Journal of KIIT. Vol. 17, No. 11, pp. 37-42, Nov. 30, 2019. pISSN 1598-8619, eISSN 2093-7571 37
http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2019.17.11.37

드립 커피 머신을 위한 직수 이중 가열 방법

정치영*, 이승목**, 김영형***

Dual Heating Method of Direct Inject Water for Drip-Coffee Machine

Chi-Young Jung*, Seung-Mok Lee**, and Young-Hyung Kim***

요 약

본 논문은 드립 커피 제공을 위한 서비스 시간을 줄이기 위한 방법으로 직수 온수 공급의 이중 가열 방법을 제안한 것이다. 콜드 브류, 에스프레소 방식의 커피와 달리 핸드 드립의 경우 서비스 제공 시간으로 인해 고비용이라는 문제가 있다. 이러한 문제 해결을 위하여 드립 방법으로 간단한 방식의 드립, 로봇을 이용한 드립 및 전용 드립 방법 등이 있다. 온수 공급 방법으로 물 탱크 가열 방식이 주로 이용된다. 직수 온수 가열을 위하여 온도 센서를 내장한 이중 가열 모듈, 입수 온도 센서 및 유속 센서를 이용하여 복합적인 가열 시스템을 구성하였고 기포 발생으로 인한 직수 공급 방식에 문제점을 기포 포집 노즐을 이용하였다. 입수 온도에 따른 보상 가열과 출수 온도에 맞게 가열하는 이중 가열 방법을 제안하였고 실험하였다. 실험을 통해 안정적인 출수 온도 성능을 평가하였다.

Abstract

This paper proposes a dual heating method with direct inject water for saving service time of drip-coffee brew service. In case of hand-drip brew different to cold brew or espresso, it is problem that the service cost is high because of the service time. For solving the problem, there are many methods as like simple drip, drip using robot or specific drip. The water supply is usually used as water tank heating method. For direct inject water heating, we implemented hybrid heating system consisted of dual heater module included temperature sensor, inlet temperature sensor and flow detector and designed a bubble trap nozzle for a bubble problem of heating water. We experiment the proposed dual heating method using main heating for target temperature and complement heating for inlet temperature. The performance of a stable outflow temperature is evaluated by the experiment.

Keywords
coffee machine, drip brew machine, dual heating, direct inject water, tankless heating

* 구미전자정보기술원 기업협력본부장
- ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3576-8442
** (주)신세계엔지니어링 연구소장
- ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3703-5998
*** 금오공과대학교 IT융합학과 교수(교신저자)
- ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5708-854X

· Received: Oct. 21, 2019, Revised: Nov. 04, 2019, Accepted: Nov. 07, 2019
· Corresponding Author: Young-Hyung Kim
Dept. of IT Convergence, Kumoh National Institute of Technology, 1 Yangho-dong, Gumi, Gyeongbuk, 730-701, Korea,
Tel.: +82-54-478-7428, Email: kic126@kumoh.ac.kr

Ⅰ. 서 론

최근 커피 양조 산업의 규모가 증대됨에 따라 이러한 커피 산업에 관련한 다양한 연구가 이루어지며, 커피 산업에 관한 사업적 모델에 대한 연구, 시장 분류를 통한 소비 에너지를 분석하고 환경적, 사회적, 경제적 영향에 대한 조사 및 커피 소비 환경에 대한 환경 영향 및 에너지 효율에 대한 연구도 이루어졌다[1]-[3].

소비자에 의해 소비되는 에너지 소비에 대한 조사를 통해 손실을 줄이려는 방법을 제안하거나 에 대한 조사 및 커피 추출 과정에 대한 모델링 연구도 이루어지고 있다[4][5]. 그리고 3D 프린팅 기술과 접목한 커피 서비스나 IoT를 접목한 커피 벤딩 머신에 관한 연구도 이어지고 있다[6][7]. 커피뿐 아니라 차 양조에 관한 다중 열전달 과정을 분석하는 연구도 있다[8].

본 논문에서는 커피 추출 과정에서 사용하는 온수에 대한 부분으로 온수 탱크를 사용하는 기존의 방식에 비하여 탱크를 사용하지 않고 직수 온수 가열기를 사용함으로 정밀하게 온도를 제어하는 방법을 제안하였다. 그리고 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 직수 온수 이중 가열기를 제작하여 출수 성능을 평가하였다. 2장에서는 정밀하게 온도를 측정하기 위한 센서의 온도 측정에 대하여 기술하고 3장에서는 제안된 이중 가열 방법에 대하여 나타내었다. 4장에서는 직수 이중 가열기를 통해 제작한 시스템을 통하여 실재 동작을 다양한 공급 유량들 및 출수 온도들에 대하여 이루어졌으며 이에 대한 결과를 통하여 제안된 알고리즘에 대한 성능을 확인하였다. 마지막으로 5장에서는 제안된 알고리즘의 출수 온도 성능에 대한 결론을 내렸다.

Ⅱ. 온도 센서 보정

본 연구에서 사용되는 소형 이중 가열기에 장착된 온도 센서는 NTC 써미스터로 그림 1과 같은 특성을 가지고 PT100과 같은 정밀한 측정이 어려움으로 측정 범위에 맞게 회로의 저항 값을 설정하여야 한다. 이를 위하여 $f(x) = Ae^{bx} + Ce^{dx}$로 특성 그래프를 얻었다.

NTC 써미스트를 이용하여 정확하게 제어하기 위한 커피 제조에 이용되는 가열 온도 범위 75~95°C에 대한 정밀한 측정을 위한 측정 저항 값의 범위를 결정하여야 한다[9]. 이를 위하여 측정 저항 별 온도에 따른 ADC 값의 변화를 그림 2(a)에 나타내었고 분해능을 그림 2(b)에 나타내었다.

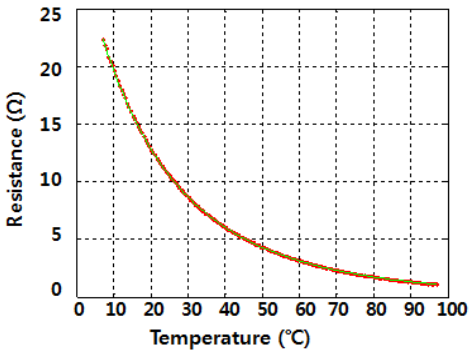
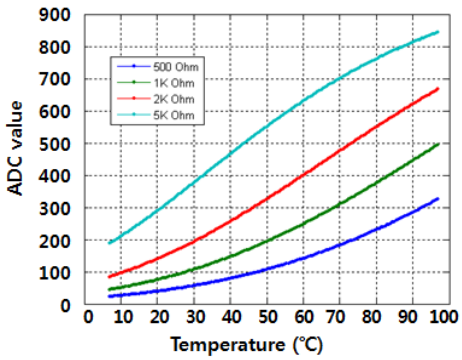
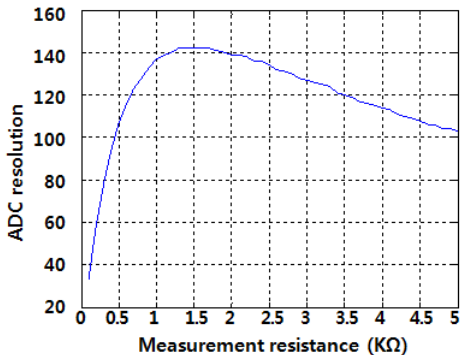


그림 1. NTC 써미스트의 특성:
Fig. 1. Characteristics of NTC Thermistor



(a) ADC 값의 변화
(a) ADC output value



(b) 분해능
(b) ADC resolution

그림 2. 측정 저항에 따른 ADC 값 및 분해능(75-95°C)
Fig. 2. ADC values and resolutions dependent on resistances

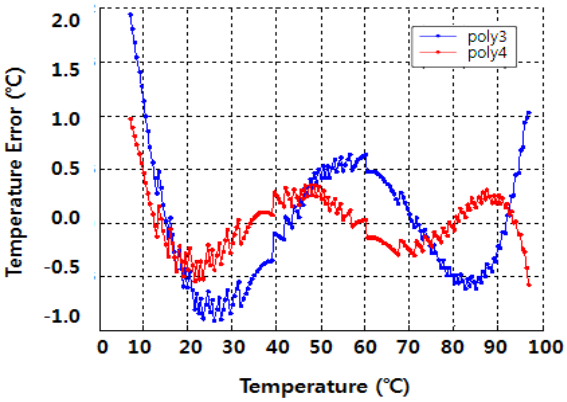


그림 3. 측정 온도 오차
Fig. 3. Measured temperature error

그리고 정밀한 측정이 필요한 가열 온도 범위 75~95°C에 대한 ADC 값 분해능을 살펴보면 온도 범위 75~95°C를 위한 분해능은 측정 저항 범위 1~2.5kΩ에서 높게 나타났고 측정 저항은 1kΩ으로 결정하였다.

측정 저항 1kΩ에 따른 온도에 따른 온도 특성을 측정하기 위하여 ADC 출력 및 이에 대한 온도를 curve-fitting하여 측정 온도에 따른 온도 오차를 확인하였다. 그림 3은 3차 및 4차 함수로 curve-fitting한 측정 온도 오차를 나타내었고 가열 온도 범위인 75~95°C에 대해 ±1.0°C 이하의 온도 오차를 가진다. 그리고 3차 함수에 비해 4차 함수의 경우, 넓은 온도 범위 10~95°C에서 오차 ±0.5°C로 보다 안정적이므로 이를 적용하였다.

III. 제안된 이중 가열 시스템

커피 드립 머신을 위해 제안된 이중 가열 시스템은 공급되는 직수의 입수 온도와 유량을 측정하고 필요한 에너지를 계산한다. 그리고 계산된 에너지에 따라 보조 가열기의 사용 여부를 결정하고, 각 가열기를 적절히 제어함으로 출수 온도를 안정적으로 유지하기 위해 제안된 시스템이며, 이를 그림 4에 나타내었다.

그림 4에 나타낸 2개의 가열기에 대한 제어는 우선 직수 공급부의 온도 센서와 유량 검출기를 통해 온도 및 유량을 측정하고 설정된 출수 온도에 따른 각 가열기의 가열은 SSR(Solid State Relay)에 공급되는 AC 전원을 입력된 PWM 신호로 제어하였다.

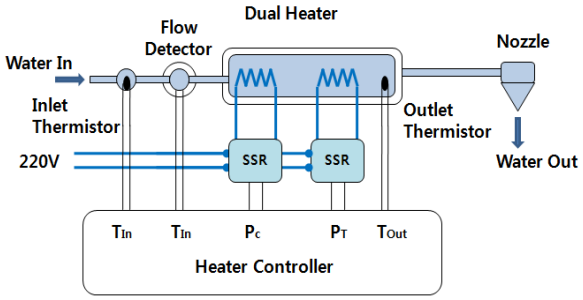


그림 4. 제안된 이중 가열 시스템
Fig. 4. Proposed dual heating system

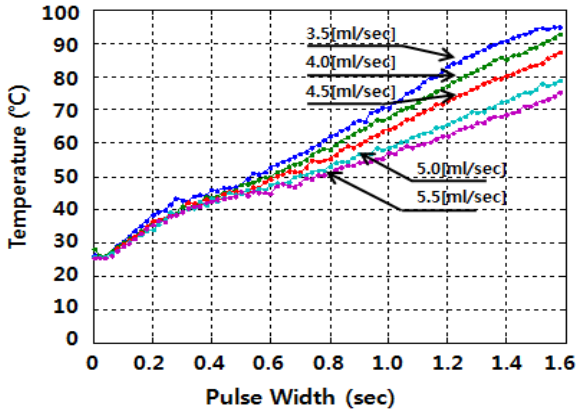


그림 5. 순간 가열기의 특성
Fig. 5. Characteristics of the instant heater

가열기의 성능을 알아보기 위하여 2초 주기를 가진 PWM 신호를 통해 공급되는 직수를 가열하고, 이에 따른 출수 온도를 10초 후에 측정하여 획득하였고, 이를 그림 5에 나타내었다.

PWM 신호의 폭에 따른 가열 특성은 펌프 직수 공급, SSR 동작 특성 및 히터의 특성에 의하여 비선형적 가열 특성을 가진다. 그림 5를 살펴보면 0.5ml/sec 단위로 3.5~5.5ml/sec 범위에 대한 가열 특성은 선형적 구간의 히터 구동을 위한 최소 폭 0.6[sec]의 펄스가 필요함을 보여준다.

초기 온도 T_0인 물질을 특정 온도 T로 가열하기 위한 필요한 평균 열 전달율(kW)을 나타내면 식 (1)과 같다.

$$Q = M C_p (T - T_0) / t \tag{1}$$

여기서 M은 물질의 질량이고 C_p는 물질의 평균 비열이며 t는 가열 시간이다.

물을 가열하기 위한 PWM 신호의 펄스 폭은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$W_{PWM} = \alpha \frac{Q_{\neq ed}}{P_W} \tag{2}$$

여기서 W_{PWM}은 PWM 신호의 펄스 폭; α는 가열 손실; P_W는 히터의 소비 전력이다. 그리고 공급되는 유량에 대한 필요한 열량은 식 (3)과 같다.

$$Q_{\neq ed} = M(t_{flow})\ C_p\,(T - T_0)\,/\,t_{heat} \tag{3}$$
$$M(t) = \int_{t_0}^{t} F(t)dt$$

여기서 $M(t_{flow})$는 t_{flow} 시간 동안 공급된 물질의 질량이며 C_p는 물질의 평균 비열이다. 그리고 t_{heat}는 총 가열 시간이며 유량 $F(t)$에 의해 공급되는 유량의 공급 시작 시간은 t_0이다.

제안된 이중 가열 시스템의 제어는 2개의 히터 제어를 통하여 식 (4)과 같이 2개의 히터에서 소비되는 전력 P_W^s와 P_W^t의 합으로 표현되어진다.

$$Q = P_W^s + P_W^t \tag{4}$$

이를 통하여 가열 특성을 고려한 펄스 폭을 선형적 구간에 제약하여 결정함으로 제어하는 이중 가열 방식 제안하고 이를 그림 6에 나타내었다. 우선 출수 온도에 필요한 에너지를 계산한다. 그리고 가열 특성의 선형 구간을 판단하기 위하여 필요한 에너지에 대한 경계치를 이용하여 구분하였다. 이러한 가열 특성의 선형 구간을 이용하기 위하여 일정 문턱치 이하의 경우 주 가열만을 이용하여 단독 가열하고 그 이상의 경우 부 가열을 함께 이용하여 가열 성능을 높이는 방식으로 직수 온수 가열하는 방식이다.

Ⅳ. 실험 및 고찰

제안된 가열 시스템은 입수 온도 25°C를 기준으로 하여 출수 범위 80 ~ 90°C에 대해 필요한 선형 범위를 결정하였다. 출수 온도에 필요한 에너지를 이용하여 가열 특성의 선형 구간을 이용하기 위하여 제안된 가열 방법을 통하여 안정적인 온도 제어를 할 수 있다.

우선 필요한 에너지에 대한 특성을 확인하기 위하여 유량 속도 3.5~5.5ml/sec에 대하여 실험되었으며 0.5ml/sec 단위로 증가시키며 다양한 유속의 유입되는 물에 대한 가열 특성을 확인하였다. 이를 통해 PWM 펄스를 이용하여 유입된 물을 가열하여 설정된 온도로 안정적으로 출수되는 경우 필요한 에너지를 계산하여 가열하였고 이에 대해 실제 PWM 신호를 통해 가열된 에너지와 출수 물에 전달된 에너지의 관계를 그림 7에 나타내었다.

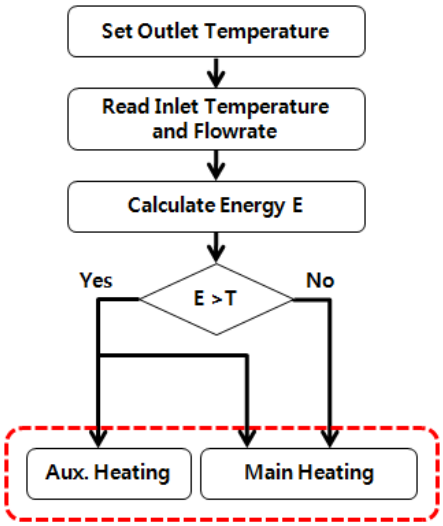


그림 6. 제안된 이중 가열 방법
Fig. 6. Proposed dual heating method

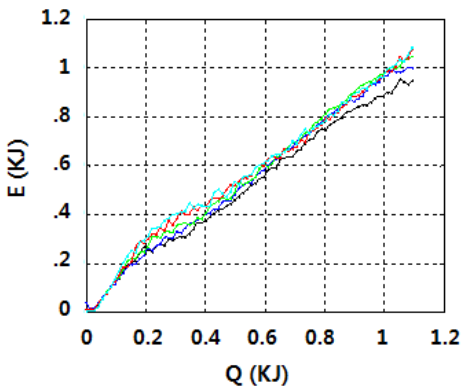


그림 7. 순간 가열 특성
Fig. 7. Charateristics of instant heating

순간 가열 특성을 살펴보면 선형적 특성이 400J 이상의 에너지에서 나타나는 것을 알 수 있다. 그러므로 400J 이상의 선형 구간을 이용하기 위하여 충분한 가열시간 0.6sec 이상의 PWM 펄스 폭을 통해 선형 제어를 하였다. 제안된 가열 방법을 적용하여 0.5ml/sec 단위의 3.5~5.5ml/sec 구간의 유량 변화 및 5°C 단위로 60~90°C 범위의 목표 출수 온도에 따른 실험을 수행하였고, 유량에 따른 출수 온도를 그림 8에 나타내었다.

그림 8을 살펴보면 우선 필요한 에너지가 낮아 주 가열기만 이용하여 직수 온수 가열을 수행한 경우 원형 표시를 하였다. 펄스 폭을 이용하여 필요한 에너지를 계산하여 비례 제어를 통하여 나타낸 가열 성능은 출수 온도가 상당히 안정적인 것을 알 수 있다. 그리고 유량이 많은 경우 높은 온도의 목표 온도에서 출수 온도가 조금 낮아지는 성능을 알 수 있다.

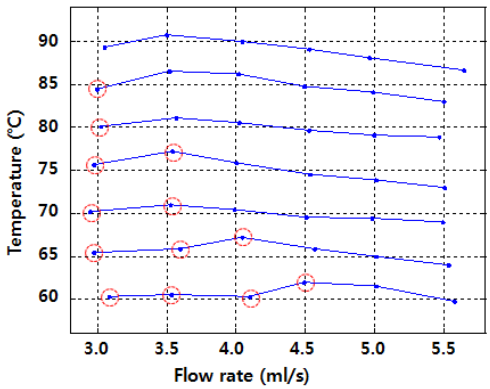


그림 8. 제안된 방식의 가열 특성
Fig. 8. Charateristics of the proposed heating

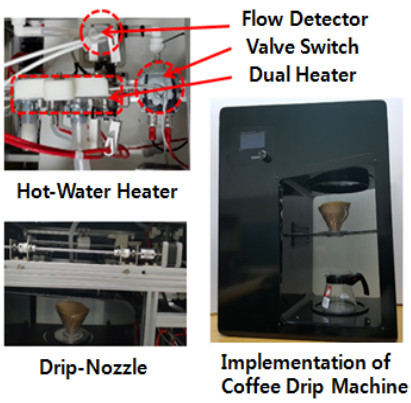


그림 9. 구현된 커피 드립 머신
Fig. 9. Implementation of the coffee drip machine

그림 9는 제안된 알고리즘을 이용하여 실제 구현한 커피 드립 머신으로 좌측 상단에 유량 공급 및 가열기를 표시하였고 좌측 하단에 온수 드립 노즐부를 나타내었다. 그리고 우측에 구현된 커피 드립 머신을 보이었다.

V. 결 론

본 논문은 커피 머신을 위한 안정적인 온도의 출수 제어를 위한 직수 온수 가열을 위한 이중 가열 방식을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 주 가열과 부 가열을 이용하여 출수 온도에 따른 필요한 에너지에 따른 가열기의 선형적 특성 부분을 활용한 주 가열 및 이중 가열을 통하여 가열하는 방법이다. 성능 평가를 위하여 이중 가열 시스템을 제작하여 실험하였다. 산업용 온도 제어기로 가열하는 경우, 기포 발생에 따른 영향으로 압력 변화, 유량 변화, 과가열 등의 원인으로 5°C 이상 변화를 가지지만 제안된 방법은 대표적인 출수 고온 온도인 80°C와 85°C의 출수를 비교하면 80°C에서 평균 79.83°C, 표준편차 0.84°C로 상당히 안정적인 온도 변화를 가지고 85°C에서의 변화는 평균 84.79°C, 표준편차 1.23°C로 안정적이다. 유량 변화에 대해 안정적인 출수 온도를 유지함으로 드립 커피에 요구되는 출수 성능을 확인하였다.

제안된 방식은 비례 제어에 의해 선형적 가열 특성을 이용하는 출수 성능을 평가하였고 또한 커피 머신을 제작하여 실제 동작을 시험하였다.

References

[1] K. Matzler, F. Bailom, S. F. von den Eichen, and T. Kohler, "Business model innovation: coffee triumphs for Nespresso", Journal of Business strategy, Vol. 34, No. 2, pp. 30-37, Mar. 2013.

[2] R. F. Simmerman, "The sustainability of Coffee Bewing", Chemical and Biomolecular Engineering Publications and Other Works, May 2013.

[3] E. Brommer, B. Stratmann, and D. Quack, "Environmental impacts of different methods of

coffee preparation", Int'l Journal of Consumer Studies, Vol. 35, Issue 2, pp. 212-220, Mar. 2011.

[4] T. Kraeutler, A. Krowiak, D. Mercurio, and L. Oriol, "Coffee Energy Audit: An Analysis of Coffee Energy Consumption and Efficiency at Boston College", ENVS-4943: Environmental Seminar, Apr. 2015.

[5] K. M. Moroneyy, W. T. Leey, S. B. G. O' Brieny, F. Suijverz, and J. Marraz, "Asymptotic analysis of the dominant mechanisms in the coffee extraction process", Society for Industrial and Applied Mathematics Journal, Vol. 76, No. 6, pp. 2196-2217, Jan. 2016.

[6] S. Lee, U. Choi, Y. Kim, S. Kim, and J. Eem, "Implementation of a Coffee Drip-machine with Dual Water Heaters using G-code Based Drip Method through 3D Printer Platform", Journl of KIIT, Vol. 14, No. 12, pp. 171-177, Dec. 2016.

[7] K. Kim, D. Park, H. Bang, G. Hong, and S. Jin, "Smart Coffee Vending Machine Using Sensor and Actuator Networks", 2014 IEEE Int'l Conference on Consumer Electronics(ICCE), Jan. 2014.

[8] B. A. Babin, G. Gilzow, L. Guerrero-Gonzalez, and X. Fan, "Multiple Heat Transfer Processes of a Tea Brewing System: Theoretical and Experimental Investigations", Proceedings of the 2010 ASEE Gulf-Southwest Annual Conference, McNeese State University, American Society for Engineering Education, Sept. 2010.

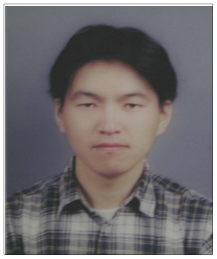
[9] W. D. King, "The physics of a stove-top espresso machine", American Journal of Physics, Vol. 76, No. 6, pp. 558-565, Jun. 2008.

저자소개

정 치 영 (Chi-Young Jung)

1993년 5월 : 미국 뉴햄셔대학교 경영학과(학사)
2007년 8월 : 금오공과대학교 대학원 디스플레이공학과 (공학석사)
2004년 ~ 현재 : 구미전자정보 기술원 기업협력본부장
2013년 ~ 현재 : 구미시 창업보육센터장
2018년 ~ 현재 : 대구경북 창업보육협의회장
관심분야 : 산업구조 고도화, 창업, 기업지원, 기술사업화

이 승 목 (Seung-Mok Lee)



1996년 2월 : 금오공과대학교 전자공학과(공학사)
1998년 2월 : 금오공과대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
2016년 2월 : 금오공과대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
2019년 11월 현재 : ㈜신세계 엔지니어링 연구소장
관심분야 : 컴퓨터비전, 영상처리, 임베디드, 자동화

김 영 형 (Young-Hyung Kim)

1992년 2월 : 금오공과대학교 전자공학과(공학사)
1996년 2월 : 금오공과대학교 대학원 산업경영학과(경영학석사)
2010년 2월 : 금오공과대학교 대학원 산업경영학과(경영학박사)
2014년 ~ 현재 : 금오공과대학교 IT융합학과 부교수
2016년 ~ 2017년 : 3D 프린팅 산업협회장
관심분야 : IT융합, HRD, 미래산업, 3D 프린팅