

논문 20-1-11

전력용 케이블 시편에서 전기트리 발생원에 따른 부분방전 분포 특성 및 발생원 분류기법 비교

Analysis of PD Distribution Characteristics and Comparison of Classification Methods according to Electrical Tree Source in Power Cable

박성희^{1,a}, 정해은¹, 임기조¹, 강성화²

(Seong-Hee Park^{1,a}, Hae-Eun Jeong¹, Kee-Joe Lim¹, and Seong-Hwa Kang²)

Abstract

One of the cause of insulation failure in power cable is well known by electrical treeing discharge. This is occurred for imposed continuous stress at cable. And this event is related to safety, reliability and maintenance. In this paper, throughout analysis of partial discharge(PD) distribution when occurring the electrical tree, is studied for the purpose of knowing of electrical treeing discharge characteristics according to defects. Own characteristic of tree will be differently processed in each defect and this reason is the first purpose of this paper. To acquire PD data, three defective tree models were made. And their own data is shown by the phase-resolved partial discharge method (PRPD). As a result of PRPD, tree discharge sources have their own characteristics. And if other defects (void, metal particle) exist internal power cable then their characteristics are shown very different. This result is related to the time of breakdown and this is importance of cable diagnosis. And classification method of PD sources was studied in this paper. It needs select the most useful method to apply PD data classification one of the proposed method. To meet the requirement, we select methods of different type. That is, neural network(NN-BP), adaptive neuro-fuzzy inference system and PCA-LDA were applied to result. As a result of, ANFIS shows the highest rate which value is 98 %. Generally, PCA-LDA and ANFIS are better than BP. Finally, we performed classification of tree progress using ANFIS and that result is 92 %.

Key Words : Electrical tree, Partial discharge, Power cable, Diagnosis, Classification

1. 서론

현재 국내에서 사용되고 있는 전력용 케이블 절연재의 대부분은 XLPE(cross-linked polyethylene)이다. 또한 국내의 전력용 케이블 설치 추세는 가공 전선로 보다 지중 전선로의 비중이 높아져 가

고 있다. 이에 따라 지중전선로의 열화와 관련된 사고는 끊임없이 발생되고 있으며, 다른 여타의 전력기기보다 빈번하게 발생이 되고 있다. 또한, 지중 케이블의 열화진단은 지하에 포설되기 때문에 그 검출에 많은 어려움이 있다. 케이블 내의 절연 열화의 가장 큰 요인으로는 결함으로부터 발생하는 절연재의 열적열화 및 흡습에 의한 수트리, 보이드 및 돌기에 의한 전기트리등이 주를 이루고 있다[6,9].

현재, 전력설비에 대한 유지보수기술은 시간기준 정비(time based maintenance)에서 상태기준정비(condition based maintenance) 및 신뢰성 기반 정

1. 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 전기공학과
(충북 청주시 흥덕구 개신동 12)

2. 충청대학 소방안전과

a. Corresponding Author : shpark1975@chungbuk.ac.kr

접수일자 : 2006. 10. 17

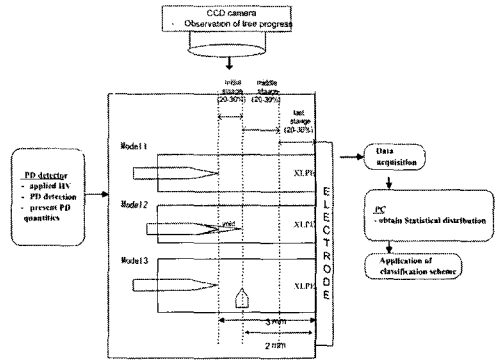
1차 심사 : 2006. 11. 15

심사완료 : 2006. 12. 11

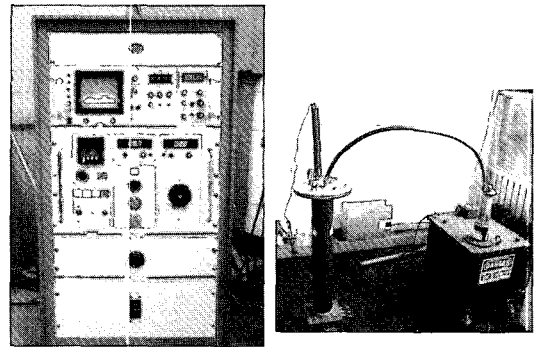
비(reliability centered maintenance)로 바뀌고 있다. 일정시간 주기로 점검하여 보수하는 체제에서 상태를 상시 감시하고 추세를 분석하여 보수하는 predictive maintenance 체제로 이행되고 있는 추세이다[6,11]. 이러한 기술의 변화추세에 부응하기 위해서는 전력기기의 진단도 사선(off-line)진단이 아닌 활선(on-line)진단법이어야 하고 고가의 가급적 부가 장비가 소요되지 않는 간편하고 경제적인 진단법이어야 하고 진단된 결과는 정상, 주의, 교체 또는 잔존수명 및 불량위치 등의 판정 결과가 신뢰성이 높아야만 가능하게 될 것이다. 이를 실현하기 위해서는 기초연구로서 부분방전에 의한 진단법이 필요하다. 왜냐하면 전력기기내의 결함으로부터 발생하는 부분방전에는 기기들의 절연상태에 대한 정보가 다수 포함되어 있기 때문에, 절연진단의 요소로서 좋은 기법이 되고 있다.

본 논문에서는 케이블의 활선상태 절연진단에 대한 기본적인 연구로서 전기트리 진전시 수반되는 부분방전 특성을 분석하고자 한다. 이의 분석은 세 개의 모델에 대해서 시행하였으며, 각각 침결함에 의한 전기트리 모델, 침 말단의 보이드 존재시 전기트리 모델, 트리 결함 원인에 따라 부분방전 분포 특성은 상이하게 나타날 것이며, 그들의 진전속도 또한 다르게 나타나 절연진단에서 하나의 파라미터로서 적용을 할 수 있게 될 것이다. 부분방전 분포 특성의 분석 이전에 FEM(finite element method - Maxwell 전계해석, Ansoft)을 이용한 전계해석을 통해 최대 전계의 분포 양상이 결함에 따라 어떻게 변화하고 있는지에 대해 분석하였다. 또한 전기트리의 진전시기를 초기, 중기, 말기로 구분하였을 때 말기시의 검출은 케이블의 절연성과 밀접한 관련이 있으므로 중요한 의미를 갖는다. 이를 위해 전체 트리 진행기간을 세 단계로 구분하여 각각의 분포 특성을 나타내었다.

마지막으로 방전원에 대한 패턴분류를 적용하였는데, 그 입력데이터로서는 부분방전 특성 분포가 사용되었다. 부분방전원의 패턴분류에 있어서는 가장 효율적인 적용을 할 수 있는 패턴분류기법을 찾기 위해서 Back propagation algorithm(BP). Adaptive-neuro fuzzy inference system(ANFIS), Principle component analysis-Linear discriminant analysis (PCA-LDA) 세 개의 기법에 대해 각각의 패턴분류율 및 시스템의 기본특성을 비교하여 나타내었다.



(a) experimental setup and data process



(b) photograph of experimental equipment

그림 1. 실험장치 및 데이터 처리과정.

Fig. 1. Experimental setup and process of distribution data.

2. 실험

2.1 실험장치 및 데이터처리과정

그림 1은 본 논문에서 사용된 트리 모델의 형태와 부분방전 데이터의 처리과정을 나타내고 있다. 각 절연물은 XLPE 절연물로 이루어져 있으며, 이는 실제 전력용 케이블 제조 회사에서 제공받아 절개하여 제작한 것이다. 또한 침전극은 스테인레스스틸로 되어 있으며, 실험시에는 기타의 방전을 배제하기 위하여 트리모델을 절연유 분위기에서 침전극 표면은 에폭시로 몰딩하여 실험을 하였다.

그림 1에서 model 1은 침결함에 의한 트리발생을 모의한 것으로 전극간의 거리는 3 mm로 하였다. model 2는 침결함 끝단에 보이드가 존재할 경우의 트리발생을 모의한 것으로 void 끝단에서 대 전극까지의 거리 또한 3 mm로 하였으며, model 3

은 절연물내에 금속이물이 존재할 경우의 트리발생을 모의한 것이다. 침결함의 삽입 및 금속이물의 삽입을 위해 XLPE를 가열하여 삽입을 하였고, 삽입 후에는 보다 높은 온도로 가열을 하여 시편이 완전하게 형성되도록 하였다.

부분방전 발생 시 측정은 PD free(no noise) 변압기로 전압인가 후 PDASDA(partial discharge Acquisition, Storage and Display System)에서 계측을 한다. 부분방전펄스의 검출은 부분방전 검출기(Biddle instrument사 제작, AVTM 66270100Ja)로 검출하였다. 실험에서 인가전압은 세 모델 공통으로 13 kV로 하였으며, 한 개의 데이터 취득기간은 300주기(약 5초간)로 하였다. 전기트리 방전시에는 트리가 미세한 부분에서 발생하고 초기 성장시에 빠르게 진전이 되기 때문에 육안 관찰은 어렵다. 그런 이유로 트리의 성장정도를 측정하기 위해 시편에 광학현미경 (Olympus, SZ1145TR)을 설치하고 OCD (Hitron K-450) 카메라를 장착하여 관찰하였으며, 트리의 빠른 진전을 감안하여 전체 길이 대비 10 % 성장 시점을 트리 발생의 시발점으로 선정하였으며, 이들의 데이터를 각각 취득하였다.

이렇게 검출된 방전 데이터는 컴퓨터를 이용해 최대방전량, 평균방전전류, 발생빈도수 등을 연산하고 ψ -q-n(위상-방전전하량-방전회수)분포를 도출하게 된다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 FEM 해석 결과

트리 방전 발생모델에 대한 결함별 전계분포 및 최대 전계값을 확인하기 위하여 FEM 을 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션은 Ansoft 사의 Maxwell 전계해석 프로그램을 사용하였으며, 그 결과를 그림 2의 (a) - (d)와 표 2에 나타내었다.

그림 2의 (a)는 결함이 없는 경우, (b)는 model 1을, (c)는 model 2를, (d)는 model 3을 나타내고 있다. 시뮬레이션시 각 재료의 특성을 살펴보면, 도체는 copper를 사용하였고, 절연물은 유전율이 2.5인 XLPE를, 중성선은 copper를, PVC는 외장재로서 유전율 3.0인 것을 적용하였다[4,5].

전계값은 model 2, 즉 침전극의 끝단에 void가 존재할 경우 가장 높게 나타났다. 또한 미미한 차이긴 하지만 금속 particle이 절연물내에 존재할 경우의 전계도 침결함만이 있을 경우보다 약간 높게 나타난 것을 확인할 수 있다. 보이드 존재시 최대

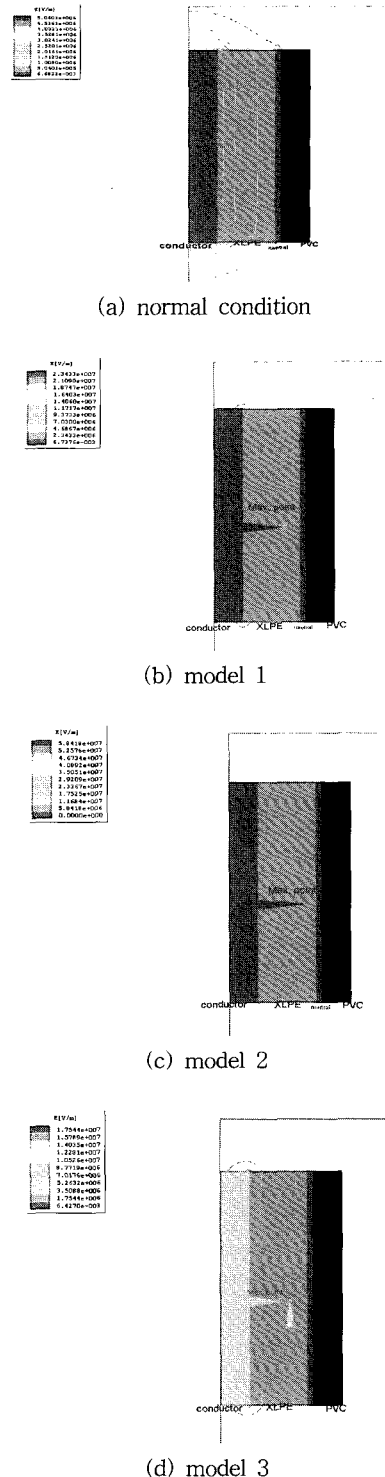


그림 2. 전계분포.
Fig. 2. Analysis of electric field distribution.

표 1. 시뮬레이션 조건.

Table 1. Simulation condition.

objects	재질	조건(유전율 등)
conductor	copper	도체(source)
XLPE	XLPE	유전율 : 2.5(절연물)
neutral	copper	중성선(boundary)
PVC	PVC	유전율 : 3.0(외장재)

표 2. 최대전계값.

Table 2. Maximum value of electric field.

model	최대 전계값 [V/m]	최대 전계지점
정상상태	5.04×10^6	도체끝단
model 1	2.34×10^7	침전극
model 2	5.84×10^7	침전극
model 3	2.67×10^7	침전극

전계치가 높게 나타나는 이유는 침끝단에서 고전계 형성시 보이드에서의 절연과피는 XLPE에서의 절연과피보다 상대적으로 쉽게 발생이 되기 때문으로 사료된다. 다시 설명하면, 보이드 내의 전계는 경계조건에 의해 XLPE의 유전율만큼 높아지게 되며, 이것이 model 2의 전계치가 될 것이다. 뿐만 아니라 침전극에서 대전극까지의 거리는 3 mm 이고, 보이드에서의 거리는 2 mm 이므로 이것 또한 model 2가 다른 model에 비해 확연히 전계치가 높게 나타나는 이유가 된다.

3.2 부분방전 분포특성

3.2.1 결함별 분포특성

일반적으로 부분방전 분포는 위상각-전하량-펄스수의 상관관계로서 표현을 하며, 이들은 3D 분포와 2D 분포로 구별할 수 있다. 3D 분포는 위상각-방전량-펄스수 등을 계수한 것이고, 2D는 이들을 두 개의 특성량으로 계수한 것이다. 일반적으로 2D 분포에는 방전량-펄스수(Hn(q) 분포), 위상각-평균방전량(Hqn(Ψ)), 위상각-펄스수(Hn(Ψ)), 위상각-최대방전량(Hqmax(Ψ))이 있다. 부분방전에 대한 분포는 펄스수와 최대 방전량을 고려해서 언급하는 경우가 많으므로[3], 본 연구에서도 Hn(Ψ), Hqmax(Ψ) 분포에 대해 언급하고자 한다. 또한 이후에 적용하게 될 패턴분류시에도 Hn(Ψ), Hqmax(Ψ) 분포의 조합 데이터가 다른 분포의 데이터 조합보다 평균적으로 높게 나타나고 있다는 것도 선택의 기준이 되었다. 또한 Hn(Ψ), Hqmax(Ψ) 분포

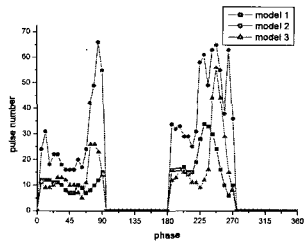
는 나머지 분포에 비해 가장 기본적인 특성량으로 구성되어 있다는 것도 선택의 이유가 되었다.

그림 3의 (a), (b)는 각각 Hn(Ψ)와 Hqmax(Ψ)분포를 나타내고 있다. 두 개의 분포는 각각 상이한 점이 발견되는데, 그것은 Hn(Ψ) 분포는 model 2가 높게 나타나고, Hqmax(Ψ)분포에서는 model 3이 높게 나타난다는 것이다. 이것은 트리모델의 구성과 관련이 있는데, 앞서의 전계해석에 대한 결과와 관련해서 접근해볼 수 있을 것이다. 일반적으로 전계치와 부분방전량 사이에는 비례적인 관계, 즉, 전계치가 높으면 방전전하량도 크게 나타난다는 것은 수식적으로 알 수 있다. 하지만, 부분방전에는 복합적인 메커니즘이 포함이 되어 있으며, 단순한 전계분포 및 전계치로 표현 할 수 없는 부분이 있다. 즉, 부분방전에 수반되는 메커니즘은 익히 알려져 있듯이 매우 다양한 경로로 발생이 되기 때문이다[1,5].

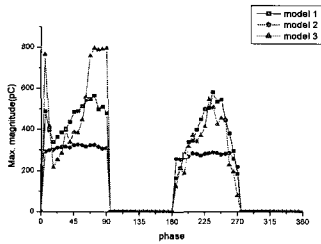
이를 단순하게 생각해보면 초기절연과피가 쉽게 발생하는 구조는 방전회수가 많아질 수 있는 반면 방전량은 상대적으로 적고, 초기 절연과피가 발생하기 어려운 구조에서는 방전량이 상대적으로 크게 나타나게 될 것이며, 이것은 아래의 실험결과와 일치하게 된다. 즉 model 1과 model 3에서는 비록 model의 제작시 완벽하게 침과 절연물사이 계면이 밀착이 되어 있지는 않았지만, 적어도 model 2의 인공적인 void 생성으로 만든 시료보다는 그 영향이 무시할 정도로 미미할 것이며, model 1과 model 3의 침과 절연물사이 계면이 완벽하게 접촉했다고 가정했을 경우에는 그 방전에너지량이 증대되어 상대적으로 방전량이 커지게 될 것으로 추측해 볼 수 있을 것이다.

3.2.2 트리 진전별 분포특성

그림 4~6은 model 1, 2, 3의 트리 진전별 분포특성을 보여주고 있다. 공통적으로 트리 진전의 시기는 전체 길이에 대해 트리가 진전한 구간이 초기는 20-30 %, 중기는 50-60 %, 말기는 80 %로 선정하였다. 그림 4는 model 1의 트리 진전시 분포를 나타내고 있다. Hn(Ψ) 분포에서는 양의 주기에서는 진전 특성이 크게 드러나지 않았지만, 음의 주기에서 트리 진전이 비교적 말기로 갈수록 보다 더 커지는 경향을 나타내고 있다. Hqmax(Ψ) 분포에서는 전구간에 걸쳐서 말기로 갈수록 값이 커져가는 경향을 보이고 있다. 이것은 방전회수 및 방전량이 일정치 이상이 되면 절연과피로의 진전이 임박해지고 있음을 의미하고 있는 것이다.

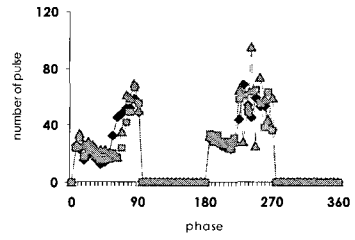


(a) $H_n(\Psi)$ 분포

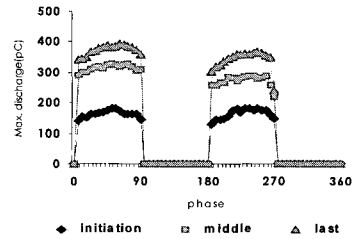


(b) $H_{q_{max}}(\Psi)$ 분포

그림 3. 모델별 부분방전 분포.
Fig. 3. PD distribution of each model.

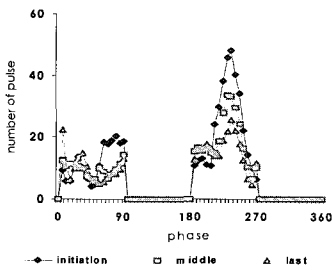


(a) $H_n(\Psi)$ 분포

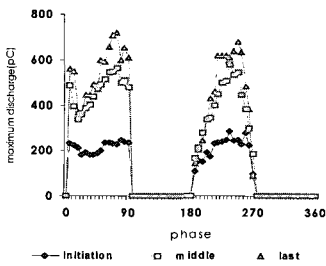


(b) $H_{q_{max}}(\Psi)$ 분포

그림 5. 모델 2의 트리진전시 분포.
Fig. 5. Tree progress distribution of model 2.

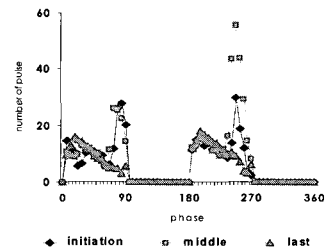


(a) $H_n(\Psi)$ 분포

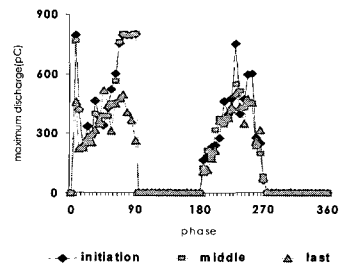


(b) $H_{q_{max}}(\Psi)$ 분포

그림 4. 모델 1의 트리진전시 분포.
Fig. 4. Tree progress distribution of model 1.



(a) $H_n(\Psi)$ 분포



(b) $H_{q_{max}}(\Psi)$ 분포

그림 6. 모델 3의 트리진전시 분포.
Fig. 6. Tree progress distribution of model 3.

그림 5의 (a), (b)는 model 2의 트리 진전시 분포를 나타내고 있다. model 2는 model 1의 경우에는 대조적으로 최대방전량에서 말기로의 진전시 횡수는 크게 변동이 없지만 크기가 커지고 있는 것으로 나타났다. 이는 초기에 보이드에서의 절연 파괴로 인한 방전 회수는 말기의 진전시에도 변함이 없지만 보이드 이후 절연물내에서 트리가 진전을 시작하면서 그 값이 보다 커지고 있는 것임을 보여주고 있는 것이다.

그림 6의 (a), (b)는 model 3의 트리 진전시 분포를 나타내고 있다. model 3의 경우에는 트리가 진전할 경우에 특징적으로 그 크기가 커지지는 않았다. 하지만, 특이한 것은 음의 주기에서 초기와 중기에서의 방전회수 및 전하량이 초기, 중기가 말기보다 크게 나타나고 있다는 점이다. 이는 금속 particle의 영향으로 사료되는데, model 3의 트리 진전은 전압 입력의 침단에서 1차적으로 금속 particle로 진행을 하고, 그 이후에는 particle로부터 2차 진전이 발생하는 특징을 보이고 있다. 이는 침단부터 금속이물과의 방전과 금속이물부터 시작되는 방전이 복합적으로 나타나고, 그 내부의 금속 particle로 인한 영향으로 금속이물의 부근에서 전계가 약화되어 나타나는 현상으로 사료된다.

3.3 분류결과

전술한 바와 같이 부분방전 패턴의 분류는 방전의 종류가 절연파괴에 미치는 영향을 고려해보았을 때 그 의미가 있을 수 있다고 하였는데, 본 절에서는 부분방전 데이터를 입력으로 하여 각 트리 결합의 분류를 하고자 한다. 분류결과는 두 개로 나누어져 있는데, 첫 번째는 각 결합별 패턴에 대한 분류이다. 이 분류시에는 전체 트리 진행 구간의 초기 10 % 구간과 말기 90 %이상의 데이터를 제외한 각 결합별로 학습과 분류에 20개의 데이터를 적용하였다. 또한 트리 진전시의 데이터에 대해서도 분류를 하였는데, 이 데이터는 각 구간별 데이터의 유사성이 트리 결합 데이터 보다는 더 크게 나타나고 있으므로, 트리 결합시 분류성공률이 가장 높은 기법을 적용하여 트리 진전시 분류에 적용하였다.

본 논문에서 살펴보고자 한 패턴 분류 기법은 역전파학습알고리즘 (back propagation -BP), 적응 뉴로퍼지추론시스템 (Adaptive neuro-fuzzy inference system-ANFIS), 주성분분석기법-선형판별분석기법 (principle component analysis - linear discriminant analysis : PCA-LDA)이다. 이들의 대략적인 시스템의 구성 및 학습방법에 대해 살펴

보면, 우선, BP는 역전파 학습알고리즘으로서 원하는 기댓값을 찾기 위해 출력으로부터 역전 (feedback)하여 연결강도(weight)를 조절해 나가면서 그 기댓값과 출력값 사이의 오차가 '0'이 되거나, 일정한 학습을 하도록 회수를 조절하는 방법이다. BP는 입력층 (input layer) - 은닉층 (hidden layer) - 출력층 (output layer)의 세 층으로 구성되어 있으며, 출력층으로부터 도출된 출력값과 목표값을 비교하여 오차를 줄이는 방향으로 학습하는 것이 기본적인 방식이다.

ANFIS는 신경회로망과 fuzzy 규칙을 융합한 시스템이다. 이 시스템은 복잡하거나 비선형적인 시스템에 대해 전문가 지식과 경험적 지식을 이용해서 쉽게 적용이 가능하며 인간의 사고과정에 포함된 애매함이나 불확실성을 극복하고 추론을 해내는 근사 추론 능력을 갖는 퍼지 규칙과 학습능력, 적응성, 병렬처리능력, 결합극복능력과 같은 특징을 보이는 신경회로망을 융합시킨 것이다. 이러면서 서로의 단점을 보완하고 장점을 살리도록 하는 것이다.

마지막으로 PCA-LDA는 PCA와 LDA의 조합으로 패턴을 분류하는 방식인데, PCA는 입력데이터의 고차원을 저차원으로 축소시켜 데이터를 얻는 방식이다. 부분방전 데이터는 수많은 정보를 처리해야 하는 관계로 그 데이터의 크기가 커지고 고차원의 데이터가 될 수도 있다. 이렇게 되면 이들은 시스템의 성능저하 및 오차를 유발하게 되는데, 이를 저감하기 위한 효과적인 방법이 PCA를 이용한 것이다. 또한 LDA는 각 패턴의 class 내의 분산을 나타내는 행렬 (Within-Scatter Matrix)과 class 간 분산을 나타내는 행렬 (Between-Scatter Matrix)의 비율이 최대가 되는 선형 변환법이다.

이들의 보다 자세한 시스템의 구성 및 알고리즘은 참고문헌 [7]-[9]에 설명되어 있다. 표 3은 트리 결합별 분류결과를 나타낸 것이다.

BP는 인식률이 87 %였으며, model 1의 5개의 미분류 데이터는 모두 모델 3으로 분류가 되었으며, model 3에서의 3개의 미분류 데이터는 model 1로 분류가 되었다.

ANFIS에서는 model 1의 1개의 미분류 데이터는 model 3으로 분류가 되었으며, PCA-LDA에서의 model 3의 미분류 데이터는 model 1로 분류가 되었다.

분류결과는 model 1과 model 3의 데이터가 유사성이 많다는 것을 보여주고 있으며, 이는 model 2의 방전이 두 방전과 매우 다른 형태를 갖고 있음을 의미하기도 한다.

표 3. 분류결과(트리결합별).

Table 3. Classification result of each model.

model	classification schemes		
	BP	ANFIS	PCA-LDA
	classification result		
model 1	15 / 20	19 / 20	20 / 20
model 2	20 / 20	20 / 20	20 / 20
model 3	17 / 20	20 / 20	14 / 20
Total	52 / 60	59 / 60	54 / 60
classification rate (%)	87	98	90

표 4. 분류기법의 비교.

Table 4. Comparison of classification schemes.

항목	분류기법		
	BP	ANFIS	PCA-LDA
기본 시스템	neural networks	fuzzy inference system+ neural network	feature extraction+ euclidian distance
패턴분류율 (%)	87	98	90
학습 회수	very long (>1,000 times)	just several times	not needed
parameter 수	many	a few	few
시스템 구성	complex	normal	simple

표 5. 트리진전시 분류결과.

Table 5. Classification result of tree progress.

	model 1	model 2	model 3
초기	1 / 7	0 / 7	1 / 7
중기	0 / 7	1 / 7	0 / 7
말기	0 / 7	1 / 7	1 / 7
전체	1 / 21	2 / 21	2 / 21
분류율 (%)	95	90	90

ANFIS의 분류결과가 다른 두 방식보다 우수한 결과를 보이고 있는 것은, 전술한 바와 같이 ANFIS의 시스템의 특성상 퍼지의 전문가적인 사고방식과 신경망의 학습능력등이 융합된 구조로 되어 있기 때문인 것으로 사료된다.

표 4의 시스템의 특성을 비교해본 결과 인식을 자체만으로 따져본다면 그 값은 단연 98 %의 인식률을 보인, ANFIS가 높게 나타나겠지만, 활성상태에서의 진단 데이터에 대한 적응성은 아직 검증된 바가 없다. 하지만, ANFIS는 사선상태에서의 진단성이 우수하여, 활성상태에서도 높은 진단율을 보일 것이라고 추측할 수 있고, PCA-LDA는 BP와 비교해 높은 인식률을 보이고 있지는 않지만, 그 외의 다른 특성들에 대해서는 BP 보다는 상당히 우수한 성능을 보이고 있다. 무엇보다도 PCA-LDA는 데이터 처리량이 많아질 경우에 효과적인 PCA 기법을 적용하고 있는 것이 장점으로 작용하고 있다.

트리진전시의 분류에 있어서는 ANFIS 분류기법을 적용하였으며, 그에 대한 결과를 표 5에 나타내었다. 또한 논문에는 결과를 나타내지 않았지만, 트리진전시기를 초기와 말기 두 단계로 구분할 경우의 분류율은 100 %를 보였다. 트리진전시의 분류에 있어서는 말기시의 분류가 중요한데, 이는 절연파괴와 밀접한 관련이 있어 전력케이블의 교체 시기 및 유지보수를 결정할 수 있으므로 공학적으로 큰 의미가 있기 때문이다.

4. 결 론

본 논문에서는 부분방전을 이용하여 전력용 케이블에서 발생할 수 있는 전기트리의 다양한 결함을 제작하고, 부분방전 데이터를 취득하여 각각의 분포특성을 비교하고, 그들을 결합별로 분류하고자 하였다. 또한, 트리 전체구간의 시기를 세 단계로 구별하여, 공학적으로 중요한 의미를 갖는 트리진전 말기 단계를 구분하고자 하였다.

1) 결합의 종류에 따라 맥스웰 전계분포 및 부분방전 특성은 서로 상이한 결과를 보였으며, 이러한 방전데이터간의 상이성은 결합별 특성분석의 기초자료로서 활용될 수 있다.

2) 부분방전원 분류결과는 BP, ANFIS, PCA-LDA 기법을 비교해 보았을 때, model 1과 model 3의 패턴이 서로간의 유사성이 많은 데이터가 존재하여, 전체 패턴 분류율은 각각 87, 98, 90

%의 결과를 보였다. 인식률 면에서는 ANFIS가 우수한 결과를 나타내었고, 데이터의 처리 및 시스템의 간편성 면에서는 PCA-LDA가 보다 좋은 결과를 나타내었다

3) 트리진전시의 분류에 있어서는 전체 92 %로서 각 데이터간의 유사성이 많아 패턴분류율이 낮아지는 결과가 되었다.

4) 부분방전원의 분류로서 ANFIS는 퍼지 추론 시스템과 신경회로망의 단점을 보완하고 장점을 살리는 것으로서, 향후 온라인 시스템으로의 적용에도 우수한 능력을 나타낼 것으로 사료된다.

부분방전원 분류 및 진전 분류 결과는 각 결합의 열화도 진전에 대한 판별과 방전원의 종류를 판단할 수 있기 때문에 전력기기의 유지, 보수에 대한 기본적인 연구로서 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2005-041-D00319).

참고 문헌

[1] F. H. Kreuger, "Partial discharge detection in high voltage equipment", U.K. Butterworth, p. 14, 1989.

[2] L. A. Dissado, "Understanding electrical trees in solids; from experimental to theory", IEEE Transaction on EI, Vol. 9, No. 4, p. 483, 2002.

[3] F. H. Kreuger, E. Gulski, and A. Krivda, "Classification of partial discharge", IEEE Transaction on EI, Vol. 28, p. 917, 1993.

[4] 이복희, "고전압 대전류 공학", 청문사, p. 53, 2006.

[5] E. Kuffel and W. S. Zaengl, "High voltage engineering", Pergamon press, p. 297, 1984.

[6] 한국전기연구원, "전력기기 절연진단 기술", p. 10, 2001.

[7] J.-S. R. Jang, C.-T. Sun, and F. Mitutany, "Neuro-fuzzy and soft computing", Prentice-Hall International, Inc, p. 233, 335, 1997.

[8] S. H. Park, K. J. Lim, and S. H. Kang, "Comparison of classification rate for PD sources using different classification schemes", Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 1, No. 2, p. 257, 2006.

[9] 박성희, 이강원, 강성화, 임기조, "XLPE 전력용 케이블 시편의 부분방전원 분류", 전기전자재료학회논문지, 17권, 8호, p. 898, 2004.

[10] 박우현, 이기식, "에폭시/고무 거시계면에서 장시간 절연파괴전압에 대한 연구", 전기전자재료학회논문지, 15권, 11호, p. 1003, 2002.

[11] 일본전기학회, "전기설비의 진단기술", 대한전기학회, p. 7, 255, 1994.