

워셔액 가열시스템의 제어시스템 설계에 관한 연구

이제성¹, 김정현¹, 원종섭², 이선봉^{3*}

¹KCW 기술연구소, ²전주대학교 기계자동차공학, ³계명대학교 기계자동차공학

Study on control system design for washer fluid heating system

Je-Sung Lee¹, Jung-Hyun Kim¹, Jong-Seob Won² and Seon-bong Lee^{3*}

¹Technical Research Center, KCW

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Jeonju University

³Division of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University

요약 본 논문은 자동차 윈드실드에 생기는 성에, 얼음, 눈 또는 잔해를 제거하는 워셔액 가열시스템의 성능 개선을 위한 새로운 제어 시스템을 제안한다. 먼저, 워셔액 가열시스템의 모델링 과정을 설명하고 실험결과를 이용하여 모델의 특성파라미터를 추출하고 워셔액 가열시스템 성능에 영향을 미치는 설계변수를 선정한다. 두 번째로 워셔액 가열시스템 가열 성능을 향상시키기 위하여 제어 시스템을 제안하였고 실험을 통하여 검증하였다. 제안된 제어시스템의 특징은 가열 성능을 충족하기 위하여 정의된 목표 값까지 WFHS에 인가되는 부스터 컨버터의 입력 전류를 조절하는 것이다. 목표 전류는 초기온도 조건과 함께 유도된 수학적 모델식을 이용하여 계산하였다. 컴퓨터 시뮬레이션과 실제 실험결과는 제안된 제어시스템이 WFHS의 기 설정한 목표성능을 만족시키면서 가열 동작을 수행 할 수 있다는 것을 보여준다.

Abstract This paper presents the design of a control system for improving performance of a washer fluid heating system (WFHS) which is capable of removing frost, ice, snow and/or other debris from windshield. First, for the WFHS, a modeling process is described, and the extraction of characteristic parameters of the model are made by experimental studies. Design variables that affect on performance of the WFHS are also presented. Secondly, a control system is proposed for improving heating performance of the WFHS, and its performance is verified through experiments. The key feature of the proposed control system is to regulate the current of a booster converter input to the WFHS up to the target value that is set to guarantee heating performance. Target current is calculated by using initial temperature value and employing the mathematical model derived in the paper. Computer simulation and experimental results show that the proposed control system can perform heating operations in a way to satisfy per-determined target performance of the WFHS.

Key Words : Washer Fluid Heating System (WFHS), Mathematical modeling, Model Characteristic Parameters, Intelligent Vehicle, Current Control System, Boost ConverterAcademia-Industrial

Nomenclature

A	열전달이 일어나는 표면의 면적 [m^2]	\dot{E}_{IN}	열 유입률의 변화량, ΔH_i [W]
C	유체의 비열 [$J/kg^\circ C$]	\dot{E}_{OUT}	열 유출률의 변화량, ΔH_o [$W/^\circ C$]
C_h	열 커패시턴스(= $M \times C$) [$J/^\circ C$]	\dot{E}_{STORE}	시스템의 열 저장률 [$J/^\circ C$]
		G_V	전압 전달 비 [-]

본 논문은 정부(지식경제부)의 지능형 자동차 상용화기반구축사업의 지원을 받아 수행되었음.

*Corresponding Author : Seon-bong Lee

Tel: +82-10-5180-5067 email: seonbong@kmu.ac.kr

접수일 12년 03월 26일

수정일 (1차 12년 04월 23일, 2차 12년 05월 02일)

게재확정일 12년 06월 07일

h	대류의 열전달 계수 [$W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$]
I	배터리 전류 [A]
M	유체의 질량 [kg]
R_c	코일의 저항 [Ω]
\bar{T}_o	유출액체의 온도 [$^\circ\text{C}$]
ΔT	온도 변화량 [$^\circ\text{C}$]
η	전압 증폭기의 작동효율 [-]

1. 서론

최근 워셔액 가열 시스템의 가열 방식은 알루미늄, 구리 등의 가열 수단을 이용해 워셔액을 가열하는 기술과 차량 엔진의 냉각수 열을 이용하는 것과 같은 기존 차량의 부품을 이용하여 워셔액을 가열하는 기술이 적용되고 있으며 대부분 가열 장치의 구조나 동작을 제어하는 방법이 많다[1-2]. 이러한 동작 제어기술에는 온도 센서 또는 서모스탯을 통해 제어하는 기술과 워셔액 레벨 센서를 통해 위험을 감지하는 기술들이 있다[3-5]. 또한 별도의 워셔액 가열장치를 추가하는 기술은 가열 동작을 제어하기 위하여 온도 센서, 수위 감지 센서 또는 그 외의 안정성 관련 소자를 채용한 기술들도 있다[6].

워셔액 가열시스템의 대표적인 제어 방법은 릴레이를 사용한 on/off 제어방식으로 이미 설정된 목표온도 또는 목표 가열시간을 만족할 때 전류 공급을 차단하는 방식이다[7]. 이러한 제어방식은 임의로 전류의 값을 조절할 수 없을 뿐 아니라 일정한 값을 유지 할 수 없어 초기온도에 따라 설정된 목표 가열시간 또는 목표온도를 충족시키는 데 어려움이 있었다. 이를 해결하기 위해 퍼지이론이나 신경회로망을 적용한 방법들이 연구되고 있다[8-17].

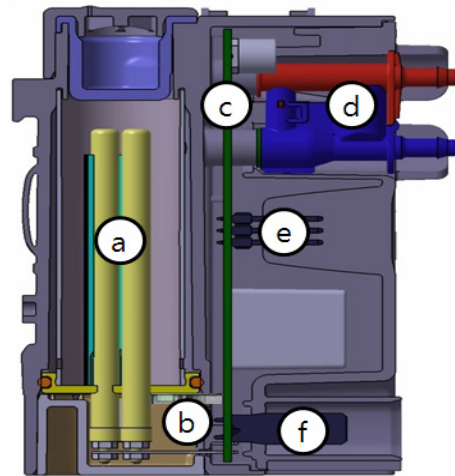
본 연구에서는 워셔액 가열시스템의 가열성능 향상을 위하여 전압 증폭기를 포함한 제어시스템을 제안하고 설계하여 실험 검증한다. 이를 위하여 가열성능과 관련된 설계인자를 추출하고 가열기의 거동을 파악하기 위한 모델링을 진행하였다. 모델링 과정은 실험을 통한 모델파라미터의 추출도 포함하고 있다.

또한 제안된 제어시스템을 구현하기 위하여 전압 증폭기 회로를 설계하였으며 비례·미분(Proportional Integral: PI)제어기로 구현하였다. 설계된 제어시스템은 실험으로 설계목표 값에 대한 가열성능을 검증하였다.

2. 워셔액 가열시스템의 모델링

2.1 가열 시스템의 구조

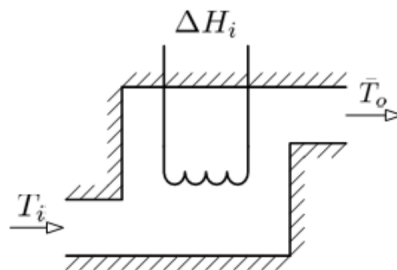
본 논문에 적용한 워셔액 가열시스템의 구조는 그림 1과 같다. 그림 1의 ㉓는 저항 발열체를 나타내며 2개의 가열요소가 병렬로 연결되어 있고 용량은 12V/532W이다. 이론 및 실측 저항 값은 각각 0.27Ω , 0.297Ω 이다. 가열요소의 재질은 COPPER SHEATH C1100이다. ㉔는 써미스터로 구성된 온도센서로 가열기 바닥에 부착되어 있다. ㉕는 PCB 제어부이며 ㉖는 매니폴드로 워셔액의 출입구 역할을 한다. ㉗는 와이퍼/와셔 시스템의 연결부이며 ㉘는 가열기의 전원 연결단자이다.



[그림 1] 워셔액 가열시스템의 구조도
[Fig. 1] Structure of the WFHS under consideration

2.2 가열 시스템 모델링

이 절에서는 워셔액 가열시스템의 특성 파악을 위한 수학적 모델링 과정을 기술한다. 그림 2는 열 시스템 모델링을 위한 개념도이다[18].



[그림 2] 열 시스템의 개략도
[Fig. 2] Schematic of a heating system

열 시스템의 모델링은 가열기 유입액체의 온도가 일정 한 상태에서, 열 유입률이 갑자기 \bar{H} 에서 $\bar{H} + \Delta H_i$ 로 변한다고 가정한다. 여기서 ΔH_i 는 열 유입률의 변화량을 나타낸다. 이 경우 열 유출률은 시간에 따라 \bar{H} 에서 $\bar{H} + \Delta H_o$ 로 변한다. 여기서 ΔH_o 는 열 유출률의 변화량을 나타낸다. 또한 유출액체의 온도도 \bar{T}_o 에서 $\bar{T}_o + \Delta T$ 로 변한다.

가열기 탱크 주위의 단열 여부에 따라 두 가지 형태로 수학적 모델을 도출한다. 첫 번째 모델은 가열기 탱크를 단열시켜서 주위로의 열 손실이 없다고 가정하였고 이 시스템의 열 평형식은 다음과 같다.

$$\dot{E}_{IN} - \dot{E}_{OUT} = \dot{E}_{STORE} \quad (1)$$

입력에너지는 배터리로부터 공급된다고 가정하며 이 때 $\dot{E}_{IN} = \Delta H_i = I^2 R_c$ 는 탱크 내외로의 액체의 유출입이 없는 상태에서 액체에 에너지가 유입되므로 \dot{E}_{OUT} 을 0으로 둘 수 있다. 또한, $\dot{E}_{STORE} = C_h (dT/dt)$ 이다. 이로부터 열 시스템의 수학적 모델은 다음과 같이 표현된다.

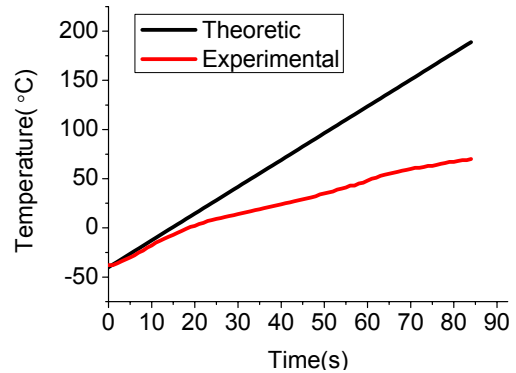
$$T = \frac{I^2 R_c}{C_h} t + T_o \quad (2)$$

가열기 주위로 열 전달이 없다고 가정하고 유도된 모델 식 (2)를 검증하기 위하여 비교 실험을 진행하였다. 표 1은 식 (2)의 시뮬레이션조건 예이다. 시뮬레이션은 매트랩 프로그램을 사용하였다.

[표 1] 비교 실험을 위한 실험 조건 및 시스템 특성 파라미터
[Table 1] Test condition and system characteristic parameters for comparative study

시험 조건 및 특성파라미터	값
T , 액체의 유출온도 (°C)	70
T_o , 액체의 유입온도 (°C)	-40
I , 입력 전류 (A)	34
C , 액체의 비열 (J/kg°C)	4200
M , 액체의 질량 (kg)	0.03
R_c , 코일의 저항 (Ω)	0.297
$C_h (=M \times C)$, 열 커패시턴스 (J/°C)	126

그림 3은 표 1의 조건 하에서 식 (2)의 계산 값과 실험 측정값을 비교한 결과이다.



[그림 3] 단열을 가정한 경우의 이론(모델)값과 실측값의 비교

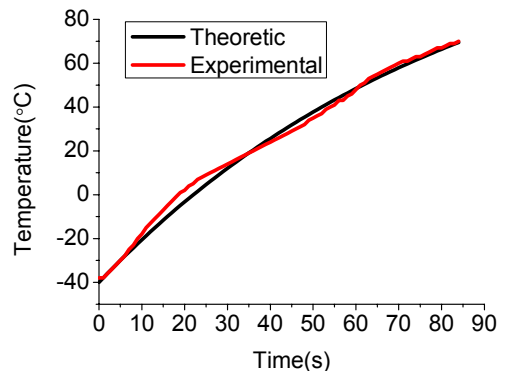
[Fig. 3] Theoretic behavior under insulation condition and its comparison with experimental behavior.

여기서, 실측결과 값은 표 1의 조건과 동일한 조건으로 수행한 결과이며 컴퓨터 시뮬레이션과 실험값의 차이가 많이 발생하였다. 그 결과로 가열기 주위로 열 전달을 고려한 모델의 개발이 필요함을 알 수 있다. 이에 따라, 대류를 고려한 모델 식 (3)을 유도하였다.

이 경우 $\dot{E}_{OUT} = hA(T - T_o)$ 이며 대류에 의한 에너지 열 손실율을 의미한다. 이로부터 대류를 고려한 수학적 모델은 다음과 같이 표현된다.

$$T = -\frac{I^2 R_c}{hA} \cdot e^{-\frac{hA}{C_h} t} + \frac{I^2 R_c}{hA} + T_o \quad (3)$$

그림 4는 식 (3)을 사용한 이론 값과 실험 측정 값을 비교한 그래프이다.



[그림 4] 대류를 고려했을 때의 이론값과 실측 값의 비교
[Fig. 4] Theoretic behavior under convection condition and its comparison with experimental behavior.

여기서 시스템의 특성파라미터 h , A 및 C_h 값은 2.4 절에서 기술한 바와 같이 실험을 통하여 구하였다. 그림 4에서 알 수 있듯이 가열기 시스템의 모델과 실제 시스템이 상호 비슷한 거동을 보여 주고 있음을 알 수 있었고 이는 모델식이 실제 시스템의 거동을 적절한 범위 내에서 잘 모사 한다고 볼 수 있다.

2.3 성능 변수 추출

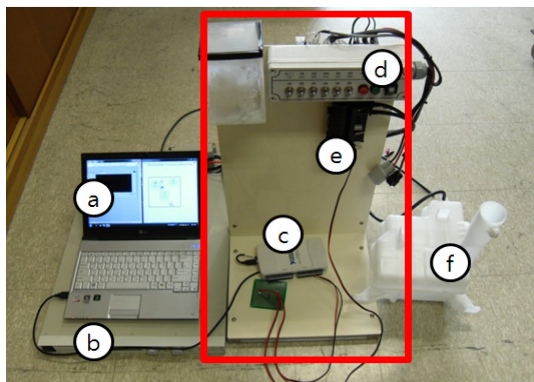
워셔액 가열시스템의 성능에 영향을 미치는 주요 설계 변수를 표 2에 나타내었다. 설계변수는 기구적인 것과 소프트웨어적인 것으로 구성되어 있다. 제어와 관련된 설계 변수는 2.2절에서 유도된 열 시스템의 모델식으로 부터 성능에 영향을 미치는 변수를 선정하였다. 이 변수는 향후 제어시스템을 설계하는데 고려된다.

[표 2] WFHS의 성능 관련 주요 설계변수
[Table 2] Design variables for WFHS

구분	설계변수	비고
H/W	가열요소 (발열체)	재질, 사이즈, 형상
	매니폴드	재질, 사이즈, 형상
S/W	워셔액 목표온도	제어성능
	가열시간	제어성능
	인가전류	제어성능

2.4 WFHS 특성파라미터 결정

워셔액 가열 시스템의 특성 파라미터를 추출하기 위하여 그림 5와 같이 실험환경을 구축하였다.



[그림 5] 가열시스템의 온도측정을 위한 구성도
[Fig. 5] Configuration for temperature measurement of the WFHS

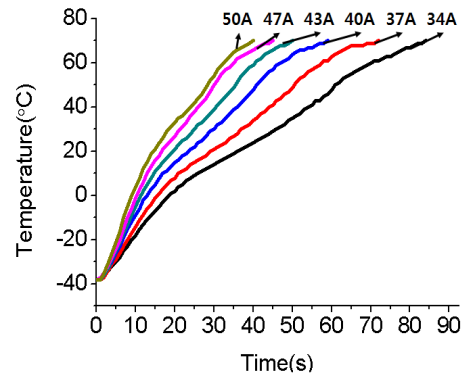
그림 5에서 ㉓는 데이터 기록용 PC이고 ㉔는 WFHS에 인가되는 전류를 공급하는 전원 공급 장치로 용량은 20V/90A이다. ㉕는 워셔액 가열 시스템에 내장되어 있는 온도센서의 아날로그 값을 디지털 값으로 변환시켜주는 NI-USB 6210장치이다. ㉖는 워셔 펌프모터를 작동시켜 주는 on/off 장치이며 ㉗는 워셔액 가열 시스템, ㉘는 워셔액을 담는 용기이다.

실험은 항온 항습기 챔버에 ㉕, ㉖, ㉗를 넣고 초기 온도를 설정한 뒤 전원 공급 장치를 이용하여 워셔액을 가열시키고 시간에 따른 워셔액의 온도(변화)를 측정하는 방식으로 진행하였다. 실험을 통하여 얻은 데이터와 2.2 절에서 구한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 비교하여 입력전압과 초기온도의 변화에 따른 특성 파라미터 값을 구하였다. 실험조건은 표 3과 같다.

[표 3] 가열 시스템 온도측정을 위한 시험조건
[Table 3] Test conditions for experiments

시험 조건	값
전압 측정 범위 (V)	10 ~ 15
전압 측정 간격 (V)	1
초기 온도 범위 (°C)	-40 ~ 20
초기 온도 설정 간격 (°C)	10
목표 온도 (°C)	70
측정 유체	Methanol washer fluid

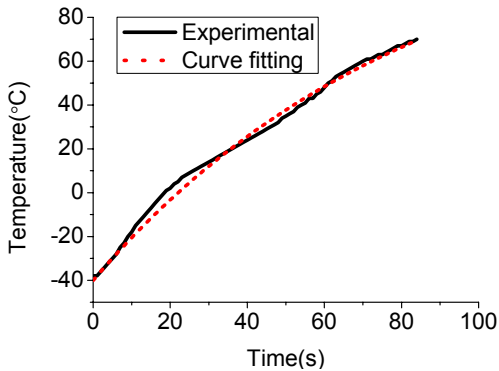
그림 6은 워셔액의 초기온도를 -40°C 로 설정하고 입력전류의 변화에 따른 실험 결과 값을 그래프로 나타낸 것이다.



[그림 6] 입력 전류에 따른 실험결과 ($T_0 = -40^{\circ}\text{C}$)
[Fig. 6] Test results with different current inputs ($T_0 = -40^{\circ}\text{C}$)

그림 6에서 알 수 있듯이 가열기의 초기온도인 -40°C 에서 목표온도 값인 70°C 에 도달하기까지는 입력전류 43A일 때는 가열시간이 50초 소요됨을 알 수 있었다.

식 (3)에서 구한 온도에 관한 식을 실제 가열기 시스템에 적용하기 위해서는 가열기의 특성 파라미터 (예를 들면, C_h, h, A)의 값에 대한 정보가 필요하다. 이러한 값들은 그림 6의 결과 값으로 알 수 있다. 예를 들어, 그림 7은 입력전류 34A, 초기온도 -40°C 일 때의 시간에 따른 위셔액의 온도 변화 데이터 및 곡선맞춤 (curve fitting)한 그래프를 나타낸다.



[그림 7] 실측 값의 곡선맞춤 그래프
[Fig. 7] Curve fitting graph of test result

그림 7에서와 같이 위셔액의 온도 변화 데이터 거동은 식 (4)를 기준으로 곡선맞춤을 수행할 수 있다.

$$T = A_f e^{B_f t} + C_f \quad (4)$$

여기서 $A_f, B_f,$ 및 C_f 는 곡선맞춤으로 얻어지는 상수들이다. 위의 식과 식 (3)의 비교로부터 다음의 관계를 도출할 수 있다.

$$A_f = -\frac{I^2 R_c}{q}, \quad B_f = -\frac{q}{C_h}, \quad C_f = \frac{I^2 R_c}{q} + T_0 \quad (5)$$

$$q = h \times A.$$

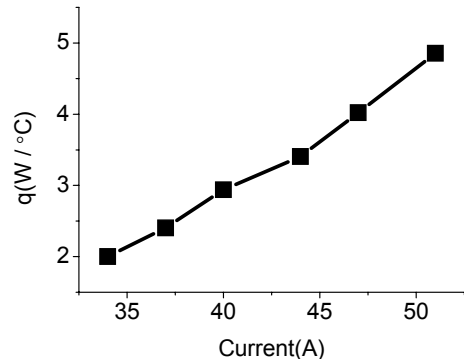
여기서 q 는 단위 온도 당 대류에 의한 열 손실율을 나타낸다. 대류계수와 면적의 곱으로 구한 q 값과 이미 구한 I, R_c, T_0 값과 곡선맞춤으로 구한 상수 값을 고려하여 C_h 및 q 값을 구하였다. 표 4는 계산된 결과 값이다.

[표 4] 입력전류에 따른 C_h 및 q 값

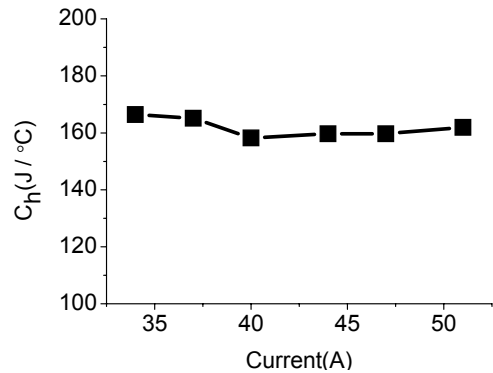
[Table 4] C_h and q values for different input currents

Input current (A)	q ($\text{W}/^{\circ}\text{C}$)	C_h ($\text{J}/^{\circ}\text{C}$)
34	1.983	166.4
37	2.404	165.1
40	2.939	158.2
43	3.405	159.7
47	4.02	159.7
51	4.857	161.9

그림 8은 입력전류의 변화에 따른 q 와 C_h 값을 나타낸다.



(a) q



(b) C_h

[그림 8] 입력전류에 따른 특성파라미터값 변화

[Fig. 8] Change in values of characteristic parameters along with input current

그림 8 (a)에서 q 값은 입력전류가 높아짐에 따라 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 가열 도중 끓는 현상 (boiling)이 일어나면서 q 값의 변화가 발생하는 현상으로 판단된다. 그림 8 (b)에서 C_h 값은 158 ~ 166사이이며

상대적으로 변화의 정도가 작음이 관찰되었다. 이는 가열기의 특성 값 중의 하나로 시험조건에 따른 변화가 없어야 한다. 대표 C_h 값의 선정은 여러 가지 방법에 따라 이루어질 수 있으나 본 논문에서는 각 실험 조건에서 얻은 값들의 산술 평균 값으로 선정하였고 평균값은 162.4로 계산되었다.

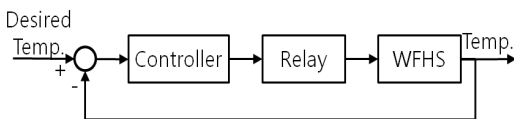
q 값 선정은 (a) 초기온도 -40도에서 37A의 전류를 인가했을 때 시간에 따른 온도 변화를 구하였다. (이 때 $q = 2.404 \text{ W/}^\circ\text{C}$, $C_h = 165.1 \text{ J/}^\circ\text{C}$ (표 4 참조)) (b) 동일한 실험조건에서 C_h 의 산술평균 값 162.4 $\text{J/}^\circ\text{C}$ 를 식 (3)에 대입하여 온도-시간 그래프를 구한다. (c) (a)와 (b)의 그린 그래프를 비교하고 평균 제곱근 오차 (Root Mean Square Error; RMSE)를 구하였다. 실험 조건을 변경하면서 표 5의 결과를 구하였다. 대표 q 값은 RMSE가 최소인 2.939 $\text{W/}^\circ\text{C}$ 로 선정하였다.

[표 5] q 값에 따른 RMSE 평균 값
[Table 5] Average value in RMSE with different q s along with current input under fixed value of $C_h = 162.4$

Current \ q	1.983	2.404	2.939	3.405	4.02	4.857
34	2.45	5.03	10.01	14.02	18.72	24.17
37	5.06	2.28	5.70	9.57	14.27	19.86
40	7.04	3.50	2.96	6.06	10.30	15.53
43	9.91	6.46	2.85	2.63	6.04	10.90
47	13.78	10.35	6.39	3.48	2.78	6.99
51	18.52	15.27	11.42	8.32	4.69	2.61
Sum	56.76	42.89	39.33	44.08	56.8	80.06

3. 제어시스템 설계

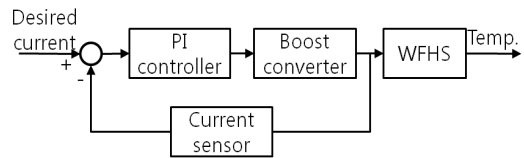
기존의 시스템은 설정목표온도 또는 설정 가열시간에 도달할 때까지만 제어하는 개루프 제어 시스템이었다. 그림 9는 기존의 워셔액 가열 시스템의 온도제어 블록선도를 나타낸다.



[그림 9] 기존 워셔액 가열 시스템의 온도제어 블록선도
[Fig. 9] Block diagram of temperature control system of the existing WFHS

제어시스템의 가열시간을 결정짓는 변수는 전류이다. 일반적으로, 자동차의 종류에 따라 사용가능한 배터리 출력이 다르고 날씨에 따른 초기온도의 변동이 있기 때문에 on/off시스템을 사용할 경우 전류의 양을 조절할 수 없으므로 목표온도에 도달하는데 필요한 가열시간이 불규칙하게 변화한다. 이에 본 논문에서는 전류의 양을 조절할 수 있는 전압증폭기를 설계하고 전압증폭회로의 출력신호를 제어할 수 있는 시스템을 설계하고자 한다.

그림 10은 본 논문에서 제안하고 있는 전류 제어시스템의 구조를 나타낸다.

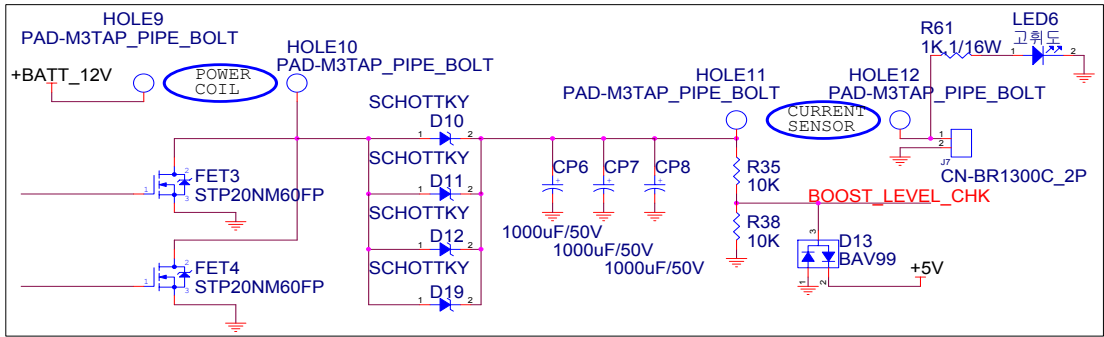


[그림 10] 전류 제어시스템의 블록선도
[Fig. 10] Block diagram of current control system for the WFHS

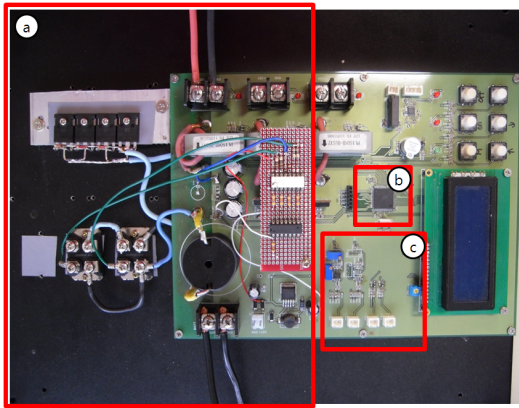
본 논문에서 제안하는 전류 제어시스템은 다음과 같이 동작된다. 가열성능은 어떠한 초기 온도조건에서도 워셔액을 설정된 목표온도와 시간 내에 도달하도록 가열시킬 수 있는 능력을 의미하며 목표전류는 가열시스템의 가열성능을 만족하는 전류 값을 의미한다. 목표전류는 이미 설정된 목표온도 및 가열시간과 가열시스템의 초기온도의 정보로부터 계산되어진다. 제안된 전류 제어시스템은 PI제어기와 전압 증폭기로 구성된다. PI제어기는 설정된 목표전류와 가열기로 입력되는 현재 전류 값의 차이에 따라 전압 증폭기의 듀티 비를 제어한다. 여기서 듀티 비는 한 주기 동안 스위칭소자의 on/off 비율을 의미한다. WFHS의 입력전류는 제어시스템에 설치된 전류센서로부터 측정된다. 제어기의 듀티 비에 따라 전압 증폭기의 전압이 결정되고 이에 따라 가열시스템의 입력전류가 제어된다. 그림 11은 본 논문에서 적용한 전압 증폭기 회로도를 나타낸다.

펄스 폭 변조(Pulse Width Modulation : PWM)의 출력신호에 따라 고속 스위칭을 위하여 FET를 사용하였고 43A이상의 전류 값을 견딜 수 있으며 발열방지 위하여 200A/100V용량의 FET 2개를 병렬로 연결하였다. 또한 전압강하와 고속 스위칭을 위하여 다이오드(30A) 4개를 병렬로 연결하였다.

그림 12는 본 논문에서 개발한 전류제어 시스템을 나타낸다.



[그림 11] 전압 증폭기 설계 회로
[Fig. 11] Circuit diagram of the designed boost converter



[그림 12] 위서액 가열시스템의 전류제어시스템
[Fig. 12] Current control system for WFHS

그림 12의 ①는 전압 증폭기로 제어기의 PWM신호에 의하여 듀티 비에 따라 동작하며 가열기 입력 전류의 양을 조절해준다. ②는 제어기로서 온도센서에서 받은 온도 값에 따라 전류 값을 선정하여 PI제어를 통하여 PWM신호를 출력한다. ③는 가열기의 초기온도 값을 측정하는 온도센서이다.

전압 증폭기의 특성을 파악하기 위하여 주어진 입력전압에 대하여 듀티 비를 변화시키며 출력전압을 측정하였다. 듀티 비가 0일 때 주어진 입력전압에 대한 출력전압의 크기를 측정하였으며 실험 결과로 부터 듀티 비가 0일 때 입력전압의 변화에 따라 평균 1.5V의 전압강하가 측정되었다. 이는 다이오드가 병렬로 연결되어서 발생한 것으로 판단되어진다.

전압 증폭기의 특성에 관한 식을 유도하기 위하여 전압 증폭기의 작동효율 η 를 이론적인 전압 전달비에 대한 실측 전달비의 비율로 다음과 같이 정의한다.

$$\eta = G_V' / G_V = \left(\frac{V_o'}{V_i} \right) / \left(\frac{V_o}{V_i} \right) = \frac{V_o'}{V_o}, \quad (6)$$

여기서 V_i 는 입력전압, V_o 및 V_o' 는 주어진 입력전압 및 듀티 비에 따른 출력전압의 이론값 및 실측값을 나타낸다. 식 (6)으로부터 설계된 전압 증폭기의 출력 V_o' 는 다음과 같이 표현된다.

$$V_o' = \eta V_o \quad (7)$$

본 논문에서는 작동 효율이 듀티 비의 함수로 표현된다고 가정하였다(즉, $\eta = \eta(D)$). 듀티 비에 따른 작동 효율을 구하기 위하여, 주어진 입력전압에 대한 듀티 비의 변화의 출력전압을 측정하였고 그 결과가 표 6에 나타나 있다. 작동 효율은 식 (7)을 이용하여 구하였다. 실험에서 적용한 입력전압은 일반적인 차량용 배터리의 공칭 전압인 12V로 선정 하였다.

[표 6] 듀티 비에 따른 입력/출력전압 및 효율
[Table 6] Input/output voltages and efficiencies with respect to duty ratio

듀티 비, D (%)	입력전압, V_i (V)	출력전압, V_o' (V)	작동 효율, η (-)
20	12	12.1	0.807
25	12	12.3	0.769
30	12	12.8	0.747
35	12	13.2	0.715

곡선맞춤을 통하여, 표 6의 결과로부터 듀티 비에 따른 작동 효율의 관계를 다음과 같이 얻을 수 있다. (참고로 RMSE는 0.004586 이다.)

$$\eta = -0.5942D + 0.9227 \quad (8)$$

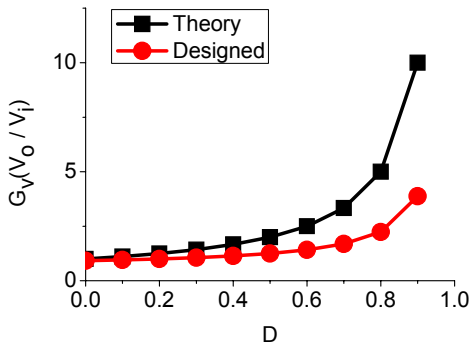
식 (8)을 식 (7)에 대입함으로써 전압 증폭기의 출력전압은 다음과 같이 표현된다.

$$V_o' = \frac{V_i}{1-D}(-0.5942D + 0.9227) \quad (9)$$

표 7은 설계된 전압 증폭기의 실측 출력전압과 식 (9)에서 계산된 출력전압의 비교결과를 나타낸다. 이로부터 유도된 전압 증폭기의 특성식이 실제의 특성을 잘 나타내고 있음을 알 수 있다. 그림 13은 전압 증폭기의 이론 및 식 (9)으로 표현되는 설계 시스템의 전압 전달율을 나타낸다.

[표 7] 실측 및 특성식 출력전압 비교
[Table 7] Evaluation of characteristic relation

듀티 비	입력전압	실측 출력전압	특성식 출력전압 식 (14)	오차
20	12	12.1	12.062	0.042
25	12	12.3	12.391	-0.086
30	12	12.8	12.767	0.038
35	12	13.2	13.201	0.005



[그림 13] 전압 전달비 비교 (이론/실제)
[Fig. 13] Comparison of voltage transmission ratio between theoretic and designed boost converters

전압 증폭기 특성을 파악하기 위해 다이오드에 의한 전압강하의 영향을 고려한 식은 다음과 같이 구하였다. 다이오드의 전압강하를 보정한 후 출력전압 V_{oc}' 을 이용한 작동 효율 η' 을 고려하였고 식 (10)으로 나타내었다.

$$\eta' = V_{oc}' / V_o \quad (10)$$

여기서, V_{oc}' 는 실제 출력전압 V_o' 에 다이오드에 의한 전압강하 1.5V를 더하여 얻어진다. 즉,

$$V_{oc}' = V_o' + 1.5 \quad (11)$$

곡선맞춤을 통하여, 표 8의 결과로부터 듀티 비에 따른 작동 효율의 관계를 다음과 같이 얻을 수 있다. 이 경우 RMSE는 0.004586 이다.

$$\eta' = -0.1792D + 1.048 \quad (12)$$

식 (9)-(11)을 이용하여 전압 증폭기 출력전압 V_o' 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$V_o' = \frac{V_i}{1-D}(-0.1792D + 1.048) - 1.5 \quad (13)$$

표 9는 설계된 전압 증폭기의 실측 출력전압과 식 (13)에서 계산된 출력전압과의 비교결과를 나타낸다. 식 (9)와 같이 식 (13)도 실제의 전압 증폭기의 특성을 잘 나타내고 있음을 알 수 있다.

[표 8] 듀티 비에 따른 입력/출력전압 및 효율
[Table 8] Input/output voltages and efficiencies with respect to duty ratio

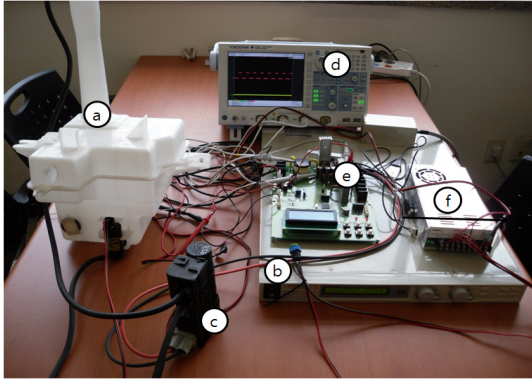
듀티 비, D (%)	입력전압, V_i (V)	실측 출력전압, V_o' (V)	전압강하보정 출력전압, V_{oc}' (V)	보정 후 작동 효율, η' (-)
20	12	12.1	13.6	0.907
25	12	12.3	13.8	0.863
30	12	12.8	14.3	0.834
35	12	13.2	14.7	0.796

[표 9] 실측 및 특성식 출력전압 비교
[Table 9] Evaluation of characteristic relation

듀티 비	입력전압	실측 출력전압	특성식 출력전압 식 (18)	오차
20	12	12.1	12.062	0.038
25	12	12.3	12.391	-0.091
30	12	12.8	12.767	0.033
35	12	13.2	13.201	-0.001

4. 워셔액 가열 시스템의 통합 실험

본 장에서는 설계된 전류 제어시스템으로 가열 성능을 검증하기 위하여 통합 실험을 실시하였다. 그림 14는 전체적인 워셔액 가열기시스템의 통합 실험 환경을 나타낸다.



[그림 14] 워셔액 가열시스템의 실험 환경
[Fig. 14] Experimental setup for performance evaluation of WFHS

㉑는 워셔액을 담는 용기이며 ㉒는 WFHS에 인가되는 전류를 공급해주는 20V/90A의 전원 공급 장치이다. ㉓는 워셔액 가열시스템이며 ㉔는 PWM듀티비 측정 및 입력 전압 측정을 위한 오실로스코프이다. ㉕는 전류 증폭 역할을 하는 부스트 컨버터, PI제어기, 온도센서 회로 부분이 있는 전류 제어시스템이다. ㉖는 워셔 펌프 모터를 작동시키고 전류 제어 시스템에 전원을 공급하는 12V/29A의 전원 공급 장치이다.

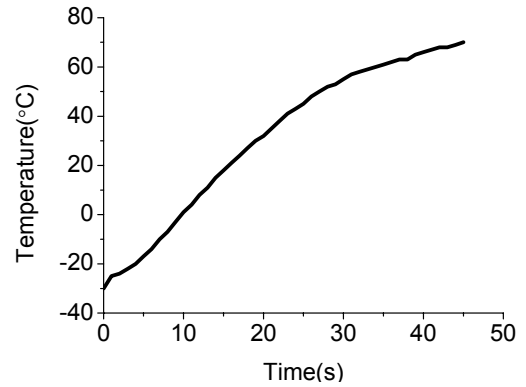
이 실험에서 목표전류는, 3장에서 언급한 바와 같이 초기온도 T_0 , 목표온도 T , 목표온도 도달 가열시간 t 가 주어지면 아래의 식 (14)와 같이 계산된다.

$$I^* = \left[\frac{q}{R_c} \cdot \frac{T - T_0}{(1 - e^{-(q/C_h)t})} \right]^{1/2} \quad (14)$$

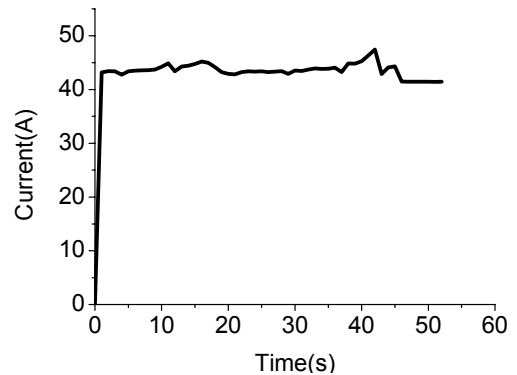
$$q = hA$$

그림 15(a)는 초기온도 -30°C , 목표온도 70°C , 목표온도 도달 가열시간이 44초일 때의 실험 결과를 보여준다. 이 경우 계산된 목표전류값은 43A 이며 정해진 가열 시간에 목표온도에 도달함을 알 수 있다. 따라서, 임의의 초기 온도조건에서 목표전류 값이 계산되어지면 전류센서에 의해 피드백 받은 초기전류 값과 비교하여 PI제어

를 통해 듀티 비를 결정한다. 그 뒤 증폭기는 듀티 비에 따라 출력전압을 생성한다. 이에 따라 WFHS로 목표전류에 해당하는 전류가 인가되어지며 그림 15(b)는 전류가 목표 전류에 추종하는 과정을 보여 준다. 이를 통해 제어 동작이 정상적으로 작동하고 있음을 확인 할 수 있다. 그림 16(a)는 초기온도 -30°C , 목표온도 70°C , 가열시간 52초일 때의 결과로 목표 전류는 41.5A로 계산되며 그림 16(b)에서 볼 수 있듯이 전류가 정상적으로 추종되고 있음을 알 수 있었다.



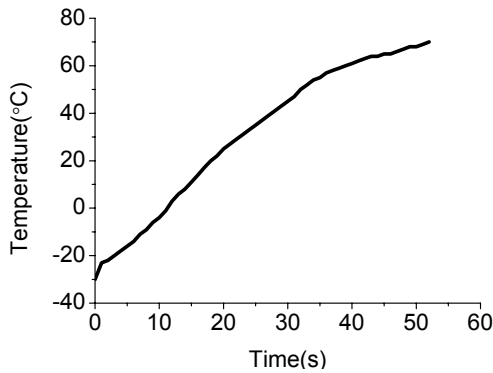
(a) Temperature profile under current control



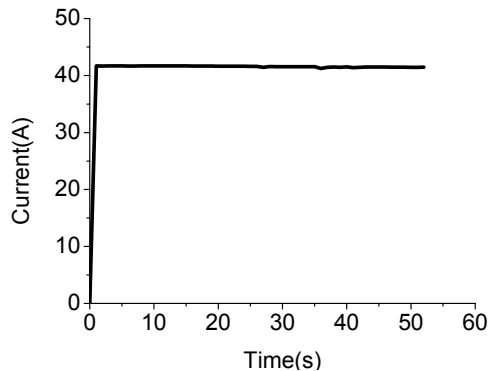
(b) Current profile under current control

[그림 15] 워셔액 가열 시스템의 실험 결과
($T_0 = -30^\circ\text{C}$, $T = 70^\circ\text{C}$, $t = 44$; $I^* = 43\text{A}$)

[Fig. 15] Experimental result of WFHS
($T_0 = -30^\circ\text{C}$, $T = 70^\circ\text{C}$, $t = 44$;
 $I^* = 43\text{A}$)



(a) Temperature profile under current control



(b) Current profile under current control

[그림 16] 워셔액 가열 시스템의 실험 결과
($T_0 = -30^\circ\text{C}$, $T = 70^\circ\text{C}$, $t = 52$; $I^* = 41.5\text{A}$)

[Fig. 16] Experimental result of WFHS
($T_0 = -30^\circ\text{C}$, $T = 70^\circ\text{C}$, $t = 52$; $I^* = 41.5\text{A}$)

5. 결론

본 논문에서는 워셔액 가열시스템의 성능을 향상하기 위한 전류 제어시스템을 제안하고 실험을 통하여 검증하였다. 먼저 워셔액 가열시스템의 성능에 영향을 미치는 설계인자를 구하기 위하여 수학적 모델식을 유도하였다. 모델링 과정을 통하여, 워셔액 가열시스템의 성능과 관련된 설계인자는 목표온도, 가열시간, 인가전류로 알 수 있었다. 또한, 초기온도 값도 성능에 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 수학적 모델에 포함된 시스템 특성파라미터 값은 실험을 통하여 검증하였다. 모델링의 결과 식은 초기온도에 따른 가열시스템의 성능 향상을 위해 제어시스템의 설계에 사용되었다. 본 논문에서 제안한 전류 제어 시스템은 전압 증폭기와 PI 제어기로 구성되어 있으며, 전류 제어시스템의 설계 단계에서 전압 증폭기의 특성을

구명하여 듀티 비와 입력전압에 대한 관계식을 도출하였다. 설계된 전류 제어시스템을 이용하여 워셔액 가열기 시스템과 통합 환경을 구축하였고 초기 온도 조건 및 가열 성능 변수로 가열기의 가열성능 실험을 수행하였다. 실험 결과와 같이 제안된 제어시스템은 설정된 워셔액 가열시스템의 목표성능을 달성하였다. 향후 연구에서는 제안된 시스템의 실차 적용을 위한 검증이 필요한 것으로 판단된다.

References

- [1] Siemens VDO, "Apparatus for warming a washer liquid for a windscreen washing device", Europe Patent, No. 0870657, 1998.
- [2] Lee, R., John, P., "Device to provide heated washer fluid", U.S. Patent, No. 6364010, 2000
- [3] Karl, H. K., Daryl, H. and Eugene P., "An Innovative Method of Heating Windshield Washer Fluid for Improved Windshield Cleaning Efficiency", SAE Technical Paper, March, 2004.
- [4] Strom, P., "Low Cost Integrated Hot Fluid Windshield Cleaning System Enhances Driver Safety", SAE Technical Paper, April, 2008.
- [5] Dave, H. and John W., "Much Improved Vision with ClearFast(Heated Fluid Washer System)", SAE Technical Paper, October, 2004.
- [6] Jochen, B. and Matteo, P., "Heater Liquid Container For A motor Vehicle", U.S. Patent, No. 2005/0036771, 2005.
- [7] Lee, J. H., "Heating method for removing the frozen water of wind shield glass", Korea Patent, No. 0579056, 2003.
- [8] Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller.
- [9] Kim, N. H., Baik, W. S., Choi, K. H., Won, J. S., Hwang, D. H. and Kim, M. H., "Study on Induction Motor Drive using Digitally Controlled Push-Pull Converter", Proceedings of the KIPE Annual conference, PP. 478~480, 2008.
- [10] Kim, N. H., Baik, W. S., Choi, K. H., Won, J. S., Hwang, D. H. and Kim, M. H., "Study on BLDC Motor Drive using Digitally Controlled Flyback-Converter", Proceedings of the KIPE Annual conference, PP. 598~600, 2008.
- [11] Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Boost_converter.
- [12] Song, S. Y., "A Study on the Design of PWM Boost Converter," Master's Thesis, Graduate School of

Electronic Engineering, Changwon University, 2007.

- [13] Kim, I. H., Jung, G. J. and Son, Y. I., "Design of controller for DC/DC boost Converter using PI observer", Proceedings of the KIEE Summer Annual Conference, PP. 1650~1651, 2009.
- [14] Chang, Y. J., Park, Y. C., Chung, K. S., Han, H. T. and Yee, J. J., "A FUZZY PID Control of Electric heater for PEM", Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference, pp. 504~509, 2001.
- [15] Chang, Y. J., Park, Y. C., Chung, K. S., Han, H. T. and Yee, J. J., "A FUZZY PID Control of Supply Duct Outlet Air Temperature for PEM", Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 4, pp. 278~284, 2002.
- [16] Mihir k. DAS., Nand Kishor., "Determination of Heat Transfer Coefficient in Pool Boiling of Organic Liquids Using Fuzzy Modeling Approach", Heat Transfer Engineering, Vol. 31, No. 1, pp. 45~58, 2010.
- [17] Min, K. G., Choi, T. H., Han, J. H. and Chang, K. S., "Modeling of heat efficiency of hot stove based on neural network using feature extraction", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 2, No. 4, pp. 60~66, 1998.
- [18] Katsuhiko, O., Modern Control Engineering, Scitech media, pp. 189, SciTech, 2003.

이 제 성(Je-Sung Lee)

[준회원]



- 2009년 8월 : 한밭대학교 제어계측공학과 (공학사)
- 2012년 2월 : 계명대학교 지능형자동차대학원 지능형자동차공학과 (공학석사)
- 2012년 4월 ~ 현재 : 경창와이퍼 기술연구소 연구원

<관심분야>

지능형자동차 제어시스템 설계, 자동차 전장

김 정 현(Jung-Hyun Kim)

[정회원]



- 2007년 2월 : 영남대학교 전자공학과 (공학사)
- 2010년 8월 : 계명대학교 지능형자동차대학원 지능형자동차공학과 (공학석사)
- 2009년 11월 ~ 2010년 9월 : 경창산업 기술연구소 연구원
- 2010년 10월 ~ 현재 : 경창와이퍼 기술연구소 연구원

<관심분야>

자동차 전장

원 종 섭(Jong-Seob Won)

[정회원]



- 1988년 2월 : 부산대학교 공과대학 정밀기계공학과 (공학사)
- 1998년 5월 : Texas A&M University 기계공학 (공학석사)
- 2003년 5월 : Texas A&M University 기계공학 (공학박사)
- 2005년 2월 ~ 2008년 8월 : 현대자동차 기술연구소 선임연구원

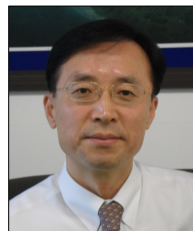
- 2008년 9월 ~ 현재 : 전주대학교 기계자동차공학과 조교수

<관심분야>

친환경/지능형자동차 제어시스템 설계, 지능제어,

이 선 봉(Seon-Bong Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 부산대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1994년 1월 ~ 2005년 4월 : 대우정밀(주) 연구소 수석연구원
- 2005년 5월 ~ 2007년 2월 : 대구경북과학기술원 책임연구원
- 2007년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 기계자동차공학과 교수

<관심분야>

자동차 전장제어, 소성가공