

Edge AI 기반 대전류 이상 감지 시스템을 위한 페루프 NiFe 플럭스게이트 전류 센서 모듈의 개발 및 성능 평가

이선하*¹, 김유진*², 이형만*³

Development and Performance Evaluation of a Closed-Loop NiFe Fluxgate Current Sensor Module for an Edge AI-based High-Current Anomaly Detection System

Sunha Lee*¹, Yoojin Kim*², and Hyungman Lee*³

This work was supported by the Technology Development Program (S3105024 & S3207682) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea) and the Technology Innovation Program (00227306) funded by the Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE, Korea)

요 약

Edge AI 기반 이상 감지 및 실시간 상태 모니터링 기술의 확산으로 고신뢰 데이터 확보의 중요성이 증가하고 있다. 특히 전기자동차 및 초고속 충전 시스템에서 정밀한 대전류 계측은 진단 신뢰도 확보의 핵심 요소이다. 본 연구에서는 NiFe 박막 코어를 적용한 플럭스게이트 기반 페루프 대전류 측정 모듈을 설계 및 제작하고 구동 특성과 계측 성능을 평가하였다. 이를 통해 외부 자기장에 따른 구동 전류 파형과 Duty 변화 및 인덕턴스 변화에 따른 PWM 주파수 특성을 분석하여 안정적 동작 조건을 도출하였다. 0 - 504 A 구간에서 5회 반복 측정한 결과 선형성 0.42%, 반복성 0.39%, 히스테리시스 0.37%, RMS 오차 약 0.4% 이내의 측정 정확도를 확인하였다. 제안한 모듈 구조는 고정밀 대전류 계측 및 Edge AI 기반 이상 감지 시스템의 입력 센서로 활용 가능함을 확인하였다.

Abstract

With the spread of Edge AI-based anomaly detection and real-time condition monitoring, reliable sensor data have become important for inference models. In high-current applications such as electric vehicles and ultra-fast chargers, precise current measurement is essential for diagnostic reliability. In this study, a fluxgate-based closed-loop large-current measurement module with a NiFe thin-film core was designed, fabricated, and evaluated. Driving current waveforms and duty variation under external magnetic fields, together with PWM frequency changes due to inductance variation, were analyzed to determine stable operating conditions. Five repeated measurements over 0 - 504 A showed linearity, repeatability, and hysteresis of 0.42%, 0.39%, and 0.37%, respectively, with an RMS error within 0.4%. The proposed module is suitable for precision large-current measurement and Edge AI-based anomaly detection.

Keywords

fluxgate current sensor, high-current measurement, closed-loop compensation, Edge AI

* 한국전자기술연구원 스마트센서연구센터(*³ 교신저자)
- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0007-9733-2245>
- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0006-4679-0230>
- ORCID³: <https://orcid.org/0009-0005-8660-6058>

• Received: May 11, 2026, Revised: Jul. 06, 2026, Accepted: Jul. 09, 2026
• Corresponding Author: Hyungman Lee
Dept. of Smart Sensor Convergence Research Center
Korea Electronics Technology Institute, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Korea
Tel.: +82-31-789-7271, Email: lhm0703@keti.re.kr

I. 서 론

전기자동차 보급 확대와 함께 350 - 500 kW급의 초고속 충전 인프라가 빠르게 확산되면서 충전 시스템은 더욱 높은 전압과 대전류를 처리하는 방향으로 발전하고 있다. 또한 전기자동차는 친환경 동력원을 넘어 자율주행, 소프트웨어 정의 차량(SDV, Software Defined Vehicle), 지능형 에너지 관리 기술이 결합된 전자 시스템으로 고도화되고 있다. 하지만 이에 따라 충전 중 이상 전류로 인한 화재 및 배터리 손상 등 안전사고 또한 증가하고 있으며, 이상 전류를 실시간으로 조기 감지하고 제어함으로써 안전을 확보하는 것이 핵심 과제로 부상하고 있다 [1]. 특히 수백 A급 전류가 흐르는 초고속 충전 환경에서는 높은 정확도와 빠른 응답속도, 전기적 절연성, 외란 내성을 동시에 만족하는 전류 센싱 기술이 요구된다.

대전류 계측 방식으로는 직접 검출 방식과 간접 검출 방식이 있다. 직접 검출 방식의 셉트 저항 기반 대전류 측정은 전력 손실과 발열이 크고 절연이 어렵기 때문에 전기차 대전류 감지 시스템에서는 한계를 가진다. 반면 간접 검출 방식은 전류가 생성하는 자기장을 비접촉 상태에서 측정하므로 절연과 안전성 측면에서 유리하다. 특히 넓은 범위의 자기장을 검출하는 방식보다 페루프 구조 방식은 정확도와 선형성이 우수하고 환경 변화에 대한 민감도가 낮아 극한 환경의 대전류 계측에 더욱 적합하다. 페루프 구조 방식에 사용되는 자기 센서는 수 mT 이하의 좁은 범위에서도 고감도·고선형성을 가지는 자기 센서가 적합하며, 대표적으로 플렉스게이트 센서, 자기저항 센서 등이 있다[2]. 최근에는 전류 계측의 정밀도를 높이기 위해 센서 단에서 직접 데이터를 처리하는 Edge AI 기반의 지능형 진단 구조가 도입되고 있다[3].

Edge AI는 현장에서 직접 추론을 수행함으로써 충전 시스템에서 발생하는 전류 신호를 즉시 분석하고 비정상 패턴을 조기에 감지할 수 있다. 또한 Edge AI는 전류뿐만 아니라 전압, 온도, 진동 등 다채널 센서 입력을 효율적으로 처리할 수 있어 조기 감지 및 상태 진단의 지연을 최소화할 수 있다[4]. 아울러 네트워크 연결이 제한된 환경에서도 현장에

서 즉시 고장 가능성을 판단할 수 있으며, 클라우드 서버 구축 및 상시 데이터 전송에 대한 부담을 완화할 수 있어 설비 단위 확장성과 운영 비용 측면에서도 유리하다.

본 연구에서는 Edge AI 기반의 실시간 전처리, 특징 추출 및 추론이 가능한 대전류 진단 시스템을 제안한다. Edge AI 추론 성능은 입력 데이터의 신뢰성에 직접 의존하므로, 대전류 구간의 미세 변동을 노이즈 없이 포착하는 고해상도 센싱 기술이 핵심 요구사항으로 작용한다. 이를 위해 플렉스게이트 센서 기반 페루프 전류 센서 모듈을 설계 및 구현하였다. 또한 플렉스게이트 센서의 코어는 소형화와 반복성 있는 제작이 가능한 NiFe 박막 공정을 통해 제작하였으며, Texas Instruments사의 페루프 회로를 적용하여 500 A 대전류에 따른 출력 전압 데이터를 취득하였다. 취득된 데이터를 바탕으로 선형성, 반복성 및 히스테리시스 특성을 정량적으로 분석하여 센서의 측정 성능을 평가하였으며, RMS 오차 기준 약 0.4% 이내의 측정 정확도를 확보하였다. 이를 통해 대전류 인가 조건에서의 출력 전압 특성을 실험적으로 검증하고 고전류 모니터링 환경에서의 적용 가능성을 확인하였으며, 측정된 전류 데이터가 Edge AI 기반 진단 시스템의 신뢰성 있는 입력 데이터로 활용될 수 있음을 보였다.

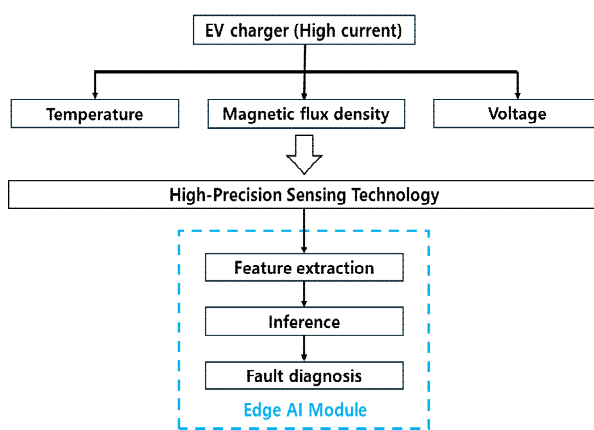


그림 1. Edge AI 기반 대전류 이상 감지 시스템 개략도
Fig. 1. Schematic of an edge AI-based high-current anomaly detection system

II. 대전류 모듈 측정 원리 및 코어 제작 방법

본 연구에서는 플렉스게이트 센서의 동작 원리와

외부 자기장에 따른 여자 전류(I_{ext})의 전기적 특성을 분석하고, 페루프 보상 구조 기반 대전류 측정 모듈을 제작하여 성능 및 정확도를 평가하였다.

본 연구에서 사용된 플럭스게이트 센서는 구동 코일과 센싱 코일이 분리된 일반적인 구조와 달리, 구동 코일만으로 구성된 단일 코일 구조를 채택하였다. 외부 자기장(B)이 존재하지 않을 때 교류 여자 자계에 의해 포화된 코어는 자화 상태가 대칭이며, 양·음극의 포화 타이밍이 동일하다. 이에 따라 I_{ext} 의 극성 반전 시점이 동일하며 Duty가 50%를 유지한다. 반면 B 가 존재하면 코어는 자화 상태가 왜곡되며 극에 따라 포화 타이밍이 달라진다. 이는 I_{ext} 의 극성 반전 시점에 영향을 미치며 Duty가 50%에서 편차를 보인다. 따라서 이 Duty 편차를 이용하여 외부 자기장을 측정할 수 있다[5].

페루프 보상 방식의 대전류 측정 모듈은 단일 코일 구조의 플럭스게이트 센서와 B 를 상쇄하기 위한 보상 코일로 구성된다. 제어기에서는 Duty 편차를 오차 신호로 피드백하여 유효 자기장(B_{eff})이 0이 되도록 보상 전류(I_{comp})를 조절한다. 따라서 보상 자기장(B_{comp})은 B 와 반대 방향으로 생성된다. 즉, 제어기는 I_{ext} 의 Duty가 50%로 수렴할 때까지 I_{comp} 를 조절하며, 정상 상태에서 I_{comp} 는 B 에 비례한다. 이를 통해 대전류를 간접적으로 측정할 수 있다. 그림 2는 Duty 피드백을 이용한 플럭스게이트 페루프 보상 동작 개략도이다.

대전류 측정 모듈에 사용한 플럭스게이트 센서 코어는 VC 6025 I50 아몰퍼스 필름과, DC 마그네톤 스퍼터링으로 제작한 $1\ \mu\text{m}$ 두께의 Ni80Fe20 박막 코어를 사용하였다. 보상 코일은 1mm로 절단한 나노결정질 토로이드 코어에 직경 0.4 mm 구리선을 2300회 권선하여 제작하였다.

페루프 기반 회로는 Texas Instruments사의 DRV401을 사용하였다. 이 회로에서는 I_{ext} 를 PWM으로 구동하며, Duty를 피드백 신호로 활용한다. 또한 기준 전압을 출력 오프셋으로 설정하여 외부 자기장 방향에 따라 약 0 - 5 V의 출력 전압을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 먼저 페루프 보상 적용 전 단일 코일 플럭스게이트 센서에 B 를 단계적으로 인가하여 Duty 편차가 외부 자기장을 반영하는 오차 신호

로 유효한지 확인하였다. 이후 페루프 보상 시스템에서 PWM 주파수 최적 동작점을 도출한 후, 0 - 504 A 범위의 대전류를 왕복 5회 측정하였다. 측정 결과로부터 센서 출력의 선형성(Linearity), 히스테리시스(Hysteresis), 반복성(Repeatability)을 분석하였으며, 정확도는 RMS 오차로 산출하였다.

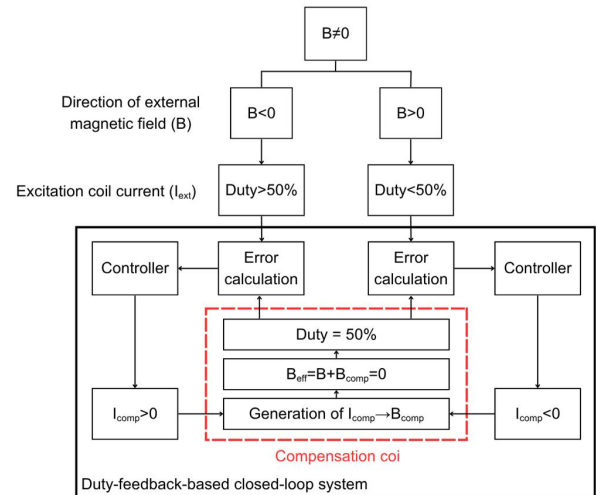


그림 2. Duty 피드백을 이용한 플럭스게이트 페루프 보상 동작 개략도

Fig. 2. Schematic of duty-based closed-loop compensation in a fluxgate current sensor

III. 실험 결과

3.1 플럭스게이트의 구동 및 자화 응답 특성

본 절에서는 외부 자기장 변화에 따른 I_{ext} 파형 및 Duty 변화를 분석하여 플럭스게이트 코어의 자화 응답 특성을 확인하였다.

그림 3은 외부 자기장 인가 조건에서 플럭스게이트 코어를 구동하고 I_{ext} 를 측정하기 위한 회로 개략도를 나타낸다. 외부 자기장은 Helmholtz coil을 이용하여 인가하였으며, Sense resistor를 통해 I_{ext} 의 변화를 관찰하였다.

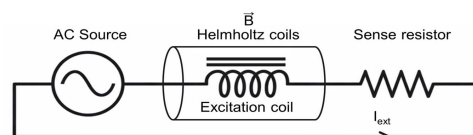


그림 3. 외부 자기장에 따른 플럭스 게이트 센서 I_{ext} 측정 회로 개략도

Fig. 3. Excitation current measurement circuit of the fluxgate sensor under an external magnetic field

그림 4는 아몰퍼스 필름에 구동 코일을 170회 감은 구조에서 B 를 0 - 2 mT 범위로 인가했을 때 I_{ext} 의 파형을 보여준다. 그림 4(a)에서 B 가 0 mT일 때 Duty는 49.4%로 약 50%에 근접하였다. 그러나 B 가 증가함에 따라 전류 파형이 비대칭적으로 왜곡되며 Duty 변화가 발생한다. 특히 그림 4(c)에서 0.35 mT일 때 29.1%로 가장 큰 변화를 보인다. 이러한 변화는 B 가 존재할 때 자화 곡선이 비대칭적으로 왜곡되며, 이에 따라 코어의 포화 상태에 도달하는 시간이 방향에 따라 달라지는 것으로 판단된다. 그림 4(e)는 B 가 1.5 mT일 때의 응답으로, 이미 포화 상태인 코어의 투자율 감소로 인해 인덕턴스의 영향이 미미한 것으로 보인다. 따라서 Duty는 처음 상태와 비슷한 약 49.8% 수준으로 회복되는 것을 확인할 수 있다.

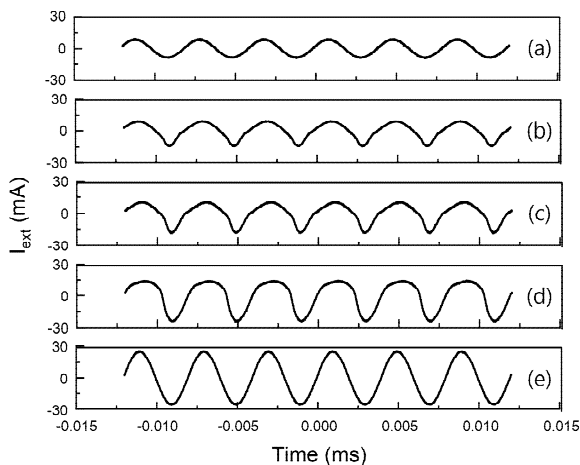


그림 4. 외부 자기장 (a) 0 mT, (b) 0.3 mT, (c) 0.35 mT, (d), 0.5 mT, (e) 1.5 mT에서의 I_{ext} 의 파형 변화

Fig. 4. Waveforms of the excitation current under external magnetic fields(B) of (a) 0 mT, (b) 0.3 mT, (c) 0.35 mT, (d), 0.5 mT, (e) 1.5 mT

DRV401 페루프 회로는 I_{ext} 의 파형을 PWM 신호로 변환하고 Duty가 항상 50%를 유지하도록 I_{comp} 를 조절하는 방식으로 동작한다[6]. PWM 주파수는 플럭스게이트 센서의 인덕턴스에 따라 결정되므로 대전류 모듈 설계 시 여기 자계가 코어를 항상 포화시킬 수 있도록 인덕턴스를 적절히 조절하는 것이 필요하다.

그림 5는 인덕턴스에 따른 PWM 주파수의 변화를 보여준다. 실험 결과 인덕턴스가 증가할수록

PWM 주파수가 반비례적으로 감소하였다. 이는 높은 인덕턴스가 포화 전류의 상승 속도를 저해하여 코어 포화 시간 지연에 영향을 미치는 것으로 보인다. DRV401의 권장 PWM 주파수 범위는 250 kHz에서 450 kHz이며, 이 범위를 벗어날 경우 회로 내부의 비교기 및 신호처리 회로에서 오류가 발생할 수 있다. 또한 PWM 주파수가 낮으면 외란이나 노이즈에 취약해져 회로 동작의 신뢰도가 저하될 수 있다. 따라서 코어 특성에 맞는 최적의 인덕턴스 설계가 필요하다.

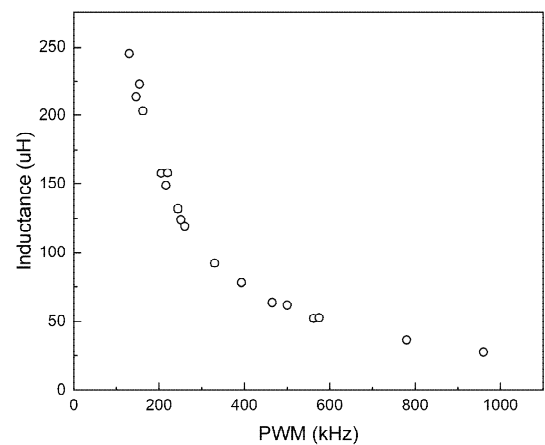


그림 5. 인덕턴스에 따른 PWM 주파수 변화

Fig. 5. PWM frequency variation with respect to inductance

3.2 대전류 측정 응용

앞 절에서 도출한 플럭스게이트 센서의 안정 동작 조건을 기반으로, 본 절에서는 제안한 센서 모듈의 대전류 계측 응용 가능성을 평가하였다. DC 전원 공급 장치와 전자부하를 이용하여 0 - 504 A 범위의 1차 전류를 인가하였으며, 페루프 플럭스게이트 센서의 출력 전압을 측정하였다. 또한 측정된 전류 신호가 Edge AI 기반 이상 감지 시스템의 입력 데이터로 활용될 수 있는지 검토하기 위해 전체 측정 및 분석 시스템 구성을 제시하였다.

그림 6은 Edge AI 기반 대전류 측정 및 분석 시스템의 개략도를 나타낸다. 시스템은 크게 대전류 인가부, 플럭스게이트 센서 모듈, MCU 기반 데이터 수집부, MPLAB® ML Model Builder 및 온디바이스 추론부로 구성된다.

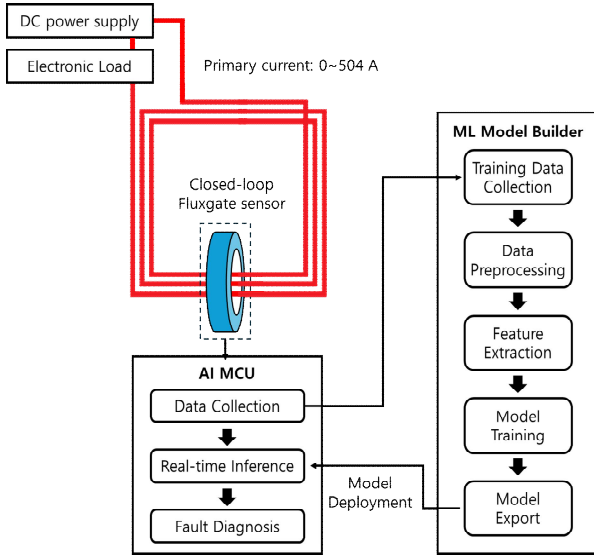


그림 6. Edge AI 대전류 측정 및 분석 시스템 개략도
Fig. 6. Schematic of the Edge AI-based high-current measurement and analysis system

본 실험에 사용한 플럭스게이트 센서의 코어는 박막 공정으로 제작한 NiFe이며 구동 PWM 주파수는 356 kHz이다. 대전류 인가부에서 DC 전원 공급 장치와 전자부하를 통해 0 - 504 A의 1차 전류를 생성하고 페루프 플럭스게이트 센서를 이용하여 이를 측정하였다.

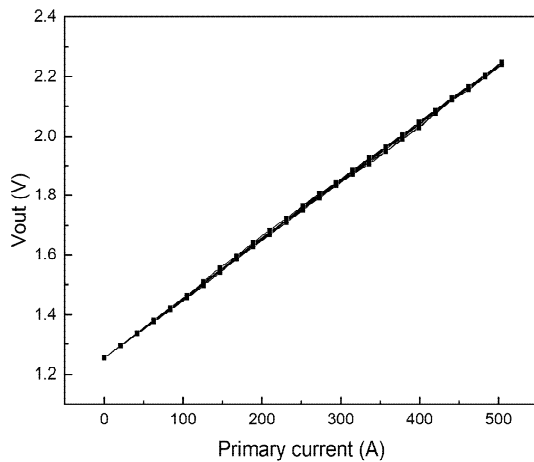


그림 7. 인가 전류에 따른 센서 출력 전압(Vout)
Fig. 7. Linear response of sensor output voltage (Vout) to primary current

그림 7은 0 - 504 A 구간의 대전류를 5회 왕복 측정한 측정 모듈의 출력 전압(Vout) 응답을 나타낸다. 이 모듈은 I_{comp} 의 부호에 따라 ± 504 A의 양방

향 전류 계측이 가능하나, 실험에서는 양(+) 방향 전류 구간에서의 선형성, 반복성, 히스테리시스를 우선 평가하였다. 측정 결과 평균 선형성 오차는 0.42%, 반복성 오차는 0.39%, 히스테리시스 오차는 0.37%로 나타났으며, 전체 RMS 오차는 0.4%로 산출되었다. 이는 박막 NiFe 코어 기반 단일 코일 페루프 구조가 수백 암페어 대전류 구간에서 고정밀 전류 계측에 유효함을 시사한다.

기존 대전류 측정 방식을 비교하면 선트 저항 방식은 구조가 단순하지만 수백 A급 대전류에서 전력 손실 및 자기 발열에 의한 저항 변화로 온도 보정이 필요하다[7]. 개루프 홀 방식은 절연성과 소형화에 유리하나 오프셋(offset) 및 온도 의존성으로 고정밀 계측에 한계가 있다[8]. 반면 페루프 플럭스게이트 방식은 I_{comp} 를 통해 코어 내부 자속을 영점 근방에서 유지하므로, 대전류 환경에서도 높은 선형성과 낮은 오프셋을 안정적으로 확보할 수 있다. 특히 측정 대상 도체와의 전기적 절연이 보장되고, 발열에 의한 저항 변화 문제가 없어 수백 A 이상의 대전류 계측에 적합한 방식으로 평가된다[9]. 본 연구의 측정 결과 또한 이러한 특성에 부합하는 것으로 나타났다.

플럭스게이트 센서의 출력 전압은 ADC를 통해 MCU로 입력되며, 환산 전류값, 구동 Duty, PWM 주파수 정보와 함께 시계열 데이터로 저장될 수 있다. 수집된 데이터는 정상 상태 및 이상 상태별로 라벨링한 뒤 경량 분류 모델의 학습 데이터로 활용된다.

본 이상 감지 시스템에서 사용한 MPLAB® ML Model Builder는 AutoML 기반의 파이프라인을 통해 최적 분류 알고리즘을 자동으로 탐색하며 정상 상태와 이상 상태를 감지한다. 학습된 모델은 Knowledge Pack 형태로 변환된 후 MCU 펌웨어에 내장되어 엣지 디바이스 상에서 실시간 이상 감지 추론을 수행한다[10].

IV. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 DRV401 페루프 회로와 박막 공정으로 제작한 NiFe 코어 플럭스게이트 센서를 적

용한 대전류 측정 모듈을 설계·제작하고 성능을 평가하였다. PWM 주파수 및 인덕턴스 조건에 따른 구동 특성을 분석하여 안정적인 동작점을 도출하였으며, PWM 356 kHz 조건에서 0 - 504 A 구간에 대해 선형성 오차 0.42%, 반복성 오차 0.39%, 히스테리시스 오차 0.37%를 달성하여 전체 RMS 오차 0.4% 이내의 고정밀 계측 성능을 확인하였다.

또한 측정된 전류 신호를 기반으로 Edge AI 기반 이상 감지 구조를 구축하였다. 수집된 전류 데이터는 전처리 및 특징 추출 과정을 거쳐 정상 및 이상 상태 분류를 위한 머신러닝 모델 학습에 활용되었으며, 학습된 모델은 MPLAB® ML Model Builder의 AutoML 파이프라인을 통해 최적화된 후 Knowledge Pack 형태로 MCU 펌웨어에 내장되었다. 이를 통해 외부 클라우드 연산 없이 엣지 디바이스에서 실시간으로 이상 전류를 판별하는 온디바이스 진단 구조의 구현 가능성을 확인하였다.

이상의 결과로부터 본 연구에서 개발한 플럭스게이트 기반 대전류 측정 모듈은 고정밀 전류 계측 기능과 Edge AI 기반 이상 감지 기능을 단일 플랫폼에서 통합할 수 있는 핵심 센서 인터페이스로서의 활용 가능성을 확인하였다. 향후 연구에서는 다양한 이상 전류 패턴에 대한 학습 데이터를 확보하고 분류 모델의 정확도를 고도화하여, 실환경 조건에서의 측정 신뢰성 및 진단 성능을 검증할 예정이다.

References

- [1] L. Jiang, X. Diao, Y. Zhang, J. Zhang, and T. Li, "Review of the Charging Safety and Charging Safety Protection of Electric Vehicles", *World Electric Vehicle Journal*, Vol. 12, No. 4, Art. no. 184, Oct. 2021. <https://doi.org/10.3390/wevj12040184>.
- [2] P. Ripka, "Electric current sensors: a review", *Measurement Science and Technology*, Vol. 21, No. 11, Art. no. 112001, Nov. 2010. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/21/11/112001>.
- [3] J. Jin, X. Qiu, and C. Lu, "Edge Artificial Intelligence for Electrical Anomaly Detection Based on Process-In-Memory Chip", *Electronics*, Vol. 13, No. 21, Art. no. 4255, Oct. 2024. <https://doi.org/10.3390/electronics13214255>.
- [4] C. Liu, X. Su, and C. Li, "Edge Computing for Data Anomaly Detection of Multi-Sensors in Underground Mining", *Electronics*, Vol. 10, No. 3, Art. no. 302, Jan. 2021. <https://doi.org/10.3390/electronics10030302>.
- [5] J. Cao, J. Zhao, and S. Cheng, "Research on the simplified direct-current fluxgate sensor and its demodulation", *Measurement Science and Technology*, Vol. 30, No. 7, Art. no. 075101, May 2019. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/ab09bf>.
- [6] Texas Instruments, "DRV401: Sensor Signal Conditioning IC for Closed-Loop Magnetic Current Sensor", Datasheet SBVS070B, May 2009. <https://www.ti.com/product/DRV401>. [accessed: May 27, 2026]
- [7] P. Weßkamp and J. Melbert, "High-accuracy current measurement with low-cost shunts by means of dynamic error correction", *Journal of Sensors and Sensor Systems*, Vol. 5, pp. 389-400, Nov. 2016. <https://doi.org/10.5194/jsss-5-389-2016>.
- [8] M. Crescentini, S. F. Syeda, and G. P. Gibiino, "Hall-Effect Current Sensors: Principles of Operation and Implementation Techniques", *IEEE Sensors Journal*, Vol. 22, No. 11, pp. 10137-10151, Jun. 2022. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3119766>.
- [9] G. Velasco-Quesada, M. Román-Lumbreras, A. Conesa-Roca, and 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. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2010.2054831>.
- [10] S. S. Saha, S. S. Sandha, and M. Srivastava, "Machine Learning for Microcontroller-Class Hardware: A Review", *IEEE Sensors Journal*, Vol. 22, No. 22, pp. 21362-21390, Nov. 2022. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3210773>.

저자소개

이 선 하 (Sunha Lee)



2018년 2월 : 공주대학교 물리학과
(이학사)

2025년 2월 : 고려대학교
신소재공학과(공학석사)

2021년 11월 ~ 현재 :
한국전자기술연구원
스마트센서연구센터 연구원

관심분야 : 자성박막, Physical Sensors, 센서 소자 공정
및 특성평가

김 유 진 (Yoojin Kim)



2024년 2월 : 고려대학교
전자및정보공학과(공학사)

2023년 11월 ~ 현재 :
한국전자기술연구원
스마트센서연구센터 연구원

관심분야 : 반도체 공정, Edge AI,
임베디드시스템

이 형 만 (Hyungman Lee)



2000년 2월 : 포항공과대학교
기계공학과(공학석사)

2014년 2월 : 한국과학기술원
기계공학과(공학박사)

2002년 2월 ~ 현재 :
한국전자기술연구원 스마트센서
연구센터 책임연구원(반도체소자

팀장)

관심분야 : 반도체 디바이스(적외선, 화합물, Physical
Sensors, Magnetic, 이상감지, 상태감지, 예지보전
Edge Device), MEMS/NEMS