

악취배출시설별 공기희석관능법의 희석배수와 악취센서 측정치의 상관성 분석

최일환 · 임봉빈 · 김선태*

대전대학교 공과대학 환경공학과

Correlation analysis between odor sensor value and dilution number of air dilution olfactometry method with odor emission facilities

Il-Hwan Choi · Bongbeen Yim · Sun-Tae Kim*

Department of Environmental Engineering, Deajeon University

(Received 4 January, 2016; Revised 5 February, 2016; Accepted 17 February, 2016)

Abstract

The correlation analysis between odor sensor and air dilution olfactometry method with odor emission facilities was performed for the real-time evaluation of odor emitted from the 13 facilities. The total correlation was less significant for all facilities due to various emission characteristics of odor. The correlation for the individual facility, however, showed a higher correlation coefficient ($R=0.7371\sim 0.9897$). Especially, the strong correlation (above 0.9) was observed for the industry type with the odor characteristics like tobacco, styrofoam, acetic acid, and burning smell. The repeated odor measurements using the odor sensor showed good reproducibility with the mean relative standard deviation of 5.06%. The odor sensor could be useful tools for identifying and evaluating odor with an olfactometry in field, if the use and proofreading of the odor sensor are improved by a standardized method.

Keywords : Air dilution olfactometry method, Odor emission facility, Odor, Odor sensor, Semiconductor gas sensor

1. 서 론

지속되는 산업화에 따라, 보다 나은 삶의 질에 대한 욕구가 증대되면서 우리 주변의 환경문제에 대한 관심이 커져가고 있다(Moon et al., 2012). 그 중 악취피해는 인체가 즉각적으로 감지하여 직접적인 불쾌감을 유발하는 감각공해로서 이에 대응하고자 우리나라에서도 2005년 악취방지법을 제정하여 이를 관리 및 저감하고자 노력하고 있다.

우리나라 악취공정시험기준에서의 악취측정방법은 복합악취를 측정하는 것을 원칙으로 후각측정법인 공기희석관능법(air dilution olfactometry method)을 주 시험방법으로 사용하고 있으며, 악취물질배출여부를

확인할 필요가 있는 경우에는 기기분석법에 의해 지정 악취물질을 측정할 수 있도록 규정하고 있다. 이러한 방법들은 측정장비가 고가이거나 별도의 시료채취와 분석 절차가 필요한 방법으로 즉각적인 상황대처에 어려운 것이 현실이다. 이에 현장에서는 좀 더 간편하고 결과를 바로 확인할 수 있는 측정 기술을 요구하고 있다(Joo et al., 2006; Park, 2009).

최근에는 이러한 악취평가의 단점을 보완하기 위하여 인간의 후각 메커니즘을 모방한 가스센서를 활용한 악취센서의 연구와 상용화가 활발히 진행되고 있다(Bartoli et al., 2011; Yim et al., 2015). 악취센서는 악취측정시 얻어지는 전기적인 신호를 내부 신호처리에 의해 알고자하는 가스농도나 후각을 대신하는 희석배수 등으로 표현할 수 있으며, 기기분석법보다 조작이 간편하고 실시간적으로 분석이 가능하다는 큰 장점이 있다.

*Corresponding author
Tel : +82-42-280-2534

E-mail : envsys@dju.kr

이러한 악취센서의 큰 장점을 이용하여, Moon et al. (2012)은 69개 공장 악취에 대하여 악취센서와 공기희석관능법 간의 업종별 상관성 연구를 통해 R=0.723~0.889의 높은 용이성을 확인하였으며, Jeon and Cheong (2010)은 원폐기공업에서의 악취 특성을 평가하고자 센서 방식의 전자코 시스템을 적용하여 후각측정법과 기기분석법 간의 상관관계를 평가한 결과, ±30% 변동 범위 정도에서 악취의 질을 평가하는 기술로 전자코 시스템의 활용성을 평가하였다.

또한, 악취공정시험기준에 의하면 복합악취 측정을 위한 시료의 채취는 배출구와 부지경계선 및 피해지점에서 실시하는 것을 원칙으로 하고 있다(ME, 2014). 즉, 복합악취는 황화수소와 암모니아 가스처럼 특정한 표준가스가 존재하지 않고, 현장에서 발생하고 채취되는 시료가 그 시설에서의 복합악취 표준시료가 될 수 있을 것이다.

복합악취라는 표준가스 부재로 인해 일부 악취센서 시스템 개발 업체에서는 선택적 반응이 우수한 전기화학식(electrochemical) 가스센서를 사용하고, 희석배수

농도 산출을 위해 대표적 악취물질인 황화수소와 암모니아 표준가스만을 이용하여 가스 농도에 따른 희석배수를 산출하고 있다. 이러한 방법은 황화수소와 암모니아만이 존재한다는 조건하에서 가능한 방법이며 그 이외의 악취물질이 발생하는 경우에는 전기화학식 가스센서가 반응하지 않거나 반대로 오작동 등에 의하여 잘못된 정보를 제공할 수 있는 문제점이 발생할 수 있다. 뿐만 아니라 감각적으로 느끼고 악취민원을 발생시키는 악취피해는 복합악취라는 점에 있다.

이에 본 연구에서는 복합악취라는 관점에서 선택적 반응이 우수한 전기화학식 가스센서 사용을 배제하였고, 인간의 후각과 유사하게 반응하는 금속산화물 반도체식(metal oxide semiconductor) 가스센서를 사용하여 연구를 진행하였다. 더불어, 단순 전기적 신호값을 공기희석관능법에서 사용하고 있는 희석배수 농도로 산출하기 위해 악취배출사업장에서 운영 중인 세정식 집진시설, 활성탄 흡착탑, 바이오 필터, 여과집진시설 등과 같은 방지시설을 대상으로 희석배수 결과와 악취센서 측정치 간의 상관관계를 평가하였다. 최종적으로는

Table 1. Target industries and emission facilities for evaluating odor

Code	Industrial category	Korean standard industrial classification (sub-classes)	Odor treatment process	Capacity (m ³ /min)	Kind of smell
A	Recovery of non-metal Waste and scrap	38302	SRF (Solid refuse fuel) Injection molding machine	Natural emissions	Waste smell
B-1	Manufacture of tobacco Products	12002	Biofilter	600	Tobacco smell
B-2			Wet scrubber	650	
C-1	Plating and anodizing of metals	25922	Wet scrubber #1	600	Chemical smell
C-2			Wet scrubber #2	600	
D	Manufacture of smelting, refining and alloys of aluminum	24212	Bag filter	750	Burning smell
E	Manufacture of foamed plastic products	22250	Cyclone	120	Styrofoam smell
F	Manufacture of herb medicaments	21220	Activated carbon Adsorption	100	Herb Medicaments smell
G	Manufacture of all other chemical products n.e.c.	20499	Wet scrubber	250	Plastic smell
H	Manufacture of parts and accessories for motor engines	30310	Bag filter	220	Burning smell
I-1	Plating and anodizing of metals	25922	Wet scrubber #1	350	Chemical smell
I-2			Wet scrubber #2	300	
J	Manufacture of other basic Inorganic chemicals	20129	Wet scrubber	150	Acetic acid smell

이러한 평가결과를 토대로 즉각적인 현장 악취관리를 위한 수단으로서, 악취센서를 이용한 공기회석관능법의 회석배수 산출방법과 악취배출시설의 악취관리를 위한 악취센서의 현장 활용 가능성을 평가하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 평가 대상 시설

Table 1에 평가를 위한 대상시설을 업종, 한국표준산업분류 코드(세세분류), 배출시설, 처리량, 냄새종류 등으로 구분하여 정리하였다. 업종을 살펴보면 비금속원료 재생업(예비닐 및 플라스틱 처리업), 도금업, 금속관련 제조업, 담배제품 제조업, 화학제품 제조업, 한의약품 제조업 등 10개 업종이다.

선정된 업종의 악취배출시설을 살펴보면, 가장 많은 비중을 차지하는 방지시설은 세정식 집진시설로 도금업, 화학제품 제조업, 담배제품 제조업 등에서 대부분 사용되고 있다. 먼지와 같은 오염물질 발생 우려가 높은 금속관련 제조업의 경우는 여과집진시설이 사용되고 있었으며, 그 외에도 생산품 및 배출특성에 따라 활성탄 흡착탑과 바이오 필터 등의 방지시설을 복합적으로 사용하고 있다.

일부 업체의 경우는 생산공정의 특성상 원료물질의 야적과 작업공간이 오픈되어 있어, 대부분의 오염물질은 아무 정화과정 없이 사업장 외부로 자연 배출되고 있는 상황이다. 이러한 악취관리 취약시설을 포함시켜 총 10개 업종에 대한 13개의 배출시설을 대상으로 평가를 진행하였다.

2.2 현장 시료채취 및 분석

본 연구에서는 선정된 13개 악취배출시설에서의 시료 채취는 해당 사업장의 최종 배출구를 대상으로 간접 흡인상자 방식의 시료 채취기(EOS-10LB, ENVORS, Korea)와 테들러 백(10 L, BMS, Japan)을 이용하여 채취하였고, 테들러 백의 고유한 냄새를 최대한 제거하기 위해 악취회석용 무취공기 제조 장치를 거친 공기로 5회 이상 세척한 후 사용하였다. 또한, 악취공정시험기준에 준하여 시료 채취시 1회 이상 현장 시료로 시료주머니를 채우고 배기한 후 최종 분석시료를 채취하였다.

공기회석관능법 및 악취센서 시료 분석을 위한 악취회석용 무취공기 제조는 일반 실험실 실내 공기를 초순수($R=18.2 \text{ M}\Omega\text{cm}$), 실리카겔(5~8 mesh, DC Chemical, Korea), 활성탄(granular, Samchun Pure Chemical, Korea)을 통과시켜 제조하였고, 이렇게 제조한 회

석용 무취공기는 현장에서 채취한 시료를 악취공정시험기준에 준하여 원하는 농도로 희석하여 공기회석관능법과 악취센서 평가를 위해 사용되었다(Yim et al., 2015).

공기회석관능법에 의한 시료의 악취판정은 5명의 악취판정요원이 관능시험용 마스크를 쓰고 2~3초간 채취된 시료의 냄새를 맡은 후 냄새감지 여부를 기록하였다. 판정요원의 평균 정답률이 0.6 미만이 될 경우 실험을 종료하였고, 그 이상일 경우에는 0.6 미만이 될 때까지 실험을 계속하였다. 마지막 악취를 판정할 때 최소값과 최대값을 제외한 나머지 3명의 회석배수를 기하평균하여 악취판정요원 전체의 회석배수로 하였다(ME, 2014). 본 시험을 수행한 악취판정요원은 관능시험의 경험이 있는 악취판정인단 중에서 선정하였으며, 5명의 악취판정요원은 20~30대로 남성이 3명, 여성이 2명으로 구성하였다.

본 연구에 사용된 악취센서는 금속산화물 반도체식 가스센서로 대부분 유독가스 및 가연성가스 등 감지할 수 있는 가스의 종류가 많고, 센서 제작과 검출회로의 구성이 간단하다는 특징이 있다. 현재 Figaro (Japan), Fis (Japan), e2v (UK) 센서 등 다양한 반도체식 가스센서 소자가 상용화되었고, 본 연구에서는 휘발성유기화합물, 황화수소, 암모니아 등의 악취가스에 우수하게 반응하는 TGS 2602 (Figaro, Japan) 가스센서를 사용하였다. 더불어 반도체식 가스센서 제조공정의 특성상 동일한 가스센서라 하여도 감도차이가 발생하는 문제가 있어, 이를 보정하기 위해 2개의 동일한 센서를 사용하여 측정치의 평균값을 기록하였다.

악취실험을 위한 기본적인 가스센서 시스템 구성은 Fig. 1과 같이 악취흡입을 위한 시료 도입부분, 가스센서의 기밀구조를 위한 테프론 재질의 매니폴더로 구성되었으며, 악취시료의 흡입을 위해 최종 후단에는 소형 fan을 장착하여 악취에 의한 오염을 최소화하였다. 전기적인 구성은 전원공급부분, 가스센서 및 데이터 처리부분으로 이루어져 있으며, 데이터 처리 부분은 가스센서와 악취성분이 반응하는 전기적인 신호 출력값(0~5 V의 DC Volt 값을 0~999까지 상대적 인 수치로 변환시킨 값)을 실시간으로 저장 및 표시하는 회로부분과 데이터 수집 부분으로 구성하였다.

이렇게 준비된 악취센서에 관능분석에서 사용된 동일한 냄새주머니(3 L, OMI, Japan)를 이용하여 악취센서에 모든 시료를 주입시켜 악취센서를 반응시키는 방법으로 측정치를 기록하였고, 관능분석에 의한 회석배수 결과와 악취센서 측정치 간의 상관관계를 평가하였다.

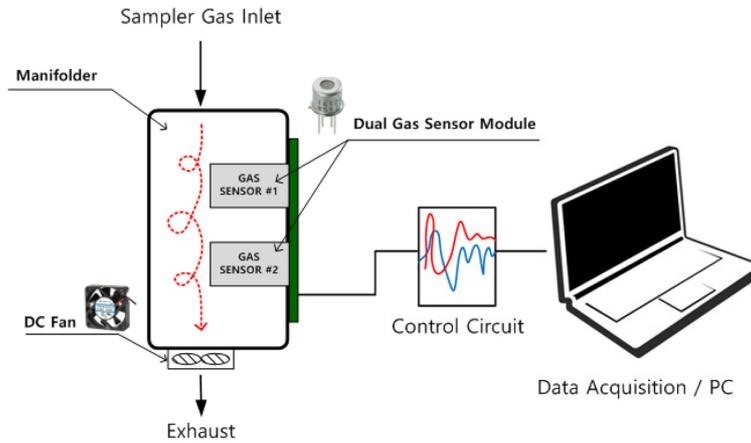


Fig. 1. Schematic diagram of the odor sensor evaluation system for an odor test.

2.3 복합악취 희석배수와 악취센서 측정치의 상관성 평가

악취센서 측정치의 희석배수 산출방법은 대상 사업장의 대표성을 갖기 위해 사업장의 정상 가동을 확인한 후 주요 악취배출원 또는 악취발생 공정을 대상으로 시료포집을 진행하였다. 포집된 시료는 악취공정시험기준에 정하고 있는 절차에 의해 공기희석관능법을 수행하였으며, 이때 공기희석관능법에 사용된 동일한 시료를 악취센서에 반응시켜 측정치를 기록하였다.

포집된 시료는 관능실험실로 옮겨와 깨끗한 무취공기로 희석하여 농도변화를 주고 공기희석관능법의 희석배수 결과와 악취센서 측정치 간의 실험을 진행하는 방법을 사용하였다. 즉, 포집된 원취 시료를 공기희석관능법에서 명시하고 있는 3배수(1, 3, 10, 30, 100...) 희석방법을 이용하여 단계별로 희석하였고, 희석된 동일 시료는 4개 이상을 준비하여 그 중 하나는 관능분석용으로 사용하고 잔여 시료는 악취센서를 평가하는 시료로 사용하였다. 악취센서에 시료 주입은 센서 메니폴더 시료 주입부분에 관능실험용 냄새주머니 유리관을 밀착시킬 수 있도록 가공하여 외부의 공기가 유입되지 않도록 실험을 진행하였다. 실험의 종료는 관능시험결과를 기준으로 판정요원의 정답율이 0.6 미만일 경우에 실험을 종료하였으며, 악취센서 실험의 경우는 각 희석배수 시료별 3회 반복실험을 통해 악취센서 측정치의 재현성 평가를 병행하였다.

이렇게 높은(원취) 농도부터 낮은(무취) 농도수준까지 다양한 농도별 실험이 진행되었고 관능분석 결과와 악취센서 측정치 두 실험간의 관계를 설명할 수는 테이블을 작성할 수 있었으며, 최종적으로는 전기적인 악취센서 측정치를 통해 알고자 하는 센서 희석배수(OU sensor) 산출이 가능하였다.

Table 2. Results obtained by the air dilution olfactometry method and odor sensors

Code	Air dilution olfactometry method (dilution number)	Odor sensor (Sensor signal)
		Mean ± S.D. (n=3)
A	6,694	850 ± 8.4
B-1	1,000	421 ± 8.0
B-2	3,107	601 ± 4.0
C-1	14	294 ± 3.8
C-2	20	180 ± 7.5
D	44	415 ± 20.2
E	208	900 ± 11.0
F	300	809 ± 20.0
G	66	957 ± 23.1
H	20	201 ± 14.0
I-1	10	266 ± 15.0
I-2	20	202 ± 9.1
J	1,000	630 ± 20.6
Coefficient of correlation		0.3995

3. 연구 결과 및 고찰

3.1 공기희석관능법의 희석배수와 악취센서 측정치의 상관성 비교

Table 2에 대표 사업장에서 포집한 시료를 통한 공기희석관능법 결과와 악취센서 측정치를 비교하여 정리하였다. 우선 공기희석관능법 결과를 살펴보면 비금속원료 재생업(A)에서 6,694 배수로 가장 높은 결과를 보였으며, 이어서 담배제품 제조업의 세정식집진시설

(B-2)이 3,107 배수로 악취 배출농도가 높은 사업장으로 구분된다. 담배제품 제조업의 바이오 필터(B-1)와 기타 기초 무기화합물질 제조업의 세정식집진시설(J) 배출구에서는 모두 1,000 배수의 악취 배출농도를 확인하였다.

낮은 배출농도를 보이는 사업장은 약 10~44 배수 수준으로 도금업(C, I), 자동차 엔진용 부품 제조업(H), 알루미늄 제련, 정련 및 합금 제조업(D)이 배출시설로 나타났으며, 플라스틱 발포 성형제품 제조업(E) 및 한의약품 제조업(F)은 중간 농도 수준인 208~300 배수를 보였다. 대체적으로 비금속원료 재생업과 기타 기초 무기화합물질 제조업 그리고 담배제품 제조업에서의 희석배수가 높으며, 도금업종에서 낮게 나타났다.

악취센서의 결과를 살펴보면 전체적인 측정치는 180~957 signal 값을 보였으며, 그 외 기타 분류되지 않은 화학제품 제조업(G)인 경우 공기희석관능법 결과는 66 배수로 낮으나 악취센서 측정치는 957 signal로 가장 높게 나타났다. 공기희석관능법 결과가 가장 낮게 나타난 도금업은 202~294 signal의 악취센서 측정치를 보였으며, 반대로 공기희석관능법 결과가 가장 높게 나타난 비금속원료 재생업, 담배제품 제조업, 기타 기초 무기화합물질 제조업에서는 421~850 signal 수준을 보였다.

두 실험 결과의 상관계수(coefficient of correlation)를 분석하면 $R=0.3995$ 수준으로 약한 상관관계를 보였다. 이러한 결과는 본 연구에서 사용된 반도체 가스 센서가 휘발성유기화합물질에 높게 반응하는 특징으로 파악된다. 즉, 화학제품 제조업의 유기용제 냄새 등에서는 악취센서가 높게 반응하였고, 반대로 비금속원료 재생업과 담배제품 제조업에서 발생하는 쓰레기 및 담배냄새와 같은 경우 관능분석 결과는 높으나 악취센서는 낮은 반응성을 보였다.

3.2 3배수 희석방법을 이용한 공기희석관능법의 희석배수와 악취센서 측정치 간의 관계

앞서 분석된 결과에 의하면, 공기희석관능법의 희석배수와 악취센서 측정치 간의 상관관계를 분석한 결과 $R=0.3995$ 의 약한 상관관계를 확인하였다. 악취센서의 반응성은 각각의 악취배출원별로 나타나고 있으나, 전체 악취배출시설을 대상으로는 설명이 부족하다는 결과를 확인하였다. 이에 전체 악취배출시설에 대한 상관관계 평가가 아닌, 10개 대표사업장(A~J) 각각의 상관관계를 평가하고자 공기희석관능법에서 사용하고 있는 3배수 희석방법을 이용하여 두 방법 간의 평가를 진행하였다.

Fig. 2는 3배수 희석방법을 이용한 10개 대표사업장에서의 공기희석관능법의 희석배수와 악취센서 측정치 간의 관계를 나타낸 것이다. 플라스틱 발포 성형제품 제조업(E) 및 기타 기초무기화합물질 제조업(J)의 경우 x축 희석배수 결과는 동일하나 y축의 악취센서 측정치 차이가 있는 결과를 확인할 수 있다. 이는 해당 사업장의 경우 생산일정에 따라 생산제품의 변동과 생산량에 차이가 발생하여 반복 시료채취와 반복실험을 진행한 사항이며, 악취배출구가 두 개인 담배제품 제조업(B), 도금업(C, I) 사업장은 배출구별 희석배수 농도 차이는 보이고 있으나, 유사한 냄새특성을 보이고 있어 하나의 상관관계 그래프로 표현하였다.

전체적으로 두 실험 간의 설명은 악취배출 특성 및 사업장별로 지수함수(exponential function) 또는 직선함수(linear function)의 관계로 설명되며, $R=0.7371\sim 0.9897$ 수준의 상관관계가 설명되고 있다. 그 중 약한 상관관계를 나타내는 업종은 도금업(C)으로 $R=0.7371$ 을 보이고 있고, 반대로 알루미늄 제련, 정련 및 합금 제조업(D)에서는 $R=0.9829$ 로 높은 상관관계를 보였다.

악취센서 측정치 또는 희석배수 농도 결과가 상대적으로 높은 비금속원료 재생업(A), 담배제품 제조업(B), 한의약품 제조업(F), 기타 기초 무기화합물질 제조업(G)은 전체 데이터를 기준으로 지수함수의 관계로 설명되며, 그 외 업종에서는 직선함수의 관계를 보였다.

전체 데이터는 지수함수로 설명되거나 특정구간에서 직선함수로 설명되는 업종만을 구분하여 상관관계를 살펴보면 비금속원료 재생업(A) $R=0.9301$, 담배제품 제조업(B) $R=0.9897$, 한의약품 제조업(F) $R=0.8293$, 그 외 기타 분류되지 않은 화학제품 제조업(G) $R=0.9828$ 로 나타났다. 이들 업종에서 체감되는 악취의 종류는 쓰레기 썩는 냄새, 담배 냄새, 한약 냄새, 플라스틱 가공 냄새 등이며, 악취센서 측정치는 최소 500 signal 이상 높게 반응하는 것이 특징이다.

지수함수가 설명되는 업종(A, B, F, G)의 경우는 약 1,000 배수 이하의 범위에서는 직선함수에 대한 관계가 설명되어지나 그 이상의 희석배수 범위에서는 지수함수의 관계를 보이고 있는 것이 특징이다. 이는 공기희석관능법에 의한 3배수 희석단계에서 기인한 것으로, 1,000 배수에서 3,000 배수 그리고 10,000 배수로 희석하는 과정에서 시료의 농도변화는 급격하게 낮아지고, 악취센서 측정치 또한 1,000 배수 이상의 낮은 농도에서 반응하는 변화폭도 낮아지게 된다.

결과적으로 악취센서 측정치와 희석배수 두 방법의 비교실험은 1,000 배수 이상의 낮은 농도 수준에서 후각에 의한 감지특성이 우수한 반면, 악취센서는 후각의

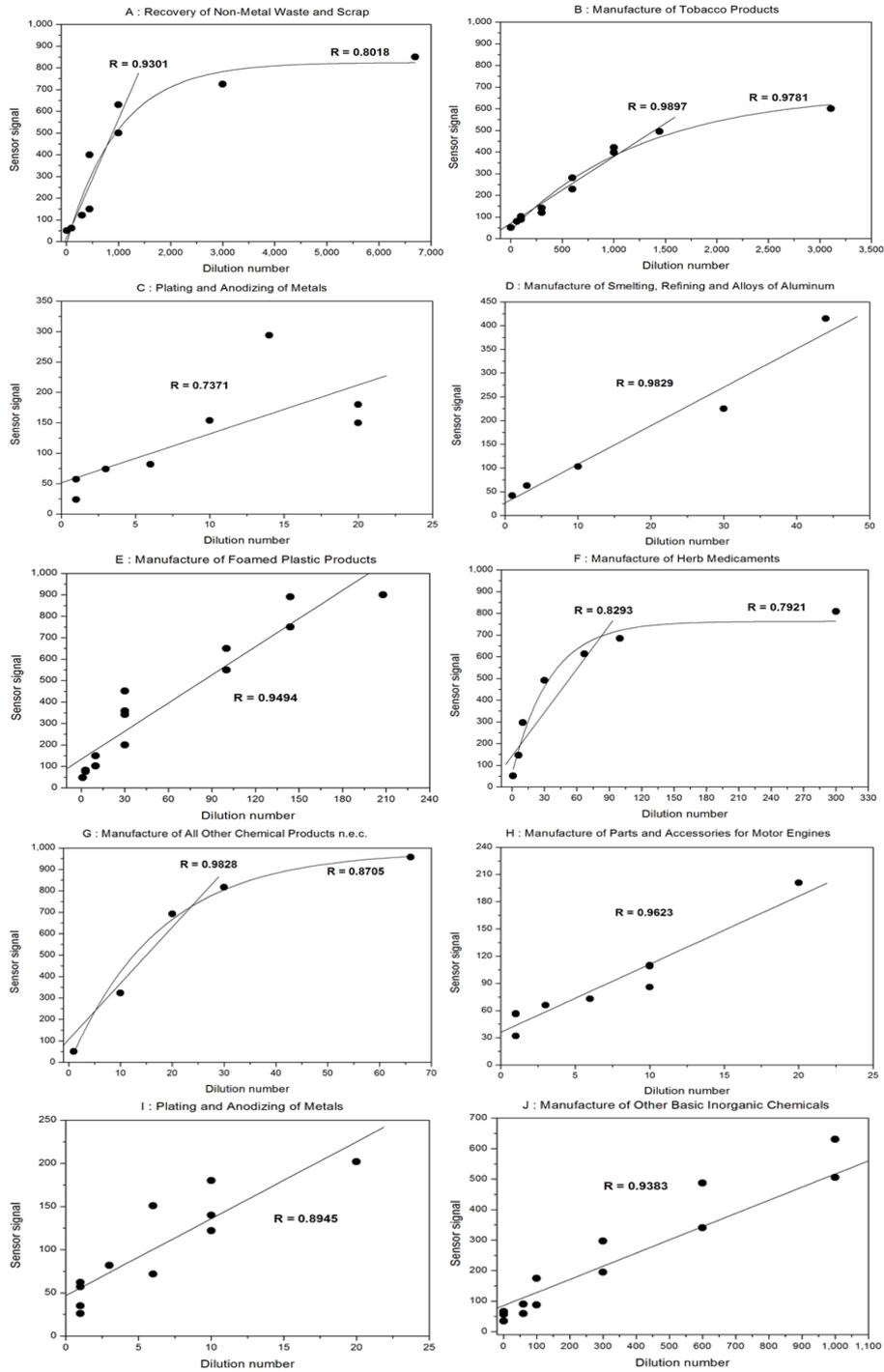


Fig. 2. Relationship between air dilution olfactometry method and odor sensor for 10 sites (A~J).

특성을 반영하지 못하고 있다는 결과와 낮은 농도수준의 희석과정에서 발생하는 희석오차에 대한 문제를 유

추할 수 있다. 이에 따라 1,000 배수 이상의 악취배출원 관리에서는 악취센서의 반응성을 증가시켜 저농도

Table 3. Classification of industries according to the correlation coefficient ($0.9 <$, 0.8 to 0.9 , $0.8 >$)

Coefficient of correlation	Linear function	Exponential function
$0.9 <$	Manufacture of Smelting, Refining and Alloys of Aluminum (D), Manufacture of Foamed Plastic Products (E), Manufacture of Parts and Accessories for Motor Engines (H), Manufacture of Other Basic Inorganic Chemicals (J)	Manufacture of Tobacco Products (B)
$0.8 \sim 0.9$	Plating and Anodizing of Metals (I)	Recovery of Non-Metal Waste and Scrap (A), Manufacture of All Other Chemical Products n.e.c. (G)
$0.8 >$	Plating and Anodizing of Metals (C)	Manufacture of Herb Medicaments (F)

와 고농도 구간별 다른 검량선을 작성하여 악취배출원을 관리하는 방법을 고려할 수 있을 것이다.

Table 3은 공기희석관능법과 악취센서 측정치 간의 상관관계 평가를 통해 상관계수 기준 0.9 이상, $0.8 \sim 0.9$, 0.8 이하로 구분하여 10개 업종을 분석한 결과이다. 직선 및 지수함수로 설명되며 0.9 이상의 높은 상관관계를 보이는 업종은 알루미늄 제련, 정련 합금제조업(D), 플라스틱 발포 성형제품 제조업(E), 자동차 엔진용 부품 제조업(H), 기타 기초 무기화합물 제조업(J), 담배제품 제조업(B)이며, 이들 업종에서 발생하는 냄새 종류는 담배 냄새, 타는 냄새, 스티로폼 냄새, 초산 냄새 등이다.

$R=0.8 \sim 0.9$ 수준의 양호한 상관관계를 보이는 업종은 도금업(I), 비금속원료 재생업(A), 그 외 기타 분류되지 않은 화학제품 제조업(G)으로 나타났으며, $R=0.8$ 이하로 상대적으로 낮은 상관관계가 평가된 업종은 도금업(C), 한의약품 제조업(F)으로 분류되었다. 특히, C 및 I 도금업의 경우 모두 낮은 상관관계를 보이는 것으로 악취센서 측정치는 1~300 signal 수준이며, 희석배수 결과는 모두 20 배수로 타 업종의 결과치보다 상대적으로 낮게 나타나는 것이 특징이다. 향후 이들 업종은 악취센서를 현장에 적용하여 관리함에 있어, 악취센서의 보다 면밀한 적용성 검토와 오차범위를 고려한 결과 해석이 필요할 것으로 사료된다.

3.3 악취센서 측정치의 반복 재현성 평가

Fig. 3에 각 희석배수 단계별 평균적인 상대표준편차를 나타냈다. 그 결과 100 배수 희석단계 시료부터 상대표준편차가 전체 평균보다 높은 6.12%를 보였으며, 1,000 배수 수준의 희석단계에서는 평균 10.30%로 전체 평균의 두 배 수준을 보여주었다. 후각의 특성에 따라 동일한 분석시료라 하여도 악취판정인의 건강상태 또는 판정인 구성에 따라 전혀 다른 결과를 반영하는

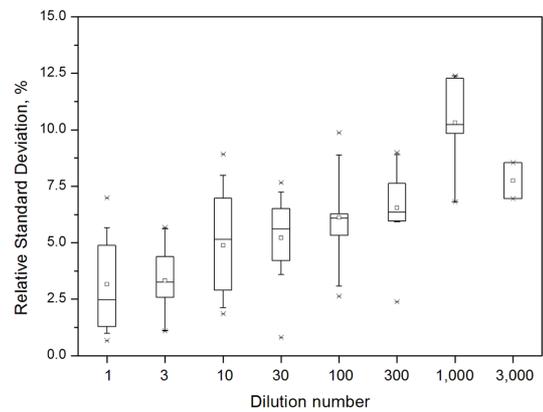


Fig. 3. Relative standard deviation according to dilution number on 3 times repeated experiment.

공기희석관능법과 비교할 때 상대표준편차 10% 수준의 결과는 매우 우수한 재현성 결과로 판단되며, 향후 악취센서를 통한 활용방법과 표준화된 교정방법 등이 다양한 연구를 통해 구체화된다면 산업현장에서 인간의 후각을 보조하는 측정 장비로서의 활용 가치는 매우 높을 것으로 기대된다.

4. 결 론

악취배출시설에서의 즉각적인 현장 악취관리를 위해 악취센서 활용 가능성을 평가하고자, 10개 업종에서 운영 중인 13개 악취배출시설을 대상으로 공기희석관능법 희석배수와 악취센서 측정치 간의 상관관계를 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 전체 악취배출시설을 설명하는 상관관계는 0.3995로 약한 상관성이 확인되어 각각의 악취배출 사업장을 대상으로 접근한 결과, $R=0.7371 \sim 0.9897$ 수준의 양호한 상관관계를 확인하였다. 결국 악취센서를 이용한 관리는 통합된 하나의 관계식 보

- 다는 각각의 악취배출시설별 농도 수준과 그 성상을 반영한 개별 관계식으로 접근하는 방법이 가장 적절한 방법이라 사료되었다.
2. 두 방법간의 설명은 악취배출원 특성에 따라 직선 함수 또는 지수함수로 설명이 가능하였다. 직선함수로 설명된 업종은 알루미늄 제련, 정련 및 합금 제조업, 플라스틱 발포 성형제품 제조업, 자동차 엔진용 부품 제조업, 기타 기초 무기화합물 제조업, 도금업이 해당된다. 지수함수로 설명되는 업종은 담배제품 제조업, 비금속원료 재생업, 그 외 기타 분류되지 않은 화학제품 제조업, 한의약품 제조업으로 이러한 업종의 경우는 악취센서 측정치가 높거나, 아니면 공기희석관능법에 의한 희석배수 결과가 높게 나타난 결과로 유추할 수 있다.
 3. R=0.9 이상 또는 이하를 기준으로, 상관성이 높은 업종과 그렇지 않은 업종으로 분류하였다. 0.9 이상의 상관관계를 보이는 업종의 냄새특징은 담배, 스티로폼, 초산냄새와 타는 냄새 등이며, 0.9 이하의 업종인 경우는 약품, 쓰레기, 플라스틱, 한약냄새 등으로 구분되었다. 두 그룹 간에 뚜렷한 관계 설명은 어려우나 특히, 약품냄새로 분류된 도금업의 경우는 본 연구에서 평가된 두 개 업체 모두 R=0.7371(도금업 C), R=0.8945(도금업 I)로 나타나 이러한 업종에 대해 악취센서를 현장에 적용함에 있어, 오차범위를 고려한 결과 해석이 필요할 것으로 사료된다.
 4. 악취배출농도가 높은 비금속원료 재생업과 담배 제품 제조업에서는 공기희석관능법 기준 1,000 배수를 기점으로 악취센서의 감도가 낮아져 특정 구간에서의 변곡점이 발생하는 특징을 확인하였다. 즉, 악취 배출농도가 높은 사업장의 경우는 특정구간을 기점으로 하는 농도 구간별 이중 추세선을 작성하여 관리하는 방법 등 악취센서 현장 적용 가이드라인 제시가 필요할 것으로 사료된다. 더불어, 다양한 사업장이 혼재되어 있는 산업단지의 부지경계에서 악취센서 활용은 다양한 오염원으로 인한 간섭문제가 예상되는 사항이다. 이에 통합적인 악취센서 관리를 위해서는 현장 중심의 지속적인 연구수행과 악취센서의 신호해석과 관련한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.
 5. 3회 반복실험을 통해 악취센서 측정치의 재현성을 평가한 결과, 1~3,000 배수 희석범위에서 악취센서 측정치의 평균 상대표준편차는 5.06%로 나

타났으며, 낮은 농도로 인해 희석단계 오차가 발생하는 1,000배 이상의 높은 희석배수 범위에서도 10.30%의 높은 재현성이 확인되었다. 이러한 결과는 후각을 이용한 주관적인 관능법과 비교할 때 매우 우수한 재현성 결과로 판단되며, 악취배출원에서 직접 배출되는 현장시료의 즉각적인 악취관리에 있어 악취센서는 후각을 보조하는 객관적인 측정기로서의 활용성이 매우 높을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업을 지원 받아 수행된 것임(2010-0022477).

References

Brattoli, M., de Gennaro, G., de Pinto, V., Demarinis Lioiote, A., Lovascio, S., Penza, M., 2011. Odor Detection Methods: Olfactometry and chemical sensors. *Sensors* 11(5), 5290-5322.

Jeon, G. S., Cheong, K. H., 2010. A Study on the malodor evaluation methodology in the odor emission industry using electronic nose system. *Korean Journal of Odor Research and Engineering* 9(1), 23-30. (in Korean with English abstract)

Joo, S. W., Park, S. J., 2006. Recent development of e-nose as odor sensors. *Korean Journal of Odor Research and Engineering* 5(3), 171-179. (in Korean with English abstract)

Ministry of Environment (ME), 2014. Official Methods for Odor Measurement, 1-45.

Moon, J. Y., Hwang, Y. W., Baek, S. R., 2012. Analysis of the relationship odor sensor and the air dilution olfactory method in industrial complex odor. *Journal of Korean Society of Odor Research and Engineering* 11(4), 209-218. (in Korean with English abstract)

Park, S. J., 2009. A Experimental study on usefulness of portable metal oxide semiconductor as odor measuring device for malodorous compounds. *Korean Journal of Odor Research and Engineering* 8(2), 91-96. (in Korean with English abstract)

Yim, B., Lee, S. J., Kim, S. T., 2015. Evaluation of metal oxide semiconductor and electrochemical gas sensor array characterization for measuring wastewater odor. *Journal of Sensor Science and Technology* 24(1), 29-34. (in Korean with English abstract)