

# 지하공간의 쾌적도 향상을 위한 USN 기반의 환경제어시스템 구현

류재복\*, 권숙연\*, 임재현\*

\*공주대학교 컴퓨터공학부

e-mail:{sad412, sookyoung, defacto}@kongju.ac.kr

## Implementation of Environmental Control System based on USN for Improving Comfort in Underground Space

Jae-Bok Ryu\*, Sook-Young Kwon\*, Jae-Hyun Lim\*

\*Div of Computer Science & Engineering Kongju National University

### 요 약

인구 과밀화 및 급격한 도시 팽창은 지상공간에서 거주하는 인간 삶의 질을 위협하고 있다. 따라서 지상공간의 개발을 억제하여 환경을 보호하고 도시 공간 이용의 효율성을 최대화하기 위해 지하 공간을 개발하고자 하는 움직임이 활발하다. 자연환경으로부터 격리된 구조인 지하공간은 지상공간에 비해 실내 공기 질을 쾌적한 상태로 유지하기 어려운 밀폐된 환경이므로 오랜 시간동안 상주하는 거주자 및 한시적 이용자들의 건강에 영향을 미치는 온도, 습도, CO<sub>2</sub>, 먼지 등의 환경을 제어하기 위한 기술 개발이 필요하다. 본 연구에서는 지하공간의 쾌적도 향상을 위해 온·습도 및 CO<sub>2</sub>, 먼지센서를 이용한 통합 센서를 제작하여 현재 지하공간의 환경정보를 실시간 모니터링하고 실내공간의 쾌적 지표를 기반으로 환풍기, 송풍기 등의 디바이스를 제어하기 위한 USN 기반의 환경제어시스템을 구현한다. 제안한 시스템을 통해 지하공간의 환경을 개선할 뿐만 아니라 고가의 건축 장비로 인한 비용 절감 및 이동성과 확장성 등의 부가적인 효과를 기대한다.

### 1. 서론

#### 1.1 연구 배경 및 목적

현재 우리나라는 100,210km<sup>2</sup>(108위)에 해당하는 협소한 국토 면적을 보유하고 있으며 점차 인구가 수도권으로 집중화되는 현상이 발생하고 있다[1]. 또한 최근에는 한류 열풍으로 인해 세계인구 1위인 중국관광객의 국내 방문이 증가하고 있어 수도권 등의 특정 지역에 인구가 밀집되는 현상이 더욱 가속화되고 있다[2]. 이러한 지리적 여건, 경제적·사회적 변화 등의 원인으로 인해 지상공간의 부족 현상 및 환경오염 등의 문제가 초래되고 있으며 이를 해결하기 위한 방안으로 지하공간을 개발하기 위한 관심과 노력이 필요한 실정이다[3].

지하공간은 지상의 평면적인 단점을 보완한 입체적인 공간의 형태로 설계가 가능하며, 자연환경에 크게 영향을 받지 않는 등의 다양한 장점을 갖는다[4]. 이러한 장점을

가진 지하공간의 적극적인 개발과 이용은 도시의 입체적인 이용에 따른 경제성 증가, 자연환경에 영향을 받지 않는 지하 특유의 특수 환경 조성, 지상공간의 확보, 건설 기술의 발달 등 다양한 측면에서 긍정적 효과를 가져온다[5].

최근 실내에서 생활하는 시간이 약 80%~90%에 이르는 현대인들의 생활 패턴과 건강한 음식물 뿐만 아니라 신선한 공기에도 집중되고 있는 'WellBing' 열풍으로 인해 밀폐된 구조로 설계된 지하공간의 공기 질을 쾌적하게 유지하기 위해 노력하고 있다[6]. 세계보건기구(WHO) 연구 결과에 따르면 연간 실내공기오염에 의한 사망자수가 최대 600만명에 이르며 실내오염물질이 대기오염물질에 비해 인간의 호흡과 연관된 폐에 전달될 확률이 약 1,000배에 이른다고 보고되고 있다[6]. 따라서, 지하공간 등의 밀폐된 공간을 대상으로 온도, 습도, CO<sub>2</sub> 등의 환경정보를 실시간 모니터링하고 환기시스템 등의 디바이스를 효율적으로 제어함으로써 실내공간의 쾌적도를 유지하고 이에 따라 인간의 삶의 질을 향상시키기 위한 기술 개발이 필요하다.

본 연구에서는 지하공간의 쾌적도 향상을 위해 온·습도 및 CO<sub>2</sub>, 먼지센서를 통합한 환경모니터링용 센서 모듈을

\* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (No. 2012R1A1A4A01013068)

\* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원 사업으로 수행된 연구임(2012-0006682)

제작하여 각 환경정보를 실시간 모니터링하고, 수집된 센서정보와 실내 공간의 쾌적 지표를 기반으로 환풍기, 송풍기 등의 디바이스를 효율적으로 제어하기 위한 USN 기반 환경제어시스템을 개발한다. 쾌적한 지하공간을 유지하기 위해 사용된 각 환경 정보의 임계값은 “공중위생관리법 시행규칙 제8조의 지표를 활용한다[7][8].

제안한 시스템의 환경모니터링용 통합센서는 기존 완제품 형태의 고가 계측기 사용에 따른 비용 문제를 해결할 수 있고 확장 및 설치의 용이성, 시스템과의 연동 등이 가능한 이점을 가지고 있다. 또한, 실내공간의 공기 흐름과 순환을 향상시켜주고 미생물에 의한 오염을 감소하기 위하여 기존 시설에 설치된 HVAC(Heating Ventilation Air Conditioning) 등의 디바이스 제어 과정을 시뮬레이션하기 위해 프로토타입 형태의 Fan 디바이스와 이를 제어하기 위한 컨트롤 시스템을 구현한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장의 관련 연구에서는 실내공간의 쾌적도 기준 지표와 이의 응용연구에 대하여 살펴보고, 3장에서는 제안한 시스템의 설계 및 구현 과정에 대하여 자세히 기술한다. 마지막으로 4장에서는 결과 및 향후 연구 내용에 대하여 설명한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 실내공간의 쾌적도 기준 지표

실내공간의 공기 질을 개선함으로써 인간의 삶의 질을 향상시키기 위한 관심이 고조됨에 따라 실내공간용 쾌적도 기준 지표 등을 반영하여 시설 내 설치된 각 디바이스를 효율적으로 제어하기 위한 기술 개발이 필요하다. 실내 환경에 대한 기준 법안인 <공중위생관리법 시행규칙 제8조>을 살펴보면 표 1과 같이 좀 더 쾌적한 환경관리를 위해 법정기준 및 운영기준의 두 가지 항목으로 분류하여 먼지, CO<sub>2</sub> 등의 실내 환경 정보에 대한 허용 임계값을 정하였다[7][8].

<표 1> 실내공간의 쾌적도 기준 지표

항목	미세먼지	CO <sub>2</sub>
	24시간평균치	1시간평균치
법정기준	150 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	1,000ppm이하
운영기준	120 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하	700ppm이하

<표 2> 실내 운영 지표

항목	온도	상대습도
운영기준	18~28 $^{\circ}$ C	40~80%

또한, 거주자가 밀집되어 있는 실내공간에 대한 온도 및 습도 등의 환경 정보에 대한 법적 규제는 별도로 운영되고 있지 않으나 표 2와 같이 추가적으로 운영기준을 설정하여 보다 쾌적한 실내 환경을 제공하도록 지원한다[7].

### 2.2 환경모니터링시스템의 응용 연구

USN 기술은 다양한 분야에서 활용되고 있으며 이를 이용하여 지하 공간 등의 밀폐된 환경에서 쾌적성을 향상시키기 위해 모니터링 및 제어기능을 포함한 시스템 개발 및 응용 연구 사례는 표 3과 같다[9].

<표 3> 지하공간의 환경모니터링 시스템

적용 분야	세부기능 및 기대효과
지하공간 환경 모니터링 시스템	- 시설물을 부식, 고장 등으로부터 보호하기 위해 지하구 내부의 환기시스템인 송풍기와 수용시설물의 침수를 막기 위한 양수펌프 등의 상태 모니터링
	- 온/습도 센서를 통해 송풍기를 제어함으로써 지하구 내부 환경을 최적의 쾌적한 상태로 유지
	- 급/배기가 필요할 경우에만 송풍기를 가동함으로써 에너지 절약
	- 완제품 형태의 센서를 이용하여 재난 방지에 대응하기 위한 모니터링시스템

현재까지 지하공간의 화재, 설비, 전력, 출입자 등을 감시하기 위한 시스템은 연구된 바 있으나, 실내 쾌적도를 향상시키기 위해 개발된 무선통신기반의 센서 및 모니터링 시스템에 관한 연구는 미미한 실정이다[11]. 기존 시스템은 주로 표 3과 같이 완제품 형태의 고가 계측기를 이용하며 이에 따라 정보시스템과의 연동이 용이하지 않고 비용문제로 인해 특정 지역에만 한정된 수량만을 설치하여 운영하는 단점을 가지고 있다[9][10]. 이는 시스템의 확장 및 수정 등이 용이하지 않으며 유선통신방식을 이용하는 시스템의 경우, 이동에 불편함을 초래하는 등의 문제를 초래한다[11]. 따라서 본 논문에서는 무선통신기반의 환경모니터링용 통합센서를 자체적으로 제작하여 고가 계측장비로 인한 비용문제 등을 해결하고, 실내공간의 쾌적도 지표를 기반으로 환기용 디바이스를 제어함으로써 실내 쾌적도를 향상시키기 위한 시스템을 설계 및 구현한다.

## 3. 환경제어시스템 설계 및 구현

### 3.1 환경제어시스템 구성도

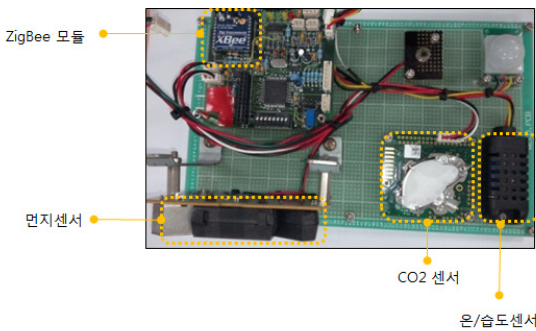


(그림 1) 환경제어시스템 구성도

그림 1은 본 논문에서 제안하는 환경제어시스템의 구성도이다. 시스템은 환경정보 모니터링용 통합센서가 포함된 USN 모니터링, 환기용 디바이스인 FAN과 이를 제어하기 위한 컨트롤러, 모니터링 및 제어기능을 포함한 사용자 친화형 GUI 등의 환경제어시스템, 실내공간의 쾌적 지표와 실시간으로 수집한 데이터를 저장하고 있는 데이터베이스 등 총 4개 영역으로 구성되어 있다.

3.2 통합센서 및 컨트롤러 제작

지하공간의 실내 환경을 측정하기 위해 아래의 그림 2와 같이 ZigBee 무선통신을 기반으로 온도, 습도, CO<sub>2</sub>, 먼지 센서를 이용하여 단일화된 PCB 보드에 통합 설계 및 제작하였다.

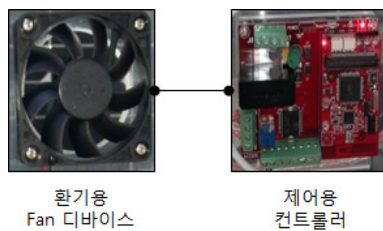


(그림 2) 환경모니터링용 통합센서

실내 공간이라는 제약 조건에 따라 각 환경 정보의 측정 범위 및 정확도를 고려하여 표 4와 같이 각 센서를 선정하였으며, 상황에 따라 센서 추가 또는 삭제 등의 재구성성이 가능하도록 설계하였다.

<표 4> 환경모니터링용 각 센서의 특성

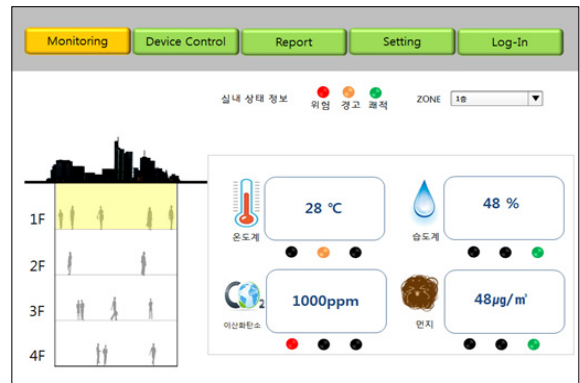
센서 종류	모델명	측정범위	정확도 및 오차범위
온도	RHT-02	-40~80℃	오차 ±0.5℃
습도	RHT-02	0~100%	오차 ±3%
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> Engine™	0~2,000ppm	30ppm (측정값 ±3%)
먼지	PPD20V	0~30,000pcs/liter	1µm이상 입자 검출



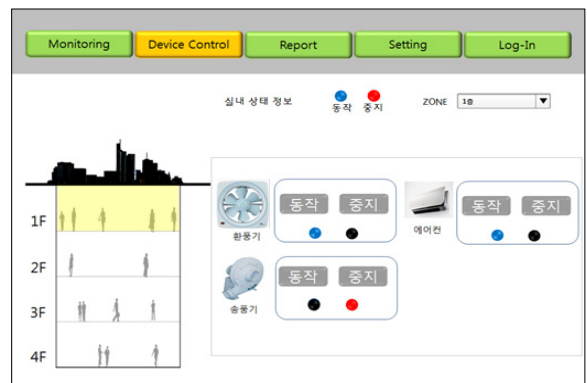
(그림 3) Fan 디바이스 및 제어용 컨트롤러

그림 2의 통합센서에 부착된 온도, 습도 등의 각 센서는 실내 환경 정보를 실시간으로 감지하여 raw data 메시지 형태로 1sec 간격마다 베이스노드를 거쳐 서버로 전송한다. 전송된 데이터는 서버 내 환경정보DB에 저장되고 실내환경 쾌적지표 DB에 저장된 임계값과의 비교 과정을 거쳐 FAN 디바이스의 제어여부를 판단한다. 그림 3는 실내환경 쾌적지표를 기반으로 실시간 수집된 온도, 습도, CO<sub>2</sub>, 먼지 등의 환경정보에 따라 HVAC 등의 디바이스 제어 과정을 시뮬레이션 하기 위해 제작한 프로토타입 형태의 FAN 디바이스 및 제어용 컨트롤러를 나타낸 것이다. 환경모니터링용 통합센서와 동일한 처리과정으로서 서버로부터 베이스노드를 통해 송신용 메시지가 FAN 컨트롤시스템에 전송되면, 송신메시지에 포함된 동작 시간, 동작여부 등의 제어명령에 따라 해당 FAN 디바이스를 제어한다.

3.3 환경제어시스템의 UI



(그림 4) 환경모니터링 화면



(그림 5) 디바이스 제어화면

그림 4는 제안한 시스템의 User Interface 구현 화면이다. 해당 UI는 6.0 version의 Java 언어를 이용하여 구현하였고 MySQL 5.5를 이용하여 데이터베이스를 구축하고 실내공간의 쾌적도 지표 등의 데이터를 저장하였다. UI 화면 상단의 가운데에 위치한 실내 상태 정보를 나타내는

심볼은 각 센서를 통해 수집한 환경 정보에 따라 현재 실내공간의 쾌적도 레벨을 표현한 것으로서 적색은 위험을 의미하며, 주황색은 경고, 녹색은 쾌적한 상태임을 사용자가 인지할 수 있도록 설계하였다.

그림 5는 냉방 및 난방, 환기 등의 각 디바이스 제어를 위한 화면이다. 4개 층으로 구성된 지하공간을 대상으로 각 구간별 실내 환경정보를 통합센서를 통해 실시간으로 수집하고, 표 1과 표 2를 기반으로 구축한 실내 환경 쾌적 지표 DB 정보와 비교하여 각 환경정보의 임계 범위를 벗어난 경우에는 자동으로 환기용 Fan 디바이스를 제어하고 임계 범위에 진입하면 디바이스의 운영을 중지하게 된다. 또한 동작 및 중지 버튼을 제공하여 사용자가 임의로 디바이스를 수동 제어할 수 있도록 지원한다.

#### 4. 결과 및 향후 계획

본 연구에서는 지하공간의 쾌적도 향상을 위해 실시간으로 환경정보를 모니터링하기 위한 통합센서를 제작하였고 실내 공간의 쾌적 지표를 기반으로 환기용 디바이스를 제어하기 위한 USN 기반의 환경제어시스템을 개발하였다. 본 시스템을 지하공간에 적용할 경우 기존의 고가 계측기 사용에 따른 비용 문제, 확장 및 수정 등의 어려움, 이동의 불편함 등을 해결할 수 있다. 향후에는 일산화탄소, 산소 등의 기타 환경모니터링용 센서를 추가적으로 부착하여 실험을 확장하고, 각 디바이스의 가동시간에 따른 에너지소비량 측정 등의 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] 위키백과, ko.wikipedia.org/wiki/
- [2] 박성욱, “국경절·중추절…중국 관광객이 몰려온다”, [http://www.ktv.go.kr/ktv\\_contents.jsp?cid=441010](http://www.ktv.go.kr/ktv_contents.jsp?cid=441010)
- [3] 이효창, 하미경, “지하상업공간의 이용 활성화를 위한 조명계획에 관한 연구”, 한국실내디자인학회 논문집, 제16권 6호 통권65호
- [4] 이정은, 황현숙, 김창수, “지하공간 안전성 향상을 위한 개선방안에 대한 연구”, 한국멀티미디어학회지, 제12권 제1호
- [5] 최우영, 이상훈, 박용호, 이상호, “지하공간 근무자의 근무환경에 대한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제25권 제1호
- [6] 여탁규, 김태우, 홍원화, “지하상업공간의 공기오염물질이 인체에 미치는 영향 분석”, 대한건축학회지 제 24권 11호
- [7] 환경 운영기준, 실내환경 운영기준 <공중위생관리법 시행규칙 제 8조>
- [8] 권영식, “운영관리 실무 자료의 보고 빌딩관리 이론과 실무”, 부연사 출판사

[9] 박정권, 한진우, 강왕규, 우병수 “지하공간의 환경 모니터링 시스템 개발 및 시험”, 한국정보통신설비학회 정보통신설비 학술대회 논문집

[10] 심혜인, 신성현, 김창수 “USN기반 지하공간 관리를 위한 환경 모니터링 미들웨어 설계”, 한국멀티미디어학회 추계학술대회 논문집

[11] 이석철, 정신일, 김창수 “USN기반의 지하역사 모니터링 시스템의 설계 및 개발”, 한국멀티미디어학회지 제12권 제11호