

유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 실시간 악취유발물질 배출원의 모니터링 시스템

이형돈¹, 임해진^{2*}

¹(주) 맥스포, ²강원대학교 전자정보통신공학부

Real-time Monitoring Systems for Malodor Compounds Sources using Ubiquitous Sensor Networks

Hyung-Don Lee¹ and Hae-Jin Lim^{2*}

¹MAXFOR TECHNOLOGY INC.

²Division of Electronic and Information Communication Engineering, Kangwon National University

요 약 실시간으로 악취 유발 물질의 배출원에 대한 데이터를 구축하여 악취 민원에 효율적으로 대처할 수 있는 악취 정보 관리 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network : USN)기반의 악취 측정 시스템을 통하여 실시간적으로 수집된 악취 데이터를 데이터베이스에 축적 및 주기적으로 데이터를 조회하여 지도상에 표시함으로써 즉각적인 악취 배출상황을 확인할 수 있는 시스템을 구축하였다. 또한, 지도상의 센서노드 아이콘을 클릭함으로써 센서노드 주변의 업체 목록을 지도상 좌표 기준으로 조회, 강한 악취가 발생한 부근의 주변 업체 종류와 배출물질 종류를 파악할 수 있도록 하였다. 제안된 시스템은 이러한 정보로부터 업체관리 방안을 계획하여 악취배출 업체에 대한 관리 효율을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract Maintenance systems are demanded to manage malodor-information and deal effectively with the odor-related civil complaints by constructing the database for sources of malodor compounds in real time. In this paper, to carry out these tasks, a real-time monitoring system for malodor based on ubiquitous sensor networks(USN) is presented. The constructed monitoring system stores the malodor data collected periodically from industrial complex into the database and shows in real time the circumstances of the odor sources being emitted around the industrial complex by indicating on the map where it is taking place. Besides, by clicking an icon indicating the sensor node on the map, we can figure out what firms are located near the malodor source and possible material related with those firms. The proposed system is considered to enhance the efficiency of management of malodor-emitting firms based on the malodor-related information.

Key Words : Malodor monitoring system, USN

1. 서론

악취는 공업의 발전과 더불어 발생하며 특히 인구밀도가 높고 공업시설과 주거시설이 인접한 지역에서 민원의 형태로 발생하는 사회적 문제 중 하나이다. 특히 시화공단 및 반월공단에는 약 3,000여개의 환경오염물질 배출업소가 입주해 있으며, 공단지역에서 발생하는 악취유

발물질로 인한 지역 주민들의 민원 및 악취에 의한 피해가 속출하고 있다. 또한 반월공단과 인접한 지역에 새로운 주거지역이 조성되면서 해안 바람의 영향을 받게 되어 악취 민원이 급증하게 되었다[1-3]. 악취 민원 발생의 특성을 분석하기 위해 산업단지의 악취유발물질 배출원의 모니터링의 필요성이 요구되고 있다[4-6].

민간환경감시단을 조성하여 악취유발물질 배출원의

*교신저자 : 임해진(lhjjin@kangwon.ac.kr)

접수일 11년 11월 14일 수정일 (1차 11년 11월 14일, 2차 11년 12월 26일, 3차 12년 01월 12일, 3차 12년 01월 30일)
게재확정일 12년 02월 10일

모니터링하는 방법과 악취분석을 위해 주변 주거지역에 고정식 악취측정망을 구축하여 모니터링하는 방법들을 사용하였으나, 전자는 개개인의 후각적 성향에 따라 악취 측정치에 차이가 나는 문제가 발생하며[2], 후자는 악취가 발생하는 공간지역과 거리의 차이로 인하여 악취가 발생하는 위치를 정확히 파악할 수 없고 한 시간 주기로 측정된 결과를 수집하므로 민원이 발생하기 전 대처가 불가능하다[2, 6]. 모니터링을 위한 악취유발물질의 대상으로는 약 1천여가지의 악취를 유발하는 물질 중 황 성분들이 분포가 높았으며 이중 황화수소가 가장 높은 악취발생의 원인이 되었다[7]. 또한 질소 성분들의 경우 암모니아가 악취의 주요인이 된다. 휘발성 유기화합물질의 발생은 다른 물질 보다 악취발생 빈도는 적다. 그러나 분산 및 확산으로 인하여 측정이 어려우며 신경계 장애 유발 및 발암물질이기 때문에 배출원으로 부터 유기화합물질에 대한 유해 검출의 필요성이 매우 높다[4]. 이러한 문제점들을 해결하기위해 센서 네트워크[8, 9]를 이용한 악취배출원 모니터링 방안이 제안되었으나[2, 4] 실제로 설치하여 필드에서의 운영 및 테스트된바 없다. 지금까지는 주로 측정 방법에 대해서만 제안되었으며, 실제 모니터링 어플리케이션의 구성에 대해서는 제시되지 않았다.

본 논문에서는 이러한 산업단지의 악취모니터링의 필요한 요구조건을 만족하고, 실제 악취 유발 물질을 발생하는 위치를 파악하여 악취 관련 민원에 효과적으로 대처하고 악취 유발 물질 배출원을 효율적으로 관리 및 단속을 할 수 있는 모니터링 시스템의 구축을 제안한다.

제안된 시스템을 구현하기 위해 센서에서 측정된 악취 유발물질을 공간지역에서 배출을 허용하는 농도를 기준으로 3단계의 상태로 구분할 수 있는 수식을 사용하여, 악취의 발생 상태를 그래픽 인터페이스로 표현하며, 높은 세기의 악취가 감지되는 센서의 주변 업체를 특정 범위로 선택하여 조회할 수 있는 어플리케이션을 구현하여 현장검정을 통하여 확인한다.

2. 실시간 악취 유발 물질 배출원 감지 모니터링 시스템 구성 및 기능

2.1 USN 기반 악취 유발 물질 배출원 감지 모니터링 시스템

제안된 USN 기반의 악취 유발 물질 배출원 감지 모니터링 시스템은 그림 1과 같이 센서노드, 중계노드, 게이트웨이, 미들웨어, 데이터베이스서버, 모니터링클라이언트로 구성된다. 센서 필드는 악취유발물질을 감지하는 다

수의 센서들이 관리 대상 공간에 독립적으로 배치되며 각 센서가 감지한 데이터는 중계노드, 게이트웨이 이더넷망을 통해 서버에 전송하도록 센서네트워크를 구성하였다. 측정된 악취 데이터는 미들웨어 서버에 취합되어 미들웨어 어플리케이션을 통하여 데이터베이스에 저장함에 동시에 모니터링 프로그램의 인터페이스를 통해 실시간으로 화면에 출력하고 각종 기능을 수행하는 응용프로그램을 실행한다.

본 장에서는 시스템의 각 구성 부분들과 그들의 기능에 대하여 설명한다.



[그림 1] USN 기반의 악취 유발 물질 배출원 감지 모니터링 시스템

[Fig. 1] USN-based Malodor Detection System for Malodor Sources

2.1.1 악취 배출 물질 감지노드

악취 배출 물질 감지노드는 센서로부터 검출된 신호를 데이터로 변환하는 악취 수집모듈과 수집된 데이터를 센서 네트워크로 전송하는 역할을 수행하는 센서노드로 구성되어 있으며 맥스포사의 MTM-CM3100-MSP을 이용하였다[15]. 악취 수집모듈은 산업단지에서 발생하는 악취유발물질 중 악취 기여도가 높은 물질로 조사된 황화수소 및 암모니아를 측정하는 센서들로 구성되어 있으며, 악취 기여도가 다소 낮으나 신경계 장애 유발 및 발암물질로 측정의 중요성이 부각된 VOC 계열의 물질을 감지하기 위해 PID 센서들로 구성되어 있다[4,12,13,16].

그림 2는 악취 수집보드에 설치된 센서의 종류 및 외형이다[11].



(a) 황화수소 센서 (b) 암모니아 센서 (c) PID 센서

[그림 2] 악취 수집보드에 사용된 센서

[Fig. 2] Sensors used the Malodor Detection Node

센서에서 검출된 아날로그 신호들은 디지털 신호로 변환하기 위해 Atmega128에 내장된 아날로그-디지털변환기(Analog-to-digital Converter; ADC)를 사용하여 센서에

서 감지된 물질의 농도를 얻는다. 각 센서별로 감지할 수 있는 물질의 농도는 아래 표 1과 같다.

[표 1] 측정 항목 별 감지 사양
[Table 1] Detection Specification of Measurement Items

측정항목	측정 범위	감지 해상도
황화수소 (H ₂ S)	0~5 ppm (0.06ppm이하*)	1 ppb
암모니아 (NH ₃)	0~5 ppm (2ppm이하*)	1 ppb
VOC	0~30 ppm (30ppm이하*)	1 ppb
온도	-40~100 ℃	0.1 ℃
습도	0~100 %	0.1 %

* : 약취의 국가배출허용기준

각 센서의 측정범위는 표 1과 같으며 측정 범위의 단위 중 ppm은 대기 중의 특정 물질이 포함되어 있는 농도로 1ppm은 대기 중 0.0001%의 농도로 물질이 포함되어 있는 의미를 가지며 ppb는 0.001ppm을 의미한다. 또한 약취 물질 감지 센서인 경우 ppb단위의 농도까지 측정 가능하며 온도 및 습도 분해 능력은 0.1단위로 측정 가능하다. 주기적으로 센서노드에서 발생된 약취 유발물질의 측정데이터를 얻기 위하여 시리얼 통신을 이용하여 요청 메시지를 약취수집모듈로 전송한다.

2.1.2 중계노드

중계노드는 약취 배출 물질 감지노드인 센서노드와 동일한 하드웨어를 사용한다. 센서노드를 제어하기 위해 사용되는 칩셋은 TI사에서 나온 MSP430F1611을 사용하였다. 센서 네트워크로 데이터를 전송하기 위해 사용된 CC2420은 IEEE 802.15.4를 지원하는 RF 칩으로 2.4GHz의 주파수 대역과 250Kbps의 데이터 전송속도를 지원한다.

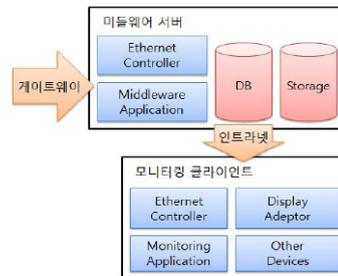
2.1.3 게이트웨이

센서 네트워크에서 사용되는 무선 네트워크 시스템은 PC환경에서 사용하는 Ethernet 망으로 이루어진 네트워크와 다르기 때문에 이들의 중간에서 매개체 역할을 수행하는 시스템이 요구된다. 이러한 역할을 수행 하는 하드웨어를 게이트웨이라 한다. 사용된 제품의 모델은 GW-AU1200이다[15]. 게이트웨이는 중계노드와 시리얼 통신을 통하여 센서네트워크의 데이터를 받는다. 중계노드로부터 전송된 프레임은 CRC에 의하여 데이터의 오류 유무를 판별한다. 만약 오류가 발생하면 버리게 되고 변

형되지 않음이 확인된 프레임은 TCP/IP 소켓 통신을 사용하여 Ethernet 망으로 구성된 네트워크를 통해 서버로 전송한다.

2.1.4 미들웨어 서버

미들웨어 서버의 주된 역할은 센서 네트워크에서 수집된 데이터를 최종적으로 데이터베이스에 저장시켜 축적시키며, 부가적으로 모니터링 클라이언트로 측정된 데이터를 제공하는 역할을 수행한다. 이를 위해 수집된 데이터를 표준화된 구조의 데이터베이스로 축적시키기 위한 미들웨어 어플리케이션이 설치되며, 데이터베이스의 물리적 데이터 저장장치로 대용량 Storage가 구성된다. 이러한 미들웨어 서버의 전체 구성은 그림 3과 같다.



[그림 3] 미들웨어 시스템 구성도
[Fig. 3] Middleware System Configuration

Ethernet 망으로 구성된 유선 네트워크로부터 게이트웨이의 데이터가 수신되며, 수신된 센서 데이터는 미들웨어 어플리케이션을 통해 처리된다. 약취 감지노드로부터 전송된 데이터는 Payload 필드 데이터를 분석하여 데이터베이스에 저장하며, 해당 필드의 내용은 약취 수집보드에서 응답하여 생성된 패킷구조를 따르는 데이터가 존재한다. 모니터링 클라이언트는 수집된 데이터를 사용자의 모니터링 목적에 적합한 형태로 정보를 제공하는 역할을 하며, 미들웨어를 통해 데이터베이스로 축적된 데이터를 주기적으로 조회하는 방식으로 최신데이터를 어플리케이션에서 갱신한다. 일반적으로 모니터링 클라이언트와 미들웨어 서버는 내부 네트워크로 구성된 인트라넷으로 물리적으로 연결되어 수집된 정보를 요청하여 제공받는다.

3. 실시간 약취 유발 물질 배출원 감지 모니터링 클라이언트

본 논문에서 제안하려는 약취 감지 모니터링 클라이언트의 구성도는 그림 4와 같다. 센서 네트워크에서 이더넷

망을 통하여 미들웨어 서버로 전송되면 미들웨어 어플리케이션을 통하여 데이터베이스로 축적된 악취 데이터가 축적된다. 모니터링 시스템은 운영 방법상 크게 PC 어플리케이션과 웹 서비스 어플리케이션으로 구분된다[18].

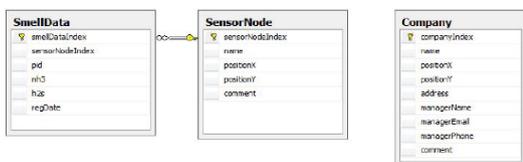


[그림 4] 악취 감지 모니터링 클라이언트의 구성도
[Fig. 4] Configuration of Malodor Monitoring Client

본 모니터링 시스템은 폭넓게 상용화된 방법인 PC 어플리케이션을 기반으로 구성하였다. 미들웨어로부터 전송된 센서 데이터를 사용하며 모니터링 어플리케이션에서는 센서 위치정보, 업체 위치정보 및 상세정보를 저장하기 위한 테이블들을 별도로 구축하여 정보를 제공한다. 모니터링 클라이언트는 인트라넷(Intranet)으로 구성된 네트워크를 통하여 미들웨어 서버로부터 센서 정보를 수집하여 센서의 위치를 표시하기 위한 데이터로 사용하며 축적된 센서 데이터를 주기적으로 조회하여 실시간 모니터링을 수행한다.

3.1 데이터베이스 구성

미들웨어 어플리케이션을 통해 저장된 데이터는 악취 데이터 테이블을 구성하고 모니터링 어플리케이션을 위해 추가로 구축된 테이블을 포함한 전체 테이블 구성은 그림 5와 같이 설계되었다. 센서노드의 위치정보가 저장되는 SensorNode 테이블과 위치를 기준으로 주변 업체의 정보를 조회하기 위한 Company 테이블 및 USN 기반의 악취 측정 시스템에서 수집되는 실시간적인 악취 데이터가 저장되는 SmellData 테이블로 구성하였다. 실시간 악취 감지 모니터링 시스템에서 사용하는 데이터베이스 테이블 구성 내용은 표 2와 같다.



[그림 5] 구성된 테이블의 클래스 다이어그램
[Fig. 5] Constructed Table of Class Diagram

[표 2] 구성된 테이블 구성 및 역할
[Table 2] Part of Constructed Table

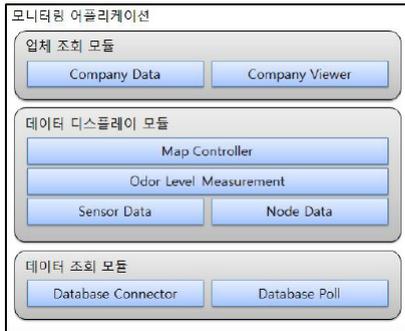
테이블 명	필드	데이터
SensorNode	sensorNodeIndex	테이블의 주 키
	name	임의로 지정된 센서의 이름
	positionX	지도상의 센서 위치 중 X 좌표 값
	positionY	지도상의 센서 위치 중 Y 좌표 값
	comment	자세한 설명을 기록하기 위한 필드
SmellData	smellDataIndex	테이블의 주 키
	sensorNodeIndex	SensorNode와 foreign key 관계가 이루어진 필드
	pid	악취를 유발하는 유기화합물질의 측정 값
	nh3	악취를 유발하는 암모니아의 측정 값
	h2s	악취를 유발하는 황화수소의 측정 값
	regDate	데이터가 수집된 시간
Company	companyIndex	테이블의 주 키
	name	업체이름
	positionX	업체 위치 중 X 좌표 값
	positionY	업체 위치 중 Y 좌표 값
	address	업체의 실제 주소
	managerName	업체의 관리자 이름
	manaagerEmail	업체의 관리자 메일주소
	managerPhone	업체의 관리자 연락처
	comment	자세한 설명을 기록하기 위한 필드

악취 측정 시스템에서 가장 최근 측정 된 데이터는 SmellData 테이블의 필드 중 regDate의 값이 가장 높은 항목의 값이 가장 최근 측정된 데이터이다. 모니터링 시스템은 지도상에 표시되는 센서노드 정보와 데이터베이스에서 조회되는 센서의 값을 sensorNodeIndex 필드의 값과 비교하여 센서노드에서 측정된 데이터를 표시하게 된다. 또한 센서노드가 설치된 주변의 업체를 조회하기 위해 positionX 및 positionY 필드가 사용되며, 악취의 농도가 높게 측정 되어 주변 업체의 정보가 필요하게 되면 SensorNode 테이블과 Company 테이블의 positionX 및 positionY 필드의 값의 차이를 사용하여 조회한다.

3.2 소프트웨어 구성

제안하는 모니터링 시스템의 소프트웨어 구성은 그림

6과 같이 업체조회모듈, 데이터 디스플레이 모듈, 데이터 조회 모듈로 구성하였다[10]. USN 기반의 악취감지 시스템으로부터 수신되는 센서 데이터는 미들웨어 어플리케이션을 통해 데이터를 수신 및 가공하여 데이터베이스로 저장한다. 또한 모니터링 어플리케이션은 데이터베이스로부터 센서정보, 업체정보 및 악취 데이터를 조회한다.



[그림 6] 모니터링 어플리케이션 소프트웨어 구성도
[Fig. 6] Configuration of Monitoring Application Software

3.3 주변업체 검색 알고리즘

지도상에 표시된 센서의 상태가 강한 악취를 나타내는 붉은 색으로 표시될 경우 해당 센서의 주변 업체를 조회하여 악취 발생 유형을 분석하기 위해 지정된 거리를 기준으로 0.0~1.0의 값으로 저장된 상대좌표의 값을 계산하여 데이터베이스에서 조회해야 한다. 이를 위한 동작은 표 3과 같다. 업체조회를 위한 화면에서 기본거리 값을 상황에 따라 범위를 선택할 수 있도록 구성되어 있으며 지도의 축적 값과 총 지도상의 거리를 통해 얻어진 전체 넓이의 역수를 지정된 범위의 거리를 곱하여 데이터베이스에 저장된 업체의 상대위치 값으로 변환한다. 이를 통해 선택된 센서의 위치와 값의 차이를 사용하여 주변업체를 조회한다.

[표 3] 주변 업체 조회 코드
[Table 3] Inquiry Code of Malodor Discharge Companies

```
// 업체 검색을 위해 지정 된 가로 및 세로 범위.
int widthArea = Int32.Parse(xRange.Text);
int heightArea = Int32.Parse(yRange.Text);

// 지정된 거리(미터 단위)를 지도의 상대좌표로 변환하기 위한 상수를 곱한다.
double percentX = widthArea * 0.001922607421875;
double percentY = heightArea * 0.00108642578125;

// 지정된 센서위치를 기반으로 계산된 상대좌표를 사용하여 데이터를 얻어온다.
IQueryable<Company> iCompanys =
```

```
db.Companies.Where(ex =>
ex.positionX > position.X - percentX &&
ex.positionX < position.X + percentX &&
ex.positionY > position.Y - percentY &&
ex.positionY < position.Y + percentY);
```

// 업체 목록 표시 코드 생략

4. 구현 및 검토

모니터링 시스템에서 표현하려고 하는 악취 데이터는 황화수소, 암모니아 및 PID 센서의 측정값을 사용하여 모니터링하였다. 모니터링 프로그램은 Microsoft의 .Net Framework 4.0과 WPF(Windows Presentation Foundation)를 사용하여 구현하였다. 데이터베이스는 Microsoft의 Sql Server 2008을 사용하였으며 운영체제는 Windows 7을 사용하였다. 실시간 악취 감지 시스템에서 사용되는 데이터베이스의 데이터를 확인하기 위해 Microsoft SQL Server Management Studio를 사용하여 SensorNode 테이블을 조회하였으며 입력된 데이터는 그림 7과 같다.

sensorNodeIndex	name	positionX	positionY	comment
1	21	2-14(일정실업매점앞)	0.599964106245513	0.693216463414634
2	27	2-15(남영실크양말)구 남영나이론	0.603469965801569	0.712479533646739
3	30	2-11(수도동직업점)	0.5949882448831	0.74892654483092
4	40	2-12(성동맞은편)	0.593574624747791	0.739493200576554
5	41	2-13(서울텍스프린트업점)	0.591162483906631	0.720221521953742
6	44	1-02(보산업점)	0.565111483989543	0.721507887045542
7	45	1-04(반말업점)	0.566525104140083	0.76167106300653
8	46	1-01(성하이피입구)	0.563899809574795	0.75938419252634
9	47	1-03(연업입구)	0.56848697493169	0.745520035425822
10	48	1-05(남영S&F점) 구 남영나이론	0.577430173872817	0.699210892120997
11	49	1-06(일산가동맞은편)	0.579853522702314	0.724652335047722
12	50	7-40(유은콜산맛집 설치)	0.619709571213209	0.647865853658537
13	51	7-42(유은콜산맛집)	0.622464072954295	0.62448787341913
14	52	7-39(우성열곡입구)619구	0.624079638840626	0.62059963206511
15	53	7-41(연덕빌라터커업점)	0.618021266766885	0.6686239882707

[그림 7] SensorNode 테이블 데이터 조회화면
[Fig. 7] Inquiry Data Window of Sensor Node Table



[그림 8] 설치 된 센서노드의 위치
[Fig. 8] Distribution Status of the Installed Sensor Nodes

각 센서가 설치된 위치를 의미하는 name 필드로 정보가 입력되어 있으며 모니터링 프로그램의 지도상의 위치 정보를 제공하기 위해 position X 및 position Y 필드에 지도상의 상대위치 정보를 기록하였다. 위치 정보는 지도의 가로 및 세로를 0~1 범위의 실수형식으로 입력되어 있다.

그림 8은 SensorNode 테이블의 정보를 사용하여 표현된 노드의 위치모습이다. 다음(Daum)에서 제공하는 지도 서비스에서 반월산업단지의 염색단지 및 주변을 캡처한 화면을 사용하며 가로 및 세로를 0~1 범위의 실수형 상대수치로 계산되어 입력된 센서노드의 위치를 지도상에 표시한다. 화면에 나타나는 센서노드는 실제 설치된 센서노드의 위치와 동일한 위치에 표시가 되어 있으며, 악취의 기여도가 높은 곳으로 선정된 염색단지(1.5km × 1.5km)를 총 8개의 구역으로 구분하여 각 구역별로 1개의 게이트웨이와 1~4개의 중계노드 및 3~6개의 악취 센서노드가 설치되었다. 중계노드에서 센서노드의 배치 간격은 최소 50m에서 최대 300m이며, 설치 장소는 합체를 이용하여 전신주에 설치하였다[11].

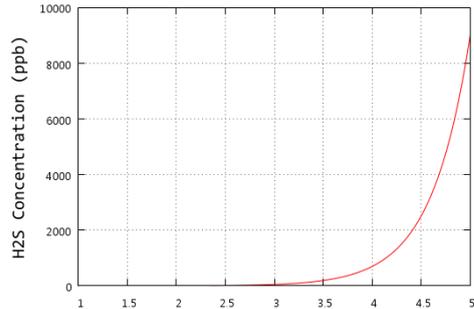
지도상에 나타나는 노드는 어플리케이션 내부에서 SensorNode와 SmellData 테이블과 1:n 관계를 가지는 sensorNodeIndex 정보를 담고 있으며 측정된 데이터는 regDate 필드에 수신된 시간정보가 저장되어 각 센서별로 최근 측정된 값은 해당 필드로 정렬하여 가장 높은 값을 가지는 행을 조회하여 얻을 수 있다. 악취를 파악하기 위해서는 측정된 물질의 농도보다 실질적으로 미치는 영향을 악취도 기준으로 전환하여 비교한다[4]. 현행 악취방지법에서 정하고 있는 지정악취물질의 악취(냄새)세기와 농도와의 상관관계를 우리나라의 대기환경보전법에서는 다음의 표 4와 같이 정하여 운영하고 있다[6].

[표 4] 악취 물질의 농도와 냄새세기와와의 관계
[Table 4] The Relationship between Concentration of Malodor Compounds and Malodor Intensity

물질명	H ₂ S	NH ₃	VOC (Toluene)	
냄새세기 (ppb)	1	0.5	100	920
	2	0.6	600	4800
	2.5	20	1,000	11,000
	3	60	2,000	25,000
	3.5	200	5,000	56,000
	4	700	10,000	130,000
5	8000	40,000	660,000	

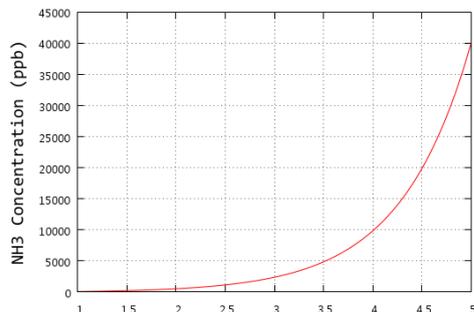
악취물질들의 농도(센서값)와 악취세기와와의 관계를 알기 위해 악취물질시료로 악취가스를 사용하여 다음과 같

이 실험하였다[11]. 악취물질 H₂S에 대해서는 H₂S 표준 가스를 무취공기로 희석하여 분석시료를 만든 후 기체크로마토그래피 분석법을 통해 H₂S의 악취세기와 악취물질농도의 관계 및 관능평가를 알아보았으며 실험결과를 그림 9에 나타내었다[17].

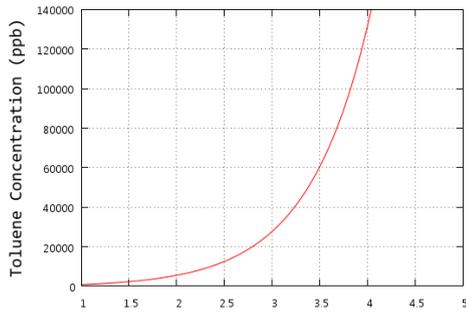


[그림 9] H₂S 가스농도와 악취세기의 관계
[Fig. 9] The Relationship between Concentration of H₂S Gas and Malodor Intensity

악취세기와 H₂S의 악취물질농도 간에는 지수상관을 가지며 상관계수가 $R^2=1$ 일 때 높은 상관성을 나타내었다. 마찬가지로 NH₃에 대해서는 흡광 광도계를 이용한 분석법을 이용하였다. NH₃의 악취세기와 악취물질농도 간에도 지수상관을 가지며 상관계수가 $R^2=0.99982$ 일 때 높은 상관성을 나타내었다. 실험 결과는 그림 10과 같다[17]. VOC는 고체 흡착열 탈착법에 의한 시험방법을 사용하였으며, VOC의 악취세기와 악취물질농도 간에도 지수상관을 가지며 상관계수가 $R^2=0.99415$ 일 때 높은 상관성을 나타내었다. 그 결과는 그림 11과 같다[17].



[그림 10] NH₃ 가스농도와 악취세기의 관계
[Fig. 10] The Relationship between Concentration of NH₃ Gas and Malodor Intensity



[그림 11] Toluene 가스농도와 악취세기의 관계
[Fig. 11] The Relationship between Concentration of Toluene Gas and Malodor Intensity

따라서 악취물질의 농도와 악취세기 사이의 관계는 아래의 (식) 1로 표현 할 수 있으며[19, 20], 악취물질에 따라 각각의 상수를 다르게 적용된다.

$$Y = A1 \exp\left(\frac{X}{t1}\right) + Y0 \quad (1)$$

X : 악취세기, Y : 악취물질별 농도
A1, t1, Y0 : 악취물질별 상수값

위의 관계로부터, 악취센서 모듈로부터 얻어진 악취물질별의 농도 값으로 악취세기를 구하기 위해서는 (식) 2를 사용하며, 악취물질별로 표 5에 표기된 관계 상수 값을 적용하여 계산 할 수 있다.

$$X = \ln\left(\frac{Y - Y0}{A1}\right) t1 \quad (2)$$

[표 5] 악취물질의 농도와 악취세기의 관계 상수값
[Table 5] The Relationship Constant Value between Concentration of Malodor Compounds and Malodor Intensity

악취원인 물질	Y0	A1	t1
H ₂ S	0.2	0.02604	0.39206
NH ₃	-50	36.95896	0.71545
VOC (Toluene)	-472.16504	272.48863	0.64682

이상과 같이 악취센서 모듈로부터 얻어진 악취물질의 가스 농도를 사용하여 악취 세기를 유추할 수 있는 관계 수식을 표 6과 같이 구할 수 있다[17]. 여기서 측정값의 단위는 ppb이다.

[표 6] 물질별 악취도 계산식

[Table 6] Formula for Malodor Concentrations Related with Malodor Compounds

항목	수식
H ₂ S	악취도 = $\ln[(\text{측정값}-0.2)/0.02604] * 0.39206$
NH ₃	악취도 = $\ln[(\text{측정값}+50)/36.95896]*0.71545$
VOC	악취도 = $\ln[(\text{측정값}+472.16504)/272.48863] * 0.64682$

모니터링 시스템에서 표시되는 악취도는 각 물질별로 계산된 악취도 값 중 가장 높은 값을 사용하게 되며, 지도상에 나타나는 센서노드 아이콘 색의 기준이 되는 악취도는 표 6과 같은 식을 사용하여 구한다.

[표 7] 악취도에 따른 아이콘 색상

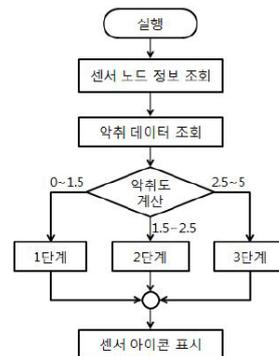
[Table 7] The Icon Colors according to Malodor Concentrations

구분	1단계	2단계	3단계
악취도 범위	0~1.5	1.5~2.5	2.5~5.0
표현 색상	녹색	주황색	붉은색

따라서 지도상에 표시되는 센서노드의 색은 6의 악취도에 의해 얻을 수 있는 악취도이며 악취도에 따라 아이콘 색은 표 7과 같이 표현하였다.

모니터링 프로그램은 악취데이터를 조회하여 아이콘 상태를 업데이트한다. 또한 지도상에 나타나는 센서의 아이콘은 측정된 데이터의 위치와 각 물질별 악취강도를 측정한다. 측정된 악취 세기가 1.5이상일 경우는 주황색 또는 붉은색 아이콘으로 표시되며 정상 상태일 경우 초록색 아이콘으로 상태가 변경된다. 최종적으로 모니터링 화면에 현재 상태를 표시하기 위한 지도 컨트롤 모듈 소프트웨어를 수행하여 지도상에 표시한다.

그림 12는 측정된 센서 데이터가 최종적으로 화면에 아이콘별로 표시되는 과정을 나타낸다.

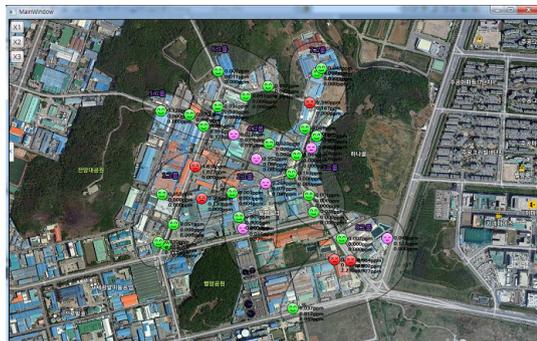


[그림 12] 데이터 흐름도
[Fig. 12] Flow chart of data gathering

모니터링 어플리케이션 모듈은 데이터베이스로 센서 노드의 위치 및 설치 위치를 나타내는 이름정보를 조회하며 각 센서의 측정 데이터를 조회한다. 조회 지점의 악취도를 계산하여 각 단계별로 정해진 색의 아이콘을 지도 컨트롤에서 화면으로 표현한다. 센서노드의 색이 붉은 색이 된 경우는 측정된 물질의 농도가 사람이 맡을 경우 높은 강도의 악취가 발생되고 있음을 나타내게 되고 오랫동안 지속적으로 발생하면 주거지역까지 악취가 발생될 수 있음을 의미한다. 만약 높은 수치의 악취도가 꾸준히 발생하게 되면 해당 주변 업체의 단속이 필요함을 의미하게 되며, 주변 업체의 조회를 통해 관리를 위한 자료를 제공하게 된다. 그림 13은 지도상의 센서 아이콘을 클릭하였을 때 표시되는 인근 업체의 조회 화면이다. 악취 관리대책을 위해서는 주로 악취가 배출되는 업체의 공정을 분석하는 절차가 필요하다[3]. 이를 업체 조회를 통해 입력된 업종을 파악하여 대략적인 발생 물질의 원인을 파악할 수 있으며 이를 통하여 상세한 악취저감계획을 위한 자료로 사용할 수 있다. 그림 14는 모니터링 프로그램을 구동한 모습이다.



[그림 13] 센서 주변 업체 조회 화면
[Fig. 13] Inquiry Window of Malodor Discharge Companies around the Source



[그림 14] 악취 감시 모니터링 시스템
[Fig. 14] Malodor Monitoring System

그림에서 센서 아이콘 우측으로 센서의 측정값이 표시되어 각 악취 수집보드가 위치하는 장소에서 측정 되는 데이터를 확인할 수 있다. 또한 밀집되어 겹쳐진 노드는 화면 좌측 상단의 버튼을 클릭하여 지도를 확대 및 축소를 하여 확인할 수 있다. 제안된 실시간 악취 감지 모니터링 시스템과 고정식 악취측정망을 구축하여 모니터링 하는 기존 시스템과 표 8과 같이 기능을 비교하였다. 기존 시스템은 한 시간 단위로 대기환경을 측정한 결과가 수집되므로 악취가 발생되면 신속하게 모니터링을 할 수 없었지만 제안된 시스템은 USN 기반으로 실시간적인 측정이 가능하므로 빠른 대처가 가능하게 된다.

[표 8] 기존 시스템과 제안된 시스템 기능 비교
[Table 8] Merit Comparison between The Proposed System and Other System

구분	기존 시스템	제안된 시스템
실시간 감시	X	O
정량 데이터 검출	X	O
악취 발생 위치 표출	X	O
주변 업체 조회	X	O

또한 악취배출업체에 가까이 설치되므로 실제 배출되는 악취유발물질의 정량검출이 가능하다. 체계적인 악취배출업체를 관리하기 위해 요구된 실제 악취가 발생하는 위치는 염색단지의 여러 위치에 설치된 악취 감지노드를 통해 대략적인 위치의 구분이 가능하게 되었으며, 업체정보와 위치를 데이터베이스에 입력함으로써 주변의 업체 정보를 조회할 수 있다. 이런 시스템을 활용하여 모니터링 하게 되면 주거지역에서 발생하는 악취 민원의 원인을 관리할 수 있으므로 꾸준한 모니터링 및 단속을 하면 효과적으로 민원을 절감할 수 있음을 기대할 수 있다.

5. 결론

기존 시행 하던 악취 측정 시스템은 고가의 구축비용이 요구 되어 많은 수의 측정 시스템을 구축하지 못하며, 큰 규모의 공간을 요구하여 업체가 밀집되어 있는 지역에 구축하기에는 한계가 있다. 또한 주거지역에 설치되어 있기 때문에 공단지역에서 발생하는 악취유발물질이 이미 대기 중에 희석되어 측정되므로 실제 발생하는 물질의 농도를 측정할 수 없다. 또한 악취가 발생한 위치를 알 수 없으므로 산업단지 내부에서 발생하는 악취를 측정할 수 없다. 악취 문제를 해결하기위해 민간환경감시단

과 악취 측정시스템이 구축된 차량을 운영하여공단지역의 악취 배출상태를 측정·조사하고, 지속적인 업체단속을 통해 악취 민원을 줄일 수 있었으나 여전히 산업단지에서는 악취유발 물질이 발생하기 때문에, 악취발생업체를 체계적으로 관리하여 산업단지에서 발생하는 악취의 감소를 통해 꾸준히 발생하는 민원을 해결하기 위한 방법이 요구되었다.

본 논문에서 이러한 문제들을 해결하기 위하여 유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 실시간 악취유발물질 배출원의 모니터링 시스템을 제안하였다. 제안된 모니터링 시스템은 산업단지에 설치된 악취 수집노드의 위치를 표현함으로써 악취가 발생하는 위치를 한눈에 알 수 있게 하였다. 또한 측정된 물질의 3단계로 농도가 아닌 실제 사람이 느끼는 악취의 세기를 수치화하여 그래프로 표현을 하여 악취발생의 상태를 표현함으로써 실제 측정된 악취 유발물질의 농도가 어느 정도 강한 악취를 유발하는지 모르더라도 화면상으로 표시되는 센서 노드의 상태를 확인함으로써 현재의 악취 상태를 쉽게 파악할 수 있다. 뿐만 아니라, 지도상의 센서 노드를 클릭하게 되면 센서의 주변 업체를 거리기준으로 조회 되어 강한 악취가 발생한 주변업체의 종류를 파악할 수 있도록 구현되었다. 악취가 측정된 위치의 주변에 분포하는 업체의 종류와 데이터베이스에 입력된 업체의 정보는 체계적인 관리를 위해 필요한 자료로 사용된다. 이를 통해 업체관리 방안을 계획하여 실제 악취가 배출되는 업체의 관리 효율을 높일 수 있음을 알 수가 있다.

References

- [1] Ministry of Environment Republic of Korea", White Paper of Environment, 810p. ,2010.
- [2] Won Ho Shik, "Pilot Projects and Study on the Improvement of Odor Monitoring Project in the Ansan Industrial Complex", Ansan Environment Technology Development Center, 221p., 2008,
- [3] Research on Odor Emission Sources in Sihwa and Banwol Industrial Complex by Participation of the Residents", Korean Journal of Odor Research and Engineering Vol. 5, No. 2, pp. 119-124, 2006.
- [4] Eui-Chan Jeon, "The Study on the Method of the Management for the Odor in Ansan Area", Ansan Environment Technology Development Center, 659p., 2006.
- [5] Jin-Seok Han, et al, "The Present Status of odor Management Area and the Construction of Odor Monitoring System", Korean Journal of Odor Research and Engineering Vol. 7, No. 4, pp. 246-259, 2008.
- [6] In Sub Kil, "Research on Tracking System of Odor Emission by Real-Time Odor Monitoring System", Graduate School of Knowledge-based Technology and Energy Korea Polytechnic University, June, 207p., 2009.
- [7] Young Seong Yoo, "A Study on the Effective Odor Reduction in the Area Where Strong Civil Complaints Take Place to Odor", Gyeonggi Research Institute, October, 117p. ,2007.
- [8] Ye Jin Choi, et al, "Odorous Pollutant Concentration Levels in the Ban-Wall industrial Area and Its Surrounding Regions", Journal of the Korean Earth Science Society, Col. 27, No. 2, pp. 209-220, 2006.
- [9] Dae-Woo Choi, "Implementation of a Testbed for Wireless Sensor Network" Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society / Vol.12, No.1, pp.445-450, 2011.
- [10] Hyung-Don Lee, "Real-time Odor Detection Monitoring System Based on Ubiquitous Sensor Network" Department of Electronics Graduate School, Kangwon National University, 2011.
- [11] MAXFOR TECHNOLOGY INC. Consortium, " Task specification of development projects by U-Clean Industrial Park Information Unify System, 2009.
- [12] Kim, Hyun-Wuk, "A Survey on Countermeasures for Reducing through Researching on Odor Emission Sources and VOC generated from Namdong Area, Incheon Regional Environment Technology Development Center, 95p., 2004.
- [13] Suk-Hyun Cho, "A feasibility of Establishing Local Emission Standard in Namdong Industrial Complexes", Incheon Regional Environment Technology Development Center, 104p. , 2006
- [14] Wikipedia, "Weber-Fechner law", http://en.wikipedia.org/wiki/Weber%E2%80%93Fechner_law
- [15] MAXFOR TECHNOLOGY INC., "http://www.maxfor.co.kr/sub2_1_1_1.html"
- [16] Jin-Kwan Park, et al, "Developing of VOC sensor Signal Processing System using Embedded System on the Web Environment", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society /Vol. 12, No. 1 pp. 375-383, 2011.
- [17] Jung, Byung-Gil. Technical Development Report, Transform between concentration of Odor Gases and Odor Intensity, SENCO co. Technical Development Report , pp.6-9, 2009.
- [18] Yu Myung-Han, "Improvement of The Real-time USN

Data Monitoring Quality Using Dynamic DTD", Department of Electronics Graduate School, Kangwon National University, pp. 3-15, 2011.

- [19] Lee Hae-Rim, "A study on correlation between olfactory assessment and measurement by odor sensors for odor compounds" University of ULSAN Graduate School of Education, pp.30-43, 2009. 6.
- [20] Oi-Sook Kim, "A study on correlation between concentration of odorous compounds and sensory assessments" University of ULSAN Graduate School of Education, pp.40-47, 2009. 6.

이 형 돈(Hyung-Don Lee)

[정회원]



- 2009년 2월 : 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 강원대학교 산업과학대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : (주)맥스포 근무

<관심분야>

임베디드시스템, USN, 마이크로프로세서응용

임 해 진(Hae-Jin Lim)

[정회원]



- 1993년 8월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1983년 ~ 2006년 2월 : 삼척대학교 전자공학과 교수
- 2006년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 공학대학 전자정보통신공학부 교수

<관심분야>

데이터통신, 컴퓨터네트워크, 디지털시스템응용