

A Study on Correlation of Odorous Compounds and Odor Substance occurring in Septic Tank and Sewer Pipe

하수관거 및 정화조에서 발생하는 악취물질이 복합악취에 미치는 영향에 관한 연구

Homyeon Song · Jeongil Cho*

송호면 · 조정일*

한국건설기술연구원 환경연구실

Abstract : This study aims to analysis correlation in septic tank and sewer pipe between odor substances and complex odor. For the analysis, convert odor substances to odor intensity, and estimate the effect of odor substances on complex odor. As a result, both Hydrogen sulfide and Methyl mercaptane of specified offensive odor substances accounted for 29 percent of the effect of odor substances on complex odor.

Hydrogen sulfide and Methyl mercaptane are major cause of odor from septic tank and sewer pipe. The result of this study is suggested to be used as a preliminary data for research on analysis complex odor and odor substances.

Key words : sewer odor, hydrogen sulfide, odorous compounds, septic tank

주제어 : 하수악취, 황화수소, 복합악취, 정화조

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 1970년대 이후 하수관거를 매설 하면서 대부분 합류식 하수관거 시스템을 적용 하였기 때문에 오수발생원에 분뇨와 오수를 저장 및 처리하는 분뇨정화조와 오수처리시설을 설치하였다. 정화조는 기본적으로 하수처리장이 없던 1961년 오물청소법에서 수질오염방지를 위해 개인하수처리시설의 개념으로 의무화 하였다. 이후 법제도적으로 복잡한 분리·통합 과정을 거치면서 정책의 일관성이 왜곡되어 2007년 하수도법 개정전까지 하수도법 외에서 규제·통제되면

서 개인하수도시설로 변화되어 유지·관리 문제가 발생되었다. 이에 따라 국내 하수도 악취문제에 개인하수도가 중요한 영향을 미치게 되었다(환경부, 2011,a). 합류식 하수관거 지역의 경우 하수처리구역 내에 정화조나 오수처리시설을 설치하는 나라는 우리나라가 유일하다. 하수처리구역 내에 정화조를 설치하는 이유는 하수관거의 매설 상태가 불량하기 때문에 분뇨를 하수관거에 직투입할 경우 분뇨의 유출로 인한 토양 및 지하수 오염을 유발할 수 있기 때문이다. 또한 분류식 지역이라도 분뇨를 직투입하지 않는 지역에는 정화조나 오수처리시설이 존재한다. 이와 같이 국내 하수관거 시스템은 외국과는 다른 시스템을 적용하고 있으므로 악취의 발생 지점과 정도가 다른 양상으로 나타난다(환경부, 2011,b). 이러한 분뇨

* Received 14 November 2012, revised 4 March 2013, accepted 8 March 2013.

* Corresponding author: Tel : 031-910-0292 E-mail : jjcho@kict.re.kr

정화조와 오수처리시설에서는 황화수소가 다량 발생하여 공공하수도로 방류되므로, 악취발생량이 증가하며 받이나 맨홀 등 외부와 연결된 지점을 통하여 배출되어 악취가 발생한다. 우리나라 하수관거에서 발생하는 악취는 하수관거 내부에서 발생한 악취물질에 의한 영향보다 정화조에서 발생하여 하수관거로 유입하는 악취물질에 의한 영향이 큰 것으로 알려져 있다.

외국의 경우, 악취와 관련된 연구로서 하수관거의 생물막층에서 생성되는 악취 물질 중 황화수소의 발생에 관한 연구가 주로 이루어지고 있다. 하수처리구역 내에 정화조가 설치되어 있지 않기 때문에 정화조에서 발생하는 황화수소는 고려하지 않고, 대부분 처리장 및 하수관거에서 발생하는 황화수소에 대한 연구가 이루어지고 있다. 또한 외국의 하수관거는 구배가 양호한 경우가 대부분이기 때문에 관내 퇴적물에서 발생하는 악취에 대한 연구도 거의 이루어지지 않고 있다. 하수관거의 생물막층에서 발생하는 황화수소는 화학적 반응과 미생물 반응에 의하여 생성되므로 주로 황화수소 또는 황화물의 화학적 반응에 대한 속도 방정식과 반응 상수를 예측하거나(Nielsen 외, 2005), 관벽 생물막층에서 황환원세균(Sulfate Reducing Bacteria; SRB)의 환원 반응에 의해 생성되는 황화수소를 황산화세균(Sulfur-Oxidizing Bacteria; SOB)의 산소 소비속도 및 황화물 공급속도(생성속도)의 관계식을 산정하여 하수도 시스템의 황화수소 농도 예측 모델을 제안하는 연구들이 진행되었다(Jensen 외, 2011).

하수도 악취에 영향을 미치는 지정악취물질은 22종이며, 이 물질들 중에서 두 가지 이상의 악취물질이 함께 작용하여 발생하는 냄새를 복합악취라 한다(환경부, 2004). 사람이 직접적으로 느끼는 냄새는 복합악취이므로 악취를 측정할 시에는 복합악취를 측정하여야 한다. 복합악취는 악취공정시험법에 공기희석 관능법에 의하여 측정하도록 되어 있다. 그러나 공기희석 관능법은 측정 방법상 현장에서 측정이 어렵고 연속

측정이 불가능하다. 또한 비용과 시간이 과다하게 소요된다.

현장조사 시 시간 및 비용적인 문제로 악취 측정은 현장에서 측정이 가능한 potable 방식의 황화수소 측정기를 이용하여 조사를 하고 있는 실정이다. 그러나 황화수소를 측정하여 복합악취를 대표할 수 있는지 여부는 황화수소가 복합악취에 미치는 기여율과 황화수소와 복합악취와의 상관관계가 정립되어 있지 않기 때문에 신뢰성에 문제가 발생하고 있다. 특히, 하수처리시설과 같은 악취발생시설에 대해서는 기존에 많은 연구들이 진행되어 왔지만, 정화조나 하수관거에서 발생하는 악취에 대해서는 관련 연구가 거의 미진하며, 방법론도 정립되어 있지 않은 실정이다.

기존연구에 의하면 합류식 하수도의 주요 악취 유발 물질은 황화수소와 같은 황화합물이라고 제시하고 있으며, 황화수소가 복합악취에 미치는 기여도를 평가하고 있다. 그러나 분석 방법에서 보면, 악취물질과 복합악취가 대수의 상관관계를 갖는 것을 이용하여 복합악취를 $\log(\text{악취물질의 실측농도}/\text{악취물질의 최소감지농도})$ 의 관계로 해석하고 있으나, 이 방식은 환경부 대기보전국과 일본의 악취방지법에서 제시하고 있는 악취물질과 악취세기의 상관관계(환경부, 2007)를 반영하지 않았기 때문에, 모든 악취물질에 일률적으로 적용될 수 밖에 없다.

한편, 공정시험법의 공기희석관능법에 대한 희석배수와 악취강도와와의 관계에 대한 연구가 수행되었다. 판정인에 의해 측정된 황화합물의 악취강도와 희석배수의 상관관계를 정립하여 악취세기에 대한 관계식을 산정한 결과, 악취강도 2 ~ 2.5도에 해당하는 희석배수는 황화수소 25 ~ 73배, 메틸메르캡탄 8 ~ 17배, 황화메틸 26 ~ 78배, 이황화메틸 20 ~ 56배로 나타났다(박상진 외, 2009). 이는 악취세기와 악취물질 농도 관계식에 희석배수에 대한 관계식을 적용한 것으로 공기희석관능법에 한해 적용이 가능하다.

본 연구에서는 공정시험법의 기기분석법을 통

하여 정화조 및 하수도에서 발생하는 악취유발 물질 22종과 복합악취를 분석하고, 악취물질과 악취세기의 상관관계를 반영한 복합악취와 악취물질의 관계를 정립하였다. 또한 이를 이용하여 정화조 및 하수관거에서 발생하는 악취물질의 대표 물질을 선정하여, 향후 정화조 및 하수관거의 악취 측정시 활용이 가능하도록 하였다.

2. 실험방법

2.1 시료 채취

복합악취 및 지정악취물질 22종을 분석하기 위한 시료 채취는 흡입상자와 흡인펌프 및 흡수병을 이용하였다. 흡인상자는 투명수지제이며, 흡인펌프는 1 ~ 10 L/분의 공기를 흡입가능 한 것을 사용하였다. 시료채취주머니는 사용 전에 채취 해당 가스로 1 회 이상 채우고 배기하여 세척한 후 채취하였다.

흡수병은 흡수액 용량 20 mL를 담을 수 있는 경질유리제로 여과구가 장치되어 있는 것을 사

용하고, Fig. 1. 과 같이 흡수액 상단부가 볼록한 모양의 것을 사용하였다. 중간에 흡수액 용량 20 mL를 담을 수 있는 것을 사용하였으며, 흡인펌프는 흡수병을 장치한 상태에서 10 L/분 이상의 공기를 흡입할 수 있는 펌프를 사용하였다.

2.2 실험 방법

악취물질을 분석하기 위한 시료 채취 지점은 정화조 5개 지점, 하수관거 맨홀 7개 지점 등 총 12개의 지점을 선정하였으며, 조사지점별 세부 사항은 아래 Table 1.과 같다.

채취한 가스의 악취 원인 물질 규명을 위하여 공기희석관능법으로 복합악취를, 기기분석법으로 22가지 지정악취물질을 분석하였다. 암모니아는 흡광광도계를 이용하여 분석하였으며, 황계열 화합물은 저온농축-모세분리관 GC를 이용하여 분석하였다. 프라이메틸아민, 스타이렌, 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤, 메틸아이소부티르케톤, 뷰티르아세테이트, i-부틸알코올 및 산



Suction Box



Solution Absorb

Table 1. Characteristics of Sampling Point

| Survey Point | Characteristic |
|---------------|---|
| Septic Tank | 1 - Shopping building(1st basement level) - Pump type septic tank for 340 persons |
| | 2 - Shopping building(1st basement level) - Pump type septic tank for 1,000 persons |
| | 3 - Shopping + residence building(6th basement level) - Pump type septic tank for 1,500 persons |
| | 4 - Shopping + restaurant building(1st basement level) - Pump type septic tank for 200 persons |
| | 5 - Shopping + restaurant building(1st basement level) - Pump type septic tank for 1,000 persons |
| Sewer Manhole | 1 - Shopping + residence area |
| | 2 - Shopping + restaurant area |
| | 3 - Shopping area |
| | 4 - Shopping area |
| | 5 - Shopping + residence area |
| | 6 - Shopping area |
| | 7 - Shopping area |

Fig. 1. Sampling by Standard Method

Table 2. Standard method(Instrumental Detection Method)

| Compound | Sampling methods | Measurement methods |
|------------------------|---|--|
| Ammonia | - Boric acid solution absorption - Phosphoric acid Impregnation filter | - Atomic absorption spectrometry |
| Methyl mercaptan | - Suction box | - Gas chromatograph |
| Hydrogen sulfide | | |
| Dimethyl sulfide | | |
| Dimethyl disulfide | | |
| Trimethylamine | - Alkali impregnation filter sampling apparatus - Alkali aqueous solution sampling apparatus | - Flame ionization detector or mass spectrometer |
| Acetaldehyde | - DNPH leading cartridge | - High performance liquid chromatography |
| Propionaldehyde | | |
| n-Butyraldehyde | | |
| n-Valeraldehyde | | |
| i-Valeraldehyde | | |
| Styrene | - Solid adsorption pipe | - Flame ionization detector or mass spectrometer |
| Toluene | | |
| Xylene | | |
| Methyl ethyl ketone | | |
| Methyl isobutyl ketone | | |
| Butyl acetate | | |
| Isobutyl alcohol | | |
| n-Butanoic acid | - Alkali impregnation filter sampling apparatus - Alkali aqueous solution sampling apparatus | - Flame ionization detector or mass spectrometer |
| n-Valeric acid | | |
| i-Valeric acid | | |
| Propionic acid | | |

Provenance : Odor control task manual(ministry of environment, 2007)

계열은 불꽃이온화검출기(FID: Flame Ionization Detector)를 이용하였으며, 알데하이드 계열은 액체크로마토그래프(HPLC) 분석장치를 이용하여 악취공정시험법에 준하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 이론식을 통한 악취세기와 악취물질의 상관관계

악취의 세기와 지정악취물질 농도사이에는 (식-1)과 같은 대수관계가 성립하는데 이를 웨버-페히너(Weber-Fechner)법칙이라 한다.

$$I = k \log C + b \quad (\text{식-1})$$

여기서, I : 냄새(악취)의 세기
C : 악취물질의 농도
k : 냄새물질별 상수
b : 상수(무취농도의 가상대수치)

(식-1)에 의하면 악취물질의 농도가 감소하여도 악취의 세기는 농도의 대수에 비례하기 때문에 농도감소에 상응하는 양만큼의 세기로 감소하지 않음을 뜻한다. 또한, k값은 물질에 따라서 다르기 때문에 동일한 농도감소에서 물질별로 체감되는 악취세기는 다를 수 있음을 의미한다. 예를 들어 k값이 1인 경우에 악취세기를 1단위 감소시키기 위해서는 냄새물질 농도를 1/10(90%제거)로 낮추어야 함을 의미한다.

지정악취물질의 최소감지농도 측정에 관한 연구(박상진 외, 2010)에서 지정악취물질의 최소 감지농도에 대해 3점 하강법을 기초로 하여 제시하고 있는데 우리나라 공정시험방법, 일본의 기준과 함께 Table 3.에 나타내었다. 본 연구에서는 우리나라 대기환경보전법에서 정한 값을 적용하여 상관관계식을 산정하였다. 현행 악취 방지법에서 정하고 있는 지정악취물질의 악취세기와 농도와의 상관관계를 우리나라의 대기환경보전법과 일본의 악취방지법에서는 다음 Table 4.과 같이 정하여 운영하고 있다. Table 4.에 서와 같이 악취물질과 악취세기는 대수 관계가 성립하는데, Table 4.을 이용하여 악취세기와 악취물질의 상관관계를 다음 Table 5. 및 Fig. 2.와 같이 정립하였다.

Table 5.의 악취물질농도와 악취세기와와의 상관관계식 산정 결과를 보면, 각 악취물질별로 (식-1)의 k값과 b값이 다를 수 있다. 따라서 모든 악취물질에 악취세기를 $\log(\text{악취물질의 실측농도}/\text{악취물질의 최소감지농도})$ 의 관계로 해석하는 기존 연구 방식은 정확한 악취물질과 악취세기와의 관계를 정립하기 어려우며, 본 연구 결과에서 제시하는 상관관계식에 따라 악취물질과 악취세기를 분석해야 한다.

3.2 악취 측정 결과

다음 Table 6. 및 Table 7.은 정화조와 하수관거 맨홀에서의 악취물질 측정 결과이다. Table 6. 및 Table 7.에 조사된 악취물질의 측정 결과, 최소감지농도를 감안하였을 때, 인체에 직접

Table 3. Comparison of Threshold Values on the 8 Specified Odor Substances

(Unit : ppm)

| Threshold Odor substance | 대기환경보전법 | 박상진 외, 2010 | 일본 |
|--------------------------|---------|-------------|----------|
| Ammonia | 0.1 | 2.93 | 1.5 |
| Methyl mercaptan | 0.0001 | 0.00028 | 0.00007 |
| Hydrogen sulfide | 0.0005 | 0.00043 | 0.00041 |
| Dimethyl sulfide | 0.0001 | 0.0022 | 0.0030 |
| Dimethyl disulfide | 0.0003 | 0.0022 | 0.0022 |
| Trimethylamine | 0.0001 | 0.00024 | 0.000032 |
| Acetaldehyde | 0.002 | 0.0028 | 0.0015 |
| Styrene | 0.03 | 0.069 | 0.035 |

Table 5. Correlation Equation of Odor Intensity Index and Odor Substance

| Odor substance | Relation function(ln함수) (Y : 악취세기, X : 악취물질농도(ppm)) |
|--------------------|--|
| Ammonia | $Y = 0.6709 \times \ln(X) + 2.4727$ |
| Methyl mercaptan | $Y = 0.5305 \times \ln(X) + 5.8747$ |
| Hydrogen sulfide | $Y = 0.4115 \times \ln(X) + 4.1293$ |
| Dimethyl sulfide | $Y = 0.329 \times \ln(X) + 4.0275$ |
| Dimethyl disulfide | $Y = 0.4333 \times \ln(X) + 4.5194$ |
| Trimethylamine | $Y = 0.3849 \times \ln(X) + 4.5668$ |
| Acetaldehyde | $Y = 0.6235 \times \ln(X) + 3.9482$ |
| Styrene | $Y = 0.4575 \times \ln(X) + 3.1051$ |

Table 4. Correlation Odor Intensity Index of Odor Substance and concentration

(Unit : ppm)

| Odor substance | 1 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 5 |
|--------------------|--------|--------|-------|-------|------|------|-----|
| Ammonia | 0.1 | 0.6 | 1 | 2 | 5 | 10 | 40 |
| Methyl mercaptan | 0.0001 | 0.0007 | 0.002 | 0.004 | 0.01 | 0.03 | 0.2 |
| Hydrogen sulfide | 0.0005 | 0.006 | 0.02 | 0.06 | 0.2 | 0.7 | 9 |
| Dimethyl sulfide | 0.0001 | 0.002 | 0.01 | 0.05 | 0.2 | 0.8 | 20 |
| Dimethyl disulfide | 0.0003 | 0.003 | 0.009 | 0.03 | 0.1 | 0.3 | 3 |
| Trimethylamine | 0.0001 | 0.001 | 0.005 | 0.02 | 0.07 | 0.2 | 3 |
| Acetaldehyde | 0.002 | 0.01 | 0.05 | 0.1 | 0.5 | 1 | 10 |
| Styrene | 0.03 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 2 | 4 | 20 |

Provenance : Guidebook for odor control(ministry of environment, 2007)

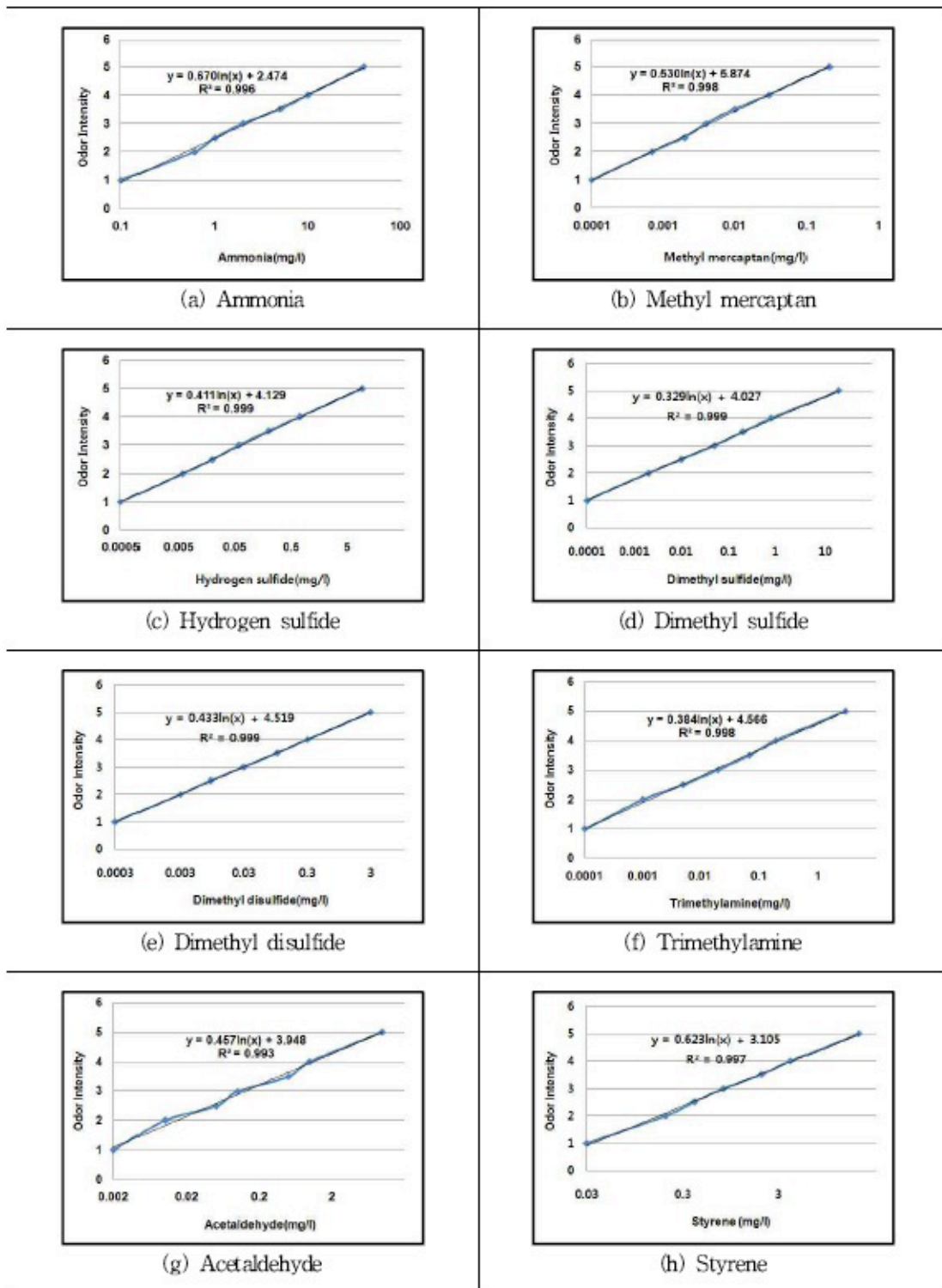


Fig. 2. Correlation Analysis of Odor Intensity Index and Odor Substance

Table 6. Concentration of Odor Substance in Septic Tank

| Complex odor Odor substance(ppm) | Threshold value (ppm) | Sepic Tank | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Complex odor | - | 144 | 1,442 | 3,000 | 144 | 173 |
| Ammonia | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.9 | 0.1 |
| Methyl mercaptan | 0.0001 | 0.029 | 0.62 | 1.835 | 0.06 | 0.06 |
| Hydrogen sulfide | 0.0005 | 0.74 | 18.29 | 31.64 | 0.57 | 0.77 |
| Dimethyl sulfide | 0.0001 | 0.02 | 0.06 | 0.66 | 0 | 0.01 |
| Dimethyl disulfide | 0.0003 | 0.004 | 0.02 | 0.021 | 0.001 | 0.002 |
| Trimethylamine | 0.0001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Styrene | 0.03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acetaldehyde | 0.002 | 0 | 0 | 0 | 0.01 | 0.03 |
| Propionaldehyde | 0.002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| n-Butyraldehyde | 0.0003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| n-Valeraldehyde | 0.0007 | 0 | 0 | 0.002 | 0 | 0 |
| i-Valeraldehyde | 0.0002 | 0 | 0 | 0.002 | 0 | 0 |
| Toluene | 0.9 | 0 | 0.1 | 0.7 | 0.1 | 0.3 |
| Xylene | 0.38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Methyl ethyl ketone | 0.44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Methyl isobutyl ketone | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Butyl acetate | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Propionic acid | 0.002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| n-Butanoic acid | 0.00007 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| n-Valeric acid | 0.0001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| i-Valeric acid | 0.00005 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Isobutyl alcohol | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Table 7. Concentration of Odor Substance in Sewer Pipe

| Complex odor Odor substance(ppm) | Threshold value (ppm) | Sewer Manhole | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Complex odor | - | 300 | 300 | 669 | 10,000 | 448 | 300 | 173 |
| Ammonia | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.8 | 0.1 | 0.2 | 0.2 |
| Methyl mercaptan | 0.0001 | 0.071 | 0.097 | 0.186 | 5.777 | 0.472 | 0.086 | 0.025 |
| Hydrogen sulfide | 0.0005 | 4.1 | 5.84 | 10.92 | 143.7 | 3.94 | 0.84 | 0.45 |
| Dimethyl sulfide | 0.0001 | 0 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0 |
| Dimethyl disulfide | 0.0003 | 0.002 | 0.002 | 0.011 | 0 | 0.002 | 0.002 | 0.001 |
| Trimethylamine | 0.0001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Styrene | 0.03 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Acetaldehyde | 0.002 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.27 | 0.02 |
| Propionaldehyde | 0.002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| n-Butyraldehyde | 0.0003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| n-Valeraldehyde | 0.0007 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| i-Valeraldehyde | 0.0002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Toluene | 0.9 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0.8 | 0.2 | 0.2 | 0.3 |
| Xylene | 0.38 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0 | 0 | 0 |
| Methyl ethyl ketone | 0.44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Methyl isobutyl ketone | 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Butyl acetate | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Propionic acid | 0.002 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| n-Butanoic acid | 0.00007 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| n-Valeric acid | 0.0001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| i-Valeric acid | 0.00005 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Isobutyl alcohol | 0.008 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

적으로 악취를 유발하는 물질은 암모니아, 메틸 메르캡탄, 황화수소, 다이메틸설파이드, 다이메틸다이설파이드 등 5개의 물질이다.

3.3 최소감지농도를 반영한 악취물질의 악취세기

지정악취물질 중에서 복합악취에 영향을 미치는 악취물질에 대해서 Table 4.의 악취물질과 악취세기의 상관관계식에 대입하여, 각 악취물질을 악취세기로 환산하였으며, 그 결과는 다음 Table 8. 및 Table 9.과 같다.

또한 Table 8. 및 Table 9.의 악취세기에 대해서 복합악취에 영향을 미치는 정도를 알아보기 위하여, 각각 전체에서 차지하는 비율로 산정

한 결과는 다음 Table 10. 및 Table 11., Fig. 3. 및 Fig. 4.와 같다.

복합악취에 영향을 미치는 정도를 산정한 결과, 정화조의 경우에는 메틸메르캡탄과 황화수소가 각각 29.7 %와 27.6 %로 가장 큰 영향을 미쳤다. 그리고 다이메틸설파이드 14.3 %, 다이메틸다이설파이드가 13.4 %, 암모니아 9.5 %, 아세트알데히드 5.6 %의 순으로 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

하수관거 맨홀의 경우에도 정화조와 유사하게 메틸메르캡탄과 황화수소가 각각 29.4 %와 28.3 %로 가장 큰 영향을 미쳤다. 그리고 정화조에서는 5.6 %의 영향을 미치는 아세트알데히드가 13.8 %로 큰 영향을 미쳤으며, 그 다음에

Table 8. Odor Intensity Index of Odor Substance in Septic Tank

| Complex odor Odor substance(%) | Threshold value (ppm) | Septic Tank | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------|-------|-------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Complex odor | - | 144 | 1,442 | 3,000 | 144 | 173 |
| Ammonia | 0.1 | 1.39 | 1.39 | 1.39 | 2.40 | 0.93 |
| Methyl mercaptan | 0.0001 | 4.00 | 5.62 | 6.20 | 4.34 | 4.40 |
| Hydrogen sulfide | 0.0005 | 4.01 | 5.33 | 5.55 | 3.90 | 4.02 |
| Dimethyl sulfide | 0.0001 | 2.74 | 3.10 | 3.89 | 0.00 | 2.51 |
| Dimethyl disulfide | 0.0003 | 2.13 | 2.82 | 2.85 | 1.53 | 1.83 |
| Trimethylamine | 0.0001 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Styrene | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Acetaldehyde | 0.002 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.84 | 2.34 |

Table 9. Odor Intensity Index of Odor Substance in Sewer Pipe

| Complex odor Odor substance(%) | Threshold value (ppm) | Sewer Manhole | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------|------|------|--------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Complex odor | - | 300 | 300 | 669 | 10,000 | 448 | 300 | 173 |
| Ammonia | 0.1 | 1.39 | 0.93 | 0.93 | 2.32 | 0.93 | 1.39 | 1.39 |
| Methyl mercaptan | 0.0001 | 4.47 | 4.64 | 4.98 | 6.81 | 5.48 | 4.57 | 3.92 |
| Hydrogen sulfide | 0.0005 | 4.71 | 4.86 | 5.11 | 6.17 | 4.69 | 4.06 | 3.80 |
| Dimethyl sulfide | 0.0001 | 0.00 | 2.51 | 2.74 | 2.51 | 2.74 | 2.51 | 0.00 |
| Dimethyl disulfide | 0.0003 | 1.83 | 1.83 | 2.57 | 0.00 | 1.83 | 1.83 | 1.53 |
| Trimethylamine | 0.0001 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Styrene | 0.03 | 0.23 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Acetaldehyde | 0.002 | 2.34 | 2.16 | 1.84 | 1.84 | 2.34 | 3.35 | 2.16 |

Table 10. The Ratio of Odor Intensity Index in Septic Tank

| Complex odor Odor substance(%) | Threshold value (ppm) | Septic Tank | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|-------------|-------|-------|------|------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Average |
| Complex odor | - | 144 | 1,442 | 3,000 | 144 | 173 | - |
| Ammonia | 0,1 | 9,8 | 7,6 | 7,0 | 17,2 | 5,8 | 9,5 |
| Methyl mercaptan | 0,0001 | 28,0 | 30,8 | 31,2 | 31,0 | 27,4 | 29,7 |
| Hydrogen sulfide | 0,0005 | 28,1 | 29,2 | 27,9 | 27,8 | 25,1 | 27,6 |
| Dimethyl sulfide | 0,0001 | 19,2 | 17,0 | 19,6 | 0,0 | 15,7 | 14,3 |
| Dimethyl disulfide | 0,0003 | 14,9 | 15,5 | 14,3 | 10,9 | 11,4 | 13,4 |
| Trimethylamine | 0,0001 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Styrene | 0,03 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Acetaldehyde | 0,002 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 13,1 | 14,6 | 5,6 |

Table 11. The Ratio of Odor Substance in Sewer Pipe

| Complex odor Odor substance(%) | Threshold value (ppm) | Sewer Manhole | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------|------|------|--------|------|------|------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Average |
| Complex odor | - | 300 | 300 | 669 | 10,000 | 448 | 300 | 173 | - |
| Ammonia | 0,1 | 9,3 | 5,5 | 5,1 | 11,8 | 5,2 | 7,9 | 10,9 | 8,0 |
| Methyl mercaptan | 0,0001 | 29,8 | 27,4 | 27,4 | 34,6 | 30,4 | 25,8 | 30,6 | 29,4 |
| Hydrogen sulfide | 0,0005 | 31,4 | 28,7 | 28,1 | 31,4 | 26,1 | 22,9 | 29,7 | 28,3 |
| Dimethyl sulfide | 0,0001 | 0,0 | 14,8 | 15,1 | 12,8 | 15,2 | 14,2 | 0,0 | 10,3 |
| Dimethyl disulfide | 0,0003 | 12,2 | 10,8 | 14,1 | 0,0 | 10,1 | 10,3 | 11,9 | 9,9 |
| Trimethylamine | 0,0001 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Styrene | 0,03 | 1,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 |
| Acetaldehyde | 0,002 | 15,6 | 12,8 | 10,1 | 9,4 | 13,0 | 18,9 | 16,9 | 13,8 |

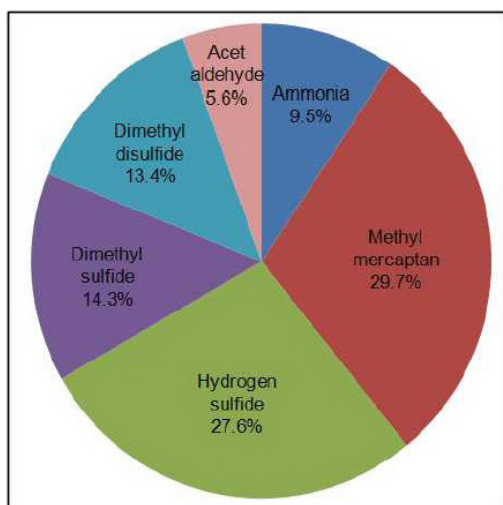


Fig. 3. The Ratio of Odor Substance in Septic Tank

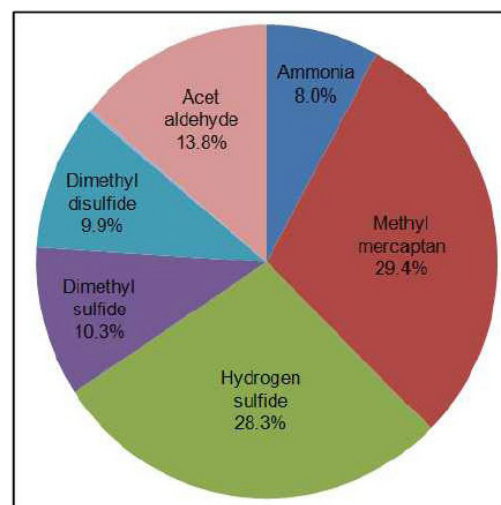


Fig. 4. The Ratio of Odor Substance in Sewer Pipe

다이메틸설파이드 10.3 %, 다이메틸다이설파이드가 9.9 %, 암모니아 8.0 %의 순으로 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

조사 결과에서 보면, 복합악취에 가장 큰 영향을 미치는 악취물질은 메틸메르캡탄과 황화수소가 모두 약 29 % 정도로 비슷하게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

따라서 실제 정화조와 하수관거 맨홀에서 발생하는 악취의 대부분은 메틸메르캡탄과 황화수소의 복합작용에 의한 악취라고 판단된다.

3.4 복합악취와 악취물질의 상관관계

복합악취에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 조사된 메틸메르캡탄과 황화수소에 대해서 복합악취와의 상관관계를 분석하였다. 분석은 악취공정시험법에 의하여 측정된 자료를 이용하였으며, 그 결과는 다음 Table 12., Fig. 5. 및 6.과 같다.

분석 결과에서 보면, 메틸메르캡탄과 황화수소 모두 복합악취와의 상관관계 R²값은 0.99 이상으로 매우 높게 나타났다.

Table 12. Concentration of Odorous Compounds and Odor Substance

| Complex odor (Dilution rate) | Hydrogen sulfide | Methyl mercaptan |
|------------------------------|------------------|------------------|
| 144 | 0.74 | 0.029 |
| 1,442 | 18.29 | 0.62 |
| 3,000 | 31.64 | 1.835 |
| 144 | 0.57 | 0.06 |
| 173 | 0.77 | 0.06 |
| 300 | 4.10 | 0.071 |
| 300 | 5.84 | 0.097 |
| 669 | 10.92 | 0.186 |
| 10,000 | 143.70 | 5.777 |
| 448 | 3.94 | 0.472 |
| 1,000 | 11.02 | 0.662 |
| 300 | 0.84 | 0.086 |
| 173 | 0.45 | 0.025 |

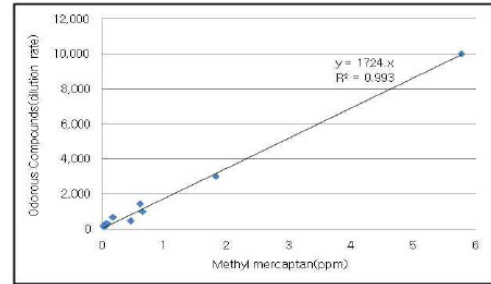


Fig. 5. Correlation of Odorous Compounds and Methyl Mercaptane

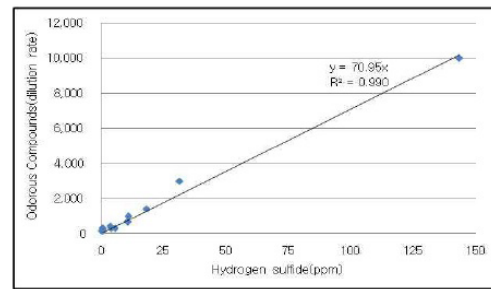


Fig. 6. Correlation of Odorous Compounds and Hydrogen Sulfide

4. 결론

정화조 및 하수관거에서 발생하는 지정악취물질이 복합악취에 미치는 영향을 조사하였으며, 복합악취에 큰 영향을 미치는 악취물질과 복합악취와의 상관관계를 분석하였다.

상관관계 분석을 통하여 악취물질을 악취세기로 환산하고, 복합악취에 미치는 영향을 분석한 결과, 각 지정악취물질이 복합악취에 미치는 물질 중 메틸메르캡탄과 황화수소 모두 약 29 % 정도로 높은 분포를 가지고 있는 것으로 분석되었다.

지정물질인 메틸메르캡탄, 황화수소와 복합악취와의 상관관계 R²값도 모두 0.99 이상으로 높게 나타났다.

정화조 및 하수관거에서 발생하는 악취는 메틸메르캡탄과 황화수소의 복합작용에 의한 악취로 판단되며, 메틸메르캡탄과 황화수소 모두 악취 대표물질로의 선정이 가능하다.

그러나 현장에서 악취의 발생 상황을 조사해야 하기 때문에, 현장에서 측정이 용이하고 연속 측정이 가능한 점, 수중 악취물질의 측정이 가능한 점 등을 고려하여 현장에서 악취 측정시에는 황화수소를 측정하도록 제시하고자 한다.

사 사

본 연구는 환경부 차세대 에코이노베이션 기술개발사업으로 한국환경산업기술원 EI 사업(과제번호 : 414-111-008)의 지원을 받아 한국건설기술연구원 주관으로 진행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

National Institute of Environmental Research(2007), Odor Standard Method

Gyeongik Kil, Geoncheol Shin and Jiyeol Lim(2010), Investigation of Odor Release from Combined Sewer, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, **10**(6), pp.185-191.

Sangjin Park, Seontae Kim, Mindo Lee and Jin-seok Han(2010), A Study on the Measurement of Odor Threshold Value of the Specified Offensive Odor Substances, *Journal of Korean Society of Odor Research and Engineering*, **9**(4), pp.192-195.

Sangjin Park, Yongjae Lim, Mindo Lee and Jin-seok Han(2009), A Study of the Correlation Between the Odor Intensity and Dilution Factor of Sulfur Compounds, *Journal of Korean Society of Odor Research and Engineering*, **8**(4), pp.209-214.

Daewoong Hong, Sujeong Kim, Dongho Moon, Changhan Joo, Jongpil Lee(2007), Emission Characteristics of Odor Compounds from a livestock Wastewater Treatment Process, *Journal of Korean Society of Odor Research and Engineering*, **6**(1), pp.1-9.

Ministry of Environment(2004), Offensive Odor Control Law

Ministry of Environment(2007), Odor control task manual

Ministry of Environment(2011,a), A Study for Establishment of 2050 Sewer policy

Ministry of Environment(2011,b), A Study of Construction of Technology Roadmap Road Map development of for Odor Control in Sewer

Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, H., and Nielsen, A. H., (2001), *SEWER PROCESSES ; Microbial and Chemical Process Engineering of Sewer Networks*, CRC Press.

Jensen, H. S., Lens, P. N., Nielsen, J. L., Bester, K., Nielsen, A. H., Hvitved-Jacobsen, T., and Vollertsen, J., 2011, Growth Kinetics of Hydrogen Sulfide Oxidizing Bacteria in Corroded Concrete from Sewers Sewers, *Journal of Hazardous Materials*, **189**, pp.685-691.

Nielsen, A. H., Hvitved-Jacobsen, and T., Vollertsen, J., 2005, Kinetics and Stoichiometry of Sulfide Oxidation by Sewer Biofilms, *Water Reseach*, **39**, pp.4119-4125.