

# 포름알데히드 센서데이터를 이용한 실시간 모니터링 시스템 구현<sup>1)</sup>

강원석<sup>†</sup>, 이동하<sup>‡</sup>, 조완근<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>대구경북과학기술연구원 미래산업융합기술연구부

<sup>‡</sup>경북대학교 환경공학과

e-mail:wskang@dgist.ac.kr

## An Implementation of Real-Time Monitoring System using HCHO-senssr data on USN

Won-Seok Kang<sup>†</sup>, Dong-Ha Lee<sup>‡</sup>, Wan-Kuen Cho<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Dept. of Advanced Convergence Technology research, DGIST

<sup>‡</sup> Dept. of Environmental Engineering, Kyungpook National University

### 요 약

센서 데이터들을 실제 IT 환경 하에서 데이터 처리하기 위해서 네트워크 인프라 환경으로 USN(Ubiquitous Sensor Network) 환경이 많이 연구되어지고 있다. 이들 환경은 온도, 소리, 진동, 습도 등 생활 주변의 정보를 수집하여 이에 발생된 데이터들을 특정 시스템에서 처리하여 주변상황 상태 등을 인식 및 관리를 하는데 목적을 둔다. 기존 USN 기술은 주로 네트워킹 관점의 연구가 활발히 수행되어지고 있다.

USN은 미래 유비쿼터스 사회를 위한 기반 인프라로 국가적으로 기술 개발을 추진 중에 있으며 다양한 시범 서비스를 추진 중에 있다. 최근에는 환경, 에너지 등의 미래 신 성장 산업 분야에서 환경문제를 해결할 수 있는 기술 개발을 전략적으로 추진 중에 있다.

본 논문에서는 다양한 건축자재 및 생활 용품에서 배출되고 실내공간, 사무실, 주거지 등 일반 환경에서 보편적으로 존재하는 인체유해물질인 포름알데히드(HCHO) 오염농도를 수집 할 수 있는 센서 네트워크 환경을 구축하고 수집된 HCHO 센서 데이터들을 이용하여 주변 사람들에게 위험정보를 제시하는 한 시스템으로 ET-IT 융합 시스템인 실시간 모니터링 시스템을 제시한다.

### 1. 서론

센서 데이터들을 실제 IT 환경 하에서 처리하기 위한 네트워크 인프라 환경으로 USN(Ubiquitous Sensor Network) 환경이 많이 연구되어지고 있다. 이들 환경은 온도, 소리, 진동, 습도 등 생활 주변의 환경 정보를 수집하여 이에 발생된 데이터들을 특정 시스템에서 처리하여 주변 상황 상태 등을 인식 및 관리하는데 목적을 둔다. USN 기술 연구에 있어서 주로 네트워크 관점의 연구가 활발히 수행되어지고 있다. 기존 USN 응용 분야로는 공장자동화, 환경 감지, 침입자 감지, 건강검진 및 전시 상황 등이 있다.[1]

USN 환경은 대규모의 센서노드를 기반으로 근거리(short distance) 무선 환경에서 데이터통신을 수행한다. USN 환경 상에서 실행되는 물리적 장치들의 특성들로는 전통적으로 저전력, 저비용, 다기능 센싱 및 소형화 등이 있다.[1] 그러나, USN 환경 상에서 다양한 응용 서비스지원 및 소프트웨어 요구 등이 증가하는 추세에 있어 물리적 장치들의 요구 수준도 높아지고 있고 이를 지원하는 기술들이 MEMS(Micro-Electro-Mechanical System) 기술의 발달로 개발되어지고 있다.[2] 그러나, 유비쿼터스 컴퓨팅의 개념이 언제, 어디서, 어떤 장치로도 컴퓨팅이 가능해야 되기 때문에 모든 서비스 지원을 센서노드 상에 수행하기에는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 USN 환경 상에서 발생하는 센서데이터들을 고성능 컴퓨

터에 전달하여 그 데이터들에 대한 고도의 상황인지 기능을 제공할 수 있어야 된다.[3]

최근 환경 문제와 더불어 대기환경에 대한 연구가 많이 이루어지고 있는데 여기서 위험성이 높은 물질 중 하나가 포름알데히드(HCHO)이다.[6] HCHO는 다양한 건축자재 및 생활용품에서 배출되어 산업환경 뿐만 아니라 지하 실내공간, 사무실, 주거지 등 일반생활환경에서 보편적으로 존재하는 유해 공기오염물질이다. 도시화의 발달로 인해 새진물 증후군 등의 신종 질환이 많이 발생하고 있는데 여기서 대표적인 오염물질이 포름알데히드이다.[6,7,8] 이러한 문제점을 해결하기 위해서 지속적인 오염 정도를 파악해 주변 사람들이 상황대처를 즉각 함으로써 쾌적한 환경을 유지 할 수 있도록 해야 할 것이다.

본 논문에서는 실내 오염 물질 중 대표적인 포름알데히드를 수집하는 센서네트워크 환경을 구축하여 오염정도를 파악해 주변 사람들에게 대처 정보를 제시할 수 있는 한 시스템으로 ET-IT 융합 시스템인 포름알데히드 센서 데이터를 이용한 실시간 모니터링 시스템을 제시한다.

본 논문에서는 2장에서 ET 기술인 HCHO의 특성에 관하여 설명하고 이들 자료들을 바탕으로 급성영향 측정과 만성영향 측정을 수행할 수 있는 데이터 모델링에 대해서 설명한다. 그리고 이들 데이터 모델링을 기반으로 실시간 모니터링 시스템을 설명한다. 3장에서는 시스템 검증을 위하여 실제 구축된 HCHO 데이터 수집 가능한 센서네트워크 환경에 대해서 간략히 설명하고 실험결과를 설명한다. 마지막 4장에서는 결론 및 향후 계획에 대해서 설명한다.

1) 본 연구는 과학기술부 및 대구경북과학기술연구원 연구개발사업의 일환으로 수행하였음.

2. HCHO를 위한 실시간 모니터링 시스템

본 장에서는 센서네트워크 환경으로부터 포름알데히드 센서 데이터를 수집하여 처리하는 실시간 모니터링 시스템에 대해 설명한다. 2.1절에서는 포름알데히드에 대한 오염원의 특성에 대해서 설명하고 2.2절에서는 포름알데히드 데이터에 대해서 실시간 분석/대응을 수행하기 위해서 정량화된 규칙 데이터를 구축하여 이를 기반으로 실시간 모니터링을 수행하는 시스템에 대해 설명한다.

2.1 포름알데히드(HCHO) 특성

표 1. 대기, 일반실내 및 자동차실내 공기 중 포름알데히드 평균농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

구분	지역명	대기	일반실내	자동차실내
도시	서울	12.4 <sup>a</sup>	-	-
도시	부천	10.9 <sup>a</sup>	-	-
도시	대구	8.6 <sup>b</sup>	13.5 <sup>b</sup>	24.5 <sup>c</sup>
평균		10.6	13.5	24.5

<출처 : a)여현구 등(2002), b)Jo and Lee(2005), c)Jo and Park(1999) >

국내의 대기환경 자료<sup>2)</sup>를 모니터링한 결과 포름알데히드는 표 1과 같은 농도 분포가 나타나고 있다.[6] 포름알데히드의 경우 대기, 일반실내 및 자동차실내 공기 농도가 위해우려물질 모니터링 자료에 포함되어 있지 않기 때문에 이들 포름알데히드 공기농도는 국내 연구논문에서 제시된 자료를 제시하였다. 포름알데히드의 대기, 일반실내 및 자동차실내 공기 농도는 모니터링 자료가 아니고 실제 모든 자료가 공개되지 않는 연구논문의 자료이다.

포름알데히드는 주로 건축용 합판(particle board) 제품에 이용되는 수지와 단열재를 생산하기 위해서 사용되며 또한 합성화합물질을 제조하는데 필요한 중간매체로 사용된다. 포름알데히드의 주 노출경로는 실내공기, 담배연기 또는 도시 실외공기의 흡입이다. 미국의 신축 또는 이동용 집에서 조사된 연구에 따르면, 실내공기 중 포름알데히드 농도가 0.1 ppm에서 3.68 ppm의 높은 농도범위를 나타내었다. 한편, 미국의 일반대기 중 포름알데히드 농도는 11 ppb에서 20 ppb 농도 범위를 갖는 것으로 보고된 적이 있고, 대기 중 포름알데히드의 주요 배출원인으로서는 발전소, 제조업체, 소각로 및 자동차 배기가스인 것으로 지적되었다. 포름알데히드 흡기 노출로 인한 급성 및 만성 영향으로서 호흡기계통, 눈, 코 목의 통증이 유발될 수 있다.

포름알데히드는 일반 대기환경기준에 포함된 CO(일산화탄소), NO<sub>2</sub>(이산화질소), SO<sub>2</sub>(아황산가스) 및 O<sub>3</sub>(오존)와 같은 오염물질과는 인체에 미치는 영향 특성이 다르다. CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 및 O<sub>3</sub>은 짧은 기간 동안 고농도에 노출될 때 인체에 악영향을 미치는 급성영향(acute effect)의 관점에서 주목을 받고 있는 오염물질이고, 포름알데히드 같은 경우에는 급성영향 뿐만 아니라 낮은 농도이지만 장기간 노출될 때 인체에 악영향을 미치는 만성영향(chronic effect)의 관점에서도 주목을 받고 있는 물질이다.

따라서, 공기 중 포름알데히드의 대기질과 인체위험성을 평가할 때에는 대기환경기준물질과는 다른 기법이 이용되고 나아가 급성영향과 만성영향 모두를 평가하는 기법이 개발되어야 한다. 2.2절에서 수집된 포름알데히드 데이터로부터 급성영향 및 만성영향 모두를 처리할 수 있는 실시간 모니터링 시스템을 제시한다.

2.2 실시간 모니터링 시스템

본 절에서는 2.1절에서 설명한 포름알데히드에 대해서 주기적 관리 및 위험상황을 관리할 수 있는 실시간 모니터링 시스템에 대해서 설명한다.

2.2.1 데이터모델링 : 급성영향

본 논문에서는 그림 1과 같이 포름알데히드의 오염도를 측정하고 관리하기 위해서 데이터 모델링을 수행했다. 이를 실현하기 위해서 크게 6개의 규칙 기반 데이터 스키마를 구성하여 데이터 모델링을 구축하였다. 대기오염물질별 데이터 스키마는 현재 환경부에서 공시하여 실외 오염도를 측정할 수 있는 데이터를 기반으로 사람의 신상정보인 나이별, 질환별로 상황인지를 수행하여 적합한 오염대처를 제시할 수 있는 시스템을 실현할 수 있다. 질환별로 상황대처를 수행하기 위해서 공인된 미국 의학 시소러스 정보(Mesh2005)를 이용하여 현재 환경부에서 공시된 데이터를 기반으로 추론 확장을 가능하게 하였다.

포름알데히드에 대한 급성영향에 대한 데이터 모델을 구축하기 위해서 본 논문에서는 국내 평가 자료와 WHO 평가자료(2001)를 기반으로 데이터 모델링을 그림 1과 같은 데이터 스키마로 구성하였다.[6,7,8] 국내의 대기환경 오염도를 측정하기 위해서 환경부에서는 각 오염 물질 별 오염 등급을 부여하고 있는데 국내외적으로 아직까지 포름알데히드에 대한 등급 부여에 관한 연구는 수행되지 않은 것으로 보인다.

본 논문에서는 포름알데히드의 오염도 등급을 제시하고 각 등급별 사람의 대처 방법을 제시해주는 행동요령 데이터를 구축하였다.

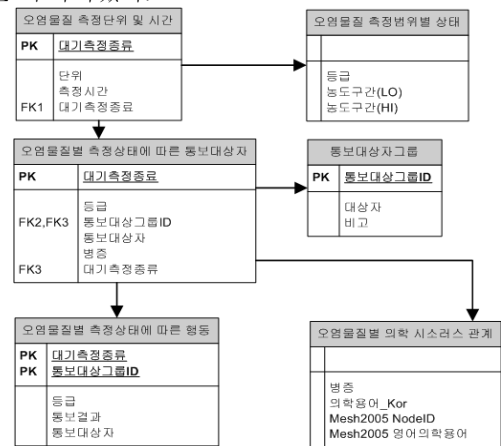


그림 1. 대기오염물질 관리를 위한 데이터스키마

표 2는 HCHO의 오염농도별 위험등급을 나타내는 데이터이다. HCHO는 기존 연구들에 있어서 농도 구간에 따른 인체영향을 분석한 연구는 수행되어졌으나 표 2와 같은 위험등급에 대한 분류는 제시되어지지 않았다.

본 논문에서는 HCHO에 대해서 환경부에서 공시하고 있는 대기환경 오염등급 별로 데이터를 기계가 이해하기 쉽도록 정량화된 규칙을 구성하여 상황인지 처리를 수행한다.

표 2. HCHO를 위한 오염농도별 등급

대기측정종류	등급	농도구간(LO)	농도구간(HI)
포름알데히드	-	0	0.024
포름알데히드	보통	0.024	2.96
포름알데히드	나쁨	2.96	4.96
포름알데히드	매우 나쁨	4.96	20
포름알데히드	위험	20	48
포름알데히드	매우 위험	48	100

2) 위해우려물질모니터링결과(2004), 대기환경연보(2005), 위해우려물질 환경모니터링 분석보고서, 환경부 물환경정보시스템, 대한환경공학회지, 한국환경과학회지, 한국대기환경학회지, <http://www.sciencedirect.com> 국제학술지도 검토

표 3. HCHO를 위한 오염등급별 통보대상자 및 증상

대기측정종류	등급	통보대상그룹ID	통보대상자	병증
포름알데히드	나쁨	101/301	천식환자, 일반인	최루성, 천식발작 위험
포름알데히드	매우 나쁨	101/301	천식환자, 일반인	강한 최루성, 기침, 머리 무거움, 심장박동 증가 위험
포름알데히드	위험	101/301	천식환자, 일반인	호흡기 부종, 폐렴, 위독상태 위험

표 3은 오염등급별로 영향을 미칠 수 있는 통보대상자와 오염등급에 따라 영향을 미칠 수 있는 증상들을 구성하여 HCHO의 오염도에 따라 병증 정보를 제공할 수 있도록 데이터를 구축하였다.

표 4는 HCHO의 오염등급별 행동요령을 제시함으로써 생명에 지장을 줄 수 있는 위험한 상황이나 병증을 악화시킬 수 있는 상황에 대해서 실시간 대응 정보를 주변 사람에게 통보 할 수 있도록 데이터를 구성하였다. 표 5는 통보대상자를 그룹으로 주변 사람별 클러스터링 기법을 적용한 확장 가능성을 고려하여 데이터를 구성하였다.

표 4. HCHO를 위한 오염등급별 행동요령

대기측정종류	등급	통보결과	통보대상자	통보대상그룹ID
포름알데히드	보통	실내 환기 필요	천식환자, 일반인	101/301
포름알데히드	나쁨	즉시 실내환기 또는 실외로 이동	천식환자, 일반인	101/301
포름알데히드	매우 나쁨	즉시 실내환기 또는 실외로 이동	천식환자, 일반인	101/301

표 5. 통보대상자 그룹

통보대상그룹ID	대상자	비고
101	질환자	특정 질환자
201	노약자	노인, 어린이
301	일반군	성인, 건강 어린이 등 모든 사람

대기환경 공학 및 의학 분야에서 다양한 오염별 인체 영향 분석 연구가 진행되어져 있다.[5] 그러나 모든 경우의 수에 대한 데이터 구축을 수작업으로 수행하기에는 비용 및 시간이 많이 걸리는 문제가 있다. 이에 같은 의미의 용어에 대해서 상/하/동등 관계 정보를 이용하여 추론 기능을 수행하여 기계적으로 값이 다를 때 같은 의미로 해석하여 행동요령을 제시 해 줄 수 있어야 된다. 표 6은 의학 분류학 적

표 6. 병증에 대한 의학 시소러스 관계

병증	의학용어_Kor	Mesh2005 NodeID	Mesh2005 영어 의학용어
호흡기	호흡기질환	C08	Respiratory Tract Diseases
천식	천식질환자	C08.127.108	Asthma
폐	폐질환자	C08.381	Lung Diseases
심혈관	심혈관질환자	C14.240	Cardiovascular Abnormalities

으로 데이터를 모델링 한 시소러스 정보(Mesh2005)를 기반으로 기존에 대기환경 오염도에 따른 통보 대상자를 좀 더 확장하여 행동요령을 추론할 수 있도록 설계하였다.

실제로 기존 자연언어 처리 기술이나 데이터마이닝 기술 분야에서는 가공되지 않은 텍스트 데이터로부터 데이터 모델링을 구축하는 연구가 많이 연구되어져 있으나 이를 위해서는 기본적인 소프트웨어 툴킷 및 특화된 정보처리 기법을 필요로 한다.[4] 본 논문에서는 대규모의 데이터는 아직 확보한 정보데이터의 부족으로 수작업을 통한 데이터 구축을 수행하였다. 센서네트워크 서비스 개발에 있어서 표 6과 같이 기존에 방대하게 구축된 정보를 이용하

여 다양한 분야에서 구축된 데이터를 통합하면 새로운 서비스 제시가 가능 할 것이다.

2.2.2 데이터모델링 : 만성영향

포름알데히드의 만성영향 평가의 개발 원리는 사람이 유해물질의 특정 용량에 노출되었을 경우, 유해 영향 발생 확률을 결정하는 단계가 용량-반응 평가 과정이다. 정량적인 용량-반응 관계가 관찰된 역학 자료가 가장 우선적으로 활용되며, 적합한 역학 자료가 없을 경우에는 동물 실험 자료를 이용하여 용량-반응 평가를 수행한다.

표 7. HCHO 만성영향을 위한 데이터 모델링

Rc / Rs 비	병증	통보결과	통보대상자	통보대상그룹 ID
≤ 1	안전	-	일반인	301
1.1	청정환경보다 발암위험이 10% 증대	가능한 한 실내환기 또는 실외로 이동	일반인	301
1.5	청정환경보다 발암위험이 50% 증대	가능한 한 실내환기 또는 실외로 이동	일반인	301
1.8	청정환경보다 발암위험이 80% 증대	가능한 한 실내환기 또는 실외로 이동	일반인	301
기타	청정환경보다 발암위험이 ? % 증대	가능한 한 실내환기 또는 실외로 이동	일반인	301

\* Rc = 1.6 x 10<sup>-2</sup> x Ca (ppm), Rs (WHO 기준 위해도) = 1 x 10<sup>-5</sup>

그리고 위험성 확인을 위해 조사된 자료를 중심으로 정량적인 용량-반응 결과가 제시되어 있는 자료를 선정한다. 선정된 자료들을 노출 대상자, 노출기간, 노출경로, 노출량 및 그에 상응하는 독성 종말점(toxic endpoint)이 명확하게 제시되어 있어야 하며, 이를 바탕으로 일반인들에 대한 독성 유발 정도를 결정하게 되는 것이다.[9]

본 절에서는 USEPA 모델에 기초하여 표 8과 같은 포름알데히드 만성영향 평가 방법을 제시한다.

2.2.3 실시간 모니터링 시스템

우리 생활 주변 곳곳에서 환경오염, 건물붕괴, 화재 등과 같은 다양한 형태의 위험요소가 산재되어져 있다. 특히, 대도시하철 공간과 같은 경우에는 2003년 단 한번의 사고로 사망 190여명, 부상 150여명의 인명 피해가 발생하였다. 이는 화재에 대한 위험요소 사항에 대해 기관사, 지하철중앙본부, 탑승 승객에게 적절한 시간 내에 위험정보를 알리지 못하여서 그에 대한 대처를 충분히 확보하지 못하여 발생한 사고이다. 그리고 최근 지하철에서는 내부공기들의 순환이 순조롭지 못한 이유로 미세먼지 등과 같은 오염원이 산재되어져 있다. 특히 환경의 중요성이 증가되어 주거환경의 쾌적함을 유지할 수 있는 기술 및 제품들이 개발되어지고 있다.

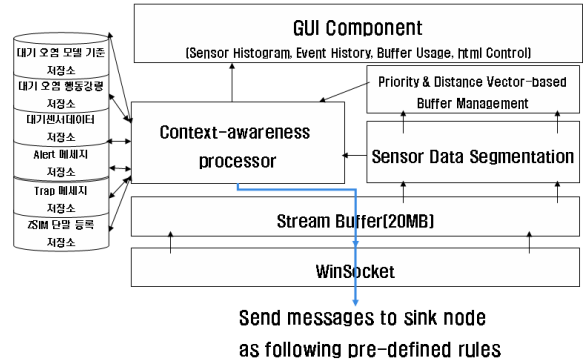


그림 2. 실시간 모니터링 시스템 구성도  
본 절에서는 포름알데히드 오염도 측정을 위해서 IT

기술을 접목하여 위험상황이 발생한 지역에 있는 사람들에게 대해서 실시간 상황처리를 수행할 수 있는 실시간 모니터링 시스템을 제시한다.

실시간 모니터링 시스템은 그림 2와 같이 크게 “지식정보데이터베이스”, “Stream Buffer”, “Sensor data segmentation”, “Priority & Distance Vector-based Buffer Management”, “Context-awareness processor”와 “GUI Component”로 구성된다. “지식정보데이터베이스”는 “Context-awareness Processor”에서 기능을 수행하기 위한 기반 데이터 정보로서 2장에서 설명한 HCHO 오염도에 대한 데이터 모델링을 저장하고 있다.

본 논문에서 제시한 “Context-awareness processor”는 현재 수집된 HCHO의 오염농도를 이용하여 선 구축한 데이터 모델링을 기반으로 오염등급을 측정한다. 여기서 오염등급은 임계치 영역을 두어 획득한다. 2장에서 설명한 의학 시소러스를 이용한 데이터 모델링 확장 기법은 아직까지 실제 구현을 하지 않았다.

**3. 구현 및 실험 결과**

본 논문에서는 ET-IT 융합 기술의 일환으로 HCHO의 오염도 측정을 위한 테스트 베드를 그림 3과 같이 구성하였다. 센서네트워크 환경으로부터 HCHO의 오염 농도를 주기적으로 수집하여 싱크노드를 통하여 IP 망으로 연결되어 있는 실시간 모니터링 시스템으로 수집된 데이터를 전송한다. 본 시스템은 센서네트워크 환경으로부터 전달 받은 HCHO 센서 데이터를 처리하여 “보통”, “나쁨”, “매우나쁨”, “위험”, “매우위험” 등급을 인식하여 Zigbee-enabled Phone으로 주변 상황 정보 및 대처 정보를 ZigBee 네트워크 메시지 및 SMS 문자 메시지로 전송한다. IT-ET 자원의 융합으로 유비쿼터스 사회의 서비스에서 본 논문에서 제시한 시스템은 앞으로 다양한 분야로 확장할 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

표 8은 센서노드를 구성할 때 HCHO를 수집할 수 있도록 사용된 센서 제원에 대한 규격이다.

본 논문에서 제시하는 실시간 모니터링 시스템은 개발 환경으로 windows systems(2003, XP) OS를 이용하였고, 센서데이터 정보 및 HCHO 데이터 모델링 정보를 저장하기 위해서 Postgresql-8.2를 사용하였다. 개발환경으로는 VisualStudio 6.0를 사용하여 구현하였다.

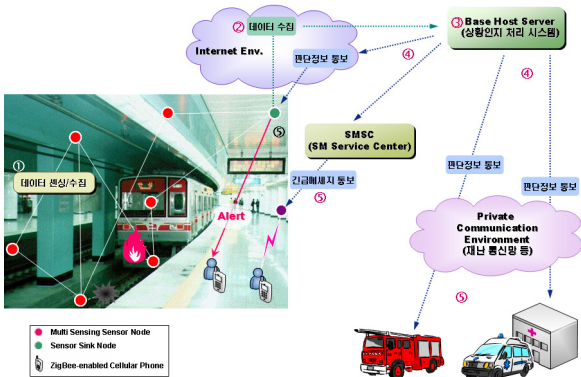


그림 3. HCHO 데이터 수집을 위한 센서네트워크 환경 및 개념도

표 8. 센서노드에 사용된 HCHO 제원

부품명	방식	해상도	범위	출력	응답시간	입력전압	전력소모	크기	단가
CH2O/C-10	전기화학식	0.05ppm	0~10ppm	Analog	50초 이내	±5V	200mW 이내	직경 32mm 높이 20mm	50,000원

HCHO 데이터 수집 가능 센서노드 2개를 이용하여 센

서네트워크 환경을 구축하였다. 그 외 화재센서노드 48개를 설치하였다. 각 센서노드는 TinyOS 기반으로 구성되어 있으며 MAC/Network 계층은 u-City 표준 규격(안)인 최적화된 WiBEEEM 프로토콜로 수행한다.

그림 4는 HCHO 기반 실시간 모니터링 시스템의 실제 수행 중 모습이다. 본 논문에서 제시한 시스템은 HCHO의 오염 농도별 6단계의 정량화된 위험 정보를 표시할 수 있으며, 각 위험 정보에 대해서 대처 방법을 사람에게 실시간으로 전송할 수 있는 SMS 문자메세지 기능을 탑재하여 즉각적인 위험상황 대처법을 제시해 준다.

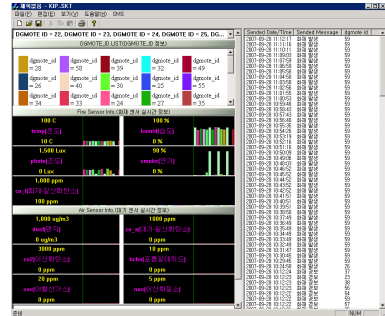


그림 4. 실시간 모니터링 시스템 화면

**4. 결론 및 향후 계획**

본 논문에서는 포름알데히드 센서데이터를 센서네트워크 환경으로부터 수집하여 상황인지 처리된 결과인 경보 및 대처요령을 주변 사람에게 전달 할 수 있는 시스템을 제시하였다. 최근 환경 문제 등을 해결하기 위해 다양한 신기술 개발 요구가 발생하고 있고 이를 해결하기 위해 미래 유비쿼터스 사회 근간으로 센서네트워크 인프라 구축이 빠르게 진행되고 있다.

본 논문에서는 미래유비쿼터스 사회의 쾌적한 주변환경을 제공하기 위해 ET-IT 융합 기술 중 하나의 예로 포름알데히드 센서데이터 기반 실시간 모니터링 시스템을 제시하였다.

앞 장에서도 설명했듯이 상황인지 처리의 고도화를 위해서 다양한 연구 분야의 특화된 데이터 모델링 기술 및 구축 기술이 연구되어야 될 것이다. 앞으로 본 논문에서 제시한 기술들을 기반으로 고성능 지능정보처리 시스템 발전해 나갈 것이다.

**5. 참고 문헌**

[1] Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “Wireless sensor networks: a survey”, Computer Networks, April 2002, pp.393-422.  
 [2] M. Aboelaze, and F. Aloul, “Current and future trends in sensor networks: a survey”, Second IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks, WOCN 2005, 6-8 March 2005, pp. 551-555.  
 [3] Rahul Biswas, Sebastian Thrun, Leonidas J. Guibas, “A Probabilistic Approach to Inference with Limited Information in Sensor Networks”, IPSN’04, April 26-27, 2004.  
 [4] Eleni Christopoulou, Christos Goumooulos, Ioannis Zaharakis and Achilles Kames, “An Ontology-based Conceptual Model for Composing Context-Aware Applications”, Vol. 1, No. 1, pp.1-12, 2004.  
 [5] 대한민국 환경부, <http://www.airkorea.or.kr>  
 [6] 여현구, 조기철, 임철수, 최민규, 선우 영, 수도권지역에서 포름알데히드와 아세트알데히드의 계절별 발생원 특성. 한국대기환경학회지 18, 11-23, 2002.  
 [7] Jo, W.K., Lee, J.W., In-vehicle exposure to aldehydes while commuting on real commuter routes in a Korean urban area. Environ. Res. 88, 44-51, 2002.  
 [8] Jo, W.K., Lee, J.W., Residential exposure to aldehydes relative to proximity to Dyeing Industrial Complex. International Archives of Occupational and Environmental Health 77, 113-120, 2004.  
 [9] USEPA(United States of Environmental Protection Agency). Formaldehyde. Integrated Risk Information System. 2007. Available at <http://www.epa.gov/iris>.