



직수 온수를 위한 다중 가열기를 이용하는 가열 방법

이승목*, 임재권**, 김영형***

A Heating Method of Direct Inject Water Using Multiple Heaters

Seung-Mok Lee*, Jae-Kwon Eem**, and Young-Hyung Kim***

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2017년도 산학연협력 기술개발사업(No. C0546213)의 연구수행으로 인한
결과물임을 밝힙니다.

요 약

최근에는 온수 가열에 대한 다양한 접근이 이루어지고 있으며 에너지 효율 부분이나 태양열을 이용하는 부
분으로 연구가 이루어지고 있다. 본 논문은 직수 온수 공급의 다중 가열기를 이용한 탱크가 없는 가열 방법을
제안한 것이다. 탱크를 사용하지 않고 공급되는 직수를 바로 가열하여 온수 공급을 함으로 탱크에 보관하여
공급하는 방식에 비하여 일반적으로 보존 손실이 없음으로 효율적이다. 제안된 방법은 온수의 온도 조절을 목
적으로 하여 설정 온도, 입수 온도, 입수 유량을 이용하여 필요한 에너지를 계산하고 이를 이용하여 문턱치에
따른 각 보상 가열기로 분배하고 주 가열기의 가열 범위를 유지하는 방식이다. 실험을 위해 온도 센서를 내장
한 1개의 보상 가열기와 주 가열기를 가진 모듈, 입수 온도 센서 및 유속 센서를 이용하여 이중 온수 가열 시
스템을 구성하였다. 실험은 2개의 문턱치와 다양한 유량에 대한 안정적인 출수 온도를 보여준다.

Abstract

Recently, the various approaches are researched for water heating and the researches are achieved using
energy-efficient water heating and solar water heating. This paper proposes a tankless method using multiple heater
for direct injected water. Compare to supply hot water using tank water heater, the hot water supply using heating
the water injected directly without hot water tank is more efficiency because of no preserving-loss. For controlling
outlet temperature, the proposed method calculates the required energy using the set outlet temperature, the inlet
temperature and flow-rate, divides the energy to multiple heaters with heater's thresholds of required energy, and the
main heater is worked in proper heating range. For experiments, the dual water heating system is consisted of inlet
temperature sensor and flow detector, a heater module included a main heater, a compensating heater and temperature
sensor. The experiments show stable results of outlet temperature at the various flow-rates for two thresholds.

Keywords

instant heater, multiple heater, direct inject water, tankless heater, water heating

* (주)포유

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3703-5998>

** 금오공과대학교 전자공학과

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8506-9434>

*** 금오공과대학교 IT융합학과(교신저자)

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5708-854X>

· Received: Dec. 06, 2017, Revised: Feb. 13, 2018, Accepted: Feb. 16, 2018

· Corresponding Author: Young-Hyung Kim

Dept. of IT Convergence, Kumoh National Institute of Technology, 1

Yangho-dong, Gumi, Gyeongbuk, 730-701, Korea,

Tel.: +82-54-478-7425, Email: kic126@kumoh.ac.kr

I. 서 론

일반적으로 전기 저항 가열을 사용하는 경우, 다른 연료에 비해 연소 손실이 없으므로 효율이 높아서 많이 활용되고 있다[1]. 기존의 가스 방식 및 전기 방식은 새로운 기술인 탱크리스 가스 방식, 컨덴싱 방식 및 HPWH(Heat Pump Water Heater) 방식 등과 함께 비교도 이루어졌다[2]. 온수 가열 장치의 외부 영향에 대한 연구 및 물리적 제약 조건에 대한 HPWH 방식의 전기 모델에 대한 연구도 있다 [3][4].

또한 최근에는 태양열을 이용하는 연구가 이루어지며 태양열 집열기와 광전지 모듈을 결합한 하이브리드 방식이나 마이크로 히트 파이프 어레이 기반의 평판 수집기를 통한 온수 가열시스템 등이 있다[5][6]. 고효율 히터 개발에 대한 연구나 다수의 온도 센서가 장착된 탱크에 일괄 강화 학습 기법을 이용한 에너지 소비를 줄이는 연구 등도 지속적으로 이루어져왔다[7][8].

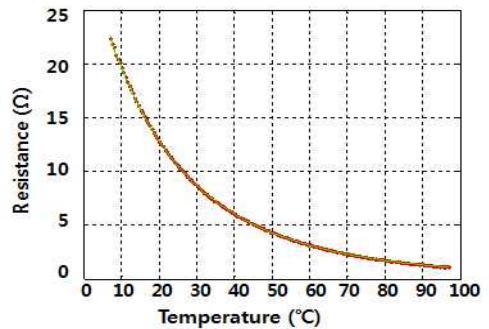
본 논문에서는 직수 온수 공급을 위하여 다중 가열기를 통한 가열 방법을 제안한 것이며, 탱크가 있는 경우 발생하는 보온 손실이 없는 효율적인 방식이다. 또한 제안된 방법을 확인하기 위하여 센서가 내장된 이중 가열 모듈을 사용하여 직접 제작하고 다양한 공급 유량에 따른 출수 온도를 측정하였다. 2장에서는 간단히 온도 센서의 특성 및 유량 센서에 대하여 나타내고 3장에서는 제안된 다중 가열 시스템을 서술한다. 4장에서는 제작한 이중 가열 시스템을 이용하여 실험함으로써 제안된 가열 방법의 성능을 확인하였다. 5장에서 실험 성능을 통한 제안된 방법에 대한 결론을 나타내었다.

II. 온도 및 유량 측정

본 연구에서 사용되는 소형 이중 가열기에 장착된 온도 센서는 NTC 써미스터로 그림 1(a)와 같은 특성을 가진다. 그림 1(b)에 나타난 회로의 NTC 써미스터를 이용하여 정확하게 온도를 측정하려면 측정을 위한 온도 범위에 맞게 측정 저항 R_M 을 결정하여야 한다. 이를 위하여 측정 시험이 필요하며 다수의 측정 저항 100Ω, 500Ω, 1kΩ, 2kΩ, 5kΩ 및

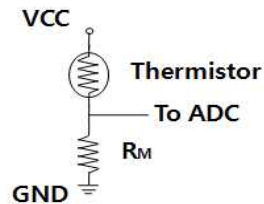
10kΩ을 이용하여 실험하였고 측정 저항 별 온도에 따른 ADC 값의 변화를 그림 2에 나타내었다. 그리고 그림 2의 그래프를 살펴보면, 측정 온도 범위에 대하여 선형적 변화를 가지도록 측정 저항은 1kΩ으로 결정하였다.

측정 저항 1kΩ에 따른 온도 특성을 정밀하게 측정하기 위하여 ADC 출력을 3차 및 4차 함수로 곡선 맞춤(Curve-fitting)하여 온도를 계산하였다.



(a) 써미스트 특성

(a) Thermistor characteristic



(b) 측정 회로

(b) Measurement circuit

그림 1. NTC 써미스터의 특성 및 측정 회로

Fig. 1. Characteristics of NTC thermistor and measurement circuit

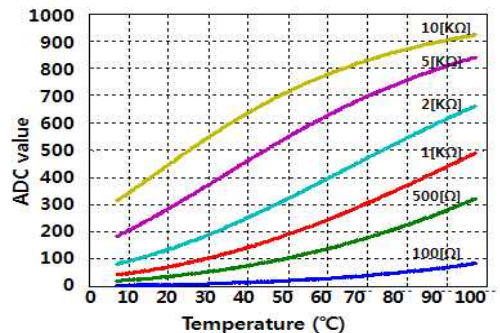


그림 2. 각 측정 저항 값에 따른 온도별 ADC 출력

Fig. 2. ADC outputs versus temperature at each measurement resistor

ADC 값에 따른 오차를 확인하였고 이를 그림 3에 나타내었다. 그리고 3차 함수에 비해 4차 함수의 경우, 100 ~ 450 범위의 ADC 출력에 대한 온도 오차는 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 로 보다 안정적이다.

유속 센서는 2차 함수로 곡선 맞춤하여 사용하였으며 실험에 사용될 유량별로 누적 유량 1000ml에 대하여 전자저울로 측정하여 비교하였으며 센서로 계량된 누적 중량에 비해 이의 실측 중량은 95.72% 정도로 적게 측정되었다. 유량 검출기의 순간 편차를 측정하기 어려움으로 누적 유량 1000ml를 이용하여 유량기의 성능을 확인하였다.

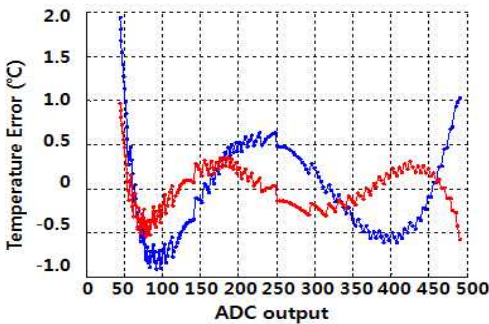


그림 3. ADC 출력별 온도 오차
Fig. 3. Temperature error versus ADC output

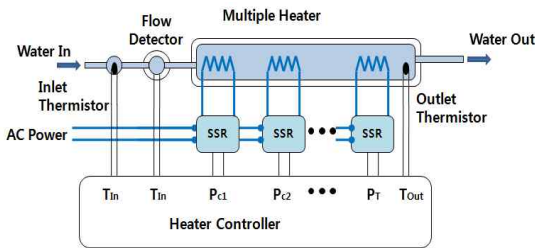


그림 4. 제안된 다중 가열 시스템
Fig. 4. Proposed multiple heating system

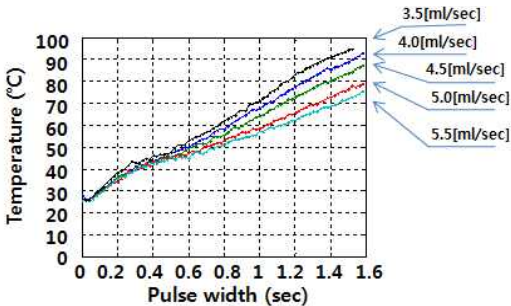


그림 5. 순간 가열기의 특성
Fig. 5. Characteristics of the instant heater

III. 제안된 다중 가열 시스템

직수 온수를 위한 다중 가열 시스템은 그림 4에 나타내었다. 물탱크 없이 직접 공급되는 물에 대하여 온도와 유량을 검출하고 설정된 출수 온도에 대한 가열을 위하여 다수의 보상 가열기(P_{C1}, P_{C2}, \dots)를 통해 보상 가열을 하고 목표 온도의 출수를 위한 주 가열기(P_T)를 통해 목표 가열을 하도록 구성되었다.

그림 4에 나타낸 다수의 가열부에 대한 제어는 PWM 신호를 사용하여 SSR(Solid State Relay)을 제어함으로써 AC 전원을 공급하였다. PWM 신호에 따른 가열 특성은 2초 주기에 대한 PWM 펄스폭으로 가열하고 이에 따른 10초 후의 온도 값을 확인하였다. 이를 그림 5에 나타내었다.

PWM 신호의 폭에 따른 가열 특성은 직수, SSR 특성 및 히터의 특성에 의하여 비선형적인 요소가 많이 나타난다. 그림 5는 히터 구동을 위한 최소 펄스폭이 필요함을 보여주고, 0.6sec 이하의 펄스폭에 대한 과도한 가열 특성 및 0.6sec 이상의 펄스폭에서 상당히 선형적인 특성을 나타내고 있다.

탱크가 없는 방식으로 유입되는 유량에 대해 특정 온도로 가열하기 위한 에너지를 나타내면 식 (1)과 같다.

$$Q = M \cdot C_p \cdot (T - T_0) / t \quad (1)$$

여기서 Q 는 필요한 평균 열 전달율(kW); M 은 물질의 질량, C_p 는 물질의 평균 비열, T 와 T_0 는 목표 온도와 초기 온도; t 는 가열 시간이다.

지속적으로 유입되는 물을 가열하기 위한 PWM 신호의 진폭은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$W_{PWM} = \alpha \frac{F \cdot t \cdot C_p \cdot (T - T_0)}{P_W \cdot t} \quad (2)$$

여기서 W_{PWM} 은 PWM 신호의 펄스폭; α 는 가열 손실, F 는 유입되는 유량, P_W 는 히터의 소비 전력이다.

제안된 다중 가열 시스템의 제어는 가열기의 성능을 기준으로 각 보상 가열기의 보상 가열을 위한 문턱치를 이용하여 사용 유무를 결정하고 이에 대한 가열 능력에 맞게 가열 목표를 설정함으로써 목표 온도에 대한 가열을 수행하는 주 가열기의 가열을 선형 특성 범위를 유지하도록 가열할 에너지를 분배하여 보상하는 것을 특징으로 한다. 이는 식 (3)과 같이 n 개의 보상 가열기에서 소비되는 전력 P_W^C 와 주 가열기에서 소비되는 전력 P_W^T 의 합으로 표현되어진다.

$$Q = P_W^C + P_W^T \quad (3)$$

$$P_W^C = \sum_{i=1}^n P_W^i$$

여기서 P_W^i 는 i 차 보상가열기의 보상 가열 전력을 의미한다.

가열기의 가열 특성을 고려한 펄스폭을 선형적 구간에 제약하여 결정함으로써 제어하는 다중 가열 방법을 제안하고 이를 그림 6에 나타내었다.

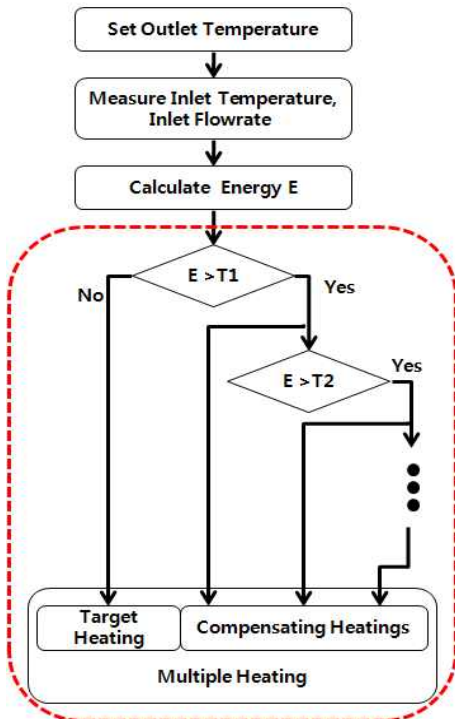


그림 6. 제안된 다중 가열 방법
Fig. 6. Proposed multiple heating method

그림 6은 가열 특성의 선형 구간을 판단하기 위하여 각 보상 가열기를 이용하는 경우의 추가된 보상 가열기의 선형 특성을 사용하는 에너지의 경계치를 미리 설정하고, 유입되는 유량과 입수 및 출수 온도에 따라 필요한 에너지를 계산하여 각 가열기에 에너지를 순차적으로 분배하고 이를 위한 펄스폭을 계산한다. 그리고 이를 SSR를 이용하여 가열기에 전력을 공급하는 방식이다.

제안된 다중 가열 방법은 목표 온도에 필요한 에너지에 대하여 보상 히터를 통하여 주 히터의 목표 온도 가열에 부족한 에너지를 공급하는 방식으로 보완하고 목표 온도 가열은 히터 가열 특성의 선형 구간을 이용함으로써 안정적인 온도 제어를 유지하도록 하는 방법이다.

IV. 실험 및 고찰

제안된 가열 시스템은 온도 센서를 내장한 1개의 보상 가열기와 주 가열기를 가진 이중 가열 모듈, 입수 온도 센서 및 유속 센서를 이용하여 이중 가열 시스템을 제작하였고 제작한 이중 가열 시스템의 가열 성능을 실험하였다. 그림 7은 제작된 시스템을 나타낸 것이고 입수 온도 센서(A), 펌프 모터 컨트롤러(B), 펌프(C), 유량 검출기(D) 및 출수 온도 센서(E)를 표기하여 나타내었다.

우선 필요한 에너지에 대한 특성을 확인하기 위하여 유량 속도 3.5~5.5ml/sec 범위에 대하여 0.5ml/sec 단위로 증가시키며 다양한 유속의 유입되는 물에 대한 가열 실험을 수행하였다.

실험을 통해 PWM 펄스를 이용하여 T_0 °C로 유입된 물이 T °C로 안정적으로 출수되는 경우 필요한 에너지와 실제 PWM을 통해 가열에 의해 전달된 에너지의 관계를 그림 8에 나타내었다.

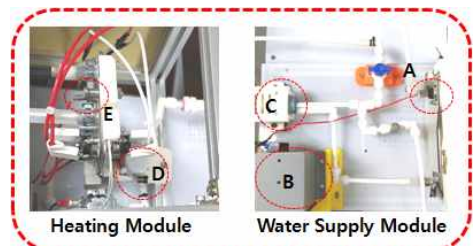


그림 7. 구현된 시스템
Fig. 7. Implemented system

그림 8의 순간 가열 특성을 살펴보면 400J 이상의 에너지에서 선형적인 특성이 나타나는 것을 알 수 있고, 선형 제어를 위하여 0.6sec 이상의 PWM 펄스폭을 통해 400J 이상의 선형 구간을 이용하였다.

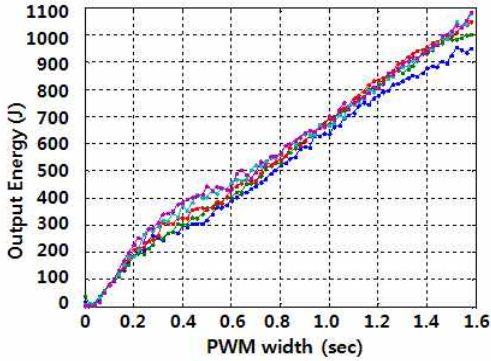
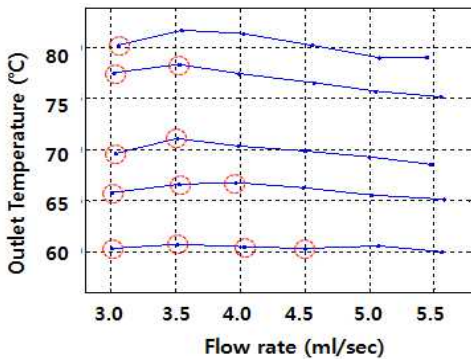


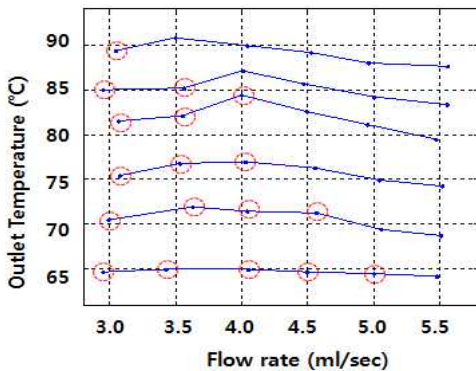
그림 8. 순간 가열 특성

Fig. 8. Characteristic of instant heating



(a) 800J 문턱치와 400J 보상가열

(a) 800J threshold/ 400J 1st compensating heating



(b) 1000J 문턱치와 500J 보상가열

(b) 1000J threshold/ 500J 1st compensating heating

그림 9. 제안된 방법의 가열 특성

Fig. 9. Characteristic of the proposed heating

제안된 다중 가열 방법에 대한 실험은 보상 가열기와 주 가열기의 선형 가열 구간이 될 수 있는 800J 문턱치와 400J 보상 가열 및 1000J 문턱치와 500J 보상 가열에 대하여 실험하였다. 다양한 유입 유량 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 및 5.5ml/sec에 대하여 다양한 목표 온도 5°C 간격으로 60°C ~ 90°C에 대하여 진행하였다. 수행된 실험의 결과를 그림 9에 각각 나타내었다.

실험 결과를 살펴보면 원으로 표시된 것은 필요 에너지가 문턱치 보다 낮아 주 가열기만 사용된 것이고 나머지는 보상 가열기와 주 가열기가 함께 사용되었다.

제안된 가열 방법의 성능 평가를 살펴 보기 위해 필요 에너지에 대한 비례 제어만을 적용하였고 출수 온수의 온도에 대한 표준편차가 1°C 내로 상당히 안정적인 온도 특성을 가지고 있었다.

산업현장에 사용되는 Autonics사의 온도 제어기와 PT100 센서를 이용하여 제어하는 경우, 6ml/sec로 공급되는 직수에 대한 80°C 목표 온도 제어에서 출수 평균온도 83.7°C와 편차 9.5°C로 상당한 출수 온도 변화가 발생하였고 기포로 인한 불안정한 출수를 가졌다. 제안된 시스템은 이에 비교하면 직수 가열에 대한 성능이 보다 안정적이다.

V. 결 론

본 논문은 직수 온수 가열을 위한 다중 가열 방법을 제안한 것으로 실제 2개의 가열기를 가진 이중 가열 시스템을 제작하여 제안한 가열 방법의 동작 및 성능을 확인하였다. 제안한 직수 온수 가열 방법은 직수 온수 가열에 필요한 에너지를 가열기의 가열 특성 중 선형 영역을 이용하여 구성된 보상 가열기로 분배하여 가열하는 것으로 성능 평가를 위해 비례 제어만을 이용하였고 제안된 방법의 성능을 확인하였다. 산업용 제품을 직접 이용하는 것에 비해 상당히 안정적인 출수 및 출수 온도를 유지하였다.

직수 가열기의 경우, 가열 시스템의 배관 및 출수 온도에 따른 기포 발생 문제를 가진다. 그리고 필요 에너지에 대한 실험에 이용된 비례 제어뿐만

아니라 제작하는 시스템에 따라 적분 및 미분 제어를 함께 적용함으로써 다양하게 확장될 수 있다.

References

- [1] Natural Resources Canada, "Heating with Electricity", Energy Publications, Office of Energy Efficiency, Natural Resources Canada, pp. 2-5, 2003.
- [2] M. Hoeschele, D. Springer, A. German, J. Staller, and Y. Zhang, "Strategy Guideline: Proper Water Heater Selection", U.S. Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy, pp. 13-17, Apr. 2015.
- [3] J. Burch and C. Christensen, "Towards development of an algorithm for mains water temperature", Proceedings of the 2007 ASES Annual Conference, 2007.
- [4] C. Dang, X. Wang, X. Wang, Y. Xiao, B. Gong, and Y. Fang, "Electrical Model and Control Method of Heat Pump Water Heaters for Promoting Renewable Integration", China Int'l Conference on Electricity Distribution(CICED), pp. CP0648:1-5, Aug. 2016.
- [5] A. Ramos, I. Guarracino, A. Mellor, D. Alonso-Alvarez, P. Childs, N. J. Ekins-Daukes, and C. N. Markides, "Solar-Thermal and Hybrid Photovoltaic-Thermal Systems for Renewable Heating", Briefing Paper, Grantham Institute, Imperial College London, No. 22, pp. 1-19, May 2017.
- [6] H. Liua, W. Wang, Y. Zhaoa, and Y. Denga, "Field Study of the Performance for a Solar Water Heating System with MHPA-FPCs", Int'l Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, Energy Procedia, Vol. 70, pp. 79-86, May 2015.
- [7] I. S. Lee and K. H. Lee, "Development of high efficiency heater using carbon heating material", KIIT, Vol. 9, No. 6, pp. 33-37, Jun. 2011.

- [8] F. Ruelens, B. J. Claessens, S. Quaiyum, B. De Schutter, R. Babuska, and R. Belmans, "Reinforcement Learning Applied to an Electric Water Heater: From Theory to Practice", Energy Procedia, Vol. 70, pp. 79-86, May 2015.

저자소개

이 승 목 (Seung-Mok Lee)



1996년 2월 : 금오공과대학교
전자공학과(공학사)
1998년 2월 : 금오공과대학교
대학원 전자공학과(공학석사)
2016년 2월 : 금오공과대학교
대학원 전자공학과 (공학박사)
2016년 4월 ~ 현재 : (주) 포유

연구소장

관심분야 : 컴퓨터비전, 영상처리, 임베디드, 자동화

임 재 권 (Jae-Kwon Eem)



1977년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
1979년 2월 : 경북대학교 대학원
전자공학과(공학석사)
1991년 5월 : 미국 Texas A&M 대
전기및전자공학과(공학박사)
1979년 ~ 1986년 : 국방과학연구소

선임연구원

1991년 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수

2010년 ~ 현재 : 금오공과대학교 DTV연구소 소장

관심분야 : 컴퓨터비전, 영상처리, 칼라재현

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 교수

2016년 ~ 2017년 : 3D 프린팅 산업협회장

관심분야 : 산업조직, HRD, 리더십, 3D 프린팅