

부분방전 해석 방법으로 PSA(Pulse Sequence Analysis)의 현장 적용성에 대한 고찰

Some Considerations on the On-site Applicability of PSA(Pulse Sequence Analysis) as a Partial Discharge Analysis Method

김정태^{1,a}, 이호근¹
(Jeong-Tae Kim^{1,a} and Ho-Keun Lee¹)

Abstract

Because of its effectiveness for the PD(Partial Discharge) pattern recognition, PSA(Pulse Sequence Analysis) has been considered as a new analytic method instead of conventional PRPDA(Phase Resolved Partial Discharge Analysis). However, it is generally thought that PSA has some possibility to misjudge patterns in case of data-missing resulting from poor sensitivity because it analyses the correlation between sequential pulses, which leads to hesitate to apply it to on-site. Therefore, in this paper, the problems of PSA such as data-missing and noise-adding cases were investigated. For the purpose, PD data obtained from various defects including noise-adding data were used and analyzed. As a result, it was shown that both cases could cause fatal errors in recognizing PD patterns. In case of the data missing, the error was dependant on the kinds of defect and the degree of degradation. Also, it could be noticed that the error due to adding noises was larger than that due to some data missing.

Key Words : Partial discharge, PRPDA, PSA, Pattern recognition, Noise

1. 서론

전력설비에서 절연열화가 발생할 때 나타나는 부분방전은 각종 결함의 종류에 따라 패턴의 차이를 나타내기 때문에 1960년대 이후로 PRPDA(Phase Resolved Partial Discharge Analysis)[1,2]가 가장 널리 사용되고 있다. 그러나, PRPDA는 실험실에서 단일 모델 결함의 경우에는 어느 정도 명확한 차이를 나타내지만 복합적인 방전이나 현

상에서는 패턴의 변화나 차이를 명확히 구분하기 어려운 문제점을 안고 있다. 이에 반해 1990년대 중반에 제시된 PSA(Pulse Sequence Analysis)[3]는 부분방전 펄스들에 대해 한 펄스의 부분방전 발생전압과 다음 펄스의 부분방전 발생전압의 차이를 이용하여 분석하는 방법으로, 부분방전 펄스와 펄스 사이의 관련성을 분석하기 때문에, 물리적인 의미가 포함되어 있어 보다 명확한 부분방전 해석 방법의 가능성을 인정받고 있다. 그러나 측정감도 등의 문제로 인해 부분방전 펄스를 완전히 측정하지 못할 경우 잘못된 해석의 문제를 안고 있어 아직 보편화되지 않고 있다.

본 연구에서는 PSA의 문제점이 무엇인지 보다 명확히 분석하고자 하였다. 이를 위해 여러 절연

1. 대전대학교 전기정보시스템공학과
(경기도 포천시 선단동 산 11-1)

a. Corresponding Author : jtkim@daejin.ac.kr

접수일자 : 2005. 1. 21

1차 심사 : 2005. 4. 8

심사완료 : 2005. 4. 14

결함에서 측정된 부분방전 데이터에 대해 측정감도에 따른 분석을 위해 적절한 부분방전량 이하의 데이터를 누락시킨 상태에서 PSA를 수행하였으며, 노이즈 데이터가 추가된 경우의 PSA를 수행하였다.

2. PSA 및 분석 대상 데이터

2.1 PSA(Pulse sequence analysis)

PSA는 연속적인 부분방전 펄스들의 상호 상관관계 및 방전 발생시의 위상각 또는 시험전압의 크기에 따른 상호 상관관계를 검토하는 방법[3,4]이다. 결함의 부분방전 발생 과정에서 먼저 발생한 펄스의 영향으로 잔류하는 공간전하가 뒤에 발생하는 펄스의 발생과 매우 큰 관련성을 갖고 있어 연속된 펄스사이의 상관관계가 존재한다고 생각할 수 있다.

PSA의 기본개념에 대한 개념도를 그림 1에 나타내었다. PSA 분석기법에서 사용되는 파라미터로는 그림에 보인 바와 같이 펄스발생시의 인가 전압의 차 (Δu_n), 펄스발생시의 위상 차 ($\Delta \phi_n$)를 사용하며 이들의 상관관계를 검증함으로써 공간전하 효과와 펄스발생의 물리적인 현상을 이해할 수 있다.

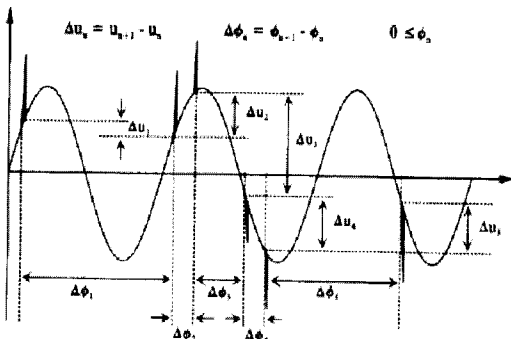


그림 1. PSA 분석기법의 개념.

Fig. 1. Concept of PSA.

2.2 부분방전 데이터

본 연구에서 측정감도 문제로 인한 데이터 누락 효과를 분석하기 위한 대상으로, XLPE 케이블 접

속함 계면에서 발생할 수 있는 결함을 모의한 계면의 금속이물과 보이드 결함에서 발생하는 부분방전 데이터와 이들이 계면 전기트리로 진전되었을 경우의 부분방전 데이터[5]를 이용하였다. 금속이물은 $250 \pm 10 \mu\text{m}$ 정도 크기의 동분을 이용하였으며, 보이드는 $\phi 100 \times 30 \mu\text{m}$ (깊이)의 찍힘 자국을 이용하였다.

부분방전 측정은 부분방전 측정 상용 시스템을 이용하여 고주파 부분방전을 측정하였고 전압 인가방법은 15분 간격으로 $1/2 E_{\text{max}}$ 씩 상승시켜 절

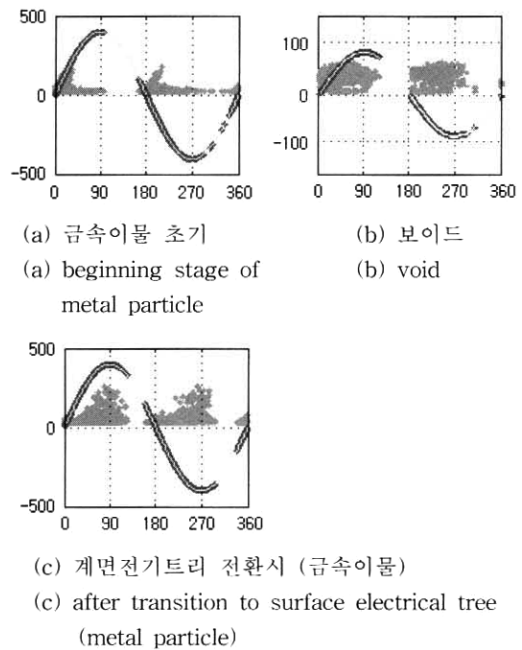


그림 2. 측정된 부분방전의 PRPDA 패턴 예.

Fig. 2. Examples of PRPD patterns for the measured partial discharges.

연과괴 될 때까지 전압을 인가시키면서 실험하였다.

한편, 노이즈가 섞여 있을 경우의 문제점 분석으로는 XLPE 케이블 절연층 내 전기트리에서 발생하는 부분방전 데이터에 노이즈가 가미된 경우를 분석 대상으로 하였다.

참고적으로 접속함 계면의 금속이물과 보이드에서 발생하는 부분방전과 계면 전기트리로 진전하였을 경우의 보편적인 PRPDA 패턴을 그림 2에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 측정감도 문제로 인한 데이터 누락 효과

PSA가 분명히 부분방전 해석에 효과적인 방법임에도 불구하고 현장 적용이 잘 이루어지지 않는 이유는 측정 감도의 문제로 데이터가 누락("submarine effect"라고도 함)이 되는 경우 잘못된 해석으로 이어질 수 있는 우려 때문이다. 즉, PSA는 연속적으로 발생하는 부분방전 펄스들 간의 관계를 분석하기 때문에 하나의 데이터라도 누락되는 경우에는 해석에 문제가 발생한다.

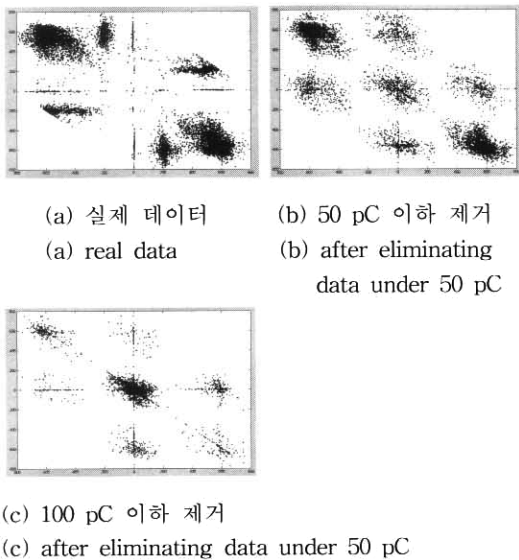


그림 3. 금속이물에 대한 측정감도 차이 효과.
 Fig. 3. Effects of measuring sensitivity for the metal particle defect.

본 연구에서는 이에 대해 보다 상세히 검토하기 위하여 여러 결함에서 발생하는 부분방전 데이터에 대해 어느 값 이하의 부분방전 전하량 데이터를 누락시키는 방법으로 분석하였다.

그림 3은 XLPE 케이블 접속함 계면에 존재할 수 있는 금속이물에서 발생하는 부분방전 초기의 데이터에 대한 분석 결과이다. 측정감도를 나쁘게 하여 더 많은 데이터가 누락될수록 데이터 클러스터들이 다른 형태를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 특히 50 pC 이하의 데이터만이라도 누락시킬 경우 실제 데이터와는 패턴 차이가 크게 나타나

PSA의 문제점을 보여주고 있다.

그림 4는 그림 3의 금속이물 결함이 진전되어 계면 전기트리로 발전되었을 경우의 부분방전 데이터에 대한 분석 결과이다. 이 경우에는 50 pC 이하의 데이터가 누락되었어도 새로운 데이터 클러스터는 발생되었지만 실제 데이터의 형태를 어느 정도 유지하고 있다. 100 pC 이하 데이터 누락 시에는 상당히 원래의 패턴이 와해된 형태이며 500 pC 이하 데이터 누락 시에는 실제 데이터의 패턴과는 완전히 다른 모습이다. 따라서, PSA를 이용한 부분방전 패턴인식에서 데이터 누락 시에는 패턴의 구분이 어려워짐을 알 수 있다.

그림 5는 XLPE 케이블 접속함 계면의 보이드 결함에서 발생하는 부분방전 초기의 데이터에 대

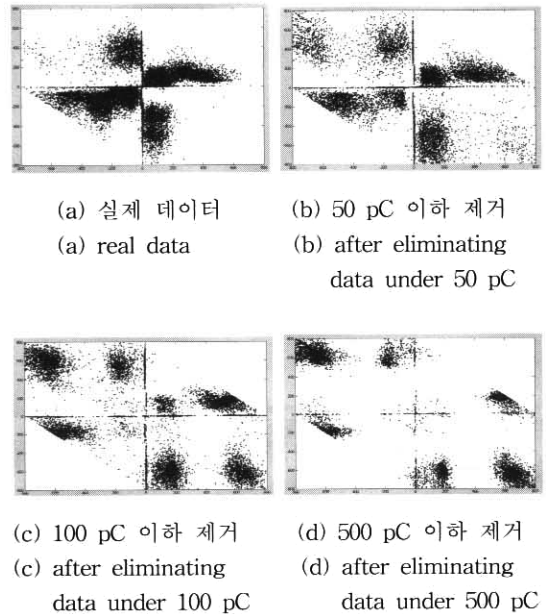


그림 4. 계면 전기트리에 대한 측정감도 차이 효과.
 Fig. 4. Effects of measuring sensitivity for the surface electrical tree.

한 분석 결과이다. 이 경우에는 100 pC 이하의 데이터가 누락되었어도 실제 데이터의 형태와 큰 차이를 보이지는 않고 있다. 200 pC 이하 데이터 누락 시에도 실제 데이터와 유사한 패턴을 나타내지만 300 pC 이하 데이터 누락 시에는 실제 데이터와는 다른 형태의 양상을 나타내고 있다.

이상의 분석에서 PSA에서의 데이터 누락에 따른 효과는 결함의 종류에 따라 상당한 차이를 나타내는 것을 볼 수 있다. 즉, 금속이물의 경우에는 데이터 누락 효과가 크게 발생하였으나 보이드 결함과 같은 경우에는 그 효과가 그리 크지는 않았다. 이 이유는 방전의 형태 차이로 해석될 수 있다. 즉, 크고 작은 방전량의 부분방전 펄스들이 섞여서 발생될 경우에는 측정감도에 따른 데이터 누락 효과가 크게 나타난다. 반면에 전체적으로 방전량이 큰 펄스들이 발생하는 경우에는 측정감도가 나쁘더라도 데이터 누락의 효과는 없게 된다. 아울러, 방전량의 크기가 작더라도 이 방전들이 계속 물려있는 경우에는 작은 방전량의 펄스들이 한꺼번에 누락되고 큰 방전량의 펄스들은 원래의 관계를 유지하면서 존재하기 때문에 패턴이 어느 정도는 유지되는 것으로 해석할 수 있다.

결론적으로 PSA 적용에 있어서 측정감도 문제로 인한 데이터 누락효과는 결함의 종류나 진전

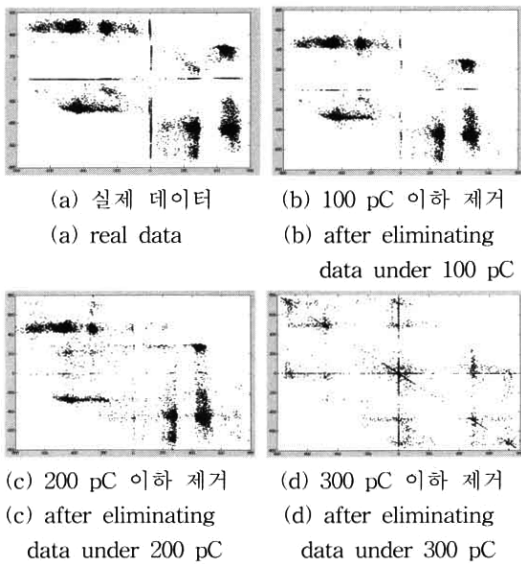


그림 5. 보이드에 대한 측정감도 차이 효과.
 Fig. 5. Effects of measuring sensitivity for the void defect.

정도에 따라 정도의 차이가 있을 수 있으나 측정감도가 나쁠수록(데이터 누락이 심할수록) 잘못된 해석으로 이어진다고 볼 수 있다.

3.2 노이즈 유입시의 문제점

현장에서는 측정감도의 문제도 있지만 더욱 문제되는 것은 현장에서 발생하는 노이즈이다. 노이즈는 크게 공중파 노이즈, 전력선을 타고 오는 노이즈, 집지 노이즈 등으로 다양하지만, 특히 문제되는 것은 전력기에서 발생하는 코로나이다. 경우에 따라 코로나는 실제 부분방전 보다는 더 큰 값으로 측정되어 부분방전 측정에 가장 악영향을 미친다고 볼 수 있다.

노이즈의 크기가 크면 작건 부분방전 펄스들과 섞여서 측정되는 경우에는 PSA의 적용에 큰 문제가 될 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 이 점에 대해 보다 구체적으로 검토하였다.

그림 6은 XLPE 케이블 절연층에서 발생할 수 있는 전기트리(덤불형)의 부분방전 데이터에서 노이즈가 첨가되기 전과 후 및 노이즈가 사라진 뒤의 부분방전을 분석한 PRPDA(Phase Resolved Partial Discharge Analysis) 패턴이다. 노이즈 출현의 효과를 쉽게 이해할 수 있도록 PRPDA 패턴으로 우선 나타내었다. 그림 6(b)와 (c)에 작은 값

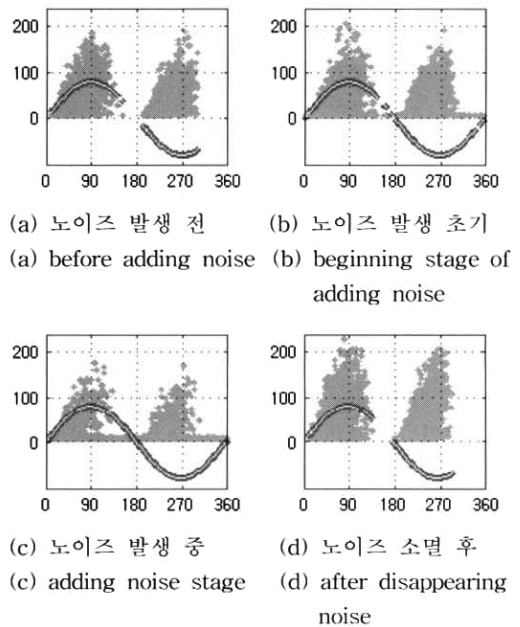
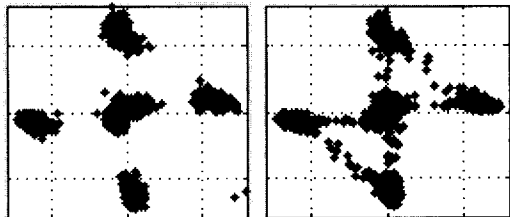


그림 6. 노이즈 발생 전후의 PRPDA 패턴 비교.
 Fig. 6. Comparison of PRPD patterns with and without adding noise.

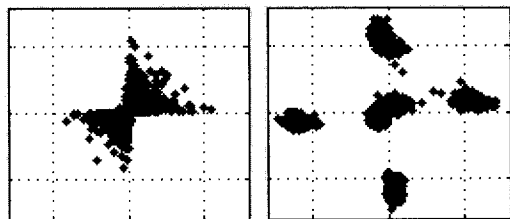
의 노이즈가 가로축 부근에 깔려있는 것을 확인할 수 있다. 이때 발생한 노이즈는 전기트리 부분방전 측정 중 실험실 내 타 기기를 동작하여 약 1-2분 동안 지속된 표면방전에 의한 노이즈였다.

그림 7은 그림 6의 데이터에 대해 PSA를 수행한 경우의 패턴 비교이다. 노이즈 발생 전에는 전형적인 전기트리의 PSA 패턴을 명확히 나타내고 있다. 그런데 그림 7(b)와 같이 노이즈가 유입되기 시작하자 패턴에 이상이 생기기 시작하다가, 그림 7(c)와 같이 노이즈가 상당히 발생하는 경우에는 전혀 다른 패턴을 나타내고 있다. 그 후 노이즈가 소멸되자 원래 전기트리 패턴을 회복하는 양상을 나타내고 있다. 결국 PSA에서 노이즈가 유입되었다면 분석에 치명적인 문제를 초래한다는 것을 알 수 있다.

이와 같은 노이즈 유입에 따른 PSA의 문제는 그림 6의 PRPDA에 비해 더 큰 문제로 파악된다. 즉, 그림 6(c)에서는 6(a)에 비해 약간의 차이만으로 거의 같은 패턴으로 인식될 수 있지만, 그림 7(c)는 7(a)와는 전혀 다른 패턴으로 완벽한 오판을 할 수 있기 때문이다.



(a) 노이즈 발생 전 (a) before adding noise
(b) 노이즈 발생 초기 (b) beginning stage of adding noise



(c) 노이즈 발생 중 (c) adding noise stage
(d) 노이즈 소멸 후 (d) after disappearing noise

그림 7. 노이즈 발생 전후의 PSA 패턴 비교.
Fig. 7. Comparison of PSA patterns with and without adding noise.

이러한 노이즈 유입시 PSA의 문제점은 전술한 측정감도에 따른 데이터 누락 효과보다도 더 큰 문제라고 판단된다. 측정감도 문제에 따른 데이터 누락시에는 결함의 종류 및 열화 진전 정도나 방전량의 크기에 따라 차이가 있을 수 있으나, 노이즈 유입시에는 전혀 다른 패턴이 발생되기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서는 부분방전 해석 방법으로 PSA의 문제점이 무엇인지 보다 명확히 파악하기 위해, 여러 결함에서 측정된 부분방전 데이터에 대해 측정감도에 따른 분석 및 노이즈 유입된 경우의 PSA를 수행하였다.

그 결과, 두 경우 모두 부분방전 해석에 치명적인 잘못을 유발시킬 수 있었다. 측정감도 문제에 따른 데이터 누락의 경우에는 결함의 종류 및 열화진전 정도에 따라 해석 오류에 차이가 있었으며, 노이즈 유입시에는 측정감도 문제보다도 더 큰 문제로 잘못된 패턴인식이 될 수 있음을 알 수 있었다.

이상의 분석으로부터 PSA는 부분방전 측정보다 정확해야 하고 노이즈 영향을 배제시켜야만 현장 적용이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2004-B-123) 주관으로 수행된 과제임.

참고 문헌

- [1] Cigre Working Group 21.03 Recognition of Discharges, *Electra*, Vol. 11, p. 61, 1969.
- [2] 박성희, 이강원, 강성화, 임기조, "XLPE 전력용 케이블 시편의 부분방전원 분류", *전기전자재료학회논문지*, 17권, 8호, p. 898, 2004.
- [3] R. Patsch, M. Hoof, and C. Reuter, "Pulse-sequence-analysis, a promising diagnostic tool", *Proceedings of 8th ISH*, p. 157, Yokohama, Japan, 1993.

- [4] R. Patsch, "Voltage - difference analysis, a tool for partial discharge source identification", Conf. of Record of the 1996 IEEE Int'l Symposium on Electrical Insulation, p. 401, 1996.
- [5] Lee J. S., Koo J. Y., and Kim J. T., "The analysis of the partial discharge pattern to the artificial defects introduced at the interface in an XLPE cable joint using laboratory model", 6th International Conference on Insulated Power Cables (JICABLE), C.8.2.7, p. 682, Versailles, 2003.