「정보시스템연구」 제18권 제1호
한국정보시스템학회
2009년 3월, pp. 145~157

제조업의 산업재해 예방을 위한 u-Safety 시스템 구축: 'H'기업 적용사례*

장길상** · 이종섭***

<목 차>

Ⅰ. 서 론
Ⅱ. 관련 문헌 연구
Ⅲ. 재해예측 및 판단 모델링
Ⅳ. u-Safety 시스템 구축사례
Ⅴ. 결론 및 향후 연구방향
감사의 글
참고문헌
Abstract

Ⅰ. 서 론

제조업에 있어서 작업장에서의 안전은 산업재해라 불리면서 안전관리 분야에서 핵심중의 하나로 부각되고 있다. 그 이유는 산업재해가 그만큼 물질적 측면이나 인력 측면에서 큰 피해를 초래하는 것이 산업재해이기 때문이다. 산업안전관리공단에 따르면, 2003년도 기준으로 산업재해 손실액은 12조원으로 노사분규로 인한 경제적 손실의 5배 수준이며 미신고 산업재해를 포함할 경우 연간 100조원이상으로 추정하고 있다. 또한, 산업안전관리공단에 따르면, 연도별 산업재해를 나타내는 지수를 비교해보면 다음과 같다: 1998년부터 2007년까지 10년간 사업장·근로자 및 재해자의 변화추이를 보면 1998년을 기준년도로 하여 지수 100으로 할 때 2007년도는 사업장이 663, 근로자는 165, 재해자는 175로써 사업장 근로자 및 재해자는 매년 거의 모두 증가하는 추세이다. 물론 현재 시점에서도 산업재해가 크게 개선되고 있다는 보고가 없기 때문에, 위의 분석과 유사한 상황이라고 인식할 수 있다. 이러한 막대한 경제적 손실을 발생시키는 산업재해를 예방하기 위한 전략으로써, 이관형 등(2000)은 우리나라에서 연도별 월별로 발생한 산업재해 데이터를 바탕으로 미래의 어느 시점에 산업재해가 어느 정도 발생할 것인지를 사전에 예측할 수 있는 데이터 마이닝 기반의 산업재해 예측 모델을 제시

* 이 논문은 2008년 춘계정보시스템학회에서 최우수 논문을 수상하였습니다.
** 울산대학교 경영정보학과 교수(교신저자), gsjang@ulsan.ac.kr
*** 유한대학 산업경영과, jsrhee@paran.com

하여 월별 산업재해자 발생의 증감을 분석하였다.

본 논문은 이렇게 막대한 경제적, 인적 손실을 발생시키는 산업재해를 사전에 방지하기 위하여, 조선산업의 선박건조 작업장을 연구대상으로 산업안전관리 시스템을 구축하고자 한다. 연구대상 산업인 조선산업은 자동화가 쉽지 않은 설계 엔지니어링형 산업으로 열악한 작업환경에서 대규모 인력이 용접과 페인팅, 구조물 설치 등을 수행해야 하기 때문에 여느 작업장보다 산업재해의 위험성과 노동 강도가 높아서 폭발이나 질식사고의 위험이 상존하고 있는 작업장이다. 따라서, 작업장에서 재해 예방을 위하여 최근 주목을 받고 있는 유비쿼트스 컴퓨팅 기술(Ubiquitous Computing Technologies) 중에서 유비쿼터스 센서 네트워크 (USN: Ubiquitous Sensor Network) 기술의 접목 필요성이 제기되어 왔다. 최근 이러한 유비쿼터스 컴퓨팅 기술에 대한 조직 및 서비스 부문에서의 기술수용에 다양한 실증연구가 진행되고 있다(장기섭 등, 2007; 차윤숙&정문상, 2007).

본 논문에서는 이러한 조선산업과 같이 재해위험이 항상 존재하는 현장 작업장에서 발생하는 각종 안전사고를 사전에 예방하고 획기적으로 줄일 수 있는 USN 기반의 안전관리 정보시스템인 u-Safety 시스템의 구축 방안을 제시하고자 한다. 본 연구에서 제시하는 u-Safety 시스템은 USN 장치를 이용하여 조선 작업장의 다양한 작업환경 데이터를 실시간으로 수집하고, 분석하는 산업안전 관제시스템 구축을 목표로 한다. 구축된 시스템은 세계 최대 조선사업장인 'H' 중공업의 선박건조 작업장에서 위험요소를 사전에 감지하여, 사고를 예방할 수 있도록 해준다. 즉 감지된 주요 내용인 산소농도, 폭발가스농도, 화재발생 요소 등 각종 안전사고 요인을 분석하여, 작업장 위험 상황을 개인 휴대폰이나 PDA, PC 등에 경보를 알려 줌으로서 사전에 감지하게 하는 것이다.

Ⅱ. 관련 문헌 연구

본 논문의 연구대상 및 목적은 조선 작업장에서 재해예방을 위하여 USN을 이용하여 작업환경 데이터를 수집 및 분석하여 작업장의 안전관리를 목적으로 하고 있는데, 지금까지의 기존 연구에서는 일치하는 연구는 없었다. 다음의 조사된 문헌들은 본 연구와 동일한 문제를 해결하는 것은 아니지만, 많은 통찰력을 준 논문들이다.

예태곤 등(1999)은 건설안전관리에 대한 사례중심의 접근법을 효과적으로 실현하기 위하여 전문가시스템 분야에서 많이 활용되고 있는 사례기반추론기법을 적용하여, 현장상황과 유사 정도에 대한 우선순위에 따라 과거 재해사례를 제공함으로써, 공사관리자나 안전관리자가 현장에서 발생 가능한 재해를 효과적으로 예방할 수 있도록 지원하는 사례기반 건설안전관리 시스템(Case-based Construction Safety Management System)의 추론 모형을 제시하였다.

현우석&김용기a(2000)은 기존의 시스템이 열 감지기, 화염 감지기, 연기 감지기를 각각 독립적으로 고려하여 화재를 탐지함으로써 어느 한 감지기의 순간적인 높은 작동이나 흡연, 난방, 취사 등과 같은 비화재에 대해서도 화재경

보를 울리고 스프링쿨러를 작동시키는 문제점이 있었다(가장 단순한 화재탐지 형태). 따라서 이들은 센서들의 비화재 조건에서는 화재경보를 울리지 않고, 선박에서의 화재발생시 화재발생 유무와 관련된 불확실한 상황에 대해서도 적절한 조치를 자동적으로 취해주는 퍼지논리(Fuzzy Logic)를 이용한 화재진압통재 지능시스템을 설계하고, 프로토타입 시스템을 제시하였다. 사용한 기법으로는 퍼지 집합(Fuzzy Set) 및 퍼지논리 개념을 적용한 규칙 기반 전문가 시스템(Rule Based Expert System)이며, 화재발생 유무를 분석하기 위한 규칙으로는 자동화된 연기 감지기, 화염 감지기, 열 감지기 등을 통하여 연속적으로 전달되는 출력값을 전처리기에서 감지기의 반응정도를 나타내는 소속함수 값과 연속적인 감지값의 증가정도를 나타내는 소속함수 값을 얻게 되고, 이 값들을 퍼지 논리에 의해 융합해서 화재발생 유무를 측정하였다.

현우석&김용기b(2000)은 기존의 화재진압통제 지능시스템은 대부분 규칙기반 시스템인데, 실제로 화재를 탐지하는데 필요한 지식은 정형화된 규칙만으로 표현하기 어려우며, 과거의 화재발생 사례를 기초로 탐지하는 경우가 적지 않다. 또한 기존의 규칙기반 시스템은 성능 향상을 위하여 규칙을 계속 수정하고 추가해야 하는 단점이 있으며, 예외적인 상황에서 화재가 발생시 적시에 화재를 탐지하는데 문제점을 지니고 있다. 이들은 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 규칙 및 사례기반의 하이브리드 지능시스템을 설계하였고, 프로토타입 시스템을 제시하였다. 그 결과로 탐지율을 향상시켰다. 적용 기법으로 퍼지 집합(Fuzzy Set) 및 퍼지 논리(Fuzzy Logic), 규칙 기반 추론 시스템(Rule Based Expert System), 그리고 사례 기반 추론을 통합한 하이브리드 지능시스템 접근법을 사용하였다. 화재발생 유무 분석 방법으로는 규칙 및 사례 개념을 도입하였는데, 여기서 규칙은 화재제어에 대한 광범위한 지식을 표현하고, 사례는 예외적인 화재 발생 상황을 표현함으로써 과거의 화재 발생 사례를 화재 탐지에 활용하여 규칙만으로 탐지하기 어려운 예외적인 상황도 탐지할 수 있도록 하였다.

정창기(2000)는 화재안전을 통한 기업의 경영 측면에 초점을 맞춰 인명 및 재산상의 손실위험에 대한 화재의 발생과 성장과정을 화재시뮬레이션 기법을 통한 위험관리 단계에 의해 해석하고, 실무에 적용이 용이한 위험도 기반 화재안전관리 시스템(Fire Safety Management System : FSMS)을 제안하였다. 그러나 이 연구는 주로 건물 및 시설물의 화재위험을 평가하는데 활용하기 적합하고 또한, 테스트를 통한 신뢰성 및 성능이 검증되지 않았다.

Faouzi Derbel(2004)은 상업용 광학 화재 탐지기, 온도 센서, 반도체 금속 옥사이드 가스 센서들로 구성된 새로운 멀티 센서 탐지기를 제시하였다. 멀티 센서 탐지기는 단순 임계치(Threshold) 규칙을 적용한 탐지기 보다는 더욱 정교한 알고리즘을 요구한다. 제시된 알고리즘에는 전처리 모듈(Pre-processing Unit), 데이터 특성 추출 모듈(Feature extraction Unit), 그리고 분류 모듈(Classification Unit)로 이루어진 패턴 인식 시스템(Pattern Recognition System)을 기반으로 하고 있다. 분류 기법으로는 인공신경망(Neural Network) 알고리즘을 사용한다. 여기서 인공신경망 알고리즘은 추출된 특성 값들로부터 화재인지, 화재가 아닌지, 혼동되는 상황인

지의 3가지로 분류하여 결과를 제시하였다.

Rose-Pehrsson 등(2000)은 미 해군 프로그램 중의 하나인 인력감축을 위한 손상통제시스템에서 함정 기능 및 손상제어 시스템들의 자동화를 위한 일환으로, 현재의 화재 탐지 시스템의 성능을 향상시키는 방안을 제시하였다. 상술하면, 경고를 울리지 않아야 할 상황에서 경고를 울리는 거짓 경고 회수를 줄이면서 실제 화재 상황은 더 잘 감지할 수 있는 탐지 시스템을 개발하는 것이다. 이를 위하여 멀티 기준 기반의 탐지기술을 사용한다. 멀티 신호 조기 경고 화재 탐지 시스템은 상업적으로 이용 가능한 연기 탐지 시스템들보다도 거짓 경고 회수를 줄이고 보다 적은 시간으로 실제 화재 조건에 더 신뢰성 있는 경고를 제공할 수 있도록 개발되었다. 이들은 24가지의 실제 화제 시나리오와 12가지의 화재로 오인할 수 있는 시나리오를 고려하여 실험하였다. 데이터는 상이하면서 다양한 실제 화재 및 거짓 화재 소스에서 20개의 센서들로부터 생성되고, 다양한 다변량 방법들을 이용하여 분석 되었다. 데이터 셋은 비화재, 화재, 거짓 화재 소스에 대한 센서 반응값을 나타내는 3가지 클래스로 구성되었다. 조기 화재 탐지 및 거짓 소스의 기각을 위하여 4~5개의 센서들로 구성된 센서 배열(array)에 대한 데이터 분석 전략이 확률적 인공신경망(Probabilistic Neural Network)을 이용하여 개발되었다.

Fernandes(2004) 등은 LIDER(Light Detection and Ranging) 라는 레이저(laser)를 이용한 자동적인 숲 화재 탐지 시스템을 제시하였다. LIDER는 방사기(radiation emitter), 광학 수신기(receiver optics), 사진 탐지기(photo-detector), 그리고 신호수집 및 처리 하드웨어 및 소프트웨어로 구성되어 있다. 이를 이용하여, 제시된 숲 화재 탐지 시스템은 레이저를 산으로 연속적으로 보내고, 레이저의 입자가 산의 화재로 인한 연기구름(a plume of smoke)을 감지하여 수신기의 신호로서 잡히면, 이 데이터를 인공신경망(Neural Network) 알고리즘을 이용하여 분석해서 화재인지 아닌지를 탐지한다. 이 기법은 주로 대기 및 환경 분야의 연구에 적합하며, 제조업의 작업장의 재해 예측에 활용하기에는 한계가 있다.

위의 문헌들은 대부분 화재 탐지만을 위하여 센서들로부터 수집된 된 데이터들을 사례기반 추론, 규칙 기반 전문가시스템, 규칙과 사례 기반 하이브리드 전문가시스템, 인공신경망 기법 등을 이용하여 분석해서 탐지 결과를 제공해 주는 연구들 이다. 위의 연구들은 산업재해 예측을 위한 통찰력을 제공해 주기는 하나, 대부분이 화재탐지 기법 및 그에 따른 프로토타입 시스템을 제시하는 수준이어서, 화재뿐만 아니라 폭발, 질식 등 다양한 유형의 산업재해들이 발생하는 산업현장에 현실적으로 적용하기에는 한계점이 있다.

Ⅲ. 재해예측 및 판단 모델링

본 논문의 모델링 영역은 건조 작업중인 선박 내의 각 공간별 설치된 고정 및 이동 감지센서로부터 수집되는 산소농도, 온도, 습도, 조도, 폭발성가스(THC), 적외선, 연기, 불꽃 정보를 분석해서 관측 대상 작업장이 현재 어떤 상황에 놓여 있는지 판단하는 기준과 알고리즘을 작성하는 것이다. 이를 위하여, 본 논문에서는

<표 1> 탐지요소별 임계치

탐지요소	정상치	경고치	위험치	치사치	근거자료
산소(%)	23.4-19 19-23.4	18-17(질식) 23.5-29(폭발)	16-12(질식) 30이상	11이하	한국과학기술정보연구원 산소과다부분 체크
온도(℃)	14-30	45이상	65 이상	-	(일반적인 소화기의 스프링클러 작동온도)
습도(%)	35-70	30이하	20이하	-	대한산업안전협회(www.safety.or.kr) -30이하 건조주의보 -20 이하 건조경보
조도	75-1000 lx	1500 lx이상	2600 ~3000 lx 이상		대한산업안전협회(www.safety.or.kr) -초정밀 작업시 750Lux이상 되어야함
THC(%)[1]	0-0.4(폭발) 0-0.1(질식)	0.5-0.9(폭발) 0.2-0.4(질식)	1.0이상(폭발) 0.5이상(질식)	-	방폭공학(김홍.신창섭 공역)-도서출판 동화출판
적외선	0초	_	600초	-	-
연기	0초	_	600초	-	-
불꽃	0초	_	600초	-	-

재조업의 재해예측 및 판단 모델링을 위하여 3단계 과정을 거쳐서 수행하였다.

단계 1: 재해 전문가 의견 및 문헌조사를 통한 탐지요소별 임계치 및 가중치(Weights) 산정

단계 2: 전문가의 재해 예측 지식을 기반으로 한 휴리스틱(Heuristic) 알고리즘 작성

단계 3: 휴리스틱 알고리즘의 성능 검증을 위한 인공신경망(Neural Network) 기법과의 비교

먼저, 재해예측 및 판단 모델링의 단계 1은 탐지소별 임계치 및 가중치를 산정하는 단계이며, 다음의 <표 1>은 단계 1의 첫 번째 산출물인 탐지요소별 임계치, 즉 각 탐지요소별 정상치, 경고치, 위험치, 치사치에 대한 각각의 임계치를 보여준다.

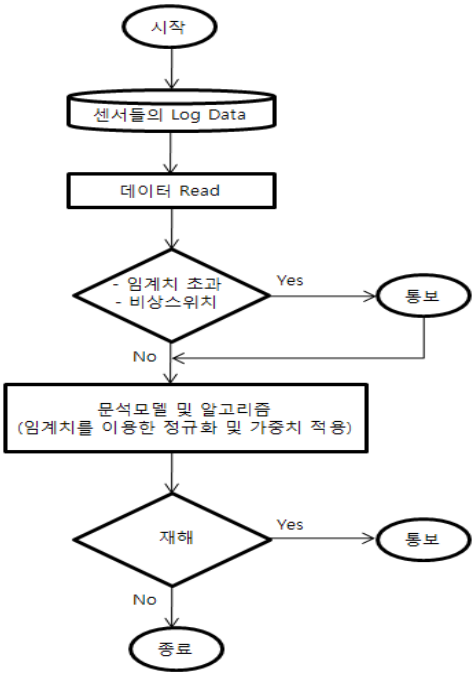
<표 2>는 단계 1의 두 번째 산출물인 탐지요소별 가중치를 나타내며, 이것은 모든 탐지요소들 사이의 재해, 즉 화재, 폭발, 질식에 미치는 영향 정도, 즉 중요도를 9점 척도를 사용하여 전문가들에게 설문조사를 실시하여 이원비교 행렬(Pairwise Comparison Matrix)로 작성하고, 이를 AHP(Analytical Hierarchy Process) 기법[1]을 이용하여 산정하였다.

<표 2> 탐지요소별 가중치

탐지요소별 가중치	산소 (ω_O)	온도 (ω_T)	습도 (ω_M)	THC (ω_{THC})	적외선 (ω_I)	연기 (ω_S)	불꽃 (ω_F)	조도 (ω_L)
가중치_화재(%) 총합계(100%)	5	26	2	12	10	21	22	2
가중치_폭발(%) 총합계(100%)	28	7	3	40	3	4	11	4
가중치_질식(%) 총합계(100%)	49	4	3	22	5	10	4	3

1) AHP 기법은 정성적 분석법의 일종으로 주관적 판단에 의한 가중치 결정 방법으로서, 주어진 의사결정문제를 계층화한 후, 상위계층에 있는 한 요소의 관점에서 직계 하위계층에 있는 요소들을 쌍대비교 (pairwise comparison) 하여 상대적 중요도 또는 가중치를 구함으로써 최하위 계층에 있는 대안의 우선순위(Priority)를 결정하는 기법이다.

단계 2는 현업 전문가의 지식을 기반으로 하여 재해예측 분석을 위한 휴리스틱 알고리즘을 설계하며, 본 알고리즘의 개략적인 흐름도는 다음 <그림 1>과 같다. 그 기본적인 개념은 작업장에 설치된 센서들로부터 수집되는 데이터를 1차적으로 탐지 요소별 임계치와 탐지규칙을 적용해서 정상, 경고, 위험으로 판단을 하고, 2단계로 수집된 탐지 요소별 데이터를 특정 값의 범위로 정규화하며, 이에 가중치를 적용해서 최종 환산값을 구하고, 이 값을 바탕으로 종합적인 재해 상황판단을 수행하는 것이다.



<그림 1> 산업재해 예측 분석 흐름도

위의 <그림 1>의 흐름도를 기반으로 산업재해 예측 및 탐지를 위한 휴리스틱 알고리즘을 구체적으로 기술하면, 다음과 같다.

첫 번째 단계는 이동 및 고정감시 장치에 구비된 각 센서로부터 탐지 요소별 감지값을 수신한다.

두 번째 단계는 수신된 감지값을 이용하여 <표 1>의 탐지요소별 임계치와 <표 3>의 탐지규칙을 기준으로 각 감지 정보별 화재, 폭발, 질식에 관한 정상, 경고, 위험 상태를 판단하고 판단결과를 통보한다.

<표 3> 탐지규칙

탐지 결과	탐지규칙
정상	- 탐지요소들의 값이 모두 정상 범위에 속할 때
화재경고	- 온도가 경고 범위 안에 있을 때 - 연기가 3회 연속 감지 될 때 - 불꽃이 3회 연속 감지 될 때
화재위험	- 온도가 위험 범위 안에 있을 때 - 온도가 경고 범위 안에 있고, 연기가 2회 연속 감지될 때 - 온도가 경고 범위 안에 있고, 불꽃가 2회 연속 감지될 때 - 온도가 위험 범위 안에 있고, 연기 및 불꽃이 동시에 감지될 때
폭발경고	- THC 농도가 경고 범위 안에 속할 때 - 산소 농도가 경고 범위 안에 속할 때
폭발위험	- THC 농도가 위험 범위 안에 속할 때 - 산소 농도가 위험 범위 안에 속할 때 - THC와 산소 농도 모두가 경고 범위 안에 속할 때 - THC와 산소 농도 모두가 위험 범위 안에 속할 때
질식경고	- 산소 농도가 경고 범위 안에 속할 때 - THC 농도가 경고 범위 안에 속할 때
질식위험	- 산소 농도가 위험 범위 안에 속할 때 - THC 농도가 경고 범위 안에 속할 때 - 산소 농도가 질식 범위 안에 속할 때

세 번째 단계는 다음의 [수식 1]을 이용하여 수신된 감지값을 정규화 한다. 정규화 하는 이유는 각 탐지 요소별 실제 감지 값들이 서로 큰 차이를 보이기 때문에, 종합적인 재해상황 판단 및 시스템 처리를 쉽고, 효과적으로 수행하기 위해서이다. 정규화 수식 [수식 1]에서 A는 정규화 하고자 하는 특정 탐지요소의 범위값을 지정할 수 있는 것을 의미한다.

[수식 1]

$$정규화값 = \left(1 - \frac{|위험범위의\ 최상한값 - 현재감지값|}{|위험범위의\ 최상한값 - 정상범위의\ 최상한값|}\right) \times A$$

다음의 [수식 2]는 [수식 1]을 기반으로 A의 값이 100일 때, 즉 모든 탐지요소들의 실측값들을 100의 값을 기준으로 환산하는 탐지 요소별 정규화 수식이다.

[수식 2]

$$산소농도(질식):\ O^{s}_{score} = \left(1 - \frac{|12 - current\,value|}{|12-19|}\right) \times 100$$

$$산소농도(폭발):\ O^{e}_{score} = \left(1 - \frac{|35 - current\,value|}{|35-23.4|}\right) \times 100$$

$$온도:\ T_{score} = \left(1 - \frac{|65 - current\,value|}{|65-30|}\right) \times 100$$

$$습도:\ M_{score} = \left(1 - \frac{|10 - current\,value|}{|10-35|}\right) \times 100$$

$$조도:\ L_{score} = \left(1 - \frac{|3000 - current\,value|}{|3000-1000|}\right) \times 100$$

$$THC(질식):\ THC^{s}_{score} = \left(1 - \frac{|0.7 - current\,value|}{|0.7-0.1|}\right) \times 100$$

$$THC(폭발):\ THC^{e}_{score} = \left(1 - \frac{|1.2 - current\,value|}{|1.2-0.4|}\right) \times 100$$

$$적외선:\ I_{score} = \left(1 - \frac{|600 - current\,value|}{|600-0|}\right) \times 100$$

$$연기:\ S_{score} = \left(1 - \frac{|600 - current\,value|}{|600-0|}\right) \times 100$$

$$불꽃:\ F_{score} = \left(1 - \frac{|600 - current\,value|}{|600-0|}\right) \times 100$$

네 번째 단계는 정규화된 감지값에 <표 2>의 가중치를 적용하여 각 정보별로 합산한다. 합산 수식은 다음과 같다.

[수식 3]

$$최종환산값 = O \times \omega_O + T \times \omega_T + M \times \omega_M + THC \times \omega_{THC} + I \times \omega_I + S \times \omega_S + F \times \omega_F + L \times \omega_L$$

다섯 번째 단계는 합산된 최종 환산값을 이용하여 다음의 <표 4>를 이용하여 재해 판단 및 통보를 한다.

<표 4> 재해별 최종환산값의 임계값(예시)

	정상	경고	위험
화재	500000 미만	500000 이상	600000 이상
폭발	250000 미만	250000 이상	350000 이상
질식	250000 미만	250000 이상	400000 이상

예를 들면, 다음 <표 5>와 같이 탐지요소별 감지값이 관찰되었다고 했을 때, 수식 1, 2와 정상값/임계값을 이용하여 각 탐지요소별 환산값을 구하고, 여기에 재해 요소별 탐지요소별 가중치를 곱해서 재 해 요소별로 합하면 최종환산값이 나온다. 이것을 가지고 <표 4>를 이용하여 판단하면 된다. 아래의 예제는 질식의 최종환산값 640000이 400000 이상이기 때문에 질식위험 판단이 통보된다.

마지막으로, 3 단계는 휴리스틱 알고리즘 성능 검증을 위하여 신경망 알고리즘과 수행성과를 비교하는 단계이다. 실험 데이터는 이러한 조선건조 작업장 부분에 센서 네트워크를 설치하고, 재해 예측을 위한 모델링 및 시스템 구축 작업이 처음이기 때문에, 현장의 실제 데이터가 존재하지 않았다. 따라서 실험 데이터를 MS EXCEL의 RAND()함수를 이용하여 탐지요소별 값의 발생 범위를 기초로 하여 생성하였다.

<표 5> 알고리즘 설명을 위한 데이터(예시)

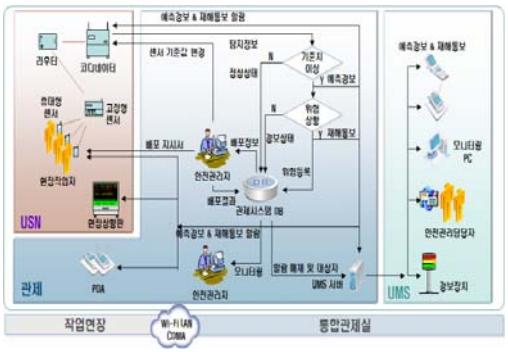
분류		산소		온도		조도		습도		THC		적외선	연기	불꽃	최종환산	결과분석
		하한	상한	하한	상한	하한	상한	하한	상한	하한	상한					
감지값		118		204		4		240		0		1097	3813	0		
정상값		170	250	-50	300	0	1000	150	1000	0	2	0	0	0		
임계값		150	300	-200	500	0	3000	100	1000	0	11	600	600	600		
환산값		10000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000	10000	0		
화재	가중치	0	5	0	26	0	2	2	0	0	12	10	21	22	310000	질식 위험
	결과	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100000	210000	0		
폭발	가중치	0	28	0	7	0	4	3	0	0	40	3	4	11	70000	
	결과	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30000	40000	0		
질식	가중치	49	0	0	4	0	3	3	0	0	22	5	10	4	640000	
	결과	490000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50000	100000	0		

데이터 생성은 신경망 알고리즘을 모델링하기 위하여 16221개의 데이터를 생성, 이중에 정상 값을 가진 데이터들이 12721개, 질식경고 데이터가 200개, 질식발생 데이터가 200개, 질식위험 데이터가 200개, 폭발경고 데이터가 400개, 폭발위험 데이터가 600개, 화재경고 데이터가 600개, 화재발생 데이터가 600개, 화재위험 데이터가 700개로 구성되어 있다. 휴리스틱 알고리즘을 수행하고, 신경망의 결과와 비교하기 위하여 75개의 테스트 데이터 생성하여 따로 준비하였다.

본 논문의 신경망 알고리즘은 산소, 온도, 습도, 조도, THC가스, 적외선, 연기, 불꽃의 8개의 노드를 갖는 Input Layer와 각 8개, 4개의 노드를 갖는 2계층 Hidden Layer, 정상, 화재경고, 화재위험, 화재발생, 폭발경고, 폭발위험, 폭발발생, 질식경고, 질식위험, 질식발생의 10개 노드를 갖는 Output Layer로 구성된 신경망 알고리즘이 테스트 결과가 가장 좋게 나와서 본 휴리스틱 알고리즘과 비교하였다. 비교실험 결과, 두 알고리즘의 재해예측 판단 결과가 동일하게 나왔다. 따라서 본 연구에서 제시한 조선 작업장의 재해예측을 위한 휴리스틱 알고리즘의 우수함을 보여줄 수 있었다. 또한, 아직 현장에서의 실 데이터 축적 부재로 신경망 등 데이터 마이닝 기법과 사례기반추론 알고리즘 등 고등 기법을 사용하기에는 한계가 있었고, 휴리스틱 알고리즘의 직관적이면서 사용 용이함에 때문에 본 연구의 u-Safety 시스템에 제시된 휴리스틱 알고리즘을 도입되었다.

Ⅳ. u-Safety 시스템 구축사례

본 절에서는 3절에서 제시된 재해예측 분석 모델 및 휴리스틱 알고리즘을 기반으로 하여 개발된 u-Safety 시스템의 구축 사례를 기술한다. 구축된 u-Safety 시스템 목적은 최적의 USN 장치를 기반으로 신뢰성 있는 작업장 환경 데이터를 수집/전달하고, 수집된 데이터의 신속한 분석을 통한 유해한 재해요소 식별 및 상황 판단을 통하여 이상 상황을 신속히 전파함으로서 작업장의 산업재해를 미리 예측하여 통지하여 주는 것이다. 구축된 u-Safety 시스템의 목표 업무 흐름도는 다음의 <그림 2>와 같다.



<그림 2> 목표 업무흐름도

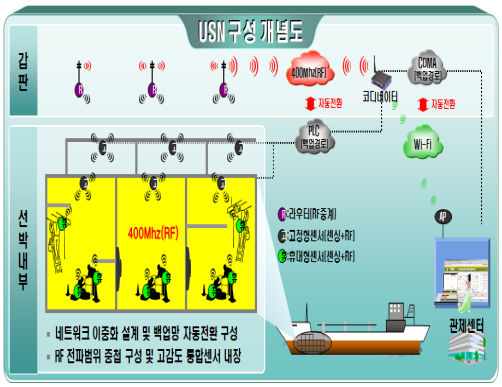
구축된 u-Safety 시스템 구성은 <표 6>과 같이 크게 2부문으로 나눌 수 있다.

<표 6> 시스템 구성

USN 장비 부문	관제 부문
- 휴대형 센서 - 고정형 센서 - 라우터 - 코디네이터	- 컨트롤 서버 - UMS 서버 - WEB/WAS 서버 - 관제 단말

여기서, 관제 부문의 구성요소들을 간략하게 설명하면 다음과 같다: 컨트롤 서버는 실시간 USN 연동 및 탐지정보 분석하며, UMS(Unified Message System) 서버는 예측경보 및 재해통보 메시지 전송하고, WEB/WAS(Web Application Server) 서버는 모니터링 및 통계, USN 제어 사용자인터페이스(UI, User Interface)를 제공하며, 마지막으로 관제 단말은 개인용컴퓨터, 노트북, PDA(Personal Data Assistant)를 이용한 UI 단말 부분을 제공한다.

또한, 조선 작업장의 현장 상황 데이터를 실시간으로 수집하기 위한 USN의 구성도는 <그림 3>과 같다. 여기서 USN 설계시 유의 사항은 조선 작업장과 같이 철 구조물이 대부분인 작업장에는 이에 적합한 400Mhz RF(Radio Frequency) 통신방식을 채택하여야 함과 동시에 RF 전파범위 중첩설계로 안정성 강화하여야 하고, 특히, 선박 유형별 유연한 배치와 적용이 가능하도록 설계하여야 한다.



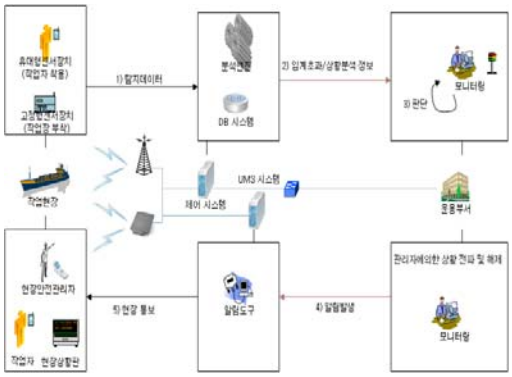
<그림 3> USN 구성도

또한, 구축 u-Safety 시스템의 주요 기능은 <표 7>과 같다.

<표 7> 시스템의 메인 메뉴 기능

기능	설명
배포관리	- 고정형장치의 배포, 회수, 이동 관리 - 휴대형장치의 배포, 회수, 이동 관리 - 배터리 잔량 관리
실시간 모니터링	- USN 탐지 전송되는 정보를 모니터링 - 비상상황 발생시 해당 작업장에 통지/경보
USN제어	- USN장치의 제어요소 설정정보 등록/수정 - 펌웨어 업그레이드 관리
관제시스템 관리	- 공통코드, 시스템설정정보, 사용자 관리 - USN장치, 도면, 작업장 관리 - 탐지요소, 상황패턴 관리
통계분석	- 기간별, 작업장별 탐지장치별, 탐지요소별 통계정보 제공

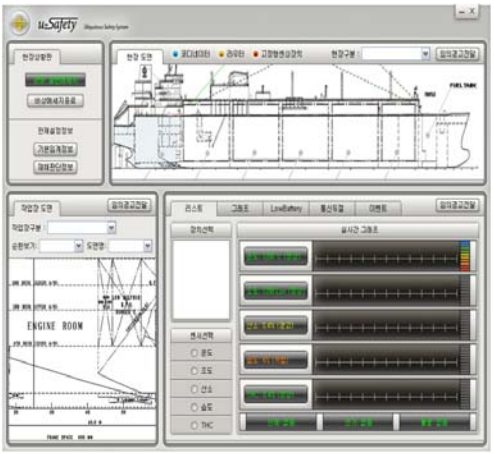
본 연구에서는 구축된 u-Safety 시스템의 많은 기능들이 있으나, 이중에서 본 논문에서 제시된 화재예측 분석 모델 및 휴리스틱 알고리즘을 사용하여 실행되는 실시간 모니터링 기능에 대하여 기술한다. 다음 <그림 4>는 실시간 모니터링 및 경보 시나리오를 보여주고 있다.



<그림 4> 실시간모니터링/경보 시나리오

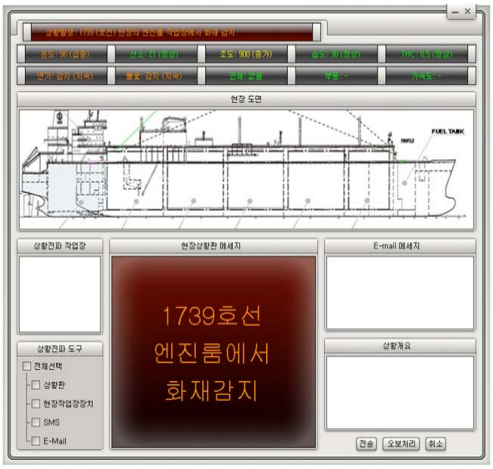
다음 <그림 5>는 USN으로부터 탐지 전송되는 정보를 실시간으로 모니터링 하는 화면이

다. 또한 비상상황 발생 및 감지시에는 해당작업장(상세도면)을 보고있지 않는 상태라 하더라도 자동 전화되어 사용자가 인지 할 수 있도록 해준다.



<그림 5> 실시간 모니터링 화면

다음의 <그림 6>은 실시간모니터링 화면에서 경보발생시 뜨는 경보발령 팝업창이다. 여기서, 선박 이미지 상에 있는 체크박스를 클릭하여 경보발령 대상 인접작업장을 선택할 수 있고, 경보발령 전송 대상은 상황판, SMS, 경보장치, 현장작업장 장치로 구분할 수 있다.



<그림 6> 경보발령 팝업창

본 u-Safety 시스템의 구축 효과로는 산업현장의 재해 관련 유해인자에 대한 신속한 분석 및 상황 판단으로 재해 발생시 이상 상황을 신속히 전파함으로서 사고에 신속한 대응으로 산업재해 손실을 감소시키고, 궁극적으로 원만한 노사관계를 도모할 있을 것으로 기대된다.

V. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 최근 주목을 받고 있는 USN 기술을 조선 작업장에 적용하여 산업재해 예방을 위한 u-Safety 시스템, 즉 산업안전관리 정보시스템 구축 사례를 제시하였다. 또한, 이를 위하여, 작업장의 USN으로부터 수집되는 탐지요소별 데이터를 분석하기 위한 재해예측 및 판단을 위한 분석모델 및 휴리스틱 알고리즘을 제시하였다. 그러나 이러한 작업장의 재해예측 및 판단을 위한 데이터가 거의 존재하지 않은 상황에서 분석 모델 및 알고리즘이 제시되었기 때문에, 현재 가동에 들어간 u-Safety 시스템이 1년 이상 가동이되고, 실 데이터가 축적이 되면 현재의 분석 모델 및 알고리즘을 계속적으로 수정 및 보완을 해가야 할 것이다.

향후 연구과제로는 현재 분석 알고리즘이 휴리스틱 알고리즘이지만, 향후 데이터가 축적되면, 문헌연구의 논문들에 사용되고 있는 신경망(Neural Network), 사례기반추론(Case-Based Reasoning), 규칙기반 전문가시스템 등 다양한 기법들을 적용하여 최선의 재해 예측 및 판단 모형을 찾는 것이다. 현재 이들에 대한 연구가 진행 중에 있다.

감사의 글

본 연구는 본 연구자가 현대중공업 프로젝트에 참여하면서 기여한 부문을 중심으로 작성한 논문이다. 따라서 논문의 내용 중에 현대중공업과 관련된 업무 및 시스템 부분의 지적재산권은 현대중공업에 있음을 명확히 하고자 한다. 아울러 본 연구자에게 프로젝트 참여기회 및 연구 기회를 주신 현대중공업의 CIO이신 황시영 전무님께 진심으로 감사드린다.

참고문헌

예태곤・이재용・이현수, 사례기반 건설안전관리시스템의 추론 모형, 한국산업안전학회지, 제14권 제1호, 1999. 03, pp. 167-176.

이관형·정호근·박정선, 데이터 마이닝을 이용한 산업재해 예측모델에 관한 연구, 대한산업의학회지, 제12권 제4호, 2000. 12, pp. 515-523.

장기섭·김창수·김기수, U-서비스 이용에 영향을 미치는 유비쿼터스 특성에 관한 실증연구, 정보시스템연구, 제16권 제4호, 2007. 12, pp. 51-73

정창기, 위험도 기반 화재안전관리 시스템(FSMS)의 제안, 화재·소방학회지, 제1권 제3호, 2000. 12, pp. 12-19.

차윤숙·정문상, 유비쿼터스 특성요인이 모바일 서비스의 사용의도에 미치는 영향, 정보시스템연구, 제16권 제2호, 2007. 6, pp. 69-91.

현우석·김용기, 통합플랫폼관리에서 퍼지논리를 이용한 화재진합통제 지능시스템의 설계 및 구현, 한국정보처리학회 논문지 제7권 제7호, 2000a. 07, pp. 2095-2107.

현우석·김용기, 통합플랫폼체제에서 규칙 및 사례기반의 하이브리드 화재진압통제 지능시스템, 한국지능정보학회논문지, 제6권 제2호, 2000b. 12, pp. 15-27.

Fernades, A. M., Utkin, A. B., Lavrov, A. V., and Vilar, R. M., "Development of neural network committee machines for automatic forest fire detection using lidar", Pattern Recognition, Vol. 37, No. 10 2004, pp. 2039-2047.

Derbel, F., "Performance improvement of fire detectors by means of gas sensors and neural networks", Fire Safety Journal , Vol. 39, Issue 5, 2004, pp. 383-398.

Rose-Pehrsson, S. L., Shaffer, R. E., Hart, S. J., Williams, F. W., Gottuk, D. T., Strehlen, B. D., and Hill, S. A., "Multi-criteria fire detection systems using a probabilistic neural network", Sensors and Actuators B: Chemical , Vol. 69, No. 3, 2000, pp. 325-335.

장길상(Gil-Sang Jang)

저자는 울산대학교 산업공학과를 졸업하고, 한국과학기술원(KAIST)에서 산업공학 석사와 경영정보공학 박사를 취득하였다. 또한 한국국방연구원(KIDA) 선임연구원, 한국오라클 기술지원팀장, 동국대학교 경주캠퍼스 전자상거래학과 조교수를 거쳐, 현재 울산대학교 경영정보학과 교수로 재직중이다. 주요 관심분야로 생산정보시스템, 사례기반추론 시스템, DB응용, ERP, e-Business 시스템, 객체지향 개발 방법론, 6 시그마 등이다.

이종섭(Jong-Sub Lee)

저자는 울산대학교 산업공학과를 졸업하고, 한양대학교에서 산업공학 석사학위 취득, 현재 동 대학원에서 박사학위 과정 재학 중에 있다. 또한 국방과학연구소(ADD) 연구원, 한국과학기술정보연구원(KISTI) 선임연구원, 울산광역시 중소기업 종합지원센터 책임연구원을 거쳐, 현재 유한대학 산업경영(공학)과 강의전담교수로 재직중이다.

<Abstract>

Implementation of u-Safety System for Preventing Industrial Disaster in Manufacturing Industries : The Case Study of 'H' Cooperation

Gil-San Jang · Jong-Sub Lee

If industrial disasters happen at workplace, work's desires of workers and business activities may be dispirited. Especially, industrial disasters frequently happen in the field of heavy and chemical industry companies. According to report of the korea occupational safety and health agency(KOSHA), damage due to industrial disasters is more 5 times than losses due to industrial strifes. Thus, in these manufacturing companies, a safety management field for preventing industrial disasters is emerging as an important factor of business activities.

This paper proposes an industrial disaster prediction model for safety management and also implements industrial safety management system (after this, is called as u-Safety system) based on the proposed model using ubiquitous computing technologies like USN (ubiquitous sensor networks) which are given much attention among recent information technologies. The implemented system is successfully operating in the shipbuilding division of 'H' companies.

Keywords : Ubiquitous Computing, Safety Management, Shipbuilding Industry, Industrial Disaster, u-Safety, USN(Ubiquitous Sensor Network)

* 이 논문은 2009년 1월 22일 접수하여 1차 수정을 거쳐 2009년 2월 16일 게재 확정되었습니다.