

퍼지 제어법과 HMI를 이용한 축사용 스마트팜 환경 제어기 설계

이병로¹, 이주원^{2*}

¹경상국립대학교 융합전자공학부, ²안동과학대학교 전기자동화과

Design of Smartfarm Environment Controller Using Fuzzy Control Method and Human Machine Interface for Livestock Building

Byeong-Ro Lee¹, Ju-Won Lee^{2*}

¹Department of Convergence Electronic Engineering, Gyeongsang National University

²Department of Electric and Automation, Andong Science College

요약 스마트 축사 시스템에서 가장 중요한 부분은 내·외부 대기환경 변화에도 가축이 고품질로 성장할 수 있도록 사육환경을 유지하는 것이다. 특히 여름과 겨울에는 여러 질병이 발생하기 때문에 축사환경에서 온습도 유지가 매우 중요하다. 이러한 환경을 관리하기 위해 축사용 스마트 시스템이 도입되고 있으나 매우 고가이다. 본 연구에서는 퍼지제어와 HMI를 기반한 저가의 시스템 설계와 제어 방법을 제안한다. 제안된 시스템의 성능을 평가하기 위해 여름철과 겨울철의 대기환경 조건을 주어 시뮬레이션 실험하였으며, 그 결과 가축이 받은 온습도 스트레스를 최소화하는 성능을 보였다. 그리고 실제의 축사에 적용했을 때도 제안된 시스템은 외부대기 환경변화에도 안정적인 제어성능을 보였다. 본 연구에서 제안한 기법이 스마트팜 제어기로 적용된다면, 축사 환경관리에 있어 효과적인 것이다.

• 주제어 : 스마트 팜, 휴먼 머신 인터페이스 장치, 축사, 퍼지 제어기, 온-습도 지수

Abstract The most important part of the smart livestock building system is to maintain a breeding environment so that livestock can grow to high quality despite changes in the internal and external atmospheric environment. Especially, it is very important to maintain the temperature and humidity in the livestock building because various diseases occur during the summer and winter. To manage the environment suitable for livestock, a smartfarm system for livestock building is applied, but it is very expensive. In this study, we propose a hardware design and control method for low cost system based on HMI and fuzzy control. To evaluate the performance of the proposed system, we did a simulation experiment in the atmospheric conditions of summer and winter. As a result, it showed the performance of minimizing the temperature and humidity stress of livestock. And when applied to the livestock building, the proposed system showed stable control performance even in the change of the external atmospheric environment. Therefore, as with these results, if proposed system in this study is applied to the smart farm system, it will be effective in managing the environment of livestock building.

• Key Words : Smartfarm, Human Machine Interface, Livestock building, Fuzzy Controller, Temperature-Humidity Index

Received 29 August 2022, Revised 06 September 2022, Accepted 20 September 2022

* Corresponding Author Ju-Won Lee, Department of Electric and Automation, Andong Science College, 189 Seoseon-gil, Andong-si, Gyeongsangbuk-do, Korea. E-mail: bioee5246@gmail.com

I. 서론

최근 농업혁신을 위해 스마트팜 기술이 많이 개발되고 적용되고 있으며 축산업에 최소의 노동력과 가축의 생육환경을 유지·관리할 수 있도록 ICT (Information and Communications Technology) 기술을 접목한 것이 스마트 축사 시스템이다[1-2]. 스마트 축사 시스템은 CCTV 영상정보, 내·외부의 환경인 온도, 습도, CO₂, 암모니아, 강우, 풍향, 풍속, 조도 등을 모니터링하고 송풍기, 히터 램프(heat lamp), 쿨링포그(cooling fog), 사료 급이 장치, 음수 관리기, 사료빈 관리기, 자동 포유기 등의 센서와 시설로 구성되어 있다. 이 시스템은 농장주 의사에 의해 수동과 자동으로 환경제어를 할 수 있게 되어 있다. 더욱 효과적인 가축 관리를 위해서 다양한 IT 기술들이 연구되고 있으며, 최근에는 축사 환경정보와 사양 데이터를 관측하여 최적제어를 위한 연구가 진행되고 있으며, 또한 생체정보 센서(호흡, 맥박, 체온) 등의 빅-데이터를 토대로 최적의 성장모델과 의사결정 시스템에 관한 연구가 중점적으로 진행되고 있다[2-5]. 이러한 연구에서도 스마트 축사 시스템에서 가장 중요한 것은 다양한 내·외부 축사환경 변화에서도 가축이 고품질로 성장할 수 있는 사육환경을 유지하는 것이다. 즉, 축사환경에서 온습도 관리가 매우 중요하며[6], 특히 혹서기인 여름철에는 가축들의 열 스트레스 지수가 높아져 흥분상태, 호흡기 질병, 식욕 저하, 체중 증가율 감소, 발정 지연, 자궁 기능의 저하 등의 문제와 질병이 발생하며, 혹한기인 겨울철에는 입 주위의 동상, 발굽 갈라짐, 소화 장애 등이 발생하기도 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 여러 연구가 진행되고 있으며[6-8], 농촌진흥청 축산과학원은 온습도 지수(THI: Temperature Humidity Index)를 이용한 송풍기와 안개 분무 장치, 냉수 공급기 등의 시설 제어기법을 제안하고, 젖소 사육 현장에 적용한 결과 대조군보다 산유량이 증가하는 효과를 제시하였다[7]. 코체토바의 연구에서는 가축의 성장환경을 최적화하기 위해 PLC(Programmable Logic Controller)와 논리 이론을 토대로 축사 내부의 온습도를 제어하였다[8]. 한편 이러한 연구는 혹서기에 국한되어 있으며, 혹한기의 추위로 발생하는 가축의 질병 발생에 대응이 미흡하다. 그리고 대부분 축사는 혹한기에 보온 막과 깔짚으로 보온 관리를 하고 있으나 추

위 스트레스 및 축사 내의 유해가스, 결로 등의 대처가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 혹서기 및 혹한기에도 가축의 열적 스트레스(heat stress, cold stress) 감소와 공기 질 개선 등을 위해 축사 환경제어 시스템과 그 제어기법을 제안한다. 제안된 스마트 축사 환경제어 시스템은 농장주의 사용상의 편리성, 원격 모니터링 및 제어, 저가, 시스템 운전의 안정성과 신뢰성 등을 고려하여 주제어기로 스마트팩토리 산업에서 가장 많이 사용되는 HMI(Human Machine Interface) 장치를 사용하였다. 그리고 축사 내의 환경상태(내외 온습도, 강우 등)를 관측할 수 있는 센싱 장치와 환경시설 상태를 관측/제어할 수 있는 입출력 장치 등으로 구성되어 있다. 또한, 이들 장치 간의 정보 교환을 RS485 Modbus-RTU 통신하게 하였으며, 원격제어를 위해 인터넷 통신 기능을 추가하여 구성하였다. 그리고 최적의 환경제어를 위해 농장주의 경험을 기반한 퍼지제어기를 구성하였으며, 제안된 시스템의 성능평가와 검증에 위해 가상의 축사환경 모델과 시뮬레이션으로 성능평가를 하였으며, 또한 제안한 시스템을 하드웨어로 구현하여 경남 사천시 곤양면에 있는 A 축사에 설치하고 그 성능을 검증하였다.

II. 시스템 설계

2.1 스마트 축사 시스템 구조

스마트 축사 환경관리 시스템에 관하여 여러 연구가 진행되었으며, 그 대표적인 예로 축사 내부의 온습도를 LoRa(long range radio) 또는 Zigbee 무선 센서 네트워크로 주제어 장치에서 수집하고 서버 PC로 전송, 서버 PC는 원격의 스마트 폰 또는 PC로 모니터링과 제어를 할 수 있도록 한 것이다. 환경제어는 설정된 온도 이상일 때 환기팬을 구동시키는 방식을 적용하고 있다[9-11]. 이들 시스템은 무선통신 모듈을 이용한 것으로 모듈의 단가가 높아 다수의 센서를 사용할 경우 시스템의 가격이 상승한다. 또한, Zigbee 방식은 통신 거리가 짧아 대형축사에 적용하기 위해서는 리피터(repeater)를 추가하여야 한다. Lora 통신 방식은 장거리 통신으로 대형축사에 적합한 통신 방법이지만 거리가 멀수록 통신 속도가 감소하고 통신 에러가 증가하는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서 시스템의 가

격과 데이터 통신의 신뢰성, 시스템의 확장성 등을 고려하여 스마트팩토리 시스템에서 가장 많이 사용되고 신뢰성이 높은 모드버스(modbus)[12] RS485 통신 방식과 HMI를 이용한 시스템 설계법을 제안하며, 그 구조는 그림 1과 같다.

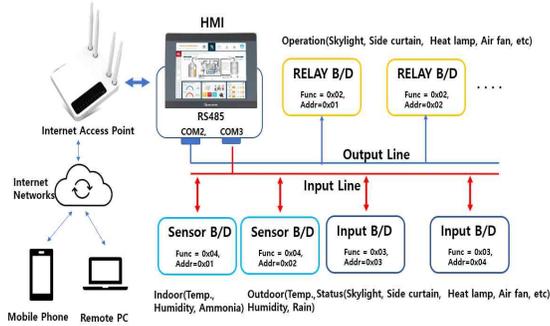


Fig. 1. Proposed system to manage environment of cowshed.

2.2 축사환경 센싱 및 입출력 제어

본 연구에서 제안한 축사환경 관리 시스템은 스마트 축사 센서 인터페이스 기준[13]을 적용하여 표 1과 그림 2와 같이 온습도 센서(센트리온의 HP-C2D-DM)는 각각 2개, 우적 센서(삼화기전의 BSR-307) 1개, 농림축산부의 축사 암모니아 관리 기준을 적용한 암모니아 센서(Winsen의 MQ137) 1개를 사용하여 내·외부 환경 센서장치를 설계하였다.

Table 1. Sensors and measurement range to manage environment of livestock building.

Metrics	Measurement range
Temperature	-40℃ ~ 120℃
Humidity	0 ~ 100%
Rain	Rain detection Heater Function
Ammonia	0 ~ 100ppm

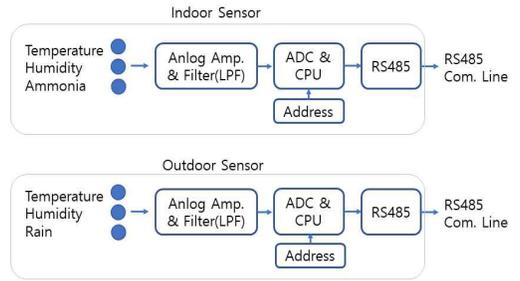


Fig. 2. Structure of indoor/outdoor sensor device.

이 센서 장치는 각 센서로부터 출력되는 신호에 포함된 60[Hz] 전력선 잡음 영향을 최소화하기 위해 아날로그 저역통과필터 처리(차단주파수=5[Hz])를 하였으며, 이 신호를 Atmega164PA CPU의 ADC로 샘플링 주파수 10[Hz]로 각각 획득하고 식(1)인 10차 이동평균 필터(moving average filter) 처리를 추가하여 신호처리를 하였다. 여기서 이동평균 필터링을 한 이유는 대기 중에 바람의 영향으로부터 센서 헌팅(hunting)을 최소화하기 위한 것이다.

$$y(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x(n-i) \quad (1)$$

이들 측정된 환경정보는 그림 4(a)인 GUI 화면에 표시하였다. 그리고 환경제어시설 상태를 모니터링하고 제어하기 위해 그림 3의 구조를 갖는 디지털 입출력 장치를 설계하였다.

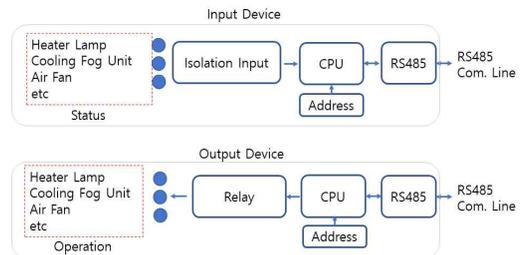


Fig. 3. Structure of Input/Output device.

여기서 입력장치는 외부 스파크 잡음, 축사 시설 장치 안전 등을 고려하여 포토커플러(PC814) 소자로 입력처리를 하였으며, 출력은 각종 시설 장치(전열기(히터 램프), 천창, 측면커튼, 안개 분무(쿨링포그), 전등 등)의 사용 전원 종류(교류, 직류)와 관계없이 제어할

수 있도록 릴레이(relay, DC24V) 소자로 구성하였다. 그리고 이들 장치 및 주제어 기기와의 정보교환을 위해 모드버스 홀딩(holding) 레지스터 40000번지부터 16bit 데이터 형태로 저장하였으며, 이 번지에는 외부 온습도, 강우, 내부 온습도, 암모니아, 입력장치의 데이터, 출력장치의 출력 데이터 등의 순서로 저장하였다. 특히, 주제어기인 HMI가 이 데이터들을 Unicast 방식으로 read/write 하게 하였다.

2.3 사용자 인터페이스 및 원격 모니터링

스마트 축사 환경관리를 위해 주제어기인 HMI는 Weintek사의 MT8092(32-bit RISC CPU 1Ghz, linux OS)를 선정하여 시스템을 설계하였다. 그리고 비상시에 주제어기를 농장주가 직접 수동제어 하거나 원격지에서 축사상태를 실시간으로 모니터링을 할 수 있게 그림 4와 같이 사용자 인터페이스(GUI: Graphic User Interface)를 구성하였다.



(a) main screen



(b) sub screen(manual control: skylight, side curtain)

Fig. 4. Graphic user interface

여기서 그림 4(a)는 메인화면으로 축사 내외부 온습도, 암모니아, 우적 등을 실시간으로 표시하였으며, 그

리고 IP-camera와 HMI의 rtsp(real time streaming protocol) 기능을 이용하여 농장주가 원격지에서 축사 내부 영상을 관측할 수 있게 하였다. 추가적인 기능으로 농장주가 축사 환경시설(전등, 전열기(히터 램프), 결창 커튼, 천창 등)을 수동으로 제어할 수 있게 그림 4(b)와 같이 GUI를 구성하였다. 그리고 그림 5와 같이 HMI의 가상 네트워크 컴퓨팅(VNC: Virtual Network Computing) 서버 기능과 유무선 AP기기의 포트 포워딩(port forwarding) 기능을 이용하여 원격제어 등을 쉽게 할 수 있도록 구현하였으며, 시스템 개선 및 기능 확장이 필요할 때 HMI 프로그램 수정만으로도 쉽게 원격 제어를 가능하게 하였다. 이 기법은 별도의 스마트폰 앱(app) 또는 PC용 프로그램이 없이 원격 모니터링과 제어를 할 수 있어 별도의 비용이 발생하지 않는 방식이다.

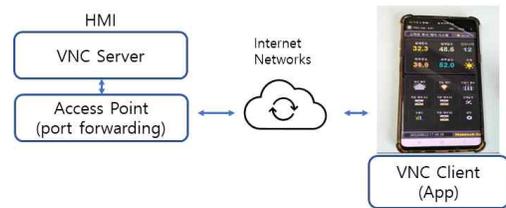


Fig. 5. Remote control based on VNC and smart phone

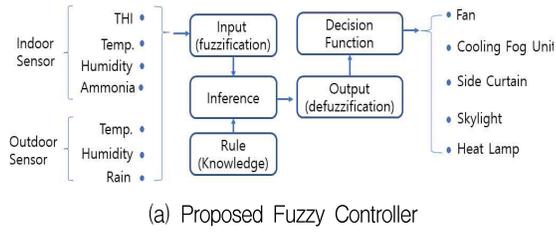
2.4 환경제어

가축은 날씨에 따라 식욕과 성장에 큰 영향을 받는다. 특히 축사 내부의 온도가 높으면 식욕이 저하되어 사료 섭취량이 감소하고 체내 대사 에너지가 증가한다. 그리고 온도가 낮으면 활동력과 식욕이 저하되어 사료 섭취량이 감소하여 발육 속도가 늦는 문제점이 발생한다. 따라서 축사 환경관리에 있어 가장 중요한 요소는 열 스트레스이며, 이와 관련된 지수는 식(2)인 온습도 지수 THI이다.

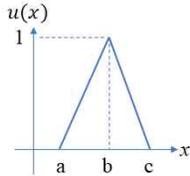
$$THI = 0.8T + \frac{RH(T - 14.4)}{100} + 46.4 \quad (2)$$

RH : Humidity, T : Temperature

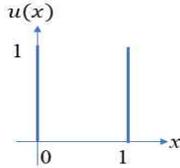
가축은 THI가 62 이하일 때 편안함을 느끼고, THI가 72에서 78 사이에 있을 때 불편함, 79 이상일 때 경보와 위험 상태로 진입한다고 보고되고 있다[14].



(a) Proposed Fuzzy Controller



(b) Triangle(input)



(c) singleton(output)

Fig. 6. Input/Output membership functions of fuzzy controller.

이러한 열 스트레스는 혹서기인 여름철에 축사 관리에 활용되나 계절과 기상 조건(우천 시, 축사 내부 온도보다 외부온도가 높을 때, 습도가 내부보다 외부가 높을 때)에 따라 환경제어가 어렵다. 따라서 본 연구에서 최적의 축사환경제어를 위해 온습도 지수와 내·외부 센서 정보, 농장주의 전문지식 등을 바탕으로 그림 6(a)인 퍼지제어기[15]를 설계하여 환경제어를 하도록 하였다.

여기서 사용된 입력 소속함수는 그림 6(b)와 특정 범위를 지정할 수 있는 Triangle 함수와 언어적 변수(L: Low, N: Normal, W: Warning, E: Emergency, M: Medium)를 표 2와 같이 사용하였고, 출력 소속함수는 디지털 출력 특성을 갖는 그림 6(c)인 Singleton 함수를 사용하였다. 이와 관련된 퍼지제어기의 세부적인 입출력 파라미터는 표 2에 나타내었으며, 퍼지제어 알고리즘은 HMI의 매크로 프로그램으로 구현하여 시스템에 적용하였다.

퍼지제어의 동작은 1초마다 환경 센서값을 측정하고 표 3의 규칙을 기반으로 Min-Max 퍼지 추론하며, 이 추론 결과 ($u(y_i)$)를 식(3)인 무게 중심법으로 비퍼지화(defuzzification) 하였다. 여기서 퍼지의 출력 ($F_o(k)$)이 아날로그 값을 가지므로 식(4)의 역치값 5.0을 토대로 디지털 출력($O(k)$)으로 변환하였으며, 이 출력을 이용하여 출력장치(output unit)에 연결된 환풍기, 쿨링포그(안개 분무) 장치, 히터 램프, 커튼, 천창 등을 제어하였다.

Table 2. Definition of linguistic variables and membership functions for inputs/outputs of Fuzzy Controller

Inputs and outputs of controller		linguistic variables membership functions (a, b, c)	
Input	THI, T_s	L(Triangle, 0, 0, 45) N(Triangle, 40, 56, 72) W(Triangle, 66, 72, 78) E(Triangle, 72, 80, 80)	
	Indoor	Temperature, T_i	L(Triangle, -10, -10, 5) M(Triangle, 0, 15, 28) H(Triangle, 25, 40, 40)
		Humidity, H_i	L(Triangle, 0, 0, 40) M(Triangle, 35, 60, 85) H(Triangle, 80, 100, 100)
		Ammonia, A_i	L(Triangle, 0, 0, 25) H(Triangle, 20, 100, 100)
	Outdoor	Temperature, T_o	L(Triangle, -10, -0, 5) M(Triangle, 0, 15, 28) H(Triangle, 25, 40, 40)
		Humidity, H_o	L(Triangle, 0, 0, 40) M(Triangle, 35, 60, 85) H(Triangle, 80, 100, 100)
Rain, R_D		Off, On(singleton(0, 1))	
Output	Fan, F_A	Off, On(singleton(0, 10))	
	Cooling Fog, C_F	Off, On(singleton(0, 10))	
	Side Curtain, S_C	Close, Open (singleton(0, 10))	
	Skylight, S_L	Close, Open (singleton(0, 10))	
	Heat Lamp, H_L	Off, On(singleton(0, 10))	

$$F_0(k) = \frac{\sum_{i=1}^{10} u(x_i)x_i}{\sum_{i=1}^{10} u(x_i)} \quad (3)$$

$$O(k) = \begin{cases} 1, & F_0(k) \geq 5.0 \\ 0, & \text{other} \end{cases} \quad (4)$$

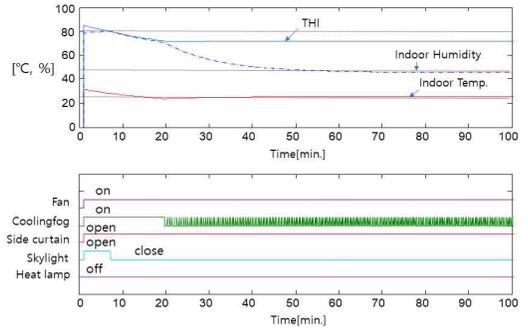
k : number of output unit

Table 3. Rules of Fuzzy Controller

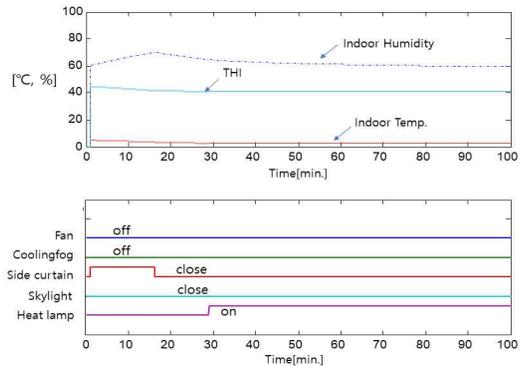
Outputs	Rules
Fan	<i>if T_S is L then F_A is Off</i>
	<i>if T_S is N then F_A is Off</i>
	<i>if T_S is W then F_A is On</i>
	<i>if T_S is E then F_A is On</i>
	<i>if A_i is L and T_S is L then F_A is Off</i>
	<i>if A_i is L and T_S is N then F_A is Off</i>
Cooling Fog	<i>if T_S is L then C_F is Off</i>
	<i>if T_S is N then C_F is Off</i>
	<i>if T_S is E and H_i is L then C_F is On</i>
	<i>if T_S is E and H_i is M then C_F is On</i>
Side Curtain	<i>if R_D is On then S_C is Close</i>
	<i>if T_o is L then S_C is Close</i>
	<i>if T_o is M and R_D is Off and H_i is H and H_o is L then S_C is Open</i>
	<i>if T_o is M and R_D is Off and H_i is H and H_o is M then S_C is Open</i>
	<i>if T_S is N and R_D is Off then S_C is Open</i>
	<i>if T_S is E and R_D is Off then S_C is Open</i>
	<i>if T_S is W and R_D is Off then S_C is Open</i>
Skylight	<i>if T_o is L then S_L is Close</i>
	<i>if R_D is On then S_L is Close</i>
	<i>if R_D is Off and T_S is N then S_L is Open</i>
	<i>if R_D is Off and T_S is W then S_L is Close</i>
Heat Lamp	<i>if T_i is L then H_L is On</i>
	<i>if T_i is M then H_L is Off</i>
	<i>if T_i is H then H_L is Off</i>

III. 구현 및 성능평가

본 연구에서 제안한 제어기 성능을 평가하기 위해 시뮬레이션 실험과 실제 측사에 적용한 2가지 실험을 하였다. 첫 번째 실험은 시뮬레이션으로 퍼지 환경제어기의 성능을 평가하기 위한 것으로 참고문헌 [16]의 환경 모델을 측사환경으로 설정한 것이다. 이 실험은 두 가지 조건으로 실험하였으며, 조건 1에서는 외부온도가 30°C, 외부습도가 80%, 실내온도 31°C, 실내습도 78%인 고온다습한 여름철(혹서기) 대기 환경을 설정하고 시뮬레이션 하였으며 그 결과를 그림 7(a)에 나타내었다. 그리고 조건 2에서는 외부온도가 -10°C, 외부습도가 62%, 실내온도 0°C, 실내습도 60%인 겨울철(혹한기) 대기 환경으로 설정하여 실험한 결과를 그림 7(b)에 나타내었다.



(a) outdoor temperature/humidity : 30°C/80%



(b) outdoor temperature/humidity : -10°C/60%

Fig. 7. Simulation results when outdoor temperature/humidity are (a)30°C/80% and (b)-10°C/60%

이 실험의 결과를 분석하면, 그림 7(a)와 같이 THI 지수를 낮추기 위해 송풍기, 쿨링포그 장치가 동작, 측면커튼 동작, 천창 동작 등의 제어가 이루어짐을 알 수 있었다. 특히, 외부 광으로 발생하는 복사열 감소를 위한 천창 닫힘, 공기 순환과 내부 열 감소를 위한 송풍기 및 쿨링포그 등이 원활하게 동작하였다. 이러한 제어를 통하여 측사 내부의 THI 지수가 83에서 72로 감소 되었고, 내부온도 또한 감소시켜 25°C로 유지 시키는 성능을 보였다. 그림 7(b)에서는 외부온도 -10°C에서도 천창, 측면커튼, 히터 램프 등이 동작 되었으며, 측사 내부의 온도를 4°C 이상으로 유지 시키는 제어가 이루어짐을 확인하였다. 여기서 히터 램프의 출력을 향상하면 더 나은 보온제어 성능을 제공할 것으로 판단된다. 두 번째 성능평가는 그림 8(a)와 같이 하드웨어로 구현하여 경남 사천시 곤양면에 있는 A 측사 3동에 설치(그림 8(b))하여 그 제어 결과를 그림 8(c)에 나타내었다. 그림 8(c)의 결과와 같이 측사의 외부온도

가 30°C에서 36°C로 상승함에도 축사 내부온도가 상승하지 않도록 제어함을 확인할 수 있었다. 위와 같은 실험의 결과로부터 본 연구에서 제안한 환경제어 시스템이 실제의 축사 환경제어에 효과적임을 알 수 있었다.

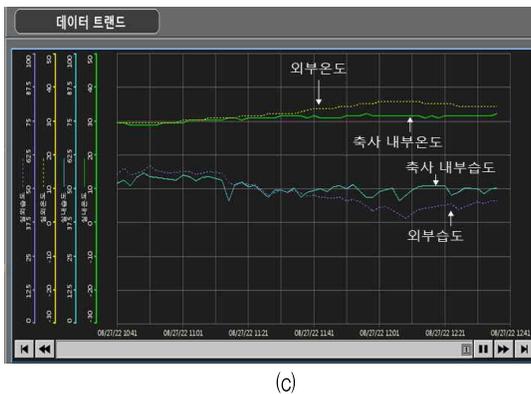


Fig. 8. Results of track extraction for straight(center), left path and right path in experimentation.
 (a) Implemented hardware (b) Controller installation
 (c) result of environment control.

IV. 결론

본 연구에서는 혹서기 및 혹한기에 가축의 열 스트레스 감소와 시설 비용감소 등을 위해 HMI 기반의 스마트팜 설계법과 퍼지제어 기법을 제안하였다. 제안된 시스템의 성능을 검증하고 평가하기 위해 혹한기 및 혹서기인 대기 환경 조건을 주어 시뮬레이션 실험을 하였으며, 그 결과 가축이 받은 열 스트레스인 온습도 스트레스(THD)를 최소화하는 성능을 보였다. 그리고 구현된 하드웨어 시스템으로 실제의 축사에 적용한 결과, 외부대기 환경변화에서도 안정적인 가축 생육환경을 유지하는 성능을 보였다. 이러한 결과로부터 본 연구에서 제안한 기법이 축사 환경제어에 매우 효과적임을

알 수 있었으며, 현장에서 스마트팜 제어기로 적용한다면 저가의 시스템으로 효과적인 축사 환경관리가 이루어질 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] Korea Meteorological Institute, “A Case Study on the Convergence of Smart Agricultural Technology and Weather Information “, Issue paper, vol. 1, 2022.
- [2] S.J. Oh, A Design of Intelligent Information System for Greenhouse Cultivation, Journal of Digital Convergence, vol. 15. no. 2, pp 183-190, 2017.
- [3] S.Y. Heo, J.H. Park, J.H Lee, A review on ICT convergence in livestock industry in South Korea and its application in animal breeding, Journal of Animal Breeding and Genomics, Vol. 5, No. 4, pp. 171-180, 2021.
- [4] J.H. Kim, Y.S. Kim, and J.S. Kim, A Design and Implementation for a Realtime Monitoring and Controlling System in the Stockyard, Korea Society of Computer and Information, Vol. 14, No. 10, pp. 167-174, 2009.
- [5] K. S. Kwon, Status of Research and Development of Livestock Smart Farm Using ICT Convergence Technology, Rural Resources, Vol. 59, No. 2, pp. 38-45, 2017.
- [6] A.A. Habeeb, A.E. Gad, M.A. Atta, Temperature Humidity Indices as Indicators to Heat Stress of Climatic Conditions with Relation to Production and Reproduction of Farm Animals, International Journal of Biotechnology and Recent Advances, Vol. 1, No. 1, pp. 35-50, 2018.
- [7] J.H. Jun, Livestock environment control technology for reducing cow heat stress, Dec., 2019, Available: https://www.nias.go.kr/front/atis_FarmingApply_view.do?cmCode=M091023193927309&otptCode=ClEA006552
- [8] O.V. Kochetova, S.N. Kostarev, N.A. Tatarnikova, T.G. Sereda, “Development of microclimate control system in cattle barns for cattle housing in the Perm region” , IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, AGRITECH-V-2021, Vol. 839, pp. 1-6, 2021.

- [9] S.K. Jeong, H.S. Jeong, Y. Hyun, "Design of Smart Ventilation Facility Control System based on Wireless Sensor Network", Conf. of Korean Institute of Communications and Information Sciences, pp 665-666, 2012.
- [10] H. Choe, M.H. Lee, Y. Hyun, Security of Smart Cattle Shed Monitoring System in LoRa Network, Journal of Security Engineering, Vol.15, No. 5, pp. 345-354, 2018.
- [11] J.H. Cho, S.W. Jang, "Design of an Unmanned Farm System using Arduino and Wireless Communication", Proceedings of the Korean Institute of Information and Communication Sciences Conference, Vol. 22, No. 1, pp. 217-219, 2018,
- [12] National Instrument, "Beginning ModBus", [Online]. Available: <https://www.ni.com/ko-kr/innovations/white-papers/12/introduction-to-modbus-using-labview.html>
- [13] K.S. Jung, K.Y. Choe, (2019, Sep.), Interface standard of Indoor/Outdoor sensor and safety device for smart livestock, ICT Standard & Certification TTA Journal, Vol. 185, pp. 83-88.
- [14] C.G.S. Teles Jr., R.S. Gates, et al, (2019), A software to estimate heat stress impact on dairy cattle productive performance, Agronomy Research, Vol. 17, No. 3, pp. 872-878.
- [15] Zadeh L.(1965), Fuzzy sets, Information and Control, vol. 1, no. 8, pp. 338-353.
- [16] Y. Jiaqiang, J. Yulong, G. Jian, (2013, August), An Intelligent Greenhouse Control System, TELKOMNIKA, Vol. 11, No. 8, pp. 4627-4632.

저자소개

이 병 로 (Byeong-Ro Lee)



1999년 2월 : 경상국립대학교
전자공학과(공학박사)
2000년 3월~현재 : 경상국립대학교
융합전자공학과 교수
관심분야 : 신호처리, 데이터 통신,
전자응용 시스템

이 주 원 (Ju-Won Lee)



2003년 2월 : 경상국립대학교
전자공학과(공학박사)
2009년 9월~현재 : 안동과학대학교
전기자동차과 부교수
관심분야 : 신호처리, 지능제어