

## 실시간 악취모니터링 및 자동 공기 포집 시스템

### Real-time Odor Monitoring and Automatic Air-sampling System

김학철<sup>a,\*</sup> · 하상민<sup>1)</sup> · 홍현수<sup>2)</sup> · 김경옥

한국전자통신연구원 텔레매틱스 · USN 연구단 텔레매틱스연구그룹 공간정보연구팀

<sup>1)</sup>(주)데이터퍼씨에스, <sup>2)</sup>(주)엔버스

<sup>a</sup>현주소: 경원대학교 소프트웨어대학

(2006년 8월 1일 접수, 2006년 10월 23일 채택)

Hak-Cheol Kim<sup>a,\*</sup>, SangMin Ha<sup>1)</sup>, HS Hong<sup>2)</sup> and Kyung Ok Kim

*Electronics and Telecommunications Research Institute Telematics &*

*USN Research Division Telematics Research Group Geo-Spatial Information Research Team*

<sup>1)</sup>DATAPCS, <sup>2)</sup>Envors. Co., Ltd.

<sup>a</sup>One's present address: College of Software, Kyungwon University

(Received 1 August 2006, accepted 23 October 2006)

## 1. 서 론

산업이 발전함에 따라 공단지역에서 발생하는 악취가 주변 지역에 영향을 미치는 경우가 빈번히 발생하고 있으며 정부에서는 이를 고려하여 2005년 2월부터 악취방지법을 제정하여 악취발생량을 규제하고 있다. 선행연구를 살펴보면 경기도에서는 악취를 관리하기 위하여 On-Line GC 및 Open-Path를 이용하여 실시간 악취감시시스템(나경호 등, 2006)을 구축하여 운영하고 있으며, 안산시에서도 On-Line GC를 이용하여 대기 중의 개별적인 악취오염물질에 대한 농도 측정 및 모니터링(손경식 등, 2006; 박강호 등, 2005)을 하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 악취측정센서와 CDMA 무선 통신망을 연동하여 원격으로 현장의 악취농도를 실시간으로 모니터링하며 임계치 이상으로 악취발생시 현장에서 자동으로 공기를 포집하는 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 기존의 시스템에 비해서 저비용

으로 설치 가능하며 향후 다양한 센서 기술과 결합하여 실시간으로 개별악취유발 물질의 농도를 측정하는 센서네트워크 구축이 가능하다.

본 연구에서는 제안한 시스템을 대전광역시 3·4공단 인근 지역 2곳에 시범적으로 설치하여 운영하고 있으며 실시간 모니터링을 위한 웹모니터링 시스템을 구현하였다. 이와 함께, 본 연구결과를 악취관련 행정업무에 직접 적용하기 위하여 센서 지시값을 악취방지법에서 규정하고 있는 악취강도 및 공기회석 관능법에 의한 회석 비율로 변환하는 과정을 병행하였으며 본 논문에서는 현장에 설치한 시스템과 센서 지시값 변환에 대해서 중점적으로 소개한다.

## 2. 현장 시스템 구성

2장에서 본 연구에서 구축한 현장 시스템 구성에 대해서 설명한다. 그림 1은 본 연구에서 구축한 전체 시스템 구조를 나타낸 것이다. 현장 모니터링 시스템과 데이터 서버는 CDMA 무선통신망을 이용하여 데이터 및 제어 명령어를 송·수신한다. 본 연구에서 개발한 악취 모니터링 시스템은 대전광역시

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-750-5806, E-mail : hakcheol@hanmail.net

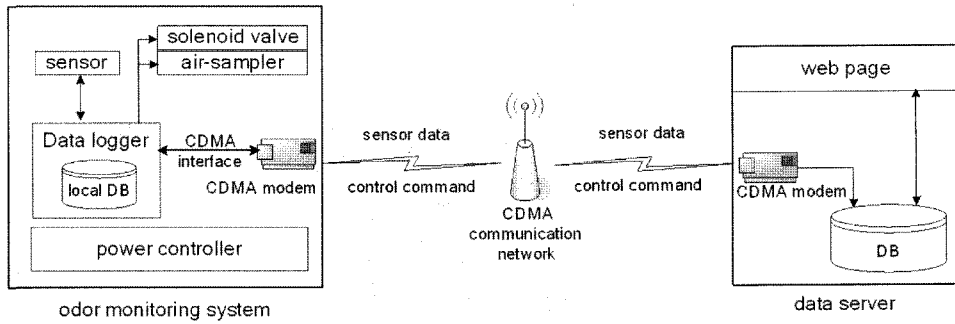


Fig. 1. System architecture.

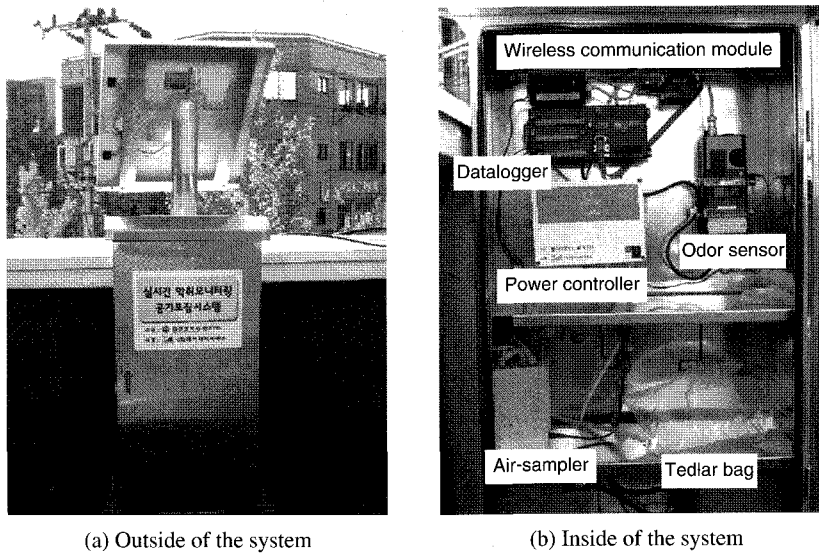


Fig. 2. Hardware design of the odor monitoring and automatic air sampling system.

목상동과 송강동 2곳에 설치되었으며 현장 시스템은 발생된 악취를 측정하는 악취센서, 측정된 악취값을 저장 및 처리하는 자료수집장치 (datalogger), 자료를 전송하는 CDMA 통신모뎀, CDMA 통신모뎀과 자료 수집 장치를 연결하는 CDMA 인터페이스 모듈, 지정된 임계치 이상의 악취 발생 시 현장의 공기를 채취하는 공기포집기 및 현장에서 시스템을 운영하기 위한 전원 공급 장치 등으로 구성된다. 현장 시스템에서는 악취센서 1초 자료 300개를 샘플링하여 5분 평균값을 데이터로거의 데이터테이블에 저장하며 샘플링 값의 최대값을 함께 저장한다. 또한 데이터로거는 공기포집기 작동을 위한 12V 스위치 기능과 솔레노이드

이드 밸브를 제어하기 위한 5V 콘트롤러를 내장하고 있다. 이와 같은 환경에서, 미리 설정한 임계치 이상의 악취농도가 감지되면 공기포집기가 작동하여 실시간으로 공기를 포집하며 이벤트 메시지가 미리 설정한 휴대폰으로 전송된다.

서버에서는 매 30분마다 현장 시스템에 저장되어 있는 데이터를 수신하여 데이터 서버 내의 데이터베이스에 저장한다. 수신한 데이터는 웹페이지를 통하여 실시간으로 가시화되며 다양한 형태로 검색 기능을 제공하여 악취 관리 업무에 활용할 수 있도록 구성하였다.

본 연구에서 구축한 시스템은 악취 관리 시스템을

**Table 1. Relationship between sensor indicator and Odor Intensity.**

Sensor value	Odor intensity	Category	Odor annoyance
0~	0	No odor	No detectable odors
400~	1	Very faint (threshold)	An odor that would ordinarily not be noticed by the average person, but could be detected by an experienced inspector or very sensitive individual
1000~	2	Faint (recognition threshold)	An odor that is so weak that the average person might detect it if attention were called to it, but that would not otherwise attract her or his attention
1400~	3	Distinct (easily noticeable)	An odor moderate intensity that would be readily detected and might be regarded with disfavor
2000~	4	Strong	An odor that would force itself upon the attention and one that might make the air very unpleasant

재부팅하거나 공기 포집을 위한 임계치 설정 등 다양한 형태로 원격으로 현장 시스템을 제어할 수 있다. 2장에서는 현장에 설치한 시스템의 구성요소에 대해서 상세히 기술하도록 하며 그림 2는 대전광역시 목상동 사무소 옥상에 설치한 시스템의 외부 및 내부 모습을 나타낸 것이다.

## 2.1 악취센서

센서를 이용하여 대기상태를 감지하기 위한 많은 연구들이 수행되고 있으며 Taguchi 실험계획법을 적용한 메틸메르캡탄 센서 등이 소개되고 있다(김선태와 최일환, 2004). 본 연구에서 현장에서 악취농도를 측정하기 위해서 사용한 센서는 일본 COSMOS사에서 제조한 XP-329센서로써 고감도 반도체 센서에 의해 10ppb의 저농도까지 감지 가능한 복합취기 센서이다(吉樂康城, 2002). 하지만, 장시간 현장에서 운영될 경우 센서의 악취강도가 떨어질 우려가 있으므로 정기적인 필터 교환 및 유지관리가 필요하다. 표 1은 XP-329 센서 출력값과 직접 관능법에 의한 악취강도와의 관계를 실험적으로 나타낸 것이다. 표 1의 센서 출력값을 해석하는 방법은 4장에서 상세히 기술하도록 한다.

## 2.2 자료수집 장치(datalogger)

본 연구에서는 자료수집장치로 미국 Campbell Scientific 회사의 CR1000 datalogger를 사용하였다. 악취 모니터링에 사용된 XP-329 센서는 0~200 mV의 아날로그 신호를 출력하며 CR1000 datalogger를 이용하여 1초 자료 300개를 sampling하여 평균값과

최대값을 구할 수 있다. 또한 공기포집기 작동을 위한 12V 스위칭 기능과 솔레노이드 밸브를 제어하기 위한 5V 컨트롤러가 내장되어 있어서 본 연구에서 구축하고자 하는 현장 시스템에 적합한 datalogger이다.

## 2.3 CDMA 통신모뎀

본 연구에서는 현장 시스템과 통신을 위해서 CDMA 무선 통신망을 이용한다. 이를 위해서 EM 1800 무선 인터넷 CDMA 통신모뎀을 이용하였다. 이는 일반적인 휴대폰과 동일하게 CDMA 방식의 데이터 통신을 하며 CDMA에서 음성통신 기능을 제외하고 데이터 통신과 SMS(단문서비스)을 위한 무선 모뎀이며 기존의 데이터 통신 방법과 비교하여 동시 여러 곳의 멀티 접속이 가능하며 5초 내외로 접속이 가능하다.

## 2.4 CDMA Interface Module

본 연구에서 사용한 CR 시리즈 datalogger는 유선 전화나 무선 RF(Radio Frequency) 등으로만 통신이 가능하다. 따라서, 광대역 통신망인 CDMA 무선망을 이용하여 데이터 전송을 위해서 datalogger의 C/S port 신호를 세계표준신호인 RS232C 방식으로 변환하는 장치가 필요하다. 본 연구에서는 이를 위하여 '(주) 데이터피씨에스'에서 개발한 DP-COM 제품을 사용하였다.

## 2.5 공기포집기

공기포집기는 악취측정센서에서 미리 설정한 임계

치 이상의 악취량이 측정될 때 시스템 주변의 유해 가스를 포집하는 장비이다. 대기 중의 유해 가스는 공기포집장치 내부의 흡입펌프로 흡입되고 두 개의 시료 실린더를 통해서 분진 및 이물질들이 걸러지며 최종적으로 공기주머니로 공기가 포집된다.

본 연구에서 사용한 HS-7N 모델명의 공기포집기는 최대흡입압력 1,000 mmAq 이상으로 최대 유량이 2.3 L/min이며 측정유량은 0.5~2.0 L/min이다. 본 연구에서는 솔레노이드 밸브를 활용하여 공기를 흡입한 후 포집백을 쉽게 수거할 수 있도록 하였다. 공기포집기가 동작하여 공기를 포집한 후에는 미리 입력한 전화번호 정보를 이용하여 SMS 메시지를 자동으로 전송한다.

### 2.6 전원공급장치

정확하고 신뢰성 있는 데이터 획득을 위해서는 안정적인 전원 공급이 필수적이다. 본 연구에서는 시스템을 시범적으로 설치한 2곳 가운데 송강동 지역의 경우에는 상시 AC 220 V 전원을 DC 12 V로 변경하여 공급하였으며 목상동 지역은 태양전지를 이용하여 전원을 공급하였다.

### 2.7 타 시스템과의 비교

공단 지역에서 발생하는 악취를 관리하기 위한 연구는 다양하게 진행되고 있으며 경기도 시화, 반월공단에 적용중인 악취 측정망과 본 연구에서 적용한 시스템을 비교한다. 타 시스템은 악취자동 측정망을 설치하여 On-Line GC 등을 이용하여 성분분석에 중점을 두고 있어 악취를 유발하는 물질에 대한 파악이 용이하다.

이에 비하여, 본 시스템에서 적용한 센서는 취기를 내는 모든 물질에 대한 복합취기를 측정하여 값으로 표현하는 방식으로 단일성분 물질위주가 아닌 인간이 느끼는 취기 수준으로 표현가능한 장점이 있다. 이와 함께, 본 시스템에서는 공기포집기를 이용하여 일정 수준 이상으로 발생하는 취기가 발생하는 공기를 포집할 수 있도록 구성하여 순간적으로 발생하는 악취의 시간적 제약성을 해소할 수 있도록 하였다.

개별 악취 유발 물질에 대한 성분 분석이 필요한 경우에는 포집한 공기를 이용하여 수행할 수 있으므로 고가의 분석 장비를 직접 현장에 설치할 필요가 없다. 따라서, 기존의 악취자동 측정망에 비해서 저비

Table 2. A Comparison of monitoring system.

Category	Odor monitoring system	Other system
Sensor	XP-329	Varian Model CP3800 Gas Chromatograph
Equipment size	Small	Large
Communication	CDMA	CDMA, LAN
Storage	Data logger, DB	Hard Disk, DB
Cost	Low	High

용으로 현장 시스템을 구성할 수 있다. 또한, 본 연구에서 적용한 시스템은 기존 시스템에 비하여 극히 작은 규모로 구성할 수 있을 뿐만 아니라 시스템 운영에 따른 전원 소모량이 작아서 태양전지로 운영 가능하며 유선망 대신 CDMA 무선 통신망과 연동하여 데이터를 수집함으로써 현장 시스템 설치 시 기존 시스템에 비해서 상대적으로 공간의 영향을 적게 받는다. 표 2는 기존 시스템과 본 연구에서 적용한 시스템을 비교한 것이다.

## 3. 센서 지시값과 공기희석관능법의 상관성 평가

2005년 2월부터 시행중인 악취방지법은 배출허용 기준의 초과 여부를 판정하기 위한 악취농도 측정을 위해서 공기희석관능법에 의해서 복합악취를 측정하도록 하고 있으며 지정악취물질배출 여부를 확인할 필요가 있을 경우 기기분석법을 적용하여 지정악취 물질을 측정하도록 규정하고 있다. 악취를 평가하고 측정기기 또는 주변 환경 등과의 연관성을 분석하기 위한 다양한 연구들이 행해졌다 (Tatsuo *et al.*, 2006; 김선태 등, 2004; 정의석 등, 2004). 본 연구에서는 복합취기센서를 이용하여 현장에서의 악취정도를 측정하였으며 악취관리업무에서 센서 지시값을 적용하기 위해서는 측정값을 악취공정시험방법에서 규정하고 있는 공기희석관능법으로 변환하는 과정이 필요하다. 이를 위하여 주변지역, 대전지역 3·4산업단지의 배출업체 및 비슷한 업종에서 악취배출원에 대하여 센서평가 및 공기희석관능법을 병행하여 실시하여 센서 지시값의 변환식을 도출하였다.

### 3.1 시료채취

분석을 위한 악취시료는 연속적으로 진행되는 시료채취과정에서 채취 장비에 의한 시료의 오염을 최소화 할 수 있도록 고안된 bag sampler와 폴리에스테르 재질의 공기주머니를 이용하여 지점당 6리터의 시료를 채취하였다. 채취된 시료의 분석은 24시간 내에 마칠 수 있도록 하였으며, 복합취기를 평가하는 측정방법인 공기희석관능법과 복합취기센서를 이용한 평가를 병행하였다.

### 3.2 실험방법

감각기관을 이용하여 냄새를 평가하는 방법은 직접관능법과 간접관능법(공기희석관능법)으로 구분할 수 있다. 이 중에서, 간접관능법은 5인 이상의 악취판정인이 현장에서 채취한 원취시료를 무취공기와 혼합하여 단계적으로 희석한 평가시료(3, 10, 30, 100, 300배 등)의 냄새감지 여부만을 측정한다. 간접관능법에 의한 악취평가결과인 냄새감지한계희석배수는 취기단위 또는 악취농도(ou/m<sup>3</sup>)와 동일한 개념으로 사용되게 된다.

냄새시료의 악취수준을 측정하는 악취강도 평가과정에서 중요한 요소는 악취판정인의 구성과 무취공기 및 희석시료의 조제법이다. 본 연구에서는 악취판정인을 구성하기 위하여 일련의 취기물질을 이용하여 평가대상자가 각각의 취기물질에 대한 구분 여부를 판정하여 시료분석 전에 선별하였으며 악취판정인으로 선정된 후 악취평가에 참여할 경우 1개의 시료를 평가하고 최소 10분 이상 휴식을 취한 후 다음 시료를 분석하도록 하였다.

무취공기의 조제는 국립환경연구원고시 악취공정 시험방법에서 규정하고 있는 평가방법을 이용하여 조제하였으며, 악취판정인을 이용하여 조제된 무취공기의 취기수준이 일정하게 유지되는지 여부를 주기적으로 판단하여 원취시료의 희석에 사용하였다. 희석시료의 조제는 3L 용량의 PE 재질 공기주머니에 주사기를 이용하여 직접 원취시료와 무취공기를 주입하였다. 단계적으로 희석된 평가시료는 희석배수가 적은 순서로 무취공기와 함께 악취판정인들에게 3개 1조(무취공기 2개, 희석시료 1개)로 공급하였으며 악취판정인은 3개의 공기주머니 가운데 냄새가 감지되는 공기주머니를 선택하도록 하였다.

악취판정인 선정 및 무취공기, 희석시료의 조제 후

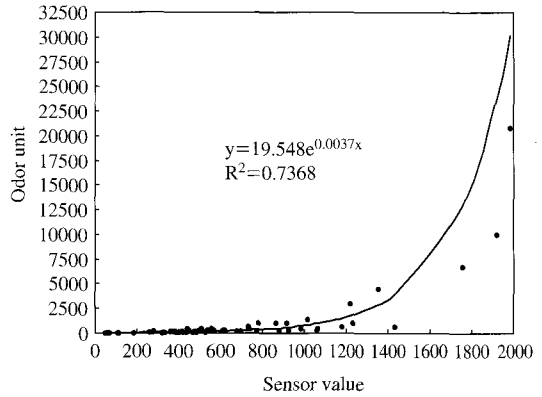


Fig. 3. Relationship between a sensor value and odor unit (ou/m<sup>3</sup>).

에는 국립환경연구원 고시 악취공정시험방법에서 제시하고 있는 공기희석관능법의 관능시험 절차에 의해서 악취강도를 판정하였다.

### 3.3 분석결과

공기희석관능법을 이용하여 평가한 악취배출원 및 주변 지역에 대한 냄새감지한계희석배수(OU/m<sup>3</sup>)와 센서수치에 대한 평가 결과는 그림 3과 같다.

측정은 주변시료 및 배출원 시료에 대하여 63개 시료에 대한 측정결과를 이용하였으며 측정결과를 바탕으로 다음과 같은 악취센서수치(x)와 공기희석관능법의 수치(y)와의 상관수식을 구하였다.

$$y = 19.548e^{0.0037x}$$

결정계수 R<sup>2</sup>은 0.7368로 악취센서 수치와 공기희석관능법에 의한 수치가 상당 부분 설명해주고 있는 것으로 나타났다.

## 4. 서버 시스템

4장에서는 본 연구에서 구성한 서버 시스템에 대해서 설명한다. 현장에서 측정된 데이터는 CDMA 통신망을 통하여 서버로 전송되어 관리되며 또한 서버 시스템에서는 원격지의 현장 모니터링 시스템을 제어할 수 있다. 악취모니터링 시스템을 운영하기 위한 소프트웨어는 Campbell Scientific사에서 제작된 전용 소프트웨어인 LoggerNet 프로그램을 이용하였으며

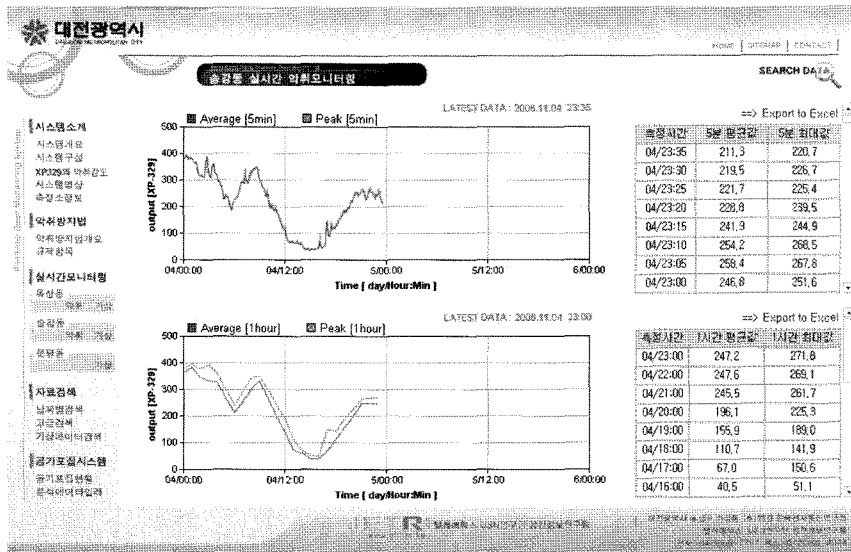


Fig. 4. An example of web monitoring system.

샘플링 측정, 시스템 제어 및 자료 전송을 하게 된다. 서버 컴퓨터에서는 매 30분마다 각 현장시스템에 접속하게 되고 첫 번째 접속에서 실패 시 2분 후 재접속할 수 있도록 프로그래밍을 하였다. 현장에서 측정된 자료는 서버 컴퓨터의 지정된 폴더에 텍스트 파일 형태로 저장되며 다양한 형태로 가시화 및 분석작업이 가능하다. 본 연구에서는 실시간으로 전송되는 데이터를 차트 형식으로 가시화 및 검색 기능을 제공하기 위한 웹페이지를 시범적으로 구성하였으며 그림 4는 실시간으로 획득되는 센서데이터 결과를 차트 형식으로 가시화한 결과이다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 복합악취측정 센서와 CDMA 무선 통신망을 연계하여 현장에서 발생하는 악취농도를 실시간으로 관리하며 필요시 현장에서 직접 공기를 포집하여 분석할 수 있는 시스템을 설계하고 구현하였다. 본 연구에서 제안한 시스템은 기존 시스템에 비해서 저비용으로 구성할 수 있으며 악취관리 공간적, 시간적 제약성을 해소하고자 하였다.

향 후 연구에서는 악취방지법에서 규정하고 있는 12가지 지정악취유발 물질의 농도를 측정할 수 있는

센서와 무선 RF (Radio Frequency) 통신 기술을 활용하여 현장에서 개별악취 유발 물질의 농도를 실시간으로 측정할 수 있는 센서네트워크 시범망을 구축하고자 한다. 이와 함께 대기확산 모델을 적용하여 악취 영향권 분석 기능을 추가할 계획이다.

참고 문헌

김선태, 박민수, 전의찬, 김덕현, 홍지형 (2004) 악취농도지수와 악취농도단위와의 상관성 분석, 한국대기환경학회 추계학술대회논문집, 270-271.

김선태, 최일환 (2004) Taguchi 실험 계획법에 의한 CH3SH 반도체 가스 악취 가스 센서의 개발, 한국대기환경학회지, 20(6), 783-792.

나경호, 손진석, 장영기 (2006) Finger Print를 이용한 악취 추적 기법 활용가능성 평가, 한국대기환경학회 추계학술대회논문집, 70-71.

박강호, 김학웅, 조현선, 이갑상, 송기봉 (2005) 안산지역 악취물질특성 (황계열 및 탄화수소류)과 인접지역 악취민원의 특성 조사, 한국대기환경학회 추계학술대회논문집, 143-145.

손경식, 김형수, 이갑상, 조현선, 신항식, 김학웅, 송기봉, 박강호 (2006) 안산지역 악취물질 (황계열 및 탄화수소류)의 계절별 (가을, 겨울철) 추세 분석 조사, 한국대기환경학회 추계학술대회논문집, 67-69.

정의석, 김선규, 임문혁, 홍현수, 임봉빈, 김주인, 김선태 (2004) 직접관능법을 응용한 악취 평가 및 해석 방법, 한국대기환경학회 추계학술대회논문집, 382-384.  
吉榮康城 (2002) 냄새센서를 이용한 악취관리, 한국냄새환경학회지, 1(1), 70-75.

Tatsuo Okano, Hidehisa Iwamoto, Tadashi Taguchi, Tsutoshi Morizumi, and Minoru Negishi (2006) The correlation between the equivalent value of the odor-index and the measured value of the odor measuring equipment, J. Japan Association on Odor Environment, 37(3), 186-189.