

오리피스 튜브에 의한 단계별 냄새 분석용 희석가스의 제조방법에 관한 연구 The Study on the Production Method of Stepwise Dilution Gas for Odor Analysis with Orifice Tubes

김한수 · 이석준 · 김선태[†]
Han-Soo Kim · Seok-Jun Lee · Sun-Tae Kim[†]

대전대학교 환경공학과
Department of Environmental Engineering, Daejeon University

(2012년 12월 5일 접수, 2013년 2월 19일 채택)

Abstract : This study is to develop the production method of stepwise dilution gas for the evaluation of complex odor concentration by orifice tube. The basic orifice tube for 10 and 30 times of dilution sample was made at first, and with the combination of the basic orifice tubes we can continuously manufacture the stepwise dilution sample gas for air dilution sensory test ; 10, 30, 100, 300, 1,000, 3,000 times etc. The hole size of orifice tube was 0.84 mm for 10 times of dilution sample, and was 0.34 mm for 30 times. Dilution sample gas made with the basic orifice tube have an excellent reproducibility, 2%RSD. In addition, over 90% of correlation was shown between the sample made by the orifice tube and the sample by the syringe dilution method. Because there was no concentration drift of dilution gas with changes of connected pump flow, the basic orifice tube could be mounted directly with a vacuum suction box, and could be used simply as a tool for the evaluation of odor, especially on site.

Key Words : Odor, Stepwise Dilution Gas, Orifice Tube, Field Olfactometer, Odor Sensor

요약 : 본 연구는 냄새 농도 평가를 위한 공기희석관능법의 단계별 희석가스 제조방법에 관한 것으로, 시료가스와 무취가스를 오리피스 튜브로 조절하여 희석하는 방법에 관한 것이다. 10배 및 30배 희석용 오리피스 튜브를 설계하고, 10, 30, 100, 300 및 1,000배 등의 단계별 희석가스를 10배 및 30배 희석용 오리피스 튜브를 반복적으로 사용하여 다양한 희석배율의 희석가스를 제조할 수 있다. 10배 희석용 오리피스 튜브의 홀 크기는 0.84 mm, 30배 희석용 오리피스 튜브의 홀 크기는 0.32 mm로 제작하였다. 제작된 냄새 평가를 위한 시료가스 희석용 오리피스 튜브에 의한 제조된 희석가스의 균질성은 2%RSD 내외로 우수한 재현성을 확인하였다. 또한, 기존 주사기를 이용하는 공기희석관능법에 의해 제조된 희석가스 농도와 비교하여 90% 이상의 상관성을 보이고 있었다. 진공펌프의 유량 변화에 따른 희석가스의 농도변화가 없이 간단히 진공흡인상자의 전단에 설치하여 활용할 수 있어 향후 다양한 현장 적용 평가 및 공기희석관능법과의 비교 연구를 통하여 현장에서의 복합악취 등의 평가에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : 냄새, 향기, 공기희석 관능평가, 오리피스 튜브, 악취센서

1. 서론

생활수준 향상으로 감각공해인 악취에 대한 관심과 민원이 높아지고 있으며, 이에 대한 악취현황 파악을 위한 악취농도 산출방법이 무엇보다 중요한 관심사항이 되고 있다. 또한, 삶의 질의 향상이나 다양한 취향의 만족이나 심지어는 치료용으로 아로마 성분이 많이 활용되고 있다. 그러나 이러한 악취 또는 향기는 단일성분으로 존재하기 보다는 두 가지 이상의 성분이 혼합된 복합성분으로 존재하는 경우가 대부분으로 악취 및 향기를 정량적으로 평가하기는 쉽지 않은 과제이며, 가스의 농도 단위인 ppm, ppb 등의 절대량으로 표현하기 어려운 한계가 있다.¹⁾ 이로 인하여 대부분의 냄새 평가 방법은 최종적으로 사람의 후각을 이용하여 판정하는 방법에 의존하고 있다.

미국의 EPA를 비롯한 국내의 “악취방지법”에서도 악취농도 산출방법에서 단일성분에 대한 규제보다도 복합성분으로써의 악취를 평가하는 방법인 「공기희석관능법」을 주된

악취농도 산출방법으로 규정하고 이를 악취관리/규제의 기준으로 활용하고 있다. 우리나라 악취방지법의 “악취공정 시험방법”에서 규정하고 있는 공기희석관능법은 시료가스를 냄새가 없는 무취공기로 단계별(3, 10, 30, 100배 등)로 희석하면서 냄새의 유/무를 판정원이 평가하는 과정으로 이루어진다. 이상의 시험방법에서 무취공기를 활용하여 단계별 희석가스를 준비하는 과정이 무엇보다도 중요한 반복과정이라 할 수 있다. 또한 대부분 3 L 무취백에 시료가스 채취용 주사기를 이용하여 실험요원이 수작업으로 시료가스와 무취공기를 희석하는 과정으로 진행하고 있어, 주사기로 희석하는 과정과 무취공기를 준비해야 하는 불편함이 있어왔다.

이러한 불편함을 최소화하기 위하여 MFC (Mass Flow Controller) 등을 활용한 자동희석장치들도 활용하고 있으나, 공정시험법에서 정한 단계별 희석배율(3, 10, 30, 100배 등)을 정확히 재현하기가 쉽지 않으며, 특히 장치의 크기가 거대하여 현장에서 적용하기가 불가능하다.²⁾ 결국 시료가스

[†] Corresponding author E-mail: envsys@dju.ac.kr Tel: 042-280-2534 Fax: 042-283-8283

채취용 주사기를 이용하는 방법이나 자동희석장치를 이용하는 방법은 모두 현장에서 채취한 시료를 가능한 빨리 실험실로 이동하여 실험실에서 분석을 진행(48시간 이내)해야 하는 상황이다.³⁾

그러나 대부분의 악취/냄새 시료는 시료를 채취하거나 이동하는 과정 중에 쉽게 변질이 일어날 수 있는 문제와 복합악취농도의 신속한 확인을 통한 대응체계의 부족으로 시료를 현장에서 분석하는 방법의 정립이 필요한 상황이다. 기존의 무취공기를 준비해야 하는 과정이나 희석하는 과정 등에 많은 시간과 노력이 필요하며, 특히 시료가스 채취용 주사기를 이용하여 희석하는 과정은 악취분석요원이 수작업으로 진행해야 하는 단점과 자동희석장치는 단계별 희석배율에 대한 신뢰성이 낮은 한계성은 개선해야 할 과제이다.

McGinley 등⁴⁾은 현장에서의 복합악취농도에 대한 신속한 판정을 위하여 현장관능평가(Field olfactometer)를 진행할 수 있는 “Scentometer (Barnebey Sutcliffe Co.)”와 “Nasal Ranger (St. Croix Sensory inc.)”를 활용하여 현장관능평가의 가능성을 고찰하였고, 휴대형 장치에 부착되어 있는 활성탄 필터와 오리피스 튜브에 의해 간단히 악취시료를 희석하는 방법을 적용하고 있다. 그러나 판정원 코의 호흡량에 의해 시료가스와 무취가스가 희석되는 방법이므로 악취가 존재하는 현장에서 시료채취 없이 바로 악취의 희석배수를 판정하고 있다. 따라서 희석배율(Dilution-to-threshold (D/T))은 휴대형 장치의 시료가스 유입부의 오리피스 크기에 의해 조절되도록 하고 있으며, Harrevelde 등⁵⁾이 서술한 바와 같이 최근에는 유럽과 미국을 중심으로 olfactometer법을 통일하여 활용되고 있으나, Sheffield 등⁶⁾이 고찰한 기존 공기희석관능법과 다양한 현장관능평가 장치에 의한 비교/평가한 결과, 매우 낮은 상관성을 보이고 있었으며 이는 판정원의 호흡량에 의존하는 기존 현장관능평가 장치의 한계성에 의한 것으로 설명하고 있어, 향후 다양한 연구를 통한 개선이 필요한 부분으로 판단된다.⁷⁾

또한, 祐川英基 등⁸⁾ 및 西地拓也 등⁹⁾은 현장관능평가방법으로 10 L 테들러백을 3등분하여 희석하는 방법(용적법)과 현장에서 무취공기와 시료가스를 동시에 준비하여 희석

하는 방법(유량법) 등에 관한 연구를 진행하여 기존 공기희석관능평가법과의 비교에서도 큰 차이가 없음을 보고하고 있다. 그러나 이상의 현장관능평가방법에서도 3등분한 이후에 희석공기를 배출시키는 과정과 다시 무취공기를 주입하는 등의 현장에서는 불편한 작업이 이루어지고 있으며, 무취공기와 시료공기를 동시에 희석하는 방법에서도 장치가 거대하여 이동성에 한계가 있을 뿐만 아니라 무취공기와 시료공기를 희석할 수 있는 최대 희석배수가 3배~10배 수준이라 현장에서 공기희석관능법을 진행하기에는 여전히 불편한 상황으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 현장관능평가 및 공기희석관능법을 시행하는 과정을 오리피스 튜브에 의해 무취공기와 시료가스의 희석을 간편하게 진행할 수 있는 방법에 관하여 고찰하였고, 3배 및 10배 희석용 기본 오리피스를 활용하여 다양한 희석배수의 시료를 제조할 수 있는 방법을 연구하였다. 또한 평가결과에 대한 기존 공기희석관능시험법의 악취시료가스 희석방법에 의한 결과와의 비교 고찰을 통하여 오리피스 튜브에 의한 희석방법의 활용 가능성을 판단하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 오리피스 튜브에 의한 희석방법

Fig. 1은 오리피스 튜브에 의해 악취시료가스의 희석을 위한 장치의 개념도이며, 기존 악취시료채취 장치인 진공흡인상자의 전단부에 오리피스 튜브 및 무취공기를 공급하는 활성탄 필터부가 장착되도록 하였다. 진공흡인상자에 연결된 진공펌프를 작동하게 되면 상자 내부가 음압에 의해 자연적으로 상자외부의 악취시료가스가 공기주머니에 유입되도록 하며 유입되는 악취시료가스의 양을 오리피스로 조절하여 다양한 희석배수의 시료가스를 제조할 수 있도록 구상한 장치이다. 악취시료가스의 희석배율은 식 (1)의 원리에 의해 산정하게 된다.¹⁰⁾

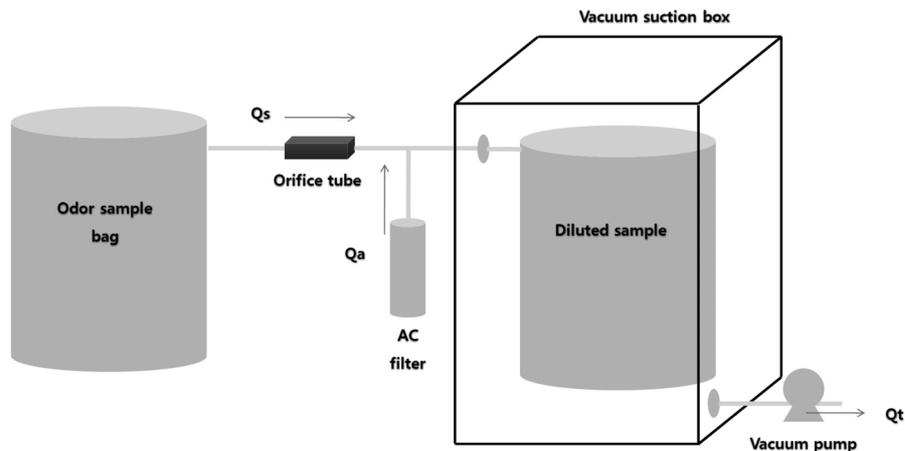


Fig. 1. Schematic diagram of a dilution equipment of odor sample with orifice tube modules.

$$D/T = \frac{Q_i}{Q_s} \quad (1)$$

식 (1)에서 D/T는 희석배수(Dilution-to-threshold), Q_i 은 진공상자에 연결된 진공펌프의 흡입유량(L/min), Q_s 은 악취시료가스의 흡입유량(L/min)을 의미한다. 여기서 1차 희석된 악취시료가스 이외의 다른 농도의 악취시료가스를 제조하고자 할 경우에는 Q_s 의 흡입유량을 조절하게 되며, 이때 오리피스 튜브의 홀 크기를 바꾸게 되면 악취시료가스를 다양한 농도로 희석이 가능하게 된다. 이상의 원리는 기존의 Scentometer나 Nasal Ranger의 오리피스 홀을 변경하는 원리와 동일한 방법으로 적용하였다.

또한, 본 연구에서는 오리피스 튜브의 홀 크기를 최종 악취시료가스가 10배 및 30배의 희석가스를 제조할 수 있도록 두 개의 오리피스 튜브를 설계하였고, 공기희석관능시험법의 시료가스 희석배율인 10, 30, 100, 300 및 1,000배 등을 구현할 수 있도록 하였다. 만약 3,000배 희석한 악취시료가스를 제조할 경우에는 10배 희석용 오리피스 튜브에 희석/제조된 악취시료가스를 다시 10배 및 30배의 오리피스 튜브로 희석하는 반복과정을 진행함으로써 악취방지법의 복합악취 시험방법인 공기희석관능시험법의 시료가스 희석배율에 해당되는 시료가스를 제조할 수 있다.¹¹⁾

2.2. 실험장치

10배 및 30배 희석용 오리피스 튜브를 활용하여 단계별 희석시료를 제조하기 위한 장치의 개념도를 Fig. 1에 나타내었고, 기존 현장에서 악취시료가스를 채취하는 진공흡인상자의 전단부에 간단히 오리피스 튜브를 장착하도록 하는 시스템을 최종 구축하였다. 본 실험장치는 희석하고자 하는 악취시료가스와 무취공기를 동시에 희석하기 위한 장치로, 오리피스 튜브의 홀 크기에 따라 서로 다른 배수의 희석가스를 제조할 수 있는 시스템이다.

선행적으로 본 실험장치를 활용하여 10배 및 30배의 기

본 오리피스 홀의 크기를 결정하기 위하여 0.2, 0.4, 1.0 및 2.0 mm 크기의 홀을 갖는 각각의 오리피스 튜브를 알루미늄 재질로 제작하였고, 또한 악취센서장치(ODORCATCH SLC-OA020)로 단계별 희석가스의 농도를 측정하고 10배 및 30배에 해당되는 악취센서값과 각각의 오리피스 튜브에 의해 희석된 희석가스의 악취센서값으로부터 10배 및 30배 희석이 가능한 오리피스 홀의 크기를 산출하였다.

Fig. 2는 10배 및 30배 희석용 오리피스 튜브를 하나의 모듈로 구성하고, 이를 진공흡인상자 전단에 간단히 장착하여 평가할 수 있도록 실험장치를 구성하였다. 악취시료가스를 10배 희석하고자 하는 경우에는 Fig. 2의 상단/좌측에 위치하고 있는 10배 희석용 오리피스 튜브에 악취시료가스 백을 연결하고 삼방밸브를 조절하고 진공흡인상자의 펌프를 작동시키면 악취시료가스 가스와 무취가스가 자동으로 혼합되어 10배 희석가스를 제조하게 된다. 같은 방법으로 30배 희석가스를 제조하기 위해서는 Fig. 2의 하단/좌측의 30배 희석용 오리피스 튜브에 악취시료가스 백을 연결하면 된다.

이와 같은 방법으로 공기희석관능법의 단계별 희석가스의 제조는 10배 및 30배 희석용 기본 오리피스 튜브를 반복적으로 사용함으로써 악취시료가스를 10, 30, 100, 300, 1,000 및 3,000배 등으로 희석하게 되어, 현장에서 복합악취농도 평가를 위한 별도의 무취공기 준비의 과정 없이 쉽게 희석가스를 제조할 수 있게 된다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 10배 및 30배 희석용 오리피스 튜브의 홀 크기

10배 및 30배 희석가스 제조를 위한 오리피스 튜브 홀의 크기는 식 (1)의 이론적인 가스 희석(유량)비를 통하여 간단히 10배 및 30배 희석을 위한 유량을 산출하고 이를 기초로 오리피스 홀의 크기를 결정하는 방법을 적용할 수 있다. 그러나 악취시료가스 및 무취공기의 유량을 측정하는

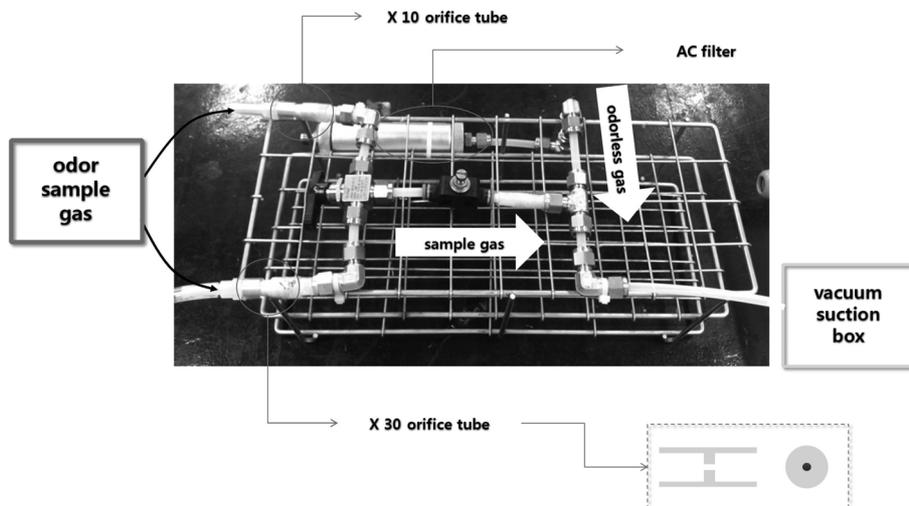


Fig. 2. Orifice tube module used in this study.

것이 쉽지 않은 상황이며, 유량 측정을 위하여 배관에 연결하는 유량계가 또 다른 저항체 역할을 하여 실제 측정유량이 이론적인 유량보다 낮아지는 현상이 발생하여 희석시료의 농도에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

따라서 10배 및 30배 희석용 오리피스 튜브의 홀 크기를 산출하기 위해, 10배 및 30배 희석한 시료가스에 해당되는 가스의 농도를 약취센서로 측정하고 다양한 크기의 홀로 제작한 오리피스 튜브로 제조된 희석가스의 농도를 약취센서로 측정하여 10배 및 30배에 해당되는 오리피스 튜브의 홀 크기를 결정하였다. 여기서 오리피스 튜브의 홀 크기는 0.2, 0.4, 1.0 및 2.0 mm로 4종류의 오리피스 튜브를 준비하였다. 참고로 약취센서의 동일한 시료가스에 대한 측정재현성은 약 5%RSD 내외의 수준으로 이미 다른 연구결과에서도 확인되고 있어 본 연구에서는 약취센서의 신뢰성에 대한 검증은 생략하고자 한다.¹⁰⁾

Fig. 3은 50 ppm 농도의 톨루엔 표준가스를 공정시험법의 약취시료가스 희석방법에 의해 제조된 시료가스를 약취센서로 측정한 결과를 나타내고 있다. 50 ppm의 톨루엔 표준가스를 10, 30, 100 및 300배로 각각 희석하고 약취센서로 측정하여 $y = -39.5 \ln(x) + 235.9$ 의 약취시료가스의 희석배수에 따른 약취센서의 상관관계(x는 희석배수, y는 무차원의 약취센서값, $R^2 = 0.95$)를 확인하였고, 10배 희석한 시료가스에 대한 약취센서값은 144이고 30배 희석한 시료가스에 대한 약취센서값은 101이라는 결과를 얻었다.

또한 양끝단이 막혀 있는 내경 6 mm의 튜브에 각각 0.2, 0.4, 1.0 그리고 2.0 mm의 홀을 천공한 4개의 오리피스 튜브를 활용하여, 동일한 50 ppm의 톨루엔 표준가스에 대해 Fig. 1과 2의 희석방법으로 각각의 홀 크기에 따른 희석가스를 제조하였다. 이렇게 임의 오리피스 튜브에 의해 제조된 톨루엔 희석가스를 약취센서로 측정하여 약취센서값과 오리피스 튜브의 홀 크기에 따른 상관관계를 고찰하여 $y = 44.5 \ln(x) + 151.5$ (x는 오리피스 튜브의 홀 크기, y는 오리

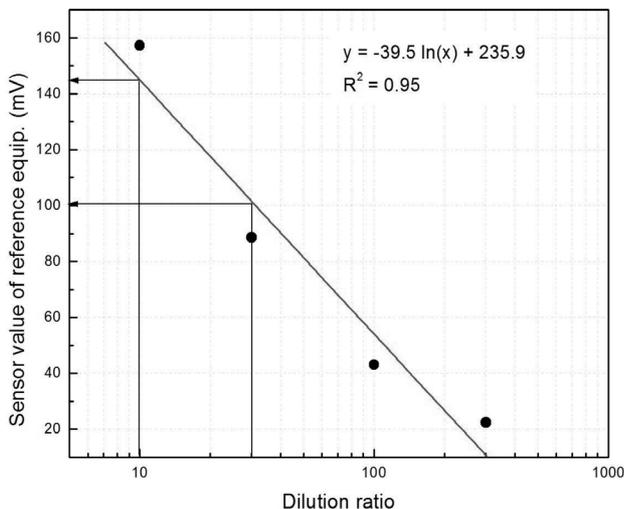


Fig. 3. Sensor results of the stepwise dilution samples made by syringe method.

Table 1. Comparison between actual flow rate and theoretical one

Orifice tube	Flow rate (L/min)		Ratio * (%)	
	Theoretical	Actual		
Q_{sample}	D/T = 10	2.82	1.08	62
	D/T = 30	0.94	0.30	68

* Ratio (%) = actual flow rate / theoretical flow rate × 100 (%)

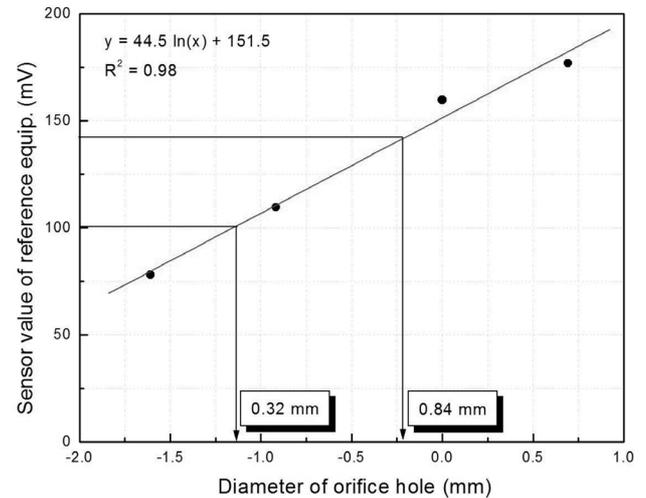


Fig. 4. Correlation between sensor values and the hole size of orifice tube.

피스 튜브에 의해 희석된 시료의 약취센서값, $R^2 = 0.98$)라는 관계를 얻었다.

Fig. 4에 이상의 결과를 표현하였고, Fig. 3으로부터 획득한 10배 희석한 시료가스에 대한 약취센서값과 30배 희석한 시료가스에 대한 약취센서값을 각각 수식에 대입하여 10배 희석을 위한 오리피스 튜브의 홀 크기는 0.84 mm, 30배 희석을 위한 오리피스 튜브의 홀 크기는 0.32 mm라는 결과를 얻을 수 있었다. 이와 같은 방법으로 얻은 10배와 30배의 오리피스 튜브를 기본 오리피스 튜브로 구축하였고, 본 연구에서는 10배 희석용 오리피스 튜브를 ‘오리피스 10’으로 30배 희석용 오리피스 튜브를 ‘오리피스 30’으로 명명하였다.

최종 결정되어진 10배 및 30배 희석용 오리피스 튜브를 활용하여 앞에서 언급한 약취시료가스 및 무취공기의 희석(유량)비를 유량계를 이용하여 측정해 보았다. Table 1은 진공흡인상자에 연결된 진공펌프의 유량을 약 28.2 L/min으로 설정하고, 10배에 해당되는 이론적인 약취가스시료의 유입 유량인 2.82 L/min으로 예상되었으나 실제 유량계를 이용하여 측정된 유입 유량이 1.08 L/min으로 약 62% 수준의 양으로 약 40% 이상 감소됨을 확인하였다. 또한 30배에 해당되는 약취가스시료의 이론 유입 유량이 0.94 L/min이나 역시 0.30 L/min으로 약 68% 수준의 양만이 유입됨을 보여주고 있다. 이는 앞에서 예상한 유량 측정을 위하여 장착한 유량계가 희석비율에 영향을 미치고 있음을 실험적으로 확인하였다.

Table 2. Homogeneity of the dilution gases produced by orifice tube

Dilution ratio	Sensor*	Sensor values for sample gases (mV)					Mean	S.D.**	%RSD
		1st	2nd	3rd	4th	5th			
Orifice 10 (× 10)	type 1	7.1	7.7	7.6	7.5	7.6	7.5	0.2	3.1%
	type 2	105.4	106.6	107.6	107.1	106.2	106.8	0.8	0.8%
	type 3	113.0	113.9	117.6	118.5	118.8	116.4	2.7	2.3%
	sum	225.5	228.2	232.8	233.1	233.6	230.6	3.6	1.6%
Orifice 30 (× 30)	type 1	4.3	4.9	5.1	4.6	4.6	4.7	0.3	6.6%
	type 2	61.2	61.8	61.8	62.4	61.3	61.7	0.5	0.8%
	type 3	81.0	83.6	83.4	84.7	83.7	83.3	1.4	1.6%
	sum	146.5	150.3	150.3	151.7	149.7	149.7	1.9	1.3%

* sensor : 3 types of metal oxide semiconductor sensor

** S.D. : standard deviation

3.2. 오리피스 튜브에 의한 시료가스의 희석

Table 2는 10배 및 30배 희석용 오리피스 튜브에 의해 제조된 시료가스의 농도를 악취센서로 측정된 결과이다. 특히 5회의 반복 제조에 따른 시료가스의 균질성을 고찰하였으며, 3종의 반도체식 가스센서가 장착된 악취센서를 활용하여 반복 제조된 톨루엔 시료가스에 대한 농도를 측정하였다.

50 ppm의 톨루엔 표준가스를 각각의 오리피스 10 및 오리피스 30으로 5회 반복 제조하여 악취센서로 측정된 센서값의 재현성이 2%RSD 내외로 비교적 안정적인 상태를 확인할 수 있었다. 특히 악취센서에 장착된 3종류의 반도체식 가스센서에 대한 개별 재현성에서도 type 1의 센서를 제외한 나머지 센서에서도 우수함을 보여주고 있으며, type 1 센서의 경우는 톨루엔 표준가스와 반응성이 낮은 이유로 다른 센서에 비해 낮은 감도값을 보이고 있어 상대적으로 높은 5%RSD 내외의 편차를 나타내고 있었다.

따라서 오리피스 튜브에 의해서 제조되는 시료가스에 대한 균질성이 2%RSD 내외로 유지됨을 확인하였고, 이를 활용한 악취시료가스의 희석에 충분히 활용 가능함을 보여주고 있는 결과라 할 수 있다. 또한 오리피스 튜브의 홀 크기가 큰 오리피스 10의 악취센서값이 오리피스 30에 비해 높음을 확인하였고, 이는 식 (1)에 근거한 홀 크기가 크면 Q_s 가 증가함을 보여주는 결과이기도 하다.

Fig. 5는 오리피스 10과 오리피스 30을 활용하여 50 ppm의 톨루엔 표준가스를 단계별로 10, 30, 100 및 300배로 희석한 시료가스와 복합악취농도 평가를 위한 공기희석관능법에 따라 단계별로 희석한 시료가스의 농도 상관성을 고찰한 결과이다. 오리피스 튜브에 의해 희석된 시료가스의 악취센서 측정결과와 기존 공기희석관능법의 주사기에 의한 희석된 시료가스의 악취센서 측정결과를 비교하였고, 결과에서 상관성을 나타내고 있는 기울기가 0.95로 약 95% 수준에서 두 방법에 의해 제조된 시료가스의 농도가 일치함을 간접적으로 확인할 수 있었다.

또한 DMS와 DMDS의 혼합가스에 대한 결과에서도 오리피스 튜브에 의해 희석된 시료가스의 농도와 공기희석관능법의 단계별 희석방법에 의해 희석된 시료가스의 농도 상관성이 0.91로 약 91% 수준에서 두 방법에 의해 제조된 시료

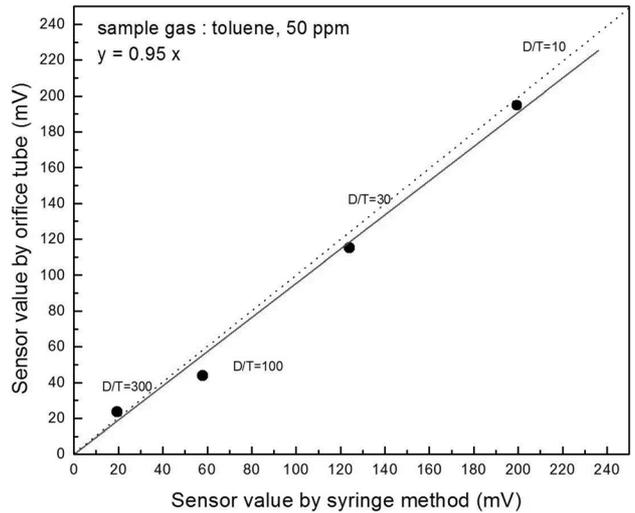


Fig. 5. Comparison of sensor value between orifice tube and syringe method for toluene 50 ppm.

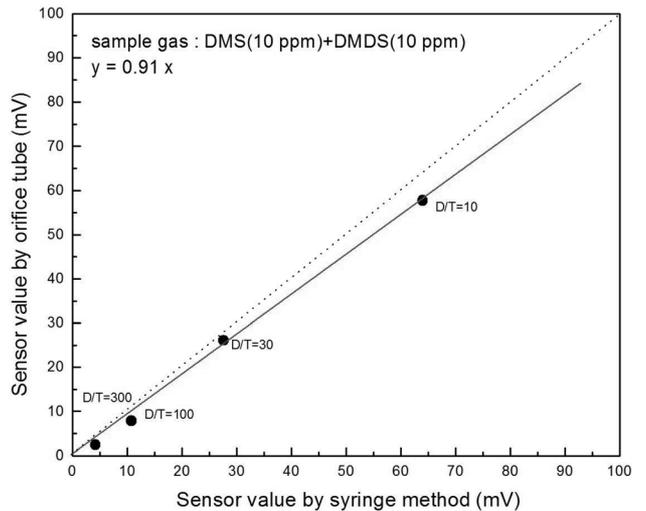


Fig. 6. Comparison of sensor value between orifice tube and syringe method for mixture odor (DMS 10 ppm and DMDS 10 ppm).

가스의 농도가 일치함을 Fig. 6에서 확인할 수 있다. 비록 본 연구에서 시료가스의 농도를 절대농도 측정을 위한 기기

Table 3. Comparison of air dilution sensory test between orifice tube and syringe method

Dilution method	Panels	Judgement results with dilution levels						Final dilution number with panels	Select of dilution number with panels			The final dilution number	
		300		1,000	3,000	10,000	30,000		100,000	second	third		fourth
		1st	2nd										
Syringe method	A	O	O	O	O	O	X	10,000					
	B	O	O	O	O	X		3,000					
	C	O	O	O	O	O	O	X	30,000	3,000	10,000	30,000	9,655
	D	O	O	O	O	X			3,000				
	E	O	O	O	O	O	O	X	30,000				
Orifice tube method	A	O	O	O	O	O	X	10,000					
	B	O	O	O	O	X		3,000					
	C	O	O	O	O	O	O	X	30,000	10,000	10,000	30,000	14,422
	D	O	O	O	O	O	X		10,000				
	E	O	O	O	O	O	O	X	30,000				

분석방법을 진행하지 않은 한계는 있었지만 악취가스의 정량분석을 위한 목적으로 활용한 악취센서도 기존 가스측정/분석장치 못지 않은 성능을 보이고 있어, 향후 악취 관련 연구에 악취센서의 활용이 확대될 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서 확인한 오리피스 10과 오리피스 30이라는 튜브를 활용하여 악취시료가스를 단계별로 희석하는 방법에 의한 시료가스의 농도가 공기희석관능법의 단계별 시료가스를 희석하는 방법과 비교하면 상대적으로 5~10% 정도 낮은 농도의 시료가스를 제조함을 확인하였고 이러한 농도 차이를 개선하기 위해 오리피스 튜브의 홀 크기에 대한 재보정 등의 연구를 통하여 단계별로 희석된 시료가스의 농도 신뢰성을 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 3은 악취시료의 단계별 희석을 위하여 준비한 오리피스 10과 30을 활용하여 공기희석관능법을 진행한 냄새판정원의 결과를 나타내고 있으며, 오리피스 튜브에 의한 희석방법의 결과를 고찰하기 위하여 동일한 악취시료가스를 주사기로 희석하는 기존의 공기희석관능법의 결과와 비교하였다. 남녀로 구성된 5인의 냄새판정원이 두 방법에 의해 단계별로 희석된 시료에 대해 냄새를 평가한 결과, 판정원 D만이 오리피스 튜브에 의한 희석시료의 경우는 3,000배까지 악취시료가스의 냄새를 인지하였으며, 기존 주사기를 이용한 희석가스의 경우는 10,000배까지 악취시료가스의 냄새를 인지하는 차이를 보이고 있다. 냄새판정원 D의 악취인지결과의 차이로 오리피스 튜브를 이용한 경우의 복합악취농도는 9,655배, 주사기를 이용한 경우의 복합악취농도는 14,422배의 결과를 산출하였다. 두 방법에 의한 공기희석관능평가를 5인의 냄새판정원에게 사전에 공지하지 않고 진행한 결과이며 두 방법에 의한 냄새인지 결과의 차이를 확인할 수 있었다.

그러나 본 연구를 통하여 획득한 오리피스 튜브에 의한 악취시료가스의 단계별 희석방법에 관한 연구의 성과 및 가능성은 충분히 확인할 수 있었다. 또한 본 연구의 성과물인 오리피스 튜브에 의한 단계별 희석방법이 기존 복합악취농도 평가방법을 완전히 대체하기 위한 것이 아니라 현장에서

간편하게 복합악취의 농도를 평가하고 신속하게 대응할 수 있는 현장 복합악취평가 방법이라는 새로운 접근을 시도한 부분에 본 연구의 목적이 있었으며, 현재 공기희석관능법에 의한 현장 시료의 측정/분석에 소요되는 시간이 최소 3일에서 7일 이상 소요되는 현실적인 문제와 현장에서 운영되고 있는 다양한 배출시설 및 방지시설에 대한 신속한 평가와 기술적인 대응을 위한 필요기술이라는 측면에서 복합악취농도에 대한 절대농도보다는 상대적인 복합악취농도 모니터링이라는 관점에서 충분히 활용될 수 있는 기술이라 판단된다.

특히 오리피스 튜브를 기존의 시료가스 채취용 진공흡인상자의 전단에 간단히 끼워서 활용할 수 있는 점에서 사용자 및 현장 관리자가 쉽게 현장의 복합악취농도 수준을 측정할 수 있을 것으로 기대한다. Table 4는 기존 진공흡인상자의 전단에 간단히 연결하여 사용하므로, 시료가스 채취기관 및 실험자의 진공흡인상자에 연결된 진공펌프의 흡입유량에 따른 특성을 고찰한 결과이다. 타이어공장의 배출구 악취시료를 오리피스 10으로 희석하는 과정에서 진공흡인상자의 흡입유량을 10 L/min 및 5 L/min으로 낮춘 평가에서도 희석된 시료가스의 농도가 크게 변화하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과도 식 (1)의 오리피스 튜브에 의한 시료가스의 희석원리를 그대로 반영한 결과이며, 진공흡인상자에 연결된 진공펌프의 흡입유량이 변화하더라도 오리피스 튜브에 의한 시료가스의 희석비율은 변화하지 않음을 보여주는 결과이다.

Table 4. Reproducibility of sensor value for the dilution sample with different flow rate

Q _t (L/min)	Sample gas, sensor value			Mean	S.D.	%RSD
	1st	2nd	3rd			
28	210	207	207	208	1.7	0.8%
10	211	207	212	210	2.6	1.3%
5	216	219	214	216	2.5	1.2%

4. 결론

본 연구에서는 오리피스 홀 크기조절에 의한 희석가스 제조방법으로 무취공기와 악취나 향기와 같은 냄새 성분을 공기희석관능법의 단계별 희석배율로 제조하기 위한 연구를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 단계별 희석을 위한 오리피스 튜브의 홀 크기를 설계하는 과정이나, 10배 및 30배 희석을 위한 오리피스 튜브를 활용하여 희석가스를 제조하고 이의 농도를 평가하는 과정에 시료가스의 농도를 측정하는 과정은 필수적인 요소이다. 이를 위하여 악취 및 냄새성분에 탁월한 반응성을 보이는 반도체식 가스센서가 장착된 악취측정기를 활용하여 희석시료의 상대적인 농도변화를 고찰하기 위한 측정장치로 충분히 활용 가능성을 확인하였다.

2) 유량조절법에 의해 공기희석관능법의 단계별 희석배율인 10, 30, 100, 300 및 1,000배 등으로 희석하기는 쉽지 않은 과제이다. 특히 300배 이상의 희석을 위해서는 단순히 유량조절에 의한 방법만으로는 불가능한 상황이다. 이에 단순한 유량조절을 위한 10배 및 30배의 기본 오리피스 튜브를 활용한 반복 희석하는 과정으로 모든 희석배율의 시료가스를 제조할 수 있는 방법을 제안하였다. 또한 기본 오리피스 튜브인 10배 희석을 위한 오리피스 튜브의 홀 크기는 0.84 mm이고, 30배 희석을 위한 오리피스 튜브의 홀 크기는 0.32 mm로 설계인자를 도출하였다.

3) 오리피스 튜브에 의해 단계별로 희석된 시료가스의 농도가 공기희석관능법에 의해 희석된 시료가스의 농도와 비교하면 90% 이상의 신뢰성을 보이고 있으며, 현장 복합악취시료에 대한 비교평가에서도 냄새판정원 1인에 의한 영향으로 복합악취시료에 대한 희석배율의 차이를 보였다. 이에 기본 오리피스 튜브의 홀 크기에 대한 보정작업을 통하여 희석방법에 대한 개선, 보완이 필요할 것으로 판단된다.

4) 오리피스에 의한 악취시료가스의 희석원리는 무취공기와 시료가스의 유량조절로 간단히 제조되는 원리이다. 이에 기존 현장의 악취시료가스를 채취하는 진공흡입상자의 펌프 유량이 변하더라도 항상 10배 및 30배의 희석가스를 제조할 수 있음을 확인하였고, 이를 간단히 진공흡입상자의 전단에 설치하여 다양한 활용이 가능할 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 대전대학교 연구조성비로 수행되었음.

KSEE

참고문헌

- Kim, H.-M. and Kim, S.-T., "A study on the manufacturing of odor-free zero air for the indirect olfactory method," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **24**(5), 765~773(2002).
- ASTM E544, "Standard practice for referencing suprathreshold odour intensity," philadelphia, PA, reapproved(1997).
- Chung, G.-H., Kim, S.-T., Shon, C.-U. and Hong, J.-H., "The basic experiments for the development of an olfactometer," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **26**(9), 987~993(2004).
- M. A. McGinley and C. M. McGinley, "Comparison of field olfactometers in a controlled chamber using hydrogen sulfide as the test odorant," International Water Association(2003).
- Van Harreveld, A. P. Paul and H. Hendrik, "A review of 20 years of standardization of odor concentration measurement by dynamic olfactometry in Europe," *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, **49**, 705~715(1999).
- Ron, S., Matthew, T., Bobby, D. and David, P., "Evaluation of field-based odor assessment methods," Water Environment Federation, WEF/A&WMA Odors and Air Emissions(2004).
- Iwasaki, Y., "Phenomenon and future challenges of odor problem," *J. Environ. Hi-Technol.*, **6**(9), 30~33(2001).
- 祐川英基, 村上榮造, "現場における直接希釋による臭氣推定法の開發," 第 24回におり・かおり環境學會, 15(2011).
- 西地拓也, 樂師寺弘毅, 松崎直也, 西村一徹, 樋口能士, "臭氣發生現場での簡易嗅覺測定を目的とする測定器具の試作," 第 24回におり・かおり環境學會, 16(2011).
- B. D. Newby, M. A. McGinley, "Ambient odour testing of concentrated animal feeding operations using field and laboratory olfactometers, International Water Association(2003).
- Feddes, J. J., R. Qu. G., Ouellette, C. A. and Leonard, J. J., "Development of an eight-panelist single port, forced-choices, dynamic dilution olfactometer," *Canadian Biosyst. Eng.*, **43**(6), 1~5(2001).
- Lee, S.-J., Kim, S.-T. and Kim, H.-S., "A study on the measurement of halitosis of human mouth with chemical gas sensor arrays," *J. Sensor Sci. Technol.*, **20**(4), 279~285(2011).
- John, M. S., Andrew, R. M., James, E. S., Randall, O. G. and Donald, L. R., "A butanol olfactometer for field measurement of ambient odors," *J. Air Pollut. Control Assoc.*, **34**, 1208~12133(1984).
- Kim, N.-C. and Cho, S.-J., "Application of odor sensor for evaluation of ambient odor," *J. Kor. Soc. Environ. Administration*, **10**(2), 135~141(2004).
- D.-H. Cho and I.-S. Song, "Problems of odor prevention law & odor analysis method in south Korea," *Korea J. Odor Res. Eng.*, **6**(2), 124~129(2007).