

기중방전의 특성분석과 Kohonen network에 의한 방전원의 패턴분류

Properties and classification of air discharge by Kohonen network

강성화*, 박영국, 이광우, 김완수, 이용희, 임기조

Seong-Hwa, Kang*. Young-Guk, Park, Kwang-Woo, Lee, wan-su, Kim, yong-heuy Lee, Kee-Joe, Lim.

Chungbuk National University. * Chungcheong College.

Abstract

Partial discharge(PD) in air insulated electric power systems is responsible for considerable power losses from high voltage transmission lines.

PD in air often leads to deterioration of insulation by the combined action of the discharge ions bombarding the surface and the action of chemical compounds that are formed by the discharge and may give rise to interference in communication systems. PD can indicate incipient failure. Thus understanding and classification of PD in air is very important to discern source of PD.

In this paper, we investigated PD in air by using statical method. We classified air discharge with corona, surface discharge and cavity discharge by source of discharge.

we used the mean pulse-height phase distribution $H_{qmean}(\psi)$, the max pulse-height phase distribution $H_{qmax}(\psi)$, the pulse count phase distribution $H_n(\psi)$ and the max pulse height vs. repetition rate $H_q(n)$ for analysis PD pattern. We used statistical operators, such as skewness(S+, S-), kurtosis(K+, K-), mean phase(AP+, AP-), cross-correlation factor(CC) and asymmetry from the distribution.

Key words(중요용어) : Partial discharge (부분방전), Distribution pattern(분포형태) classification of pattern (패턴분류)

1. 서 론

전력시스템에서 발생한 부분방전을 측정하여, 부분방전 발생원에 따른 부분방전의 패턴을 분류함으로써, 전력시스템의 결함과 열화를 검출할 수 있다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다[1,2,3]. 또한, 근래에는 부분방전의 특성분석과 패턴분류에 뉴럴네트워크의 도입으로 인하여 부분방전의 패턴분류 및 방전발생원의 식별이 상당히 진보하였다[4,5,6]. 그러나, 부분방전은 외부 노이즈에 민감하고, 전력시스템의 운전환경 즉, 부하전류나 주위온도 등에 민감하기 때문에 현재까지의 연구결과 만으로는 절연시스템의 결함이나, 열화 등을 검출하는 것이 불충분하다[7,8].

따라서 본 연구에서는 인공결함에서 발생한 부분방전을 측정하고 데이터를 통계적으로 처리하여 부분방전 발생원에 따른 부분방전의 특성을 고찰하고, 뉴럴네트워크를 이용하여 부분방전의 패턴을 분류하였다. 본 연구에서는 기중방전을 방전발생원 별로 코로나방전, 연면방전, 공극방전으로 분류하여 각각의 부분방전 특성을 비교 분석하였으며, 부분방전 발생원에 따른 패턴을 분류하였다.

부분방전은 동일한 실험조건에서도 그 패턴이 상당히 변화하며, 이 경향은 특히 짧은 시간동안에 발생한 부분방전 데이터에서 크게 나타나므로 본 연구에서는 300cycle 동안 발생된 부분방전을 측정하여 통계적으로 처리하였다. 부분방전의 발생원별 특성분석 및 패턴 분류에 사용한 파라미터들은 기중방전의 특성분석과 패턴 분류에 사용한 파라미터들은 펄스의 발생 위상각에 따른 펄스 평균 크기 분포 ($H_{qmean}(\psi)$), 위상각에 따른 펄스 최대 크기 분포 ($H_{qmax}(\psi)$), 위상각에 따른 펄스 발생 빈도수 분포 ($H_n(\psi)$)에서의 왜도(skewness, S+, S-), 첨예도(kurtosis, K+, K-), 평균 위상각(AP+, AP-)과 분포의 비대칭도(asymmetry), 펄스의 최대 크기-발생 빈도수 ($H_q(n)$)의 왜도(skewness, S)와 첨예도(kurtosis, K)이다.

2. 실험

2.1 전극형태

본 실험에서는 절연시스템에서 발생할 수 있는 전형적인 방전발생원과 유사하도록 전극의 형태를

고려하였으며, 실험에 사용된 전극형태는 그림 1에 나타내었다.

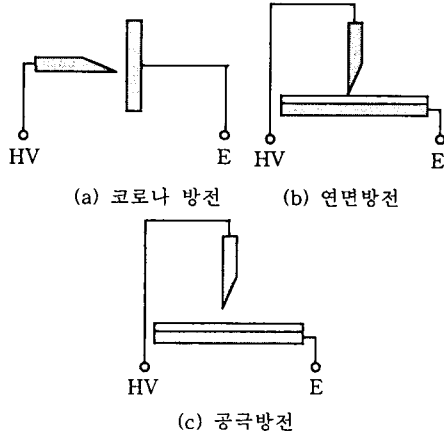


그림 1. 전극형태

그림 1(a)는 불평등 전계의 가장 대표적인 일레인 침-침 전극이며, 침단 곡률반경은 $500\ \mu\text{m}$ 이고, 전극간 거리는 $10\ \text{cm}$ 로 하였다. 그림 1(b)는 고분자 표면에서 발생하는 연면방전을 위한 전극으로 고분자 재료는 저밀도 폴리에틸렌을 사용하였다. 전극은 내아크 특성에 사용되는 아킹테스터 전극을 사용하였으며, 폴리에틸렌의 두께는 $4\ \text{mm}$ 로 하였다. 그림 1(c)는 공극방전을 위한 전극으로 고전위 전극을 침전극으로 사용하였으며, 집지축 전극은 평판전극에 저밀도 폴리에틸렌을 부착시켰다. 저밀도 폴리에틸렌의 두께는 $2\ \text{mm}$, 저밀도 폴리에틸렌과 침전극, 기중축의 간격은 $1\ \text{mm}$ 로 하였다.

2.2 실험방법

방전의 형태에 따라 부분방전의 개시전압이 다르고, 인가전압에 따라서 부분방전의 방전전하량이나 발생빈도수가 변화하므로 각각의 방전형태에 따른 부분방전 개시전압을 기준으로하여 전압을 인가하여, 인가전압에 따른 방전의 경향을 특성량으로 선택하였다. 인가전압은 부분방전 개시전압을 v_i 라 하면, $1.0v_i$, $1.1v_i$, $1.3v_i$ 의 단계로 증가시키면서 부분방전의 특성을 검토하였다. 또한 부분방전은 전압인가 시간에 의해서도 변화하는 양이므로 각각의 전압단계에서 2분간 유지시킨 후에 데이터를 측정하였다.

그림 2는 본 실험에 사용된 실험장치의 다이어그램을 나타낸 것이다. 부분방전 펄스는 부분방전 검출기에서 계측하여 컴퓨터에서 모니터링되며, 부분방전 펄스를 필터링을 거쳐 저장하여 IEC 270 규격에 따라 최대 방전전하량[pC], 발생위상각 및 발생빈도수[n/s] 등으로 연산하여 부분방전 신호의 특성을

검토한다. 동시에 부분방전 계측기의 신호는 오실로스코프에서 모니터링하여, 실시간 부분방전 펄스의 특성이 검토된다.

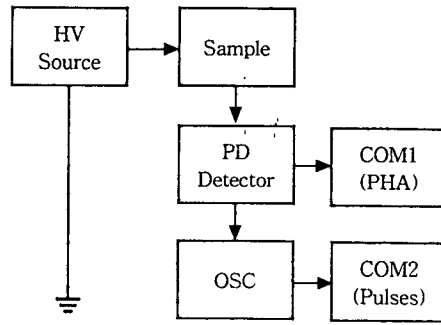


그림 2 실험장치의 블록다이어그램

3. 실험 결과 및 고찰

기중에서 발생하는 부분방전을 발생원 별로 구별하여 특성을 분석하기 위해서, 각각의 방전원에서 발생하는 방전 펄스를 300 cycle 동안 측정하여 통계적으로 처리하여 방전 특성을 위상각에 따른 발생 빈도수 및 방전 전하량의 분포(ψ -q-n) 특성을 검토하였다.

그림 3은 기중의 침-침 전극하에서 발생한 코로나 방전의 ψ -q-n 분포특성의 일례를 나타낸 것이다.

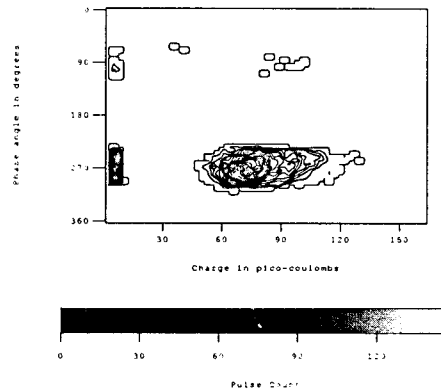


그림 3 코로나방전의 ψ -q-n분포

코로나 방전은 연면방전이나 공극방전에 비하여 방전전하량이 상당히 작지만 발생빈도수는 상당히 많다. 코로나 방전의 경우, 방전의 형태는 전극의 형태나 전극간 거리에 따라 변화하지만, 방전의 형성이 전자사태의 형성과 진전에 의하여 발생하기 때문에 초당 수천개의 방전이 발생하며, 또한 방전 전하량이 상대적으로 작게 나타난다.

또한, 코로나 방전은 인가전압의 양의 주기 피크와 음의 주기 피크 부근에서 주로 발생한다. 이

때, 방전전하량의 크기는 인가전압, 전극의 형태, 전극간 거리에 따라 다르게 나타나지만, 인가전압이 코로나 개시전압에 비하여 상당히 크지 않은 경우의 부분방전의 크기는 거의 유사하게 나타난다.

코로나 방전의 발생위상각은 양의 주기에서는 약 65°에서 135°, 음의 주기에서는 약 210°에서 320°, 방전전하량은 양의 주기에서는 약 110 pC, 음의 주기에서는 약 145 pC으로 나타났다.

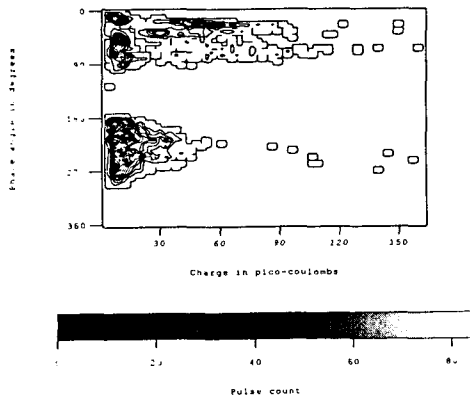


그림 4 연면방전의 ϕ -q-n분포

그림 4는 연면방전의 ϕ -q-n 분포의 일례를 나타낸 것이다. 연면방전은 인가전압의 크기, 전극의 형태 및 전극간 거리에 따라서 방전의 형태가 달라지며, 연면방전이 발생하는 절연재료의 특성에도 민감하게 변화한다. 일반적으로 연면방전은 코로나 방전보다 방전전하량이 상당히 크며, 방전전하량 크기 분포 또한, 상당히 넓게 분포하며, 연면방전의 발생 위상각 분포의 폭은 코로나 방전이나 공극방전에 비하여 넓게 분포한다. 그러나 방전의 발생 빈도수는 코로나 방전이나 공극방전에 비하여 상당히 작게 나타난다. 그러나 연면방전의 발생위상각 분포의 폭은 코로나 방전이나 공극방전에 비하여 넓게 분포한다. 연면방전의 방전발생 위상각은 양의주기에 30°에서 100°사이에서 분포하며, 음의 주기에서는 위상에 약 180°에서 290°사이에서 분포하며, 방전전하량은 양의주기에 약 160 pC, 음의 주기에서는 약 150 pC의 방전이 발생하였다.

그림 5는 공극방전의 ϕ -q-n 분포의 일례를 나타낸 것이다. 공극방전은 공극에 존재하는 기체에서의 코로나 방전과 공극을 구성하고 있는 절연재료 표면에서의 연면방전이 혼합된 방전특성을 나타낸다. 방전전하량은 코로나 방전에 비하여 크고 연면방전에 비하여 작게 나타나며, 방전의 발생빈도수는 코로나 방전에 비하여 작고, 연면방전에 비하여 크

게 나타난다.

공극방전의 방전위상각은 양의주기에 40°에서 110°사이에서 분포하며, 음의 주기에서는 위상에 약 220°에서 310°사이에서 분포하며, 방전전하량은 양의 주기에 약 120 pC, 음의 주기에서는 약 80 pC의 방전이 발생하였다.

코로나 방전, 연면방전, 공극방전의 형태를 비교 검토한 결과 각각의 방전에 따라서 방전전하량 및 방전 발생빈도수와 방전발생위상각이 상당히 다르므로 각각의 방전특성을 고려하면, 방전의 패턴을 분류할 수 있으며, 방전의 발생원을 식별할 수 있다.

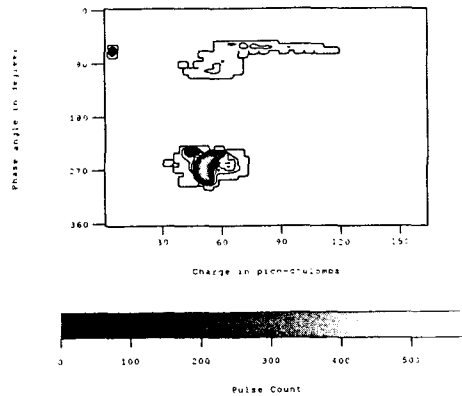


그림 5 공극방전의 ϕ -q-n분포

그러나 방전의 ϕ -q-n 분포 자체는 인가전압의 크기 및 전극의 형태에 따른 실험조건에 따라 민감하게 변화하는 양이기 때문에 실험조건이나 방전이 발생하는 주위조건이 심각하게 변화하면 패턴분류가 정확하게 이루어질 수 없다. 따라서 방전의 패턴을 비교하려면, ϕ -q 분포, ϕ -n 분포, q-n 분포를 모두 고려하여야 하며, 방전의 주위조건 등에 그다지 민감하지 않은 양들을 패턴분류의 파라미터로 사용하여야 한다.

표 3 코로나방전의 분포 파라미터

	분 포			
	$H_s(n)$	$H_{\text{avg}}(\phi)$	$H_n(\phi)$	$H_{\text{max}}(\phi)$
skewness +	-0.0001	0.0142	-0.0001	0.0142
skewness -		0.0381	0.0002	0.0381
kurtosis +	0.0002	0.0000	0.0001	0.0000
kurtosis -		0.0000	0.0003	0.0000
asymmetry		0.0000		0.0000
cc		0.0000		0.0000
phase +		0.0001	0.0142	0.0002
phase -		0.0001	0.0384	0.0001

본 연구에서 패턴분류에 사용한 파라미터는 실험

조건에 덜 민감한 분포특성량을이며, 각각의 분포 파라미터를 노말라이즈하여 사용하였다. 표 3은 부분방전의 방전원별 패턴분류에 사용한 파라미터의 일례를 나타낸 것으로 코로나방전의 일례를 나타낸 것이다.

1-23, 26 28, 33-35	24, 27, 31-32,					
	25, 29-30					
82-84						
75-77, 81 85-86	71-74 78-79			57, 61-64	60, 66	36-37, 65
80, 87-105				58-59 67-70		38-56

그림 6 Kohonen network에 의한 방전의 패턴분류

그림 6은 각각의 방전에 대한 분포파라미터를 입력으로 하여 Kohonen Net로 패턴을 분류한 결과를 mapping한 결과를 나타낸 것이다. 입력데이터로써는 코로나방전 35개, 연면방전 35개, 공극방전 35개의 패턴을 사용하였다. 그림에서 숫자는 각각의 부분방전을 나타내며, 코로나방전은 1-35번, 연면방전은 36-70번, 공극방전은 71-105번이며, 코로나 방전은 좌상단, 연면방전은 우하단, 공극방전은 좌하단에 mapping되며, 패턴분류가 명확하게 되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 기중에서 발생하는 부분방전을 코로나방전, 연면방전, 공극방전으로 분류하여 부분방전 특성을 검토하고, Kohonen Net로 패턴분류하여, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 기중방전은 다른 방전형태에 비하여 방전전하량이 작은 펄스가 상당히 많이 발생하며, 발생빈도수는 초당 수천개 이상 발생하였다. 방전이 가장 활발한 방전위상각은 인가전압의 양의 주기에서 65 ~ 135°, 음의 주기에서는 210 ~ 320°로 나타난다.
2. 연면방전의 발생빈도수는 기중방전에 비하여 상당히 작게 나타났으나 방전전하량은 상당히 크게 나타나고, 방전의 발생위상각은 인가전압의 양의 주기에 30 ~ 100°, 음의 주기에는 180 ~ 290°로 나타났다.
3. 공극방전은 방전전하량의 크기와 발생빈도수가 코로나방전과 연면방전의 중간으로 나타났으며, 방전위상각은 양의 주기에는 40 ~ 110°, 음의 주기

에는 220 ~ 310°로 나타났다.

4. 각각의 부분방전을 Kohonen Net으로 패턴분류한 결과 각각의 부분방전에서 계측한 모든 데이터가 양호하게 패턴분류되었으며, 전력계통이나 전기기기에서 발생한 미지의 부분방전을 계측하여 패턴분류하면 부분방전의 발생원을 식별할 수 있을 것으로 생각된다.

References

- [1] F. H. Kreuger, "Partial Discharge Detection in High Voltage Equipment", Temple Press, 1989.
- [2] P. V. Glahn and R. J. V. Brunt, "Continuous Recording and Stochastic Analysis of PD", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 2, No. 4, pp. 590-601, 1995.
- [3] E. Gulski and F. H. Kreuger, "Computer-aided Recognition of Discharge Sources", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 27, pp. 82-92, 1992.
- [4] T. Hücker and H. G. Kranz, "Requirements of Automated PD Diagnosis Systems for Fault Identification in Noisy Condition", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 2, No. 4, pp. 544-556, 1995.
- [5] G. C. Stone, T. E. Goodeve, H. G. Sedding and W. Mcdermid, "Unusual PD Pulse Phase Distributions in Operating Rotating Machines", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 2, No. 4, pp. 567-577, 1995.
- [6] E. M. Lalitha and L. Satish, "Fractal Image Compression for Classification of PD Sources", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 5, No. 4, pp. 550-557, 1998.
- [7] C. Cachin and H. J. Wiesmann, "PD Recognition with Knowledge-based Preprocessing and Neural Networks", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 2, No. 4, pp. 578-589, 1995.
- [8] H. G. Kranz, "Diagnosis of Partial Discharge Signals using Neural Networks and Minimum Distance Classification", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 28, pp. 1016-1024, 1992.