Journal of Korean Society of Water and Wastewater
Vol.26, No.1, pp.123-129, February, 2012

상하수도학회지, 논문
26권, 1호, pp.123-129, 2월, 2012

# 정화조의 효율적인 운영을 위한 실험적 고찰

# An Experimental Investigation for Efficient Operation of Septic Tank

이장훈 · 이경수 · 고수훈 · 송민희 · 이수현 · 이용훈 · 강선홍*

Jang-Hown Lee · Kyeong-Soo Lee · Soo-Hoon Kho,

Min-Hee Song · Soo-Hyun Lee · Yong-Hoon Lee · Seon-Hong Kang*

광운대학교 환경공학과

(2012년 1월 4일 접수; 2012년 2월 9일 수정; 2012년 2월 13일 채택)

## Abstract

A septic tank is a purification treatment system where night soil and other waste matter is converted into harmless material by the activities of bacteria. Effluent from the septic tank flows into the sewer pipe, and then this effluent affects the quality of water environment and makes foul smell.

In this study, through the proper maintenance of septic tank it was tried to minimize the impact of sewer pipe on water quality and fouling smell.

BOD removal rate from the septic tank's effluent which exceeded legal cleaning period was investigated for the proper maintenance. BOD Removal rate of the twelve septic tank's effluent is -62.5% to 43.9%. According to the result of BOD removal rate, septic tank cleaning should be done at least once a year. And the pathogenic coliform bacillus in the twelve septic tank's effluent is average 768,000 (MPN/100㎖). The chlorine disinfection is needed to remove the pathogenic coliform bacillus in septic tank effluent.

**Key word: septic tank, BOD removal rate, foul smell, sewer pipe**
**주제어 : 정화조, BOD 제거율, 악취, 하수관**

## 1. 서 론

### 가. 연구배경 및 목적

본 연구에서는 우리나라의 개별 분산형 분뇨처리 방식의 하나인 정화조의 유지관리를 통하여 방류오수의 수질과 악취의 발생정도가 공중위생에 미치는 영향을 검토하고자 하였다. 생활하수 중 고농도의 오염물질인 분뇨의 경우는 오염정도가 크므로 혐기성 처리방법을 통하여 처리하거나 혐기-호기 처리방법을 사용하는데 혐기-호기 처리방법은 초기 설치비용과 유지비용이 들어가므로 비교적 소규모의 경우 혐기성 처리방법을 적용하는 것이 일반적이다 (Switzenbaum, 1983).

분뇨를 처리하는 대표적인 혐기성 처리방법은 부패탱크 처리방법으로서 국내 전체 처리방법 중 약

* Corresponding Author : Tel : 82-2-940-5075 Fax : 82-2-911-2033, E-mail : seonhong@kw.ac.kr

47%를 차지하고 있다(1,253,347개소)(환경부, 2009). 계절에 따른 온도변화와 유입량에 따른 정화조 내부의 상태변화를 조사하기 위하여 K대학 C관내에 50인용 정화조의 1/100의 크기의 Lab-scale정화조를 설치하여 기존 정화조에서의 문제점과 효율적인 운영방안에 대해서 연구하였고 실제 운영 중인 정화조의 BOD제거 효율을 조사하여 정화조의 최적 관리 운영방안을 모색하고자 하였다.

### 나. 이론적 배경

정화조는 수세식 화장실에서 발생하는 액·고체성의 오염물질인 분뇨 오수만을 침전·분해 등 환경부령이 정하는 방법에 의하여 정화 처리하는 시설이다.

2009년도 발행된 하수도통계(2008)에 따르면 정화조 처리공법은 부패탱크, 임호프탱크, 살수형 부패탱크, 살수여상, 폭기방법, 접촉폭기방법과 그밖에 기타 방법으로 분류되고 있으며 그 중 하수처리구역 내·외 정화조의 각각 51.3%, 30.1%가 부패탱크 공법으로서 국내 대부분이 부패탱크방법을 사용하고 있다 (심화식, 2005).

부패탱크공법은 오수처리 발달과정의 초기에 주로 사용하였으나(문경한, 2007), 최근에는 공공하수도가 없는 지역이나 하수도 유입전의 정화조의 처리방식으로 사용되고 있다(조한원, 2003). 유입된 오수는 보통 1~3일 정도 체류하는 동안 부유물이 침전 분리되고, 침전된 슬러지를 탱크 바닥에서 저류시켜 혐기성 분해를 유도(Gariel Bitton, 1999)한 뒤 여과조의 혐기성 미생물여재를 통과시켜서 분자구조가 복잡한 탄수화물, 단백질 및 지방의 가수분해 과정과 산·발효과정을 거쳐 메탄발효과정에서 최종적으로 물($H_2O$), 탄산가스($CO_2$), 메탄가스($CH_4$) 등의 바이오가스로 전환된다(김남천, 2008). 처리된 유입분뇨는 여과조 상단의 방류구를 통하여 배출된다.

## 2. 실험방법

### 가. Lab-scale 실험

Lab-scale 정화조에서 채취한 샘플은 Standard Methods의 방법에 따라 BOD, COD, TN, TP, $Cl^-$을 측정하였으며 온도는 Testo 925 센서온도계, 가스발생량은 가스포집기, 악취는 GC(Gas Chromatograph)에 의하여 측정하였다.

#### 1) Lab-scale 정화조

Pilot Test를 위한 실험 기구 장치는 K대학교 내 지하에 설치하였다. 실험 장치는 C관 지하에 설치된 정화조 관리실 내부 정화조 상부 슬래브 위에 설치하였으며 실험에 사용된 원수는 접촉폭기식 정화조의 부패조 내부에 원수 펌프를 설치한 후 필요한 유입량을 저류조로 이송한 후 Lab-Scale 정화조의 제1부패조로 유입하여 정화과정을 거치도록 설치하였다. 제1부패조 → 제2부패조 → 여과조를 거치는 과정으로 실제 50인용의 약 1/100의 스케일로 제작하였다. 일일 처리 용량은 60L/day이고 체류시간은 1일이며 각조의 상단에 온도 센서를 설치하였다. Lab-scale 정화조의 상단부에 가스 포집기를 설치하였으며 여과조를 거친 방류구 하단에 별도의 채수를 위하여 방류수 저류조를 설치하여 방류수 수질검사 시 활용하였다. 또한 Lab-Scale 정화조를 밀폐 가능한 캐비넷 내부에 설치하고 가온기를 활용하여 온도 조절을 함으로써 온도 변화에 따른 효율을 분석하였다.

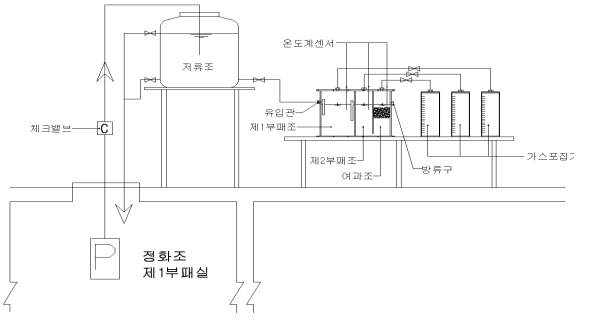


Fig.3-1 Systematic diagram of lab-scale septic tank

상하수도학회지, 논문
26권, 1호, pp.123-129, 2월, 2012

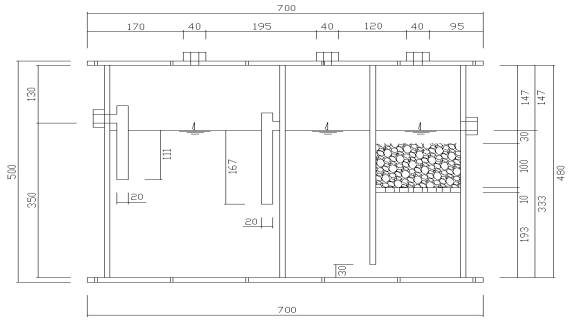


Fig. 3-2 Dimensions of septic tank (mm)

### 나. 현장 실험

개인하수처리시설의 일반적인 현황과 통계는 환경부에서 발행하는 하수도통계에 실려 있다. 그러나 건축물의 용도에 따른 정화조의 분류가 되어 있지 않고, 용도별 정화조의 효율을 조사한 사례를 확인할 수 없었다. 소량, 소규모이지만 정화조 법적 청소주기인 1년을 초과하여 내부청소 예정시기를 경과한 건축물들에 대한 정화조 방류수 수질검사를 표본적으로 실시한 결과를 Table 1에 나타내었다. 현장 정화조 채수와 관련하여 서울특별시 D구 인근 2개 D구와 K구 지자체의 협조를 받아 하수도법에서 정하고 있는 기준인 BOD제거율과 대장균군 항목에 대하여 검사를 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 현장샘플 분석결과

Table 1 Sampling data based on cleaning period

| 용량(명) | 최근청소일 | 주용도 | 실험결과 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | BOD (㎎/L) | 대장균(MPN/100㎖) | BOD 제거율(%) |
| 140 | 2006 08 28 | 숙박시설 | 265 | 500,000 | -42.6 |
| 150 | 2005 09 12 | 복합상가 | 190 | 30,000 | -19.5 |
| 240 | 2006 05 27 | 유아시설 | 155 | 900,000 | 0.6 |
| 90 | 2006 09 05 | 공동주택 | 165 | 1,600,000 | -10.5 |
| 75 | 2006 02 28 | 복합상가 | 120 | 1,600,000 | 38.0 |
| 75 | 2006 03 20 | 복합상가 | 160 | 110,000 | 35.0 |
| 90 | 2006 08 19 | 공동주택 | 260 | 1,600,000 | -39.9 |
| 47 | 2006 07 19 | 복지센타 | 105 | 26,000 | 43.9 |
| 100 | 2006 11 17 | 복합상가 | 100 | 140,000 | 40.5 |
| 65 | 2006 03 27 | 공동주택 | 335 | 1,600,000 | -62.5 |
| 50 | 2006 03 21 | 사무실 | 150 | 220,000 | 18.2 |
| 85 | 2006 04 26 | 복합상가 | 135 | 900,000 | 1.3 |

※시료 채취 및 분석 : 2009. 8

검사 대상 정화조는 최근 청소일자가 3년~4년이 경과하여 법정 청소기한을 2~3년을 초과한 건물 12개소이다. 이러한 정화조를 대상으로 방류수 수질검사를 실시한 결과 BOD제거율은 최저 -62.5% ~최고 43.9%로 나타났으며, BOD는 100㎎/L~ 335 ㎎/L로 나타났다.

하수도법이 정한 정화조의 방류수 수질기준에 의하면 BOD제거율은 50% 이상인데 BOD제거율이 마이너스로 나타난 것은 유입수의 오염도보다 처리수의 오염도가 더 심하기 때문이다. 그 이유로는 하수도법 시행규칙 제3조 제2항 정화조의 생물화학적 산소요구량제거율의 측정방법에 생분뇨의 생물화학적 산소요구량은 20,000mg/L, 생분뇨의 염소이온농도는 5,500mg/L로 명시되어져 있으나 실제 사용되고 있는 정화조로 유입되는 유입수의 농도는 법에 규정되어 있는 수치보다 낮기 때문이다.

건축물의 용도에 따른 정화조의 처리효율을 구분하여 보면 다음과 같다. 공동주택의 경우 BOD제거율은 -62.5%~-10.5%로 나타났으며, BOD는 165㎎/L ~335㎎/L 로 방류수 수질기준보다 높게 나타나고 있으며, 복합상가의 BOD제거율은 -19.5%~-38%로 나타났으며, BOD는 100㎎/L~190㎎/L 으로 보육시설, 사무실의 BOD제거율은 0.6%~43.9%로 나타났으며, BOD는 105㎎/L~155㎎/L 로 나타났다.

공동주택용 정화조의 처리효율이 낮게 나타나는 것은 시민들이 주로 주거지에서 배변을 하여 이로 인해 유입되는 원수의 부하량이 높게 나타난다고 판단되어진다. 따라서 환경부의 고시 중 개인하수처리시설 처리대상인원 산정 및 부하량을 계산할 때 이러한 시민 생활습관에 따른 유입 부하량이 별도로 산정될 수 있도록 보완하여야 할 필요가 있다고 판단된다.

내부청소 주기가 1년을 초과한 정화조 방류수 내의 대장균군 검사에 의하면 26,000~1,600,000 (MPN/100 *ml*)의 대장균이 존재했으며 평균 약 768,000 (MPN/100*ml*) 만큼 포함된 것으로 나타났다.

## 나. Lab-scale 정화조 분석결과

### 1) 유입량 변화

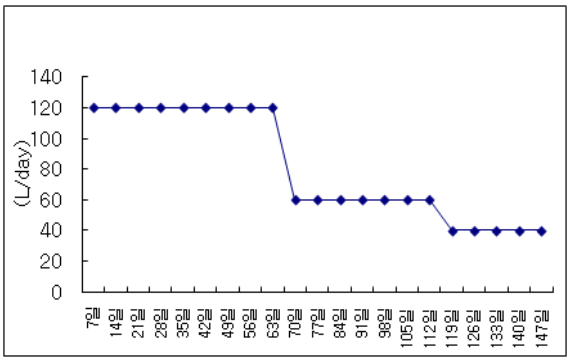


Fig. 3-3 Inflow rate into lab-scale septic tank

Lab-Scale 정화조의 유입량은 저류조 상단으로부터 정량 펌프를 활용하여 Fig. 3-3과 같이 40L/day ~120L/day로 유입량을 변화시켜 방류수의 변화를 측정하였다. 유입량은 1회당 7일 간격으로 하여 1 ~9회는 120L/day, 10~16회는 60L/day, 17~21회는 40L/day로 하였다.

### 2) BOD(Biochemical Oxygen Demand) 제거율

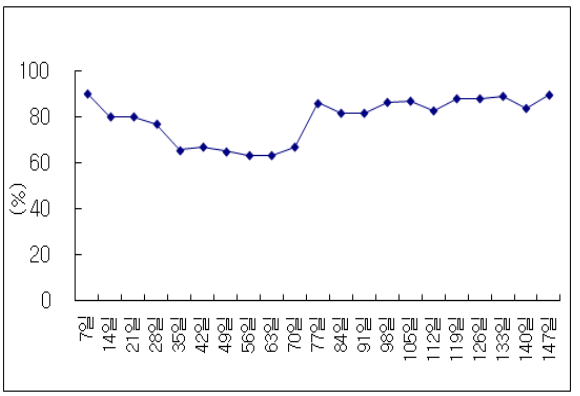


Fig. 3-4 Effluent BOD removal efficiency

Standard method에 의해 측정한 BOD 제거율은 63.2~90.4%까지 나타나 평균 79.3%를 기록하였으며, oxi direct 분석기기 사용하여 분석한 BOD 제거율 값은 86%를 기록하였다.

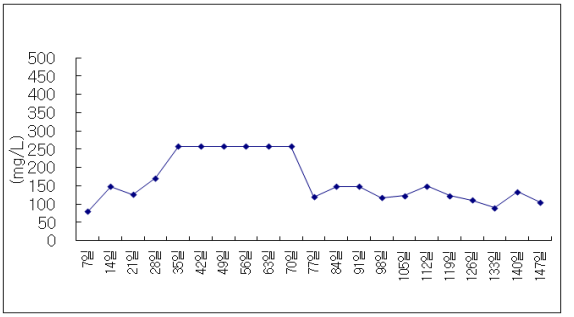


Fig. 3-5 Effluent BOD results in lab-scale septic tank

### 3) 방류수 BOD(Biochemical Oxygen Demand)

Lab-Scale 정화조 방류수 BOD 측정결과 Standard method에 의해 측정한 BOD 농도는 평균 163.1mg/L를 기록하였으며, 반응초기 처리조 내의 미생물 활성도를 높이기 위해 원수 유입량을 증가시킨 1회~9회차에서는 평균 200.7mg/L를 나타내었고 10~16회차의 적정유입량의 경우 151.4mg/L, 적정 유입량보다 적게 유입된 17~21회차에서는 111.9mg/L로 나타났는데 이는 유입량이 처리시설의 적정 기능유지에 영향을 미친다는 것을 나타낸다고 할 수 있다.

### 4) 방류수 pH

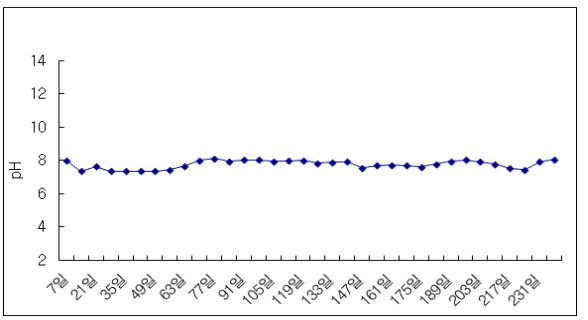


Fig. 3-6 Effluent pH results

원시료의 pH 8.12로부터 시간이 경과함에 따라 점차 감소되어 유지되다가 10회차부터 다시 증가하고 원수 유입량을 감소시킨 이후부터는 감소되는 추세를 보였다.

관련논문 "분뇨를 이용한 고온 혐기성소화에 관한 연구" (최의소, 1982)에 따르면 반응기의 유출수의 pH는 7.7~8.3 이었다.

상하수도학회지, 논문
26권, 1호, pp.123-129, 2월, 2012

5) SS(Suspended Solids)

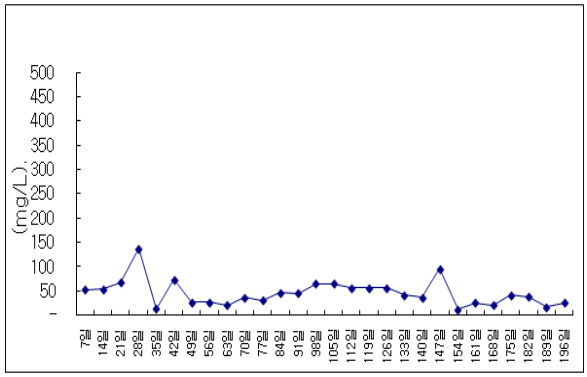


Fig. 3-7 Effluent SS results

Lab-Scale 정화조 방류수 SS 측정 결과 원시료는 386.7mg/L이었으며, 처리후 평균 44.8mg/L으로 나타내었다.

하수도법 시행규칙 (별표2)에 의거 분뇨처리시설의 방류수 수질기준은 SS 농도 30mg/L 이하로 정하고 있으며 정화조는 규제하고 있지 않다.

6) Lab-scale 정화조 부패조의 슬러지 발생량

Lab-Scale 정화조 슬러지 발생량을 조사한 결과 아래 Table 2와 같은 결과를 얻었다. 사용기간이 증가함에 따라 최초가동일 30일 경과 후 1부패조와 2부패조의 합이 870㎤이었으며 60일 경과 후 1380㎤, 90일 경과 후 1560㎤ 그리고 120일 경과 후 1620㎤을 기록하여 최초 슬러지발생량이 가장 높게 나타났고 1부패조가 2부패조보다 더 많은 슬러지가 발생하였으며 시간이 지남에 따라 정화조 내부의 슬러지가 증가됨을 알 수 있다.

Table 2 Sludge-produced amount in septic tank unit : $cm^3$

| 구 분 | 합 계 | 1부패조 | 2부패조 |
|---|---|---|---|
| 1회차(30일) | 870 | 720 | 150 |
| 2회차(60일) | 1380 | 960 | 420 |
| 3회차(90일) | 1560 | 960 | 600 |
| 4회차(120일) | 1620 | 1020 | 600 |

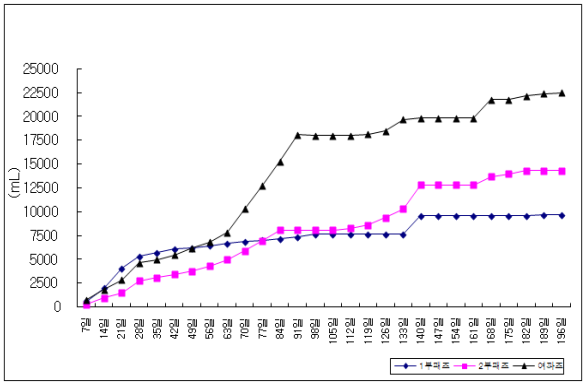


Fig. 3-8 Accumulated gas amount in septic tank

7) 부패조의 가스발생량

정화조 내부에서 발생된 가스는 제1부패조, 제2부패조, 여과조에서의 발생량을 측정한 결과 제1부패조는 60㎖/day, 제2부패조는 88㎖/day, 여과조는 139㎖/day 발생하여 여과조에서의 가스 발생량이 가장 많은 것으로 나타났다. 이는 여과조 내부 쇄석 표면의 부착 미생물에 의한 생물막 형성과 준호기성 미생물의 호흡으로 인해 혐기성 유동 미생물들보다 가스 발생량이 많았던 것으로 사료된다.

8) Lab-scale 정화조 유입량 변화에 따른 효율성 분석

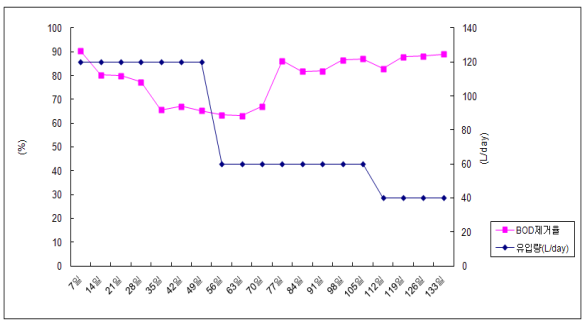


Fig. 3-9 Treatment efficiency according to influence change

유입된 유기물질 분해에 적응하는 미생물의 적응기간을 포함하여 약 9주간 120L/day를 유입하였으며, 60L/day를 7주간, 40L/day를 5주간에 걸쳐 실험한 결과 유입량이 많은 경우 처리효율이 다소 감소되며, 적정 용량 및 다소 적은 양을 투입한 결과 제거효율이 비교적 높고 안정적으로 나타났다. 이는

정화조의 사용인원이 정화조 처리 용적량과 밀접한 상관관계가 있음을 의미한다.

### 9) Lab-scale 정화조 온도변화에 따른 효율성 분석

Fig. 3-10 온도변화에 따른 효율변화를 보면 동절기일 때, 여과조 내부 온도는 최저 8.7℃였으며, BOD제거효율은 67%였다. 또한 하절기일 때, 여과조 내부 온도는 최고 32.6℃일 때 BOD제거효율 89%로 나타났다. 실내온도와 정화조 내부 온도가 높아짐에 따라 정화조의 처리 효율이 상승되는 것을 알 수 있는데 이는 부패조 내의 혐기성미생물 등이 온도의 영향을 받음을 뜻한다. 사계절이 비교적 뚜렷한 국내의 경우 동절기는 정화조 방류수의 오염 농도가 높아지고 하절기에는 미생물의 활성도가 높아져 처리효율이 높아지고 공공하수관로 내로 배출되어지는 방류수의 오염도는 낮아지지만 가스 발생량이 증가하므로 하수관로 주변의 악취는 증가될 것으로 판단된다.

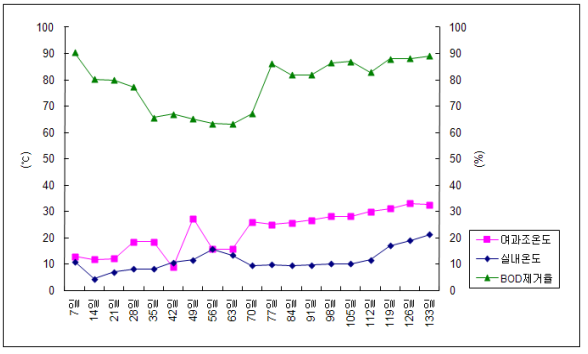

Fig. 3-10 Treatment efficiency according to temperature change

### 10) Lab-scale 정화조 배출가스 조성 분석 및 발생량 분석

배출 가스 발생량은 Fig. 3-11 Lab-scale 정화조 가스발생량 측정 결과에 나타냈으며, 상단부와 연결된 가스 채집관에 포집된 가스는 평균 일일 287㎖였다. 유입원수 및 방류수에 대하여 복합악취 및 암모니아, 황화수소 등의 가스 성분 농도를 측정한 결과는 다음의 Table 3과 같다.

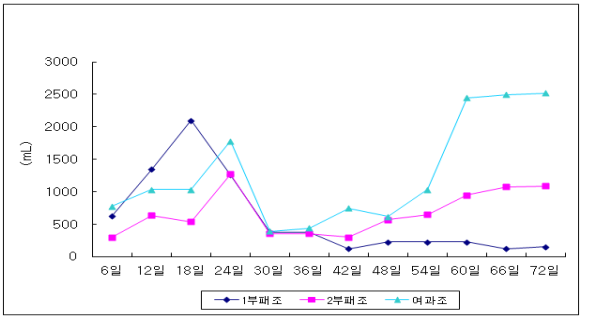

Fig. 3-11 Gas production in septic tank

Table 3 Gas concentration and produced count in septic tank

전체가스발생총량(약 160일간) = 46,415(㎖)
평균일일발생량 = 287(㎖)

| 용 량 | 황화수소 (H2S) | 암모니아 (NH3) | 복합악취 |
|---|---|---|---|
| 원수의 악취 | 1.6㎎/L | 8.5㎎/L | 669㎎/㎥ |
| Lab-Scale 방류수 | 0.7㎎/L | 3.8㎎/L | 448㎎/㎥ |

현재의 악취방지법에서는 개인하수처리시설의 악취배출에 따른 허용 기준이 포함되어 있지 않지만 지정악취물질인 암모니아와 황화수소의 경우 기타 지역에서의 배출허용농도가 암모니아 1㎎/L, 황화수소 0.02㎎/L으로 정해져 있다. 따라서 정화조에서 발생되는 가스 성분 중 악취원인 물질의 농도가 매우 심각함을 알 수 있다. 대기 중 황화수소의 농도와 생체 반응에 대한 농도를 살펴보면 0.3㎎/L은 누구든 냄새를 감지할 수 있으며, 70~150㎎/L은 장시간 노출로 눈, 코, 점막, 목 등이 따갑고 통증을 느끼게 되며, 400~700㎎/L은 30분~1시간 노출되면 생명이 위험하다. 그러므로 정화조를 관리하거나 내부 청소 또는 보수공사에 직접 종사하는 작업자들은 가스발생으로 인한 안전사고에 미리 대비하여야 한다. 슬러지 발생량이 증가함에 따라 가스 발생량도 증가하고 일정 기간이 경과하거나 슬러지 발생이 과다할 경우 내부청소를 실시하여 가스발생량을 줄여야할 것으로 판단된다.

## 4. 결론

상하수도학회지 논문
26권, 1호, pp.123-129, 2월, 2012

1) 정화조 내부청소 시기가 1년이 경과한 12개소 정화조에 대한 방류수 수질검사 결과 12개소 모두 기준을 초과하여 생물화학적산소요구량 제거율은 -62.5%부터 43.9%로 내부청소 시기가 방류수수질에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 내부청소 주기가 1년을 초과한 정화조 방류수의 대장균군 검사 결과 수인성 전염병을 유발하는 대장균군이 평균 약 768,000 (MPN/100㎖)만큼 포함된 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 현재 연 1회로 되어 있는 정화조의 내부 청소기준은 적정하다고 판단되며 건축물의 용도별 처리대상인원 산정기준은 배변의 습관을 고려하여 재검토하여야 한다. 그리고 공동주택 및 숙박시설 등은 면적기준에 유입량의 농도가 증가하고 업무시설 등은 면적기준에 비해 저농도의 유입이 많음으로 수정이 필요할 것으로 판단된다.

2) Lab-scale 정화조 배출가스 성분 분석과 발생량을 160일 동안 측정결과 원수의 가스 성분 중 황화수소는 1.581㎎/L 암모니아는 8.458㎎/L 복합악취의 취기는 669㎎/㎖로 나타났으며 방류수에서는 황화수소 0.658㎎/L, 암모니아 3.801㎎/L, 복합악취는 448㎎/㎖로 나타났다. 유입량에 따른 처리효율의 변화는 1회~7회는 75.1%, 8회~15회는 77.1%, 16회~19회는 87%의 결과가 나타나 정화조 사용량이 증가함에 따라 처리효율이 감소되는 것으로 나타났다고 할 수 있다. 온도변화에 따른 효율성 분석결과 외부 온도가 동절기 10.5℃일 때, 여과조 내부 온도 8.7℃였으며, BOD제거효율은 67% 였다. 또한 하절기에는 외부 온도 21.2℃, 여과조 내부 온도 32.6℃일 때 BOD제거효율 89%로 나타났다. 이는 사계절이 뚜렷한 국내의 경우 동절기에 정화조 방류수의 오염 농도가 높아지며 하절기에 미생물의 활성도가 높아져 처리효율이 높아진다는 것을 나타낸다고 할 수 있다.

3) 정화조 방류수의 수질기준(하수도법 시행규칙 제3조)에 생분뇨의 유입수 농도는 20,000㎎/L로 정해져 있는데, 실제 실험결과 약 10,000mg/L~13,000㎎/L로 나타나므로 이로 인해 실질적인 정화조의 처리효율을 검증하는 것은 매우 곤란하므로 이러한 방류수 수질기준을 처리시설의 효율검증 개념이 아닌 성능검증 개념으로 변경하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 즉, 현재 BOD제거율에서 BOD만으로 기준을 정하여야 할 것으로 판단된다.

4) 정화조 방류수 내에는 병원성균 대장균군이 상당량 포함되어 공공하수관으로 유입되고 있는바 일정규모 이상의 대형정화조의 경우, 염소(Cl2) 등에 의한 소독을 실시하여 공중위생과 방류수에 의한 하수도 인근 악취 발생을 억제하여야 한다. 최근 정화조 및 오수처리시설의 방류수에 의한 하수도 악취발생으로 민원을 감소시키기 위하여 현 하수도법 내에 관리기준이 구체적이고 세분화되어야 하고 특히 하수처리구역 이내 개인하수처리시설의 방류수 수질기준을 정하여 지자체 및 개인하수처리시설 관리자들에게 관리의 필요성을 인식시켜줄 필요성이 있다고 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2010년도 광운대학교 연구년에 의하여 연구되었습니다. 이에 감사의 뜻을 전합니다.

## 참고문헌

Gariel Bitton(1999) Wastewater Microbiology, pp.365-390.
Switzenbaum(1983) Anaerobic treatment of wastewater, pp.532-536.
김남천(2008) 하수농축슬러지의 혐기성소화에 따른 바이오가스 생산과 유기물질 감량화에 관한 연구, pp.50-57.
문경한(2007) 공동주택 오수처리시설의 효율적인 처리공법에 관한 연구, 서울산업대학교 석사학위 논문, pp.5-30.
심화식(2005) 생물학적 혐기 · 호기처리, pp.3-9, 한국청화협회
조한원(2003) 소규모 하수오수처리시설의 실태 조사 및 개선방안에 관한 연구, 전북대학교 석사학위 논문, pp.16-32.
최의소, 이병헌, 이찬기(1982) 분뇨처리:혐기성소화의 온도영향, pp.23-32.
환경부(2008), 하수도통계 pp.976-1003.
환경부(2009) 하수도통계, pp.1046-1073.