

사용성을 고려한 IP-USN 기반 산업장 환경 모니터링 서비스 설계

윤정민, 박범
아주대학교 산업정보시스템공학부

User-Centered Design of Workplace Environment Monitoring Service using IP-USN

Yun, Jung Min, Park Peom

Ajou University

E-mail : kitymin@paran.com, ppark@ajou.ac.kr

Abstract

산업의학 분야에서 유비쿼터스 기술을 이용한 서비스는 처치 중심의 의료 서비스보다 예방 중심의 의료 서비스를 제공하기 위한 필수적인 서비스로 인식되고 있다. 본 논문에서는 IP-USN을 기반으로 한 산업장 환경 모니터링 서비스를 구축하는 과정과 적용된 서비스에 대해 소개한다. 그리고, 산업장 환경 모니터링을 위한 서비스를 구축하는데 필요한 사용자 계층에 대한 특성과 전체 서비스 프레임워크를 효율적으로 구성할 수 있는 기법을 제안한다. 특히, 사용성을 고려한 사용자 모델과 서비스 프레임워크는 산업장 환경 모니터링 서비스의 사용 효율과 사용 성능을 향상시킬 수 있다.

1. 서론

한국의 급속한 성장은 6-70년대 중화학 공업을 중심으로 한 산업화 과정을 통하여 이루어 졌다. 하지만 급속한 산업화는 사업체의 수와 규모 및 산업 인구 증가의 원인이 되었으며, 이에 따라 작업자들이 유해 환경에 노출 될 위험이 높아졌다. 유해 환경에서의 근무는 작업 능률 저하 및 각종 직업병의 발생을 불러오기 때문에 삶의 질이 향상됨에 따라 근로자의 관심이 쾌적한 작업 환경과 개인적 건강에 대한 욕구로 바뀌어가고 있는 상황

속에서 대책 마련이 시급한 형편이다. 현 산업안전보건법의 규정에는 주기적인 작업환경측정과 건강검진 실시가 의무화 되어 있으나, 일괄적인 검사 체계로는 직업병을 정확하게 규명 하기 힘든 실정이다. 따라서 근로자의 산업재해예방 및 제품의 생산성 향상, 쾌적한 근로 환경 조성을 위하여 IP-USN을 이용한 산업장 환경 모니터링 서비스 설계에 대한 가이드 라인을 제시하고자 한다[1].

2. 본론

2.1 현행 작업 환경 측정

현행 작업 환경 측정은 작업 공정에 특별한 변화가 없다면 6개월에 1회 이상을 원칙으로 하고 있으며, 과거의 노출 수준에 따라 3개월에 1회 이상 또는 연간 1회 이상으로 조정할 수 있도록 규정하고 있다[2].

위의 규칙에서 규정하는 일정한 주기에 따른 작업 환경 측정 방식은 작업 공정에 특별한 변화가 없는 작업장에는 적합할 수 있지만 작업 방법이 다양하고, 유해 물질의 사용량과 노출 수준이 일정하지 못한 작업장에는 비 적합한 방법이다. 따라서 이에 대한 개선안으로 IP-USN 기반의 산업장 환경 모니터링 서비스를 제안한다.

2.2 IP-USN기반 작업 환경 측정 및 특성

IP-USN이란 Internet Protocol-Ubiquitous Sensor Network의 약어로 기존의 IP인프라를 기반으로 광범위한 확장성을 제공하고 센서 노드, 게이트 웨이 및 싱크 노드의 이동성을 보장하는 USN 서비스를 말한다. 특히 IP-USN은 BcN(광대역 통합망), IPv6(차세대 인터넷 주소체계), 와이브로, 무선랜 등 인터넷 인프라와 연계해 원하는 장소에 센서 네트워크를 구축, 다양한 서비스 제공이 가능한 것이 특징이다[3,4]. 이러한 특징을 바탕으로 작업 환경 측정이 실시간으로 이루어져야 하는 유해 물질의 사용량과 노출 수준이 일정하지 못한 작업장에서의 응용이 가능하다. 이러한 작업환경 측정 서비스는 유해 물질로부터 작업자를 보호하여 산업 재해의 예방과 근로자의 건강 관리에 도움을 줄 수 있다.

위에서 언급한 실시간으로 작업환경 측정이 요구되는 작업장의 특성은 다음과 같다.[5]

- 물리적, 화학적 요인과 관련된 재해나 직업병 발생지역
- 평상시 노출 수준이 높아 직업병 발생 위험이 높은 지역
- 평상시 작업 환경에 대해 작업자의 관심이나 불만

이 높은 지역

- 작업자의 수가 많은 지역
- 유해인자 수준의 변동이 심한 지역
- 유해인자 수준이 급격히 높아질 수 있는 밀폐 공간

실시간 작업환경 측정으로 인하여 발생하는 이점은 다음과 같다.

- 실시간으로 작업장의 유해인자 수준을 평가하고 공개함으로써 작업자들의 작업환경에 대한 관심과 이해가 높아짐
- 실시간 유해인자 수준을 모니터링 하여 고농도 노출 시 환기개선, 작업 제한 등의 조치를 취하여 직업병 예방
- 밀폐 공간 작업 시 산소 농도 등 환경 상태를 파악하여 재해 방지에 도움
- 직업병 발생 시 업무 관련성 평가에 이용가능

위의 IP-USN 기반의 작업환경 측정에 사용되는 환경 센서는 무선 데이터 전송 및 기존의 시설에 대한 추가 작업이 필요 없는 장점이 있기 때문에 비용적 손실을 최소화 할 수 있다. 또한 기존의 IP 네트워크를 이용한 다양한 응용이 가능하여 작업 환경 관리의 공간적, 시간적 제한성이 없어지고 쉬운 작업 환경 관리가 가능하다.

비교 항목	유선 센서	IP-USN 환경센서
배선작업	필요	불필요
배선 작업에 따른 추가비용	필요	불필요
확장성	낮음	높음
기존시설에 대한 구축의 용이성	낮음	높음
개인시료채취방법	어려움	가능

IP 기반 네트워크 이용 가능성	.	가 능
디지털 컨버전스	.	가 능
작업환경관리	한정된 장소 (예:관리센터)	언제 어디서나 관리 가능

<표1. 유선 센서와 IP-USN 환경센서의 비교>

2.3 설계 가이드 라인

현행의 작업 환경 측정과는 달리 IP-USN 기반 작업 환경 측정 서비스는 실용화 단계가 아니기 때문에 복잡한 응용 서비스의 구현은 제외한 기본적인 작업환경측정을 위한 산업장 분석 방법과 IP-USN을 이용한 작업환경측정 시스템 설계까지의 설명을 제공한다.

먼저 작업 환경 측정을 이행하려면 규칙 제 93 조의 3에 의거 산업장 특성을 파악하기 위한 예비조사를 실시하여 측정계획서를 작성하여야 한다.

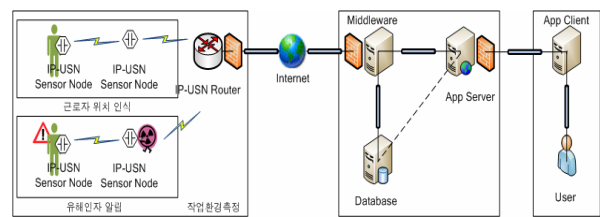
- 원재료의 투입과정부터 최종 제품생산 공정까지의 주요공정 도식
- 해당 공정별 작업내용, 측정대상공정 및 공정별 화학물질 사용 실태
- 측정대상 유해인자, 유해인자 발생주기, 종사근로자 현황
- 유해인자별 측정방법 및 측정 소요 기간 등 필요한 사항

측정 방법은 측정계획서를 토대로 IP-USN센서를 이용한 개인 시료 채취 방법과 지역 시료채취 방법으로 나누었다.

개인 시료 채취 방법은 근로자에게 센서를 부착하여 근로자의 작업환경에서의 유해 물질에 대한 노출 수준을 정확하게 파악할 수 있으며, 위치 인식 기술을 이용하여 근로자의 위치를 추적할 수 있어 근로자의 위치에 따른 유해인자 노출 수준을 비교적 정확하게 알 수 있다. 만약 기준치 초과 유해인자가 있는 장소로 이동 시 근로자에게 부착

된 센서가 감지를 하고 근로자에게 알려준다.

지역 시료 채취 방법은 근로자가 작업하는 일정 공간 내에 센서를 설치하여 일정 지역의 작업 환경을 측정하며, 이 때의 센서는 개인 시료 채취 방법과는 달리 근로자의 위치를 추적할 수 있는 레퍼런스 역할을 하게 된다. 또한 센서 부착 지역 내 유해인자 수준이 기준치를 초과할 경우 위험신호를 근로자들에게 보내 사전 예방을 가능하도록 한다.



<그림 1. 전체 시스템 구성의 예>

IP-USN 센서를 이용하여 실제 시스템 구성 시 산업장 특성을 파악한 후 각 산업장의 네트워크 인프라의 특성을 이해하고 시스템을 구축하였다. 또한 IP-USN 인프라를 통해 전달 되어진 환경 데이터는 저장 및 실시간 모니터링 할 수 있는 시스템을 구성함은 물론 데이터 보안에 대한 사항 역시 고려하였다.

실제적인 데이터 수집 단계는 센서에서 측정된 환경 데이터를 라우터를 통해 외부로 전송하는 단계로서 시스템 구성 시 작업환경의 특성을 고려한 센서 선정과 위치 인식을 위해 레퍼런스가 되는 센서의 설치 위치 또는 위험 인자의 우선 순위를 선정하였다. IP-USN의 센서는 다양한 응용이 가능하며, 개인 시료 측정 및 지역 시료 측정 방

기본 장치	기능
IP-USN 환경 센서	- 실시간으로 작업환경 측정 - 위치인식 기능 - 유해인자 알람 - 센서 값 자동 보정

IP-USN 라우터	- USN 환경센서에서 전달된 환경 데이터를 외부로 전송 - Data Logger Lite 기능 - USN 라우터와 미들웨어 간 네트워크 결합 허용
미들웨어	- Data Logger - IP-USN 라우터에서 전송된 환경 데이터를 가공하여 DB에 저장 - 클라이언트가 실시간 환경정보 요구 시 응용 서버로 실시간 환경정보 제공
응용 서버	- 환경정보 모니터링 - 과거의 환경정보 모니터링 - 기타 응용 서비스 제공
DB 서버	- 환경 데이터 저장

<표2. 기본구성 장치>

법에 의한 작업 환경 데이터를 동시에 수집할 수 있는 시스템을 설계하였다. 부가적으로 근로자의 위치에 따른 작업 환경 정보 및 유해 물질에 대한 알림 기능 등을 제공한다.

관리 단계는 전송된 데이터를 가공하여 처리하는 단계로써 라우터로부터 전송된 데이터는 미들웨어에서 데이터를 가공하여 정보로 변환한 다음 DB에 저장한다. 하지만 다량의 데이터를 동시에 처리하는데 무리가 있으므로 미들웨어에 Data Logger를 두어 데이터를 일정 시간 취합 후 DB와 동기화를 통해 1회에 모든 데이터를 전송한다. 또한 Data Logger는 중간에 취합한 정보를 DB에 전송하기 전 응용서버로 즉시 전달하는 기능도 수행하기 때문에 위급 상황의 경우 즉각적인 반응이 가능하다. 서비스 단계는 사용자가 클라이언트를 통해 다양한 서비스를 언제 어디서나 제공할 수 있다. 제공하는 서비스는 웹 브라우저나 응용프로그램을 통하여 제공받을 수 있다. 이처럼 제공받은 데이터는 서로 다른 벤더에서 개발된 장비들을 이용하여 네트워크를 구성하고 있다. 따라서 상호 운영이 되기 위해서 데이터 수집단계에서

시스템을 시험할 필요가 있다. 이는 IP-USN 장비들이 IEEE 802.15.4 MAC/PHY의 동일한 표준을 따르더라도 커미셔닝 절차와 부트 스트래핑을 거치는 절차적인 과정이 다를 수 있고 이는 네트워크 장애를 불러오기 때문이다[6,7].

지금까지 측정된 데이터를 이용하여 측정 시 요구하는 사항에 대하여 정리할 수 있었다.

작업환경측정결과 (소음 제외)	작업환경측정결과(소음)
부서 또는 공정	부서 또는 공정
단위작업장소	단위작업장소(주발생원)
유해인자	근로자수
근로자수	작업내용
근로형태 및 실근로시간	근로형태 및 실근로시간
유해인자발생시간(주기)	발생형태 및 발생시간(주기)
측정위치(근로자명)	측정위치(근로자명)
측정시간(시작~종료)	측정시간(시작~종료)
측정횟수	측정횟수
측정치	측정치
시간가중평균치(TWA)	시간가중평균치(TWA)
노출기준	노출기준
측정농도 평가결과	노출기준 초과여부
측정방법	측정방법
비고	

<표3. 작업환경측정결과 요구사항>

이는 작성 방법에 대한 가이드 라인을 제시해 주며 단발적이 아닌 지속적인 작업 환경 측정을 위한 요구사항을 최대한 반영할 수 있게 데이터를 구성해 준다. 데이터의 구성은 USN 환경센서에서의 데이터, IP-USN 라우터에서의 데이터, 미들웨어에서의 데이터, 응용 서버에서의 데이터, DB서버에서의 데이터 등으로 이루어 진다.

2.4 산업장 환경 모니터링 서비스 실시 결과

설계한 IP-USN기반의 산업장 환경 모니터링 서비스를 실시하여 보았다. 실시 대상은 자동차 부품 생산업체 1곳과 안경 조립업체 1곳으로 대상

사업장 2곳의 환경을 일 자 별로 12월 25일부터 31일까지 평균 노출 수준, 표준 편차, 최소값, 최대값을 구하였다.

연구 사업장	유해인자	평균	표준편차	최소값	최대값
자동차 부품 생산업체	진동	0.99	0.03	0.88	1.12
	온도	21.32	1.80	17.00	24.00
	습도	27.90	1.95	24.00	33.00
	분진	475.56	355.60	-128.00	1820.00
	소음	72.81	10.78	50.23	97.03
안경 조립업체	진동	1.14	0.17	0.04	1.48
	온도	23.87	1.18	21.00	26.00
	분진	250.41	137.92	-115.00	793.00

단위 : 진동(m/s²), 온도(°C), 습도(%), 분진(particle/L), 소음(dB)

<표4. 12월 25일 환경 데이터 정보>

연구 사업장	유해인자	평균	표준편차	최소값	최대값
자동차 부품 생산업체	진동	0.99	0.03	0.88	1.12
	온도	22.04	2.21	17.00	27.00
	습도	32.34	2.51	24.00	36.00
	분진	370.10	312.76	-128.00	1875.00
	소음	75.42	10.55	50.96	98.18
안경 조립업체	진동	1.16	0.14	0.50	1.48
	온도	24.45	1.51	21.00	28.00
	분진	224.14	198.28	-127.00	1023.00

<표5. 12월 26일 환경 데이터 정보>

연구 사업장	유해인자	평균	표준편차	최소값	최대값
자동차 부품 생산업체	진동	0.99	0.03	0.88	2.01
	온도	22.97	0.76	19.00	24.00
	습도	46.70	4.02	37.00	53.00
	분진	1687.33	748.36	-103.00	2421.00
	소음	79.82	6.87	65.31	93.08

안경 조립업체	진동	1.31	0.28	0.00	1.66
	온도	25.07	1.69	21.00	29.00
	습도	35.44	1.13	33.00	41.00
	분진	545.85	284.75	127.00	12806.00

단위 : 진동(m/s²), 온도(°C), 습도(%), 분진(particle/L), 소음(dB)

<표6. 12월 28일 환경 데이터 정보>

연구 사업장	유해인자	평균	표준편차	최소값	최대값
자동차 부품 생산업체	진동	0.99	0.04	0.88	1.13
	온도	18.88	0.72	16.00	21.00
	습도	15.25	3.48	10.00	25.00
	분진	1349.20	820.34	-127.00	2347.00
	소음	62.02	1.37	57.41	67.60
	안경 조립업체	진동	1.15	0.19	0.93
안경 조립업체	온도	20.10	1.84	15.00	24.00
	습도	19.55	1.96	16.00	25.00
	분진	304.04	278.03	-128.00	1142.00

단위 : 진동(m/s²), 온도(°C), 습도(%), 분진(particle/L), 소음(dB)

<표7. 12월 30일 환경 데이터 정보>

2.5 실시 대상 사업장의 환경 비교

유해인자	연구 대상 사업장	
	자동차 부품 생산업체	안경 조립업체
진동	0.99	1.18
온도	21.02	22.77
습도	26.00	25.49
분진	897.26	485.85
소음	71.80	

<표8. 연구 대상 사업장의 유해인자 평균 비교>

두 연구 대상 사업장의 유해 인자 평균을 비교하면 온도, 습도의 경우는 큰 차이를 보이지 않았는데 이는 기온이나 습도 요인이 작업 환경의 영향보다는 기상 조건에 결정적으로 영향을 받기 때문으로 판단된다. 분진 수치는 자동차 부품 생산 업체의 분진 농도가 안경 조립 업체에 비해 약 2배

정도 높았으며 이는 자동차 부품 생산 업체의 작업 환경이 많은 기계들이 작동하면서 분진을 비산시키고 있기 때문으로 판단된다. 이에 비해 진동 수치는 예상과는 달리 자동차 부품 생산업체의 진동이 안경 조립업체에 비하여 낮은 수준이었으며 시간 별 변동 범위도 크지 않았다. 이러한 결과는 예상치 못한 진동원이나 환경 센서의 오작동으로 인한 가능성도 있다. 결과적으로 작업 시간대에서는 소음, 분진 등 유해 인자의 노출 수준이 상대적으로 비 작업 시간대에 비해서 높은 것을 알 수 있다. 그러나 시간 별 변동에 관한 자료는 이번 시험 사업의 결과와 비교할 수 있는 자료가 없어 확정적인 판단이 어렵기 때문에 추가적인 연구가 필요하다.

3. 결론

본 연구를 통하여 측정된 작업 환경 데이터를 분석하면 각 수치들이 체감적으로 느끼는 수준과는 차이가 있음을 알 수 있었다. 이는 연구 기간이 충분하지 못해 센서를 자체 개발하지 못하였고, 기존의 환경 장비 업체의 센서를 구입하여 사용함으로써 이들 업체의 제품 정도 관리 수준이 작업 환경 측정에서 요구하는 수준에 미치지 못한 것으로 보인다. 또한 이번 연구에서는 소음, 분진, 온도, 습도, 진동의 5 종류의 유해 인자를 평가하였는데 이 중 소음, 온도, 습도의 경우 센서의 정확도가 확실하고 적절한 소프트웨어가 개발 된다면 현행 작업환경 측정을 대체할 수준의 환경 정보를 얻을 수 있다고 판단된다. 하지만 분진의 경우는 중량 분석법을 이용하여 분석하도록 되어 있기 때문에 실시간 측정이 상대적으로 어렵다. 결론적으로 현재의 기술 수준과 제도 체제에서는 실시간 환경 측정 방법을 적용할 수 있는 유해인자의 종류가 매우 한정적일 수 밖에 없다.

따라서 보다 개선 된 환경 측정 방법을 위해서는 먼저 환경 센서에 대한 신뢰성이 구축되어야 한다. 시간, 예산 부족으로 자체 제작이 어려운 경우 품

질이 검증 된 센서를 채택하여 사용을 해야 하며, 다양한 유해 인자를 평가하기 어렵기 때문에 이에 대한 새로운 센서의 개발이 필요할 것으로 예상된다. 그러나 이러한 신 기술의 개발은 단기간에 이루어 지기 어려우므로 현 시점에서는 기존의 센서를 이용한 유해인자 범위 확대 방안을 적극적으로 모색하는 것이 중요하다.

또한 이번 연구에서 2곳의 사업장을 대상으로 실험을 실시한 결과 각 사업장 별 특성을 고려한 환경 모니터링 시스템의 구축이 중요할 것으로 판단되며, 각 특성 별 중요 유해 요인을 선정하여 중점적으로 관리 한다면 보다 실용성 높은 환경 모니터링 시스템이 될 것으로 예상된다.

Acknowledgements

This research is supported by the Ubiquitous Autonomic Computing and Network Project, the Ministry of Information and Communication (MIC) 21stCentury Frontier R&D Program in Korea.

[참고문헌]

- [1] IP-USN개요 및 발전 방향: 유승화, 아주대학교
- [2] 산업안전보건법 시행규칙(이하 “ 규칙”) 제93조의4
- [3] 최근 IP-USN Trend와 발전 전망: 오세근
- [4] IP-USN을 위한 센서 네트워크 운영체제 동향: 송준근, 임베디드 S/W 기술 동향 특집, 2008
- [5] 산업장 U-건강관리 및 꿈나무 ADHD 서비스 결과 보고서: 한국 정보사회 진흥원, 2007
- [6] IP-USN 최신 기술 동향 및 보안 요구 사항 분석: 김학범, 정보보안학회지, 2006
- [7] IP-USN 기술 및 표준화 동향: 박준성 김기철, 아주대학교
- [8] USN과 헬스 케어 보드를 이용한 환자 감시 시스템 구현: 이철희 이상희, 대한 전자 공학회 추계 대회, 2008