

Pseudo Inverse를 이용한 악취분류와 악취원 분석

유숙현[†], 박상진^{††}, 구윤서^{†††}, 권희용^{††††}

요 약

본 논문에서는 특정 시점, 특정 장소의 대기 중에 발생하는 악취의 발생원을 추적하기 위한 악취분류 및 악취원 분석 방법을 제안한다. 이를 위해 악취원별 대표패턴의 생성이 필요하다. 이에 주요 악취원에서 측정한 67개의 악취를 악취 대표패턴으로 생성하였다. 또한, 여러 악취가 대기 중에서 섞였을 경우를 고려하여 2~3개의 악취들을 조합하여 복합 악취 대표패턴을 생성하였고, pseudo inverse method를 이용하여 악취에 대한 악취원들의 가중치를 계산하였다. 그 결과 해당 악취를 발생시킨 악취원들과 악취에 대한 기여도를 알아낼 수 있었다. 이러한 본 연구의 성과는 악취 관련 민원해결에 기여할 것으로 전망된다.

Odor Classification and Source Analysis using Pseudo Inverse

Suk-Hyun Yu[†], Sang-jin Park^{††}, Youn-Seo Koo^{†††}, Hee-Yong Kwon[†]

ABSTRACT

In this paper, odor classification and source analysis methods are proposed to trace odor sources in the air at the specific place and period. It is necessary to generate representative patterns in order to classify the various odors efficiently. We, therefore, create 67 kinds of odor representative patterns measured from the main sources. Considering the air mixed with various odors, several mixed representative patterns for odor sources are generated with the combination of two or three different odors. In addition, the weight of odor sources for an odor from a civil complaint region are computed using pseudo inverse method. As a result, we can trace and identify the odor sources to lead to a specific odor and the contribution of each source. The results of this study will be useful for settling the civil complaint related with odors.

Key words: Pattern Recognition(패턴인식), Pseudo Inverse(의사역행렬), Odor Classification(악취 분류)

1. 서 론

악취란 황화수소, 머캡탄류, 아민류 및 기타 자극성 있는 기체성 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 정의되어 있으며, 악취물질이라 함은 사람의 일상생활에 불쾌감을 주는 황화합물, 석탄산 또는 그 화합물, 기타 자극성 있는 기체

성 물질이다[1,2].

현재 국내에서는 삶의 질의 향상과 쾌적한 공기질에서 생활하고자 하는 욕구가 높아짐에 따라 악취와 관련된 민원이 산업단지를 포함하여 생활주변에 위치한 다양한 시설로 인하여 급증하고 있다. 이러한 민원해결을 위해서 현재 시행되고 있는 방법은 악취를 제거할 수 있는 악취방지설비를 구축하는 것이다.

* 교신저자(Corresponding Author) : 권희용, 주소 : 경기도 안양시 만안5동 만안대학교 컴퓨터공학과, 전화 : 031) 467-0878, E-mail : hykwon@anyang.ac.kr

접수일 : 2010년 2월 18일, 수정일 : 2010년 4월 13일
완료일 : 2010년 4월 27일

[†] 준희원, 안양대학교 컴퓨터공학과 박사과정

(E-mail : juklim333@dreamwiz.com)

^{††} 정희원, 우송대학교 철도건설환경공학과 교수
(E-mail : sjpark9731@hanmail.net)

^{†††} 정희원, 안양대학교 환경공학과 교수
(E-mail : koo@anyang.ac.kr)

^{††††} 종신희원, 안양대학교 컴퓨터공학과 교수

하지만 악취방지시설은 활성탄 흡착탑과 습식 스크러버로서, 악취제거효율을 유지하기 위해서는 지속적인 유지관리가 요구되고 있는데, 영세업체들의 경우 관리기술의 부족으로 활성탄과 세정수의 관리 및 교체가 제대로 이루어지지 않아 악취를 포함한 유해 대기 오염물질의 제거효율이 매우 낮았다. 또한 악취방지시설이 제대로 가동되고 있지 못한 근본적인 원인으로는 형식적인 악취방지 규제와 설비유지 비용의 과다 등을 들 수 있다[3,4]. 게다가 대기중에서 발생한 악취는 추적하기가 용이하지 않아 악취에 대한 책임이 어느 사업장에 있는지 판별하기가 어렵다는 점이 악취민원을 처리하는데 장애로 작용되고 있다. 때문에 보다 근본적으로 악취민원을 해결하기 위해서는 단순히 악취제거시설을 운영하기에 앞서 정확히 악취를 측정하고, 판별할 수 있는 악취모니터링이 요구된다.

기존에 시행되고 있는 악취모니터링 기술은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 인간의 후각을 이용하여 직접 모니터링 하는 후각 측정법과 둘째, 기기를 활용하는 방법으로 현장에서 직접 모니터할 수 있는 센서방식과 샘플링 후 실험실에서 분석하는 기기분석법이 있다. 후각측정법은 인간의 후각을 기초로 평가하므로 민원 대응에 용이하지만, 다수의 악취판정인이 필요하고, 주관적이며, 위험한 가스를 흡입할 수 있다는 단점이 있다. 기기분석법은 가스 내 악취 함유물질 분석에 적합하지만, 악취강도, 냄새의 질 등 현장복합악취에 대한 종합적인 평가가 불가능하다. 악취센서방식은 현장복합악취를 측정할 수 있고, 측정요원에 의한 측정오차가 없으나 후각과의 상관성을 완전히 표현하는 것이 어렵다는 점과 저농도 측정에 한계가 있다는 단점이 있다.

현재 국내에서는 주거지역이 산업단지와 거리상으로 가깝고, 다수의 악취 유발업종이 밀집되어 있어 악취피해가 큰 지역을 중심으로 악취모니터링 시스템이 운영되고 있다.

전의찬 등은 안산지역을 대상으로 주요 악취 오염원을 대상으로 발생지점을 파악하고, 표본 채취 및 기기분석을 통하여 악취물질의 종류를 파악하여 악취배출원 DB를 구축하였고, 기상특성을 파악하여 악취물질의 이동경로를 파악하였다. 또한 안산지역의 악취배출특성, 지형특성, 기상특성이 반영된 악취모델링 시스템을 이용하여 악취 오염원이 주변지역

에 미치는 영향을 평가하고, 주요 악취배출 업종의 악취배출현황을 파악하여 악취저감계획을 수립하였다[5]. 또한 안산시에서 On-Line GC를 이용하여 대기 중의 개별적인 악취오염물질에 대한 농도 측정 및 모니터링을 실시하고 있는 실정이다[6].

시화, 반월공단을 대상으로 나경호 등은 악취측정소에서 측정되는 분석자료를 통해 실시간 악취 fingerprint를 생성한 다음, 이를 수용점으로 악취이동 경로 및 업종별 악취배출특성을 이용한 악취 배출원 추적가능성을 연구하였다[7].

김학철 등은 악취측정센서와 CDMA 무선 통신망을 연동하여 원격으로 현장의 악취농도를 실시간으로 모니터링하며 임계치 이상으로 악취 발생시 현장에서 자동으로 공기를 포집하는 시스템을 제안했으며, 이는 대전 3,4 공단 인근 지역 2곳에서 시범적으로 설치 운영하고 있다[8].

국외에서 운용되고 있는 대표적인 악취모니터링 시스템은 캐나다의 Odowatch System과 일본의 Futaba System이 있다. Odowatch System은 16개 센서를 활용한 패턴인식에 의한 전자코 시스템방식으로 Olfactor meter에 의한 OU/m²를 입력 자료로 하는 ISC3모델을 이용한 악취모델링 시스템과 연동된다. Futaba System은 경질계, 중질계, NH₃, H₂S 등 4개 센서가 장착되어 있고, 풍향, 풍속 등 기상장비가 장착되어 있으며, Vector방식, semi-pattern 인식 프로그램을 활용하여 적정 검량선을 채택하는 방식을 활용하고 있다[9].

이와 같이 현재 국내에서 운용되고 있는 악취모니터링은 악취발생원의 주요 악취물질을 분석하고, 주변에 어떤 영향을 미치는지 평가하고, 악취방지시설을 운용하거나, 악취발생원으로부터 민원지역으로 악취를 추적해가는 방식이 대부분이다. 이런 방식들은 악취발생원의 악취측정에 중점을 둔 것으로 악취저감에는 효과를 볼 수 있지만, 대기중에서 악취가 섞여 형성된 복합악취에는 효과를 보기 어렵고, 민원지역에서 발생한 악취에 대해 책임이 있는 사업장을 추적하는 것도 쉽지 않다. 또한, 유럽과 미국 등에서 사용되고 있는 Odowatch System과 일본에서 사용 중인 Futaba System등은 복합악취에 대한 효과가 있지만, 고가의 장비라는 점과 A/S가 어렵다는 점 등을 미루어 볼 때 국내에서 활용되기 어려움이 있는 시스템이다.

따라서, 본 논문에서는 안정적이고 지속적으로 실시간 악취를 측정하기에 알맞은 sensor array로 악취를 측정한 후 패턴분류기에 의해 악취를 판별하는 악취추적방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 먼저 악취발생원과 민원지역의 악취를 센서어레이로 측정하고 악취발생 사업장을 대표하는 고유한 악취 대표패턴을 생성하였다. 다음으로 미리 생성된 악취 대표패턴과 민원지역 악취의 유사도를 계산하여 악취의 종류를 분류하고, 악취에 대한 책임이 어느 사업장에 있는지와 악취에 대한 기여도를 판별하였다. 이러한 악취추적시스템의 결과물은 악취에 대한 발생원들의 책임을 명확히 할 수 있는 객관적 자료로써, 악취발생원들이 보다 능동적으로 악취관리시설을 운영하게 하는 동기가 될 수 있다.

악취의 종류를 판별하기 위해서 필요한 악취대표 패턴은 대전 3,4 공단 내의 20개 주요 악취민원 발생 사업장에서 처리공정별로 측정한 67개의 악취를 기준으로 생성하였다. 또한 민원지역에서 발생한 악취가 단일 사업장에서 발생시킨 악취가 아니라, 대기 중에서 여러 개의 악취가 섞였을 경우를 고려하여 단일 악취대표패턴 2~3개를 조합하여 악취분류에 효과적인 복합악취 대표패턴을 생성하였다. 이렇게 생성된 악취 대표패턴을 이용한 분류방법은 악취를 발생시킨 사업장 뿐 아니라, 악취에 대한 기여도도 분석할 수 있었다. 또한 악취에 대한 책임이 있는 사업장의 기여도는 pseudo inverse method를 이용하여 연산 및 속도의 효율을 높였다.

이러한 본 논문의 결과는 악취발생 사업장들이 능동적으로 악취제거시설을 운영하도록 하고, 악취민원 해결에 보다 효율적으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구방법

대기 중에 발생한 특정 악취의 종류를 판별하기 위해서는 센서를 이용하여 악취를 측정하고, 그 측정값과 미리 생성해 놓은 악취 대표패턴과의 유사도를 계산하여 가장 유사도가 높은 부류로 결정해야 한다. 비슷한 냄새를 가지는 악취들은 비슷한 센서 측정치를 가진다고 가정할 때, 분류를 수행한 결과 비슷한 악취끼리 군집을 형성하게 되고, 군집 분석과정을 통해서 악취 대표패턴의 성능을 평가할 수 있다.

2.1 악취의 표현과 유사도

악취를 센서로 측정하면 각 센서마다 측정값이 발생하고, 특정 악취에 대해 식(1)과 같은 형태의 자료를 획득할 수 있다.

$$X_i = [s_1 \ s_2 \ s_3 \ \dots \ s_j, \ \dots \ s_n] \quad (1)$$

(X_i : 냄새 i , s_j : j 번째 센서의 측정값, n : 센서의 수)

이 측정 자료 값 벡터 X 는 n 차원 공간(패턴 공간)상의 한 점으로 표시할 수 있다. 따라서 같은 종류의 냄새에 대한 측정값은 패턴 공간상에서 특정 장소에 모여 있게 된다. 이렇게 같은 종류의 측정값이 모여 형성한 집합을 군집이라 하고, 임의의 측정 자료들을 군집별로 나누는 처리 과정을 군집화라고 할 수 있다. 이때 같은 종류의 냄새인지를 판별하는 척도를 유사도라고 하면, 식(2)와 같이 정의 할 수 있다.

$$D = || X_i - X_j || = \sqrt{\sum_k (s_{ik} - s_{jk})^2} \quad (2)$$

이것은 패턴 공간상의 두 측정값 벡터 X_i 와 X_j 간의 유clidean 거리(Euclidean Distance)를 유사도로 이용한 것으로 유사한 패턴일수록 측정값은 유사할 것이고, 패턴 공간상에서 거리가 가까울 것이라는 가정에서 출발한다. 본 논문에서는 악취분류를 수행함에 있어 군집화 처리과정을 거치지 않고, 미리 생성한 악취 대표패턴과 센서로 측정한 민원지역의 악취데이터의 거리를 계산하는데 식(2)의 유사도를 사용하였다.

2.2 악취대표패턴의 성능평가

악취 대표패턴과 민원지역의 각 악취 데이터와의 유사도를 계산하여 악취를 분류하게 되면 비슷한 악취는 같은 군집에 속하게 된다. 만일 악취분류에 이용된 악취 대표패턴의 성능이 좋다면, 분류된 군집의 분산은 작고, 악취 대표패턴과 각 악취 데이터간의 거리도 작을 것이다. 식(3)은 악취 대표패턴의 성능을 평가하기 위한 지표이다[10].

$$J = \sum_{j=1}^{N_c} \sum_{X \in S_j} \|X - m_j\|^2 \quad (3)$$

여기서 N_c 는 군집 영역의 개수이고, S_j 는 j 번째 군집 영역에 속하는 표본 집합이며, m_j 는 집합 S_j 에 속하는 표본 패턴들의 평균 벡터로 식(4)와 같다.

$$m_j = \frac{1}{N} \sum_{X \in S_j} X \quad (4)$$

성능 지표 J 는 군집 영역에 속하는 측정값들과 그들의 평균값과의 차를 제곱하여 합산한 것이다. 따라서 군집화가 잘 될수록 이 값은 작아진다.

3. 악취대표패턴 생성

3.1 단일 악취대표패턴

본 논문에서는 20개의 주요한 악취 민원 사업장에서 처리 공정별로 측정한 67개의 악취데이터를 기준으로 민원지역 악취데이터를 분류하였다. 악취데이터는 24개의 센서로 구성되어 있는 센서어레이를 사용하여 분단위로 측정하였고, 그 중 센서가 안정 상태를 유지하는 구간의 데이터를 취하여 악취대표패턴을 생성하였다. 따라서, 만일 민원지역의 악취에 대해 영향이 있는 사업장이 한 곳이라 가정했을 때, 단일 악취대표패턴은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$X_i = [s_1 s_2 \cdots s_{24}]. \quad (5)$$

식(5)에서 X_i 는 각 사업장의 악취를 대표하는 67개의 악취대표패턴 중 악취대표패턴 i 를 의미하며, 센서의 수가 24개이므로 24차원의 벡터로 표현될 수 있다.

3.2 복합 악취대표패턴

민원지역에서 발생한 악취가 한 사업장에서 기인된 냄새라면, 3.1에서 소개한 단일 악취대표패턴으로 악취의 종류를 분류할 수 있다. 하지만, 민원지역에서 발생한 악취들은 반드시 하나의 사업장에서 배출된 악취라고 볼 수 없다. 대기 중에서 여러 사업장의 악취가 섞일 수 있기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 여러 사업장의 악취가 섞인 경우에 대해서 효율적으로 분류하고자 악취 발생원에서 측정하고 생성한 단일 악취대표패턴들의 가능한 모든 경우를 조합하여 새로운 악취대표패턴을 생성하고 이를 악취분류에 사용하였다. 이러한 일련의 수행절차는 다음과 같고, 이 과정을 통해 생성된 악취대표패턴을 복합 악취대표패턴이라 한다.

step 1 : 24차원의 악취데이터를 정규화한다.

$$\text{Normalization}(x_{ij}) = \frac{x_{ij}}{\text{Max}(x_{ij})}, \forall x_{ij}$$

(i : odor number, j : dimension number)

step 2 : 67개의 단일 악취대표패턴을 기준으로 가능한 단일 악취대표패턴의 조합과 가중치(0.1 ~ 1.0)의 조합을 Lookup Table로 구성한다.

step 3 : 단계 2에서 생성한 Lookup Table의 내용대로 복합 악취대표패턴을 생성한다.

$$m Odor_i = \sum_{m=1}^{comp} (odor_j \times w_k)$$

($m Odor$: 합성된 복합 악취대표패턴, $comp$: 합성 할 단일 악취대표패턴의 개수, j : 단일 악취대표패턴 번호, k : 가중치 번호, $odor_j$: j 번째 단일 악취대표패턴, W_k : k 번째 가중치)

step 4 : 모든 입력패턴에 대해 단계 3에서 생성된 복합 악취대표패턴과의 유사도를 측정하여 거리가 가장 가까운 군집에 배정한다.

$$D = || X_i - X_j || = \sqrt{\sum_k (s_{ik} - s_{jk})^2}$$

위에서 소개한 복합 악취대표패턴을 생성하는데 있어서 중요한 두 parameter는 단일 악취대표패턴과 그 단일 악취대표패턴의 악취에 대한 기여도이다. 예를 들어, 민원지역의 한 악취의 구성성분이 사업장 A의 악취가 10%, B가 50%, C가 40% 섞인 것이라면, 단일 악취대표패턴 [A,B,C]의 조합과 [0.1, 0.5, 0.4]의 가중치 조합으로 구성된 복합 악취 패턴과 가장 큰 유사도를 가지게 된다. 이는 해당 악취에 책임이 있는 사업장 A, B, C와 악취에 대한 기여도를 찾아낼 수 있다는 의미이다. 따라서, 이렇게 생성시킨 복합 악취대표패턴으로 민원지역의 악취분류를 수행하면, 해당 악취에 대해 어느 사업장이 연관되었는지 뿐만 아니라, 얼마나 영향을 미쳤는지를 나타내는 기여도도 분석할 수 있다.

3.3 Pseudo Inverse를 이용한 악취추적 알고리즘

3.1-3.2에서 소개한 단일 악취대표패턴과 복합 악취대표패턴은 민원지역의 악취를 분류하고, 악취를 발생시킨 사업장을 추적하는데 이용할 수 있다. 그러나, 복합 악취대표패턴의 경우, 67개의 단일 악취대표패턴과 가중치 테이블의 모든 가능한 조합을 계산해보면, 2개의 단일 악취대표패턴을 조합했을 경우 19,170개이고, 3개의 단일 악취대표패턴을 조합했을 경우 총 1,537,992개의 복합 악취대표패턴이 생성된다. 더구나 이것은 단지 가중치를 0.1단위로 증가시

키면서 조합할 경우에 해당하는 악취대표패턴의 수이다. 만일 가중치 테이블을 0.01단위 혹은 그 이하의 단위로 구성한다고 하면, 가능한 조합의 수는 기하급수적으로 늘어나게 될 것이다. 이것은 악취대표패턴과 민원지역의 악취의 유사도를 계산하여, 악취 발생원을 검색할 때 드는 시간과 악취대표패턴을 시스템에 유지시키는데 사용되는 메모리 양을 생각할 때, 너무 오버헤드가 큰 작업이다. 따라서, 본 논문에서는 이에 따른 비용을 감소시키고, 악취모니터링 시스템으로서의 실제 활용도를 높이기 위하여 미리 모든 복합 악취대표패턴의 가능한 조합을 생성하고 시스템에 유지시키는 방식이 아니라, 민원지역의 악취데이터와 유사도를 비교하는 과정에서 바로 기여도를 계산하는 방식을 취했다. 이 방식에는 pseudo inverse method를 사용하였다.

악취를 추적하는 과정은 민원지역의 악취와 복합 악취대표패턴과의 유사도를 계산해서 가장 가까운 유사도를 가지는 복합 악취대표패턴으로 분류하는 것이라 할 수 있다. 이때, 민원지역의 악취를 식(6), 복합 악취대표패턴을 식(7), 기여도를 식(8)로 나타낼 수 있으며, pseudo inverse method를 이용하면 특정악취에 대한 가장 적합한 기여도 A 를 찾을 수 있다. 이는 식(9)에서 설명된다[11-15].

$$Y = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_{24}] \quad (6)$$

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{n1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & x_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{124} & x_{224} & \dots & x_{n24} \end{bmatrix} \quad (7)$$

(n : 복합 악취대표패턴을 구성하는 단일 악취대표패턴의 수, x_{nl} : n 번째 단일 악취대표패턴의 1번 센서 측정치)

$$A = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

(n : 단일 악취대표패턴의 수, a_n : n 번째 단일 악취대표패턴의 기여도)

$$AX = Y \quad (9)$$

식(9)에서, X 는 복합 악취대표패턴, Y 는 민원지역의 악취이므로, X 를 Y 에 fit시키는 최적의 기여도 A 는 식(10)과 식(11)에서 설명한대로 전개하여 구할

수 있다.

$$AXX^T = YX^T \quad (10)$$

$$A = AXX^T(XX^T)^{-1} = YX^T(XX^T)^{-1} \quad (11)$$

식(6)~(11)에서 설명한 pseudo inverse를 이용한 악취 기여도 추적 알고리즘은 다음과 같이 진행된다.

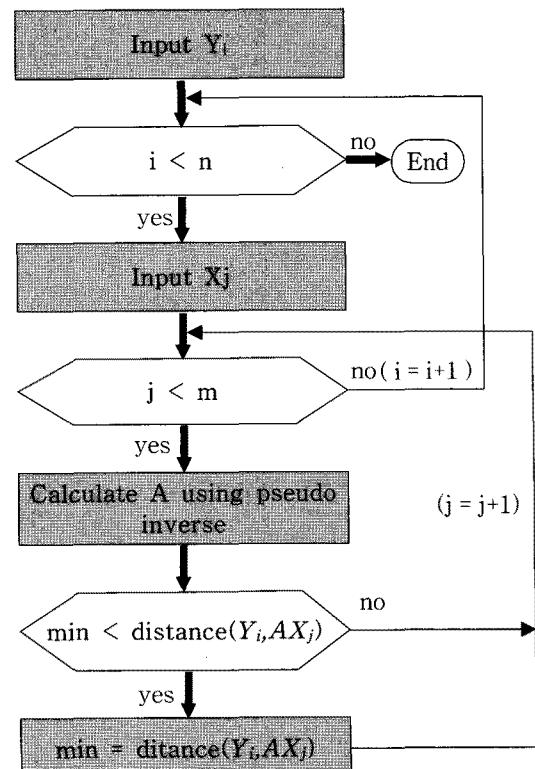


그림 1. Odor weight searching algorithm using pseudo inverse method

(Y_i : i -th odor in civil compliant

n : total odor number

X_j : j -th complex odor representative patterns

m : total number of complex odor representative patterns

A : weights of sources about Y_i)

4. 실험 및 결과

4.1 실험 환경

본 논문에서는 악취분류 및 악취원 추적을 위하여 24센서로 구성된 sensor array로 민원지역과 악취발

생원의 악취를 측정하였다. 그림 2에서 소개한 악취 측정에 사용된 sensor array는 MnCO(주)에서 개발 중인 제품을 개조한 것으로써, 사양은 1.6GHz 2Core CPU와 2GB의 Memory, 320GB의 HardDisk이고, 악취 측정 센서 및 온도, 습도, 압력 센서와 풍속과 풍향을 측정할 수 있는 기상 관측 장비가 부착되어 있다.

악취 발생원은 민원지역의 악취와 밀접한 관련이 있는 대전 3,4 공단 내 20개의 주요 악취 발생 사업장을 선정하였고, 각각 처리 공정별 3~4개씩 67개의 악취를 측정하였다.

민원지역은 악취 피해가 극심한 목상동 부근으로 선정하여 2009년 2월부터 2009년 5월까지 4개월 간 총 7807개의 악취를 측정하였다.

이렇게 각각 민원지역과 악취발생원에서 분단위로 측정된 악취데이터들은 24차원의 데이터로서, 센서가 안정상태를 유지하는 구간의 데이터만을 취하여 사용하고, 그 중 악취발생원의 데이터는 악취 대표패턴을 생성하는데 사용하였다.

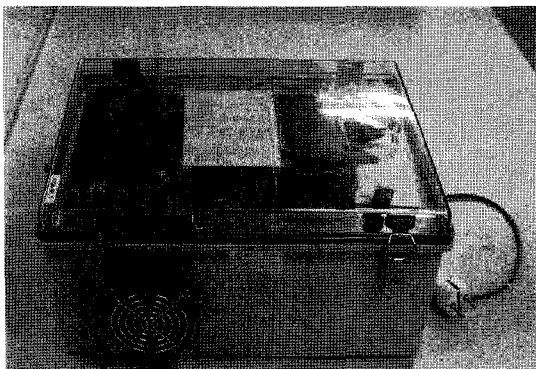


그림 2. 24sensor로 구성된 sensor array

4.2 실험내용

본 논문의 목적은 악취추적을 위하여 악취를 분류할 수 있는 악취대표패턴을 생성하고, 그것을 이용하여 민원지역 악취의 발생원과 기여도를 밝히는 것이다.

이를 위하여 다음의 세 가지 실험을 수행하였다.

첫째, 20개의 주요 사업장에서 측정한 67종류의 악취를 단일 악취대표패턴으로 생성하여 민원지역의 악취를 분류하는 실험이다. 이것은 한 악취에 대해서 악취발생원이 한 곳이라는 가정에서 출발한다. 즉, 민원지역에서 발생한 한 악취는 한 사업장에서 발생시킨 냄새라는 의미이다. 하지만 대기 중에서 발

생한 악취는 반드시 한 사업장의 악취로만 이루어졌다고 볼 수 없다.

따라서, 둘째로 대기 중에서 여러 가지 악취가 혼합되었을 경우를 고려하여 복합 악취대표패턴을 생성하고, 민원지역의 악취를 분류하는 실험을 수행하였다. 이를 위해 67개 단일 악취대표패턴에 대해 2~3개의 모든 가능한 조합을 구성하였고, 그 조합에 대해 가중치를 달리하여 생성되는 모든 가능한 경우를 복합 악취대표패턴으로 생성하였다. 여기서, 복합 악취대표패턴을 생성하는데 조합할 단일 악취대표패턴의 수를 단지 2~3개로 제한한 이유는 한 악취에 대해서 4개 이상의 사업장을 발생원으로 선정하는 것은 의미가 없기 때문이다. 이렇게 복합 악취대표패턴으로 악취를 분류하면, 임의의 악취에 대해 그 악취를 발생시킨 사업장들과 해당 악취에 대한 기여도를 확인할 수 있다. 하지만, 이렇게 단순이 모든 가능한 경우를 따져서 복합 악취대표패턴을 생성시키고, 그것을 시스템에 유지하는 것은 계산량과 시간, 시스템에 모두 큰 오버헤드를 초래한다.

따라서, 셋째로 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 기여도 계산에 pseudo inverse method를 이용하였다. 이 방법으로 악취를 분류할 때, 단지 67개의 단일 악취대표패턴의 모든 가능한 조합만 미리 생성하면 된다. 왜냐하면, 기여도는 악취대표패턴과 민원지역 악취의 유사도 비교 시에 계산할 수 있기 때문이다. 이 방법의 효율성은 두 번째 실험과 비교하면 극명하게 비교된다. 즉, 두 번째 실험대로 가능한 모든 2개의 단일 악취대표패턴과 가중치 테이블을 조합했을 경우는 19,170개의 복합 악취대표패턴을 시스템에 유지시켜야 하지만, pseudo inverse method를 이용하면 2,211개의 복합 악취대표패턴만 유지하면 된다. 마찬가지로 단일 악취대표패턴 3개를 조합했을 경우 두 번째 실험방식은 1,537,992개, pseudo inverse method를 이용하면, 47,905개의 복합 악취대표패턴이 생성된다. 이는 단순히 가중치를 배정하는 두 번째 실험방식에 비해 각각 88%와 97%로 계산량이 감소된 것으로 조합할 단일 악취대표패턴의 수가 늘어남에 따라 계산량 감소비율은 더 증가한다. 더구나 두 번째 실험방식에서는 복합 악취대표패턴을 생성할 때, 단지 가중치를 0.1단위로 조합했으므로 그 사이 존재하는 수많은 경우의 기여도가 무시되었지만, pseudo inverse method는 악취에 대한 정확한 기여

도를 계산해 낼 수 있다.

4.3 실험결과

4.2 절에서 소개한 세 가지 실험의 결과는 아래와 같다. 이 실험들에서는 두 종류의 복합 악취대표패턴이 생성되는데, 악취대표패턴을 2개 조합하여 생성한 복합 악취대표패턴을 2src 복합 악취대표패턴이라 하고, 단일 악취대표패턴 3개를 조합하여 생성한 복합 악취대표패턴을 3src라 정의하겠다.

첫 번째 실험은 67개 악취발생원의 악취를 단일 악취대표패턴으로 생성하고, 악취를 분류한 실험이다. 그림 3은 67개의 단일 악취대표패턴 중 악취에 가장 많은 영향을 끼친 사업장의 단일 악취대표패턴을 나타낸 그래프이고, 표 1은 단일 악취대표패턴으로 민원지역 악취 데이터를 분류한 결과 중 일부를 나타낸 것이다.

두 번째 실험은 67개의 단일 악취대표패턴을 2개, 3개씩 조합하여 복합 악취대표패턴을 생성하고, 악취를 분류한 실험이다. 여기서 표 2는 2src 복합 악취 대표패턴으로 민원지역 악취를 분류한 결과이고, 표 3은 3src 복합악취대표패턴으로 민원지역 악취를 분류한 결과이다.

표 1~표 3에서 20번 악취의 분류결과를 보면, 단

표 1. 단일 악취대표패턴으로 악취를 분류한 결과

악취번호	발생원	가여도
4	lotte	1
5	lotte	1
6	lotte	1
7	lotte	1
8	lotte	1
9	lotte	1
10	lotte	1
11	lotte	1
12	lotte	1
13	lotte	1
14	lotte	1
15	lotte	1
16	lotte	1
17	lotte	1
18	lotte	1
19	lotte	1
20	lotte	1
...
2147	lotte	1
2148	lotte	1
2149	lotte	1
2150	lotte	1
2151	lotte	1
...
5545	lotte	1
5546	lotte	1
5547	lotte	1
5548	lotte	1
5549	lotte	1
5550	lotte	1

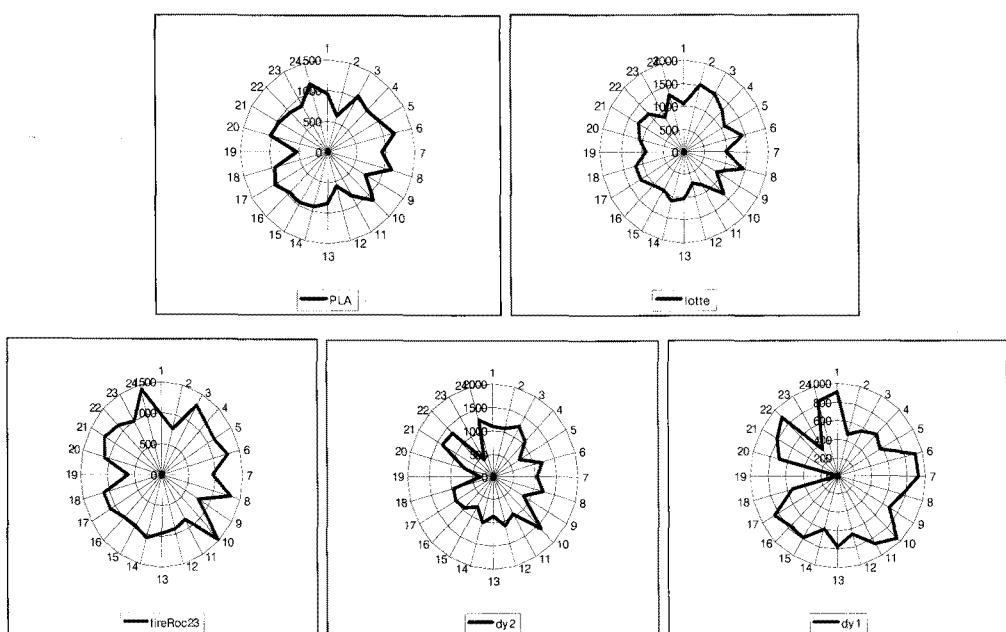


그림 3. 민원유발 상위 5개의 단일 악취대표패턴

표 2. 2src 복합 악취대표패턴으로 악취를 분류한 결과

악취번호	발생원1	기여도	발생원2	기여도
4	lotte	0.9	tirRCO	0.1
5	lotte	0.9	tirRCO	0.1
6	lotte	0.9	tirRCO	0.1
7	lotte	0.9	tirRCO	0.1
8	lotte	0.9	tirRCO	0.1
9	lotte	0.9	tirRCO	0.1
10	lotte	0.9	tirRCO	0.1
11	lotte	0.9	tirRCO	0.1
12	lotte	0.9	tirRCO	0.1
13	lotte	0.8	tirRCO	0.2
14	lotte	0.9	tirRCO	0.1
15	lotte	0.9	tirRCO	0.1
16	lotte	0.9	tirRCO	0.1
17	lotte	0.9	tirRCO	0.1
18	lotte	0.9	tirRCO	0.1
19	lotte	0.9	tirRCO	0.1
20	lotte	0.9	tirRCO	0.1
...
2147	lotte	0.8	envir	0.2
2148	lotte	0.8	envir	0.2
2149	lotte	0.8	envir	0.2
2150	lotte	0.8	envir	0.2
2151	lotte	0.8	envir	0.2
...
5545	lotte	0.7	dy2	0.3
5546	lotte	0.8	dy1	0.2
5547	lotte	0.8	dy1	0.2
5548	lotte	0.8	dy1	0.2
5549	lotte	0.8	dy1	0.2
5550	lotte	0.8	dy1	0.2

일 악취대표패턴으로 분류한 경우는 lotte사업장이 단독 악취발생원으로 분류되었고, 2src 복합 악취대표패턴으로 분류한 경우는 lotte사업장이 90%, tirRCO사업장이 10% 악취에 영향을 미친 것으로 분류되었다. 3src 복합 악취대표패턴으로 분류한 경우는 lotte사업장이 80%, tirRCO사업장이 10%, envir 사업장이 10% 악취에 영향을 미친 것으로 분류되었다.

이러한 결과는 민원지역의 악취를 단일 악취대표패턴으로 분류할 경우 가장 악취에 대해 큰 영향을 미친 사업장을 판별해내지만, 동일한 악취를 복합 악취대표패턴으로 분류하게 되면 1순위로 영향을 미친 사업장 뿐 아니라 다음 순위의 영향을 미친 사업장도 판별해내고, 기여도를 알아낼 수 있음을 나타낸다.

표 4와 그림 4에서는 악취분류 실험에 사용된 단일 악취대표패턴과 2src 복합 악취대표패턴, 3src 복

표 3. 3src 복합악취대표패턴으로 악취를 분류한 결과

악취 번호	발생원 1	기여도	발생원 2	기여도	발생원 3	기여도
4	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
5	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
6	lotte	0.7	tirRCO	0.2	envir	0.1
7	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
8	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
9	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
10	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
11	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
12	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
13	lotte	0.7	tirRCO	0.2	envir	0.1
14	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
15	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
16	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
17	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
18	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
19	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
20	lotte	0.8	tirRCO	0.1	envir	0.1
...
2147	lotte	0.7	envir	0.2	tirRCO	0.1
2148	lotte	0.7	envir	0.2	tirRCO	0.1
2149	lotte	0.8	envir	0.1	tirRCO	0.1
2150	lotte	0.8	envir	0.1	tirRCO	0.1
2151	lotte	0.7	envir	0.2	tirRCO	0.1
...
5545	lotte	0.6	dy2	0.2	envir	0.2
5546	lotte	0.7	dy1	0.2	envir	0.1
5547	lotte	0.7	dy1	0.2	envir	0.1
5548	lotte	0.7	dy1	0.2	envir	0.1
5549	lotte	0.7	dy1	0.2	envir	0.1
5550	lotte	0.7	dy1	0.2	envir	0.1

표 4. 악취대표패턴 성능평가 비교

악취대표 패턴종류	대표 패턴수	소속 패턴수	거리	분산	표준편차
단일	67	0	804	109,610	301.3
2src	19,170	92	512	95,737	198.3
3src	1,537,992	7,715	475	80,030	138.3

함 악취대표패턴의 성능을 나타내었다. 표 4에서 대표패턴 수는 악취대표패턴의 총 개수를 의미하고, 소속 패턴 수는 분류결과 각 악취대표패턴에 소속된 민원지역 악취의 수이며, 거리는 악취대표패턴과 소속된 악취간의 거리의 평균이다. 그림 4는 각각 3종류의 악취대표패턴으로 목상동 민원지역 악취를 분류했을 때, 각 악취대표패턴과 민원지역 악취와의 유사도 차이를 나타낸 것이다. x축은 민원지역에서 측

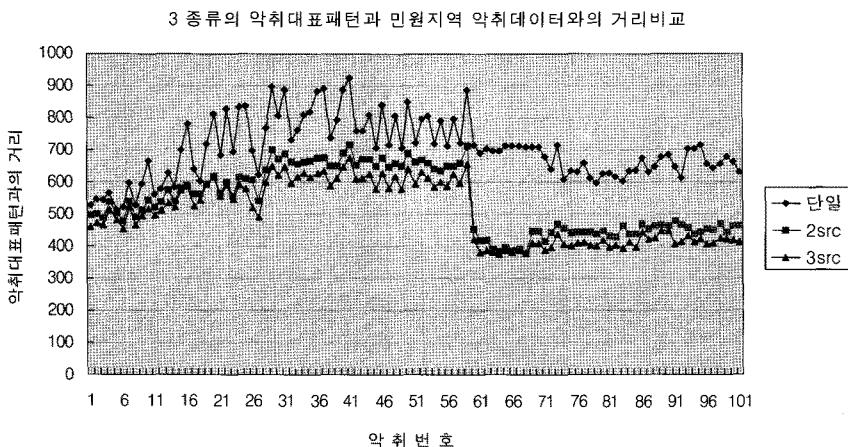


그림 4. 악취대표패턴들과 민원지역 악취간의 거리 비교

정한 악취들의 번호이고, y축은 악취대표패턴과 민원지역 악취사이의 거리이다. 이 거리가 작을수록 해당 악취대표패턴과 민원지역 악취가 더 큰 유사도를 갖는다. 2.2절에서 소개한 바와 같이 한 군집을 대표하는 대표패턴이 좋은 성능을 가진다면, 대표패턴과 소속 패턴간의 거리와 분산 및 표준편차는 작을 것이다. 아래의 표 4와 그림 4에서 보인바와 같이 세 종류의 악취대표패턴 중 3src 악취대표패턴이 악취데이터와의 거리가 가장 짧고, 분산 및 표준편차가 다른 2 종류의 악취대표패턴에 비하여 작은 값을 가져 좋은 성능을 가짐을 알 수 있다.

세 번째 실험은 복합 악취대표패턴으로 악취를 분류하되, pseudo inverse method를 이용하여 악취발생원의 기여도를 계산한 경우이다. 이 결과는 표 5와 표 6에 나타내었다. 예를 들어, 20번 악취에 대해 표 1~표 3에서 보인 단순 가중치 배정 방식에 의한 결과와 비교해 보면, 악취에 대해 영향을 미친 사업장 1순위가 lotte, 2순위가 tirRCO, 3순위가 envir로 동일한 것을 알 수 있다. 하지만, 기여도는 각각 83%, 12%, 2%로 단순 가중치 배정방식에 대해 좀 더 세밀하게 기여도를 계산해 볼 수 있는 것을 알 수 있다.

그림 5는 pseudo inverse 방식의 복합 악취대표패턴으로 민원지역의 악취를 분류한 결과로써, 3 종류의 악취대표패턴과 민원지역의 악취간의 거리를 비교한 것이다. 역시 단순 가중치 배정방식에 의한 복합악취 대표패턴의 경우와 마찬가지로 3src 복합 악취대표패턴이 민원지역 악취와의 유사도가 가장 높아 제일 좋은 성능을 가짐을 알 수 있다.

표 5. pseudo inverse method로 2src 복합 악취대표패턴으로 악취 분류결과

악취번호	발생원1	기여도	발생원2	기여도
4	lotte	0.89	tirRCO	0.12
5	lotte	0.88	tirRCO	0.12
6	lotte	0.85	tirRCO	0.14
7	lotte	0.88	tirRCO	0.12
8	lotte	0.89	tirRCO	0.10
9	lotte	0.88	tirRCO	0.10
10	lotte	0.86	tirRCO	0.11
11	lotte	0.87	tirRCO	0.11
12	lotte	0.83	tirRCO	0.14
13	lotte	0.82	tirRCO	0.16
14	lotte	0.84	tirRCO	0.13
15	lotte	0.83	tirRCO	0.13
16	lotte	0.87	tirRCO	0.11
17	lotte	0.87	tirRCO	0.11
18	lotte	0.85	tirRCO	0.12
19	lotte	0.87	tirRCO	0.10
20	lotte	0.85	tirRCO	0.13
...
2147	lotte	0.82	envir	0.17
2148	lotte	0.81	envir	0.18
2149	lotte	0.83	envir	0.17
2150	lotte	0.78	envir	0.27
2151	lotte	0.76	envir	0.28
...
5545	lotte	0.72	envir	0.18
5546	lotte	0.72	envir	0.16
5547	lotte	0.69	envir	0.25
5548	lotte	0.69	envir	0.24
5549	lotte	0.68	envir	0.24
5550	lotte	0.71	envir	0.17

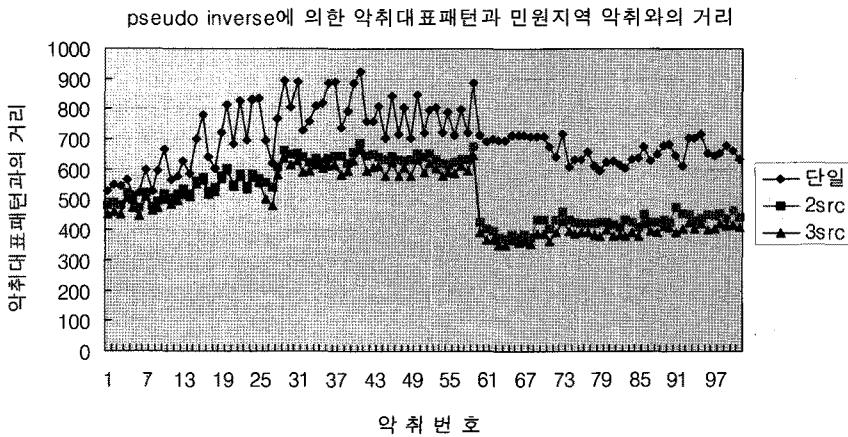


그림 5. pseudo inverse에 의한 악취대표패턴들과 민원지역 악취와의 거리 비교

표 6. pseudo inverse method에 의한 3src 복합 악취대표패턴으로 악취를 분류한 결과

악취 번호	발생원 1	기여도	발생원 2	기여도	발생원 3	기여도
4	lotte	0.83	tirRCO	0.10	envir	0.06
5	lotte	0.83	tirRCO	0.10	envir	0.05
6	lotte	0.78	tirRCO	0.14	envir	0.06
7	lotte	0.83	tirRCO	0.10	envir	0.05
8	lotte	0.84	tirRCO	0.09	envir	0.05
9	lotte	0.84	tirRCO	0.09	envir	0.05
10	lotte	0.82	tirRCO	0.10	envir	0.04
11	lotte	0.83	tirRCO	0.10	envir	0.06
12	lotte	0.80	tirRCO	0.13	envir	0.06
13	lotte	0.76	tirRCO	0.16	envir	0.05
14	lotte	0.81	tirRCO	0.12	envir	0.06
15	lotte	0.80	tirRCO	0.12	envir	0.05
16	lotte	0.84	tirRCO	0.10	envir	0.02
17	lotte	0.85	tirRCO	0.10	envir	0.02
18	lotte	0.82	tirRCO	0.11	envir	0.05
19	lotte	0.85	tirRCO	0.09	envir	0.02
20	lotte	0.83	tirRCO	0.12	envir	0.02
...
2147	lotte	0.76	envir	0.18	tirRCO	0.11
2148	lotte	0.76	envir	0.18	tirRCO	0.10
2149	lotte	0.77	envir	0.18	tirRCO	0.10
2150	lotte	0.76	envir	0.18	tirRCO	0.12
2151	lotte	0.74	envir	0.19	tirRCO	0.12
...
5545	lotte	0.66	envir	0.17	dy1	0.12
5546	lotte	0.65	envir	0.15	dy1	0.17
5547	lotte	0.66	envir	0.15	dy1	0.17
5548	lotte	0.66	envir	0.15	dy1	0.17
5549	lotte	0.64	envir	0.15	dy1	0.19
5550	lotte	0.64	envir	0.16	dy1	0.16

그림 6과 그림 7에서는 단순 가중치 배정방식의 복합 악취대표패턴과 pseudo inverse method를 이용한 복합 악취대표패턴의 성능을 비교하였다. 그림 6과 그림 7에서 단순 가중치 계열은 단순 가중치 배정방식에 의한 복합 악취대표패턴으로 악취를 분류했을 때, 민원지역 악취와의 거리를 의미하고, pseudo inverse 계열은 pseudo inverse method에 의한 복합 악취대표패턴으로 악취를 분류했을 때, 민원지역 악취와의 거리를 의미한다. 그림 6과 그림 7에서 보인 바와 같이 pseudo inverse method에 의한 복합 악취대표패턴이 민원지역 악취와의 유사도가 높아서 더 좋은 성능을 가짐을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 산업단지 주변에 급증하고 있는 악취민원저감 및 개선을 위한 하나의 방안으로 악취분류 및 악취원 분석 방법을 제안하였다.

제안된 방법은 먼저 주요한 악취발생원을 기준으로 악취 대표패턴을 생성하고, 생성된 악취대표패턴과 민원지역 악취간의 유사도를 비교하여 악취 발생원 판별 및 기여도를 계산하는 것이다. 그 결과 각기 하나의 사업장의 악취를 대표하는 단일 악취대표패턴과 여러 사업장의 악취가 조합된 복합 악취대표패턴이 생성되었다. 단일 악취대표패턴을 이용한 악취추적은 악취를 발생시킨 제일 주된 책임이 있는 사업장 하나만을 추적할 때 유효하고, 비교횟수가 적어서 빠른 시간안에 검색이 가능하다. 복합 악취대표패턴

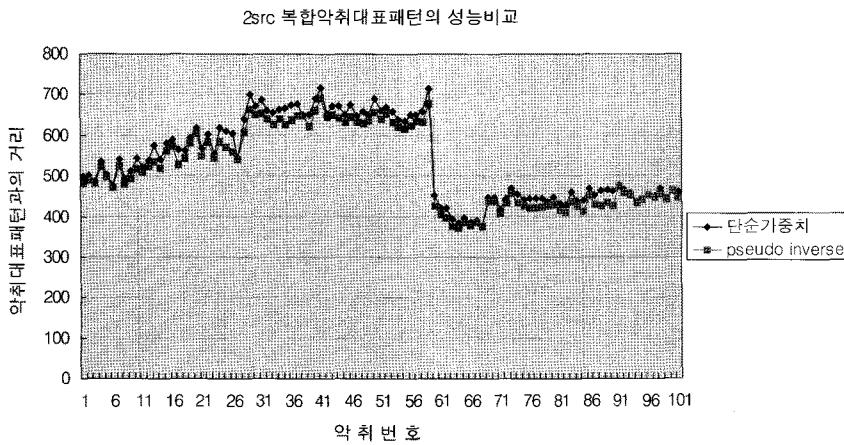


그림 6. 단순기종치방식과 pseudo inverse에 의한 2src 복합 악취대표패턴의 성능비교

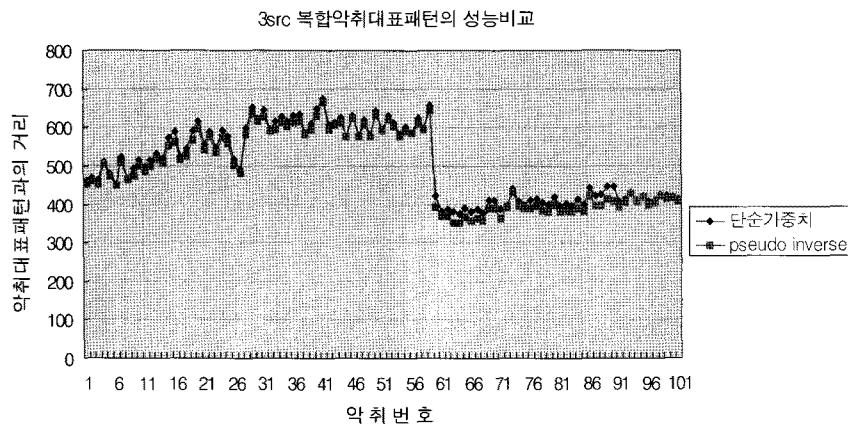


그림 7. 단순기종치방식과 pseudo inverse에 의한 3src 복합 악취대표패턴의 성능비교

을 이용한 악취추적은 악취에 책임이 있는 둘 이상의 사업장과 그 기여도를 추적할 수 있는 방법이다. 특히 복합악취대표패턴을 이용한 악취추적 방식에서 pseudo inverse method를 이용하여 검색의 효율성을 높였다.

군집분석방법에 의해 본 논문에서 제안한 악취대표패턴들을 평가한 결과 단일 악취대표패턴 3개를 조합한 복합 악취대표패턴이 분산은 작고, 민원지역의 악취데이터와의 유사도가 높아서 가장 우수한 성능을 보였다.

현재 국내에서 시행되고 있는 악취모니터링 시스템은 복합악취에 취약하고, 복합악취 판별기능이 있는 국외의 시스템은 너무 고가여서 도입이 어렵다. 이러한 현실을 고찰해 볼 때, 제안된 악취분류 및 악취원 분석 방법은 저가의 비용으로 악취를 측정할

수 있고, 측정된 악취를 빠르게 분류할 수 있으며, 복합악취에 대해 악취발생원뿐 아니라 기여도까지 알아낼 수 있어 실시간 악취모니터링 시스템으로서의 활용가치가 높을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 전국 환경 관리인연합회, “최신 환경 관제법규,” 동화기술, 서울, pp. 102, 1989.
- [2] 박상진, “하수처리장악취의 경제적인 제거방안: 악취현황기초조사를 중심으로,” 한국건설기술연구원, 고양, pp. 4, 1989. 12.
- [3] 박용호, “반월·시화산업단지 공동 악취관리시스템 제안 및 운영방안 연구,” 안산환경기술개발센터, 안산, pp. 3-6, 2008. 01.

- [4] 오일환, 서정윤, 김태형, “창원공단 주요 악취민원 발생지역 주변 악취발생 현황조사 및 저감방안에 관한 연구,” 한국환경과학회지, 제17권, 제5호, pp. 525-535, 2008. 03.
- [5] 전의찬, “안산지역 악취관리 방안연구,” 안산환경기술개발센터, 안산, pp. 3-9, 2006. 01.
- [6] 손경식, 김형수, 이갑상, 조현선, 신항식, 김학웅, 송기봉, 박강호, “안산지역 악취물질(황계열 및 탄화수소류)의 계절별(가을, 겨울철)추세 분석 조사,” 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집, pp. 67-69, 2006.
- [7] 나경호, 박용출, 장영기, “바람장 및 Fingerprint를 이용한 악취추적기법 활용가능성 평가,” 한국대기환경학회지, 제23권, 제1호, pp.1-13, 2007.
- [8] 김학철, 하상민, 홍현수, 김경옥, “실시간 악취모니터링 및 자동 공기 포집 시스템,” 한국대기환경학회지 제23권, 제1호, pp. 125-131, 2007.
- [9] 원호식, “안산시 산업단지 악취모니터링사업 개선방안 도출 및 시범사업,” 안산환경기술개발센터, 안산, pp. 35-64, 2008.
- [10] 이성환, 패턴인식의 원리 I, 흥룡과학출판사, 서울, pp. 90-92, 1997.
- [11] A. Ben-Israel and T.N.E. Greville, “Generalized inverses: Theory and Application,” Wiley-Interscience, 1974. second ed., Springer-Verlag, New York, 2002.
- [12] G. Wang, Y. Wei and S. Qiao, “Generalized Inverse: Theory and Computations,” Science Press, Beijing. 2004.
- [13] S.L. Campbell and C.D. Meyer, “Generalized Inverses of Linear Transformations,” Dover, 1991.
- [14] Lingsheng Meng and Bing Zheng, “The optimal perturbation bounds of the Moore-Penrose inverse under the Frobenius norm,” *Linerar Algebra and its Application*, Vol.432, Issue 4, pp. 956-963, February 2010.
- [15] Shu-fan Wang, Bing Zheng, Zhi-ping Xiong and Zi-zhen Li, “The condition numbers for weighted Moore-Penrose inverse and weighted linear least squares problem,” *Applied Mathematics and Computation*, Vol.215, Issue 1, pp.197-205, September 2009.



유숙현

1999년 안양대학교 컴퓨터공학과 학사
2002년 안양대학교 컴퓨터공학과 석사
2002년~현재 안양대학교, 대림대학 출강
2005년~현재 안양대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야: 패턴인식, 영상처리, 신경망, 악취모니터링



박상진

1979년 고려대학교 토목공학과 학사
1983년 고려대학교 토목공학과 석사
1993년 고려대학교 토목환경공학과 박사

1983년~1985년 한국종합기술개발공사 상하수도부, 계장
1985년~1995년 한국건설기술연구원 환경연구실, 수석 연구원
1995년~현재 우송대학교 철도건설환경공학과 교수
관심분야: 악취평가 및 제어, 하폐수처리 및 수질관리, 상하수도



구윤서

1982년 서울시립대학교 화학공학과 학사
1984년 서울대학교 화학공학과 석사
1994년 Louisiana State University 화학공학과 박사

1984년~1992년 산업과학연구원(RIST) 주임연구원
1994년~1995년 University of Sydney 박사후 연구원
1996년~현재 안양대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야: 대기질예보, 대기관리, 대기확산모델링, 악취모델링



권희용

1983년 서울대학교 전자계산기 공학과 학사
1985년 서울대학교 전자계산기 공학과 석사
1993년 서울대학교 컴퓨터공학과 박사

1986년~1995년 한국통신 연구개발단 선임연구원
1995년~현재 안양대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야: 패턴인식, 신경망, 영상처리, 병렬처리응용