

전력용 케이블의 부분방전 진단 동향

최명일 주임연구원, 김중서 책임연구원 (한국전기안전공사 전기안전연구원)

1. 서론

최근 고도 정보화 사회로의 발전과 생활환경, 사회기능의 전력 의존도가 큰 폭으로 증가하고 있으며, 전기용품 및 전력 사용량의 증가와 함께, 주요 인구 밀집지역의 건축물은 점차적으로 다양화, 고층화 및 첨단화에 따라 전기설비는 설치공간의 축소화 및 용기에 의한 밀폐화 등 설비 형태의 변화를 가져왔고 이에 따라 가동 중인 전기설비사고의 사전방지에 관한 예방보전기술의 적극적인 개발 및 보급이 필요로 되고 있다. 그러나 적절한 전력설비 메인テナンス를 위한 기술의 활용 미흡과 전력사용량의 증대로 인하여 전력설비의 소손 및 이로 인한 인명, 재산피해 등 재해의 발생요소가 높아지고 있는 실정으로서 이를 사전에 대처하기 위한 실시간 기반의 전력설비 감시가 필요하다.

현장의 일반 및 대수용량 수용가에서 전력케이블은 매우 중요한 설비로 기기에 대한 적정한 측정을 통한 안정적인 운전이 중요하나, 국내의 대부분 규모가 작은 일반수용가들은 특별한 보호대책이 없이 운전되고 있는 실정이다. 2006년도 국내 전기설비 사고동향을 분석해 보면 전체 설비사고 중에 케이블 사고가 7.2%로 점유한 것으로 조사되었다. 따라서 22.9 kV 이하급 전력용 케이블에서 비정기적 진단 또는 육안 점검 등에 의존해서 설비를 운전하고 있어, 저렴하고 활용하기 쉬운 장비의 개발 필요성이 요구되고 있다.

본고에서는 전력용 케이블의 부분방전 측정 장치와 분석 기법 및 최근의 진단장비 동향에 대하여 알아보려고 한다.

2. 국내·외 기술개발 현황

2.1 국내현황

고전압 설비진단장비의 기본이 되는 부분방전 측정 장치는 대부분 외국에서 제작되어, 국내에서 수입 판매되고 있으며, 이에 따라 장비의 평균 가격이 약 5천만원 정도로 매우 고가이다. 또한 일본, 미국 등 외국어로 운용 및 매뉴얼 등이 제작되어, 소수의 전문가 또는 진단업체나, 규모가 큰 대기업 등에서 수입하여, 외국에서 제시한 기준 및 측정방법을 그대로 적용하고 있는 실정이다.

현재, 몇몇 중소기업에서 부분방전 측정 및 분석 관련 진단 장비를 개발하여 판매하고 있으나, 장비의 제작가격이 2천~3천만 원 정도로 고가에 거래되고 있으며, 제작 제품에 대한 신뢰성 및 홍보 등의 부족으로 판매실적이 저조하다. 국내의 부분방전 측정 및 분석에 관한 기술수준은 이미 고전압 설비 제작 관련 연구소, 정부출연 전기관련 연구소, 대학교 실험실 등에서 기초 및 응용 기술을 충분히 확보하고 있으며 현재 홈페이지 등에 게시하여 판매하고 있는 업체도 있다.

고객설비에서 중요한 위치를 차지하고 있는 GIS, 변압기, 케이블 등 중요설비의 발전방향은 현대 고

도화된 산업시설에 요구되는 고신뢰성이 바탕이 된 설비의 집적화 및 장기적으로 사고를 예방하는 것에 초점을 맞춰, 설비를 효과적으로 감시하여 사고 전에 여러 가지 조치를 미연에 취함으로써 신뢰성을 회복시키는 상태 감시기술이 더욱 광범위하게 적용될 것으로 판단된다.

향후 더욱 신뢰성 있는 진단기술 및 판정기준 등의 정립을 위해서는 기기별로 특성분석 변화 추이에 대한 데이터베이스를 구축하고, 운전 중인 기기의 상태분석을 진단하기 위한 고감도 지능형 센서 등이 개발되어야 하며, 현재 현장적용시 문제점으로 지적되어온 부분방전 측정 및 잡음제거를 위한 신호처리 방법의 진보된 기술이 제시되어야 한다. 그리고 On-Line 감시 및 신뢰성 있는 분석을 위하여 진단기술의 분석방법 및 판정기준의 표준화 및 이러한 분석을 위한 데이터베이스 기술 등이 구축되어야 할 것으로 판단된다.

2.2 국외기술개발 현황

미국, 일본, 유럽 등 외국에서는 고전압관련 기술 등이 매우 발달되어 있으며, 자체 국가 기준 및 국제 기준 (IEC60270) 등의 규정이 잘 정비되어 있고, 이러한 기초기술을 바탕으로 제작되는 고전압 진단관련 장비 및 진단방법 등을 일반기업 등에서 관련 장비의 개발이 매우 폭넓게 진행되고 있다. 현재 국외의 기술동향을 살펴보면, 일본은 과거부터 기기의 진단 및 보수·유지 부분에 많은 관심을 기울여 왔으며, 이와 관련하여 부분방전측정관련 기술 및 관련논문 발표 등이 활발히 진행되고, 또한 고전압 기술이 발달한 미국이나, 유럽 등에서도 IEC, IEEE, CIGRE 등 최고수준의 국제기준제정 및 전력관련 전문학회 등을 통해 신기술 등의 교류가 활발하며, 이들 기술을 적용한 장비 및 진단방법의 개발이 매우 활발히 진행되고 있다.

현재 국내 대부분의 대용량 수용가에서 외국의 고가 장비를 수입하여 국내 설비에 적용하여 설비의 상태분석을 실시하고 있으나, 진단의 특성상 주변 환경 및 노이즈, 부하사용 등 우리나라에 적합한 재 실험을 통한 판정기준 등을 재설정해야하며, 일본의 경우는 전력계통이 우리나라와 다른 비접지 계통이

며, 사용 주파수도 달라 우리나라의 다중 접지방식에 적용하기 매우 어렵다. 또한 대부분의 진단장비 및 분석프로그램이 외국의 것을 적용함으로써 인하여 실제 현장에서 측정한 이상신호에 대한 적절한 신호 해석이 어렵고, 사용설명서 및 신호처리 방법이 외국어로 표기되어 있으며, 진단장비 및 기술에 대한 비용도 매우 높아 상대적으로 규모가 작은 일반 수용가에서 적용하기에는 많은 문제점을 안고 있다. 이와 같은 문제점들로 인하여 대부분의 자가용 수용가에서는 진단을 위한 정확한 개념을 정립하지 못한 채 대부분 육안에 의존하고 있는 실정이다.

이에 대한 대책으로 현장에서 간편하게 적용할 수 있는 관련논문을 정리·분석하고, 이의 이론을 바탕으로 하여 국내에 필요한 진단 시스템 및 진단 알고리즘을 적용한 진단 프로그램을 개발하여 현장의 기술원들과 연구 개발자 상호간 데이터베이스의 구축으로 자료 공유를 통한 전력케이블 등 주요 설비의 신뢰성 높은 보수 유지 기술이 보급해야 할 것으로 판단된다.

3. 전력용 케이블의 열화특성

배전용 전력케이블의 전기적 요인에 의한 열화 형태로서 부분방전은 절연체 중의 보이드, 절연체와 차폐층 사이의 공극 등에서 발생하는 부분방전으로 케이블을 열화시킨다. 전기트리 열화는 케이블 절연체 내 반도전층과 절연체와의 계면에 국부적인 고전

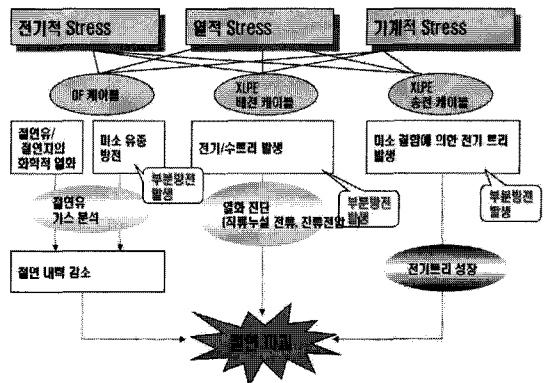


그림 1. 전력용 케이블의 열화 과정 (출처 : LS전선).

계가 존재하는 경우 국부적인 파괴가 발생하여 트리 형태로 진전된다.

케이블에 가해지는 전압이 낮더라도 국부적인 고전계가 발생하는 부분이 있으면 열화가 발생된다. 수트리는 전극의 돌기나 이물을 시발점으로 하여 물과 전계가 공전하게 되면 나뭇가지 모양으로 성장하는 미세한 통로 또는 직경 0.1 μm 정도의 마이크로 보이드 등을 말한다. 수트리가 발생한 부위는 절연체가 산화되고 분자쇄의 절단이 동반된다. 수트리는 전기트리에 비해 상당히 저전계에서 발생하고 케이블의 절연성능을 크게 저하시킨다.

열적 요인으로, XLPE가 장시간 고온에 노출되면 열과 산소에 의해 고분자의 분자쇄가 끊어져 저분화하여 인장강도, 연신율 등이 저하하고 결국 절연성능의 저하로 이어진다.

화학적 요인으로, XLPE에 기름과 약품 등이 내부로 침투하면 재료의 팽윤, 기계적 강도 저하, 용해, 화학적 분해, 배합물의 추출에 의해 경화, 산화, 중량 감소가 이어지고 절연저항의 저하, tanδ의 증가, 파괴전압의 저하를 유발한다.

기계적 요인으로, 굴곡, 외상, 부하변동에 따른 열신축, 단시간이라도 과도한 열에 의한 변형 등이 1차 요인이며, 다른 요인(예, 전기적 요인)과의 조합으로 절연성능이 저하된다.

트래킹 열화는 단말의 스트레스콘이나 스킷트 등에 염분 증에 의한 오손, 표면 균열, 미소 연면 방전, 표면 탄화 소손이 일어나는 것을 말하며, 최종적인 표면의 플래시 오버에 다다르게 된다. 자외선이나

오존은 단말 표면에 크랙을 발생시켜 트래킹 열화를 촉진시킨다.

4. 부분방전 진단기술

4.1 부분방전 발생

부분방전은 열화된 절연체나 전계가 집중된 곳, 절연체중의 미소결함 등에서 발생하여 최종적으로 전극간 절연파괴를 일으키는 절연체에 유해한 현상이다. 최근 노후화된 전력기기의 증가 및 신설 전력기기의 고전압, 대용량화와 함께 최적 절연설계 및 콤팩트화로 설계전계가 높아지고 있으며, 노후화된 전력기나 전계강도가 높은 신설 전력기기의 절연체에 미소결함이 존재하면 부분방전이 발생하여 절연체에 치명적인 절연고장을 유발할 수 있다. 따라서 미소결함으로 인한 고장을 방지하기 위하여 대부분의 전력기기의 절연성능 인정시험으로서 부분방전 측정을 수행하고 있다. 이와 같은 부분방전시험은 고전압절연의 상태를 평가하기 위한 시험 중에서 절연체에 손상을 일으키지 않고 수행하는 가장 정도가 높은 시험으로 제시되고 있다.

부분방전 시험은 수 ns 이하의 상승시간 (Rising time)을 갖는 방전펄스가 발생하는 현상이기 때문에 펄스가 경유하는 매질, 절연시스템, 전력기기의 구조, 계측기 및 측정회로특성, 주변잡음 등에 따라 방전펄스파형의 변화로 인한 주파수대역에 따른 부분방전크기 및 펄스위상차, 펄스수 등이 복잡하게 나타난다.

4.2 전기적 검출에 의한 활성 부분방전 진단

전계분포가 균일하지 않은 절연물에 전압을 인가하고 인가전압을 서서히 증가시키면 어떤 전압 이상이 되었을 경우, 전계가 집중된 부분에서 부분적으로 방전이 일어나게 된다. 이러한 방전을 부분방전(PD : partial discharge)이라 하며 인가전압을 점차 상승시키면 부분 방전량이 더욱 증가하여 절연물이 갖는 절연내력의 한계를 넘어서면서 전면방전에 이르게 된다. 부분방전의 발생은 전력기기 설계 시, 전계의 평형을 맞추지 못했을 때는 물론 권선의 돌출

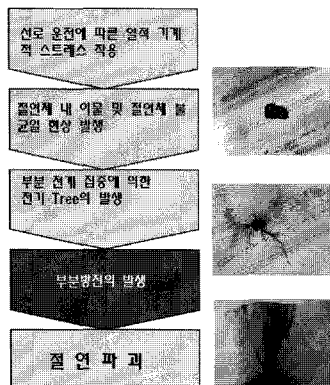


그림 2. 절연파괴 메커니즘 (출처 : LS전선).

부분 제거가 불충분하거나 금속 등 유전율이 큰 물질의 유입, 불충분한 진공 주유나 절연물의 열화에 의해 발생하는 기포 등에 의하여 그 부분의 전계가 상대적으로 높아짐에 따라 발생한다. 부분방전은 전극과 절연물 구성에서 절연물을 주체로 생각하면 내부방전과 표면방전으로 크게 나눌 수 있고 부분방전을 다음과 같이 분류할 수 있다.

(1) 내부방전

내부방전은 절연물안의 절연내력이 낮은 불순물에서 일어나는 것으로 일반적으로 이 불순물은 기체인 경우가 많고, 공극(보이드)이라고 하며 절연체 속에서 발생한다. 공극이 절연체 내부에 생기는 것과 전극 및 절연체의 계면에 생기는 것이 있다. 고체 및 액체의 절연물 안에 보이드가 존재하는 경우에 교류 또는 충격파와 같은 고전압을 인가하면 보이드안의 유전율은 절연물에 비해 작기 때문에 이 부분에서 방전이 발생한다. 또한 스페이스 절연체와 반도체층의 경계에 갭이 생기면 일종의 보이드를 형성하게 되고 큰 방전이 일어난다. 이러한 방전을 보이드(Void) 방전이라고도 한다.

(2) 연면방전

연면방전은 전극 끝에서 공기와 고체절연물이 조합되어 있는 경우에 공기의 절연내력은 고체절연물보다 작고 유전율도 공기보다 작기 때문에 전압이 상승되어 어떤 전압에 이르렀을 때에 전극 끝의 공기부분에서 절연물에 따라 방전이 발생한다. 이와 같이 절연물 표면에 따라서 발생하는 방전을 연면방전이라 한다.

(3) 코로나방전

코로나 방전은 기체나 액체의 절연물 안에 끝이 예리한 전극부가 존재할 때에 전압을 상승시키면 그 앞쪽 끝 부분에 심하게 전계가 집중해서 방전이 발생한다. 이것을 코로나 방전이라고 한다. 니들(Needle)코로나 방전은 정(+)의 전압보다도 부(-)의 전압에서 빨리 발생한다. 교류전압에서는 코로나 방전이 부(-)의 펄스 반사이클에서만 발생하는 경우가 많다.

4.3 부분방전의 측정

절연체의 전체적인 절연파괴가 아니라, 코로나와 같은 국부적인 대기 중 방전과 절연체 내에 존재하는 보이드에서 발생하는 내부적으로 장기간 운전되는 고전압설비에서 열화의 마지막 단계로서 부분방전이 발생되므로 부분방전의 측정을 통한 절연체의 진단은 다른 방법에 비해 정확하다고 볼 수 있다. 부분방전은 절연체 내의 결함의 형태, 인가전압의 종류 및 크기, 절연체의 종류 등에 따라 상당히 다른 특성을 보인다. 즉 부분방전은 열화 상태에 대한 수많은 정보를 갖고 있다. 부분방전은 어느 정도 고전압이 인가될 때 개시되고, 부분방전 발생 시 전류나 음향과 같은 부분방전 신호를 발생시킨다. 그러나 이러한 부분방전 신호는 상당히 미약하기 때문에 상당히 정밀한 방법을 이용하여 측정하게 된다. 즉, 극단적으로 큰 스트레스(고전압)가 인가될 때 극단적으로 작은 신호를 측정해야 하므로 상당한 어려움이 뒤따른다. 따라서 부분방전이 절연 열화 및 절연파괴에 대해 많은 정보를 가지고 있음에도 불구하고 현재까지도 부분방전의 현장 적용은 많은 어려운 문제들을 포함하고 있다.

(1) 부분방전 발생이론

부분방전의 종류 중 코로나나 절연체 표면에서의 부분방전은 고전압 설비의 외부에서 나타나는 것이므로 기본 설계, 제작상의 주의 및 육안 관찰을 통해 상당히 줄일 수 있다. 그러나 고전압 설비를 제작한 후 X-선 촬영을 통해 내부의 보이드를 찾아낸다고 하여도 발견되지 않는 미소 보이드라든가 아니면 제작 초기에는 나타나지 않다가 설비의 운전 중에 보이드가 드러나는(예, 초기에는 실리콘 그리스가 발라져 있다가 운전 중에 보이드가 드러나는 경우) 경우에는 부분방전을 사전에 방지할 수 없다. 따라서 여기에서는 절연체 내부에서 발생하는 내부 방전의 경우에 대해 기술하였다. 그림 3에서와 같이 평판 유전체 내에 보이드가 존재한다고 생각할 때, 정상적인 부분과 기체로 된 보이드 부분의 커패시턴스는 다르다. 유전체의 유전율이 $\epsilon(\epsilon > \epsilon_0)$ 일 때 보이드 유전율은 ϵ_0 이므로, 보이드 내에 형성되는 전계는 유전체의 전계보다 높아진다. 또한 일반적으로 공기의 절연파괴 전

계는 일반적인 절연파괴 전계보다 작기 때문에, 전압 인가 시 보이드에서 절연파괴가 일어난다. 그림 3(b)는 이것에 대한 등가회로를 나타낸 것이다.

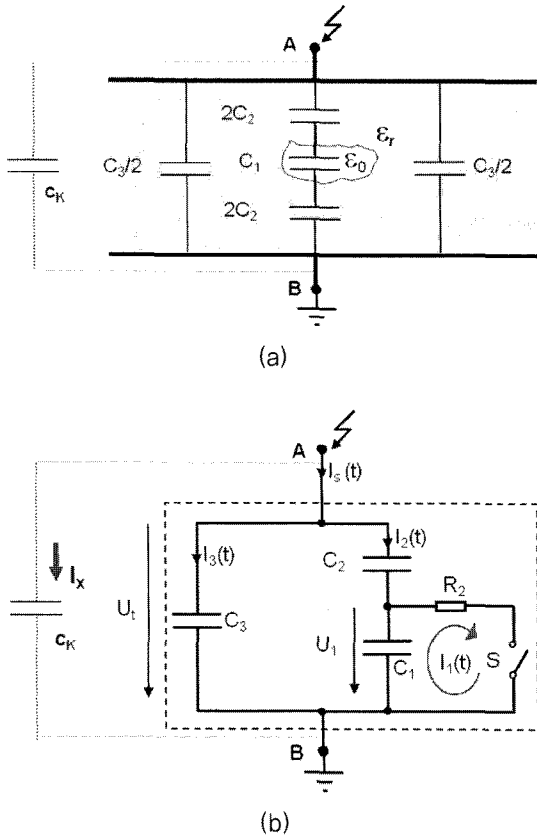


그림 3. 부분방전 회로의 등가회로 (a) 유전체 내의 보이드, (b) 등가회로.

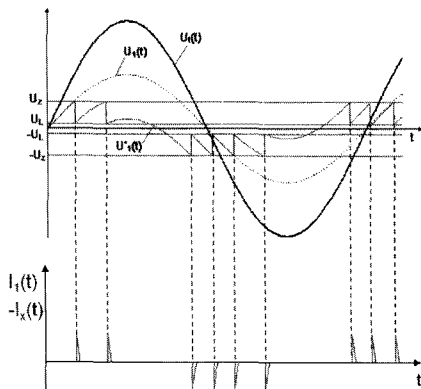


그림 4. 부분방전 전압과 전류.

부분방전 측정 시에는 교류 전압의 한 주기에서 변화하는 전압에 따라 부분방전이 발생하는 위상영역이 나타나게 된다. 위상영역에 따른 부분방전 발생은 부분방전을 일으키는 재료의 종류, 보이드의 종류 및 형상, 코로나일 때 등에 따라 달라진다. 따라서 위상에 따른 부분방전의 측정을 통해 부분방전 열화에 대한 많은 정보를 알 수 있다. 이것을 부분방전 패턴 인식 (Partial discharge recognition)이라 하고, 전압의 위상을 φ 라 할 때 φ -q-분석 또는 부분방전 펄스 수 n까지 고려하여 φ -q-N 분석을 수행하게 된다.

(2) 부분방전에 관한 양

어떤 조건하에서 피시험물에서 발생하는 부분방전은 측정가능한 양으로 표시한다. 부분방전은 통상 펄스적 현상이고, 그의 크기로서 다른 고전압 측정에서의 전압, 전류 등의 양으로 표시함에 따라 전하량, 펄스 발생빈도 등의 양으로 표현하는 것이 적절하다.

(3) 부분방전 취득 신호의 집적

시험전압의 수주기 (약 100주기 이상)에 해당하는 시간동안 기본량을 측정하여 집적해 놓은 것이 집적량이 되며 본고에서는 시험전압의 위상각에 따른 함수로 분석하였다.

그림 5는 위상에 따른 검출 신호의 누적에 대한 기본 개념을 설명한 것으로, 상용주파수 60 Hz에 동기화되어 검출되는 신호가 누적되는 기본개념을 표현한 것이다.

4.4 여러 가지 부분방전 패턴의 특성

부분방전 특성결과는 교류 방전시험에서만 유효

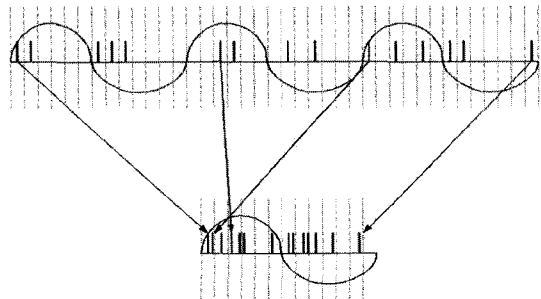


그림 5. 위상에 따른 함수의 기본 개념.

하며, 부분방전 측정 장치를 통하여 개별적으로 관찰할 수 있다. 응답 형태를 관찰함으로써 시료에서 발생하는 방전의 특성에 관한 유의한 많은 정보를 수집할 수 있고, 결합에 의한 방전인지 또는 노이즈 인지를 구별할 수 있다. 교류 전압을 이용한 부분방전 측정 시에는 교류 전압의 한 주기에서 변화하는 전압에 따라 부분방전이 발생하는 위상영역이 나타나게 된다. 위상 영역에 따른 부분방전 발생은 부분방전을 일으키는 재료의 종류, 보이드의 종류 및 형상, 코로나일 때 등에 따라 달라진다. 따라서 위상에 따른 부분방전의 측정을 통해 부분방전 열화에 대한 많은 정보를 알 수 있다. 이것을 부분방전 패턴인식 (Partial discharge pattern recognition)이라 하며, 전압의 위상을 ϕ 라 할 때 ϕ -q 분석 또는 부분방전 펄스 수 n까지 고려한 ϕ -q-N 분석을 수행하게 된다. 이러한 ϕ -q 분석의 편의를 고려하여 정현파의 형태로 나타내지 않고 한 주기의 0° 와 360° 를 이어서 나타낸다.

참고로 패턴별 여러 종류의 결합에서 나타나는 부분방전의 위상 특성은 그림 7과 같이 구분할 수 있으며 각각의 특성을 표 1에 나타내었다.

4.5 신경회로망 알고리즘

(1) 다층 퍼셉트론 (Multilayer Perceptron)

다층 퍼셉트론은 입력층과 출력층 사이에 하나 이상의 중간층이 존재하는 신경망으로 그림 8에 나

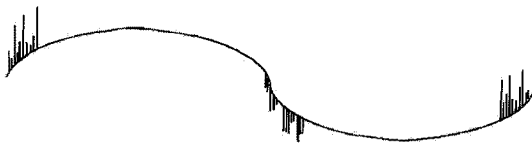


그림 6. 교류전압 한 주기에 대한 파형.

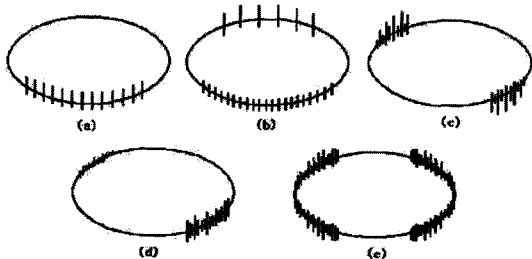


그림 7. 여러 가지 부분방전의 패턴 형태.

표. 1 여러 가지 부분방전 패턴의 특성.

구분	특징	결합의 형태
(a)	· 반주기의 중심 (90° 또는 270°)으로부터 대칭적으로 일정한 크기의 펄스 발생 · 전압증가에 따라 펄스 수 증가, 크기 변동 없음	· 전극의 뾰족함 (기체 절연, 코로나) (1) 고전압 전극: 반주기에 서 펄스 출현 (2) 접지전극: 양의 반주기 에서 펄스 출현
(b)	· 반주기의 중심 (90° 와 270°)으로부터 대칭적으로 펄스 발생 (작은 펄스의 크기는 일정함) · 전압증가에 따라 펄스 수 증가	· 전극의 뾰족함 (액체 절연) 고전압 전극: 낮은 전위로 양의 반주기에서 큰 펄스 출현 접지전극: 음의 반주기에서 큰 펄스 출현
(c)	· 1/4주기와 3/4주기에서 크고 작은 펄스 발생 · 두 구간에서 평균적인 펄스 크기는 동일함	· 고체절연체 내의 보이드 · 액체절연체 내의 기포 · 절연체로 감싸인 도체간의 접촉 · 금속과의 접촉 없이 절연체 표면의 방전
(d)	· 1/4주기와 3/4주기에서 크고 작은 펄스 발생 · 한쪽 구간의 평균적인 펄스 크기가 더 큼	· 도체-고체절연체 사이의 보이드 · 전극에서의 표면 방전 (1) 고전압 전극: 1/4주기 에서 큰 펄스 출현 (2) 접지전극: 3/4주기에서 큰 펄스 출현
(e)	· 0을 지나는 점을 중심으로 부터 대칭적으로 크고 작은 펄스 발생	· 도체-반도체층 사이의 접촉 불량

타낸 것과 같은 계층구조를 갖는다. 이 때 입력층과 출력층 사이의 중간층을 은닉층 (Hidden layer)이라 부른다. 네트워크는 입력층, 은닉층, 출력층 방향으로 연결되어 있으며, 각 층 내의 연결과 출력층에서 입력층으로의 직접적인 연결은 존재하지 않는 전방향 (Feedforward)의 네트워크이다. 다층 퍼셉트론은 단층 퍼셉트론과 유사한 구조를 가지고 있지만 중간층과 각 유닛의 입출력 특성을 비선형으로 함으로서 네트워크의 능력을 향상시켜 단층 퍼셉트론의 여러 가지 단점을 극복하였다.

지금까지 활성화하는 주로 계단형 (Hard limiting)의 비선형 (Nonlinear) 활성화함수를 사용하고 출력 유닛이 하나인 다층 퍼셉트론에 대하여 논의하였는데 이와 비슷한 결과가 시그모이드 비선형 활성화함수를 적용한 한 개 이상의 출력 유닛을 가진 네트워크에도 나타난다. 시그모이드 비선형 활



성함수를 적용할 경우 영역이 통상 직선이 아닌 완만한 곡선으로 경계 지워지므로 행위의 분석이 약간 복잡하지만 미분이 가능하므로 오히려 은닉층을 학습할 수 있는 백프로퍼게이션 학습 알고리즘을 수행할 수 있다. 대부분의 다층 퍼셉트론은 백프로퍼게이션 학습 알고리즘을 학습시킬 수 있다.

일반적인 다층 퍼셉트론의 학습방법은 다음과 같다. 입력층의 각 유니트에 입력 데이터를 제시하면 이 신호는 각 유니트에서 변환되어 중간층에 전달되고 출력층으로 나오게 된다. 이 출력값과 원하는 출력값을 비교하여 그 차이를 감소시키는 방향으로 연결강도를 조정하는 것이다. 그러나 중간층이 있으면 학습은 어려워진다. 왜냐하면 어떤 연결강도가 오차를 유발시키는지 알 수 없기 때문이다.

(2) 백 프로퍼게이션 학습 알고리즘

백 프로퍼게이션 학습 알고리즘의 기본 원리는 다음과 같다. 입력층의 각 유니트에 입력패턴을 주면, 이 신호는 각 유니트에서 변환되어 중간층에 전달되고 최후에 출력층에서 신호를 출력하게 된다. 이 출력값과 기댓값을 비교하여 차이를 줄여나가는 방향으로 연결강도를 조절하고, 상위층에서 역전파하여 하위층에서는 이를 근거로 다시 자기층의 연결강도를 조정해 나간다.

지도학습에서는 입력 및 원하는 출력(목표출력) 패턴(벡터)이 네트워크에 제시된다. 네트워크는 입력층에 주어진 입력패턴이 출력층에 전파되면서 변환된 출력층을 목표패턴과 비교한다. 네트워크에 출력된 패턴이 목표패턴과 일치하는 경우에는 학습이 일어나지 않는다. 그렇지 않은 경우는 얻어진 출력패

턴과 목표패턴의 차이를 감소시키는 방향으로 네트워크의 연결강도를 조절하여 학습을 한다. 네트워크에 은닉 유니트가 없는 경우는 델타 규칙과 동일하다. 즉 p번째의 입력/목표출력 패턴이 제시되는 경우 노드 i에서 노드 j로의 연결강도의 변화는 아래 식과 같이 표현된다.

$$\Delta_p W_{ji} = \lambda(t_{pj} - O_{pj})i_{pi} = \lambda \delta_{pj} i_{pi}$$

여기서 t_{pj} 는 p번째 목표출력 패턴의 j성분, O_{pj} 는 P번째 입력패턴으로부터 네트워크가 계산한 출력의 j 성분, i_{pj} 는 p번째 입력패턴의 I성분, $\delta_{pj} = t_{pj} - O_{pj}$ 는 목표출력과 실제출력의 차(오차), $\Delta_p W_{ji}$ 는 입력층 I 유니트로부터 출력층 j 유니트로의 연결강도의 변화량이다.

5. 최신 전력용 케이블 부분방전 진단기술 소개

5.1 부분방전 진단장치

전력용 케이블의 부분방전 진단기술개발을 위하여 최근 전기안전연구원에서 휴대용 케이블 부분방전 진단장비 개발 과제를 수행했다. 부분방전 특성을 고려한 전력용 케이블 이상상태 분석을 위하여 포터블 형태의 부분방전 측정장치 및 운용프로그램을 개발하여 고압기기를 실시간으로 측정 및 분석할 수 있다고 하였다. 본 개발장치는 현장에서 사용자가 간편하게 측정 및 분석할 수 있도록 개발되었다.

개발된 부분방전 측정장치는 그림 9와 같이 고주파 CT 센서로부터 신호를 취득하는 신호취득장치 및 검출 및 운용프로그램을 탑재한 노트북으로 구성되어 있다.

하드웨어 부분은 취득된 신호를 연속적으로 연산 처리하여 소프트웨어 부분으로 전송하며, 이들 측정 신호의 자료는 실시간으로 분석가능하며, 저장용량은 상용주파수 기준 240 cycle (약 4초)을 누적하여 다양한 방법에 의하여 분석된다. 운용 소프트웨어는 사용자가 쉽게 운용할 수 있으며, 측정결과도 실시간으로 현장에서 확인할 수 있다.

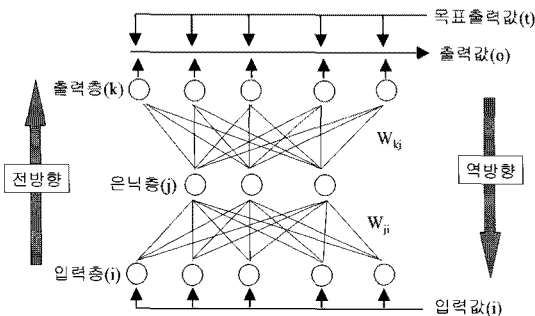


그림 8. 백 프로퍼게이션의 구조.

5.2 회로 구성

부분방전 측정 및 분석을 위한 장치는 각 부분의 안정성에 유의하여 측정장치를 구성하였다. 신호처리장치 (노트북)에 부분방전신호를 측정 분석할 수 있는 소프트웨어를 개발하여 설치하였고, 부분방전 측정장치는 정밀도 8 bit, 하이패스 필터 (1 MHz 이하 신호 제거)의 특성을 가지고, 현장에서 간편하게 운용하고, 취급할 수 있도록 구성되었다.

5.3 HFCT센서(고주파 CT 센서)

주요 전력기기의 접지선에 상용주파와 중첩되어 흐르는 고주파 전류를 측정한다. 본 연구에 적합한 센서의 사양은 다음과 같다.

○ HFCT센서 주요 사양

- (1) 고주파 CT센서 : 50 MHz
- (2) 아웃풋 커넥터 : BNC male

5.4 부분방전 측정부분

HFCT센서에서 취득된 신호를 측정현장의 상용주파 전압과 동기화시켜 이상신호를 검출하고, 이 신호를 컴퓨터 (노트북)로 전송한다. 또한 노이즈의 영향을 최소화 하도록 하이패스 필터 (1 MHz 이하 신호 제거)를 적용하였다.

○ 부분방전 측정장치

- (1) HFCT 센서에서 취득된 신호를 신호검출장치로 전달하는 BNC 형태의 커넥터와 1 MHz 이하 신호를 제거하는 하이패스 필터를 취부함
- (2) 하이패스 필터
- 1 MHz 이하의 신호를 제거 : 현장의 노이즈를 고려하여 선정
- (3) 신호처리장치

HFCT 센서로부터 전송된 부분방전신호를 패턴 분석이 가능한 형태로 재처리하고, 이 신호를 기반으로 운용소프트웨어에서 분석한다.

본 연구에 적합한 신호처리장치의 사양은 다음과 같다.

- (1) 채널 : 8 Ch
- (2) 분해능 : 8 bit 이상
- (3) RS232 타입

5.5 모의실험

부분방전 측정시스템의 적절한 활용을 위해 현장에서 사용하고 있는 22.9 kV XLPE케이블을 이용하여 고장을 모의하였고, 이상조건별 부분방전 신호를 검출 후 부분방전 측정시스템의 기준신호로 활용하

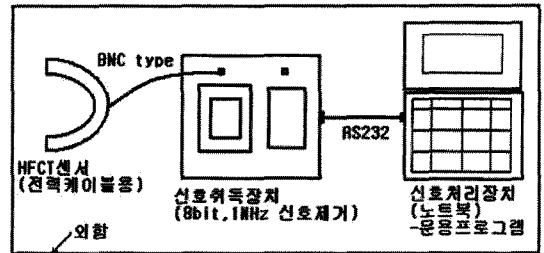


그림 9. 부분방전 측정장치 개략도

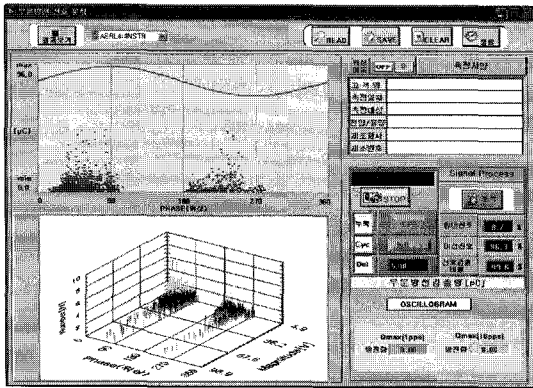


(a)

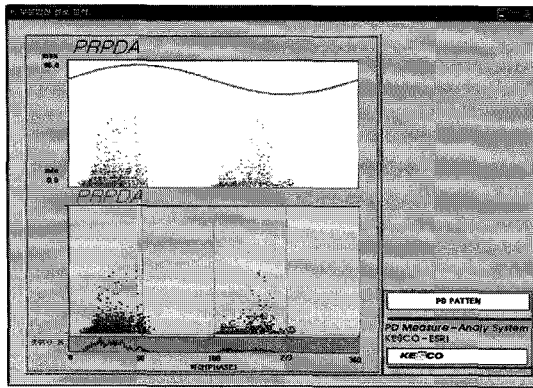


(b)

그림 10. 부분방전 시스템 구성 (a) 컴퓨터 기반의 하드웨어, (b) HFCT (50 MHz).



(a)



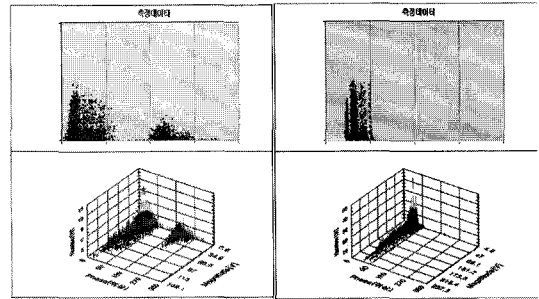
(b)

그림 11. 부분방전 측정 프로그램.

였다. 고장조건은 돌기조건(침 전극) 및 내부이상 조건으로 설정하여 실험을 진행하였다. 그림 12는 모의실험 결과 고장조건별 검출패턴을 나타낸 것으로 돌기조건은 100°~180° 부분에서 중점적으로 신호가 발생하고 있으며, 내부이상 조건은 90°~270°, 270°~360° 부근에서 주기적으로 나타나고 있는 것으로 관찰하였다.

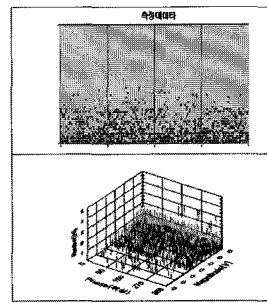
5.6 현장 적용

그림 13은 개발된 휴대용 부분방전 진단장치의 현장 실측 결과로서 측정 대상은 GIS에 연결된 22.9kV 전력케이블이다. 측정 결과를 분석하면 B상에서 절연체 내부 이상발생으로 부분방전 신호가 발생하여 A 및 C 상에 유도되는 것으로 판단된다.



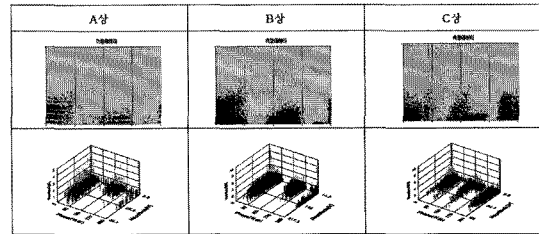
(a)

(b)



(c)

그림 12. 고장 조건별 부분방전 측정 결과 (a) 돌기조건 (침 전극), (b) 내부이상 조건, (c) Normal 조건.



구분	A상	B상	C상
패턴인식(%)	99	99	일반적인 신호
검출량(pC)	54	316	98

그림 13. 현장 실측 결과.

6. 결론

오늘날 전력설비의 중요한 기능중의 하나는 신뢰할 수 있는 고품질의 전기를 공급하는 것이며, 이 전력시스템을 구성하는 많은 설비들 중에서 신뢰성 문

제는 안정적인 운전에 많이 의존한다고 볼 수 있다.

본고에서는 부분방전 진단장비의 기술개발 현황과 수용가 설비의 주요설비인 운전 중의 전력용 케이블에 대한 활선진단법 중 주요한 방법인 부분방전 측정 및 분석을 위한 진단기법 및 장치에 대해 최근 전기안전연구원에서 개발 완료한 진단장비를 소개하였다. 본 진단장비는 점검 현장에서 진단결과를 실시간으로 조화가 가능하도록 하여, 현장 활용성을 높이는 데 주안점을 두고 연구를 시행하였다.

현장에 설치 운전 중인 자가용 설비의 전력용 케이블은 대기업에서 운용하고 있는 설비와 달리, 특별한 관리를 하고 있지 않는 경우가 많아, 이를 위해 저렴하고, 현장의 유저가 쉽게 접근이 가능한 부분방전 측정장치 및 운용 프로그램을 개발하였다.

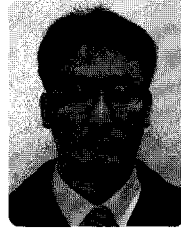
본 측정장치 및 운용프로그램은 현장에서 기술원들이 전력용 케이블의 무정전 진단 시 실질적으로 활용할 수 있는 진단방법의 제시로 현장업무에 도움이 되리라 판단된다.

차후로 신뢰도 향상을 위한 지속적이고 체계적인 데이터의 축적을 통해 전력용 케이블에 적용된 알고리즘의 개발의 요구되며 또한 사고이력, 설치 및 운전환경, 사용부하 등의 다양한 고장원인의 변수에 대한 데이터베이스화를 실시하여 체계적인 분석을 실시해야 하며 앞으로 이러한 분야에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] 신뢰성 진단, (사)한국전기전자재료학회, p. 165-184, 2005.
- [2] 휴대형 부분방전 진단 프로그램 개발, 한국전기안전공사, 2010.
- [3] 김종서, 박용필, 천민우, "신경회로망을 이용한 부분방전 신호의 패턴 분석", 전기전자재료학회 논문지, 7권, 5호, 2004.

저자약력



성명 : 최명일

◆ 학력

· 2003년
창원대학교 대학원 전기공학과 공학석사

◆ 경력

· 2003년 - 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원
주임연구원



성명 : 김종서

◆ 학력

· 2006년
동신대학교 대학원 전기공학과
공학석사

◆ 경력

· 1996년 - 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원
책임연구원

