

300A급 일반 산업용 전류센서의 설계 및 제작

박주경, 차귀수*, 구명환
순천향대학교 전기공학과

Design and fabrication of a 300A class general-purpose current sensor

Ju-Gyeong Park, Guee-Soo Cha*, Myung-Hwan Ku
Electrical Engineering, Soonchunhyang University

요약 오늘날 전류센서는 전류량 제어, 감시, 계측 등 매우 다양한 분야에서 사용되고 있다. 또한 전력망의 스마트 그리드사업, 신재생에너지 발전, 전기자동차와 하이브리드 자동차 등의 수요가 커지면서 그 사용영역이 점차 확대되고 있는 추세이다. 여러 종류의 전류센서 중에서 홀 소자를 사용하는 개방형 전류센서는 다른 형식의 전류센서에 비해 가격이 싸고, 크기와 무게가 작은 장점이 있지만 정밀도가 낮고 주위의 온도 변화에 따라 특성이 변하는 것이 단점이다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 정밀도와 온도성능이 뛰어난 300A급 개방형 전류센서를 설계 및 제작하였다. 300A급 개방형 전류센서를 제작하기 위해서 수치해석을 통해 철심을 설계하고 회로해석 프로그램을 이용하여 신호처리에 필요한 회로들을 설계하였다. 이러한 과정을 통해서 SMD(Surface Mount Device) 형태로 제작된 300A급 개방형 전류센서는 30 ~ 300A의 직류 및 교류전류를 통전한 실험에서 정밀도 오차가 0.75% 이내, 선형도 오차가 0.19% 이내였다. 또한 온도보상회로를 포함한 전류센서를 -25 ~ 85°C의 온도범위에서 동작시켰을 때 온도계수는 0.012%/°C 이내였다.

Abstract Current sensors are used widely in the fields of current control, monitoring, and measuring. They have become more popular with the increasing demand for smart grids in a power network, generation of renewable energy, electric cars, and hybrid cars. Although open loop Hall effect current sensors have merits, such as low cost, small size, and weight, they have low accuracy. This paper describes the design and fabrication of a 300A open loop current sensor that has high accuracy and temperature performance. The core of the current sensor was calculated numerically and the signal conditioning circuits were designed using circuit analysis software. The characteristics of the manufactured open loop current sensor of 300 A class was measured at currents up to 300 A. According to the test of the current sensor, the accuracy error and linearity error were 0.75% and 0.19%, respectively. When the temperature compensation was carried out with the relevant circuit, the temperature coefficients were less than 0.012%/°C at temperatures between -25°C and 85°C.

Keywords : Accuracy error, Current sensor, Hall effect, Linearity error, Temperature compensation

1. 서론

전류센서는 인버터, 전기드라이브, 서버, 통신기기, 전원장치, 가전기기, 전기자동차 및 하이브리드 자동차 등 다양한 유형의 응용기기에 널리 사용된다. 점차 에너

지 효율 규정의 요구가 높아지고 더욱 효율적인 에너지 변환이 필요하게 되면서 전류량의 계측, 제어 등을 필요로 하게 되었고 광범위한 분야에 사용되는 전류센서의 수요 또한 빠르게 증가하고 있다. 하지만 모든 응용기기는 공통적으로 전류센서에 대해 크기가 작고 손실이 낮

본 논문은 2016학년도 순천향대학교 교수연구년제에 의하여 연구하였음.

*Corresponding Author : Guee-Soo Cha(Soonchunhyang University)

Tel: +82-41-530-1334 email: gschoo@sch.ac.kr

Received March 10, 2016

Revised (1st April 22, 2016, 2nd May 31, 2016, 3rd June 1, 2016)

Accepted June 2, 2016

Published June 30, 2016

으며 유연성과 경제성이 뛰어난 제품을 원하고 있다. 또한 전체적인 수명주기에 걸쳐서 외부환경요인에 영향이 적고 고도로 정밀하여 신뢰할 수 있게 동작할 것을 요구한다.

일반적으로 전류센서는 크게 분류저항방식의 접촉식 센서와 변류기(CT), 홀소자 및 철심을 사용하는 센서, 로고스키 코일, 자기저항을 사용하는 비접촉식 센서 등 여러가지 방법으로 제작되고 있다[1,2]. 홀 소자를 사용하는 전류센서는 측정범위가 넓고, 선형성이 좋으며, 정밀도가 높고, 입출력사이에 전기적인 절연이 될 뿐만 아니라 여러가지 형태로 제작할 수가 있어서 다른 방식에 비해서 장점이 많다. 이 방식의 전류센서는 홀 소자가 공극에 위치해서 철심과 전기적으로 절연이 되어 있어 과전류나 이상전압이 인가되어도 전류센서가 손상되지 않는다. 홀 소자를 사용하는 전류센서는 개방형과 폐쇄형의 두 가지 방식이 있으며 개방형 전류센서는 가격에 비해 성능이 우수하며 소비전력과 크기, 무게가 작고 가격대 성능비가 높아 폭넓게 사용되고 있다[3,4]. 그러나 개방형 전류센서는 구조가 간단한 대신 정밀도 오차율이 큰 것이 단점이며 성능이 우수한 개방형 전류센서의 정밀도 및 선형도 오차율은 1% 정도이다[5,6]. 또한 개방형 전류센서는 구동방식과 회로에 따라 주변온도에 의해 변동되는 출력전압이 달라지며 온도변화에 대한 영향을 최소화 시킬 필요가 있다.

본 논문에서는 전류센서의 성능지표가 되는 정밀도 및 선형도 오차율과 온도계수를 줄이기 위한 철심과 온도보상회로에 대한 연구과정을 기술하며 300A급 개방형 전류센서를 제작하고 특성을 측정하였다.

2. 개방형 전류센서

홀소자를 이용한 개방형 전류센서는 홀소자의 홀효과를 이용하여 도선에 흐르는 전류를 비접촉식으로 측정한다.

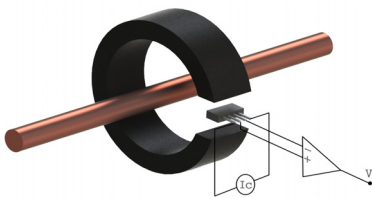


Fig. 1. Schematics of a current sensor using hall element

Fig. 1은 개방형 전류센서의 개략도이며 도선에 전류가 흐르게 되면 도선 주위로 전류에 비례하는 자장이 생성되고 공기보다 투자율이 높은 철심으로 자장의 분포가 집중된다. 철심의 공극에 홀소자를 삽입하고, 홀소자에 일정한 전원을 공급하면 자장에 비례하는 홀 전압을 얻을 수 있다. 이때 선형적인 자장을 검출하기 위해서는 철심의 형상설계와 적당한 홀소자의 선정이 필요하다. 본문에서는 다양한 홀소자 중에서 성능, 크기, 가격 등을 고려하였을 때 AKM(Asahi Kasei Microdevices)사에서 제작한 GaAs 계열의 홀소자 HG-372A를 사용하였다[7]. 또한 홀소자를 동작시키기 위해서는 일정한 전원을 공급해주는 전원공급회로가 필요하고 출력되는 홀 전압은 수 mV정도로 작기 때문에 신호를 증폭하고 보상하는 신호처리회로가 필요하다.

3. 전류센서 설계 및 제작

3.1 철심 설계 및 제작

3.1.1 철심설계

본 논문에서 사용되는 철심은 공극이 존재하는 C형 형태의 철심이다. 철심의 자장분포는 내경, 단면크기 및 형상, 공극거리, 재질, 성층방법 등에 의해 다르게 나타난다. 따라서 유한요소해석 프로그램을 이용하여 철심의 형상변화에 따라 해석을 실시하고 철심의 제작방법을 고려하여 0 ~ 300A의 전류범위에서 선형적인 특성을 나타내는 철심을 설계하였다.

철심의 내경은 C형 철심을 통과하는 전선의 굵기, 전류센서 케이스의 두께, 전선의 절연거리 등의 여유 공간을 고려하여 설계해야한다. AWG(American Wire Gauge)의 규격에 따르면 300A 이상의 전류를 흘릴 수 있는 도선의 최소직경은 12mm 이상이며 앞서 말한 요소들을 고려하여 C형 철심의 내경을 20mm로 설계하였다.

철심의 공극길이나 단면크기는 홀소자의 형상과 전류에 의해 생기는 자장특성을 고려하여 설계해야한다. 철심의 단면적이 커질수록 철심의 공극에서 생기는 자장의 균일도가 증가한다. 홀소자에 인가되는 자장의 균일도가 높아지면 전류센서의 성능을 향상시키는 결과를 나타내지만 성능을 위해 철심의 단면적을 크게 만들면 재료의 사용량과 전류센서의 부피가 커지는 단점이 생긴다. 따라서 최소한의 철심재료를 사용하며 홀소자에 인가되는 자장이 적당히 균일하게 되는 형상을 설계하여야한다.

사용하는 홀소자의 두께는 약 1mm 정도로 홀소자와 철심공극 사이의 여유 공간을 고려하여 철심의 공극거리는 2mm로 설계하였다. 홀소자의 형상은 정사각형의 형상과 가까워 철심의 단면 또한 정사각형으로 결정하였고 단면의 크기는 $3 \times 3 \text{mm}^2 \sim 6 \times 6 \text{mm}^2$ 인 총 4가지 경우에 대해 철심공극의 자장세기를 확인하였다. Fig. 2는 C형 철심의 형상을 변화시키면서 300A의 전류가 흐를 때 철심에 발생하는 자장을 계산한 예다. Fig. 2 (a)와 Fig. 2 (b)는 각각 단면적이 $3 \times 3 \text{mm}^2$, $6 \times 6 \text{mm}^2$ 인 경우로 공극의 길이는 양쪽 모두 2mm이다.

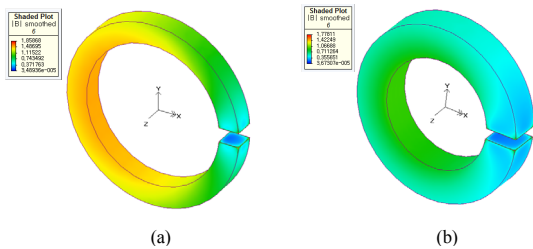


Fig. 2. Magnetic field distribution of C-type core (a) $3 \times 3 \text{mm}^2$ (b) $6 \times 6 \text{mm}^2$

철심공극에서 단면적의 크기에 따라 홀소자에 균일한 자장이 분포되는지 확인하기 위하여 철심공극의 XZ평면 수평자장분포를 확인하였다. Fig. 3은 공극에서의 자장분포를 축별로 나타낸 것으로 축의 방향은 Fig. 2의 방향을 기준으로 한다. Fig. 3 (a)는 X축 방향의 자장분포를 나타낸 것이고 Fig. 3 (b)는 Z축 방향의 자장분포를 나타낸 것이다.

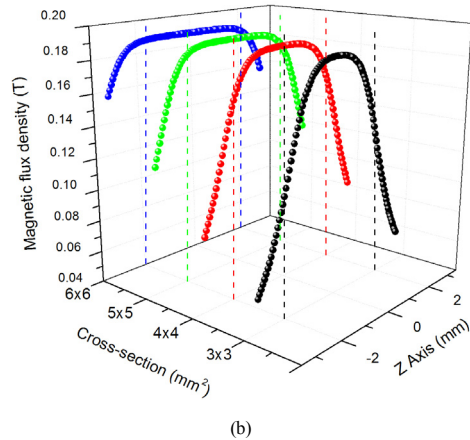
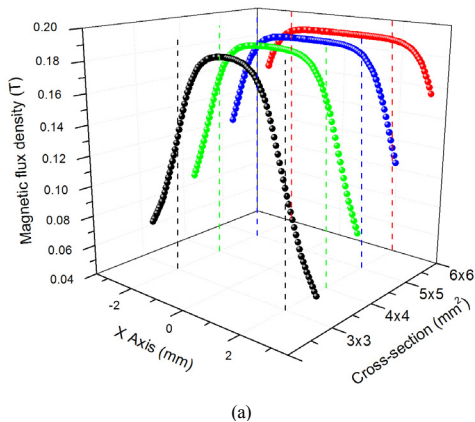


Fig. 3. Magnetic flux density in the core along the current (a) X Axis (b) Z Axis

점선으로 표시된 부분이 홀소자의 형상크기이며 각 단면적별로 자장이 홀소자에 균일하게 분포되는지 확인하였다. 단면적의 크기가 $3 \times 3 \text{mm}^2$ 과 $4 \times 4 \text{mm}^2$ 인 경우에는 X축과 Z축 모두 양끝에서 불균일하고, 단면적의 크기가 $5 \times 5 \text{mm}^2$ 와 $6 \times 6 \text{mm}^2$ 인 경우에는 균일한 자장이 분포되었다. Fig. 4는 철심의 단면적별 전류에 따른 철심공극의 평균자속밀도를 나타낸 것이다. 실제 사용영역인 0 ~ 300A의 전류범위에서 단면적이 $3 \times 3 \text{mm}^2$ 과 $4 \times 4 \text{mm}^2$ 인 경우 자속밀도가 약간 포화되었고 $5 \times 5 \text{mm}^2$ 와 $6 \times 6 \text{mm}^2$ 인 경우에는 자속밀도가 선형적으로 나타나났다. 따라서 철심 단면적의 크기는 자장이 균일하게 분포하며 0 ~ 300A까지 선형적으로 자장의 세기가 나타나는 최소크기인 $5 \times 5 \text{mm}^2$ 으로 설계하였다.

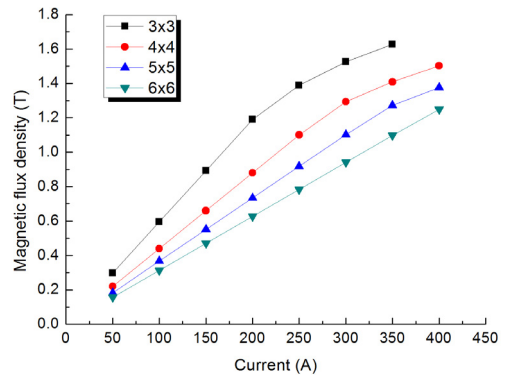


Fig. 4. Magnetic flux density at the air gap versus current

3.1.2 철심제작

철심의 재질과 성층방법에 따라 C형 철심에 나타나는 자장특성이 다르게 나타나므로 사용목적에 맞는 적당한 철심제작방법의 선정이 중요하다. 제작된 철심은 유한요소해석 프로그램을 통해 설계한 형상을 사용하였고 실리콘 열처리된 Si의 재질로 제작하였다. Fig. 5는 제작된 C형 철심이며 날장의 코어를 적용한 무방향성 적층형 철심과 코어를 감고 공극을 자른 방향성 권선형 철심을 제작하여 자장특성을 확인하였다.

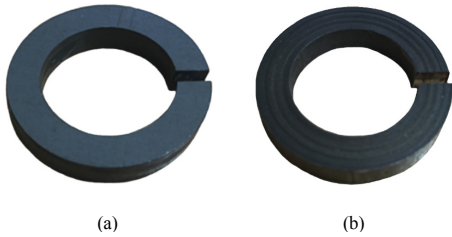


Fig. 5. C-type core (a) Laminate core (b) Wound core

자장특성실험은 도선에 C형 코어를 설치하고 0 ~ 400A의 전류를 올리고 내리면서 철심의 공극자장을 가우스미터로 측정하였으며 Fig. 6은 전류에 따른 공극의 자속밀도를 나타낸다. 측정된 공극의 자속밀도에 따른 적철심과 권철심의 선형도 오차율은 각각 1.62%, 0.42%이다. 또한 0A에서 400A까지 전류를 올리고 다시 0A로 전류를 내린 뒤 자장을 측정한 결과, 적철심에서 약 0.3mT 정도의 잔류자기장이 측정되었다. 따라서 선형성이 우수하고 잔류자기의 영향이 적은 방향성 권철심을 전류센서에 사용하였다.

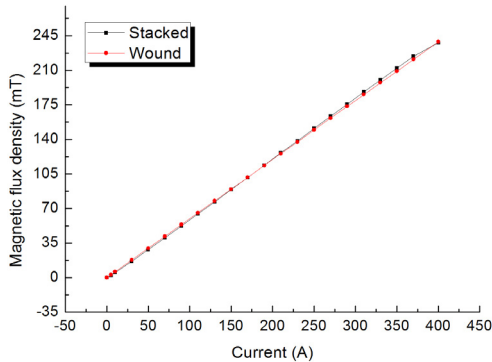


Fig. 6. Magnetic flux density of the air gap versus current

3.2 회로 설계 및 제작

3.2.1 회로설계

본 논문에서는 온도변화에 영향이 적은 전원을 공급하기 위해 Fig. 7과 같은 온도특성이 우수한 전류원 형태의 정전류원 공급회로를 설계하였다. 우선 입력전원에 상관없이 일정한 전압을 공급하기 위해 제너다이오드를 사용하여 1차적으로 정전압회로를 구성하였다. 정전압회로로부터 일정한 전압이 공급될 때 2차적으로 OP-AMP와 저항소자를 이용하여 일정한 전류를 공급하도록 Howland current source 회로를 설계하였다[8].

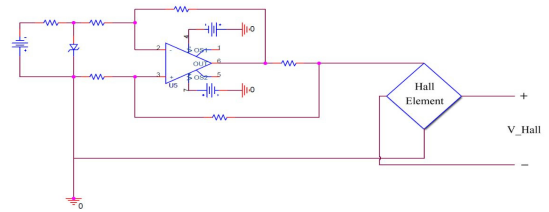


Fig. 7. Current source for Hall element

정전류원을 전원으로 사용하여 정전압원에 비해 온도에 따른 출력변화를 줄였지만 더 정밀한 전류센서를 제작하기 위해서는 온도에 따른 미세한 출력변화도 줄여야 한다. 홀소자뿐만 아니라 제너다이오드와 저항소자도 온도에 대한 영향을 받아 홀소자의 출력에 영향을 끼친다. Fig. 8은 제너다이오드별 온도에 따른 홀소자의 입력전류를 회로해석 프로그램으로 계산한 결과이다. 계산결과 제너다이오드 1N5231 (5.1V)이 온도변화에 따른 전류 변화가 가장 적은 것으로 확인되었다.

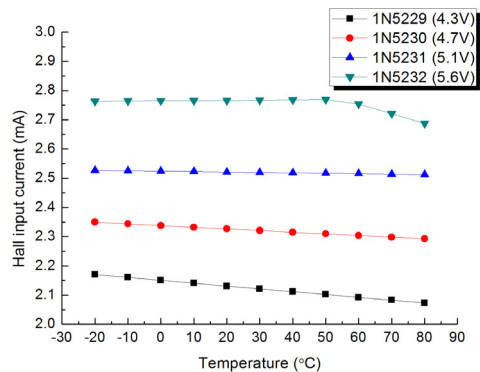


Fig. 8. Input current of hall element versus temperature

Table. 1은 온도에 따른 제너다이오드별 홀 전압을 도시하며 온도계수를 계산한 표이다. 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 1N5231의 제너다이오드 사용 시 온도계수가 0.049%/°C로 가장 낮아 정전류원회로에 1N5231의 제너다이오드를 사용하기로 결정하였다.

Table 1. Hall voltage and temperature coefficient versus zener diode

Zener diode	Temperature (°C)	Hall voltage (mV)	Temperature Coefficient (%/°C)
1N5229	13	232.8	0.093
	65	221.5	
1N5230	12	256.3	0.067
	63	247.6	
1N5231	12	268.4	0.049
	63	261.7	
1N5232	13	295.6	0.139
	61	275.9	
1N5233	11	296.9	0.141
	62	275.6	

정전류원회로에 의해 일정한 전류가 홀소자에 공급되면 홀소자의 홀효과를 이용하여 자장을 검출할 수 있다. 하지만 홀소자에서 출력되는 홀 전압은 작은 신호이기 때문에 신호의 증폭이 필요하다. 또한 여러 소자들의 온도특성에 따라 출력특성이 바뀌므로 신호에 대한 온도보상과 노이즈 제거를 위한 필터회로가 필요하다. Fig. 9는 신호처리회로를 나타내며 차동증폭기, 온도보상, 저역통과필터가 포함된다.

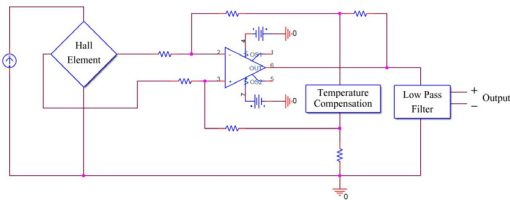


Fig. 9. Signal conditioning circuit

본 논문에서는 300A 전류에서 4V의 전압을 출력하도록 차동증폭회로를 설계하였고 차동증폭회로에 가변저항과 NTC(Negative Temperature Coefficient) Thermistor를 추가하여 온도보상을 실시하였다.

홀소자는 온도가 증가함에 따라 입력저항이 선형적으로 증가하며[7] 홀 전압은 선형적으로 감소한다. 이러한 홀 전압을 보상하기 위해 별도의 온도보상회로가 필요하다

며 가변저항과 NTC Thermistor를 일반저항과 연결하여 온도보상회로를 구성하였다.

Fig. 10은 일반저항과 NTC Thermistor를 구성하는 방법에 따라 온도에 따른 저항 값의 변화를 보여준다[9]. 온도에 따라 저항을 선형적으로 감소시키는 온도보상회로는 일반저항과 NTC Thermistor를 직병렬로 연결하는 방식이므로 직병렬회로로 온도보상회로를 설계하였다.

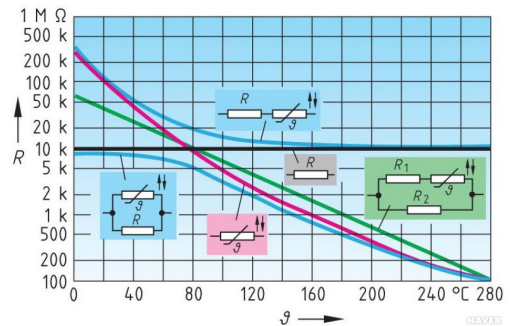


Fig. 10. Resistance of resistor and NTC thermistor combinations versus temperature

Fig. 11은 증폭 및 온도보상 회로를 나타낸 것으로 일반적인 차동증폭기 형태에서 이득을 조절할 수 있도록 변형시킨 회로이다. 이득조절부의 저항이 변화하면 차동증폭기의 증폭비율이 변하게 된다. 따라서 일반저항과 NTC Thermistor를 직병렬로 연결하는 방식의 온도보상회로를 이득조절부에 추가하고 저항을 선형적으로 변화시켜 홀 전압을 보상해주었다.

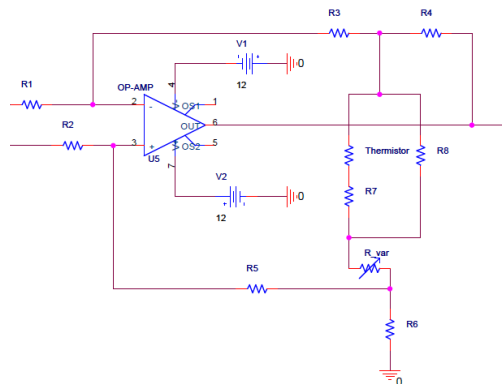


Fig. 11. Amplification and temperature compensation circuit

3.2.2 회로제작

해석 및 설계를 기반으로 SMD형의 PCB기판을 제작하고 철심과 전류센서 케이스를 조립하여 최종형태의

300A급 개방형 전류센서를 제작하였다. Fig. 12는 SMD 형으로 제작된 전류센서의 PCB기판이다. Fig. 12 (a)와 Fig. 12 (b)는 각각 PCB 기판의 전면과 후면을 나타내며 PCB, 자성철심, 케이스를 조립한 뒤 소프트 에폭시를 몰딩하여 최종형태의 전류센서를 제작했다. 전체 외형의 크기는 가로 44mm, 세로 32.5mm, 높이 11mm이다.

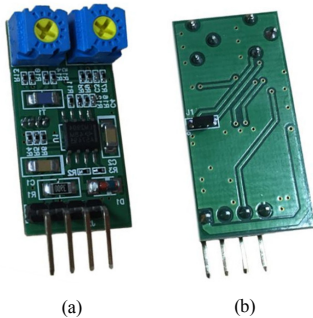


Fig. 12. SMD type 300A class current sensor
(a) Front (b) Back

4. 전류센서 특성실험

SMD형 300A급 개방형 전류센서 3개를 제작하고 각각의 특성을 비교하기 위해서 전류통전실험과 온도특성 실험을 실시하였다. 전류통전실험은 30 ~ 300A의 전류 범위에서 실시하였으며 직류전류와 60Hz의 교류전류를 사용하였다. 온도특성실험은 -25 ~ 85℃의 온도범위에서 25℃를 기준으로 값이 얼마나 변하는지 온도계수를 확인하는 실험을 실시하였다.

4.1 전류통전실험

전류통전실험은 3개의 전류센서 각각을 30 ~ 300A의 전류범위에서 30A씩 증가시켜감에 따라 출력변화를 확인하였다. 실험 방법으로 실온에서 오프셋을 조절한 뒤 300A의 전류가 전선에 흐를 때 전류센서에서는 4V의 출력을 갖도록 설정을 한다. 또한 전류를 공급하는 방식은 자성철심에 8턴의 전선을 통과시켜 300A의 경우 한 턴 당 37.5A의 전류가 흐르게 하는 방식으로 전류를 공급하였고 이때 전선에 흐르는 전류는 분류저항을 이용하여 측정하고 전류센서의 출력전압과 비교하였다. Fig. 13은 전선에 흐르는 전류에 따른 전류센서의 출력전압을 표시한 것이다.

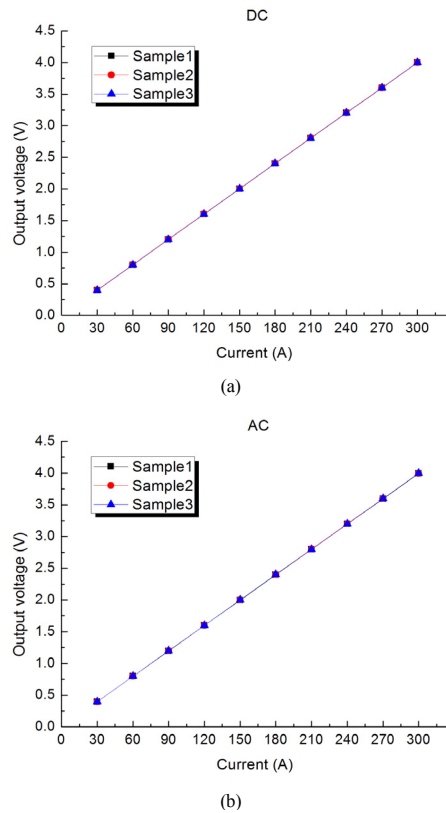


Fig. 13. Output voltage of the current sensors versus current
(a) DC current (b) AC current

Fig. 13 (a)는 직류전류, Fig. 13 (b)는 교류전류가 흐르는 경우이며 측정된 전류센서의 정밀도 오차율 및 선형도 오차율은 각각 0.75% 이내, 0.19% 이내이다.

4.2 온도특성실험

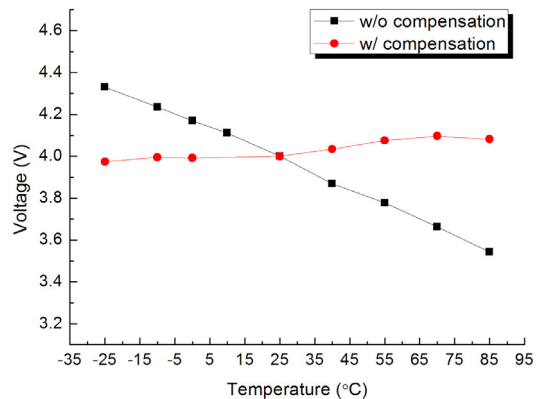


Fig. 14. Output voltage of the current sensor before and after temperature compensation

온도특성실험에서는 $-25 \sim 85^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에서 온도변화에 따른 전류센서 출력변화를 측정하였다. Fig. 14는 300A에서 4V의 출력을 기준으로 온도보상회로가 들어가기 전과 후의 온도별 출력전압을 비교한 것이다.

Table. 2는 실험결과와 값을 표로 나타낸 것으로 온도별 300A에서의 출력과 오차율을 나타내고 온도계수로 환산한 값을 나타낸 것이다.

Table 2. Output voltage, error and temperature coefficient

Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Output (V)		Error (%)		Temperature Coefficient ($\%/^{\circ}\text{C}$)	
	Before	After	Before	After	Before	After
-25	4.203	4.015	5.50	0.375	0.1099	0.0075
-10	4.149	4.011	4.14	0.275	0.1183	0.0079
0	4.103	4.009	2.99	0.225	0.1195	0.009
10	4.074	4.007	2.26	0.175	0.1506	0.0117
25	3.984	4.000	0	0	0	0
40	3.893	4.000	-2.28	0	0.1523	0
55	3.785	3.999	-4.99	-0.025	0.1665	0.0008
70	3.713	3.989	-6.80	-0.275	0.1512	0.0061
85	3.638	3.971	-8.68	-0.725	0.1447	0.0121

온도보상회로를 추가하기 전 출력전압은 $-25 \sim 85^{\circ}\text{C}$ 온도범위에서 4.203 ~ 3.638V로 측정이 되어 온도가 증가함에 따라 출력이 감소하는 것을 알 수 있다. 온도보상회로를 추가한 후에 출력전압은 4.015 ~ 3.971V이었다. 온도보상 전과 후의 온도계수로 비교하면 보상 전에는 최대 $0.166\%/^{\circ}\text{C}$ 이하, 보상 후는 $0.012\%/^{\circ}\text{C}$ 로써 온도변화에 따른 출력전압의 변화가 현저히 감소한 것을 알 수 있다.

5. 결론

홀 소자를 사용하는 개방형 전류센서는 가격이 싸고, 크기와 무게가 작은 등 여러 가지 장점이 있지만 정밀도가 낮은 것이 단점이다. 이러한 단점을 보완하여 전류센서의 성능지표인 정밀도 및 선형도의 오차율과 온도계수를 줄이기 위하여 철심과 신호처리회로를 설계하였다. 본 논문에서는 300A급 일반산업용 전류센서를 설계하고 제작한 후에 특성실험을 실시하여 그 결과를 기술하였다. 철심설계를 통해 선형도 오차율 0.42% 이내의 철심을 제작하였고 신호처리회로 설계를 통해 온도보상을

실시하였다. 제작된 철심, SMD타입의 회로기판, 케이스를 조립하여 전류센서를 제작하였고 제작된 전류센서는 정밀도 오차율 0.75% 이내, 선형도 오차율 0.19% 이내이다. 또한 $-25 \sim 85^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에서 온도계수는 $0.012\%/^{\circ}\text{C}$ 이내이다.

References

- [1] G. Velasco-Quesada, M. Román-Lumbreras, A. Conesa-Roca, F. Jeréz, "Design of a Low-Consumption Fluxgate Transducer for High-Current Measurement Applications," IEEE Sensors Journal, vol. 11, no. 2, pp. 280-287, Feb. 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/JSEN.2010.2054831>
- [2] X. Yang, Y. Li, W. Guo, W. Zheng, C. Xie, H. Yu, "A New Compact Fluxgate Current Sensor for AC and DC Application," IEEE Trans. Magnetics, vol. 50, no. 11, 4005704, Nov. 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TMAG.2014.2330373>
- [3] C. Liu, J. G. Liu, "Offset Error reduction in Open Loop Hall Effect Current Sensors Powered with Single Voltage Source," 2014 5th IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), Aachen, Germany, Sept. 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/amps.2014.6947705>
- [4] G. Gokmen, K. Tuncalp, "The design of a Hall effect current transformer and examination of the linearity with real time parameter estimation," Electronics and Electrical Engineering, No. 5(101), pp.3-8, 2010.
- [5] Q. Zhang, J. G. Liu, "A new complementary symmetrical structure of using dual magnetic cores for open loop Hall-Effect current sensors," PCIM Europe 2015, Nuremberg, Germany, pp.1904-1911, May 2015.
- [6] LEM Co. Product Information [Internet], "Current Transducer HTB 50..400-P/SP5," Available From: http://www.lem.com/hq/en/component/option,com_catalog/task,displaymodel/id,64.04.46.000.0/. (accessed Apr. 20, 2016)
- [7] AKM Co. Product Information [Internet], "GaAs Hall Element HG-372A Datasheet," Available From: <http://www.akm.com/akm/en/file/datasheet/HG-372A.pdf>. (accessed Apr. 20, 2016)
- [8] E. Ramsden, Hall-Effect Sensors, Theory and Application, pp.35-57, Elsevier, 2006.
- [9] C. H. Kim, "NTC-thermistor," GoldenBell, 2011, Available From: http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1982027&ref=y&cid=42331&categoryId=42334#_179. (accessed May 20, 2016)
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-075067934-3/50004-1>

박 주 경(Ju-Gyeong Park)

[준회원]



- 2015년 2월 : 순천향대학교 전기공학
학과 (공학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교
전기공학과 (석사과정)

<관심분야>
전기기계, 전자회로

차 귀 수(Guee-Soo Cha)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 전기공학
과 (공학박사)
- 1987년 3월 ~ 현재 : 순천향대학
교 전기공학과 교수

<관심분야>
전기기계, 에너지변환

구 명 환(Myung-Hwan Ku)

[준회원]



- 2010년 2월 : 순천향대학교 전기공
학과 (공학석사)
- 2015년 2월 : 순천향대학교 전기공
학과 (공학박사)
- 2015년 6월 ~ 현재 : 스태츠칩팩
코리아 개발부 책임연구원

<관심분야>
전기기계, 전자회로