

# 몰드변압기의 보이드 결함 크기 판별

정기우<sup>1</sup> · 김성욱<sup>2</sup>

<sup>1</sup>상신브레이크 · <sup>2</sup>신라대학교

## Identification of Void Diameters for Cast-Resin Transformers

Gi-woo Jeong<sup>1</sup> · Wook-sung Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>SANGSIN BREAK Company · <sup>2</sup>Silla University

E-mail : gwjeong@sangsin.com / number1@silla.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 신경망 모델을 적용한 몰드변압기의 보이드 결함 크기 판별에 관한 연구를 수행하였다. PCB 기반의 로고우스키 코일형 부분방전 센서를 제작하여 부분방전 신호를 측정하였고, 보이드에 의한 부분방전 결함을 모의하기 위한 PD 전극계를 제작하였다. 또한 보이드는 원통형 모양의 알루미늄 틀을 제작하여 에폭시가 경화되는 과정에서 실린지를 삽입하고 공기를 주입하여 서로다른 직경을 가지는 4개의 시편을 제작하였다. 보이드 결함 크기 판별을 위해 부분방전 전하량, 방전 펄스 수, 위상 분포의 부분방전 특성 파라미터를 추출하여 Labview 기반의 VI (Virtual Instrument)로 역전파 알고리즘을 설계하였다. 실험 결과로부터 제작된 알고리즘은 90%이상의 판별률로 결함의 직경크기를 구분할 수 있었다. 본 연구의 결과는 현장에서 PD 측정 시 몰드변압기의 유지보수 및 절연물 교체의 근거 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

### ABSTRACT

This paper presents the identification of void diameters for a cast-resin transformer using an artificial neural network (ANN) model. A PD signal was measured by the Rogowski coil sensor which has the planar and thin structures fabricated on a printed circuit board (PCB), and the PD electrode system was fabricated to simulate a PD defect by a void. In addition, void samples with different diameters were fabricated by injecting air in a cylindrical aluminum frame using a syringe during the epoxy curing process. To identify the diameter of void defects, PD characteristics such as the discharge magnitude, pulse count, and phase angle were extracted and back propagation algorithm (BPA) was designed using virtual instrument (VI) based on the Labview program. From the experimental results, the BPA algorithm proposed in this paper has over 90% accurate rate to identify the diameter of void defects and is expected to use reference data of maintenance and replacement of insulation for cast-resin transformers in the on-site PD measurement.

### 키워드

Transformer, partial discharge, back propagation algorithm, void diameter

### 1. 서 론

몰드변압기는 수용가에서 필요한 전력을 안정적으로 공급하기 위한 중요한 설비로, 설치가 간편하고 유지비용이 저렴한 장점이 있어 전력계통에서

널리 사용되어져 왔다. 그러나 매년 몰드 변압기의 절연파괴 사고가 증가하고 있으며, 대부분 변압기 내부에 존재하는 결함 또는 절연물 열화에 따른 부분방전이 원인이다.

부분방전은 절연파괴 전 발생하는 중요한 원인 중 하나로 절연물 제조 시 또는 운송 과정에서 작업자의 실수나 운전 중 절연물이 열화되면서 절연

\* corresponding author

물 내부에서 발생한다. 특히 보이드와 같은 결함은 에폭시 경화 과정 중 공기가 유입되어 발생하므로 보이드 직경이 작을 경우 육안 검사나 X-ray 검사를 하더라도 검출하기가 매우 어려운 실정이다. 보이드 결함이 존재한 절연물이 몰드 변압기에 사용되어 현장에 설치된 경우 보이드 내 부분방전이 발생하고, 방전이 지속될 경우 절연파괴로 이어져 경제적·인명 손실로 이어질 수 있기 때문에 정확하게 부분방전 신호를 검출하는 것은 매우 중요하다 [1-3].

본 연구에서는 신경망 모델을 적용한 몰드변압기의 보이드 결함 크기 판별에 관한 연구를 수행하였다. Printed circuit board(PCB) 기반의 로고우스키 코일형 부분방전 센서를 설계 및 제작하여 부분방전 신호를 검출하였고, 부분방전 결함을 모의하기 위해 4개의 보이드 시편을 제작하였다. 보이드 결함 크기를 판별하기 위해 부분방전 전하량, 펄스 수, 위상 분포의 부분방전 특성파라미터를 추출하여, Labview 기반의 VI (Virtual Instrument)로 역전파 알고리즘을 설계하였다.

## II. 로고우스키 코일형 부분방전 센서

로고우스키 코일형 부분방전 센서는 현재 전력 설비에서 부분방전 신호를 검출하는데 사용되고 있다. 몰드변압기 내부결함에 의한 방전전류가 흐르면 전류 주위에 자기장이 형성되며, 형성된 자기장이 코일에 쇄교되어 기전력이 유도되므로 부분방전 신호를 측정할 수 있다[7-9].

본 연구에서 제안하는 로고우스키 코일형 부분방전 센서는 그림 1과 같이 몰드변압기 내부 부분방전을 측정하기 위해 비전도성 물질이 코팅되어 있는 PCB 기판에 권선을 감아 놓은 형태로 변압기 외함 안쪽에 설치할 수 있어 부분방전 발생 시 방사되는 전자파를 측정할 수 있게 설계하였다. 측정 감도를 향상시키기 위해 육각형 모양의 구조로 권선을 20회 감았고 권선 폭은 2 mm이다. PCB 크기는 120 mm×80 mm로 실제 몰드변압기 크기를 고려하여 몰드변압기 외함 안쪽에 설치 가능한 크기로 제작하였다.



그림 1. 로고우스키 코일형 부분방전 센서

## III. 실험 및 방법

제작된 로고우스키 코일형 부분방전 센서를 사용하여 몰드변압기의 보이드 결함 크기를 판별하기 위해 그림 2와 같은 실험계를 구성하였다. 보이드 결함에 의한 부분방전을 모의하기 위해 전극계를 제작하였으며, 전극계는 보이드 시편에 전압을 인가하기 위한 직경 35 mm, 두께 20 mm인 평판-평판 전극계로 구성되며, 전압을 인가 부위에 전계집중이 되지 않도록 구형의 황동 금구류를 설치하였다. 보이드 직경은 2.1 mm, 2.4 mm, 3.5 mm, 5.0 mm로 크기에 따라서 총 4개의 시편을 제작하였다. 센서와 결함의 거리는 약 100 mm이다.

부분방전을 모의하기 위해 부분방전 전극계에 전압을 1 kV씩 단계적으로 상승시키면서 IEC60270 법에 따라 부분방전을 측정하고 부분방전이 발생하면 로고우스키 코일형 부분방전 센서의 출력을 확인하였다. 또한 보이드 결함 크기를 판별하기 위해 PRPD 패턴을 분석하여 부분방전 전하량, 펄스 수, 위상 분포의 부분방전 특성파라미터를 추출하여, Labview 기반의 VI (Virtual Instrument)로 역전파 알고리즘을 설계하였다.

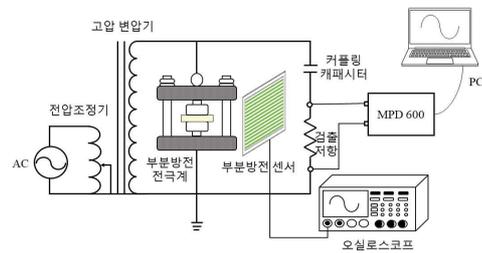


그림 2. 실험계 구성

## IV. 결과 및 분석

### 4.1 센서 교정

그림 3에는 제작된 로고우스키 코일형 부분방전 센서의 방전크기(pC)에 대한 출력(mV)을 확인하기 위해서 표준펄스신호를 사용하여 교정 실험을 수행한 결과를 나타내었다. 50 pC-1,000 pC의 전하량을 가지는 펄스신호를 인가한 결과, 센서출력은 선형적으로 증가하는 것을 확인하였고, 이때 출력 감도는 약 130 uV/pC로 확인되었다.

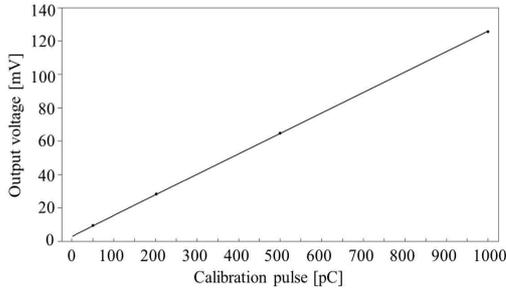


그림 3. 표준펄스신호에 따른 센서출력

#### 4.2 부분방전 검출 및 PRPD 패턴 분석

보이드 직경에 따른 방전전하량과 펄스 수를 분석하기 위해 시편 두께에 따라 전압 크기를 조절하여 동일한 전계를 인가하였다. 동일한 전계에서 보이드 직경이 2.1 mm인 시편의 방전전하량은 평균 110 pC, 2.4 mm는 평균 308 pC으로 직경이 0.3 mm 큰 경우 방전전하량은 198 pC 증가하였다. 보이드 직경이 3.5 mm와 5 mm인 시편의 평균 방전전하량은 각각 526 pC와 1,689 pC으로 보이드 직경이 1.5 mm 큰 경우 방전전하량은 1,163 pC 증가하였고, 보이드 직경이 클수록 평균 방전전하량은 544 pC/mm로 증가되는 것을 확인하였다. 펄스 수의 경우, 보이드 직경이 2.1 mm인 시편은 평균 126개, 2.4 mm는 평균 1,214개로 직경이 0.3 mm 증가할 때 평균 펄스 수는 1,088개 증가하였다. 보이드 직경이 3.5 mm와 5 mm인 시편의 평균 펄스 수는 각각 2,161개, 3,958개로 보이드 직경이 1.5 mm 큰 경우 펄스 수는 1,797개 증가하였고, 보이드 직경이 클수록 약 1,321개/mm로 증가되는 것을 확인하였다. 그림 4에는 부분방전 신호의 PRPD 패턴 예를 나타내었다.

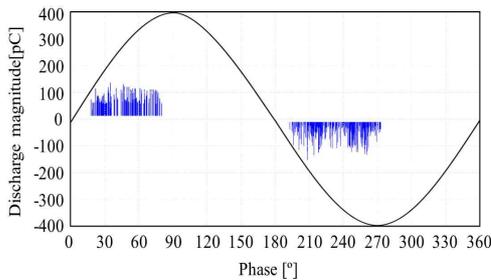


그림 4. PRPD 패턴 예

#### 4.3 보이드 결함 크기 판별

역전파 알고리즘은 방전크기, 펄스수 및 0~360° 위상을 30° 간격으로 나누어 12개의 위상분포 비율을 입력층의 파라미터로 선정하였다. 입력층 뉴런 14개, 은닉층 20개 및 출력층 뉴런 4개로 구성된 역전파 알고리즘을 설계하고, 뉴런의 활성화여부를 제어하고자 각각 바이어스를 1개씩 연결하였다.

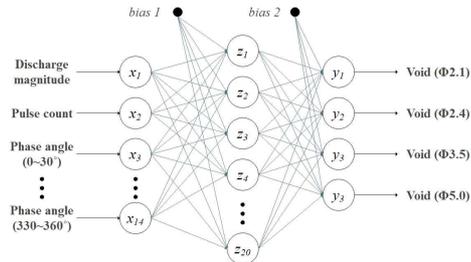


그림 5. 역전파 알고리즘 설계

설계한 역전파 알고리즘을 LabVIEW기반으로 구현하였으며, 각 결함별 20회씩 학습파라미터를 입력하고 결함판별 시 출력 뉴런의 목표 출력이 1이 나오도록 하였다. 학습이 완료된 역전파 알고리즘의 보이드 판별 능력을 평가하기 위해 각 결함에서 측정된 파라미터를 50회씩 입력하여, 알고리즘의 결함 판별률을 분석하였다. 분석 결과로부터 모든 조건에서 90% 이상의 정확도로 보이드 결함 크기를 구분할 수 있는 것으로 나타났다.

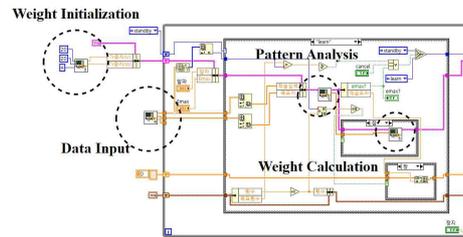


그림 6. 역전파 알고리즘 제작

## V. 결 론

본 연구에서는 신경망 모델을 적용한 물드변압기의 보이드 결함 크기 판별에 관한 연구를 수행하였다. 보이드 결함 크기를 판별하기 위해 방전크기, 펄스 수, 위상분포의 부분방전 특성파라미터를 추출하여, Labview 기반의 VI (Virtual Instrument)로 역전파 알고리즘을 설계하였다. 그 결과 보이드 결함 크기를 90%이상의 정확도로 판별하는 것을 확인하였다.

## Acknowledgement

이 논문은 2022년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원에 의함(NRF-2022R1G1A1011043)

### References

- [1] G. C. Shin, S. W. Kim, and G. S. Kil, "Comparison between the PD characteristics of SF<sub>6</sub> and Dry Air for Gas Insulated Switchgears" *Energies*, 15, 7043, 2022.
- [2] S. W. Kim, N. H. Kim, D. E. Kim, T. H. Kim, D. H. Jeong, Y. H. Chung and G. S. Kil, "Experimental Validation for Moving Particle Detection Using Acoustic Emission Method," *Energies*, 14, 8516, 2021.
- [3] S. J. Park, S. C. Hwang, G. Wang, G.S. Kil, "Partial Discharge Characteristics and Localization of Void Defects in XLPE Cable", *Journal of the Korean Society for Railway*, 20, 203, 2017.