

# 디지털트윈 및 IOT를 이용한 클린형 스마트축사 환경관리 시스템 개발

김 남 호\*

## Development of Clean Smart Livestock Farm Environment Management System Using Digital Twin and IoT

Nam-ho Kim\*

### 요 약

클린형 스마트축사를 구축하기 위해서는 축사의 환경관리 이슈가 중요하다. 구제역 등 각종 가축질병의 원인은 외부 전파를 통해서도 감염될 수 있지만 가축의 환경관리가 중요한 요인이다. 본 연구에서는 질병없는 클린형 스마트축사 운영을 위한 환경관리를 위해 질병 확산의 원인에 대한 분석을 포함하였다. 이를 위해 다양한 환경 센서로부터 정보를 수집하고 이를 모니터링하는 방법으로 디지털트윈 기술을 도입하였다. 아울러 가축질병 확산 원인 분석과 예측을 통한 축산농가의 대응능력을 키울 수 있도록 하였다. 현실 세계를 투영한 3차원 가상세계를 구축하여 직관적인 인터페이스를 제공하고, 스마트축사 분야에서 디지털트윈과 IoT 기술을 접목한 시범 사례를 제시하고 적용 가능성을 검증하였다.

**키워드** : 스마트축사, 환경관리, 디지털트윈, 사물인터넷, 인공지능

**Key Words** : smart livestock barn, environment management, digital twin, IoT, AI

### ABSTRACT

In order to build a clean smart livestock barn, the issue of environmental management of the barn is important. The cause of various livestock diseases such as foot-and-mouth disease can be transmitted through external transmission, but environmental management of livestock is an important factor. This study aims to identify the cause of disease spread for environmental management of clean smart cattle sheds. To this end, digital twin technology was introduced as a method of collecting and monitoring information from various environmental sensors. In addition, through the analysis and prediction of the causes of the spread of livestock diseases, the ability of livestock farmers to respond was enhanced. An intuitive interface was provided by establishing a 3D virtual world projecting the real world, and a pilot case of combining digital twin and IoT technology in the field of smart livestock was presented and the applicability was verified.

### I. 서 론

본 논문에서 언급한 클린형 스마트축사라 함은 해마

다 발생하는 구제역 등의 가축질병으로부터 깨끗한 축사환경을 유지하기 위한 기술적 해결방법을 의미한다. 이러한 기술적 접근의 배경에는 구제역과 같은 가축질

\* 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 지역지능화혁신인재양성사업의 연구결과로 수행되었습니다.

• First Author : Honam University Department of Computer Engineering, nhkim@honam.ac.kr, 종신회원

논문번호 : 202307-013-0-SE, Received July 15, 2023; Revised September 13, 2023; Accepted October 24, 2023

병이 해마다 끊이지 않고 발생하고 있으며 이미 토착화 되어가고 있는 상황에서 이를 조금이라도 줄일 수 있는 예방책을 찾고자 하는 노력에서 시작되었다. 우리나라 구제역은 2010~2011년 전국적으로 발생하여 살처분 3,480천두, 피해액 2조7,383억원에 달하였으며, 백신처방 이후 규모는 감소하였으나, 2022년 현재까지 거의 매년 발생하고 있으며, 피해규모 또한 확대되고 있다. 또한 2013년~2016년 기간 동안 백신처방 유무와 상관 없이 구제역, AI(Avian Influenza, 조류독감) 발병에 따른 세계 살처분 대비 한국의 살처분 비중은 구제역은 최대, AI는 두 번째를 기록하고 있을 정도로 심각한 상황이다.

이처럼 구제역 발생시 살처분에 따른 경제적 비용뿐만 아니라, 도로통제와 외부인을 차단하는 등으로 관광객 유입 감소 등 지역경제에 미치는 파급효과가 적지 않다. 더욱 큰 문제점은 최근 구제역 발생 지역이 과거의 사육 규모가 큰 지역에서 기존에 발생하지 않던 농가 단위로 불특정 발생 양상을 보이며, 국제적 개방화 시대 도래에 따른 외부 유입 위험이 그대로 있어 어느 때보다도 지속적인 모니터링과 예찰 활동이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 앞의 그림 1에서와 같이 구제역 발생으로 인한 피해를 줄이기 위하여, 가축질병에 영향을 미치는 여러 환경적 요소를 파악하고, 이들 환경으로부터 가축을 보호하기 위한 환경측정과 제어기능을 연동하는 축사관리시스템을 운영하는 방법을 모색하고자 한다. 특히 이러한 질병의 발생 시기가 겨울철에 집중적으로 발생하는 패턴을 보았을 때 온도나 습도 등이 미치는 영향이 클 것으로 판단된다<sup>11)</sup>. 아울러 구제역이나 광우병 등의 가축전염병의 확산을 차단하기 위해서는 질병전파의 원인 분석과 확산패턴을 찾아내어 대응할 수 있도록 조기 정보제공이 필요하다. 더불어 축사의 4계절 적정온도 유지를 위해서는 축사내 열에너지 관리가 중요하며, 디지털트윈 기술을 적용하면 원격지에서도 축사환경관리 제어가 용이하다. 이처럼 현실과 연결된

가상의 디지털트윈을 통해 현실의 개체를 쉽게 제어가능하도록 하여, 축산농가 일손 부족문제를 해결하기 위한 스마트축사 구축 및 운영방안을 제시하고자 하였다.

## II. 관련연구

### 2.1 구제역 발생원인

구제역은 대한민국에서 제1종 가축전염병으로 지정되어있고 소와 돼지 등 가축에 대한 전염성이 높은 급성 바이러스성 전염병의 한 종류이다. 사슴이나 염소, 양과, 소, 코끼리, 쥐, 고슴도치 등 발굽이 두개로 갈라진 가축들에게 감염된다. 구제역은 접촉 및 공기가 주요 전파 원인으로 밝혀지고 있으며, 우리나라에서 발생한 구제역은 사람, 차량 등을 매개로 한 전파가 주요 원인인 것으로 추정된다<sup>12)</sup>.

국내 축산업은 WTO, FTA 등에 대응한 경쟁력 확보를 위해 규모화, 전문화 방향으로 발전하면서 공장식 축산 확대와 밀집사육 등으로 가축질병이 급속히 인근 지역으로 확산되고 있다. 농가당 사육규모가 빠르게 증가하면서 사료, 분뇨, 축산상품 등 운송을 위한 외부의 차량, 사람 등의 축사 출입 증가도 질병확산 원인으로 판단되고 있다. 위와 같은 원인에 의한 질병확산을 방지하기 위하여 질병유입 경로를 신속히 분석하고, 조기 대응할 수 있는 솔루션 구축이 절실히 필요하며 대응 시간이 늦게 되면 대량 살처분으로 인한 경제적, 사회적 대량 피해 발생이 불가피하다. 구제역은 기온이 낮은 겨울철에 발생하고 풍속 및 풍향에 영향을 받는다고 생각하여 주요 요인을 온도, 풍향, 기후, 차량이동 경로로

표 1. 구제역 발생 영향요인  
Table 1. Factors affecting the occurrence of foot-and-mouth disease

Measurement	Meaning
Climate	Depending on the climate, a favorable environment for the spread of the virus can be created, which can affect foot-and-mouth disease.
Wind Direction	It is possible to prepare in advance because the wind direction affects nearby livestock houses.
Vehicle Path	By collecting the vehicle movement route and inspecting the livestock on the route, it saves a lot of time and money.
Temperature	It is significant that foot-and-mouth disease occurs and spreads mainly in winter, when the virus is easy to spread.

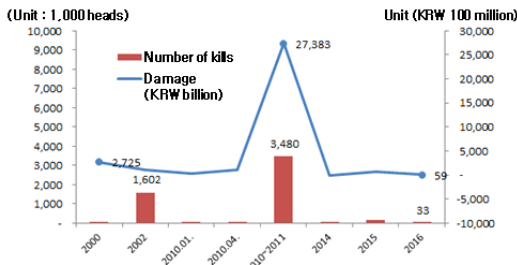


그림 1. 구제역에 의한 살처분 및 피해규모  
Fig. 1. Killing and damage due to foot-and-mouth disease

선정하였다.

## 2.2 디지털트윈

### 2.2.1 디지털트윈

디지털트윈(Digital Twin)은 사이버의 제어요소가 현실 세계의 물리시스템과 연결되어 동작하는 디지털 가상세계라 할 수 있다. 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 사이버물리시스템(CPS, Cyber Physical System) 등 4차산업혁명 관련 기술들이 발전함에 따라 다양한 산업현장에 등장하여 중요한 기술 트렌드로 발전하고 있다.

디지털트윈 기술은 현실에 존재하는 모든 것을 가상 공간에 구현하여 사용하는 기술로서 스마트팩토리, 스마트시티 등 활용분야가 다양하다. 예를 들어 실시간 데이터를 통해 가상에 구현된 디지털트윈으로 직관적 모니터링이 가능하다. 현실과 연결된 가상의 디지털트윈을 통해 현실의 개체를 쉽게 제어할 수 있다. 실시간 데이터 분석을 통한 시뮬레이션으로 미래 예측이 가능하여 최적의 의사결정에 도움을 주어 생산성, 경제성, 안전성, 경쟁력 향상에 도움이 된다. 위와 같은 특성들로 인하여 원격지 환경제어에 디지털트윈 기술을 적용하고자 하였다<sup>3)</sup>.

## III. 시스템 설계 및 구현

### 3.1 시스템 개요

현실 세계의 축사를 디지털 가상세계에 구현하기 위해 3D 모델링 시각화, 가축질병 전파확산 원인분석, 사물인터넷(IoT) 센서 기반 실시간 모니터링 및 열에너지 환경제어 기능을 포함한 질병으로부터 안전한 클린형 스마트축산 플랫폼을 개발하고자 한다. 구현할 시스템 구성은 Fig. 2와 같으며, 세부기능은 다음과 같다<sup>4)</sup>.

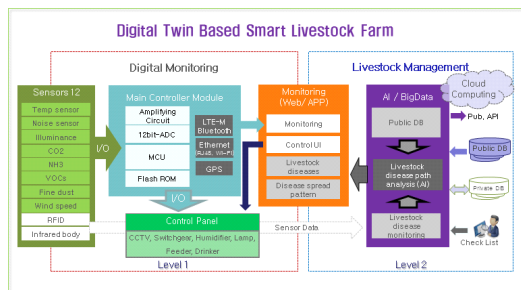


그림 2. 시스템 구조도  
Fig. 2. System Diagram

### ○ 디지털 트윈 기반 3D 가상공간 구현

3D 모델링 시각화를 통해 실제 축사와 닮은 가상의 디지털 쌍둥이 모델을 구축하여 원격에서 모니터링하고, 축사 환경조건 제어가 가능한 차세대 인터페이스 기술을 접목하고자 한다.

### ○ IoT 센서 기반 환경정보 수집기 개발

축사내부와 주변의 환경상태를 측정하기 위하여 12종의 IoT 센서를 부착한 센서데이터 로거용 디바이스를 개발하고자 한다. 센서 종류로는 온도, 습도, 조도, CO2, 암모니아, VOCs, 미세먼지, 소음, RFID, 열화상 카메라, 풍향, 풍속 측정용 센서를 포함한다. 이들 수집된 센서정보는 센서보드와 서버 간의 원격지 유무선 네트워크 통신 모듈을 통하여 서버에 전송되어 관리된다.

### ○ 가축질병 진단 및 확산패턴 분석

우리나라에서 발생하였던 축산전염병 발생 DB로부터 발생현황 정보를 수집하고, 인공지능(AI)기법으로 확산경로 패턴을 찾아내어 발생가능성이 있는 축산농가에 제공함으로써 감염을 사전에 예방하거나 신속한 대응이 가능하도록 한다.

### ○ 클라우드 운영환경과 통합관제 기능제공

현재 우리나라 축산농가의 열악한 환경으로 인한 독자적인 시스템구축 운영이 곤란한 점을 고려하여 축산농가가 공동으로 활용할 수 있는 정보서비스를 위한 클라우드 운영환경 지원과 상황인식 기반 축사환경 원격 자동제어를 담당할 통합관제시스템을 개발한다. 이는 질병발생 시 종합정보 제공 및 질병전파 예측에 따른 수준별 대응 메시지를 관계 기관에 신속 통보하여 대응할 수 있는 조치가 가능하다.

### 3.2 디지털트윈 기반 3D 가상공간 구현

#### 3.2.1 실제 축사와 닮은 가상 축사의 3D 모델링 설계

PC 또는 모바일의 AR/VR 3D 시각화를 통해 온도, 습도 등의 축사환경을 실시간 모니터링할 수 있도록 실



(a) (b) (c)

그림 3. 축사 내외부 3D 모델링 계획  
Fig. 3. 3D modeling plan (a) Actual livestock Farm (b) Internal modeling (c) External modeling

제 축사와 똑 닮은 가상의 축사를 3D 모델링을 통해 구축한다. 이를 통해 축사내 환경조건 제어 및 사료나 물 공급시기와 양을 원격에서 제어하는 인터페이스로 활용하도록 3D 모델링 기반의 가상세계를 설계한다.

### 3.2.2 디지털트윈 축사 3D 모델링 구축

앞서 설계한 축사모형을 토대로 디지털트윈의 3D 축사모형을 디자인한다. 이를 위해 3D MAX기반 설비 모델링을 진행한다. 이때 운영설비를 제어할 목적으로 가동될 설비의 모형과 제어패널에 대한 디지털트윈 3D 모델링을 진행한다.

Unity<sup>6)</sup> 기반 실시간 데이터 모니터링 인터페이스 구축하여 실시간으로 수집된 환경데이터를 디지털트윈 화면에 표출하고, 축사 설비 제어 동작과 연동되는 모니터링 기능을 제공하기 위한 3D 인터페이스를 구현한다.

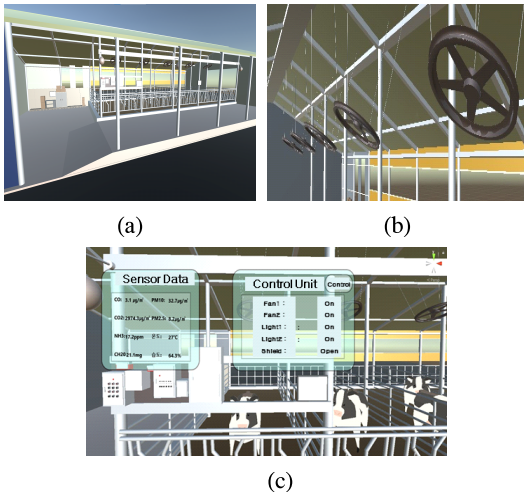


그림 4. 디지털트윈 기반 모니터링 및 제어를 위한 3D모델링  
Fig. 4. 3D modeling for digital twin-based monitoring and remote control

### 3.3 센서 및 제어모듈 통합 플랫폼 PCB 개발

각 센서모듈 인터페이스와 구동회로를 포함한 메인 컨트롤러와 연동할 수 있는 PCB를 설계한다. 센서의 이상 발생 시 쉽게 교체가 가능하도록 분리형 모듈 형태로 제작한다.

### 3.4 가축질병 진단 및 확산패턴 분석

#### 3.4.1 딥러닝 기반 질병확산 패턴 예측

국가가축방역통합시스템(KAHIS)에서 제공하는 10년전 구제역 데이터와 기상청 데이터를 수집하여, 기후와 풍향 그리고 각 요인에 따른 구제역 확산 유형 패턴을 알아본 후, 결과에 크게 영향을 주는 주요 요인을

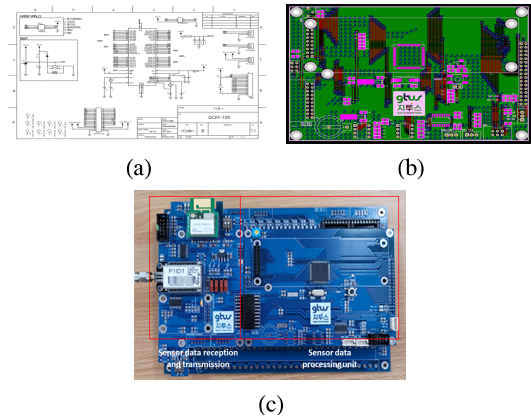


그림 5. 센서보드 회로설계 및 PCB 제작  
Fig. 5. (a) Circuit design, (b) PCB design, (3) Sensor board production

선택하여 집중적으로 분석한다.

그림 6은 선형회귀모델 알고리즘을 이용해 요인을 풍속, 풍향뿐만 아니라 온도까지 추가하여 요인끼리의 관련도를 나타내었다. 그래프가 곡선을 그리는 걸 볼 수 있는데 데이터 상에는 주로 10도 아래로 내려갈 때 감염이 주로 있었고 20도 이상부터는 간격이 멀어짐에 따라 감염률이 줄고 있다는 걸 볼 수 있다.

최적의 머신러닝 모델을 K-최근접 이웃 알고리즘, 선형회귀, Ridge, Lasso를 선택해서 사용하였고, 알고리즘을 선택한 이유는 구제역 감염 확산에 영향을 끼치는 요인들이 서로 밀접한 관계가 있다고 생각하여 K-최근접 이웃 알고리즘을 선택하였고, 질병의 확산 이동 경로를 예측하는 것이 목적이기 때문에 선형회귀, Ridge, Lasso를 사용하였다. 사용한 알고리즘에 따라 train과 test 값이 주기적이지 않고 변칙적으로 바뀌어서 머신러닝의 한계점이라고 생각해 스스로 학습이 가능한 딥러닝 신경망에 적용시키는 과정을 그림 7에 표현하였다.

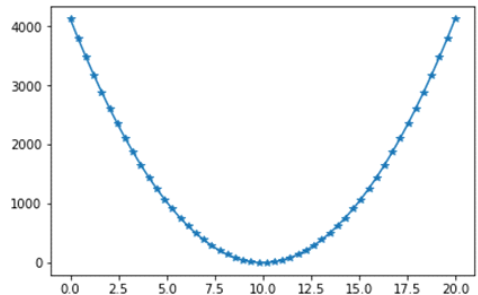


그림 6. 온도, 풍향, 풍속 기준 선형회귀모델 분석  
Fig. 6. Linear regression model analysis based on temperature, wind direction, and wind speed

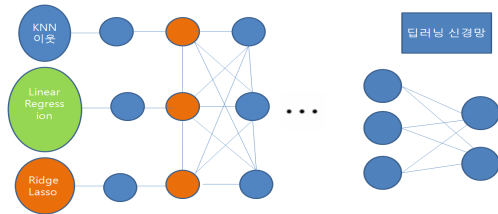


그림 7. 질병확산패턴 학습 알고리즘  
Fig. 7. Disease spread pattern learning algorithm

딥러닝 신경망을 통해 감염 패턴을 스스로 그려낼 수 있도록 학습시키고 오차와 정확도를 파악한 후 모델을 수정한다. 하지만 딥러닝 자체만 가지고 학습시키기에 데이터가 너무 불안정하고 확실한 요인을 뽑아내지 못하였기 때문에 머신러닝에서 선택한 알고리즘을 이용해 데이터를 전처리 후에 딥러닝 신경망에 적용시킨다. 정상 개체와 질병 개체의 생체데이터를 구분하는 기준을 스스로 학습시키고 축사에서 수집된 데이터는 평균이 0이고 표준편차가 1인 랜덤변수로 정규화시킨다. 정규화 시키는 이유는 데이터의 중복을 막고 과대, 과소 적합을 최소화시키기 위해서이다. 그리고 머신러닝에서 수많은 반복 작업 후 나온 최적의 값으로 딥러닝 신경망에 적용시켜서 마지막에 나오는 2개의 값을 도출한 후 그 값을 이용해서 가축질병 확산예측을 하고자 한다<sup>5)</sup>.

3.4.2 머신러닝 학습결과

그림 8과 같이 Train과 Test 값의 폭이 크지 않는 결과로 보아 우려했던, 과대 & 과소 적합 현상이 나타나지 않았지만 제한적인 데이터로 학습한 결과로 전체적인 수치가 높지는 않다. 하지만 추후 데이터를 받아서 좀 더 세부 요인으로 나누고, 여러 알고리즘을 적용시킨다면 더 정확한 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 이 3가지 모델은 머신러닝 기반으로, 데이터 정확도 수치가 더욱 높아진다면 딥러닝 신경망을 통해서 예측이 가능할 것으로 보고 있다.

	Linear Regression	Lasso	Ridge
Train	0.893	0.019	0.220
Test	0.768	0.018	0.210

그림 8. 선택한 모델 알고리즘의 학습결과  
Fig. 8. Learning result of selected model algorithm

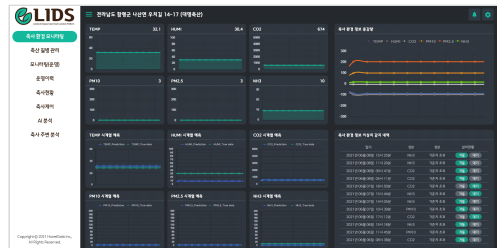
3.5 통합관제를 통한 실시간 축산 안전관리 체계 구축

3.5.1 실시간 환경정보 모니터링

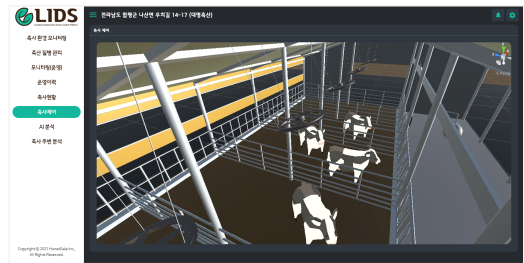
상황인식 기반 해당 축산농가 환경정보 실시간 모니터링 기능을 제공하고, 최적의 조건으로 원격에서 환경제어기를 작동한다. 또한, 축산농가의 신속한 발생 의심 정보 입력 및 관계기관 신고 체계를 구축한다.

질병발생 시 종합정보 제공 및 질병전파 확산예측 값에 따른 수준별 대응메시지를 관계 축산농가, 관리기관, 방역기관 통보하여 신속 대응토록 조치한다. 축사환경 모니터링 정보는 온도, 습도, 조도, CO2, 미세먼지, 암모니아 센서정보를 실시간으로 출력하도록 구현하였다.

각 축사 환경 데이터를 5분 주기로 전후 데이터 간에 비교하여 증감량에 해당하는 정보를 라인차트로 간단히 비교 후 파악할 수 있도록 구현하였다.



(a)



(b)

그림 9. (a) 실시간 환경 모니터링 및 (b) 디지털 트윈 기반 원격 제어

Fig. 9. (a) Real-time environmental monitoring and (b) Digital twin-based remote control

3.5.2 디지털트윈 기반 원격 환경제어기 작동

Unity의 WebGL을 빌드하여 연동하면 Unity가 사용하는 C++과 더불어 Javascript를 활용하여 퍼블리싱하여 웹 브라우저에서 실행하여 기능을 활용할 수 있도록 하였다. 출력된 Unity화면을 사용자가 마우스 및 키보드를 이용하여 화면을 조작하여 축사의 디지털트윈의 전체 모습을 볼 수 있도록 하였으며, 설비 제어 버튼을



누르면 제어에 맞는 화면을 제공한다. 측사 환경정보 중 기준치를 초과한 이상치를 감지할 경우 Unity 화면에 경고가 발생하여 알림기능을 수행하도록 하였다.

#### IV. 성능평가

##### 4.1 센싱정보 기반 긴급상황 판단 및 대응속도 시험

구현한 시스템의 활용가능성을 진단하기 위하여 다음의 성능평가 시험을 수행하였다. 환경데이터(공기질) 수집센서로부터 온도, 습도, CO2, PM10(미세먼지), PM2.5(초미세먼지), NH3(암모니아) 성분에 대한 데이터가 실시간으로 수집되며, 스마트측사 플랫폼과 Serial 통신으로 연결되어 데이터가 분석됨을 확인하였다.

긴급상황 판단은 환경데이터에 근거하여 관리 필요 성분, 기준치 대비 증감률, 종합관리단계를 판단하는 것을 의미한다. 대응속도는 판단된 긴급상황에 따라 메시지 API 기반 LMS 발송으로 사용자 피드백까지 소요되는 시간을 의미하며, 목표시간은 3초 이내로 설정하였다. 외부 측사에서 사용되는 시스템임을 감안하여 본 시험 시, 시험공간을 야외에서 시험하고 성분 중에 인위적으로 농도 수치를 증가시킬 수 있는 CO2 성분을 활용하여 시험 진행하였다.

CO2 농도 수치를 증가시켰을 때 긴급상황으로의 판단여부와 사용자 피드백(LMS 발송)이 정상 수행되는지를 확인하며, 대응속도는 환경데이터 수집시간과 LMS 발송 알림시간의 차이를 산출하였다.

(LMS 발송)까지 소요되는 시간을 의미하며, 환경데이터 수집시간과 LMS 발송 알림시간의 차를 산출한 결과, 긴급상황 판단 및 대응속도는 평균 0.314sec로 통상 긴급상황에 대한 알림메시지 반응시간을 만족하는 것으로 평가하였다.

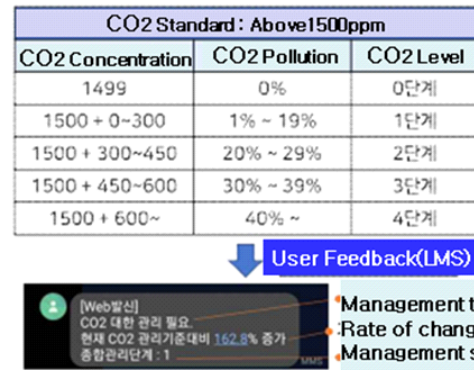
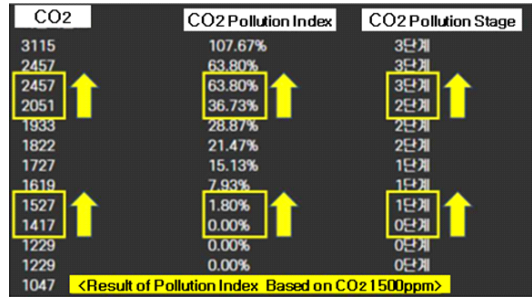


그림 11. CO2 농도 수준에 따른 긴급판단 및 사용자 피드백(LMS) 전송 Fig. 11. Emergency judgment and user feedback (LMS) transmission according to the CO2 concentration level

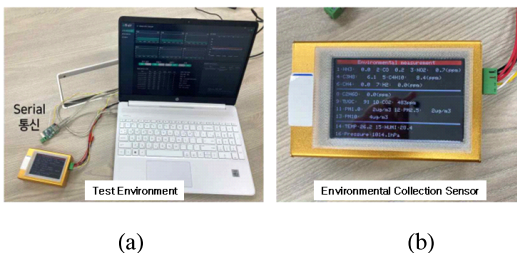


그림 10. 실제 테스트 환경(a) 및 환경 센서 수집(b) Fig. 10. Real Test Environment (a) and Environmental Collection Sensor (b)

##### 4.2 시험결과

CO2 농도 수치를 증가시켰을 때 긴급상황으로 정상 판단되었으며 판단된 긴급상황에 따라 관리 필요 성분, 기준치 대비 증감률, 종합관리단계에 대한 사용자 피드백(LMS 발송)이 정상 수행됨을 확인하였다.

대응속도는 판단된 긴급상황에 따라 사용자 피드백

#### V. 결론

본 논문에서는 구제역과 같은 가축 질병으로부터 자유로운 클린형 스마트측사 환경관리 시스템을 제안하였다. 구제역의 발생은 사람이나 이동형 사료차량 등 매개체에 의한 질병의 전파가 원인이 되기도 하였다. 하지만 최근 들어서는 토착화되어가는 양상을 보이고 있으며, 특히 겨울철에 많이 발생하고 있다. 우리나라 겨울철의 특성상 저온과 건조한 날씨가 질병 발생의 주된 요인이라면 환경제어를 통해 어느 정도 질병의 발생을 지연시키거나 방지하는 효과가 있다는 판단이다. 따라서 본 연구에서는 디지털트윈 기술을 도입하여 현실의 측사와 연동되는 쌍둥이 모델의 모니터링 화면을 개발하여 직관적인 인터페이스의 사용방안을 제안하였

다. 아울러 클린형 스마트축사 환경관리를 위한 다양한 환경센서 데이터를 수집하고 이를 기반으로 광우병 등의 가축질병의 퇴치조건의 환경제어를 위한 제어기를 개발하였다. 디지털트윈의 장점인 직관적인 모니터링과 현실감 있는 제어기능을 포함한 미래형 UI/UX 인터페이스를 도입하여 스마트축사 분야에 적용하기 위한 시제품을 테스트 평가함으로써 도입의 타당성을 제시하였다. 연구의 결과가 우리나라 스마트축사 도입에 적용되어 전국민의 건강한 먹거리 확보에 기여하기를 기대한다.

김 남 호 (Nam-ho Kim)



1997년 8월 : 포항공과대학교 정보통신학과 석사

2013년 2월 : 전남대학교 전산통계학과 박사

1991년~1997년 : 포스코DX 선임연구원

1998년~현재 : 호남대학교 컴퓨터공학과 부교수

<관심분야> 인공지능, 사물인터넷, 응용 S/W

[ORCID:0000-0002-5019-0397]

## References

- [1] H. G. Lee, A. Cho, S. Oh, J. Roh, Y. H. Jung, C. Choe, Y. J. Do, J. K. Oem, D. Son, and J. G. Yoo, "A ten-year retrospective study of bovine infectious disease agents occurred in Korea from 2010 to 2019," *Korean J. Vet. Serv.*, vol. 43, no. 3, pp. 113-128, 2020. (<https://doi.org/10.7853/kjvs.2020.43.3.113>)
- [2] S. H. Lee, E. H. Lee, S. M. Hong, and U. Kim, "AI (Avian Influenza) and foot-and-mouth disease: Issues in spread and response tasks," Gyeonggi Research Institute, 2017. (<https://kiss.kstudy.com/Detail/Ar?key=3548604>)
- [3] S. H. Shin, "Digital twin technology trends and prospects," *Planning and Policy*, pp. 6-12, 2021. (<https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10547130>)
- [4] N. H. Kim and H. J. Moon, "Development of smart livestock environment management system using digital twin and IoT," in *Proc. Spring Conf. Korea Multimedia Soc.*, vol. 25, no. 1, 2022.
- [5] S. Chae, S. Kwon, and D. Lee, "Predicting infectious disease using deep learning and big data," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 8, 1596, 2018. (<https://doi.org/10.3390/ijerph15081596>)
- [6] Unity, "Animation System Overview," Unity Documentation, 2021. Retrieved May, 2023, from <https://docs.unity3d.com/Manual/AnimationOverview.html>.