

# PMSM 회전자의 영구자석 품질 검사를 위한 자기장 측정 장치의 설계에 관한 연구

박정현, 정민욱, 김태규  
국립창원대학교

## A Study on the Design of a Magnetic Field Measurement Device for the Quality Inspection of Permanent Magnet in PMSM Rotors

Jeong-Hyeon Park, Min-Uk Jeong, Tae-Kue Kim  
Changwon National University

### ABSTRACT

In this paper, we conducted a study on the design of a magnetic field measurement device for the quality inspection of permanent magnets in PMSM rotors. We measured the magnetic field of a permanent magnet rotor using a sensor array arranged in a row of Hall sensors and visualized the measured data in 2D and 3D plots to make it easy for users to understand the results at a glance. Through a measurement experiment of an SPM rotor with an artificially created defect, we confirmed that a defect on the rotor surface could be detected and even small changes in values could be detected.

### 1. 서 론

기후환경 변화에 따라 전 세계적으로 탄소 저감이 강조되고 있으며, 내연기관차의 배기가스 배출 규제로 친환경차 도입을 위한 각종 지원 정책이 추진되고 있다. 이에 전기차 구동 모터 및 산업용 영구자석형 모터의 수요가 급격히 증가하고 있으며, 모터 운전의 고효율화 또한 강하게 요구되고 있다. 따라서 기업들은 에너지 고효율화 추세에 대응할 수 있도록 모터 생산 및 운전 효율을 향상시키는 기술을 확보하고자 하고 있다. 영구자석형 회전자의 제조 과정에서 영구자석에 미세한 크랙이 발생하더라도 자체 자력에 의해 분리되지 않고 그 형태를 그대로 유지하고 있으며, CAN에 둘러싸일 경우 외부에서 육안이나 비전 센서로 검출이 힘든 경우가 있다. 영구자석에 크랙이 발생한 상태로 구동할 경우 고속 회전에 의한 원심력으로 영구자석이 비산하여 화재와 폭발로 이어질 수 있는 위험이 있다. 또한 제조 불량으로 인해 예기치 못한 추가적인 코깅 토크가 발생할 수 있으며, 이는 고속 회전 시 추가 코깅 토크 고조파 성분을 유발하고<sup>[1]</sup>, 소음 및 진동을 발생시킨다<sup>[2]</sup>. 따라서 본 논문에서는 홀 센서를 이용하여 PMSM 회전자의 영구자석 품질 검사를 위한 자기장 측정 장치의 설계에 관한 연구를 진행하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 자기장 측정 장치의 구성 및 측정 데이터의 흐름

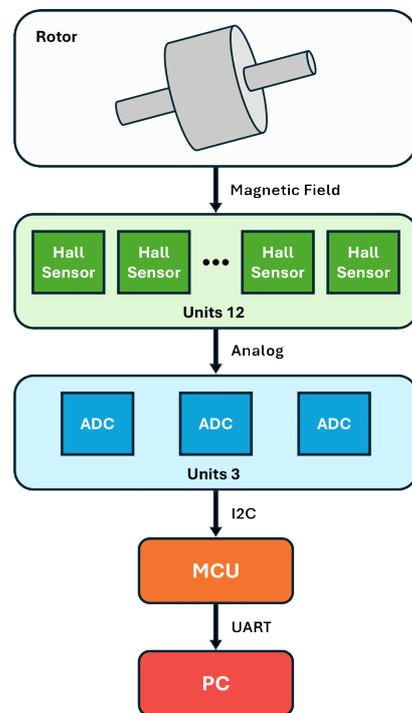


그림 1 자기장 측정 장치의 구성 및 측정 데이터 흐름 블록도  
Fig. 1 Configuration of magnetic field measuring device and measurement data flow block diagram

그림 1은 자기장 측정 장치의 구성 및 측정 데이터의 흐름을 나타낸 것이다. 측정 장치는 홀 센서, ADC, MCU, PC의 4가지 파트로 나누어진다. 회전자의 영구자석에 의해 형성되는 자기장은 홀 센서를 일렬로 배치한 센서 어레이를 통해 측정되어 아날로그 전압으로 변환된다. 아날로그 전압은 ADC에 의해 디지털 데이터로 변환되어 I2C 통신을 통해 MCU로 전달된다. MCU에서는 전달받은 데이터를 기반으로 mT의 자기장 단위로 변환하며, 변환된 데이터는 UART 통신을 통해 PC로 전송된다. PC에 전송된 데이터는 실시간으로 CSV 파일 형태로 저장되며, 동시에 사용자가 알아보기 쉽도록 시각화하여 화면에 출력한다.

#### 2.2 자기장 측정 장치

본 논문에서 시제작한 자기장 측정 장치는 그림 2와 같다.

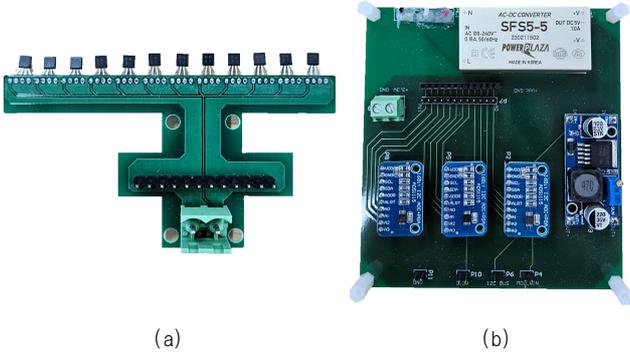


그림 2 (a) 홀 센서 어레이 (b) 데이터 처리부  
Fig. 2 (a) Hall sensor array (b) Data processing unit

### 2.3 시각화 및 실험 결과

측정 결과를 분석하기 위해서는 사용자가 한눈에 알아보기 쉽도록 데이터를 시각화할 필요가 있다. 따라서 PC로 전송된 데이터를 사용자가 알아보기 쉽도록 파이썬의 Matplotlib 라이브러리를 이용하여 시각화하였다. 측정이 진행 중일 때는 그림 3과 같이 실시간으로 2차원 plot을 통해 데이터를 출력하도록 구성하였으며, 측정이 끝난 후에는 그림 4와 같이 3차원 plot을 통해 원통의 회전자 형태로 데이터를 출력하도록 구성하였다.

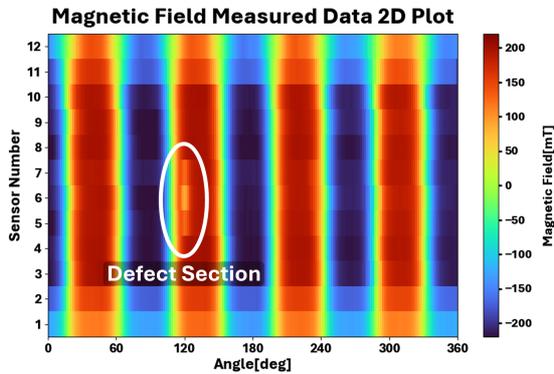


그림 3 자기장 측정 데이터의 2차원 plot  
Fig. 3 Magnetic field measured data 2D plot

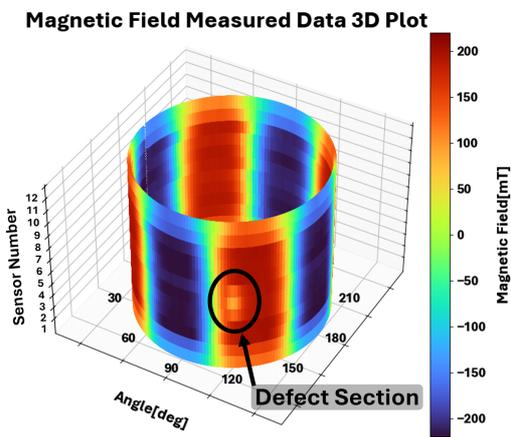


그림 4 자기장 측정 데이터의 3차원 plot  
Fig. 4 Magnetic field measured data 3D plot



그림 5 인공 결함을 가진 SPM 회전자  
Fig. 5 SPM rotor with artificial defect

시제작한 자기장 측정 장치를 검증하기 위하여 높이 26mm, 지름 50mm의 SPM 회전자에 그림 5와 같이 임의의 크기로 회전자 표면에 인공적으로 결함을 만들어 실험을 진행하였다. 그림 3과 그림 4는 회전자를 1.8도의 분해능으로 총 200 스텝을 회전시키며 측정된 결과를 통해 얻은 plot이다.

실험 결과 6번 홀 센서의 120deg에서 측정된 자기장은 약 86mT로, 주변의 자기장 값인 약 180mT에 비해 94mT 낮게 측정되었다. 이를 통해 인공적으로 만든 결함이 잘 검출되었음을 알 수 있었다. 또한 SPM 회전자 영구자석의 테두리 부분으로 갈수록 자기장이 점점 약하게 측정되는 것을 통해 작은 값의 자기장 변화도 검출할 수 있음을 확인하였다.

### 3. 결론

본 논문에서는 홀 센서를 일렬로 배치한 센서 어레이를 이용하여 PMSM 회전자의 영구자석 품질 검사를 위한 자기장 측정 장치를 구성하였다. 또한 이 장치를 통해 얻은 회전자 영구자석의 자기장 데이터를 사용자가 알아보기 쉽도록 시각화하였다. 인공적으로 결함을 만든 SPM 회전자의 측정 실험을 통해 회전자 표면의 결함을 검출할 수 있었으며, 작은 값의 변화도 검출할 수 있음을 확인하였다. 본 장치는 산업계에서 제조 결함의 발생 경로를 파악하여 회전자의 품질 향상과 수율 향상에 기여할 수 있으며, 디지털트윈을 위한 데이터 확보에도 도움을 줄 수 있을 것이라 기대된다.

본 연구는 2022년도 중소벤처기업부 산학연 플랫폼 협력 기술개발사업(S3310982) 및 2024년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학 협력기반 지역혁신 사업의 결과입니다.(2021RIS-003)

### 참고 문헌

[1] L. Gašparin and R. Fiser, "Impact of manufacturing imperfections on cogging torque level in PMSM," 2011 IEEE Ninth International Conference on Power Electronics and Drive Systems, Singapore, 2011, pp. 1055-1060

[2] 윤승호, 노승일, 김희민, 박관수, "BLDC 전동기에서 회전자 자석의 조립 공차에 따른 코깅토크 특성변화와 소음진동 불량 평가에 관한 연구," 한국자기학회지, Vol. 26, No. 3, pp. 86-91, 6 2016.