

회전기 고정자 권선의 부분방전 측정용 RFCT 특성

강동식* · 윤대희* · 황돈하* · 김용주* · 장기찬** · 송상옥***
 *한국전기연구원, ** (주)그린모텍, *** (주)선진전자기술

Characteristics of RFCT for Partial Discharge Measurement in the Stator Winding of Rotating Machines

Dong-Sik Kang* · Dae-Hee Yoon* · Don-Ha Hwang* · Yong-Joo Kim* · Ki-Chan Chang** · Sang-Ock Song***
 *KERI, **Green Motech Co. Ltd, ***Advanced Electronic Technology Co. Ltd.

Abstract - In recent the on-line partial discharge (PD) measurement using sensors, such as EMC, SSC, RTD and RFCT, as an indicator of stator winding insulation condition has been developed. RFCT sensor was placed arounding a grounding lead of surge capacitor to detecting PD. Trend of PD magnitude/phase angle/pulse number over time are useful parameter to diagnosis aging state.

We have developed Radio Frequency Current Transformer(RFCT) sensor which is suitable for PD diagnostic measurement in 6.6kV rotating machines.

In this paper, we describe the characteristics of RFCT sensor, such as frequency and PD magnitude using 6.6 kV model stator winding in Lab.

1. 서 론

산업설비용 고압 회전기는 장기간 사용함에 따라 고정자 권선 절연이 열화되므로, 열화진단을 위한 방법의 하나로서 고정자 권선에서 발생하는 부분방전을 측정하는 기술에 관한 많은 연구가 진행되어왔다. 회전기 고정자 권선의 절연열화 진단방법으로는 회전기를 정지하고 절연상태를 측정하는 off-line법과 회전기가 실사용 조건으로 운전되고 있는 동안 절연상태를 측정하는 on-line 방법으로 구분된다[1,2]. On-line 진단법은 내부방전, 슬롯방전 및 권선단말 방전 등의 다양한 종류의 방전이 측정 가능하며, 운전중에 연속적으로 절연상태를 감시할 수 있는 장점이 있어 초기진단 개념으로 최근 활발한 연구가 수행되고 있다.

최근 선진 외국에서는 접촉식 센서인 Epoxy-Mica Coupler(EMC)와 비접촉식 센서인 Stator Slot Coupler(SSC), Resistance Temperature Detector(RTD), Radio Frequency Current Transformer(RFCT) 등의 센서를 이용한 on-line 부분방전 측정 기술이 개발되었고, 국내에서도 1990년대부터 회전기 진단에 관한 연구를 수행하여 상당한 수준의 기반기술을 구축하고 있다[2-5].

고압 회전기 고정자 권선의 절연열화에 의해 절연물 내부 부분방전, 슬롯방전, 소선의 단선에 의한 arc 및 end winding부 소선에 의한 sparking 등의 방전이 발생하면 radio frequency(RF) 신호 성분을 포함한 순간적인 전류펄스가 고정자 권선내에서 전파하게 된다. 그리고 고정자 권선의 중성점은 접지되어 있으므로, 이들 방전에 의해 발생된 RF 전류는 접지선을 통해 전파하게 된다[5,6].

본 논문에서는 고정자 권선의 on-line 부분방전 측정용 센서의 하나로 접지선 전류로부터 부분방전을 측정하는 RFCT를 개발하기 위하여, 각종 코아에 대한 주파수 응답 특성을 비교하여 최적인 코아 및 턴수를 선정하여 RFCT를 제작하였다. 또한, 본 연구에서 제작된 RFCT를 6.6kV급 고압 전동기 고정자 권선에 연결하여 발생하는 부분방전을 기존의 외국제품과 실험실적으로 비교 분석하여 부분방전 측정센서로서의 타당성을 확인하였다.

2. RFCT 센서용 코아의 주파수 특성 분석

RFCT 센서에 사용할 코아를 결정하기 위해 sendust 코아, ferrite 코아, 철 코아 등을 이용하여 주파수 응답 특성을 파악하는 실험을 실시하였다. 각 코아에 코일의 턴수를 변화시키면서 감고, function generator를 이용하여 주파수가 0.1~30(MHz)인 정현파를 입력하여 그 응답 크기를 측정하였다. 이를 위하여 각각의 코일에 3, 5 및 10턴의 동선을 감아 출력신호를 받아내게 구성하였다. 측정용 센서가 취부되는 회로에 무유도 저항 1[kΩ]을 연결하고, 이 저항을 통과하는 전류가 10(mA)가 되도록 신호 발생기의 전압을 조정하였다. 주파수 응답특성을 분석하기 위한 회로구성은 그림 1과 같다.

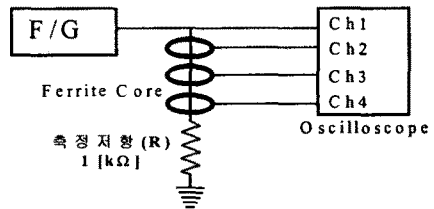


그림 1. 주파수 특성분석 회로도

각 코아의 주파수 응답특성을 측정한 결과를 그림 2, 3, 4에 나타냈다. 각 코아에서 최대응답을 나타내는 주파수 및 크기를 살펴보면, sendust 코아 5 turns는 7(MHz)에서 180(mV), 10 turns는 4(MHz)에서 360(mV), ferrite 코아 3, 5, 10 turns는 1(MHz)전후에서 각각 970(mV) (1.1(MHz)), 1922(mV) (1(MHz)), 5000(mV) (0.8(MHz))크기의 응답특성을 나타냈다. 철 코아는 특정 주파수에서 큰 값을 나타내는 것이 아니라 측정 주파수 전체 대역(0.1 ~ 30 (MHz))에 걸쳐서 비슷한 응답을 나타냈다. 또한, sendust 코아와 ferrite 코아는 코일의 턴수가 증가할수록 최고값을 나타내는 주파수는 저주파로 되고, 그 응답은 점점 커졌다.

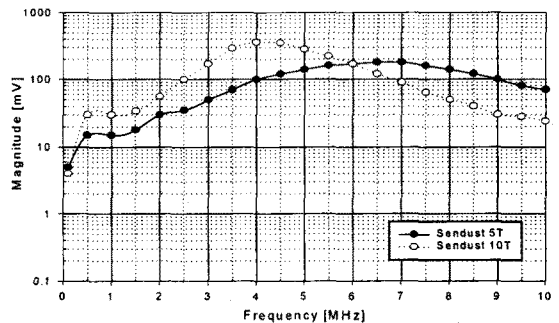


그림 2. Sendust 코아의 주파수 응답특성

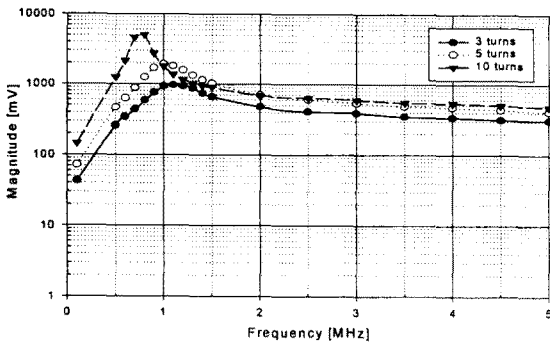


그림 3. Ferrite 코아의 주파수 응답특성

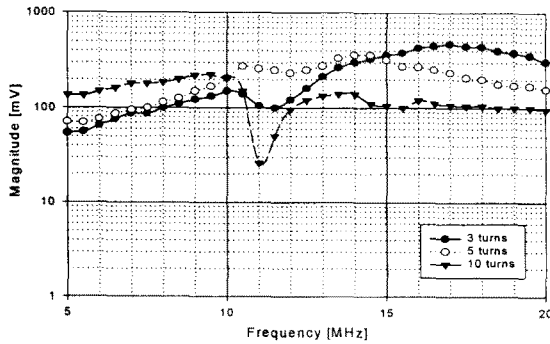


그림 4. 철 코아의 주파수 응답특성

이와 같이 각 코아의 주파수 응답특성을 시험한 결과 ferrite 코아가 가장 우수한 주파수 특성으로 나타났고, 기존의 외국제품인 IRIS 제품과 유사한 양상으로 나타나 RFCT 센서용 코아로 ferrite 코아를 결정하였다.

3. 제작된 RFCT 센서의 부분방전 특성 분석

주파수 응답특성 시험을 마친 ferrite 코아로 실제 고압 전동기의 고정자 권선 모의 슬롯에서 부분방전 발생 시 센서에 나타나는 PD 펄스를 측정하기 위해서 그림 5와 같이 6.6kV 고압 전동기용 고정자 권선 모의 슬롯을 구성하였다.



그림 5. 고압 전동기용 고정자 권선의 모의 슬롯 형상

RFCT 센서는 고압 전동기 surge capacitor의 접지선에 연결되지만 충전전류의 영향 등으로 실험실적 실험에서는 PD detector용 coupling capacitor(1000pF)의 접지선에 RFCT 센서를 연결하였다. 그림 6은 고압 전동기용 고정자 권선의 모의 슬롯에서 부분방전이 발생할 때 RFCT 센서를 이용하여 실험실적 측정을 하기 위한 회로 구성도이다.

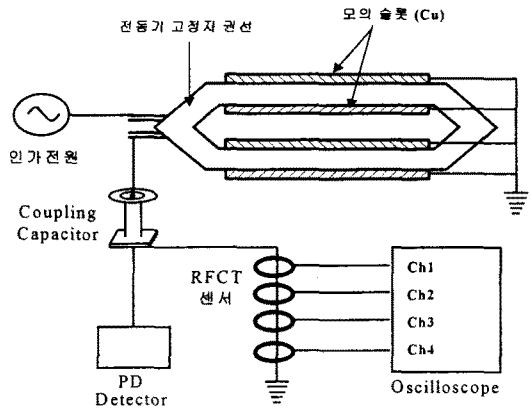
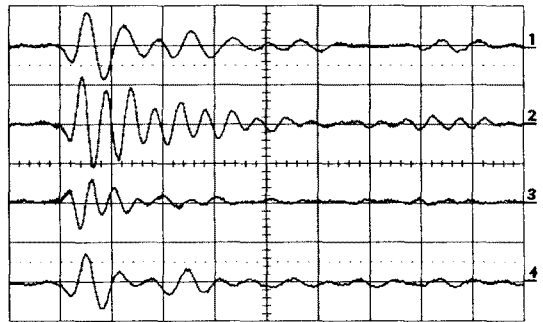
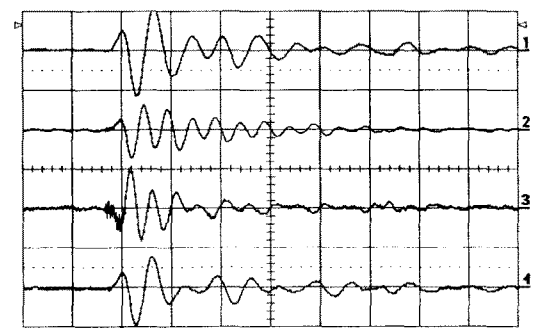


그림 6. 고압 전동기용 접지선 부분방전 측정 회로도

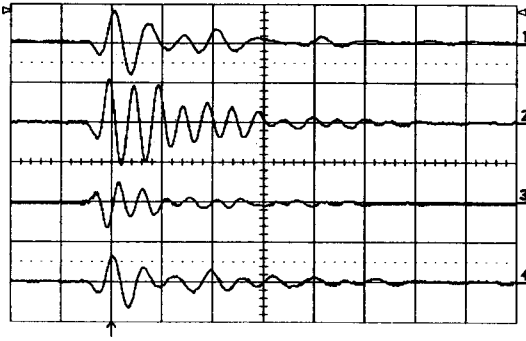
고압 전동기 고정자 권선의 모의슬롯에 전압을 인가하여 발생하는 최대 부분방전 발생량이 1000pC, 4000pC 및 7000 pC이 되게 하였다. 이때 가해진 각각의 인가전압은 3kV, 4.5kV 및 5.5kV로 나타났다. 그림6에서의 측정용 ferrite 코아에 감기는 coil의 턴수를 다르게 하여 각각의 코아에서 측정되는 부분방전 파형을 측정하였다. 그림 7의 (a), (b), (c)에서 ch1은 10 turns, ch2는 5 turns, ch3은 3 turns, ch4는 기존의 외국제품(IRISA, 캐나다)의 부분방전 응답 파형이다.



(a) 1000 [pC]일 때 측정된 파형 (2 μ s/div)
ch1 : 200 mV/div, ch2 : 100 mV/div
ch3 : 100 mV/div, ch4 : 200 mV/div



(b) 4000 [pC]일 때 측정된 파형 (2 μ s/div)
ch1 : 500 mV/div, ch2 : 500 mV/div
ch3 : 200 mV/div, ch4 : 500 mV/div

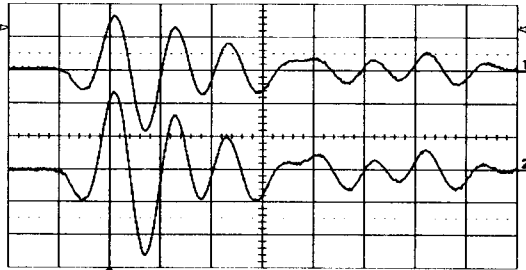


(c) 7000 [pC]일 때 측정된 파형 (2 μ s/div)
 ch1 : 1000 mV/div, ch2 : 500 mV/div
 ch3 : 500 mV/div, ch4 : 1000 mV/div

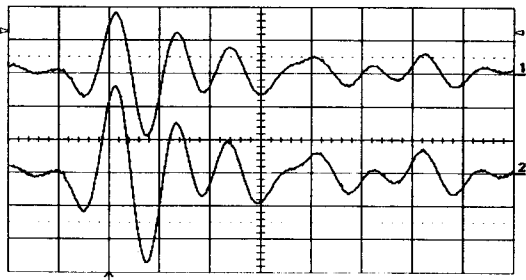
그림 7. Ferrite 코어로 측정된 부분방전 파형

기존 외국제품과 가장 유사한 펄스 폭 및 크기의 결과를 나타낸 것이 ferrite 코아 5 turns로 나타나, 이를 RFCT 센서로 최종 선정하고 센서를 제작하였다. 제작된 RFCT 센서는 그림 8과 같고, 기존 외국제품과 비교 측정된 부분방전 파형은 그림 9의 (a), (b), (c)와 같다. Ch1은 IRIS 제품의 특성이며, ch2는 ferrite 코아 5 turns를 사용하여 새로 제작한 것의 특성이다.

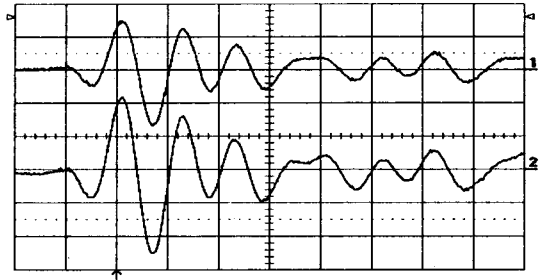
완제품으로 제작된 ferrite 코아 5 turns RFCT 센서의 측정 주파수 대역은 1MHz 대로 IRIS 제품과 거의 같고, 센서 응답크기는 표 1에 정리된 것처럼 ferrite 코아로 제작한 RFCT 센서가 약 1.5 - 2배 정도 큰 값으로 측정되었다. 그러므로 부분방전 측정에 있어서 당 연구를 통해 제작한 ferrite 코아 5 turns RFCT 센서가 더 감도가 양호한 것으로 판단된다.



(a) 1000 [pC]에서의 파형
 1 μ s/div, 50 mV/div



(b) 3000 [pC]에서의 파형
 1 μ s/div, 100 mV/div



(c) 7000 [pC]에서의 파형
 1 μ s/div, 200 mV/div
 그림 9. 완제품 RFCT 센서로 측정된 PD 파형



그림 8. 제작된 RFCT 센서의 실물 사진

표 1. 부분방전량에 따른 RFCT 센서의 응답 특성

PD량	1000 [pC]	4000 [pC]	7000 [pC]
IRIS RFCT	50~100(mV)	0.2~0.3(V)	0.3~0.5(V)
Ferrite RFCT	100~200(mV)	0.2~0.5(V)	0.4~1.1(V)

4. 결 론

본 논문에서는 회전기 고정자 권선의 절연열화에 의한 부분방전을 측정하기 위한 비접촉식 on-line 센서의 하나인 RFCT 센서를 개발하기 위해 여러 종류의 코아를 사용하여 주파수 응답특성 및 부분방전 측정을 수행하였다. 그 결과, ferrite 코아 5 turns이 기존 외국제품과 가장 유사한 주파수 특성을 보이는 것으로 나타났다. 또한 부분방전 측정에서 기존제품보다 1.5~2배 큰 값으로 측정되므로 ferrite 코아를 이용한 RFCT 센서가 부분방전 측정용 센서로서의 타당성을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- (1) 한국전기연구원, "고압 회전기 On-Line 감시기술 개발", 최종 보고서, 1998.
- (2) I.M. Culbert, H. Dhirani and G.C. Stone, "Handbook to Assess the Insulation Conduction of Large Rotating Machines (Volume 16)", EPRI publication EL-5036, 1989.
- (3) Y.J. Kim and etc., "Development of Continuous Partial Discharge Monitoring System for Generator Stator Insulations", Conference of the 2000 IEEE ISEI, pp. 5-8, 2000.
- (4) Ken Kimura and etc., "On-line Partial Discharge Monitor for Turbine Generator", Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering 1999 (ICEE '99), Vol. 1, pp. 172-175, 1999.
- (5) 電氣協同研究會, "電力設備へのセンサ技術適用", 電氣協同研究 第46卷, 第4号, 1990.
- (6) I.Blokhintsev and etc., "Field Experiences with the Measurement of Partial Discharges on Rotating Equipment", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 4, pp. 930-938, 1999.