

PSA를 이용한 PRPDA의 불명확성 개선에 대한 연구

이호근*, 김정태
대진대학교 전기공학과

A study on the improvement of indefiniteness in PRPDA by use of PSA

Ho-Keun Lee, Jeong-Tae Kim
Dept. of Electrical Eng., Daejin University

Abstract - This paper deals with the improvement of indefiniteness in PRPDA(Phase Resolved Partial Discharge Analysis) through analyzing the relation between PRPDA and PSA(Pulse Sequence Analysis). For the analysis we adopted PD data from artificial defects in XLPE HV cable systems and performed PRPDA and PSA. As a results, we confirmed that PSA was more useful than PRPDA in classifying PD patterns with the degradation stages. Therefore, it is possible to improve the indefiniteness of PD pattern recognition using the relation between PRPDA and PSA.

1. 서 론

전력설비에 대한 부분방전 진단의 해석 방법으로는 각종 결함에 따라 부분방전 패턴의 차이를 나타내기 때문에 1960년대 이후로 PRPDA(Phase Resolved Partial Discharge Analysis)가 가장 널리 사용되고 있다. 그러나, PRPDA는 실험실에서 단일 모델 결함의 경우에는 어느 정도 명확한 차이를 나타내지만 복합적인 방전이나 현장에서는 패턴의 변화나 차이를 명확히 구분하기 어려운 문제점을 안고 있다. 이에 반해 1990년대 중반에 제시된 PSA(Pulse Sequence Analysis)는 물리적인 의미가 포함되어 있어 보다 명확한 부분방전 해석 방법의 가능성을 인정받고 있으나, 측정감도 등의 문제로 인해 부분방전 펄스를 완전히 측정하지 못할 경우 잘못된 해석의 문제를 안고 있어 아직 보편화되지 않고 있다.

본 연구에서는 PSA의 명확한 부분방전의 해석 가능한 방법을 PRPDA와 연계하여 찾고자 하였다. 특히 열화 진단 단계에 따른 PRPDA와 PSA의 패턴이 공통적으로 어떻게 변화해 가는지를 분석하였으며, 이를 통하여 PRPDA에서 불명확하게 나타나는 열화진전에 따른 부분방전 패턴에 대해 보다 명확하게 구분할 수 있는 가능성을 제시하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 분석 대상 선정

본 연구에서 고려한 분석 대상으로는 XLPE 케이블 접속함 계면에서 발생할 수 있는 결함을 모의한 계면의 보이드 및 절연성 이물과 XLPE 케이블 절연층 내에서 발생할 수 있는 전기트리를 선정하였다. 이러한 모의 결함에 대해 실험한 부분방전 측정 데이터를 이용하여 PSA와 PRPDA를 수행하였다.

2.2 PRPDA와 PSA의 상호 관련성 분석

2.2.1 PRPDA와 PSA의 기본 패턴 비교

전력 케이블 접속함 계면에 존재한다고 모의한 보이드

에서 발생한 부분방전 측정 데이터를 바탕으로 PRPDA와 PSA를 수행하였으며, 이로부터 얻은 패턴을 그림 1에 나타내었다. 그림 1.(a)의 PSA_Void에서 8개의 데이터 클러스터들이 형성되는 것을 볼 수 있다. 그러나, 그림 1.(b)의 PRPDA_Void에서는 클러스터들 간의 구분이 불명확 것을 알 수 있다.

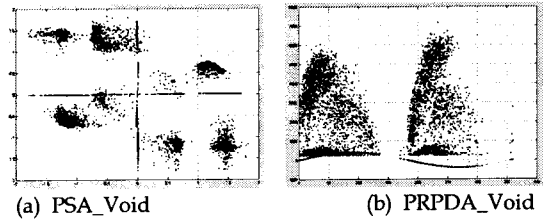


그림 1. PSA와 PRPDA를 이용한 보이드의 PD 패턴

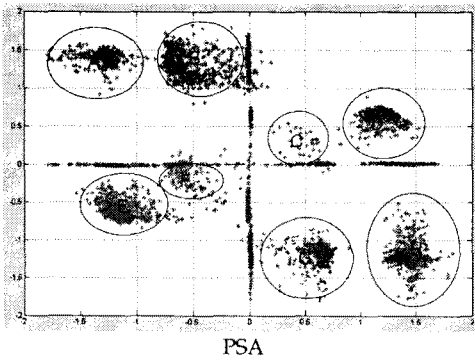
접속함 계면의 결함에서 발생하는 부분방전은 일반적으로 초기에는 공극 방전을 나타내다가 점차적으로 계면을 따라 발생하는 계면 전기트리로 이어지고 결국에는 본격적인 계면 전기트리의 진전으로 인해 계면에서의 절연과괴로 이어지게 된다. 결국 이러한 열화의 진전에 따라 부분방전 발생 양상 즉 PD 패턴이 달라질 것이고 부분방전 분석방법은 이러한 패턴의 변화를 명확히 보여줄 필요가 있다. 이러한 측면에서 그림 1에 나타난 패턴을 보면 PRPDA 보다는 PSA가 패턴 변화를 표현하는데 유리하다 할 수 있겠다.

2.2.2 PRPDA와 PSA의 각 클러스터별 비교 분석

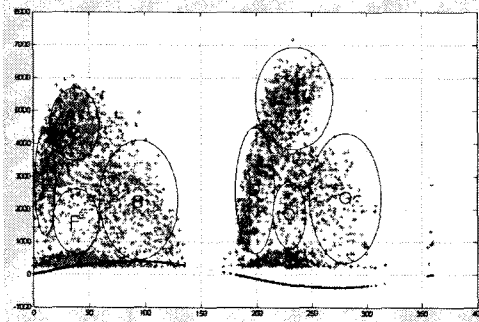
그림 1에서 나타난 PSA의 각 클러스터들에 해당하는 각 PD데이터가 PRPDA에 어떻게 Mapping이 되어 나타나는지를 구체적으로 분석하였다.

여기서 PRPDA에 Mapping되어진 각 데이터들의 위치에 주목하였다. 즉, Mapping 되어진 각 부분들은 PRPDA를 이용한 PD 진단 방법에서 중요하게 언급되어지는 토끼의 귀 모양 부분과 몸통 모양 부분에 일치하고 있는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 보이드 결함에서 발생하는 부분방전 데이터를 근간으로 PSA와 PRPDA의 데이터 클러스터를 비교하였으며, PSA에서 나타나는 8개의 클러스터를 A에서 H까지 이름을 붙이고 PRPDA의 어느 부분에 위치하는지를 나타내었다. 그림 2.(a)에 나타난 바와 같이 명확한 비교 분석이 가능함을 알 수 있다. 아울러, 보다 상세한 클러스터의 관련성을 알기 위해 그림 2.(b), (c) 및 (d)에 보다 상세히 나타내었다. 이러한 비교로써 열화 진전에 따른 PD 패턴 변화를 파악하기 용이한 PSA를 이용하여 보다 보편적으로 활용되고 있는 PRPDA에서의 패턴 변화를 보다 명확히 파악할 수 있으며, 이에 대해 다음 절에서 언급한다.

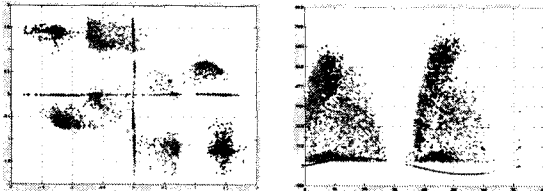


PSA



PRPDA

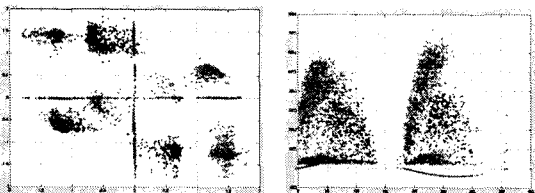
(a) PSA와 PRPDA의 각 클러스터 비교



PSA

PRPDA

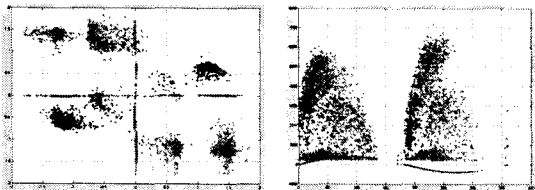
(b) A 및 H 클러스터 (PRPDA의 토끼 귀 부분)



PSA

PRPDA

(c) B 및 G 클러스터 (PRPDA의 토끼 몸통 부분)



PSA

PRPDA

(d) C, F 및 D, E 부분 (PRPDA의 토끼 앞쪽 부분)

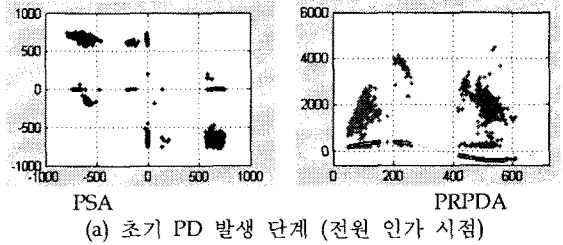
그림 2. PSA와 PRPDA의 각 부분별 패턴의 모습 비교

2.3 열화 진단 단계별 PRPDA와 PSA 패턴 변화

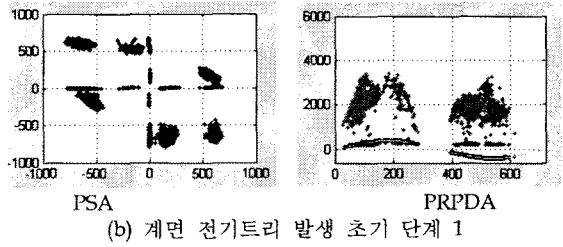
2.3.1 계면 절연성 이물의 경우

먼저 케이블 접속함 계면에서의 내부 결합 중 하나인 절연성 이물에 대한 부분방전 측정 결과에 대해 열화 진단 단계별 PSA와 PRPDA의 패턴 변화 모습을 그림 3에 나타내었다.

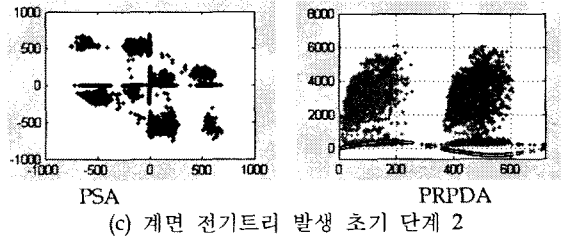
여기서 간략한 설명을 위하여 그림 2에서 언급한 바와 같이 PRPDA의 토끼 귀 부분과 몸통 모양 부분 그리고 앞쪽 부분으로 표현하였다.



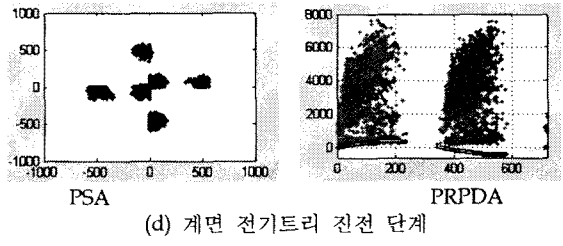
(a) 초기 PD 발생 단계 (전원 인가 시점)



(b) 계면 전기트리 발생 초기 단계 1



(c) 계면 전기트리 발생 초기 단계 2



(d) 계면 전기트리 진단 단계

그림 3. 케이블 접속함 계면의 절연성 이물에 대한 열화 진단 단계별 PSA와 PRPDA의 패턴 변화 모습

각 단계별로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 그림 3.(a)에 나타난 바와 같이 계면 절연성 이물에 대한 전압인가 초기에 부분방전이 발생하기 시작하면서, PRPDA에서 토끼 몸통 모양 부분에 해당하는 클러스터들은 거의 나타나지 않고 주로 토끼 귀 부분으로 생각되는 클러스터가 형성되고 있으며, PSA에서는 A와 H에 해당하는 클러스터가 발달되어 있음을 알 수 있다. 그림 3.(b)의 PSA에서는 B와 G 및 D와 E가 형성되기 시작하여 다른 형태의 방전이 발생되었음을 의미하지만 아직까지 PRPDA에서는 변화는 있지만 명확해진 않은 것으로 보인다. 이 방전의 원인은 계면 전기트리의 시작단계로 보인다. 그림 3.(c)의 PSA에서는 그림 (a)에서 보이던 A

와 H가 점차로 사라져감과 동시에 B와 G 및 D와 E가 더 명확해지고 C와 F도 출현하는 것을 볼 수 있다. PRPDA에서도 몸통 부분의 클러스터가 제법 형성되어 있음을 알 수 있다. 이것은 이제 초기에 발생하던 공극 방전의 형태가 거의 사라지고 계면 전기트리가 크게 발달되었음을 나타낸 결과로 해석된다. 나아가 그림 3.(d)의 경우에는 계면 전기트리가 상당히 발달하여 거의 절연 파괴 직전인 단계로서, PSA에서는 A와 H는 완전히 사라져 공극방전이 전혀 보이지 않는 것으로 볼 수 있으며, 계면 전기트리의 결과로 추정되는 다른 클러스터들은 아주 밀집된 형태를 보이고 있다. PRPDA의 경우 그림 (c)와 (d) 간의 차이는 크게 눈에 띄지는 않고 있는 것을 볼 수 있어 열화 진전 단계에 따른 해석방법으로는 불충분함을 알 수 있다.

2.3.2 XLPE 절연체 내 전기트리의 경우

다른 종류의 데이터로서 XLPE 케이블 절연체 내에서 발생하는 전기트리 데이터에 대해서도 동일한 방법으로 분석하였다. 본 연구에서 분석한 전기트리는 가지형 전기트리로서 진행단계에 따라 전기트리 발생 직후인 초기 PD 발생 단계, 조금 진전된 전기트리 진전 중기 단계, 거의 절연 파괴 직전의 전기트리 진전 말기 단계인 세 단계로 나누었으며, 이에 대한 부분방전 해석 결과를 그림 4.(a), (b) 및 (c)에 나타내었다.

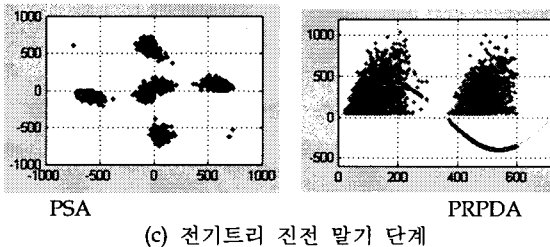
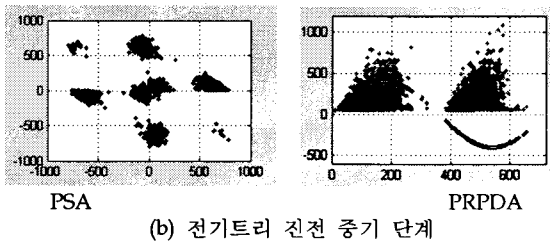
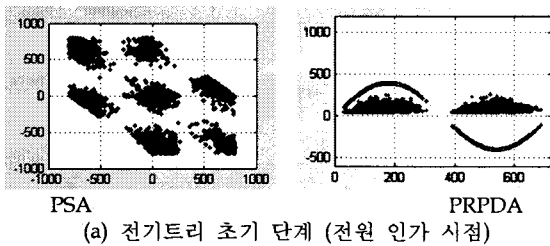


그림 4. XLPE 절연체내 전기트리 진전 단계별 PSA와 PRPDA의 패턴 변화 모습

그림 4.(a)의 전기트리 발생 초기 단계에서 PSA를 보면 상당히 데이터 클러스터가 퍼져 있지만 A에서 H까지의 모든 클러스터가 포함되어 나타나고 있는 것으로 해석된다. PRPDA의 경우에는 토끼 몸통 부분이라고 볼 수 있는 패턴이 전반적으로 넓게 나타나고 있다. 전기트리가 어느 정도 진전된 그림 4.(b)의 경우를 보면 PSA에서 A와 H에 해당하는 클러스터가 상당히 소멸된 것을 볼 수 있다. 이는 계면 절연성 이물의 경우인 그림 3에서도 나

타나던 현상으로 A와 H는 결국 열화의 초기 단계에서 발생하는 패턴으로 해석할 수 있다. 또한 다른 클러스터들도 퍼진 형태가 아니라 그림 2.(a)의 PSA의 클러스터 형태와 유사하게 뭉쳐져 가는 것을 알 수 있으며, 이 또한 열화의 진전에 따른 변화 양상으로 볼 수 있다. 한편 PRPDA의 경우에는 몸통 부분의 클러스터가 발달한 것으로 보이지만 방전량의 크기를 제외하고는 초기와 의 패턴 변화를 쉽게 파악하기 어렵다. 파괴 직전인 전기트리 진전 말기 단계인 그림 4.(c)에서 PSA의 경우에는 A와 H가 완전히 사라진 것을 볼 수 있으며 나아가 B와 G, C와 F 그리고 D와 E에 해당하는 클러스터는 더욱 밀집된 형태로 진전되고 있다. 특히 그림 3.(d)에서와 마찬가지로 C와 F 및 D와 E 클러스터는 그림 2에서와 달리 x 축에 붙어있는 것을 볼 수 있으며, 이것을 열화 말기의 또 하나의 패턴으로 제시할 수 있다고 생각된다. 한편, PRPDA의 경우에는 그림 (b)의 열화 중기의 경우와 패턴의 변화를 전혀 나타내고 있지 않고 있다.

2.4 분석 결과에 대한 고찰

전술한 바와 같이 PRPDA 보다는 PSA가 열화 진전 단계에 따른 부분방전의 패턴변화를 훨씬 알기 용이하다는 것을 알 수 있었다. 또한 PSA의 각 클러스터 중 A와 H는 부분방전 발생 초기 즉 열화 초기에 나타나며 나머지 클러스터들은 열화 중기 또는 말기에 해당되는 패턴으로 해석된다. 아울러 열화의 진전정도가 더 심화될수록 클러스터들의 밀집성은 높아지며 C와 F 및 D와 E 클러스터는 x 축에 붙는 형태로 된다는 분석이 가능하다.

하지만, 이러한 분석은 좀더 추가적인 연구가 필요하다. 즉, 경우에 따라 C와 F 및 D와 E 클러스터는 부분방전 발생 초기에도 형성되는 경우도 있으며 같은 절연성 이물 및 전기트리라 하여도 상기한 바와 같은 패턴이 항상 전개되지만은 않기 때문이다.

한편, PRPDA는 매우 편리화되어 있는 해석방법이므로 이를 이용하는 것이 편리한 점이 많기 때문에, 본 연구에서 제시한 PSA에서의 클러스터와 그 의미를 PRPDA에 접목시켜 해석한다면 부분방전 패턴인식의 정확도를 더욱 향상시킬 수 있으리라 판단된다.

3. 결 론

PRPDA와 PSA간의 상관관계를 분석하고, 열화 진전 단계별로 확인한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. PSA의 각 클러스터들과 PRPDA의 패턴 변화에 따라 특징지어지는 각 부분들간의 상관 관계가 있음을 확인하였다.
2. PSA에서의 각 클러스터는 열화의 진전단계와 직접적인 관련성이 있는 것으로 나타났다.
3. PRPDA에서 PD 패턴 분석시의 불명확함을 PSA를 통해 해결할 수 있음을 알았다.

그러나, 이상의 결과만으로 PRPDA의 불명확성을 완전히 개선하긴 어려우며, 보다 많은 데이터 분석을 통해 정립되어야 한다고 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1] R. Patsch, "Pulse Sequence Analysis - What Does It Tell Us About Multiple Discharge Sites?", 7th Int'l Conf. on Dielectric Materials Measurements, pp 133-136, September 1996

[2] 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, pp 401-406, June 1996