

Design of Smart Farm with Automatic Transportation Function

Hwa-ra Hur*, Seok-Gyu Park**, Myeong-Chul Park***

Abstract

The existing smart farm technology has been systematized for the mass production rather than the consumer. There are many problems such as economical aspect to apply to actual rural environment due to aging. The purpose of this study is to apply smart farm technology based on the applicability of population aged in rural areas. Due to the heat wave, the crops in general greenhouse cultivation facilities suffered from damage such as sunlight damage. To minimize such damage, adjust the temperature and humidity environment or install a light-shielding film. However, the workers in the rural areas are aging and the elderly who are farming alone have a lot of difficulties in doing so. In the case of people with weak physical strength, there is a danger that they may lead to safety accidents when carrying heavy loads. In this paper, we propose 'Smart Palm capable of automatic transportation function', applying small smart vehicles that follow workers to existing smart farms to improve and prevent these problems. It is a smart farm that performs the control functions of the existing smart greenhouse environment, installs the rail for each trough, and has a vehicle that follows the worker. The smart app can directly control the greenhouse and the vehicle remotely manually.

▶ Keyword: Smart Farm, Automatic Transport, Arduino, Greenhouse, IoT

1. Introduction

4차 산업혁명과 IoT 기술의 발전으로 농업 생산성을 높이기 위한 스마트 팜 기술이 일반화되고 있는 추세이다. 유엔의 2019년 세계 인구 전망에 따르면, 향후 40년 내에 세계 인구는 100억 명을 예상하고 있으며 가장 큰 문제는 식량 부족으로 발표하였다[1]. 또한 농림축산식품부에 따르면, 2017년 국내 식량자급률은 48.9%로 식량을 절반 이상을 수입으로 충당하고 있다고 한다[2]. 농촌 인구의 급감과 고령화가 심화되어 농가의 소득도 정체되는 추세이며 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 스마트 팜이 각광을 받고 있다. 하지만, 대부분의 스마트 팜은 대량 생산으로 인한 생산성 향상만을 추종하여 소규모 농가에는 적용하기 어려운 것이 현실이다. 물론, 정부의 다양한 지원으로 시스템을 갖춘 농가도 있지만 영세한 농가의 경우에

는 고가의 새로운 시설을 갖춘다는 것은 경제적인 어려움을 수반하는 문제점이 있다. 그리고 기존의 스마트 팜은 재배를 위한 환경 자동화에 우선하여 실제 작물의 수확 시에는 일정 부분의 인력이 요구되는 것이 현실이다. 하지만 농촌 지역의 인구 고령화 등을 고려할 때, 신체적으로 연약한 작업자가 스마트 팜을 관리하는 것도 현실적인 어려움이 있다. 본 논문에서는 기존의 스마트 온실 환경의 기능을 유지하면서 무거운 짐이나 수확물을 자동으로 운반할 수 있는 작업자 추종 운반 차량을 적용한 스마트 팜을 제안하고자 한다. 먼저, 온실 내에 고랑을 따라 운반 레일을 설치하고 작업자의 인식 태그를 식별하여 작업자의 움직임에 따라 추종하는 운반 차량을 구현하고자 한다. 운반 차량은 무게 측정을 위한 센서를 통하여 수확한 작물이 일정 무

• First Author: Hwa-ra Hur, Corresponding Author: Myeong-Chul Park
*Hwa-ra Hur (haru@ikw.ac.kr), Dept. of Aeronautical Software Engineering, KyungWoon University
**Seok-Gyu Park (skpark@gw.ac.kr), Dept. of ICT & Drone Technology, GangWon State University
***Myeong-Chul Park (africa@ikw.ac.kr), Dept. of Avionics Engineering, KyungWoon University
• Received: 2019. 07. 24, Revised: 2019. 08. 19, Accepted: 2019. 08. 19.
• This paper is supported by KyungWoon University.

게 이상이 되면 자동으로 분류장으로 이동하여 수확물을 비우고 다시 작업자의 위치까지 이동하게 된다. 이는 고령자의 작업자가 불필요한 노동력과 위험 사고를 방지하기 위한 목적으로 설계되었다. 또한 기존 온실의 환경 제어기능을 위하여 온실 내부 환경의 모니터링과 원격 제어를 위한 기능을 추가하여 구현하였다. 본 연구의 결과물은 스마트 팜의 경제적인 도입과 더불어 고령이나 신체적 취약자를 위한 실질적 도구로 적용하는데 목적이 있다. 논문의 구성은 2장에서 스마트 팜 관련된 기존 연구와 배경 기술에 대해 살펴보고 3장에서 구현을 위한 구체적인 설계와 구성요소에 대해 기술한다. 4장에서 실제 구현된 스마트 팜을 소개하고 5장에서 결과에 대해 기술한다.

II. Background

Ahmed(2017)은 Fig. 1과 같이 인터넷을 통한 웹사이트를 사용하여 스마트 팜의 일정관리, 관수 수위 조절, 환경 정보 수집 등이 가능한 시스템을 제안하였다[3]. 최영찬(2019)는 스마트 팜을 위한 요소 기술과 데이터 축적에 필요한 사업 및 실증 연구를 위한 정부의 지원이 필요하다고 강조하였다[4]. 정진형(2019)은 스마트 온실의 환경 모니터링과 작물의 생장 환경을 제어를 위한 복합 알고리즘을 제시하고 IoT 기반의 시스템을 제안하였다[5]. 김태준(2018)은 라즈베리파이와 센서를 이용한 돈사 관리를 위한 저가형 스마트 팜을 제시하여 돈사 자동화를 언급하였으며[6] 장이훈(2018)은 Fig. 2와 같이 무인이송로봇을 이용하여 농작업 및 작업자 관리데이터를 획득하여 관리하는 작업관리시스템을 소개하였다[7]. 본 시스템은 무인이송로봇과 스마트폰, 웹서버를 이용하여 실시간 위치기반 서비스를 제공한다.

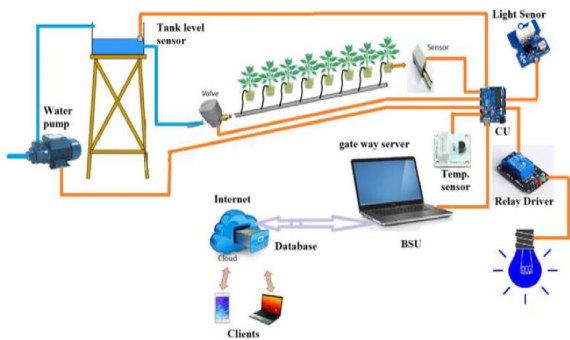


Fig. 1. Prototype structure of smart farmer[1]

이세영(2019)은 소규모 작물 재배 환경의 모니터링과 관리 보조 시스템을 소개하며 블루투스 통신과 안드로이드 기반의 앱을 통하여 온실을 관리할 수 있는 시스템을 개발하였다[8]. 나명환(2017)는 스마트 팜의 실효성을 검증하기 위하여 스마트 팜 수집 데이터를 분석하여 수확량과 환경 변수간의 연관성과

수확량 예측을 위한 다중회귀분석을 통하여 최적인자를 도출하는 연구를 소개하였다[9]. 노병우(2018)는 라즈베리파이와 아두이노 센서를 이용하여 데이터베이스의 이상적인 재배환경과 현재 환경을 비교하여 최적의 환경을 구성하는 지능형 스마트 팜을 소개하였다[10].

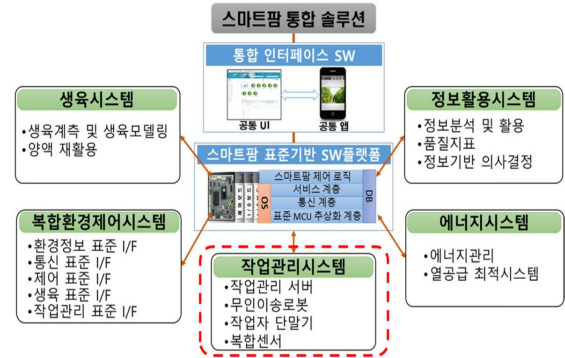


Fig. 2. Entire smart farm solution system[7]

III. Design

1. Circuit Design of Greenhouse

제안하는 스마트 팜은 온실 영역과 차량 영역으로 구분할 수 있는데 Fig. 3은 제안하는 스마트 팜의 온실부의 회로도도를 보인 것이다. 온실의 회로도도는 MCU unit, Display unit, Control unit, Driving unit, Sensor unit, Bluetooth unit으로 구성된다. MCU unit은 아두이노 메가 보드를 이용하여 설계하였고 전체적인 동작을 제어하는 프로그램이 실행되게 된다. 전원이 인가되게 되면 Sensor unit에서 각종 환경정보를 측정하게 되는데, 토양습도센서, 온도센서, 온습도 센서로 구성되어 있다. 토양습도센서는 각 화분의 토양습도를 측정하여 자동수분 공급에 필요한 기준치를 제공한다. 온도센서는 온실 내부의 온도를 디지털 방식으로 빠르게 측정하며 온습도 센서는 온실 내부의 온도와 습도를 측정하여 환기 동작에 대한 기준치를 제공한다. Sensor-1 unit은 온실 내부의 온도와 습도 등의 환경 정보를 측정하고 Sensor-2 unit은 화분의 토양습도를 측정하게 된다. 측정된 값에 따라 Control unit에 전달 값을 통하여 각종 모터를 구동하게 된다. Control unit과 Driving unit은 연계되어 동작하는데, 듀얼스텝모터 드라이브 쉘드와 모터 드라이버, 스마트펌프 쉘드, 스텝모터, 팬모터, 워터펌프 모터, 솔레노이드 4-Way 밸브로 구성되어 있다. Control-1 unit은 스텝모터와 팬모터를 동작시켜 측면의 비닐을 개폐하거나 전후방의 팬모터 동작을 통하여 환기를 시키게 된다, 그리고 Control-2 unit은 토양에 수분을 공급하기 위한 워터펌프 모터를 작동시킨다. 실시간으로 측정되고 있는 환경 정보는 Display unit을 통해 표시되는데 Display-1 unit은 온실내의 온도와 습도를 LCD에 표시

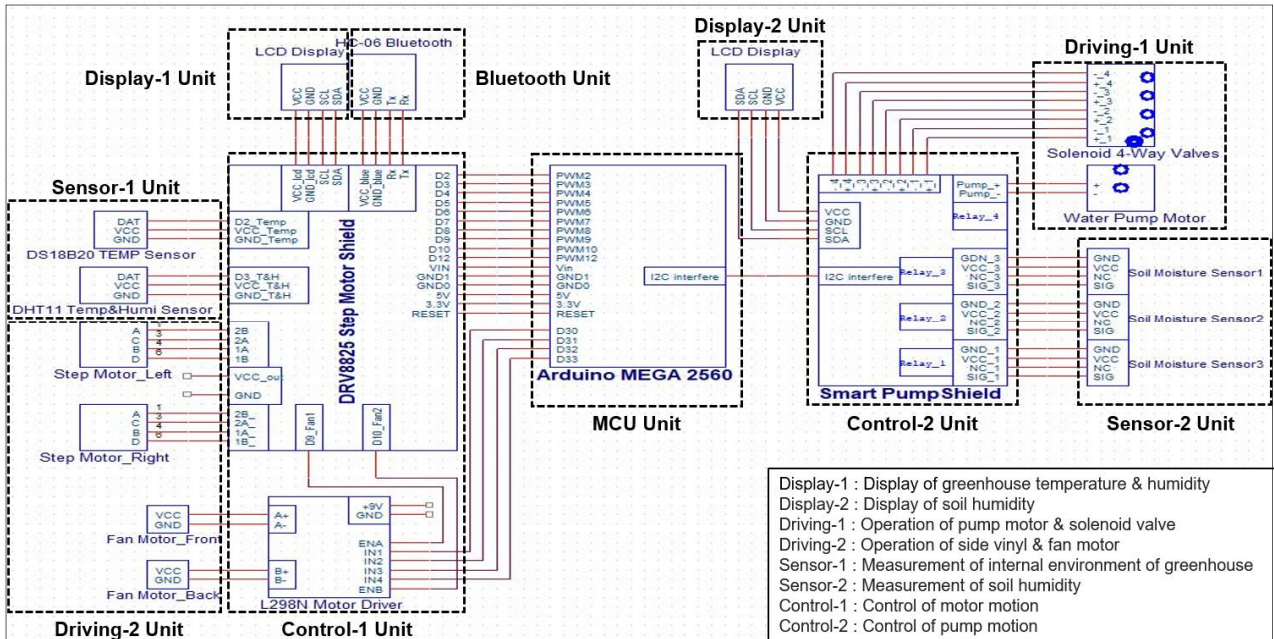


Fig. 3. Circuit Design of Greenhouse

하고 Display-2 unit은 토양의 습도를 LCD에 표시하게 된다. Bluetooth unit은 스마트폰의 앱과 연동하여 수동으로 각 장치들을 제어하기 위한 통신역할에 해당한다.

2. Circuit Design of Carrier Vehicle

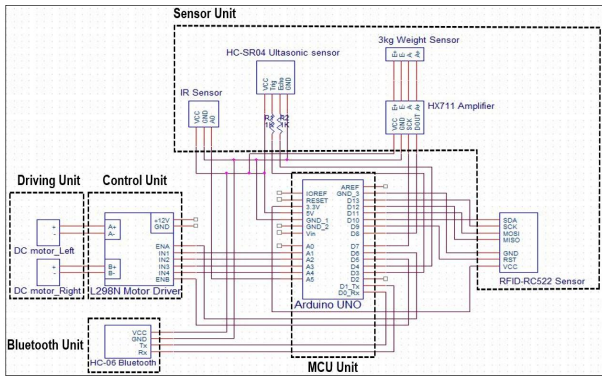


Fig. 4. Circuit Design of Carrier Vehicle

운반 차량의 회로도도 Fig. 4와 같다. MCU unit은 아두이노 우노 보드로 설계하였으며 전체적인 동작을 제어한다. Sensor unit은 작업자와의 거리를 측정하는 적외선 센서와 후방 거리를 측정하는 초음파 센서로 구성되며 적외선 센서는 작업자와의 거리를 계산하여 일정 거리를 유지하는 역할을 한다. 그리고 초음파 센서는 차량의 후방 거리 측정을 통하여 전방과 후방의 거리 계산으로 최단거리로 분류작업장으로 이동시키는 기준치를 제공하게 된다. 또한 중량 센서는 차량에 적재된 작물의 무게를 측정하며 RFID 센서는 작업자와 분류작업장 고유 카드의 인식을 통해 위치를 파악하는 용도로 사용한다. 차량의 Control Unit unit과 Driving unit은 모터 드라이브와 DC모터로 구

성되어 있다. 모터의 회전 방향 설정을 위해 4개의 핀을 사용하며 PWM 제어를 위해 ENA와 ENB 핀을 사용하여 속도를 제어한다. 외부전압은 9V 배터리로 공급하여, DC모터 정격전압인 6V를 충족해 원하는 속도를 제어할 수 있다. MCU에서 측정된 센서 값에 따라 Control unit으로 부터 동작신호를 전달하고, Driving unit은 모터를 제어하여 차량을 동작시키게 된다. 차량도 블루투스 통신을 통하여 수동 조작이 가능하다. 운반 차량은 3D 프린팅을 통하여 제작하였으며 동작을 위한 프로토타입 수준으로 결과물을 설계하였다. 제안하는 스마트 팜에 사용되는 구성요소는 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of Smart Farm

Part	Item	Specifications
Greenhouse	MCU	Arduino Mega2560
	Control-1	Croetail smart pump
	Control-2	DS18B20(Temp)
	Sensor	DHT119(Temp&Hum) Soil Moisture Nema17(Step motor) Kooler(Pan motor) DC12V Water pump 4-Way Solenoid Valve
Carrier Vehicle	Driving	128x64 OLED HC-06
	Display Bluetooth	
Carrier Vehicle	MCU	Arduino Uno
	Control	L298N motor drive
	Sensor	HC-SR04(Ultrasonic) IR sensor HX711(Weight) RFID-RC522
	Driving Bluetooth	DC motor HC-06

IV. Implementation

1. Implementation of Greenhouse

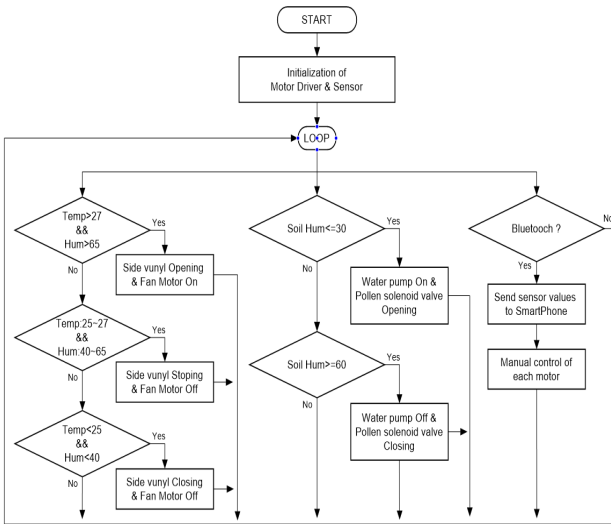


Fig. 5. Flow Chart of Greenhouse

Fig. 5는 온실의 동작을 순서도로 보인 것이다. 프로그램이 시작되면 센서와 모터 동작, LCD 작동, 블루투스 모듈, 라이브러리 호출을 위한 프로그램 초기화 단계를 거친다. 그 이후에 아두이노에서 센서들의 측정이 시작되어 측정된 값을 아두이노로 전달하게 되며 각 센서 값에 따른 동작 조건을 비교하게 된다. 초기에 블루투스와 스마트폰 앱을 연결하여 자동모드와 수동모드를 선택한다. 자동모드 선택 시, 설정된 온도, 습도, 토양 습도의 범위 값에 따라 Driving unit을 동작 시킨다. 온실의 실내 온도가 27도 이상, 습도가 65% 이상일 때는 온도와 습도를 낮추기 위해 팬 모터를 동작시켜 환기를 하고 스텝모터를 동작시켜 측면비닐을 개방한다. 온도가 25 ~ 27도 이고 습도가 40~65% 이하일 때는 적절한 환경을 유지하기 위해 팬 모터와 스텝모터를 중지시켜 현재 상태를 유지한다. 온도가 25도 이하, 습도가 40% 이하일 때는 온도와 습도를 높이기 위해 팬 모터를 중지시키고 스텝모터를 동작시켜 측면비닐을 폐쇄한다. 그리고 화분에 부착된 토양습도 센서의 값이 30% 이하일 때는 해당 화분에만 솔레노이드 밸브를 개방하여 물을 공급한다. 토양습도가 60% 이상일 때는 물 공급을 중지하고 사용자가 수동모드를 선택했을 때는 팬 모터를 동작 및 정지시킬 수 있고 스텝모터를 동작시켜 비닐을 내리고 올릴 수 있다. 또한, 원하는 화분에 직접 물을 공급할 수 있다. Fig. 6은 온실의 자동모드의 전체적인 동작을 보인 코드의 일부분이다.

```

void Auto_Mode() {
  if (BTSerial.available()) {
    input = BTSerial.read();
    while (input == '1') { //AutoMode check
      dht_humitemp();
      DS_temp();
      if ((temp >= 27 || dht_h >= 65)) {
        while (1) {
          input = BTSerial.read();
          dht_humitemp();
          DS_temp();
          Fan_Rotate(); // Fan Motor On
          step_open(1501); // Vinyl Opening
          if (!(temp >= 27 || dht_h >= 65)) break;
        }
      }
      ...
      ...
    }
  }
}
    
```

Fig. 6. Function of Auto-Mode

2. Implementation of Carrier Vehicle

운반 차량을 제어하기 위한 순서도는 Fig. 7과 같다. 차량에 전원이 인가되면 센서와 모터 동작, 블루투스 모듈, 라이브러리 호출을 위한 프로그램 초기화 단계를 거친다. 이후, 아두이노에서 센서들의 측정이 시작되어 측정된 값을 아두이노로 전달하게 되며 각종 조건에 따른 제어를 동작시키게 된다. 온실 동작과 마찬가지로 초기에 블루투스와 스마트폰 앱을 연결하여 자동모드와 수동모드로 선택이 가능하다.

Fig. 7에서는 자동모드의 동작만을 보이고 있다. 먼저, 작업자 RFID카드가 인식될 때까지 대기하여 작업자가 인식되면 작업자 추종모드로 들어간다. 작업자 추종모드로 진입하면 거리를 4.2~8cm사이를 유지하면서 이동하게 되고 그 범위를 벗어나면 차량은 정지하게 된다. 물론 해당 거리의 임계값은 상황에 따라 조정이 가능하다. 이와 동시 차량의 중량센서가 실시간으로 무게를 측정하게 되며 무게가 40g 이하이면 계속해서 추종모드를 실행하고 40g 이상이 되면 분류작업장을 향해 자동으로 이동하게 된다. 분류장에 도착하면 차량의 무게가 4g 이하가 될 때까지 모터를 정지시켜 대기하고 무게가 4g 이하로 줄어들면 다시 작업자 RFID카드가 인식될 때까지 직진하게 된다. 작업장은 고랑을 순회하는 레일로 구성되어 있기 때문에 직진만으로 작업자를 탐색할 수 있다. 작업자 RFID카드가 인식되면 작업자 추종모드로 다시 진입하며 루프를 통하여 반복적으로 동작하게 된다. 수동모드를 선택 시에는 별도의 탐색 작업 없이 전진, 후진, 좌우회전 동작이 가능하며 분류작업장 찾기 모드, 작업자 추종모드, 작업자 찾기 모드를 선택적으로 동작시킬 수 있다.

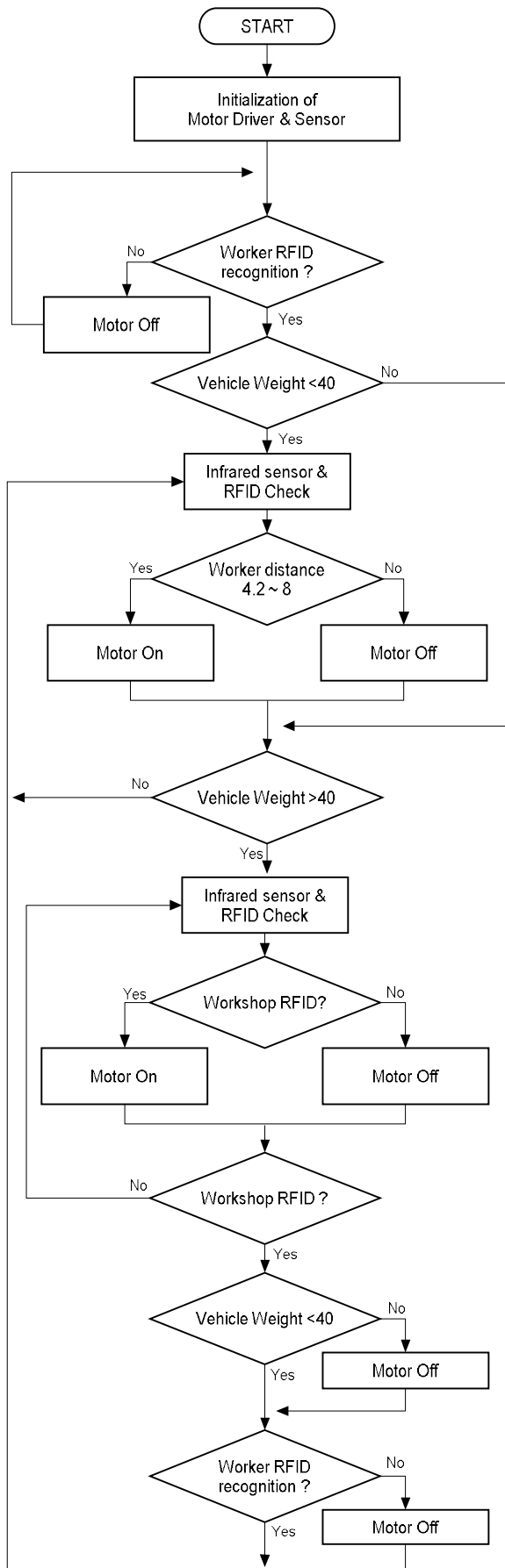


Fig. 7. Flow Chart of Carrier Vehicle

Fig. 8은 운반 차량의 작업자 추종모드 함수를 보인 것이다. 적외선 센서와 RFID 인식 함수를 호출하여 전방거리를 측정하고 임계값 내에서는 계속적으로 직진 동작을 하고 임계값을 넘으면 차량은 정지하게 된다.

```
void mode_Tracking() {
    read_IR(); // Call of IR Sensor function
    check_rfid(); // Call of RFID recognition function
    if (Fdistance >= 4.2 && Fdistance <= 6) {
        motor_Forward();
        return;
    }
    else {
        motor_Stop();
        return;
    }
}
```

Fig. 8. Function of Worker Following Mode

Fig. 9는 작업자 RFID 인식 모드와 분류 작업장 RFID 인식 모드를 위한 함수를 보인 것이다. RFID 체크 함수를 호출하고 특정 상수로 정의된 작업자와 작업장을 체크하여 인식이 되지 않으면 계속 차량은 직진을 하고 인식이 되면 해당 위치에 멈추는 동작을 한다.

```
void mode_Findworker() {
    check_rfid();
    if (obj != W) { // If the operator is not recognized
        motor_Forward();
    }
    else { // the operator RFID card is recognized
        motor_Stop();
    }
}

void mode_Findsort() {
    check_rfid();
    if (obj != S) { // Workshop is not recognized
        motor_Forward();
    }
    else ) { //Workshop is recognized
        motor_Stop();
    }
}
```

Fig. 9. Function of Worker & Workplace Recognition Mode

3. Implementation of Smart Farm

Fig. 10은 논문의 설계에 따라 구현된 온실의 프로토타입 모형을 보인 것이다. Fig. 10의 왼쪽은 온실을 내부에서 보인 것으로 화분마다 토양습도 센서가 부착되어 있고 바닥에는 차량 이동을 위한 레일이 설치되어 있는 것을 확인할 수 있다.

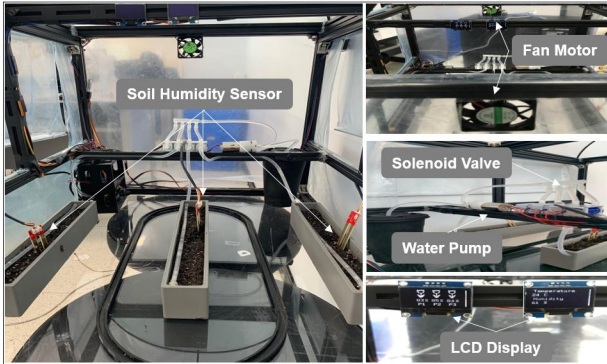


Fig. 10. Inside the Greenhouse

Fig. 10의 우측 상단에는 전후방에 설치된 팬 모터를 보인 것이고 우측 중간에는 워터 펌프와 4-Way 솔레노이드 밸브의 수분공급 장치를 확인할 수 있다. 오른쪽 하단에는 상태표시를 위한 LCD가 설치되어 있다. Fig. 11은 운반 차량의 구현 모형을 보인 것이다. Fig. 11의 상단 왼쪽은 초음파 센서가 부착된 전방의 모습이고 오른쪽은 적외선 센서가 부착된 후방 모습을 보인 것이다. 그리고 Fig. 11의 하단은 무게 센서가 부착된 작물 수거함을 보인 것이다.

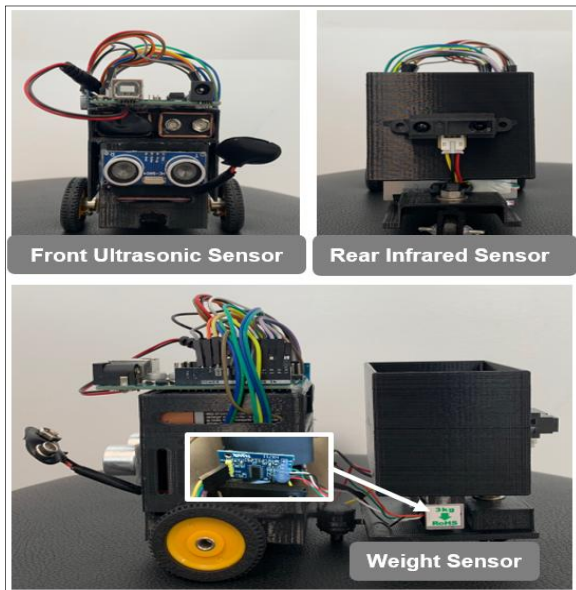


Fig. 11. Inside the Greenhouse

Fig. 12는 실제 구동되는 모습과 스마트 앱을 보인 것이다. Fig. 12의 상단은 레일을 따라 자동으로 이동하는 운반 차량을 보인 것이고 하단 왼쪽은 온실 제어, 오른쪽은 운반 차량 제어 앱을 보인 것이다.

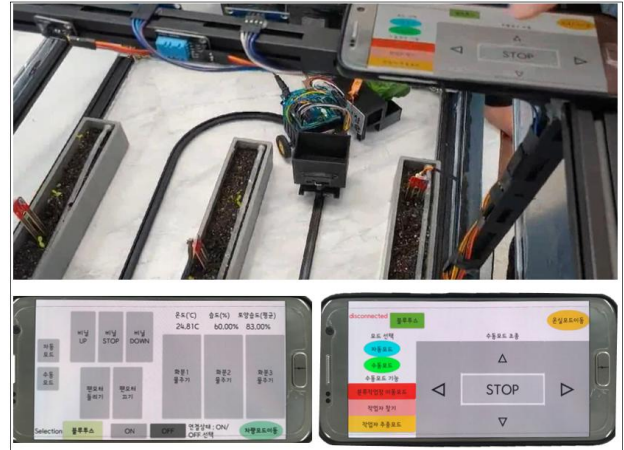


Fig. 12. Implementation Results and Smart Apps

V. Conclusions

설계 및 구현된 결과를 검증하기 위하여 Table 2와 같이 동작 실험을 실시하였다. 온실의 동작 실험에서는 온도와 습도, 토양습도에 변화에 따라 정상동작을 확인하였으며 운반 차량 실험에서는 몇 가지 문제점이 발생하였다. 작업자 인식을 통한 추정 모드에서는 작업자의 급격한 행동 변화에 따른 인식도가 88.75% 이었으며 작업장에서 다시 작업자를 찾아가는 실험에서는 91.25%의 정확도를 보였다. 중간 속도를 기준으로 목표 80%를 상회하여 이용하는 문제없음을 보였다. 하지만 빠른 속도의 낮은 성공율은 실제 RFID 태그의 인식에서 근접하지 않으며 인식이 다소 어려워지는 결과로 추정된다. 또한 차량의 바퀴와 레일간의 저항력으로 속도를 빠르게 했을 경우, 탈선하는 현상을 보였다. 이는 향후 설계시 레일과 차량의 밀접성과 구조 변경으로 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료된다. 본 논문의 실험적 결과를 바탕으로 보다 구조적이고 안정성 있는 차량 제작이 필요할 것으로 판단된다.

Table 2. Result of operation experiment

Test type	Number of times	Success	Rate	
Greenhouse Sensor Test	50	50	100%	
Worker Following Mode	80	71	88.75%	
Find Worker Mode	80	73	91.25%	
Carrier Vehicle Test	Low	60	59	98.33%
	Medium	60	49	81.66%
	High	60	29	48.33%

본 논문은 기존의 고가의 스마트 팜을 대체할 수 있는 보다 경제적인 환경을 제안하였다. 또한 고령자나 신체적 취약자가 손쉽게 운영할 수 있는 스마트 팜 환경을 조성하는데 큰 취지가 있다. 동작 실험 결과, 몇 가지 문제점이 도출되었지만 향후 차량의 구동 설계와 실제 적용 가능한 온실 구축을 통하여 실효성 있는 결과물로 발전시키고자 한다.

REFERENCES

- [1] UN Department of Economic and Social Affairs, "World Population Prospects 2019"
- [2] Food Self-sufficiency Rate by Year (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), <http://www.mafra.go.kr/>
- [3] Ahmed A. Radhi, "Design and Implementation of a Smart Farm System," *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, Vol. 24, No. 3, pp. 227-241, December 2017.
- [4] Choi, Y. C. and Jang, I. H., "Smart Farm in the Age of the Fourth Industrial Revolution," *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, Vol. 36, No. 3, pp. 9-16, February 2019.
- [5] Jeong, J. H., Lim, C. M., Jo, J. H., Kim, J. H., Kim, S. H., Lee, K. Y., Lee, S. S., "A Study on the Monitoring System of Growing Environment Department for Smart Farm," *Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology*, Vol. 12, No. 3, pp. 290-298, June 2019.
- [6] Kim, T. J., Lee, C. H., Kim, D. K., Kim, K. C., "The Low Cost Piggy Smart Farm using Raspberry Pie," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, pp. 371-372, November 2018.
- [7] Jang, I. H., Yang, S. H., Lee, D. Y., Choi, D. W., "Development of Agricultural Work Management System Based on Real-time Acquisition of Labor using Unmanned Transfer Robots," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 24, No. 11, pp. 1014-1019, November 2018.
- [8] Lee, S. Y., Byun, J. I., Choi, J. H., Joo, S. J., Kim, Y. H., "Small Smart Farm Monitoring and Management System," *Proceedings of KIIT Conference*, pp. 455-457, June 2019.
- [9] Na, M. H., Park, Y. H., Cho, W. H., "A study on optimal environmental factors of tomato using smart farm data," *Journal of the Korean Data And Information Science Society*, Vol. 28, No. 6, pp. 1427-1435, November 2017.
- [10] No, B. W., Lee, J. S., Jeung, H. S., Go, J. H., Son, S. G., "Intelligent Smart Farm system Using Camera and IoT," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, pp. 381-382, November 2018.

Authors



Hwa-ra Hur received a M.S. degree in Computer Engineering from Dong-a University in 1992, a Ph.D. degrees in Electronic Engineering from Pusan National University in 2001. He is currently a Professor in the Department of Aeronautical Software Engineering, KyungWoon University. He is interested in Time-Dealy, Model predictive control, Remote control robot.



Seok-Gyu Park received a M.S. degree in Computer Engineering from Kyungnam University in 1992, a Ph.D. degrees in Computer Science from GyeongSang National University 2005. He is currently a Professor in the Department of ICT & Drone Technology, GangWon State University. He is interested in Software Reliability, System Analysis, Multimedia.



Myeong-Chul Park received a B.S. degree in Computer Science from Korea National Open University in 1999, a M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science from GyeongSang National University in 2002, 2007. He is currently a Professor in the Department of Avionics Engineering, KyungWoon University. He is interested in Visualization, Simulation, Education of Software, Virtual Reality, and Parallel Programming.