

안테나를 이용한 몰드변압기 절연결합 측정기법 연구

Measurement and Analysis of Insulation Detects of Cast-resin Transformers using Antenna

최명일*·김재진*·한가람*·전정채*†·이현옥**

(Myeong-Il Choi · Jae-Jin Kim · Ga-Ram Han · Jeong-Chay Jeon · Hyun-Ok Lee)

Abstract - Unlike oil immersed transformers, cast-resin transformers have the solid insulator 'epoxy resin' in sealed structure. Therefore, they reveal a lot of limitations in checking aging conditions and predicting an accident. This study analyzed the characteristics of Cast-resin transformers by the measurement distance and measurement sensitivity with a corona defect sample, using antenna sensor. Therefore, the experiment has proven that the antenna sensor-based measurement method proposed in this study is able to detect the insulation defect location of the cast-resin transformer, unlike conventional measurement methods. It is expected that the result of this study will be used to develop a new type of measuring method in order to measure insulation defects and to use in safety inspection of domestic cast-resin transformers.

Key Words : Cast-resin transformer, Artificial Insulation detect, Fault location, Partial discharge, Corona, Antenna

1. 서론

최근 산업의 발달과 더불어 도시기능의 다양화로 인하여 전력 수요는 지속적으로 증가하며 전력이용 측면에도 신뢰성이 높은 전기에너지를 요구하며, 전력설비도 대용량화 및 초고압화로 발전하고 있다. 특히, 사상 초유의 9·15 대규모 순환정전사태 이후 전기산업계에서는 안정적인 전력수급이 국민의 생명과 국가 안보와 직결되어 있다는 인식을 갖고 국내 전기설비 안전관리에도 그 중요성이 부각되고 있다.

국내 전기설비에서 전력용 변압기는 중전기기에서 매우 중요한 비중을 차지하고 있으며, 몰드변압기는 국내에서 1980년대 초기 상용화한 이후 최근까지 유입변압기를 대체하여 수배전반에서 급속하게 현장에 설치되고 있는 추세이다[1].

이러한 몰드변압기는 국내 22.9 kV 이하 자가용 수전설비의 200,000개소 이상에서 사용하고 있는 것으로 추정된다. 몰드변압기의 교체주기는 일본전기공업협회(JEMA)에서 평균 수명을 15~20년으로 발표하였다.

따라서 1980년대 중반이후에 현장에 설치된 몰드변압기의 교체주기가 거의 도래하였음을 유추할 수 있으며, 몰드변압기 점검 주기 및 안전관리의 중요성이 부각되어 몰드변압기에서 발생하는 사고 징후의 이상신호를 초기에 찾아내는 예방진단이 더욱 중요하게 되었다[2].

하게 되었다[2].

몰드변압기는 유입변압기 대비 유지보수를 위해 적용하고 있는 방법이 육안점검 및 열화상 카메라를 이용한 온도관리, 소음관리 등 극히 제한적인 항목으로 관리되고 있으며, 정밀진단으로는 몰드변압기의 부분방전 시험으로 열화여부를 판정하고 있다. 특히 활선상태에서 부분방전 시험에 의한 몰드변압기의 안전진단시 외부 잡음신호가 대량 유입시 이상유무를 판정하는데 많은 문제점이 도출되고 있다. 최근에는 몰드변압기의 설치 확대에 따라 사고 예방 및 안전관리를 위한 활선상태 진단기술의 필요성이 현장을 위주로 제기되고 있다[3, 4].

국내외에서 몰드변압기의 진단기술 연구동향으로는 AE (Acoustic Emission) 센서나 용량성 프로브를 이용하여 실험실 조건에서 몰드변압기 열화상태를 측정하고 검출기법을 제시하는 연구가 수행되었으며, 현장에서 이러한 연구결과를 적용하기에는 아직은 많은 어려움이 있다. 따라서 몰드변압기의 절연열화 진단을 위해서 상호보완적인 측정방법이 필요하고, 몰드변압기의 절연상태의 유무를 판정할 수 있는 분석방법을 개발하는 것이 매우 중요하다.

본 논문은 몰드변압기의 절연결합 신호를 측정하기 위하여 안테나 센서를 이용한 새로운 측정방법을 제시하고 몰드변압기의 인위적인 결함시료를 제작하여 측정조건에 따라 방전신호가 발생하는 위치를 확인하고자 한다.

† Corresponding Author : Electrical Safety Research Institute, Korea Electrical Safety Co., Korea
E-mail: cameleon@kesco.or.kr

* Electrical Safety Research Institute, Korea Electrical Safety Co., Korea

** Korea Polytechnics Mokpo Campus

Received : August 18, 2016; Accepted : September 20, 2016

2. 실험방법

2.1 몰드변압기 절연결합 시료 제작

표 1은 절연결합을 제작한 실험용 몰드변압기의 정격 용량을

표 1 실험용 몰드변압기의 정격

Table 1 Nominal ratings of experiment cast-resin transformer

정격용량	정격전압[V]	정격전류[A]	절연	각변위
1φ30	22900/220	1.31/136.4	F	감극성



그림 1 몰드변압기의 인위적인 절연결함
Fig. 1 Artificial defect of transformer

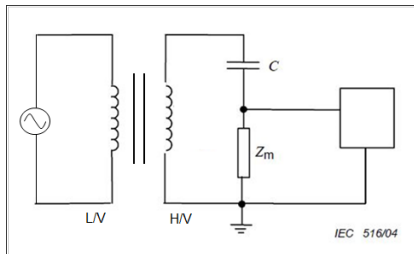


그림 2 IEC 60076-11 건식변압기(단상) 부분방전 시험회로도
Fig. 2 Measuring circuit of partial discharge test for cast-resin transformer

나타내었다. 절연열화에서 발생하는 방전신호를 모의하기 위하여 그림 1과 같이 변압기 상단부 코어측에서 고압측 권선 방향으로 얇은 금속바(1 cm×0.5cm×1 cm)를 설치하였다. 그리고 금속바와 고압측 에폭시 수지와의 간격은 20 cm의 이격을 유지하였다[6]. 몰드변압기의 절연결함을 측정하기 위한 방법으로 IEC 60076-11의 단상 건식변압기 부분방전 시험방법을 참조하였다. 입력 전압 원으로서 단상 30 kVA(입력 : 220 V, 출력 : 0~300 V) 유도전압 조정기(IVR)에서 그림 2와 같이 몰드변압기 2차측으로 전압을 인가하면 몰드변압기 1차측에 22.9 kV가 유기되어 고압측 상부 결함 부위에서 절연결함과 같은 방전신호가 발생하게 되고, 이 방전신호는 안테나 센서를 이용하여 측정하였다. 이 때 측정데이터는 디지털 오실로스코프(2 Gs/s, 5 GHz, Tektronix)의 샘플링 시간을 10 ms/div로 설정하고 전체 100 ms(6주기)동안 Peak 모드에서 데이터를 저장하였다.

2.2 몰드변압기 절연결함 측정방법

몰드변압기에서 절연결함은 일반적으로 부분방전 시험이 대표적인 검출방법이다. 현장에서 안전검사를 위한 몰드변압기의 부분방전 측정은 HFCT(High Frequency Current Transformer) 센서

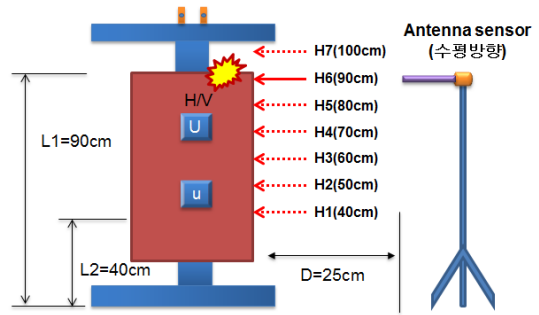


그림 3 안테나 센서(수평방향)를 이용한 방전신호 측정 구성도
Fig. 3 Discharge experimental system by Antenna (horizontal direction)

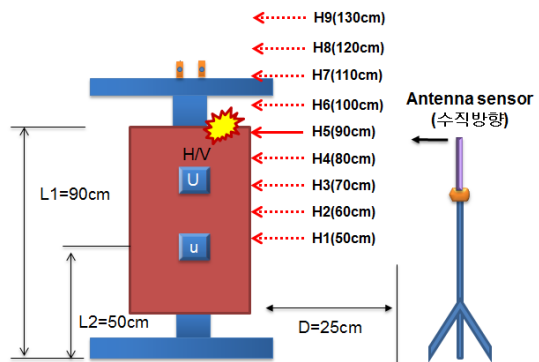


그림 4 안테나 센서(수직방향)를 이용한 방전신호 측정 구성도
Fig. 4 Discharge experimental system by Antenna (vertical direction)

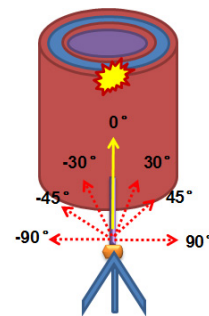


그림 5 안테나 센서의 측정 각도별 방전 위치 측정 구성도
Fig. 5 Discharge experimental system by the measurement angle of Antenna

를 변압기 접지선에 설치하여 신호를 측정한다. 본 논문에서는 기존 방법(HFCT 센서)과는 다르게 몰드변압기의 절연결함에서 발생하는 방전신호를 500 MHz 대역의 안테나 센서를 이용하여 측정하고자 하였다[5]. 절연결함의 위치를 측정하기 위하여 안테나 측정거리와 측정 높이, 그리고 측정 각도에 따라서 방전 신호를 측정하고 분석하였다. 그림 3은 변압기 상단부 코어측과 1차측 에폭시 사이 90 cm 높이에서 발생하는 방전 신호를 측정하기

위하여 안테나 센서를 결합시료의 수평방향에서 센서 측정 높이를 가변하며 신호를 측정하는 실험 구성도이다. 그림 4는 안테나 센서를 수직방향 조건에서 신호를 측정하는 실험 구성도이다. 이때 안테나 센서와 몰드변압기의 측정거리는 수평방향 조건과 동일하게 25 cm로 이격하여 측정하였다. 그림 5는 절연결합을 측정하기 위하여 방전 발생 위치인 높이 90 cm를 중심으로 안테나 센서의 측정각도를 -90° 에서 $+90^\circ$ 까지 회전하면서 결합 신호를 측정하는 실험 구성도이다.

3. 실험결과 및 검토

그림 6과 그림 7은 몰드변압기 1차 고압측에 22.9 kV가 유지된 상태에서 절연결합에서의 방전 피크값과 방전 펄스를 안테나 수평방향 조건에서 이격거리별로 측정하는 결과를 나타내었다. 측정 파라미터인 방전 피크값은 측정시 100 ms(6cycle) 동안 각각 주기별 정극성과 부극성의 최대 피크값을 도출하여 6cycle의 평균값으로 정의하였고, 방전 펄스의 수는 100 ms(6cycle) 동안 정극성과 부극성의 펄스 개수를 합한 것으로 잡음신호를 제외하기 위하여 Threshold는 0.0004 V로 지정하고 0.0004 V이상의 펄스 신호만 카운트 하는 것으로 정의하였다. 절연결합 방전신호는 같은 조건에서 5회씩 반복 측정하여 여러바로 나타내었다.

안테나 센서를 이격거리 70 cm 지점에서부터 20 cm까지 근접시키면서 측정거리에 대한 방전 피크값과 방전 펄스수는 그림 6, 그림 7과 같이 측정거리가 근접할수록 방전량 크기와 방전 펄스의 수가 증가하였다. 70 cm 지점에서 방전피크 평균값이 0.06 V 측정으로 측정되었고 가장 근접한 측정거리인 20 cm에서 가장 신호가 큰 0.063 V가 측정되었다. 최대 측정 이격거리인 70 cm에서 방전펄스의 수는 4개였으며 70 cm를 초과한 지점에서는 방전 펄스가 더 이상 측정되지 않았다. 또한 최소 이격거리인 20 cm 지점에서 방전펄스의 수는 78개였다. 이격거리 20 cm 이내에서는 변압기의 고압측 에폭시와 안테나 사이에서 자체 고전압 방전이 발생하여 상당히 큰 방전신호가 안테나로 유입되어 측정이 불가능하였다. 결과적으로 안테나 센서의 최소 이격거리는 20 cm가 가장

최적 거리였고, 신호의 감도는 약하지만 최대 70 cm 지점까지가 측정이 가능한 것을 확인 할 수 있었다.

그림 8과 같이 안테나를 결합부위와 수평방향으로 고정하고

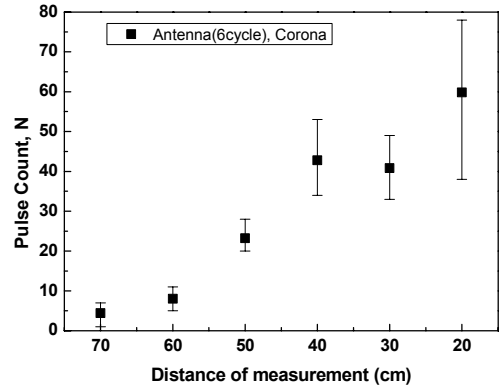


그림 7 안테나 센서의 측정거리별 방전 펄스의 수
Fig. 7 Discharge pulse by the measurement distance of Antenna

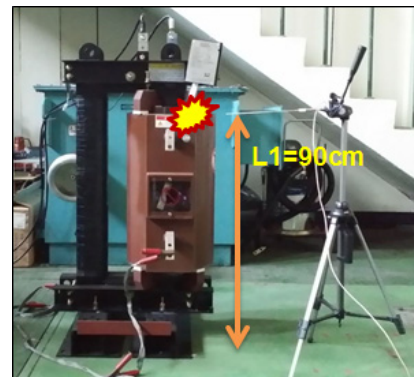


그림 8 안테나(수평방향)에서 결합 부위 측정
Fig. 8 Measurement of fault area with Antenna (horizontal Direction)

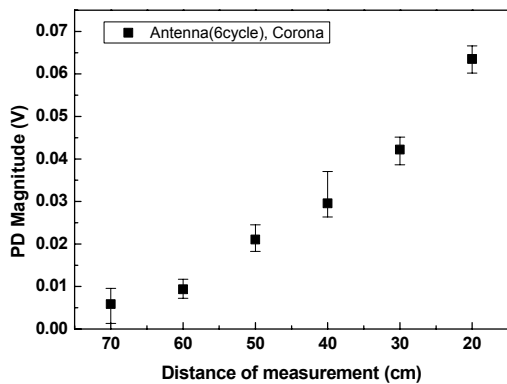


그림 6 안테나 센서의 측정거리별 방전 피크값
Fig. 6 Discharge peak by the measurement distance of Antenna

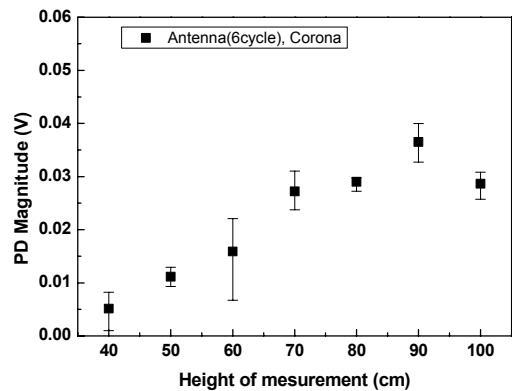


그림 9 안테나(수평방향)의 측정 위치별 방전 피크값
Fig. 9 Discharge peak by the measurement location of Antenna(horizontal direction)

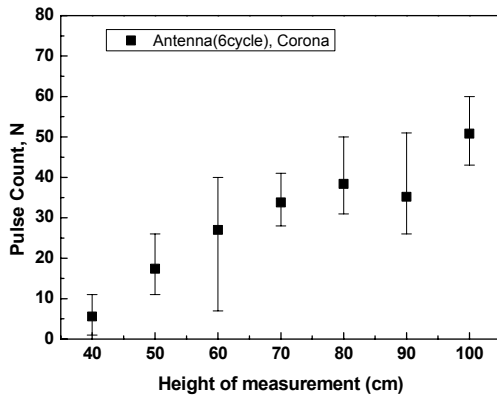


그림 10 안테나(수평방향)의 측정 위치별 방전 펄스의 수
 Fig. 10 Discharge Pulse by the measurement location of Antenna(horizontal direction)

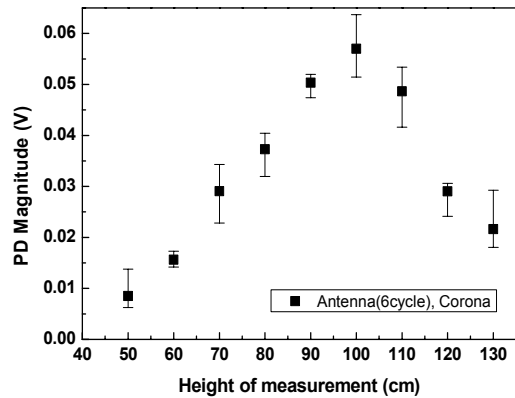


그림 12 안테나 센서(수직방향)의 측정 위치별 방전 피크값
 Fig. 12 Discharge peak by the measurement location of Antenna(vertical direction)

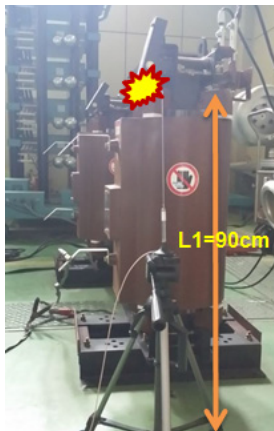


그림 11 안테나 센서(수평방향)에서 결함 부위 측정
 Fig. 11 Measurement of fault area with Antenna (vertical direction)

절연결합을 측정하였다. 그림 9와 그림 10에서 나타난 바와 같이 안테나를 수평방향으로 이격거리 25cm로 고정된 상태에서 안테나 높이를 40 cm에서 100 cm까지 가변하면서 방전 피크값과 방전 펄스의 수를 비교해 보면 결함 위치인 90 cm 부근에서 0.036 V로 방전 크기가 가장 높게 측정되었고, 방전 펄스의 수는 100 cm 지점에서 가장 많은 50개의 펄스가 계측되었다. 따라서 안테나를 이용하여 물드변압기의 절연결합 측정 시에 안테나의 수평방향에서 변압기의 상·하 방향으로 천천히 스캔하면서 상부, 중간, 하부에 대한 결함의 위치를 찾아낼 수 있음을 확인 하였다.

그림 11은 안테나를 거치대에서 수직방향으로 세우고 절연결합을 측정한 실험 전경이다. 그림 12와 그림 13에서 나타난 바와 같이 안테나를 수직방향으로 고정하고 안테나 상단 끝부분의 높이를 50 cm에서 130 cm까지 가변하면서 방전신호를 측정하였다. 결함 위치인 90 cm 지점보다 약간 높은 100 cm에서 0.057 V로 방전 크기가 가장 높게 측정되었고, 방전 펄스의 수는 100 cm 지점에서 가장 많은 70개의 펄스가 계측되었다. 이는 안테나의

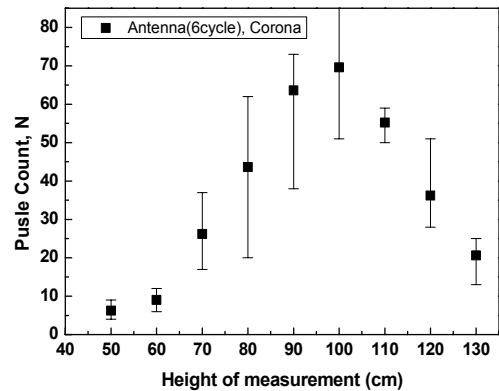


그림 13 안테나 센서(수직방향)의 측정 위치별 방전 펄스의 수
 Fig. 13 Discharge Pulse by the measurement location of Antenna(vertical direction)

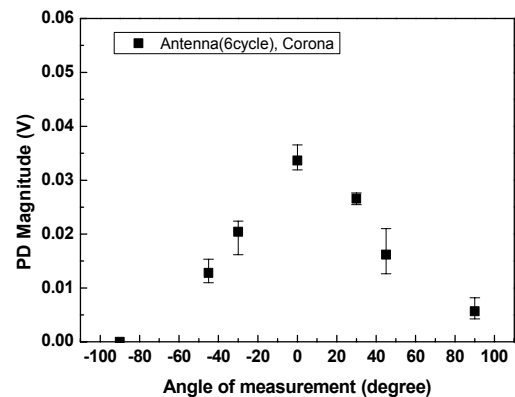


그림 14 안테나 센서의 측정 각도별 방전 피크값
 Fig. 14 Discharge peak by the measurement angle

길이에 따른 10cm 오차범위가 발생하였음을 추정할 수 있었다. 또한 안테나 수직방향에서도 앞서의 수평방향과 마찬가지로 변압

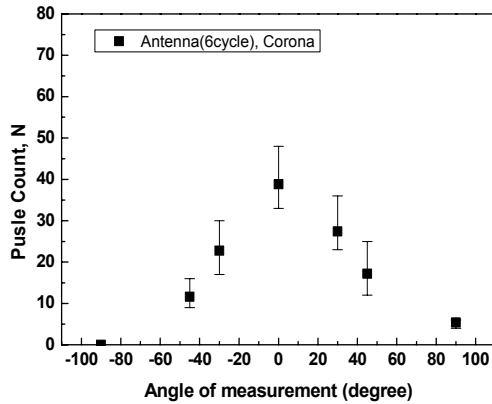


그림 14 안테나 센서의 측정 각도별 방전 펄스의 수
Fig. 14 Discharge pulse by the measurement angle

기의 상부, 중간, 하부에서 결합의 위치를 찾아낼 수 있음을 확인하였다. 그리고 수직방향에서의 측정방법이 수평방향보다 방전에 대한 측정 감도가 비교적 우수한 것으로 도출하였다.

그림 14와 15는 절연결합의 방전신호를 수평방향 조건에서 측정 시 90 cm 높이에서 안테나 회전 각도에 따른 방전량 피크값과 펄스의 수를 나타내고 있다. 안테나 회전 각도를 -90° 에서부터 $+90^\circ$ 까지 회전하면 측정된 결과 결합지점과 정방향에서 가장 큰 피크값 0.034 V와 38개의 펄스가 측정되었고, -90° 와 $+90^\circ$ 에서 미소하게 신호가 측정되었다. 따라서 절연결합 측정시 안테나의 자체의 지향성과 연관성이 있는 것으로 판단 할 수 있었다.

지금까지 안테나의 거리별, 높이별, 회전 각도별로 몰드변압기에서 방전신호를 측정하고 분석한 결과로서 HFCT 센서와 같은 기존 방법과는 다르게 새로운 측정방법인 안테나 센서 측정방법으로 절연결합의 위치를 근접하게 예측 할 수 있음을 실험적으로 확인하였다.

4. 결 론

국내에서 몰드변압기는 1980년대 상용화한 이후 최근까지 설치가 확대되고 되어 전체 변압기의 10% 이상을 점유하고 있다. 그러나 몰드변압기는 유입변압기와 달리 고체 절연체인 에폭시 수지의 밀폐 구조로 되어 있어서 열화 상태를 점검하고 사고를 예측하기에 많은 한계가 있다.

본 연구에서는 22.9kV 이하 몰드변압기의 절연결합 시료를 이용하여 안테나 센서의 측정기법으로 측정거리별 특성과 측정감도 특성을 분석하였다.

안테나 센서로 몰드변압기 절연결합 위치를 판별하기 위하여 안테나 센서의 측정 높이를 수평방향과 수직방향에서 40 cm에서 100 cm까지 단계적으로 측정하였고, 측정각도를 결합위치를 중심으로 -90° 에서 $+90^\circ$ 까지 회전하면서 측정된 결과 안테나 센서의 측정방법으로 몰드변압기의 절연결합 위치를 판정할 수 있음을 확인하였다.

따라서 본 논문에서 새로운 측정방법으로 제시하고 있는 안테나 센서 측정방법은 기존 측정방법과 비교하여 몰드변압기의 절연결합 위치의 확인이 가능함을 실험적으로 입증하였다. 향후에는 안테나 센서를 이용하여 더 많은 조건에서 실험과 현장 측정을 통한 다각적인 연구검토를 통하여 검증과 보완이 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] Kil-Mok Shong, Myung-Il Choi, Young-Seog Kim, Sun-Bae Bang, Chong-Min Kim, "A Study on the Comparison of the Vibration Data in Cast Resin Transformer According to the Load Type", KIEE, V.26, No. 4, pp. 75-81, 2012.
- [2] KESCO, "A Study on the Expected Service Life of 22.9kV. Class Electrical Equipments", pp. 136-138, 2009.
- [3] KESCO, "The laser detection through the mounting reflector and the development of mold transformer vibration analysis system", pp. 14-17, 2012.
- [4] Soongsil University, "A Study o the Protection of the Risk & the Developmet of Monitoring System on the Mold Transformer", pp. 3-12, 1997.
- [5] Masaaki Kando, "Fault Detection Method with Antennas", IEEE Proceedings of the 5" International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Vol. 2, pp. 1140-1143, 1997.
- [6] Myeong-Il Choi, Jae-Chul Kim, "A Study on the Comparison of Denoising Performance of Stationary Wavelet Transform for Discharge Signal Data in Cast-resin Transformer, KIEE, Vol. 28, No. 3, pp. 84-90, 2014.

저 자 소 개



최 명 일 (Myeong-Il Choi)

2002년 2월 창원대학교 전기공학과 졸업.
2004년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2014년 8월 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원.

E-mail : ken2003@kesco.or.kr



김 재 진 (Jae-Jin Ki)

2001년 2월 원광대학교 전기공학과 졸업.
2010년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원.

E-mail : glory@kesco.or.kr



한 가 램 (Ga-Ram Han)

2008년 2월 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업. 2011년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임연구원.

E-mail : ken2003@kesco.or.kr



전 정 채 (Jeong-Chay Jeon)

1997년 2월 원광대학교 전기공학과 졸업.
1999년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2015년 8월 동 대학원 전기공학과 박사(졸업). 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임연구원.

E-mail : cameleon@kesco.or.kr



이 현 옥 (Hyun-Ok Lee)

1999년 2월 한국기술교육대학교 전기공학과 졸업. 2002년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 2014년 8월 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국폴리텍대학 전기과 교수

E-mail : lho0504@empas.com