

## 복합 미생물 배양기의 제어시스템 개발

# Development of control system for complex microbial incubator

김 홍 직\*, 이 원 복\*\*, 이 승 호\*\*★

Hong-Jik Kim\*, Won-Bog Lee\*\*, Seung-Ho Lee\*\*★

### Abstract

In this paper, a control system for a complex microbial incubator was proposed. The proposed control system consists of a control unit, a communication unit, a power supply unit, and a control system of the complex microbial incubator. The controller of the complex microbial incubator is designed and manufactured to convert analog signals and digital signals, and control signals of sensors such as displays using LCD panels, water level sensors, temperature sensors, and pH concentration sensors. The water level sensor used is designed and manufactured to enable accurate water level measurement by using the IR laser method with excellent linearity in order to solve the problem that existing water level sensors are difficult to measure due to foreign substances such as bubbles. The temperature sensor is designed and used so that it has high accuracy and no cumulative resistance error by measuring using the thermal resistance principle. The communication unit consists of two LAN ports and one RS-232 port, and is designed and manufactured to transmit signals such as LCD panel, PCT panel, and load cell controller used in the complex microbial incubator to the control unit. The power supply unit is designed and manufactured to supply power by configuring it with three voltage supply terminals such as 24V, 12V and 5V so that the control unit and communication unit can operate smoothly. The control system of the complex microbial incubator uses PLC to control sensor values such as pH concentration sensor, temperature sensor, and water level sensor, and the operation of circulation pump, circulation valve, rotary pump, and inverter load cell used for cultivation. In order to evaluate the performance of the control system of the proposed complex microbial incubator, the result of the experiment conducted by the accredited certification body showed that the range of water level measurement sensitivity was  $-0.41\text{mm}\sim 1.59\text{mm}$ , and the range of change in water temperature was  $\pm 0.41^\circ\text{C}$ , which is currently commercially available. It was confirmed that the product operates with better performance than the performance of the products. Therefore, the effectiveness of the control system of the complex microbial incubator proposed in this paper was demonstrated.

### 요 약

본 논문에서는 복합 미생물 배양기의 제어시스템을 제안하였다. 제안하는 제어시스템은 복합 미생물 배양기의 제어부, 통신부, 전원부, 제어시스템 등으로 구성된다. 복합 미생물 배양기의 제어부는 아날로그 신호와 디지털 신호의 변환, LCD 패널을 이용한 디스플레이, 수위센서, 온도센서, pH 농도센서 등과 같은 센서들의 신호 제어를 하도록 설계 및 제작한다. 사용하는 수위센서는 기존 수위센서가 거품과 같은 이물질 등으로 인해 측정이 어려운 문제점을 해결하고자 직진성이 우수한 IR 레이저 방식을 사용하여 정확한 수위 측정이 가능하도록 설계 및 제작한다. 온도센서는 열 저항 원리를 사용하여 측정함으로써, 높은 정확도와 누적 저항 오차가 없도록 설계하여 사용한다. 통신부는 2개의 LAN 포트와 1개의 RS-232 포트 구성하여 복합 미생물 배양기에서 사용되는 LCD 패널, PCT 패널, 로드셀 컨트롤러 등의 신호를 제어부에 전달할 수 있도록 설계 및 제작한다. 전원부는 제어부와 통신부가 원활하게 동작할 수 있도록 24V, 12V 5V 등 3개의 전압 공급 단자로 구성하여 전원을 공급하도록 설계 및 제작한다. 복합 미생물 배양기의 제어시스템은 PLC를 사용하여 pH 농도센서, 온도센서, 수위센서 등의 센서값과 배양에 사용되는 써큘레이션 펌프, 써큘레이션 밸브, 로터리 펌프와 인버터 로드셀 등의 동작을 제어한다. 제안된 복합 미생물 배양기의 제어시스템의 성능을 평가하기 위하여 공인인증기관에서 실험한 결과는 수위 측정감도의 범위가  $-0.41\text{mm}\sim 1.59\text{mm}$ 로, 물 온도의 변화 폭이  $\pm 0.41^\circ\text{C}$ 로 현재 상용으로 판매되는 제품들 성능보다 우수한 성능으로 동작됨이 확인되었다. 따라서, 본 논문에서 제안한 복합 미생물 배양기의 제어시스템의 효용성이 입증되었다.

*Key words : Complex Microbe Incubator, Control System, Ir Laser Type, Water Level Sensor Module, Temperature Sensor*

## I. 서론

최근 반려동물 양육 가구가 늘어남에 따라, 보다 건강한 식품을 반려동물에게 제공하고자 하는 경향도 증가하고 있다[1]. 그러나, 위생적으로 관리되지 않은 식품은 반려동물뿐만 아니라 사람에게도 살모넬라와 같은 유해균으로 인한 2차 감염을 유발할 수 있다[2]. 한편, 최근 연구에 따르면 복합 미생물이 동물들의 면역력 유지[3]에 효과가 있으며, 장내 미생물이 특정 단백질의 발현과 발열을 증가시켜 대사 질환을 완화[4]시키는 데 효과가 있다는 것이 증명되었다. 그러나, 기존 미생물 배양기는 국가 혹은 기업 연구소에서 약 20억 원대에 달하는 연구용 배양기만 유통되고 있기 때문에, 개인이나 자본이 부족한 기업에서 유지하기에 어려움이 있다. 또한, 복합 미생물을 배양함에 있어 미생물이 생장하기에 적합한 물의 양과 온도를 일정하게 유지하는 것은 매우 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 직진성이 우수한 IR 레이저 방식의 수위센서로 정확한 수위를 측정하고, 물 온도를 일정하게 유지할 수 있는 온도 센서가 도입된 저가격의 복합 미생물 배양기의 제어시스템을 개발한다. 개발된 복합 미생물 배양기의 제어시스템은 저렴한 가격과 더불어 우수한 성능을 가진 장비로서, 미생물 배양시 경제적 손실을 절감시키고 미생물 배양의 안정성을 높일 수 있게 된다.

## II. 본론

### 1. 복합 미생물 배양기의 제어부

본 논문에서 제안하는 복합 미생물 배양기의 제어부의 블록도는 그림 1과 같다. 제어부는 A/D, D/A 컨버터를 이용하여 아날로그 신호와 디지털 신호를 제어하며, 편

의성을 제공할 수 있는 LCD 패널과 각 종 센서의 입력력을 제어하는 DIO 포트가 있다. 또한, PCT 터치패널과 통신하기 위한 LAN 포트와 전원 공급을 위한 전원 단자로 구성한다.

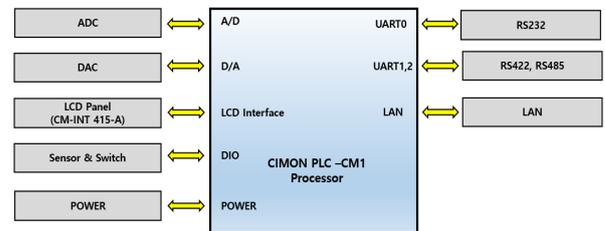


Fig. 1. Block diagram of the control unit of the complex microbial incubator.

그림 1. 복합 미생물 배양기의 제어부 블록도

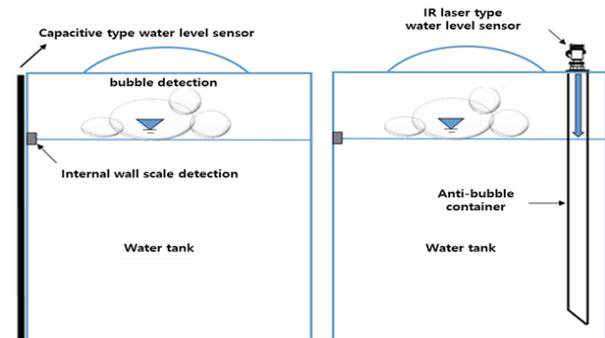


Fig. 2. Water level sensor measurement method.

그림 2. 수위센서 측정 방법

한편, 그림 2와 같이 기존 정전용량 방식의 수위센서가 배양액의 거품과 같은 이물질 때문에 센싱 오류가 많이 발생하는 현상을 극복하기 위해, 직진성이 우수한 IR 레이저 센서[4] 모듈을 설계한다. IR 레이저 방식의 수위센서는 직반사 빛으로 수위를 측정하고, 거품방지 가이

\* Dept. Electronic Engineering, Hanbat National University

\*\* VISIONTECH

★ Corresponding author

E-mail : shlee@cad.hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1137

※ Acknowledgment

This research was funded by Technology Development Program (S3013451), Ministry of SMEs and Industry-university cooperation base platform (R&D), Republic of Korea.

This research was supported by the MSIT (Ministry of Science and ICT), Korea, under the ICAN (ICT Challenge and Advanced Network of HRD) program (IITP-2023-RS-2022-00156212) supervised by the IITP (Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation)

This results was supported by "Regional Innovation Strategy (RIS)" through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(MOE)(2021RIS-004)

Manuscript received Jan. 27, 2023, revised Feb. 17, 2023, accepted Feb. 23, 2023.

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.

드 내부에서 센싱을 하기 때문에 탱크 내벽에 발생한 스케일이나 거품이 발생되어도 센서 오류가 없이 수위를 센싱한다.

제작한 IR 레이저 센서 모듈은 0.03m부터 60m까지 측정이 가능하며, 620nm~690nm 레벨의 가시 광선 스팟을 사용하여 수위를 측정한다. 그림 3은 제작한 IR 레이저 센서 모듈을 나타낸다.

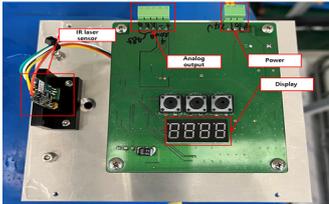


Fig. 3. IR laser type water level sensor module.  
그림 3. IR 레이저 방식의 수위센서 모듈

복합 미생물 배양기의 온도센서는 정확도가 뛰어나고 누적 저항 오차가 없으며, 온도 변화를 저항 변화로 변환하는 원리로 측정한다. 넓은 온도 범위에서 정밀하고 안전한 출력을 얻을 수 있고 높은 온도의 감지 및 제어가 가능하다는 장점이 있다. 그림 4는 제작한 복합 미생물 배양기의 온도센서를 나타낸다.

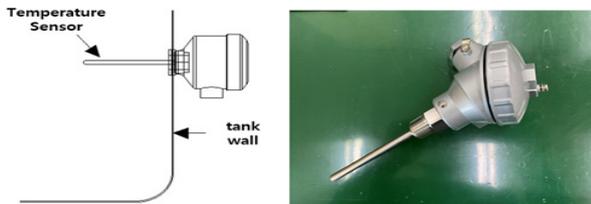


Fig. 4. Temperature sensor of complex microbial incubator.  
그림 4. 복합 미생물 배양기의 온도센서

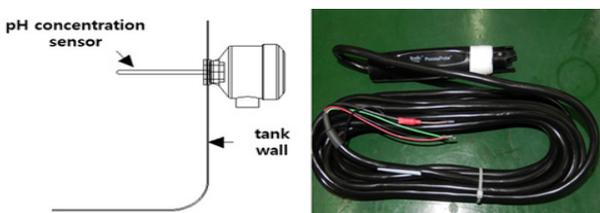


Fig. 5. pH concentration sensor of complex microbial incubator.  
그림 5. 복합 미생물 배양기의 pH 농도센서

복합 미생물 배양기의 pH 농도센서는 전기화학적 측정 방법으로 용액의 pH 값에 비례하는 기전력을 발생시켜 값을 제어부에 전달한다. 그림 5는 제작한 복합 미생물 배양기의 pH 농도센서를 나타낸다.

## 2. 복합 미생물 배양기의 통신부

본 논문에서 제안하는 복합 미생물 배양기의 통신부의 블록도는 그림 6과 같다. 2개의 LAN 포트와 1개의 RS-232 포트가 이루어져 있다. LAN 포트는 LCD 터치패널과 PCT 터치패널을 연결하며, RS-232 포트는 믹서 탱크의 로드셀 컨트롤러와 연결되도록 구성한다.

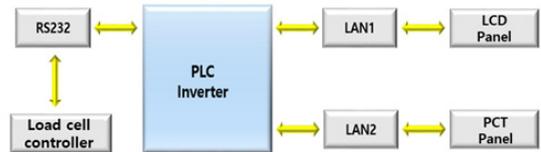


Fig. 6. Block diagram of the communication unit of the complex microbial incubator.

그림 6. 복합 미생물 배양기의 통신부 블록도

복합 미생물 배양기의 통신부는 PLC를 설치하여 로드셀 컨트롤러, LCD 터치패널과 PCT 터치패널의 신호 송수신을 프로그램화 하여 배양기의 외부 장치를 제어할 수 있도록 그림 7과 같이 제작한다.



Fig. 7. Communication unit of the manufactured complex microbial incubator.

그림 7. 제작된 복합 미생물 배양기의 통신부

## 3. 복합 미생물 배양기의 전원부

본 논문에서 제안하는 복합 미생물 배양기의 전원부의 블록도는 그림 8과 같다. 전원부는 상시 전원 380V 60Hz 3상 4선식 전원을 공급받아 각 제어부, 디스플레이부에 필요한 전원 220VAC를 공급하며, DC Power Supply를 통해 PLC, PCT 터치패널, pH 농도센서에 24V, 수위센서에 12V, 온도센서에 5V를 공급하도록 설계한다.



Fig. 8. Block diagram of the power unit of the complex microbial incubator.

그림 8. 복합 미생물 배양기의 전원부 블록도

복합 미생물 배양기의 전원부는 컨트롤 패널 제어부, 디스플레이부에 필요한 전원 220 VAC를 공급하여 제어 시스템의 동작 제어가 이루어질 수 있도록 그림 9와 같이 제작한다.



Fig. 9. Power unit of the manufactured complex microbial incubator.

그림 9. 제작된 복합 미생물 배양기의 전원부

4. 복합 미생물 배양기의 제어시스템

복합 미생물 배양기의 제어시스템은 LC(CM1-SPC)를 사용하여 pH 농도센서, 온도센서, 수위센서, 써큘레이션 펌프, 써큘레이션 밸브, 로터리 펌프와 컨트롤 부분인 인버터 로드셀 등을 제어한다. 또한, pH 농도센서를 통해 측정된 pH 농도 결과를 나타내고 pH Meter를 통하여 값을 나타낸다. 온도센서는 축온저항체의 전기 저항으로 온도를 측정하고 고농도 복합 미생물 배양기의 온도 변화 및 온도 변화량을 검출하며 RS-232로 통신하며 온도 오차와 온도 변화량을 제어한다. 수위센서 표면에 물이 닿는 위치에 따라서 수위센서의 값이 변화하는 수위의 양을 제어한다. 그림 10은 복합 미생물 배양기의 제어시스템 블록도를 나타낸다.

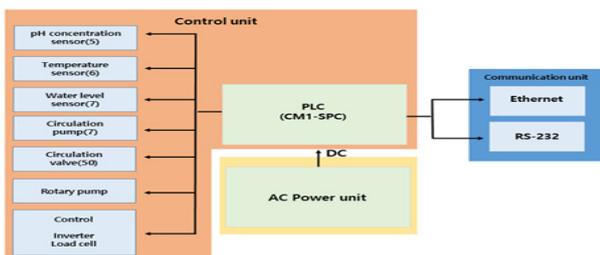


Fig. 10. Block diagram of the Control system of the complex microbial incubator.

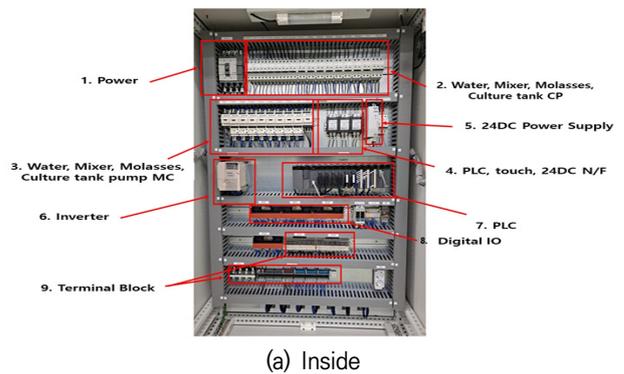
그림 10. 복합 미생물 배양기의 제어시스템 블록도

그림 11은 제작된 복합 미생물 배양기의 제어부 내외부를 나타낸다.

6. 성능 실험

6.1. 실험 방법

그림 12와 같이 제작된 복합 미생물 배양기의 시제품



(a) Inside



(b) Outside

Fig. 11. Inside and outside of the control unit of the manufactured high-concentration complex microbial incubator.

그림 11. 제작된 복합 미생물 배양기의 제어부 내외부

에 적용되는 수위센서 모듈의 측정감도, 물 온도 유지 등을 평가하기 위하여 공인인증기관에서 테스트를 수행하였다. 수위센서 모듈의 측정감도 실험 방법은 실험마다 25개의 기준용기에 각각 20L의 물을 담아 센서가 측정하는 값의 평균 오차를 구하는 방법으로 5번 진행한다. 물 온도 유지 실험 방법은 5개의 배양탱크의 내부 온도를 10시간 동안 10분 간격으로 측정하여 온도 변화 폭의 평균을 산출한다.

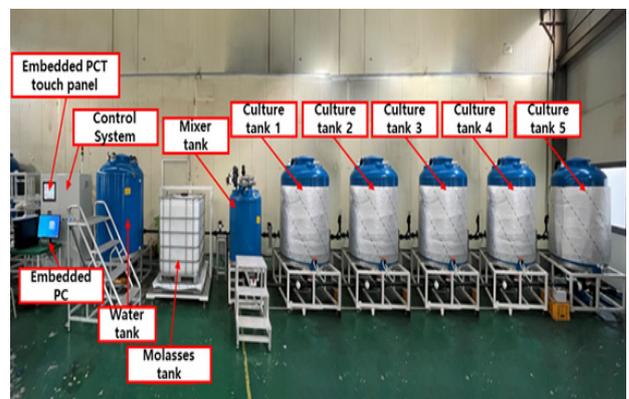


Fig. 12. Prototype of manufactured complex microbial incubator.

그림 12. 제작된 복합 미생물 배양기의 시제품

### 6.2 실험 결과

수위센서 모듈의 측정감도는 용액의 상태나 용액의 파동에 의해서 오차가 발생할 수 있으므로 1개의 배양탱크에서 수위센서로 측정된 용액을 실제 용기에 담아 확인하여 측정하였다.

수위 측정감도 실험 결과는 표 1과 같이 수위센서의 평균 오차가 -0.41mm~1.59mm로 측정되어, 현재 상용으로 판매되는 제품들 성능인 ±3mm 보다 우수한 결과가 산출되었다.

Table 1. Experimental results for level measurement sensitivity.

표 1. 수위 측정감도에 대한 실험 결과

#	1	2	3	4	5
Measures [mm]	103	104	104	105	106
Error [mm]	2.591	1.591	1.591	0.591	-0.409
mean error of negative numbers [mm]	-0.41				
mean error of positive numbers [mm]	1.59				

물 온도 유지는 1개의 배양탱크 바닥에서 100mm 위치에 온도센서를 장착하고 10시간 동안 10분 간격으로 온도측정을 하였다.

물 온도 유지 실험 결과는 표 2와 같이 평균 온도 변화 폭이 ±0.41℃로 측정되어, 현재 상용으로 판매되는 제품들 성능인 ±0.5℃보다 우수한 결과가 산출되었다.

Table 2. Experimental results for maintaining water temperature

표 2. 물 온도 유지에 대한 실험 결과

#	1	2	3	4	5
temperature change [℃]	±0.40	±0.45	±0.45	±0.35	±0.40
mean temperature change [℃]	±0.410				

### III. 결론

본 논문에서는 복합 미생물 배양기의 제어시스템을 제안하였다. 제안하는 제어시스템은 복합 미생물 배양기의 제어부, 통신부, 전원부 설계 및 제작 등으로 구성되었다. 특히, 기존 수위센서가 거품과 같은 이물질 등으로

인해 측정이 어려운 점을 해결하기 위해 IR 레이저 방식의 수위 측정 센서 모듈을 개발하였으며, 온도센서를 사용하여 미생물 배양기의 물 온도를 유지하여 최적의 복합 미생물을 배양할 수 있도록 하였다. 수위 측정감도 실험 결과는, 수위센서의 평균 오차가 -0.41mm~1.59mm로 측정되어, 현재 상용으로 판매되는 제품들 성능인 ±3mm 보다 우수한 결과가 산출되었다. 물 온도 유지 실험 결과는 평균 온도 변화 폭이 ±0.41℃로 측정되어, 현재 상용으로 판매되는 제품들 성능인 ±0.5℃보다 우수한 결과가 산출되었다. 따라서, 기존 복합 미생물 배양기의 문제점을 해결하였다. 제안된 복합 미생물 배양기의 제어시스템은 저렴한 가격과 더불어 우수한 성능을 가진 장비로써, 개인 및 국가 차원의 복합 미생물 배양기 보급에 기여할 수 있으리라 기대된다. 향후 연구과제로는 더욱 정밀한 측정이 가능한 센서 개발 연구가 필요하다고 사료된다.

### References

[1] Lee. H. J., et al. "Status and Prospect for Markets of Functional Foods and Dietary Supplements for Companion Animals," *Food Industry and Nutrition*, Vol.27, No.1, pp.12-19, 2022.

[2] Korea Consumer Agency. "Homemade pet food and snack safety survey," *Safety Report*, pp.1-24, 2019.

[3] Jeon, C. W., et al. "Status of, and Improvements Needed in, Agricultural Microorganism Cultivation Centers in Korea," *Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences*, pp.170-179, 2018.

[4] Yoon, H S., et al. "Akkermansia muciniphila secretes a glucagon-like peptide-1-inducing protein that improves glucose homeostasis and ameliorates metabolic disease in mice," *Nature Microbiology*, Vol.6, No.5, pp.563-573, 2021.

[5] Hanson, Ronald, and Jay Jeffries. "Diode laser sensors for ground testing," *25th AIAA Aerodynamic Measurement Technology and Ground Testing Conference*, 2006.