JESK J Ergon Soc Korea 2018; 37(4): 489-502
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2018.37.4.489
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

A Study on an ICT-based System for Safe Management of Agricultural Facilities for Farmers' Safety Activities

Insoo Kim, Kyungran Kim, Hyo-Cher Kim, Min-Tae Seo, Kyungsu Kim, Myungsun Ko

National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Jeonju-si, 54875

농업인의 안전활동을 위한 ICT 기반의 농업시설 안전관리 시스템에 관한 연구

김인수, 김경란, 김효철, 서민태, 김경수, 고명선

농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부

Corresponding Author
Kyungran Kim
National Institute of Agricultural Sciences,
Rural Development Administration,
Jeonju-si, 54875
Mobile : +82-01-7196-0470
Email : kimgr@korea.kr

Received : June 18, 2018
Accepted : July 04, 2018

Copyright@2018 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Objective: This study proposed a system for safe management of agricultural facilities whereby safety accidents of farmers are prevented from harmful factors of agricultural facilities and relevant hazardous situations, and efficient reaction is made possible when an accident occurs.

Background: Recent development of information and communication technology (ICT) brought groundbreaking development of cutting-edge technologies such as the internet of things (IoT) and ubiquitous sensor network, and application of such technologies is expanding to the area of industrial safety. In particular, accidents from the hazardous environment surrounding agricultural facilities, say, from harmful gases, are frequently taking place and therefore development of services for safe farming work is required.

Method: This study examined the types of safety accidents related to agricultural facilities occurring during farming work and designed a ICT-based system for safe management of accidents.

Results: This study presents a model of such system and the model has the following functions: detection of harmful environment and conditions dangerous to farmers with sensor technologies; communication network technology for prevention of and fast coping with accidents; and user interface aimed at monitoring harmful environment and dangerous situations.

Conclusion: The ICT-based system for safe management of agricultural facilities proposed in this study is expected to be applied as an application technology for safe agricultural activities.

Application: The outcome of this study will be useful to develop a convergent ICT-based system for the prevention of safety accidents related to agricultural facilities.

Keywords: ICT, Agricultural workers' accident, Safety management, Agricultural facility, Farmers

1. Introduction

오늘날 농업분야는 영농규모의 확대 및 농업 기계화 등으로 인한 생산량의 증대를 가져왔으나, 농업인의 고령화, 농업인구 감소 등은 농업노동 증가로 이어져 해마다 농업인의 업무상의 재해율이 증가되어 이에 대한 문제 해결의 심각성이 대두되고 있다(Park and Jeong, 2009). 고용노동부의 통계자료에 따르면 2015년 전체 산업 재해율이 0.50%인 반면에 농업 재해율은 0.94%로 1.8배 이상 높고, 사망률 역시 전체산업 1.01‰ 대비 농업의 사망률이 1.31‰을 보이고 있는 것으로 보고되었다(MOEL, 2016). 이미 대부분의 국가에서도 농업은 업무상의 재해와 위험도가 높은 산업의 하나로서 인식되었고(Omran et al., 2015), ILO의 보고에 의하면 농업은 다른 산업에 비하여 재해율이 높아 광업, 건설업과 함께 3대 위험 산업으로 분류되고 있는 실정이다(BLS, 2008). 우리나라의 경우 최근 귀농 농업인이 증가하고 있고, 농작업 인력의 외부 고용 확대는 낮은 농작업 숙련도와 더불어 농작업 안전기술에 대한 지식부족으로 나타나 유해·위험 환경에 더욱 노출되기 쉽다. 또한 농업인이 체감하는 위험성 수준에 대한 안전 인식은 낮은 반면, 사고가 발생할 수 있는 작업환경은 다른 산업에 비하여 위험하기 때문에 사고 발생비율은 높은 추세를 보이고 있다(Lee and Kang, 2009; Kim, 2007).

농작업 환경은 일반 산업과 달리 작목에 따라 높은 온도와 습도, 산소부족, 독성가스((예: 암모니아(NH_3), 황화수소(H_2S), 이산화탄소(CO_2), 일산화탄소(CO) 등)) 등 다양한 유해·위험 요인이 존재한다(Kwon et al., 2012). 이러한 농작업 유해요인에 대한 적절한 안전관리가 되지 않을 경우 생리적 부담 증가, 농작업 관련 질환 및 급성중독, 사망사고 등 중대재해가 발생하게 된다. 따라서 농작업 유해환경에 대한 적합한 대처는 안전과 즉결되는 요소로 가장 중요한 부분이다(Kim et al., 2016). 최근에는 시설농업 비중의 증가와 농업의 자동화가 진전되었음에도 불구하고 여전히 농작업 재해율이 증가하는 추세를 보이고 있다(Kim et al., 2015). 특히 밀폐된 농업시설 내의 작업은 농작업 환경과 관련된 유해요인에 의한 중대사고로 있어지는 경우가 빈번하게 발생하여 이에 대한 안전관리 방안이 필요하다. 예를 들어, 생산물 보관시설에서의 산소결핍에 의한 질식사고, 축산 분뇨 등의 가축 유해가스에 의한 중독사고, 비닐하우스 내의 온열에 의한 열 중독사고는 해마다 발생하고 있다(Kim et al., 2017; Kim et al., 2016). 이와 같이 밀폐된 농작업 공간은 인간이 쉽게 인지하기 어려운 유해 물질에 의해 중독 및 질식사고로 이어져 농업시설 내의 특성에 적합한 안전 시스템 지원 체계 구축이 요구된다. 즉 농작업 위험환경을 사전에 감지하고, 위험상태를 작업자에게 실시간으로 전달하여 위험상황을 즉시 인지할 수 있도록 하여야 한다. 또한 작업자가 응급상태인 경우에는 3자에게 메시지를 전달하고, 신속한 조치가 가능하도록 하여 더 큰 중대사고로 이어지는 것을 예방해야 할 것이다.

최근 ICT (Information & communications technologies) 융합기술은 산업 전반에 걸쳐 적용되고 있으며, 정보의 정확성 및 전달의 신속성 등 보다 나은 서비스를 제공하고 있다. 기존의 일반 산업분야에서 선행된 ICT 기반의 안전 관련 기술은 다양한 센서를 이용한 작업자의 위험상태 및 상황감지 수단, 데이터 및 정보전달을 위한 통신방식, 단말기 출력방식, 위험 알림방식 등에 적용되었다(Kim et al., 2017). 그러나 아직 농업분야는 생산성 향상 및 품질관리 중심의 연구 개발로 스마트 농업시설(예: 온실, 과수), 축산 및 농식품 등에 초점이 맞춰져 있어 농업인 안전분야에 대한 ICT 융합 안전관리 체계에 대한 연구 개발은 상대적으로 미흡한 실정이다. 농업인의 안전재해 예방 및 관리의 필요성이 대두되고 있는 현실에서 농업시설에서 빈번하게 발생하고 있는 중대사고를 최소화할 수 있는 안전관리 체계 구축은 중요하다. 이에 본 연구에서는 농업시설 환경 특성에 적합한 ICT 기반의 농업시설 안전관리 시스템 기반 구축을 위한 모델을 제안하고, 시스템 개발에서 요구되는 주요 기술을 설계하였다. 이는 농업안전 분야와 ICT 융합 시스템 구축에 기여할 것으로 판단된다.

2. Agricultural Work Safety and ICT Convergence

최근의 IT 패러다임은 생산성 중심의 산업기술에서 인간 중심의 과학기술로 발전하고 있으며, ICT 기술도 인간의 건강, 안전, 복지 등 삶의 질을 높이는 과학기술 분야에 활용이 증가되고 있다(Park, 2011; Yu et al., 2011). ICT는 제4차 산업혁명과 더불어 사물인터넷(Internet of things, IoT), 공간정보, 빅데이터(Big data) 등 융합기술로 진보되고 있다. 이미 일반 산업에서는 근로자의 안전사고 방지 및 신속한 사고대응을 위해 ICT 융합기술이 적용되고 있으며, USN (Ubiquitous sensor network), 센싱기술, 근로자 실내위치 파악 및 위치 감지기술 등 안전활동을 위한 기술이 개발되고 있다. 최근 몇 년 간 비약적으로 발전하고 있는 유무선통신 네트워크, DB (Data base) 시스템 등을 이용한 ICT 융합 산업안전기술 구축에 대한 연구 개발이 활발하게 진행되고 있다.

농업분야에서 ICT 융합기술은 정보화 기술, 자동제어기술, RFID (Radio frequency identification), USN 유무선통신, 모니터링 기술, 복합제어기술 등을 농업에 적용하여 생산성과 효율성, 그리고 품질을 향상시키는 기술로 정의하고 있다(Kim et al., 2012). 농업과 ICT 융합

사례를 살펴보면, 스마트팜 서비스로 시설원예 및 노지과수 분야에서 농작물의 생육환경을 자동 감지 센서와 연동하여 모니터링 및 원격제어를 지원하고 있다. 이와 같은 기술은 센서에서 감지된 데이터를 무선통신 네트워크 기술을 이용하여 스마트폰과 같은 모바일 장치를 통해 관련 정보를 사용자에게 실시간으로 제공된다. 축산분야에서도 양돈관리 시스템에 온도, 습도 센서, CO_2 감지 센서, CCTV 기반의 영상정보를 이용하여 축사환경을 모니터링, 사료 급여량 등을 관리하고, 데이터를 실시간으로 DB에 저장하는 시스템을 구축하였다. 이와 같이 농업환경에서 ICT 기술 접목은 어디서든 쉽게 모니터링이 가능한 통합관리 시스템에 대해 연구가 논의되고 있고(Yang et al., 2012; Hwang et al., 2010), 환경 모니터링 시스템은 조도, 온도, 습도, 음수량, 이산화탄소와 같은 생장환경 요소, 효율적인 작업관리, 농산물 및 유통, 가축관리에 초점이 맞추어져 있다(Paik et al., 2012). 반면에 농업인의 농작업 안전재해 예방을 위한 ICT 융합 연구는 상대적으로 미흡한 현실이다.

기존의 ICT 기술을 농업인의 안전활동에 적용하기 위해서는 무엇보다도 농작업 환경에 적합한 기술 개발이 고려된다. 농업인의 농업활동에 심각한 위험을 초래하고 있는 유해가스, 산소농도, 온도, 습도 등에 대한 위험 정보전달 방식 및 사고 발생 시에 신속한 대처 등 재해 예방을 위한 시스템 구축이 요구된다. 농작업 안전관리 문제해결은 최근 급속히 발전하고 있는 센서 감지기술, USN(예: RFID, Bluetooth, Zigbee, Ethernet 등), 통신기술, DB 시스템을 활용한 서버, 휴대용 단말기 등의 ICT 융합을 통한 새로운 개념의 농업시설 유해·위험 환경 관리 시스템 구축이 가능할 것이다. 최근 Kim et al. (2016)의 ICT 기반의 농업안전 시스템 모델에 관한 연구에서 감지 센서 기술, 정보통신 및 네트워크 기술, 사용자 인터페이스 기술을 기반으로 한 농업인의 낙상사고 등 긴급상황에 대한 모니터링 시스템을 제안한 바 있었으나, 농업시설 내의 유해·위험 요인에 의해 발생하는 중대사고 예방을 위한 안전관리에 대한 연구는 아직 적용되지 못하였다.

이에 본 연구에서는 농업시설 안전관리 시스템 모델을 제안하고, 구체적으로 유해·위험 환경 감지, 작업자 안전활동 감지, 무선통신 네트워크 기술, 사용자 인터페이스 설계 등 유해환경으로부터 안전한 농작업 활동을 위한 시스템을 설계하였다. 또한, 위험상태 및 응급상황 발생 시에 신속한 조치를 위한 정보전달 체계 및 빅데이터 수집 및 분석을 위한 DB 시스템을 설계하였다. 본 연구는 농작업 안전사고 사각지역 해소와 더불어 농업인의 삶의 질 향상을 위한 안전 모니터링 등 농촌 사회의 안전 네트워크 구축에 기여할 것으로 판단된다.

3. Agricultural Facility Environment and Hazard Factors

농작업 중에 발생하는 대표적 중대사고로 축산 분뇨시설에서의 가스중독, 생강 저장굴에서 질식사고, 비닐하우스 시설 내에서 열 스트레스 등으로 보고되고 있다(Kim et al., 2016). 가축 분뇨처리 시설의 경우 황화수소(H_2S) 가스에 의한 중독사고(RDA, 2013), 생강 저장굴의 경우에는 산소결핍에 의한 가스질식 사고(Lim and Bae, 2002), 그리고 비닐하우스 같이 밀폐된 공간에서 유해가스에 고농도로 노출되는 경우 위험이 가중되는 것으로 보고되었고(IARC, 2012), 온열에 의한 스트레스 사고가 자주 발생하고 있다(Cho et al., 2010; You, 2012). 아래의 Figure 1은 대표적 농업시설의 예를 보여준다.



(a) Vinylhouse (b) Underground storing places of ginger roots (c) Livestock manure treatment

Figure 1. Safety accidents that mainly occur in agricultural fields

우리나라에서 농업 비닐하우스 관련 재배면적은 2010년 2월 현재 5만여 ha로서 시간이 갈수록 증가하는 추세이며(Song and Kim, 2011), 4계절 내내 비닐하우스 재배가 이루어진다. 농업재해 예방 일환으로 위해 폭설 및 강풍 등에 의한 자연재해 예방을 위한 비닐하우스 구조에 대한 안전성 모델 연구 중심으로 수행되었다(Cho et al., 2010; You, 2012). 또한 작물의 생육요소(예: 기온, 토양 온도 및 수분, 일사량, 산소량 등)를 자동적으로 제어하는 ICT 융합형 스마트 온실 등에 집중되었다(Choi and Joung, 2014; Park et al., 2012; Song and Kim, 2011). 반면에 시설 내에서의 농업인의 안전재해를 위한 연구는 거의 전무한 현실이다(Figure 1 (a)). 일반적으로 비닐하우스에서 인체에 영향을 미치는 주요 위험요소는 온도, 습도, 산소농도이다. 대표적 열지수로 HI (Heat index)와 WBGT (Wet bulb globe temperature)가 주로 사용된다. HI는 대기의 온도와 습도와 관계를 결합하여 체감온도(Apparent Temperature, AT)를 산출하여 일사병, 열경련, 탈수증이 예상되는 시점을 정량화하여 사용되고, WBGT는 밀폐된(Enclosed) 환경에서 주로 사용되고 있으며 OSHA (Occupational Safety & Health Administration)에서는 풍속 1.5m/s 이하인 곳에서 가벼운 작업 시에 WBGT 역치 온도 30℃, 중등 정도의 작업을 수행하는 경우 28.8℃ 이하를 권장하고 있다(Bridger, 1995). KOSHA GUIDE (2012)에서는 WBGT 고열작업의 노출 기준을 작업강도(경작업, 중등작업, 중작업)에 따라 작업휴식시간비를 제시하였다. Choi et al. (2002) 연구에 따르면 비닐하우스 내의 작업에서 WBGT가 25℃ 이상이면 권태감, 27℃ 이상이면 고통을 느끼는 것으로 나타났다. 그리고 우리나라의 비닐하우스는 대부분 소규모로 설치되며 환기창이 없는 구조로 내부환기 상태가 나쁘고 산소농도가 낮아 저산소증이 유발되어 호흡곤란 증상이 나타날 수 있다(Lee, 2004). 이에 따라 비닐하우스 시설 내의 직업성 질환으로 저산소증으로 인한 호흡장애, 두통, 편두통, 현기증, 시력장애 등 다양한 유형을 보인다. 이와 같이 비닐하우스 작업환경에 따라 안전 예방책으로 비닐하우스 내의 온·습도 관리 및 공기환기, 비닐하우스 밖으로 나와 자주 맑은 공기를 호흡하는 것을 권장하고 있으나 인간이 이러한 위험상황을 직관적으로 인지하기가 어렵다.

생강 최대 생산지인 충청남도 서산시와 태안군 지역에는 3,000여개의 생강 저장굴이 있다. 생강 저장굴은 지상의 입구에서 수직으로 7~8m, 그리고 바닥에는 좌우로 길이 3~4m, 높이 2m의 수평굴 구조로 되어 있다(Figure 1 (b)). 최근 2009년과 2010년에도 이 일대에서 각각 3명이 숨지는 등 생강 재배가 본격적으로 시작된 1970년대 중반부터 해마다 2~3명의 농업인이 사망하는 등 현재까지 100여 명이 사망하였다. 사망의 원인은 생강 저장굴 내의 온도 상승으로 인해 산소소모량 증가 및 이산화탄소 발생으로 인한 저산소증으로 보고되었다(Kwon et al., 2012; Lim and Bae, 2002). Lim and Bae (2002) 연구조사에 의하면 생강 저장굴에서 발생하는 사고 중에 질식사고의 원인은 일산화탄소(CO), 암모니아(NH_4) 및 이산화황(SO_2)과 같은 독성 물질에 의하지 않고 산소농도 감소에 의한 저산소증으로 나타났다. 이것은 생강이 부패 또는 발효과정에서 이산화탄소(CO_2)가 산소(O_2)와 대치되어 산소분압에 기여하는 것으로 판단하였다(Lim, 2016). 산소결핍 규제에서 한국과 일본은 산소 18% 이하, 미국은 19.5% 이하, 캐나다는 18.5% 이하로 산소결핍 위험작업으로 규정하고 있다. 산소결핍의 최초 증상은 호흡속도와 깊이가 증가하고, 산소농도 16% 이하로 낮아지면 호흡 및 맥박이 증가하고, 구토 및 두통 증상과 더불어 활동능력과 인지능력이 저하된다. 산소농도가 10% 이하가 되면 즉시 의식을 잃고 사망하게 된다(Niland, 1994). 이에 대한 안전 대책으로 국소가스 배출기를 이용한 환기, 안전수칙 교육, 생강굴 앞에 안전주의 표지판 설치 등을 권고하고 있으나 사고 예방에 많은 효과를 거두지 못하고 있는 현실이다.

양돈 분뇨처리장의 정화조, 집수조, 맨홀, 우물, 침전조 등의 밀폐공간은 고농도 NH_4, H_2S, CO_2 등 유해가스로 인해 질식사고가 발생할 수 있는 위험장소이다(Figure 1 (c)). Donham (1989)과 Preller (1995)는 NH_4는 양돈시설에서 발생되는데 가축에게는 폐렴과 성장지연에 영향을 미치며, 사람에게도 건강상의 영향을 미치고 있다고 지적하였다. 또한 외부로 방출된 암모니아는 주변의 인근농가에 까지 많은 피해를 주고 있다(Lee and Lim, 2010). H_2S의 경우 공기보다 무겁고 높은 독성을 가지고 있으며 공기 중에 100mg/l의 수준에서 사람에게 치사량이 되며, 특히 비록 낮은 수준이라도 두통, 어지러움, 메스꺼움 등의 부작용을 유발한다(You et al., 2012). CO_2의 경우 동물의 호흡, 사료 수준 및 열 환경에 따라 영향을 받고, 정상적인 농도인 300mg/l로 농도가 높아지면 독성이 매우 강하지는 않지만 사람에게는 산소부족으로 인한 호흡곤란과 질식의 우려가 있고(You et al., 2012), 농도가 증가하면 호흡장애, 눈 자극, 두통을 유발할 수 있으나 심각하지 않다(Chapin et al., 1998). 그 밖에 돈사 내에 주요 가스상 오염 물질들 중 메테인(CH_4) 및 이산화질소(N_2O)는 발생량이 상대적으로 경미하여 일반적으로 작업장 노출 기준을 초과하지 않는 것으로 보고되고 있다(Noblet et al., 1989). 우리나라에서 1998년 집수조 모터수리 중 황화수소 질식중독으로 근로자 5명 사망, 분뇨 처리장 청소·보수 중 황화수소 질식중독으로 가족 4명이 사망하는 중대사고가 발생하였다(RDA, 2013). 이러한 질식사고는 주로 H_2S 급성 질식중독으로 밀폐된 공간 내부에서 공기 중 산소결핍이 원인이 될 수 있다(Lee and Lim, 2010). 축산 분뇨처리장과 같이 밀폐된 공간에서의 농작업 사고 예방을 위해 안전장비 구비, 가스농도 측정, 환기실시, 재해 발생 시에 구조요령 등을 권고하고 있으나 꾸준히 사고가 발생하고 있다. 사고의 근본적 원인인 작업자가 유해가스 농도 수치를 쉽게 인지하지 못해 사고로 이어지고 있다. 그러므로 축산생육 환경개선을 위해 유해가스를 정확히 측정하고 진단하는 것은 매우 중요하다.

이와 같이 농작업 환경은 다른 산업과 달리 다양한 유해요인과 위험상태에 노출되기 쉽고, 사고 발생 시 신속한 대처가 어려운 안전 사각지역에 놓여져 있다. 농업인의 중대사고 대부분은 농작업 환경에 영향을 받으며, 이는 인간의 인지능력으로 위험을 감지할 수 없는 한계적 상황에서 발생하고 있다. 따라서 가능한 ICT 기술을 접목한 안전관리 시스템 개발은 중대사고 예방에 효율적인 대처가 가능할 것이다. Table 1은 농업시설에서의 주요 유해·위험 요인과 증상 등을 보여준다.

Table 1. Agricultural facility environment and hazard factors

Hazard factors	Symptoms of workers	Standard of permission
AT (Steadman, 1984)	Very warm: can cause fatigue	27~32℃
	Hot: Heat stroke, seizure, dehydration symptoms	32~41℃
	Very hot: sunstroke, fever, dehydration, seizure symptoms	41~55℃
	Extremely hot: heat stroke, seizures	> 55℃
WBGT (NIOSH, 1998)	Does not appeal to discomfort	26.7℃
	Begin to appeal for discomfort	26.7~29.4℃
	Do sit-down or light work	30.0~31.1℃
	Continue to stop work (recommended to work according to 'work-break schedule'	> 31.1℃
O_2 (Kim et al., 2008)	No symptoms	19.5~23.5%
	Fatigue, decreased work performance	15~19.5%
	Increase of heart and breathing rates, some impairment in judgement and coordination	12~15%
	Very poor judgement and coordination, and impaired respiration	10~12%
	Loss of all movement, unconsciousness	< 10%
NH_3 (Bruce, 1981)	Red, upper respiratory irritation	5~50 ppmv
	Continual irritation to eyes, respiratory tract and mucosa surfaces	100 ppmv
	Eyes, upper respiratory irritation	500 ppmv
	Rapid breathing, respiratory spasms, suffocation	5,000 ppmv
	Rapid death	> 10, 000 ppmv
H_2S (Chapin et al., 1998)	Red, irritated eyes, upper respiratory irritation	10~20 ppmv
	Headaches, nausea, vomiting, diarrhea	5~100 ppmv
	Fatigue, paralysis of sense of smell, dizziness	200 ppmv
	Unconsciousness, nervousness, CNS malfunction	500 ppmv
	Immediate death	> 600 ppmv
CO_2 (Chapin et al., 1998)	Headaches, fatigue	50,000 ppmv
	Narcotic effect, unconsciousness, dizziness	> 100,000 ppmv
	Rapid death	> 200,000 ppmv
CH_4 (Chapin et al., 1998)	Explosive	50,000~200,000 ppmv
	Asphyxiation	> 500,000 ppmv

4. Agricultural Facility Safety Management System Model

4.1 System structure

본 연구는 ICT 기술을 농업시설 안전관리 분야에 적용함으로써 안전재해 예방 수준을 제고하고, 농업활동의 체계적 안전관리 구현을 위한 방향을 제시하기 위한 시스템을 제안하였다. 본 연구에서 제안하는 농업시설 안전관리 시스템은 농업시설 내부환경의 유해·위험 요인을 감지 센서를 활용하여 수집하고, 이를 무선통신 네트워크 통해 작업자, 제3자 또는 관련 기관에 안전관리 정보를 제공한다. 보다 구체적으로는 농업시설 출입구에 설치된 관리 단말기 장치(Management terminal)는 센서 단말기(Sensor terminal)로부터 전달받은 데이터를 분석하여, 작업자에게 시설내부의 환경정보 및 유해 유해·위험 수준을 경고음 또는 시각적 정보로 알려 안전상태를 확인할 수 있도록 한다. 농업시설 출입구에 설치된 관리 단말기는 작업자가 시설내부로 이동하기 전에 시설내부의 안전유무를 전달하고, 시설내부 작업 중에는 시설내부 환경이 유해 유해·위험 수준을 작업자에게 주의 및 경고를 알릴 수 있다. 또한 시설내부에 설치된 센서 단말기는 환경감지뿐만 아니라 작업자의 활동을 감지함으로써 수초간 움직임이 없을 경우 응급상황으로 판단할 수 있다. 또한 응급상황의 경우에는 관리 단말기로부터 작업자의 스마트폰에 무선통신을 통해 긴급상황 알림 신호를 호출한다. 이때 작업자가 긴급상황에 대한 확인 반응이 없거나 지속해서 움직임이 없을 경우에는 제3자 또는 DB & 모니터링 센터로 사고상황 및 위치정보를 전송하여 신속한 조치가 가능하다. 여기서 관리 단말기와 센서 단말기 간의 접속은 무선통신(400MHz)으로 구성될 수 있고, 관리 단말기와 스마트폰은 근거리무선통신(예: Bluetooth)을 활용할 수 있다. 본 연구에서 제안하는 ICT 기반 농작업 안전시설 관리 시스템의 구조는 Figure 2와 같다.

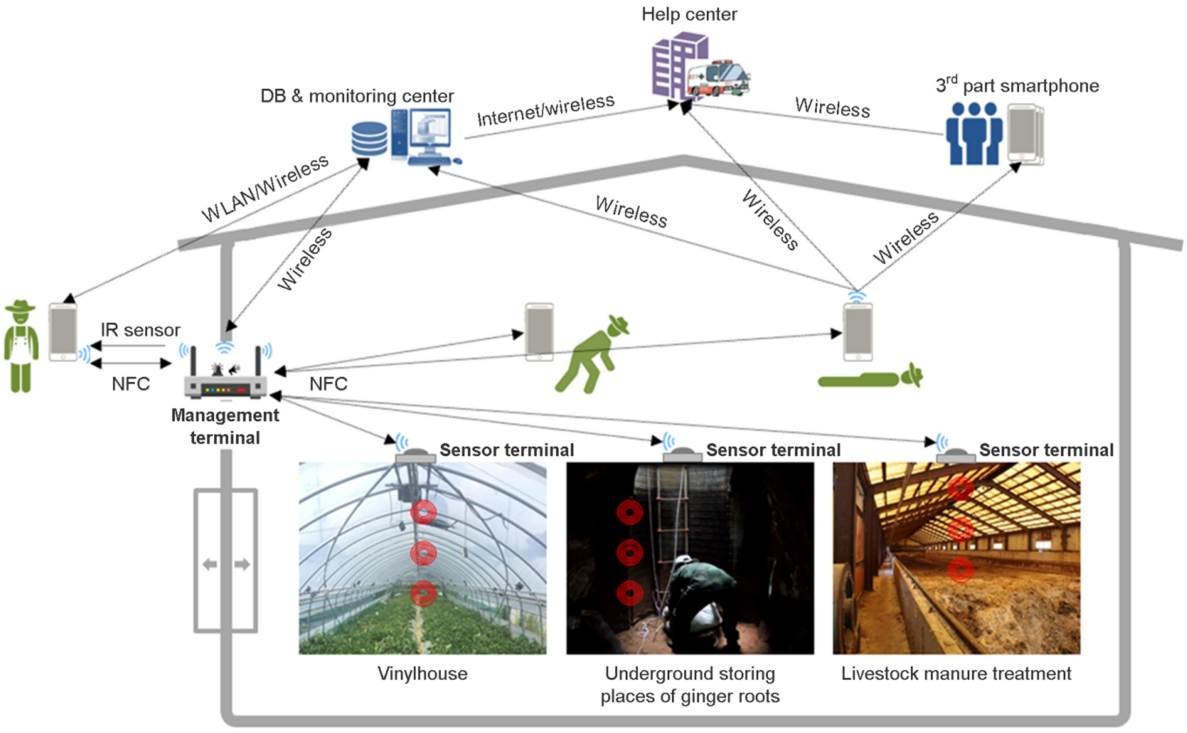


Figure 2. Overall system structure

4.2 Management and sensor terminal system design

관리 단말기 시스템(Management terminal system)은 작업자의 출입여부를 판단하는 근접 센서부, 센서 단말기 시스템(Sensor terminal

system)으로부터 송신된 데이터를 수신하고, 분석하고 관리하는 Main CPU 제어부, 농업시설 내부의 데이터를 전산망 송신하는 Bluetooth 및 400MHz 무선통신부, 환경정보 표시부, 경고 및 사고 발생 알림 기능을 수행하는 Monitor & Alert 구동부, 그리고 그밖에 태양광 충전 및 방전(태양광 전원) 기능을 수행하는 전원부를 포함한다. 작업자 출입여부 확인 기능은 농업시설 내부에서 외부로 이동하거나 혹은 외부에서 내부로 이동하는 출입자를 분석하게 된다. 관리 시스템 단말기는 센서 단말기로부터 전송되는 데이터(예: 환경, 배터리 수준, 응급 신호)를 400MHz 송수신기를 통해 수신한다. 관리 단말기에서 수집 및 분석된 정보는 관리 단말기 본체 내에 내장된 Bluetooth 통신을 통해 작업자의 스마트폰 및 전용 어플리케이션을 이용하여 전상망을 통해 DB & 모니터링 센터로 전송할 수 있다. 정보표시 및 알림 기능은 작업자가가 출입구에 접근할 경우 시설내부의 환경정보, 작업 안전활동 시간 등의 정보를 제공할 수 있으며, 시설 내에서 작업진행 중일 경우에는 작업자에게 환경정보 변화를 수시로 전달한다. 이 때 시설내부 환경이 위험상태로 판달될 경우에는 작업 주의 및 경고 신호를 알리게 되고, 만약 응급상황으로 판단될 경우에는 관리 단말기 내부에 설치된 경광등 및 경보음을 이용하여 사고 발생 및 위치를 알리는 동시에 작업자의 스마트폰에 응급상황 메시지를 호출하게 된다. 관리 단말기는 자체 3G/LTE 통신망을 이용한 데이터 송수신이 가능할 수도 있다. 태양광을 이용한 전원 기능은 농촌지역 특성상 전원공급이 어려운 지역에 설치될 경우 태양광을 이용한 독립적인 전원을 사용할 수 있다. Figure 3은 출입구 관리 단말기 시스템의 본체의 구성을 보여준다.

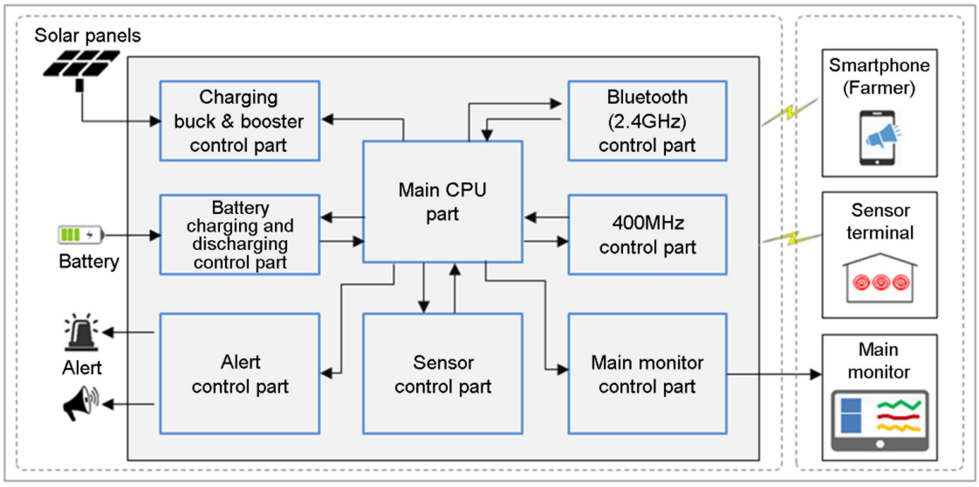


Figure 3. Management terminal system block diagram

농업시설 내부에 장착되는 센서 단말기 시스템(Sensor terminal system)은 환경감지 센서부와 움직임 감지 센서부를 포함하고 있다. 환경감지 센서는 농업시설 마다 상존하는 유효가스(예: CO_2, NH_3, H_2S, 등), 산소농도, 온도, 습도 센서로 구성된 복합 센서부로 구성될 수 있으며, 활동 센서는 PIR (Passive Infrared)이 적용될 수 있다. 활동 센서는 작업자의 움직임을 여부를 감지하여 위험 및 응급상황 상태를 확인할 수 있다. 측정된 센서 데이터를 측정 제어 및 측정된 데이터 변환을 수행하는 제어부, 데이터의 송수신을 수행하는 무선통신부는 400MHz 무선통신을 이용하여 관리 단말기 시스템과 송수신이 가능하다. 그리고 장치에 대한 전원 공급을 위한 배터리를 포함하는 전원부로 구성된다. 센서 단말기 내에 적용되는 환경 센서는 다양한 농업시설의 유해환경 특성에 적합한 센서의 적용이 요구되며, Table 1과 같이 산소 및 유해가스 등의 물리적 특성에 따른 측정 지점 등이 함께 고려되어야 한다(Yoo and Jang, 2016). Figure 4는 센서 단말기 시스템의 구성을 보여주고 있다.

4.3 Application system design

4.3.1 Monitoring of access to agricultural facilities

농업시설 출입방지 시스템은 유해 및 위험상태의 경우에는 출입을 제한하여 작업자가 시설 출입구 접근 시에 미리 안전을 확인할 수

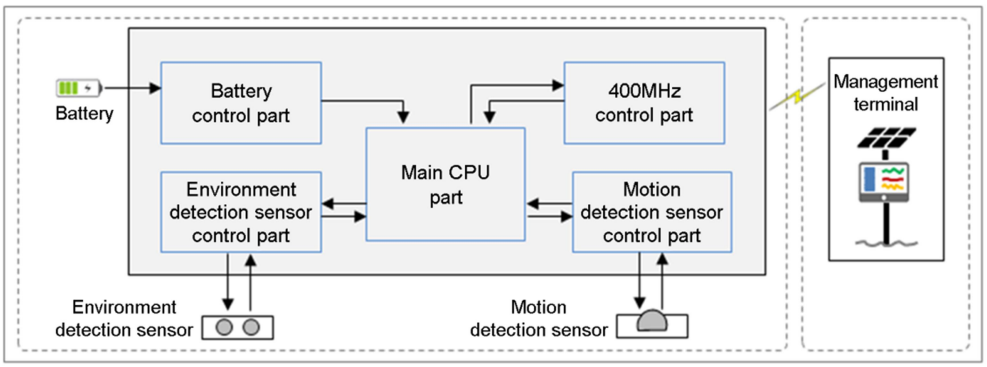


Figure 4. Sensor terminal system block diagram

있도록 농업시설 내부의 환경정보를 전달 및 위험 수준을 시각 및 청각적 신호로 전달한다. 관리 단말기에 부착된 IR 근접 센서를 이용하여 작업자 접근을 인식할 수 있다. 또한 작업자가 시설 접근 시에 관리 단말기는 작업자의 스마트폰 간의 Bluetooth 무선통신 이용하여 시설내부의 환경정보 및 위험 수준을 전달할 수도 있다. 농업시설 출입방지 모니터링 시스템은 주의 및 경고상태인 경우 작업자의 접근 시 일정거리(예. 약 5m 이내) 안에 접근하게 되면 관리 단말기는 인식하게 되고, 위험에 대한 알림을 청각적 신호 또는 정보 시각화를 통해 공지한다. 이때 접근하는 작업자에게 즉각적인 인지가 가능하도록 경광등 및 스피커를 활용할 수 있으며, 동시에 작업자가 스마트폰을 소지하고 있을 경우 어플리케이션을 이용하여 위험정보 신호가 공지될 수 있다(Figure 5).

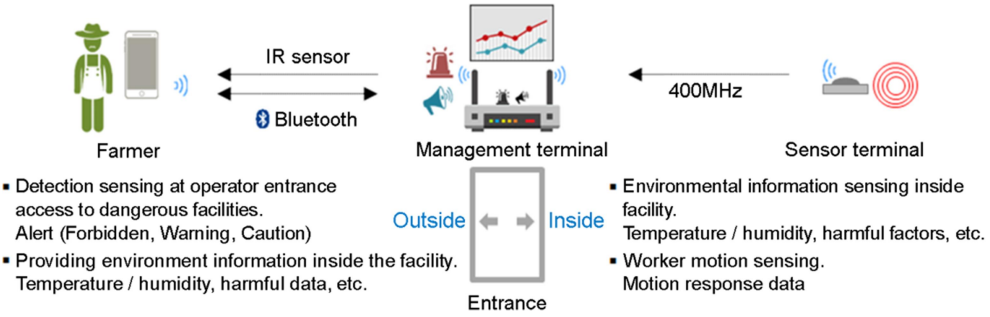


Figure 5. Monitoring structure of preventing access

4.3.2 Monitoring of safety related to the facility environment and emergency conditions of farmers

농업시설 내부에서 작업을 수행하는 동안 위험 수준에 작업자가 노출되거나 작업자가 쓰러지는 등의 응급상황이 발생하게 되면 이에 대한 안전조치가 가능하도록 설계하였다. 농업시설 내의 감지 센서로부터 위험한 환경이 감지되면 출입구의 관리 단말기에 부착된 스피커를 통해 위험 알림 메시지가 호출되며, 동시에 관리 단말기로부터 전달된 신호는 작업자의 스마트폰에 전달되어 위험 알림 메시지(예: 진동, 경고음 등)를 수신하게 된다. 작업자 응급상황은 센서 단말기에 포함된 움직임 감지 센서 장치로부터 일정 시간 동안 작업자의 움직임이 없는 상태로 관리 단말기를 통해 작업자가 휴대하고 있는 스마트폰 어플리케이션에 응급신호 확인 메시지를 송출한다. 이때 신호에 대하여 수초간 확인 반응이 없을 경우, 이를 실제 응급상황으로 판단하게 된다. 이 경우에는 자동적으로 이미 등록된 제3자와 모니터링 센터에 사고정보 및 위치정보 등을 발송하게 된다(Figure 6).

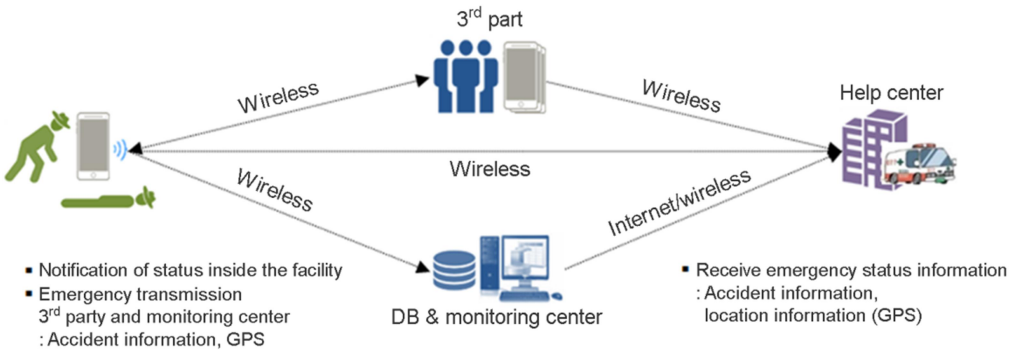


Figure 6. Structure of emergency calls

4.3.3 DB design

농업시설에서 발생한 각종 안전사고 정보를 활용하기 위해 DB 시스템을 구축하였다. DB 수신 테이블은 농업인 정보, 사고정보, 사고 조치정보, 원본 데이터 등을 수집하게 된다. 실시간으로 데이터를 수집하여 실시간 응급상황 모니터링이 가능하며, 사고 발생 시에 신속한 조치상황 등 정보를 확인할 수 있다. DB 시스템은 사고정보를 누적하여 사고를 예방하기 위한 도구로 웹 기반 프로그램의 특성을 반영하여 사고정보를 검색할 수 있도록 구성하였다. 이를 통해 사고에 대한 구체적인 정보와 특성을 파악하여 사고로 이어질 수 있는 다양한 실제 사례를 효과적으로 획득할 수 있다. DB 시스템에 누적된 데이터와 날씨정보, 시간정보 등 다양한 빅데이터를 함께 분석함으로써 농업시설 안전재해 예방을 위한 다양한 정보로 활용이 가능하다. 본 연구에서는 DB 시스템 설계에서 DB 관리자, 사용자, 프로그래머들이 쉽게 구현이 가능한 통합적 모델인 개체 관계도(Entity-relationship diagram, ERD)를 설계하였다. ERD는 DB를 구성하는 개체, 관계, 그리고 속성을 쉽게 파악할 수 있도록 도와준다. Figure 7은 본 연구에서 설계된 ERD를 보여준다.

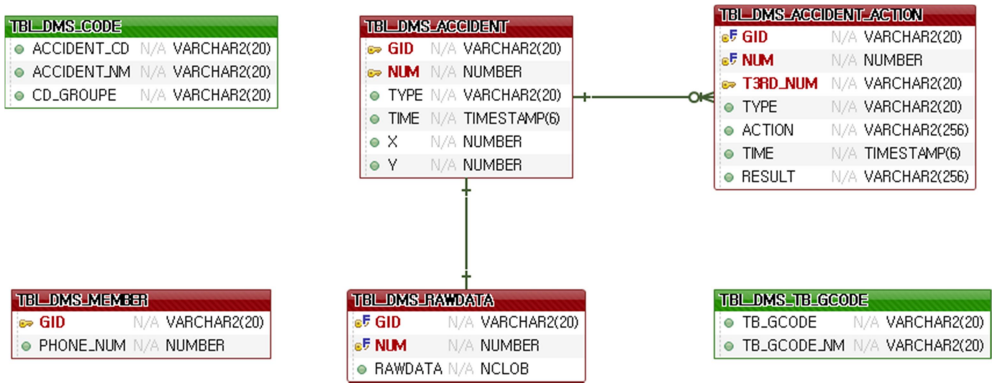
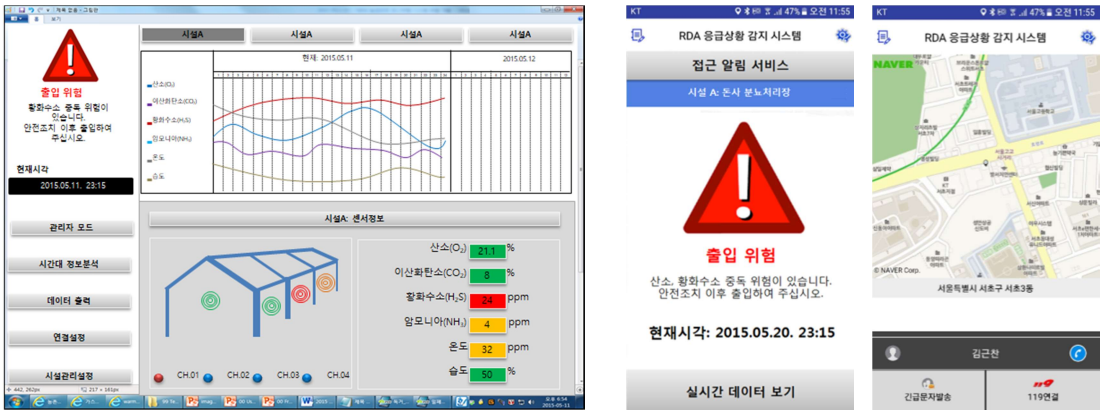


Figure 7. Applied system ERD design

4.3.4 Application system's UI design

사용자 인터페이스 기술은 사용자와 시스템 사이의 인터렉션과 관련된 소프트웨어 및 하드웨어에 대한 설계이다. 사용자가 쉽게 모니터링 할 수 있도록 시각적으로 표현하는 GUI (Graphical User Interface), 위험상황 등에 대한 알림정보를 즉각적으로 인지할 수 있도록 하는 청각(Auditory User Interface) 및 촉각(Tactile User Interface)을 활용한 UI가 포함된다. 이는 센싱 데이터를 파싱(Parsing)하여 사용

자가 쉽도록 정보를 인지하고, 표현 및 전달하는 기술이다. 본 시스템의 경우 DB & 모니터링 센터, 농업인 안전관리용 PC, 사용자 스마트폰 어플리케이션, 농작업 시설 출입구 관리 단말기 등이 주요 사용자 인터페이스 부분이다. 모니터링 센터의 경우 다수의 농업인에 대한 사고자 정보, 사고위치, 사고조치, 기타 통계 등에 대한 정보를 PC 화면에서 통합관리 할 수 있다. 여기서 사고자 위치정보는 작업자의 스마트폰으로부터 전달받은 GPS 데이터를 이용하여 지도상에 위치와 주소와 함께 표현하여 전반적 사고위치 현황을 손쉽게 관리할 수 있도록 하였다. 농업인 안전관리용 PC는 농업인이 농업시설에 대한 유해환경 정보(예: 온/습도, 유효가스)는 1분 간격으로 연속적으로 표현되고, 유해 요소별, 시간대별 단위 분석이 가능하도록 구성하였다. 스마트폰 어플리케이션 UI는 작업자용과 제3자용으로 설계하였다. 작업자용 스마트폰 어플리케이션은 농업시설 출입 전에 농업시설 내의 환경정보를 확인할 수 있고, 만약 시설 내의 환경이 주의 및 경고 수준일 경우에는 촉각적 신호(진동), 청각적 신호(경고음), 시각적 표현으로 전달하게 된다. 또한 농업시설 내에서 작업하는 동안 내부 환경이 위험상태 수준으로 바뀌거나 시설 내에서 작업자가 수초간 움직임이 없을 경우 스마트폰의 진동, 경고음 등의 청각 및 촉각 인터렉션을 제공한다. 제3자의 스마트폰 어플리케이션UI는 작업자가 응급상황 발생 시에 SMS (Short Message Service) 수신과 동시에 어플리케이션을 통해 사고자의 사고정보, 위치정보를 즉각 확인할 수 있다. 또한 작업자에 대한 상태 확인 및 관련 기관에 신속한 연락을 위해 전화연결 기능이 제공된다. 그리고 사고처리 방법(예: 직접 조치, 주위 도움요청, 응급기관 연락 등) 입력 기능이 제공하였고, 입력정보는 모니터링 센터에 전달되어 관리할 수 있도록 하였다. 그 밖에 응용 시스템은 시설 출입구에 설치된 관리 단말기에 표현될 수 있다. 관리 단말기는 LED 화면에 시설 내부 환경정보를 표현하고, 출입 주의 및 경고 상태인 경우 즉각적 정보전달을 위해 시각 및 청각적 신호를 활용하였다. Figure 8은 본 연구에서 제안한 농업인 안전관리PC 화면(Figure 8 (a))과 작업자 및 제3자의 스마트폰에 표현되는 어플리케이션 화면(Figure 8 (b)) UI 설계의 예를 보여준다.



(a) Monitoring PC (b) Smartphones App.

Figure 8. An example of a user interface system applied

5. Conclusion and Further Research

본 연구에서는 농업시설과 관련 농작업에서 위험상태 인지와 사고 발생 시 효율적 대처가 가능하도록 ICT 정보화 기술을 활용한 농업시설 안전관리 시스템을 제안하였다. 본 연구를 통해 ICT 융합 농업시설 안전관리 시스템의 개념, 환경 센서 및 작업자 움직임 감지 센서 기술, 무선통신 네트워크, 사용자 인터페이스 기술 등 ICT 융합 적용 방안을 설계하였다. 본 시스템은 농업시설 환경정보, 농업인 안전 및 응급상황 조치, 정보관리 등을 통해 다양한 농업시설에서 발생할 수 있는 중대재해로부터 농업인을 보호할 수 있는 장점이 있다. 특히 농업시설 내에서의 사고 주요 원인인 유해환경에 대한 모니터링 기술 적용은 효율적 안전관리 방안이라고 판단된다.

향후 보다 효과적인 시스템 개발을 위해서는 농작업 관련 사고에 대한 통합 DB와 효율적 운용, 빅데이터에 대한 활용 방안, 사고 발생 시에 제3자 및 관련 기관(예: 농업인건강안전정보센터, 119 안전센터, 농업안전보건센터 등) 등 정보 전송을 위한 네트워크 기반 구축,

의료 센터와 연계한 긴급 이송망 체계 등 전반적 시스템에 대한 구체적 설계 방안이 요구된다. 또한 기술 개발에 있어 농업시설 환경의 특성에 적합한 센서 기반 네트워크(USN), 유해환경 및 작업자 위험상황 판단 알고리즘, 사용자 시나리오 개발 등 실제 농작업 현장 상황을 고려한 시스템 개발이 진행되어야 할 것이다. 이처럼 ICT 활용한 농업인 안전관리 시스템은 효과적인 사고예방과 농작업 안전재해 감소, 사고예측 및 관리가 가능할 것으로 기대한다.

Acknowledgements

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ01193103)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

BLS (Bureau of Labor Statistics), National census of fatal occupational injuries 2007, *Washington, DC: US Department of Labor*, 2008.

Bridger, R.S., Introduction to ergonomics, *New York, McGraw-Hill*, 1995.

Bruce, J.M., Ventilation and temperature control criteria for pigs. In: Environmental Aspects of Housing for Animal Production. *Butterworths, London*, 197-216, 1981.

Chapin, A., Boulind, C. and Moore, A., Controling odor and gaseous emission problems from industrial swine facilities: *A handbook for all interested parties, Yale Environmental Protection Clinic*, 1-56, 1998.

Cho, J.U., Lee, E.J. and Nam, J.S., Model Development by Structural Analysis of Vinyl House at Heavy Snow, *Journal of Academia-Industrial Technology*, 11(8), 2727-2733, 2010.

Choi, J.W., Kim, M.J. and Lee, J.Y., Evaluation of the Farmer's Workload and Thermal Environments during Cucumber Harvest in the Greenhouse, *Journal of the Korean Society of Living Environment System*, 9(3), 245-253, 2002.

Choi, Y.S. and Joung, S.T., A Design and Implementation of Mobile based Smart Green House System, The *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, 9(4), 475-482, 2014.

Donham, K.J., Relationships of air quality and productivity in intensive swine housing, *Journal of Atmospheric Chemistry*, 19(4), 331-369, 1989.

Hwang, J.H., Lee, M.H., Ju, H.D., Lee, H.C. Kang, H.J. and Yoe, H., Implementation of Swinery Integrated Management System in Ubiquitous Agricultural Environments, *The Journal of Korea Information and Communications Society*, 35(2), 252-262, 2010.

IARC (International Agency for Research on Cancer; World Health Organization), IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 105, Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes, Lyon: *International Agency for Research on Cancer, World Health Organization*, 2012.

Kim, H.S., Agricultural Accident of the Farm Workers, *Chungbuk National University*, 2007.

Kim, H.Y., Lee, S.B., Han, J.H., Gang, M.G. and Ye, B.J., A Study on the Effects of Working Environment (Oxygen Concentration,

Harmful Gas, etc.) on Physiology and Motility, *Korea Occupational Safety and Health Research Institute*, Publication No. 2008-128-1455, 1-4, 2008.

Kim, I., Chae, H.S., Lee, K.S. and Kim, K.R., A Framework and Evaluation Index Design for Establishing Agricultural Work Safety and Health Farm Certification Systems in Korea, *The Korean Journal of Community Living Science*, 26(4), 749-760, 2015.

Kim, I., Kim, K., Chae, H.S., Kim, H.C. and Kim, K.R., Analysis of Patent Trends in Industrial Information and Communication Technology Convergence: Personal Protection and Convenience Equipment Applicable to Agriculture, *The Korean Journal of Community Living Science*, 28(3), 377-390, 2017.

Kim, I., Lee, K.S., Chae, H.S. and Seo, M.T., Design of ICT-based Agricultural Safety Monitoring System Models, *Journal of the Ergonomic Society of Korea*, 35(4), 193-204, 2016.

Kim, S.S., Kim, S.H., Lee, J.W. and Kang, H.J., USN Based Agricultural IT Convergence Technology Trends, *Electronics and Telecommunications Trends*, 26(6), 97-107, 2012.

KOSHA (Korea Occupational Safety and Health Agency), KOSHA GUIDE high temperature. 2012.

Kwon, S.K. Lee, S.J. and Jeong, M., Work-related hazards among farmers, *Journal of the Korean Medical Association*, 55(11), 1046-1053, 2012.

Lee, E.Y. and Lim, J.S., Current Status and Perspectives of Livestock Environment Improving Agents for the Characteristics and Control of Swine Manure Odor, *Korean Journal of Microbiology and Biotechnology*, 38(3), 244-254, 2010.

Lee, J.J., A Study on Farmer's Syndrome and Its Risk Factors of Vinylhouse Workers and Evaluation of Risk Factors of Vinylhouse Works, *Korean Journal of Rural Medicine*, 29(1), 101-119, 2004.

Lee, Y.H. and Kang, S.H., A Study on Approach of the Ergonomic Case Study Analysis to Agricultural Machinery Safety, *Proceedings of the Ergonomics Society of Korea*, 306-311, 2009.

Lim, H.S., Articles: Asphyxiation Accidents in the Underground Storage Facilities of Ginger Roots, *Korean Industrial Health Association*, 344, 5-10, 2016.

Lim, H.S. and Bae, G.R., Investigation of Health Hazards in the Underground Storage Facilities of Ginger Roots, *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 35(1), 72-75, 2002.

MOEL (Ministry of Employment and Labor). 2015 Industrial Accident Examination. 2016.

Niland, J., Industrial Hygiene. In; Zenz C, Dickerson OB, Horvath EP, editors. *Occupational Medicne. 3rd ed. Chicago; Mosby-Year Book Inc.*, 1012-1060, 1994.

NIOSH, Occupational Exposure to Hot Environments, Revised Criterions, *DHHS (NIOSH) Publication*, no. 86-113. 1998.

Noblet, J., Dourmad, J.Y. Dividich, J.L. and Dubois, S., Effect of ambient temperature and addition of straw of alfalfa in the diet on energy metabolism in pregnant sow, *Livestock Production Science*, 21, 309, 1989.

Omran, A., Reza, G. and Shamsedin, A.S., Yahya, R. and Pouria, S.D., Prevalence of Musculoskeletal Disorders Among Farmers in Eastern Azerbaijan, Iran, *Indian Journal of Science and Technology*, 8(28), IPL0638, 2015.

Paik, S.H., Park, H.B. and Kim, Y.W., Development of Gas Measurement System for the Harmful Gases at Livestock Barn, *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, 49(3), 314-321, 2012.

Park, J.H., The Trend of ICT Services for Life-support, *Electronics and Telecommunications Trends*, 27(4), 21-28, 2011.

Park, K.H. and Jeong, B.Y., Characteristics and Causes of Musculoskeletal Disorders for Employees Aged 50 Years or Older, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 28(4), 139-145, 2009.

Park, S.O., Lee, Y.S., Kim, S.H., Park, J.S., Yi, K.J. and Park, J.H., Survey for U-Greenhouse System Technology, *The Journal of Korea Navigation Institute*, 16(1), 89-95, 2012.

Preller, L., Respiratory health effects of pig farmers, Assessment of exposure and epidemiological studies of risk factors, *Ph. D. thesis Agricultural University*, 1995.

RDA (Rural Development Administration). Safety and Health Management of Swine Farmers. 2013.

Song, J.H. and Kim, T.O., The Vinylhouse Automatic Control System Using Aging Society of the Farm Village, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 12(7), 3164-3168, 2011.

Steadman, R.G., A universal scale of apparent temperature, *Journal of Applied Meteorology*, 23, 1274-1282, 1984.

Yang, J., Chung, C.D., Hong, Y., Ahn, B.I., Hwang, S.I. and Choi, Y.H., Implementation of Greenhouse Environmental Control Systems using Intelligence, *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, 49(2), 29-37, 2012.

Yoo, D.S. and Jang, B.T., IOT Based Safety Management System in Closed Space, *Proceeding of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 60, 1114-1115, 2016.

You, K.P., Evaluation of Snow Load Using a Snow Simulation Wind Tunnel for Single Span and Multiple Span Green House Roofs, *Journal of Architectural Institute of Korea*, 28(7), 73-80, 2012.

You, W.G., Kim, C.L., Lee, M.G. and Kim, D.K., Analysis of Changing Pattern of Noxious Gas Levels with Malodorous Substance Concentrations in Individual Stage of Pig Pens for 24 hrs to Improve Piggery Environment, *Journal of Livestock Housing and Environment*, 18(1), 25-34, 2012.

Yu, E.S., Seo, J.Y. and Lee, M.H., Ways to Activate Citizen-oriented Science and Technology, *Science and Technology Policy Institute (STEPI)*, Policy Research 2011-9, 2011.

Author listings

Insoo Kim: ergonomist@korea.kr

Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Systems and Information Engineering, Korea University
Position title: Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Ergonomics, HCI

Kyungran Kim: kimgr@korea.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University
Position title: Senior researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Occupational Safety and Health Management, Ergonomic Tools Design

Hyo-Cher Kim: hyocher@me.com
Highest degree: M.S., Public Health, Seoul National University
Position title: Junior researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Industrial Hygiene

Min-Tae Seo: mtseo85@korea.kr
Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Physical Ergonomics, Occupational Safety and Health Management, Occupational Disease

Kyungsu Kim: kks1@korea.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Public Health Sciences, University of Alberta
Position title: Junior researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Injury Epidemiology, Agricultural Safety and Health

Myungsun Ko: heimdal@korea.kr
Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Chonbuk National University
Position title: Researcher, Department of Agricultural Engineering, RDA
Areas of interest: Occupational Safety and Health Management, Occupational Disease