.

<표 4-3>에 7월, 8월, 10월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 메탄 flux를 나타내었다. 7월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 메탄 flux 중 그 양이 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 값은  $105.07 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다. 그 다음으로 메탄 flux가 크게 산정된 폐수처리과정은 반응조로 그 값은  $4.48 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다. 이어서 포기조, 1차 침전조 및 최종 침전조 순으로 메탄 flux가 크게 산정되었으며, 농축조에서는 메탄 flux가 산정되지 않았다. 폐수처리과정별 메탄 flux 합계는  $119.19 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다.

8월 현장측정을 통해 산정된 메탄 flux 중 그 양이 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 값은  $78.68 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다. 유입조 다음으로 메탄 flux가 크게 산정된 폐수처리과정은 반응조로 그 값은  $3.83 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다. 이어서 포기조, 농축조, 최종 침전조, 1차 침전조 순으로 메탄 flux가 크게 산정되었다. 폐수처리과정별 메탄 flux 합계는  $84.60 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다.

10월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 메탄 flux 중 그 양이 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 값은  $51.32 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다. 유입조 다음으로 메탄 flux가 크게 산정된 폐수처리과정은 포기조로 그 값은  $4.21 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다. 이어서 반응조, 농축조, 최종 침전조 및 1차 침전조순으로 메탄 flux가 크게 산정되었다. 폐수처리과정별 메탄 flux 합계는  $59.18 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다.

7월, 8월, 10월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 메탄 flux를 조사한 결과, 3회 모두 유입조에서 메탄 flux가 가장 크게 산정되었으며, 이는

flux 산정에 필요한 메탄 농도가 유입조에서 가장 높게 측정되었기 때문이다. 이처럼 다른 폐수처리과정에서도 측정된 메탄 농도에 따라 flux가 산정되었다.

<표 4-3> 유제품가공업 폐수처리과정별 메탄 flux

구분	메탄 flux(mg/m <sup>2</sup> /min)			
	7월	8월	10월	평균
유입조	105.07	78.68	51.32	78.36
반응조	4.48	3.83	3.57	3.96
포기조	1.50	1.90	4.21	2.54
1차 침전조	0.07	0.01	0.01	0.03
최종 침전조	0.07	0.06	0.02	0.05
농축조	N/D	0.12	0.05	0.06
<b>합계</b>	<b>111.19</b>	<b>84.60</b>	<b>59.18</b>	

### 3. 폐수처리과정별 메탄 표면배출량

유제품가공업의 폐수처리과정별 메탄 배출량 산정 결과를 <표 4-4>에 나타내었다.

7월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 메탄 표면배출량 중 그 양이 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 배출량은 1,325.36 kg CH<sub>4</sub>/yr이며, 이는 폐수처리과정별 메탄 표면배출량 합계 1,386.58 kg CH<sub>4</sub>/yr의 95.58 %를 차지한다. 유입조 다음으로 메탄 표면배출량이 크게 산정된 폐수처리과정은 포기조, 반응조, 1차 침전조, 최종 침전조순이며, 그 양은 각각 24.88 kg CH<sub>4</sub>/yr, 23.34 kg CH<sub>4</sub>/yr, 6.88 kg CH<sub>4</sub>/yr, 6.12 kg CH<sub>4</sub>/yr이

다. 농축조에서는 메탄 표면배출량이 산정되지 않았다.

8월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 메탄 표면배출량 중 그 양이 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 배출량은 952.29 kg CH<sub>4</sub>/yr이며, 이는 폐수처리과정별 메탄 표면배출량 합계 1,024.18 kg CH<sub>4</sub>/yr의 92.98 %를 차지한다.

유입조 다음으로 메탄 배출량이 크게 산정된 폐수처리과정은 포기조, 반응조, 최종 침전조, 농축조, 그리고 1차 침전조순이며, 그 양은 각각 39.80 kg CH<sub>4</sub>/yr, 20.05 kg CH<sub>4</sub>/yr, 5.86 kg CH<sub>4</sub>/yr, 5.42 kg CH<sub>4</sub>/yr, 0.76 kg CH<sub>4</sub>/yr이다.

10월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 메탄 표면배출량 중 그 양이 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 배출량은 647.32 kg CH<sub>4</sub>/yr이고, 이는 폐수처리과정별 메탄 표면배출량의 합계 740.12 kg CH<sub>4</sub>/yr의 87.46 %를 차지한다. 유입조 다음으로 메탄 배출량이 크게 산정된 폐수처리과정은 포기조로 그 양은 69.66 kg CH<sub>4</sub>/yr이었으며, 그 다음으로 반응조, 최종 침전조, 농축조, 1차 침전조순으로 메탄 배출량이 크게 산정되었다.

폐수처리과정별 메탄 표면배출량을 산정하기 위해서는 메탄 시료를 채취한 폐수처리시설의 면적과 현장측정을 통해 산정된 메탄 flux가 필요하다. 따라서 다른 폐수처리시설들에 비해 그 면적이 작지만 산정된 메탄 flux가 다른 폐수처리과정에서보다 월등히 큰 유입조에서 메탄 표면배출량이 가장 높게 산정되었다. 그리고 포기조의 메탄 flux가 전반적으로 반응조의 그것보다 적었지만 다른 폐수처리시설들에 비해 그 면적이 가장 큰 포기조에서 반응조보다 메탄 표면배출량이 크게 산정되었다.

<표 4-4> 유제품가공업 폐수처리과정별 메탄 표면배출량

구분	메탄 표면배출량(kg CH <sub>4</sub> /yr)		
	7월	8월	10월
유입조	1,325.36	952.29	647.32
반응조	23.34	20.05	18.60
포기조	24.88	39.80	69.66
1차 침전조	6.88	0.76	0.51
최종 침전조	6.12	5.86	2.29
농축조	0.00	5.41	1.74
<b>합계</b>	<b>1,386.58</b>	<b>1,024.17</b>	<b>740.12</b>



### 제3절 유제품가공업 폐수처리로부터의 아산화질소 배출

본 연구는 유제품가공업 폐수처리시설의  $N_2O$  flux 및 표면배출량을 산정하기 위해 폐수처리시설별  $N_2O$  농도, 챔버 내부 온도 및 압력을 측정하였다.

#### 1. 폐수처리과정에 따른 아산화질소 농도

1차 현장 측정은 7월, 2차 현장측정은 8월, 3차 현장측정은 10월에 실시하였고, 측정지점 및 측정횟수는 유입조 2회, 반응조 2회, 4개의 포기조에서 각각 2회씩 총 8회, 1차 침전조 2회, 최종 침전조 1회, 농축조 2회로 총 17회 측정을 하였다. 그리고 1회 측정은 30분 동안 진행되었다.

<그림 4-2>은 유제품가공업의 폐수처리과정에서 배출되는 아산화질소 농도를 상자그림으로 나타낸 것이고, <표 4-5>에는 폐수처리과정별 아산화질소농도를 통계분석(최고, 최저, 평균, 표준편차)하여 나타내었다.

7월 현장측정에서  $4\tau$  시 아산화질소 농도가 가장 높은 폐수처리과정은 유입조로 그 값은 188.86 ppm이다. 유입조에서 아산화질소 최저 농도는 113.19 ppm, 아산화질소 최고 농도는 213.51 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 184.50 ppm(S.D. 28.21)이다. 반면,  $4\tau$  시 1차 침전조, 최종 침전조, 농축조에서 아산화질소가 검출되지 않았다. 1차 침전조에서 아산화질소 최저 농도는 0.00 ppm, 최고 농도는 0.45 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 0.02 ppm(S.D. 0.08)이다. 최종 침전조 및 농축조에서는 아산화질소가 전혀 검출되지 않았다.

$4\tau$  시 반응조 및 포기조의 아산화질소 농도는 각각 11.02 ppm, 0.51 ppm이다. 반응조에서 아산화질소 최저 농도는 1.55 ppm, 최고 농도는 16.80 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 10.65 ppm(S.D. 5.04)이고, 포기

조에서 아산화질소 최저 농도는 0.04 ppm, 아산화질소 최고 농도는 1.52 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 0.58 ppm(S.D. 0.24)이다.

8월 현장측정에서도 4τ 시 아산화질소 농도가 가장 높은 폐수처리과정은 유입조로 그 값은 143.05 ppm이다. 유입조에서 최저 농도는 1.98 ppm, 아산화질소 최고 농도는 164.44 ppm, 전체 농도의 평균은 120.77 ppm(S.D. 35.48)이다. 반면, 4τ 시 1차 침전조에서는 아산화질소가 검출되지 않았다. 1차 침전조의 아산화질소 최저 농도는 0.00 ppm, 아산화질소 최고 농도는 0.43 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 0.14 ppm(S.D. 0.12)이다.

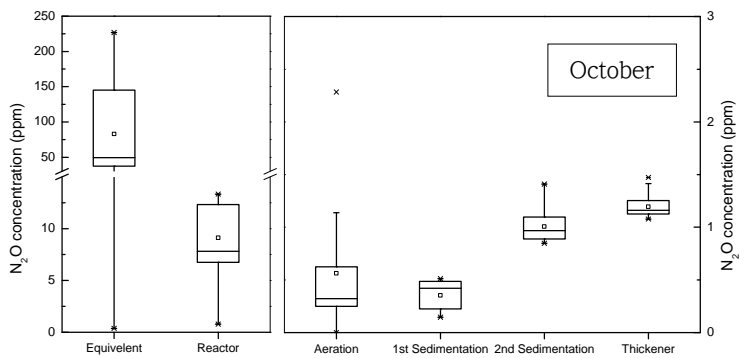
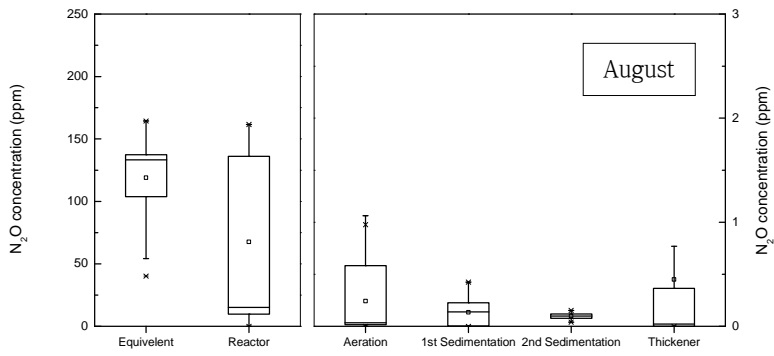
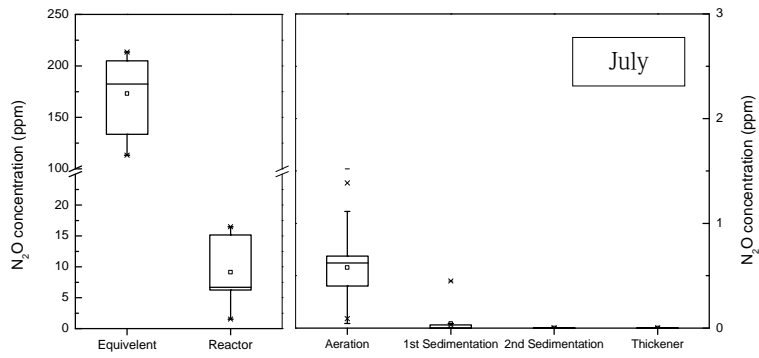
4τ 시 반응조, 포기조, 최종 침전조, 그리고 농축조의 아산화질소 농도는 각각 12.52 ppm, 0.21 ppm, 0.08 ppm, 0.01 ppm이다. 반응조에서 아산화질소 최저 농도는 0.01 ppm, 아산화질소 최고 농도는 17.38 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 11.50 ppm(S.D. 3.60)이다. 포기조에서 아산화질소 최저 농도는 0.00 ppm, 아산화질소 최고 농도는 24.05 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 0.36 ppm(S.D. 1.55)이다. 최종 침전조에서 아산화질소 최저 농도는 0.04 ppm, 아산화질소 최고 농도는 0.15 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 0.10 ppm(S.D. 0.03)이다. 농축조에서 아산화질소 최저 농도는 0.00 ppm, 최고 농도는 4.19 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 0.45 ppm(S.D. 0.93)이다.

10월 현장측정에서도 4τ 시 아산화질소 농도가 가장 높은 폐수처리과정은 유입조로 그 값은 124.81 ppm이다. 유입조에서 아산화질소 최저 농도는 0.38 ppm, 아산화질소 최고 농도는 236.05 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 86.01 ppm(S.D. 69.18)이다. 반면, 4τ 시 아산화질소 농도가 가장 낮았던 폐수처리과정은 1차 침전조로 그 값은 0.36 ppm이다. 1차 침전조에서 아산화질소 최저 농도는 0.15 ppm, 아산화질소 최고 농도는 0.51 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 0.35 ppm(S.D. 0.13)이었다.

4τ 시 반응조, 포기조, 최종 침전조, 그리고 농축조의 아산화질소 농도는 각각 10.26 ppm, 0.73 ppm, 0.89 ppm, 1.12 ppm이다. 반응조에서 아산화질소 최저 농도는 0.79 ppm, 아산화질소 최고 농도는 13.34 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 9.12 ppm(S.D. 3.18)이다. 포기조에서 아산화질소 최저 농도는 0.00 ppm, 아산화질소 최고 농도는 4.45 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 0.65 ppm(S.D. 0.66)이다. 최종 침전조에서 아산화질소 최저 농도는 0.85 ppm, 아산화질소 최고 농도는 1.41 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 1.01 ppm(S.D. 0.14)이다. 농축조에서 아산화질소 최저 농도는 1.08 ppm, 아산화질소 최고 농도는 1.47 ppm, 전체 아산화질소 농도의 평균은 1.20 ppm(S.D. 0.10)이다.

총 3회의 현장측정을 통해 조사한 결과, 총질소 농도가 높은 유입조에서 아산화질소 농도가 가장 높게 측정되었으며, 그 다음으로 높은 아산화질소 농도를 보인 폐수처리과정은 유입조 다음 처리과정인 반응조였다. 반응조의 아산화질소 평균 농도는 유입조의 아산화질소 평균 농도의 약 1/14이다.

월별 아산화질소 농도는 7월, 8월 10월 순으로 높게 측정되었는데, 이는 본 대상 시설의 생산제품 특성상 기온이 낮은 가을보다 기온이 높은 여름에 더 많이 판매되면서 폐수 안의 유기물 농도가 높아졌기 때문이라 판단된다.



<그림 4-2> 유제품가공업 폐수처리과정별 아산화질소 농도 변화

<표 4-5> 유제품가공업 폐수처리과정별 아산화질소의 농도

(단위 : ppm)

구분		7월	8월	10월	평균
유입조	최저	113.19	1.98	0.38	38.52
	최고	213.51	164.44	236.05	204.67
	평균	184.50	120.77	86.01	130.43
	표준편차	28.21	35.48	69.18	44.29
반응조	최저	1.55	0.01	0.79	0.78
	최고	16.80	17.38	13.34	15.84
	평균	10.65	11.50	9.12	10.42
	표준편차	5.04	3.60	3.18	3.94
포기조	최저	0.04	0.00	0.00	0.01
	최고	1.52	24.05	4.45	10.01
	평균	0.58	0.36	0.65	0.53
	표준편차	0.24	1.55	0.66	0.82
1차 침전조	최저	0.00	0.00	0.15	0.05
	최고	0.45	0.43	0.51	0.46
	평균	0.02	0.14	0.35	0.17
	표준편차	0.08	0.12	0.13	0.11
최종 침전조	최저	0.00	0.04	0.85	0.30
	최고	0.00	0.15	1.41	0.52
	평균	0.00	0.10	1.01	0.37
	표준편차	0.00	0.03	0.14	0.06
농축조	최저	0.00	0.00	1.08	0.36
	최고	0.00	4.19	1.47	1.89
	평균	0.00	0.45	1.20	0.55
	표준편차	0.00	0.93	0.10	0.34

## 2. 폐수처리과정에 따른 아산화질소 flux 특성

<표 4-6>에 7월, 8월, 10월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 아산화질소 flux를 나타내었다. 7월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 아산화질소 flux 중 그 양이 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 값은  $14.26 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다. 유입조 다음으로 아산화질소 flux가 크게 산정된 폐수처리과정은 반응조와 포기조로 그 값들은 각각  $0.83 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ ,  $0.55 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다. 그리고 1차 침전조, 최종 침전조, 농축조에서는 아산화질소 flux가 산정되지 않았다. 폐수처리과정별 아산화질소 flux 합계는  $15.64 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다.

8월 현장측정을 통해 산정된 아산화질소 flux 중 그 양이 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 값은  $11.21 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다. 유입조 다음으로 아산화질소 flux가 크게 산정된 폐수처리과정은 반응조, 포기조, 최종 침전조로 그 값들은 각각  $0.95 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ ,  $0.76 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ ,  $0.01 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다. 반면, 1차 침전조와 농축조에서는 아산화질소 flux가 산정되지 않았다. 폐수처리과정별 아산화질소 flux 합계는  $12.93 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다.

10월 현장측정을 통해 산정된 아산화질소 flux 중 그 양이 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 값은  $9.42 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다. 유입조 다음으로 아산화질소 flux가 크게 산정된 폐수처리과정은 포기조, 반응조, 농축조, 최종 침전조, 1차 침전조순이며, 그 값들은 각각  $0.83 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ ,  $0.78 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ ,  $0.08 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ ,  $0.07 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ ,  $0.03 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다. 폐수처리과정별 아산화질소 flux 합계는  $11.21 \text{ mg/m}^2/\text{min}$ 이다.

7월, 8월, 10월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 아산화질소 flux를 조사한 결과, 3회 모두 유입조에서 아산화질소 flux가 가장 크게 산정되었으며, 이는 flux 산정에 필요한 아산화질소 농도가 유입조에서 가장 높게

측정되었기 때문이다. 이처럼 다른 폐수처리과정에서도 측정된 아산화질소 농도에 따라 flux가 산정되었다.

<표 4-6> 유제품가공업 폐수처리과정별 아산화질소 flux

구분	아산화질소 flux(mg/m <sup>2</sup> /min)			
	7월	8월	10월	평균
유입조	14.26	11.21	9.42	11.63
반응조	0.83	0.95	0.78	0.85
포기조	0.55	0.76	0.83	0.71
1차 침전조	N/D	N/D	0.03	0.01
최종 침전조	N/D	0.01	0.07	0.03
농축조	N/D	N/D	0.08	0.03
<b>합계</b>	<b>15.64</b>	<b>12.93</b>	<b>11.21</b>	

### 3. 폐수처리과정별 아산화질소 표면배출량

유제품가공업의 폐수처리과정별 아산화질소 표면배출량 산정 결과를 <표 4-7>에 나타내었다.

7월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 아산화질소 표면배출량 중 그 양이 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 배출량은 179.93 kg N<sub>2</sub>O/yr이며, 이는 폐수처리과정별 아산화질소 배출량 합계 193.38 kg N<sub>2</sub>O/yr의 93.04 %를 차지한다. 반면, 1차 침전조, 최종 침전조, 농축조에서는 아산화질소 표면배출량이 산정되지 않았다. 반응조 및 포기조에서는 각각 4.33 kg N<sub>2</sub>O/yr, 9.12 kg N<sub>2</sub>O/yr의 아산화질소 표면배출량이 산정되었다.

8월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 아산화질소 표면배출량 중 그 양이 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 배출량은 136.30 kg N<sub>2</sub>O/yr이며, 이는 폐수처리과정별 아산화질소 배출량 합계 141.96 kg N<sub>2</sub>O/yr의 96.01 %를 차지한다. 반면, 포기조, 1차 침전조, 농축조에서는 아산화질소 표면배출량이 산정되지 않았다. 반응조 및 최종 침전조에서는 4.96 kg N<sub>2</sub>O/yr, 0.70 kg N<sub>2</sub>O/yr의 아산화질소 표면배출량이 산정되었다.

10월 현장측정을 통해 산정된 아산화질소 표면배출량 중 그 양이 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 배출량은 118.87 kg N<sub>2</sub>O/yr이고, 이는 폐수처리과정별 아산화질소 표면배출량의 합계 148.50 kg N<sub>2</sub>O/yr의 80.05 %를 차지한다. 그 다음으로 아산화질소 표면배출량이 크게 산정된 폐수처리과정은 포기조, 최종 침전조, 반응조, 1차 침전조, 농축조순이며, 그 양은 각각 13.68 kg N<sub>2</sub>O/yr, 6.31 kg N<sub>2</sub>O/yr, 4.06 kg N<sub>2</sub>O/yr, 2.80 kg N<sub>2</sub>O/yr, 2.78kg N<sub>2</sub>O/yr이다.

폐수처리과정별 아산화질소 표면배출량을 산정하기 위해서는 아산화질소 시료를 채취한 폐수처리시설의 면적과 현장측정을 통해 산정된 아산화질소 flux가 필요하다. 따라서 다른 폐수처리시설에 비해 그 면적이 작지만 산정된 아산화질소 flux가 다른 폐수처리과정들보다 10배 이상 큰 유입조에서 아산화질소 표면배출량이 가장 높게 산정되었다. 그리고 산정된 아산화질소 flux가 반응조보다 작지만 다른 폐수처리시설들에 비해 그 면적이 가장 큰 포기조에서 반응조보다 아산화질소 표면배출량이 크게 산정되었다.



<표 4-7> 유제품가공업 폐수처리과정별 아산화질소 표면배출량

구분	아산화질소 표면배출량(kg N <sub>2</sub> O/yr)		
	7월	8월	10월
유입조	179.93	136.30	118.87
반응조	4.33	4.96	4.06
포기조	9.12	N/D	13.68
1차 침전조	N/D	N/D	2.80
최종 침전조	N/D	0.70	6.31
농축조	N/D	N/D	2.78
<b>합계</b>	<b>193.38</b>	<b>141.96</b>	<b>148.50</b>

## 4. 온실가스 배출계수

본 장에서는 유제품가공업 폐수처리과정별 온실가스 표면배출량과 BOD 부하량 및 TN 부하량을 이용하여 유제품가공업 폐수처리시설의 CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O 배출계수를 산정하였다.

### 1. 메탄 배출계수

유제품가공업 폐수처리과정별 배출계수 산정 결과를 <표 4-8>에 나타내었다.

7월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 메탄 배출계수 중 배출계수가 가장 큰 폐수처리과정은 유입조로 그 값은 20.30 g CH<sub>4</sub>/g BOD이다. 유입조 다음으로 배출계수가 큰 폐수처리과정은 포기조, 반응조, 1차 침전조, 최종 침전조순이며, 배출계수는 각각 0.38 g CH<sub>4</sub>/g BOD, 0.36 g CH<sub>4</sub>/g BOD, 0.11 g CH<sub>4</sub>/g BOD, 0.09 g CH<sub>4</sub>/g BOD이다. 농축조의 배출계수는 산정되지 않았다.

8월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 메탄 배출계수 중 배출계수가 가장 큰 폐수처리과정은 유입조로 그 값은 2.57 g CH<sub>4</sub>/g BOD이다. 유입조 다음으로 배출계수가 큰 폐수처리과정은 포기조, 반응조, 최종 침전조, 농축조순이며, 배출계수는 각각 0.11 g CH<sub>4</sub>/g BOD, 0.05 g CH<sub>4</sub>/g BOD, 0.02 g CH<sub>4</sub>/g BOD, 0.01 g CH<sub>4</sub>/g BOD이다. 반면 1차 침전조의 배출계수는 산정되지 않았다.

10월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 메탄 배출계수 중 배출계수가 가장 큰 폐수처리과정은 유입조로 그 값은 0.61 g CH<sub>4</sub>/g BOD이다. 유

입조 다음으로 배출계수가 큰 폐수처리과정은 포기조와 반응조로 그 값은 각각 0.07 g CH<sub>4</sub>/g BOD, 0.02 g CH<sub>4</sub>/g BOD이다. 반면, 1차 침전조, 최종 침전조, 농축조의 배출계수는 산정되지 않았다.

폐수처리과정별 메탄 배출계수를 산정하기 위해서는 폐수처리시설의 메탄 배출량과 폐수의 BOD 부하량이 필요하다. 따라서 배출량이 크게 산정된 폐수처리과정순으로 배출계수가 크게 산정되었다.

<표 4-8> 유제품가공업 폐수처리시설의 메탄 배출계수

구 분	메탄 배출계수(g CH <sub>4</sub> /g BOD)			
	7월	8월	10월	평균
유입조	20.30	2.57	0.61	7.83
반응조	0.36	0.05	0.02	0.14
포기조	0.38	0.11	0.07	0.19
1차 침전조	0.11	N/D	N/D	0.04
최종 침전조	0.09	0.02	N/D	0.04
농축조	N/D	0.01	N/D	0.00
<b>합계</b>	<b>21.24</b>	<b>2.76</b>	<b>0.70</b>	

본 연구에서 산정한 유제품가공업 폐수처리시설의 메탄 배출계수를 2014년 국가인벤토리 보고서(GIR, 2014)에 고시되어 있는 음식료품업종 폐수처리시설의 메탄 배출계수와 비교하였다.

본 연구를 통해 산정된 7월, 8월, 10월의 유제품가공업 폐수처리시설의 메탄 배출계수 평균은 0.0082 kg CH<sub>4</sub>/ kg BOD으로, 2014년 국가인벤토리 보고서에 고시되어 있는 음식료품업종 폐수처리시설의 메탄 배출계수 0.011 kg CH<sub>4</sub>/ kg

BOD보다 0.0028 kg CH<sub>4</sub>/ kg BOD 낮지만 이는 유제품 가공업소에서 배출되는 폐수의 배출계수가 아닌 음식료품업종의 배출계수이므로 직접 비교는 어려울 것으로 판단된다.

## 2. 아산화질소 배출계수

유제품가공업 폐수처리과정별 배출계수 산정 결과를 <표 4-9>에 나타내었다.

7월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 아산화질소 배출계수 중 배출계수가 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 값은 38.91 g N<sub>2</sub>O/kg TN이다. 유입조 다음으로 배출계수가 크게 산정된 폐수처리과정은 포기조 및 반응조로 그 값은 각각 1.97 g N<sub>2</sub>O/kg TN, 0.94 g N<sub>2</sub>O/kg TN이다. 그리고 1차 침전조, 최종 침전조, 농축조의 배출계수는 산정되지 않았다. 폐수처리과정별 아산화질소 배출계수의 합계는 41.82 g N<sub>2</sub>O/kg TN,이다.

8월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 아산화질소 배출계수 중 배출계수가 가장 크게 산정된 폐수처리과정은 유입조로 그 값은 9.58 g N<sub>2</sub>O/kg TN이며, 그 다음으로 배출계수가 크게 산정된 폐수처리과정은 반응조 및 최종 침전조로 그 값은 각각 0.35 g N<sub>2</sub>O/kg TN, 0.05 g N<sub>2</sub>O/kg TN이다. 포기조, 1차 침전조, 농축조의 배출계수는 산정되지 않았으며, 폐수처리과정별 배출계수 합계는 9.98 g N<sub>2</sub>O/kg TN이다.

10월 현장측정을 통해 산정된 폐수처리과정별 아산화질소 배출계수 중 배출계수가 가장 큰 폐수처리과정은 유입조로 그 값은 12.80 g N<sub>2</sub>O/kg TN이고, 그 다음으로 배출계수가 크게 산정된 폐수처리과정은 포기조, 최종 침전조, 반응조, 1차 침전조 및 농축조로 그 값들은 각각 1.47 g N<sub>2</sub>O/kg TN, 0.68 g N<sub>2</sub>O/kg TN, 0.44 g N<sub>2</sub>O/kg TN, 0.30 g N<sub>2</sub>O/kg TN이다. 폐수처

리과정별 배출계수 합계는 15.99 g N<sub>2</sub>O/kg TN이다.

폐수처리과정별 아산화질소 배출계수를 산정하기 위해서는 폐수처리과정의 아산화질소 배출량 및 폐수의 TN 부하량이 필요하다. 따라서 배출량이 크게 산정된 폐수처리과정순으로 배출계수가 크게 산정되었다.

<표 49> 유제품가공업 폐수처리과정별 아산화질소 배출계수

구 분	아산화질소 배출계수(g N <sub>2</sub> O/kg TN)			
	7월	8월	10월	평균
유입조	38.91	9.58	12.80	20.43
반응조	0.94	0.35	0.44	0.58
포기조	1.97	N/D	1.47	1.15
1차 침전조	N/D	N/D	0.30	0.10
최종 침전조	N/D	0.05	0.68	0.24
농축조	N/D	N/D	0.30	0.10
합계	41.82	9.98	15.99	

본 연구에서 산정한 유제품가공업 폐수처리시설의 아산화질소 배출계수를 2006 IPCC 가이드라인에 고시되어 있는 가정폐수의 아산화질소 배출계수와 비교하였다.

본 연구를 통해 산정된 7월, 8월, 10월의 유제품가공업 폐수처리시설의 아산화질소 배출계수 평균은 0.023 kg N<sub>2</sub>O/kg TN으로, 2006 IPCC 가이드라인에 고시되어 있는 가정폐수의 아산화질소 배출계수 0.003 kg N<sub>2</sub>O/kg TN보다 0.02 kg N<sub>2</sub>O/kg TN 높지만 이는 유제품 가공업소에서 배출되는 폐수의 배출계수가 아닌 가정폐수의 배출계수이므로 직접 비교는 어려울 것으로 판단된다.

## 제5장 결론

본 연구에서는 유제품가공업 폐수처리시설에서 발생하는  $\text{CH}_4$  및  $\text{N}_2\text{O}$ 의 배출량 및 배출계수를 산정하기 위해 해당 사업장을 7월, 8월, 10월, 총 3회 방문하여 해당 사업장 폐수처리시설의 유입수의 BOD 및 TN 분석을 하였으며, 폐수처리과정별로 발생하는  $\text{CH}_4$  및  $\text{N}_2\text{O}$  농도를 측정하였다.

1. 폐수 채취는 현장방문 시마다 2회씩 채취하여 BOD, COD, TN을 총 6회 분석하였다. 총 6회의 BOD 분석 결과는 33.2 mg/L ~ 2,724.0 mg/L의 범위(평균 89.5 mg/L ~ 1,444.2 mg/L)를, TN은 2.9 mg/L ~ 24.8 mg/L의 범위(평균 6.3 mg/L ~ 19.5 mg/L)를 나타내었다. 이처럼 BOD 및 TN의 농도 분포가 큰 이유는 식품업 중에서 유제품가공업 폐수가 계절 및 시간뿐만 아니라 우유의 유입량, 용기 및 바닥 세척 회수, 그리고 제품불량률에 따라 폐수량 및 수질 농도 등이 크게 변화하기 때문이다. 또한 시료채취시간에 따른 폐수 성상 변화에 의한 것으로 판단된다.

2. 유제품가공업의 폐수처리과정별  $\text{CH}_4$  및  $\text{N}_2\text{O}$  농도를 측정한 결과, 7월, 8월, 10월 현장측정 모두 유입조에서 그 범위가  $\text{CH}_4$  6.56 ppm ~ 4,483.00 ppm,  $\text{N}_2\text{O}$  0.38 ppm ~ 236.05 ppm로 가장 높은 값이 측정되었으며, 그 다음으로  $\text{CH}_4$  농도는 반응조, 포기조, 농축조, 최종 침전조 및 1차 침전조순으로,  $\text{N}_2\text{O}$  농도는 반응조, 농축조, 포기조, 최종 침전조 및 1차 침전조순으로 높게 측정되었다.

3. 유제품가공업의 폐수처리과정별  $\text{CH}_4$  및  $\text{N}_2\text{O}$ 의 flux 및 표면배출량 산정 결과, 유입조의  $\text{CH}_4$  flux 범위는 51.32  $\text{mg/m}^2/\text{min}$  ~ 105.07  $\text{mg/m}^2/\text{min}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  flux 범위는 9.42  $\text{mg/m}^2/\text{min}$  ~ 14.26  $\text{mg/m}^2/\text{min}$ 로 가장 크게 산정되었다. 유입조 다음으로  $\text{CH}_4$  flux는 반응조, 포기조, 농축조, 최종 침전조 및 1

차 침전조순으로,  $N_2O$  flux는 반응조, 포기조, 최종 침전조/농축조, 그리고 1차 침전조순으로 크게 산정되었다.  $CH_4$  및  $N_2O$  표면배출량의 경우 유입조에서 그 범위가 각각  $CH_4$  647.32 kg  $CH_4/yr$  ~ 1,325.36 kg  $CH_4/yr$ ,  $N_2O$  118.87 kg  $N_2O/yr$  ~ 179.93 kg  $N_2O/yr$ 로 가장 큰 값이 산정되었으며, 표면배출량의 경우, 산정 시 폐수처리시설의 면적이 적용되므로 폐수처리시설 면적이 가장 큰 포기조에서 반응조보다 큰 값이 산정되었다.

4. 유제품가공업 폐수처리과정별 온실가스 배출계수 산정 결과, 본 연구에서 산정한 유제품가공업 폐수처리시설의  $CH_4$  배출계수는 8.24 g  $CH_4/g$  BOD,  $N_2O$  배출계수는 22.60 g  $N_2O/kg$  TN으로,  $CH_4$  배출계수의 경우, 2014년 국가 인벤토리 보고서(GIR, 2014)에 고시되어 있는 음식료품업종 폐수처리시설의  $CH_4$  배출계수 11.00 g  $CH_4/g$  BOD보다 2.76 g  $CH_4/g$  BOD 낮지만, 이는 유제품 가공업소에서 배출되는 폐수의 배출계수가 아닌 음식료품업종의 배출계수이므로 직접 비교는 어려울 것으로 판단된다.

현재 폐수부문에서 온실가스 연구는 하수 및 축산폐수처리분야에서 많은 연구가 이루어지고 있으며, 산업폐수처리분야에서는 연구가 미미한 실정이다.

본 연구의 유제품가공업 산업폐수처리시설에서의 온실가스 배출 특성은 향후 산업폐수부문 온실가스 배출과 관련된 연구에 도움이 될 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서 개발된 배출계수는 유제품가공업을 중심으로 개발된 것이며, 이 값을 전체 식품업종에 적용하기에는 무리가 있을 것으로 사료되므로, 식품제조업 분야 온실가스 배출계수 개발 시 좀 더 세분화하여 연구를 진행할 필요가 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

국립환경과학원, 2007, 하수처리장으로부터 지구온난화가스(GHG) 저감 공정 연구

기상청, 2014, 2013년 이상기후 보고서

산업폐수처리공학, 동화기술, 2001

양형재 외, 2008, 하수처리 공정별 아산화질소( $N_2O$ ) 배출계수 산정

온실가스종합정보센터, 2014, 2014년도 국가 온실가스 인벤토리 보고서

정병원, 2011, Dynamic flux chamber를 이용한 위생매립장의 메탄발생량 측정연구, 충남대학교, 석사학위논문

환경부, 2000, 환경 부문의 온실가스 저감잠재력 평가

환경부, 2007, 수질오염공정시험방법

환경부, 2014, 2014 공장폐수 발생과 처리

2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5 Waste

Dogan Karadag, Oguz Emre Koroğlu, Bestami Ozkaya, Mehmet Cakmakci, 2014. A review on anaerobic biofilm reactors for the treatment of dairy industry wastewater. Process Biochemistry.



Debruyne, Walter, Lissens, Gilbert, Rensbergen, Jan Van, VITO, Boeretang 200, B-2400 MOL, Belgium(1993)

Pascal Wunderlin, Joachim Mohn, Adriano Joss, Lukas Emmenegger, Hansruedi Siegrist, 2012. Mechanisms of N<sub>2</sub>O production in biological wastewater treatment under nitrifying and denitrifying conditions. Water Research 46 (2012) 1027-1037

U.S. EPA, Measurement of Gaseous Emission Rates from Land Surfaces using an Emission Isolation Flux Chamber User's Guide, EPA-68-02-3889, 1986

Viney P. Aneja, Jessica Blunden<sup>1</sup>, Candis S. Claiborn, and Hugo H. Rogers, 2006, Dynamic Chamber System to Measure Gaseous Compounds Emissions and Atmospheric-Biospheric Interactions. Environmental Simulation Chambers: Application to Atmospheric Chemical Processes, 97-09.

日本国立環境研究所, “N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>の標準活性汚泥法および標準活性汚泥法および嫌気・無酸素・好気法から放出量の比較解析,” (1996).

水落元之, 佐藤和明 等, “GHG CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>Oの標準活性汚泥法および嫌気・無酸素・好気法から放出量の比較分析,” 日本水処理生物學會誌, 35(2), 109~119(1999).

## Abstract

# Characteristics of Greenhouse Gas Emissions at Industrial Wastewater Treatment Facility -Case Study for Dairy Processing Industry-

Oh, Minhee

Cooperation Course for Climate Change

The Graduate School

Sejong University

In this study, to investigate the characteristics of  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  that emit from a wastewater treatment facility of a dairy product processing industry, visited a relevant wastewater treatment facility in July, August, and October, and to search into the properties of the influent wastewater, BOD and TN were measured. And the concentration of  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  in a influent, reactor, sedimentation, and thickener tank that  $\text{O}_2$  is not supplied into and an aeration tank that  $\text{O}_2$  is supplied into during a wastewater treatment process were measured using a Dynamic Flux Chamber. And flux, surface emissions, and emission factors of greenhouse gases from each wastewater treatment processes were calculated using measured values.

The range of the concentration of BOD and TN in influent wastewater

is 33.2 mg/L ~ 2,724.0 mg/L, 2.9 mg/l ~ 24.8 mg/L respectively, and the reason why the concentration distribution is wide is considered because of changing of the quantity and the concentration of wastewater as the inflow of milk, the number of cleaning of the container or floor, and the fraction defective of products as well as seasons or time.

As a result of the characteristics of greenhouse gas emissions from wastewater treatment processes of dairy processing industry, in the influent wastewater that contains lots of organic matter, the range of the concentration of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O were measured the highest as 6.56 ppm ~ 4,483.00 ppm and 0.38 ppm ~ 236.05 ppm respectively.

In case of the greenhouse flux from each wastewater treatment process, the average of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O flux was calculated the highest in the influent tank as 78.36 mg/m<sup>2</sup>/min of CH<sub>4</sub>, 11.63 mg/m<sup>2</sup>/min of N<sub>2</sub>O, and after influent tank, it is high in a reactor tank and an aeration tank in order.

In case of the surface emissions of greenhouse gas from each wastewater treatment process of a relevant dairy industry, the surface emissions of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O in the influent tank were calculated the biggest as the range of 647.32 kg CH<sub>4</sub>/yr ~ 1,325.36 kg CH<sub>4</sub>/yr of CH<sub>4</sub> and the range of 118.87 kg N<sub>2</sub>O/yr ~ 179.93 kg N<sub>2</sub>O/yr of N<sub>2</sub>O respectively, and in case of the surface emissions, the surface emissions in the aeration tank which of its area is bigger than the one of the reactor tank was bigger than in the reactor tank.

As a result of the greenhouse gas emission factor of the wastewater treatment facility of a relevant dairy industry, the emission factor of CH<sub>4</sub>

is 8.24 g CH<sub>4</sub>/g BOD, and the emission factor of N<sub>2</sub>O is 22.60 g N<sub>2</sub>O/kg TN, and in case of the emission factor of CH<sub>4</sub>, the emission factor of CH<sub>4</sub> from this study is 2.76 g CH<sub>4</sub>/g BOD much lower than the emission factor of a food and beverage industry on 2014 National Inventory Report(GIR, 2014), 11.00 g CH<sub>4</sub>/g BOD.

Now, in the field of the study of greenhouse gas from wastewater, lots of studies about the sectors of sewage and livestock wastewater treatment are been studying, not many studies of greenhouse gas from the sector of industrial wastewater treatment process are been studying. Therefore, it is considered that this study is helpful for the study of greenhouse gas emissions of the industrial wastewater field in future.

**Keywords : CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, Industrial wastewater treatment facility, Dairy Industry, Greenhouse gas emission factor**