

**신경망 회로를 이용한 부분방전 원인 자동추론기법 개발**

구선근, 박기준,곽주식, 윤진열  
한국전력공사 전력연구원

**Auto-classification of UHF partial discharge signal without phase signal**

Sun-geun Goo, Kijun Park, Joosik Kwak and Jin-yul Yoon  
Power System Laboratory - Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - 전문적인 지식이 없는 UHF 부분방전 측정 장치 사용자를 위해 자동으로 측정된 신호로부터 GIS 내부의 결함을 추론할 수 있는 신경망회로 엔진을 연구하였다. 측정된 방전신호로부터 적절한 변수들을 계산하고 이를 신경망회로를 이용하여 미리 분류한 GIS 결함들 중 가장 유사한 결함을 자동으로 표현하는 기능을 엔진이 가지도록 하였다. 특히 본 엔진은 3상 입괄형 GIS 나 GIS의 전압 위상에 동기되지 않은 부분방전 측정시스템에도 방전 원인을 잘 추론함을 실험을 통하여 확인하였다.

있다. 본 연구에서는 이와 같은 기존 신경망 회로의 단점을 극복하여 GIS 인가전압의 위상정보 없이 부분방전 감시시스템의 특성에 무관하게 정확한 방전원인을 추론할 수 있는 새로운 신경망 회로를 제시코자 한다.

**2. 본 론**

**1. 서 론**

대부분 국내 변전소는 가스절연개폐장치(GIS)로 구성되어 있으며 345 kV에 이어 765 kV 변전소가 상업운전을 시작하면서 그 설비 용량도 크게 증가하고 있다. 특히 GIS는 고장으로 인한 사회·경제적 파급효과가 매우 높기 때문에 미리 사고를 예방할 수 있는 예방진단연구가 활발히 진행되고 있고, 그 결과로 UHF (Ultra-high frequency, 극초단파) 부분방전 감시장치가 국내의 변전소에 적용·운전되고 있다.[1]

**2.1 신경망 회로의 입력벡터 추출**

GIS에 교류전압을 인가하여 부분방전이 발생할 경우 일반적으로 그림 1과 같이 부분방전 감시장치로 부터 부분방전 발생시간( $t$ ), 방전신호의 크기( $V$ ), 부분방전 발생시 인가전압의 위상( $\phi$ )과 같은 방전관련 기본정보를 취득할 수 있다. 이중 방전 발생시간은 아주 작은 값에서부터 아주 큰 값을 가질 수 있으므로 규격화하기 곤란하고, 방전신호의 크기는 서론에서 논의한 바와 같이 부분방전 센서와 방전원의 거리나 감시장치의 특성에 의해 다양하게 변할 수 있어 신경망 회로의 입력벡터 추출을 위해 사용하지 않았다. 따라서 본 논문에서는 방전발생시 인가전압의 위상( $\phi$ )을 이용해 입력벡터를 추출코자 한다.

부분방전 감시장치에는 본 분야의 비전문가도 방전신호로부터 방전원인을 바로 알 수 있도록 전문가 시스템이 탑재되어 있는 경우가 많다. 기존의 전문가 시스템은 주로 신경망 회로를 사용하는 경우가 많으며 특히 회로의 입력벡터로 방전신호의 PRPS(Phase Resolved Pulse Sequence) 또는 PRPD(Phase Resolved Partial Discharge)에서 추출한 각종 변수들을 사용하는 것이 일반적이다. 이 변수들에는 위상 분해 된(phase resolved) 방전 펄스의 숫자 또는 방전신호의 크기, 그리고 skew나 kurtosis와 같은 다양한 통계적 변수를 사용한다.

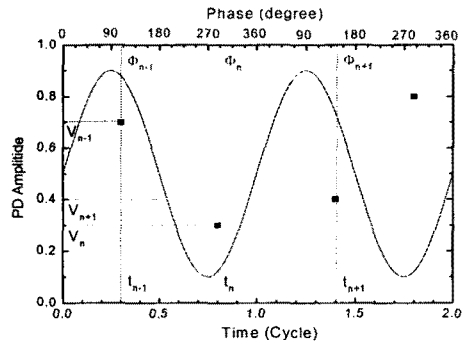


그림 1. 부분방전 신호의 특성변수.

이와 같이 입력벡터는 기본적으로 방전신호의 GIS에 대한 인가전압 위상정보 및 방전신호의 크기를 직, 간접적으로 사용하고 있다. 그러나 실제 변전소에서 이동형 부분방전신호 측정장치를 이용해 방전신호를 측정할 경우 GIS에 위상정보를 간단하게 제공받기 곤란한 경우가 종종 발생한다. 이럴 경우 기존의 신경망 회로는 잘못된 방전원인을 운전자에게 전달하여 적절한 조치가 이루어지기 힘든 경우가 있으며, on-line으로 설치된 부분방전 측정 시스템의 경우에도 삼상입괄형 GIS와 같이 여러상이 동시에 존재하는 전력기에 대해서 각각의 상에 대해 혼란시키지 않으면 정확한 추론결과를 도출하기 힘들다. 또한 방전신호의 크기를 신경망 회로의 입력벡터로 이용할 경우 같은 방전원이라도 센서와 방전원의 거리, 신호취득장치의 특성에 따라 다양한 크기의 방전신호를 획득할 수 있기 때문에 신경망 회로를 훈련할 때에도 다양한 크기의 방전신호를 사용해야 하는 번거로움이

입력벡터를 만들기 위해서는 먼저  $\phi$ 를 이용해 방전원인별로 구별 가능한 방전 pattern을 만들어야 하며 본 논문에서는 그림 2와 같은  $\phi_n : \phi_{n-1} : N$  pattern을 제안코자 한다. 그림 2는 두 방전신호의 인가전압 위상관계를 표현한 것으로 그림 1의 연속하는 두 방전신호가 있을 때 선행 방전신호의 인가전압 위상  $\phi_{n-1}$ 를 x축에, 후행하는 방전신호의 인가전압 위상  $\phi_n$ 를 y 축으로 한 2차원 그래프의  $(\phi_n, \phi_n)$  좌표에 점을 찍는다. 그 다음 연속하는 두 방전신호에 대한 인가전압 위상에 해당하는  $(\phi_n, \phi_{n-1})$ 에 점을 찍는다. 이런 방법으로 일정시간(T)동안 발생하는 부분방전에 대해 인가전압 위상에 해당하는 좌표

에 점을 찍은 후, 각 좌표에 찍힌 점의 갯수(Number)를 색좌표로 표시하면 그림 2와 같은 pattern을 구할 수 있다.

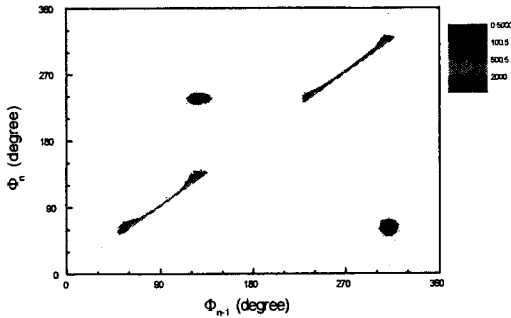


그림 2. 돌출전극의  $\Phi_n : \Phi_{n-1} : N$  pattern.

$\Phi_n : \Phi_{n-1} : N$  pattern으로부터 신경망회로의 입력벡터를 구할 수 있다. 먼저 그림 3의 (a)처럼  $\Phi_n : \Phi_{n-1} : N$  pattern의 右下면을 左上면의 위로 이동을 시키면 그림 3의 (b)와 같이 변형시킬 수 있다. 이와 같은 기운 사각형 모양의 그래프를 정방형의 그래프로 만들어 주면 (c)와 같은 변형  $\Phi_n : \Phi_{n-1} : N$  pattern을 만들 수 있다. 이 그래프에서 y 축으로 합산을 하면  $\Phi_n$ 에 관계없이 각각의  $\Phi_{n-1}$ 에서 발생한 방전의 개수를 구할 수 있다. 이를 PDS(Phase dependent Sum)이라고 부르도록 하겠다. 그래프의 x축으로 합산을 하면 합산된 각 점은  $\Phi_n$ 축 및  $\Phi_{n-1}$ 축 상에서 고정된 위상이 아닌 서로 다른 위상에 해당하는 방전횟수를 합산한 값이 되므로 위상정보가 없는 새로운 변수가 된다. 이를 PIS(Phase Independent Sum)이라 부르도록 하겠다. 이렇게 생성된 PIS는 위상정보를 사용하지 않았기 때문에 PIS 만을 입력벡터로 사용한 신경망 회로는 GIS 인가전압 위상정보 없이도 일정한 추론결과를 나타낼 수 있다.

## 2.2 신경망 회로의 구조 및 훈련

신경망 회로는 그림 4와 같이 3층의 perceptron으로 구성하였다. 희망출력벡터는 5종으로 하였으며, 각각은 금속이물이 GIS 내에서 운동을 하면서 방전을 일으키는 자유도체(FMP), 금속이 전기적으로 GIS 중앙도체나 외함에 연결되지 않은 부유전극(FE), 코로나 방전을 일으키는 돌출전극(PE), 절연체 오염이나, 공극, 크랙 등에 의해 방전이 발생하는 절연체결함(DI) 등 GIS 결합 4종과 그리고 레이더나 이동통신 써지 등에 의한 잡음(N)을 대표한다.

표 1과 같이 서로 다른 조건에서 측정된 data로부터 PIS와 PDS를 추출한 다음 입력벡터로 PIS를 사용한 신경망 회로와 PIS 및 PDS를 모두 사용한 신경망 회로에 대해 각각 훈련을 하였다. 훈련방법은 일반적으로 사용하는 back propagation을 사용하였고, cross validation data를 사용하여 훈련을 종료함으로써 과훈련을 방지하였다.

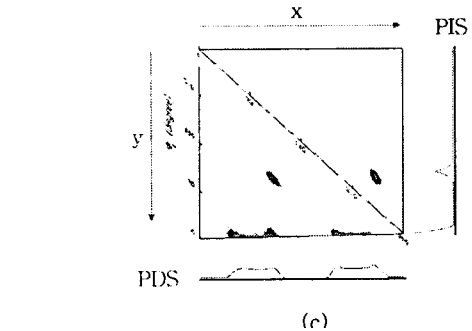
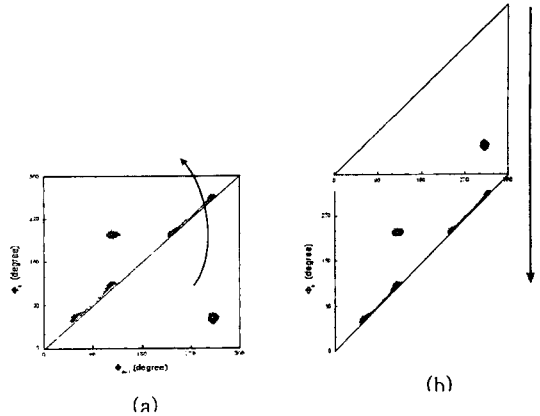


그림 3.  $\Phi_n : \Phi_{n-1} : N$  pattern을 이용한 신경망 입력 벡터 추출.

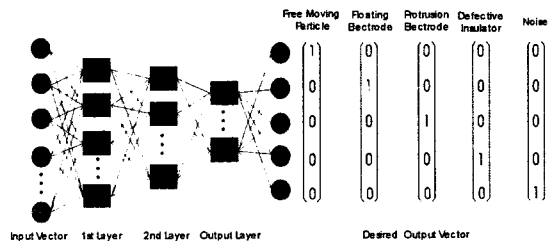


그림 4. 신경망 회로의 구성

표 1. 신경망 회로의 훈련에 사용된 방전 data의 개수.

희망출력벡터의 종류	FMP	FE	PE	DI	N
Training Data	76	150	88	79	52
C. V. Data	38	75	44	40	26

## 2.3 신경망 회로의 특성

훈련된 신경망회로들의 cross validation data에 대한 confusion matrix는 표 2와 같다. PIS와 PDS를 모두 사용한 신경망 회로는 높은 인식률을 보여주고 있어 일반적인 용도에 적합하다. PIS만을 사용한 신경망 회로는 절연체 결함을 일부 부유전극으로 잘못 인식하는 경우가 있으나 대체적으로 만족할 만한 인식률을 보여주고 있다.

표 2. 각 엔진별 confusion matrix. (단위: %).

PIS, PDS Engine					
	FMP	FE	PE	DI	N
FMP	100	0	0	0	0
FE	0	98.0	0	2.0	0
PE	0	0	100	0	0
DI	0	3.8	0	96.2	0
N	0	0	0	0	100

PIS Engine					
	FMP	FE	PE	DI	N
FMP	98.9	0	0	1.1	0
FE	1.3	95.4	0	3.3	0
PE	0	0	100	0	0
DI	0	12.7	0	87.3	0
N	0	0	0	0	100

실 변전소에서 GIS 인가전압에 동기시키지 않고 취득한 부분방전 신호에 대해 각 신경망 회로별 GIS 결합 추론결과를 비교해 보았다. 그림 5와 같이 자유 도체와 절연체 거함으로 판명된 경우에서 GIS 인가전압 위상정보 없이 부분방전 신호를 측정하고(그림 5의 표시된 위상은 실제 위상보다 120° 선행) 이를 표 3과 같이 각 신경망 회로에 입력하여 그 추론결과를 확인하였다. 이때 본 논문에서 제안한 신경망 회로와 기존에 넓게 쓰이는 신경망 회로의 특성을 비교하기 위해 그림 6과 같이 주어진 시간동안 발생한 방전신호에 대해 위상별 평균 방전신호 크기와 방전횟수를 입력벡터로 한 신경망 회로의 추론 결과를 비교에 포함시켰다. 그림 5 (a)의 자유도체에 의한 방전신호의 경우 평균방전신호크기와 방전횟수를 이용한 신경망 회로는 노이즈로 판단을 했으나, 본 논문에서 제안한 신경망 회로들은 실제 방전원인과 같은 추론결과를 보여주었다. 그림 5 (b)의 절연체 결합의 경우 PIS를 사용한 신경망 회로만이 실제 결합과 동일하게 추론하였다. 따라서 기존의 위상정보에 의존하는 신경망 회로는 위상에 비동기된 상태에서 측정된 방전신호에 대해 방전원인을 정확히 추정하기 어렵다는 것을 알 수 있고, PIS와 PDS를 사용한 신경망 회로는 자유도체와 같이 인가전압 위상의 전 영역에 비교적 넓게 방전신호가 분포된 경우에는 위상과 관계없이 정확한 답을 보여주나 절연체 결합과 같이 비교적 인가전압의 특정위상에 방전신호가 집중되어 있는 경우에는 정확한 답을 보여주지 못한다. 그러나 위상과 관계없는 PIS만을 사용하는 경우에는 모두 정확한 추론 결과를 보여준다. 따라서 GIS 인가전압 위상정보를 바로 알기 힘든 이동형 부분방전 감시장치나, 여러 상이 동시에 존재하는 3상 일괄형 GIS의 경우 본 신경망회로가 유용할 것으로 판단한다.

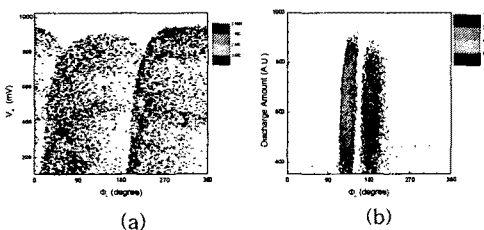


그림 5. 실 변전소에서 측정된 부분방전 신호의 PRPD (a) 자유도체에 의한 부분방전신호. (b) 절연체 결합(공극)에 의한 부분방전신호.

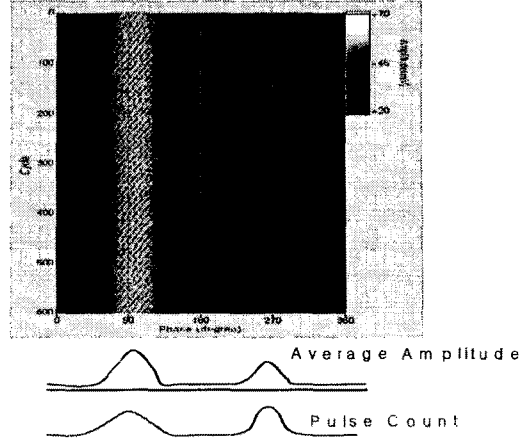


그림 6. 돌출전극의 PRPS 신호. 주어진 시간동안 인가전압 위상에 대해 평균 방전신호크기와 방전횟수는 신경망 회로에 널리 쓰이는 입력벡터임.

표 3. 신경망 회로의 출력결과.

Input Data	NN의 종류	NN 추론 결과				
		FMP	FE	PE	DI	N
그림 5의 (a) (FMP)	Ave. Amp. Pulse Count	28%	3%	7%	9%	53%
	PIS, PDS	94%	4%	0%	1%	1%
	PIS	92%	4%	0%	1%	3%
그림 5의 (b) (DI)	Ave. Amp. Pulse Count	87%	4%	3%	5%	1%
	PIS, PDS	70%	0%	4%	3%	23%
	PIS	2%	1%	23%	71%	3%

### 3. 결 론

GIS 인가전압 위상정보를 바로 알기 힘든 이동형 부분방전 감시장치나, 여러 상이 동시에 존재하는 3상 일괄형 GIS에서도 정확히 GIS 결합을 추론할 수 있는 신경망 회로를 개발하였다. 개발된 신경망 회로는  $\Phi_n : \Phi_{n-1} : N$  pattern으로부터 추출한 PIS와 PDS를 입력벡터로 사용하였으며, 방전신호의 크기에 대한 정보를 사용하지 않았기 때문에 각기 다른 이득율을 가진 부분방전신호 취득장치에도 회로의 재훈련 없이 사용 가능하다. 또한 개발된 신경망 회로는 외부 잡음에 강건한 특성을 보여주기 때문에 열악한 잡음환경의 변전소에서도 높은 인식률을 보여 줄 것으로 전망된다.

[본 내용은 산업자원부 전력산업 연구개발사업의 기술개발결과입니다]

### [참 고 문 헌]

- [1] 윤진열, 박기준, 구선근, "GIS 부분방전 검출기술 연구", 최종보고서, 전력연구원, TR.98PJ04. J2002.407, 2002.10.