

고압회전기 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 진단을 위한 Sierpinski 정삼각형 프랙탈 센서

임광진, 키아우소윈, 신동훈, 공태식¹, 김희동¹, 박노준, 박대희
원광대학교, 한전전력연구원¹

The Design of a Regular Triangle Fractal Sensor for Partial Discharge diagnosis in High Voltage Rotary Machine Stator Windings

Kwang-Jin Lim, Kyaw-Soe Lwin, Dong-Hoon Shin, Tae-Sik Kong¹, Hee-Dong Kim¹, Noh-Joon Park, Dae-Hee Park
Wonkwang University, Korea Electric Power Research Institute¹

Abstract - In case of stator windings in 6.6 kV high voltage rotary machine, the pulse resonance shows in 1.1 MHz - 2 MHz and 20 MHz - 200 MHz as the range of low frequency. Actually, the peak of partial discharge appears the range which generated resonance frequency, and is confirmed in the range of 1.1 MHz - 2 MHz. In this paper, the Sierpinski triangle fractal sensor have designed by using the CST MWS for confirming the partial discharge in 20 MHz - 200 MHz. As a result, we have obtained the result that the resonance pulse frequency is correlated with the partial discharge frequency in 20 MHz - 200 MHz.

1. 서 론

전력설비 용량의 증가에 따른 회전기가 대용량화, 고전압화됨으로서 절연 고장 예방을 위한 절연진단이 중요시되고 있다. 이들 회전기 고장의 대부분은 권선 소손이며 절연체 중에서 가장 중요한 부분은 고정자인 전기자 권선이다[1]. 고압회전기에서 고정자 권선은 운전 중에 열적, 기계적, 전기적 응력(Stress) 및 외부 환경에 의한 열화요인이 단독 혹은 복합적인 작용으로 부분방전이 발생된다[2]. 고압회전기 고정자 권선은 600 kHz이하의 주파수에서 편평한 전송 특성을 보이는 저역필터(loss-pass filter) 특성을 나타냈다. 그리고 저주파수 영역인 1.1 MHz와 2 MHz 부근과 20 MHz - 200 MHz 부근에서 각각 펄스 공진 특성을 가지고 있으며 공진이 발생하는 주파수 범위에서 실제로 부분방전의 피크 값을 확인하였다[3]. 절연체 내부의 공극에서 발생하는 부분방전은 수 마이크로에서 수 나노 초(second)의 상승시간과 폭을 가지는 펄스의 형태로 다중방전의 성향을 나타낸다. 고주파 영역에서 부분방전의 전자기적 현상은 매우 복잡하며 고주파의 전파현상은 단순한 등가회로 모델로는 그 현상을 고려할 수 없다. 그래서 FDTD(Finite Difference Time Domain method)나 FEM(Finite Element Method)등을 이용한 수치해석 방법인 CST의 MWS(Microwave Studio)를 사용하고 있다[4]. 따라서 CST MWS 프로그램을 사용하여 Sierpinski 정삼각형 프랙탈 센서를 설계하였다. Sierpinski 프랙탈 구조는 낮은 주파수 대역에서 공진을 일으키도록 설계할 수 있다. 반복 계수가 증가 할수록 첫 공진의 주파수 위치를 낮은 쪽으로 이동시킨다. 본 논문은 수치해석 방법인 CST MWS를 이용하여 Sierpinski 정삼각형 프랙탈 구조적 반복 설계를 통하여 공진의 주파수 위치를 약 20 MHz - 200 MHz의 주파수 대역으로 이동시켜 20 MHz - 200 MHz 주파수 대역의 부분방전 발생을 확인하고자한다.

2. 본 론

2.1 센서의 구조

정삼각형 프랙탈 센서는 각 변의 길이 A에 의해서 공진 주파수 대역이 결정된다.

$$f_{x,y,z} = \frac{2c}{3A\sqrt{\epsilon_r}} = \sqrt{x^2 + xy + y^2} \quad (1)$$

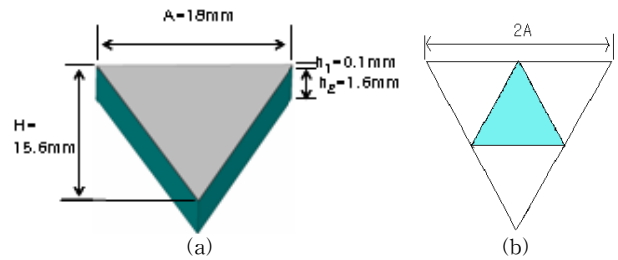
식 (1)에서 A는 정삼각형의 각 변의 길이이고, ϵ_r 은 기판의 비유전율이고, c는 빛의 속도이다. 공진 주파수는 삼각형 패치의 가장자리효과(fringe effect)에 의해 식 (2)와 같은 각 변의 유효 길이 A_{eff} 에 의해 최종 결정된다[5]

$$A_{eff} = A \sqrt{1 + \frac{2h}{\pi\epsilon_r A_{eq}} \left[\left(\frac{A}{2h} \right) + 1.41\epsilon_r + 1.77 + \frac{h}{A} (0.238\epsilon_r + 1.65) \right]} \quad (2)$$

여기서, h는 기판의 두께이며, A_{eff} 는 삼각형 패치의 실제 면적 S에 의한 등가 길이로 식 (3)에 의해 구한다.

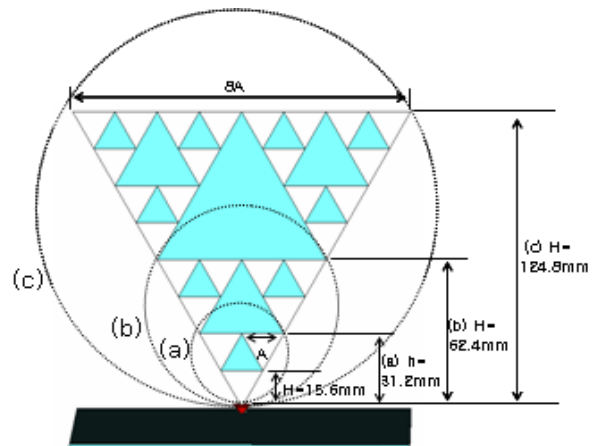
$$A_{eq} = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (3)$$

정삼각형 프랙탈 센서의 길이 A가 커질수록 공진 주파수의 위치가 낮은 쪽으로 이동하게 된다.



<그림 1> 정삼각형 프랙탈 기본 구조

그림 1은 제작 및 시뮬레이션에 사용된 센서의 기본적인 구조로 KINSTEN사의 PCB기판($\epsilon_r = 4.6$, $h = 1.6\text{mm}$)을 사용 하였다. (a)는 프랙탈 구조의 기본 도형이며 한 변의 길이를 18 mm로 하였고 도체 두께 $h_1 = 0.1\text{mm}$, 유전체 두께 $h_2 = 1.6\text{mm}$ 이다. (b)는 프랙탈 기본 도형을 1회 반복(iteration)한 결과로 3개의 정삼각형 패치로 구성되어 있다.

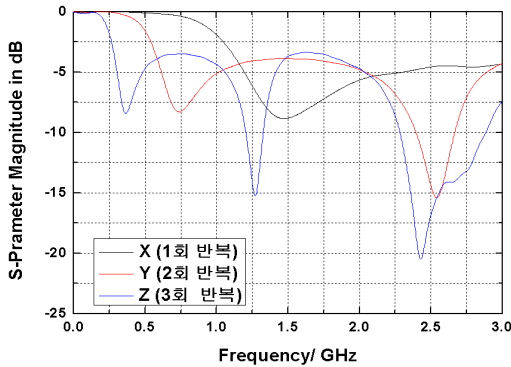


<그림 2> (a)1회,(b)2회,(c)3회를 반복한 정삼각형 프랙탈 구조

그림 2은 프랙탈 기본 도형의 반복 횟수를 보여주며 그에 따른 크기와 높이를 나타냈다. (a)는 1회 반복 한 것으로 한 변의 길이는 36 mm이며 높이는 31.2 mm이다. (b)는 2회 반복 한 것으로 정삼각형 프랙탈 기본 도형이 9개 정삼각형 패치로 구성되어 있다. 한 변의 길이는 72 mm이며 높이는 62.4 mm이다. (c)는 3회 반복한 것으로 27개의 정삼각형 패치로 구성되어 있고 길이 144 mm, 높이 124.8 mm의 크기이다.

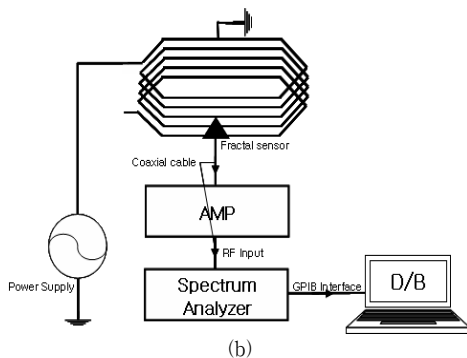
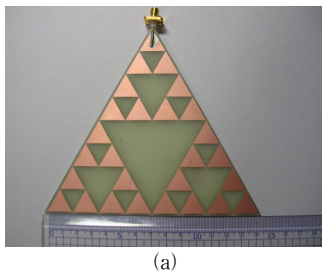
2.2 프랙탈 센서의 모의 실험

정삼각형 프랙탈 구조의 기본 도형을 1회에서 3회까지 반복해서 프랙탈 구조를 만들어 CST MWS의 프로그램을 이용하여 각각의 횟수에 따라 시뮬레이션을 하였다.



<그림 3> 반복 횟수에 따른 공진 주파수 대역 변화

그림 3은 정삼각형 프랙탈 센서의 공진 대역을 나타내는데 횟수가 증가할수록 첫 번째 공진 대역이 낮아지는 것을 알 수가 있다. X의 경우 첫 번째 공진 대역은 1.46 GHz이고, Y의 경우 첫 번째 공진 대역이 738 MHz이며, Z의 경우 첫 번째 공진 대역은 362 MHz이었다. 1회에서 2회로 증가 했을 경우 저주파 대역으로 722 MHz를 이동 했고, 2회에서 3회로 증가했을 경우 376 MHz이동을 했다.

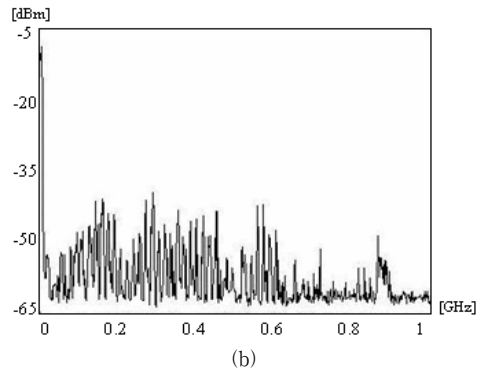
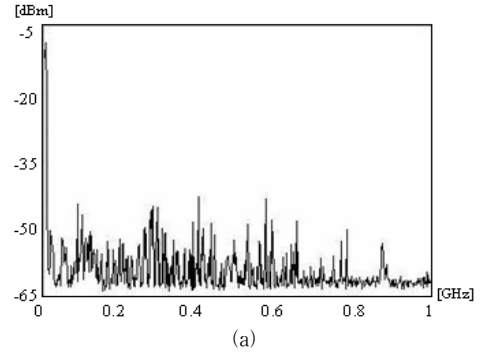


<그림 4> (a)정삼각형 프랙탈 센서, (b)실험 구성도

그림 4의 (a)는 가장 저주파 대역으로 이동한 3회 반복한 정삼각형 프랙탈 센서를 실제 제작하였다. (b)는 고정자 권선의 모델 코일에서 발생하는 부분방전의 진단을 위해 Power Supply, Amplifier, Spectrum Analyzer, Notebook PC, Regular Triangle Fractal Sensor를 사용하였다. 센서에서 Spectrum Analyzer까지는 Coaxial Cable를 사용하고, Spectrum Analyzer에서 PC까지는 GPIB Interface로 연결하였다

2.3 부분방전 측정

고정자 권선의 모델 코일 중 내부방전과 코로나방전이 발생하는 두 개의 모델 코일을 진단하였다.



<그림 5> (a)내부 방전, (b)코로나 방전

그림 5. (a),(b)는 Spectrum Analyzer를 통해 주파수 크기와 0 - 1 GHz 사이의 관계를 나타내었다. (a)내부방전, (b)코로나 방전의 두 코일 모두 20 - 700 MHz 주파수 대역에서 부분방전의 피크 값이 크게 나타났다. 700 MHz이상부터는 부분방전의 피크 값이 작아지는 것을 볼 수가 있다.

3 결 론

정삼각형 프랙탈 센서를 통하여 20 - 200 MHz 주파수 대역에서 공진이 발생하는 위치와 20 - 700 MHz 주파수 대역에서 부분방전이 발생하는 위치와 유사하다는 것을 확인 할 수가 있었다. 또한 700 MHz이상의 고주파 대역으로 갈수록 부분방전이 감소하는 것도 확인 할 수 있었다.

감사의 글
본 연구는 전력산업연구개발의 지원에 의하여 한전전력연구원 (R-2006-1-241-003)주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

- [1] 김진구, "고압회전기의 절연진단 기술", 전기저널, NO. 287, pp.48-53, 2000.
- [2] 김희동, "고압회전기 고정자 권선의 절연상태 평가", 전기저널, No. 3, pp. 50-56, 2002.
- [3] 김희동, "고압전동기 고정자 권선에서 부분방전 펄스의 전송", 대한전기학회논문지:전기물성,응용부분C, Vol. 52, No. 11, pp. 512-515, 2003.
- [4] D. Pommerenke, R. Jobava, R. Heinrich, "Numerical Simulation of partial Discharge propagation in cable joints Using the Finite Difference Time Domain Method", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.18, No.6, pp. 6-11, 2002.
- [5] S. H. Al-charchafchi, W. K. Ali, M. R. Ibrahim, and S. R. Barnes, "Design of a Dual Patch Triangular Microstrip Antenna", Applied Microwave & wireless, pp. 61-67, 1998.