전기안전에 기초하는 몰드변압기 이력관리 방법

송길목<전기안전연구원 책임연구원>

1. 개 요

전력설비는 1900년대 초만 하더라도 하나의 특수한 개념의 에너지 발생 또는 변환이나 이동장치로 여겨졌다. 그 당시에는 전기에너지의 사용이 특권층의 특별한 소장품 정도로 인식되어 졌을 수도 있다. 물론 산업에서 전기에너지는 없어서는 안 될 중요한 자원으로 인식되었다. 그러나 현재에 와서 국내에 전기에너지가 도입된 지도 100년이 훨씬 넘어섰고, 전력설비에 의한 전기에너지는 인간생활 곳곳에 사용되고 있으며, 의식 또는 무의식간에 전기에너지의 사용 척도가 곧, 경제적 산물로 여겨지고 있다. 전기안전은 전기에너지의 사용을 원활하고 친숙하게 하기 위한 개념이며, 전기안전기술은 전기에너지의 발생에서 이동, 변환, 사용 중에 발생할 수 있는 전기재해 즉, 감전, 전기화재, 설비의 고장 또는 사고로 인한 유해 에너지 발생을 최소화하는데 목적이 있다. 결국 전기에너지의 사용이 중단되지 않는 한 전기안전에 대한 인식은 늘 존재하며, 선택 또는 필수적인 요소로서 생활의 일부가 될 것으로 판단된다. 국내 전기설비는 대용량 또는 극소용량에 관계없이 수많은 안전장치로 구성되어 있다. 그 종류만 하더라도 줄열이나 주변 열적 영향을 확인하는 열감지 장치, 영상 모니터링 장치, 전력계통에서 보호계전 시설과 피뢰기, VCB, COS, PF 등등 열거하기 어려울 만큼 많다. 그럼에도 불구하고 전력설비의 진단이 요구되는 이유는 간단하다. 좀 더 안전하고 예측 가능하기를 원하기 때문이다. 아무리 안전장치를 하고 절연을 강화하였다 하더라도 전기설비 환경은 미세한 변화에도 민감하게 반응하고 전기사고의 파급은 경제적으로나 인체에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 유지 보수 할 수 있는 판단능력이 요구되었다. 또한 전기에너지를 사용하는 초창기에는 정전에 대한 중요성이 매우 낮았으나 전기전자시스템 개발이 활발하게 되고 정보화 기능이 높아지면서 정전은 설비의 고장뿐만 아니라 경제학적으로도 매우 위험한 사고의 파급으로 인식되어 지고 있다. 설비진단은 진단 대상물에서 고장이 발생하기 이전에 미세한 이상신호를 검출하여 판단하는 역할을 담당한다. 앞서 언급하였듯이 과거에는 정전에 대한 중요성이 낮았으나 최근에는 정전이 곧, 경제적 손실과 연관되어 산업시설과 정보시스템을 운영하는 많은 전기설비는 무정전 상태에서 설비의 이상유무를 판단하기를 원한다. 따라서 전기안전을 위한 신호검출과 분석기술은 산업의 중요한 분야로서 발전을 거듭하고 있다. 국내 과학기술부 2005년도 자료에 의하면, 설비의 검사를 담당하는 비파괴 검사기술에 있어서 약 95%가 해

외의존도를 가지고 있다고 발표하고 있다. 국내 정보화 기술이 획기적으로 발전하였으나 실질적으로 요구되는 감지기술은 매우 낙후되어 있다. 기술의 해외의존도를 줄이고 국가 기술경쟁력을 가지기 위해서는 현장에 특화된 시스템 기술이 요구된다. 전력설비 진단에서 2012년도 NDSL 자료에 의하면, 많이 활용되는 부분방전 검출 및 분석기술에 있어서, 국내 특허기술은 약 300여건이 넘고, 설비진단에 대한 부분에서 특허는 약 30여건이 되는 것으로 확인된다. 그러나 내부 분석기술의 중심은 해외 기술에서 벗어나지 못하고 있으며, 현실적으로 해외기술과 경쟁하기 어려운 구조로 되어 있다. 국가에서 발표한 해외 과학기술동향(2012.01)에 의하면, 이미 일본은 설비 진단을 위한 국제 선진메인터넌스 기술센터를 발족하여 운영 중이며, 중국에서도 중국설비관리협회와 협력하여 상호협력관계를 유지하는 것으로 발표하였다. 2011년도 9월 과학기술 정책자료에 발췌된 내용에 의하면, 일본 문부과학성 제29회 안전안심 과학기술위원회는 중요과제 추진에 있어서 반영해야 될 항목으로 분야를 초월한 네트워크 구축, 분산형, 다종화 시스템의 유효성, 기존 기술활용, 국제연계, 인재육성, 안심문화 구축에 두고 있다. 특히 분야횡단적 이용을 통한 가치창출을 독려하고 있다. 최근 국내에서 기술개발은 많은 분야를 융합하는 기술이 IT를 중심으로 나타나고 있다. 전력설비 진단에 있어서 통신을 기반으로 하는 기술이 많아지고 있는 것이 현실이다. 해외의 사례에서 확인하였듯이 전기안전을 기반으로 하는 전력설비 진단은 하나의 기관이나 산업시설을 운용하는 업체에서 출발하기엔 매우 부족한 실정이다. 전기에너지의 안전을 위해 국가 정책적 방향이 요구된다.

변압기의 일반적인 사용은 전기에너지를 발전하여 송전 및 배전선로를 통해 부하에 사용되는 동안 그 특성에 맞도록 전압을 바꾸어 주는 역할을 한다. 일반적으로 절연유를 넣어 절연시키는 유입변압기가 사용되며, 절연을 강화시킨 건식변압기가 있다. 일부 가스변압기 등 절연을 종류에 따라 변압기가 분류되기도 한다. 최근에는 에폭시 수지를 이용하여 절연성능을 향상시킨 몰드변압기가 이용되고 있다. 몰드변압기의 장점은 유입변압기에서 발생하는 환경의 유해물질을 배출하지 않으며, 설치가 간편하고 설비사고의 위험이 적다는 장점을 가지고 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 내부 또는 외부 트러블 요인에 의해 몰드변압기가 소손되고 전기화재로 이어지는 경우가 발생하고 있다. 몰드변압기의 고장 또는 결함에 의한 전기화재 발생은 부하설비 전체를 정전사고로 이어지게 하고 건물 내에 위치하는 경우 건물이 화재로 소실되는 피해를 가중시키기도 한다. 따라서 전기재해를 줄이기 위한 목적으로의 설비진단은 설비의 상태를 확인하고 점검하는 수준에서 벗어나 산업 활동을 원활하게 하는 매우 중요한 부분을 차지하고 있다. 최근 부하설비가 대용량, 첨단화되면서 그 수요가 매우 빠르게 증가하는 추세이므로 전기에너지의 이상상태를 감시하고 적절한 조치를 취하기 위하여 정기적 또는 부정기적인 진단이 이루어져야 한다.

본 자료는 전기안전연구원에서 추진하는 국내 광기술, 진동 검출기술 등을 활용한 몰드변압기 진단 방법과 현장적용에 대해 기술하였다.

2. 전력설비 진단의 변화

몰드변압기를 설치하여 기본적으로 발생하는 신호를 분류하고 판단하는 것은 매우 중요하다. 어떤 측정항목을 선택하고 관리해야 할 것인가에 대한 정답은 없다고 본다. 다만 현재의 상태에서 최선의 측정은 무엇이며, 측정자료를 어떻게 하면, 효율적으로 관리할 것인가에 대해서는 많은 고민이 필요하다. 따라서 감지기술에 대한 정의가 우선되어야 하고, 측정개소를 일관성 있게 정의하는 것도 무엇보다 중요하다. 본 설비의 특징은 온습도 환경이나 설치된 조건 등이 옥내의 큐비클이라는 점에서 본다면, 매우 일정한 환경 조

표 1. 몰드변압기 적용 감지기술과 측정위치

감지기술	결함현상	측정대상 및 위치	트러블원인	비고
적외선	열	저전압, 접속부, 표면	부하, 재료변성, 접촉 불량	비접촉
자외선	외부방전	고전압 충전부	청소, 설계 불량	비접촉
HFCT(전류)	내부방전	중성선	절연불량, 부하	접 촉
CT(고조파)	부하 이상	저전압	부하	접 촉
진동	내부결함	고압 절연체 표면	고전압 절연체, 균열, 지반	비접촉

건을 갖추고 있다고 판단된다.

적외선은 가시광선보다 비교적 긴 파장의 광으로 열적인 부분에 대해 검출하는 장점을 가진다. 열적인 부분은 전류와 관련이 있으며, 전류에 의한 열이 발생하기 위해서는 전류가 흐를 수 있는 조건의 저항이 필요하다. 도전체의 경우에는 내부저항이 거의 0인 경우에 저항변화가 생기면, 열이 발생한다. 열이 발생하는 시점에서 다시 재료에 영향을 미치게 되고 도전재료 또는 절연재료가 영향을 받아 다시 전류가 흐를 수 있는 조건의 저항이 증가하는 증식과정을 거친다. 그러므로 적외선을 검출하는 개소는 고전압 보다 저전압에 적정하며, 측정개소에 있어서 접속부, 동대 또는 전반적인 몰드변압기의 온도 비교 등에 활용하여 판단해야 한다. 가시광선보다 비교적 극히 짧은 파장대의 자외선은 전계가 집중하거나 미소방전시 발생하는 경우가 많다. 전계가 집중되어 자외선이 발생할 수 있는 개소는 고전압 노출충전부에 한정되어 있다. 고주파 전류프로브(HFCT)를 이용하는 경우에는 고전압 절연이 나빠지면서 접지 측으로 미소전류(방전량)를 잡아내어 분석하는 것이 적정하다. 변압기에서 발생하는 고조파는 매우 중요한 진단 중의 하나이다. 고조파 자체가 변압기에 영향을 주어 진동을 유발시키고 더 나아가 파손될 가능성이 높기 때문이다. 따라서 고조파와 진동은 중요한 관계를 가지고 있으므로 동시에 측정하여 관리하는 것이 매우 중요하다. 진동의 원인은 지반에서 발생하는 외부진동과 고조파, 과부하, 철심에서 발생하는 시스템 진동, 서지에 의한 진동으로 구분할 수 있다. 진동을 구분하는 것은 향후 예방대책을 세우는데 매우 중요하다. 지반진동의 경우에는 진동을 감쇄시킬 수 있는 장치나 설비를 설치하거나 접속부의 접속단자에 대한 조임 상태를 확인해야 한다. 시스템 진동의 경우에는 더욱 복잡하다. 부하설비의 이상상태를 측정하고 분석해야 하며, 그럼에도 불구하고 발생되는 부분에 대해서는 내부 결함 유무를 확인할 필요가 있다. 설비 진단을 위한 측정시스템의 구성은 상호 연관성과 더불어 단독적인 부분에서의 고장 원인 규명에까지 깊이 있는 검토가 필요하다. 따라서 본 건에서는 크게 세 항목으로 구분하여 효과적인 운영을 제시하고자 한다.

3. 몰드변압기 열화조건과 관리방법

몰드변압기는 1980년대에 보급되어 현재에는 친환경적이고 설치와 관리의 간편성으로 수요가 빠르게 증가하고 있다. 몰드변압기가 이상이 발생하여 계통에 영향을 주는 사고동향에 있어서 과거에는 균열, 축열, 보이드에 의한 절연파괴 등 제조상의 결함이 많은 것으로 나타나 있으나 최근에는 재해방지기술이 발달되어 제조상의 결함에 관련된 사고비율은 낮아지는 반면, 지속적으로 사용되는 동안 부하의 특성에 따라 기계적 특성이 변하면서 몰드변압기의 고유진동주파수가 변하는 과정에서 내부 부하에서 발생하는 주파

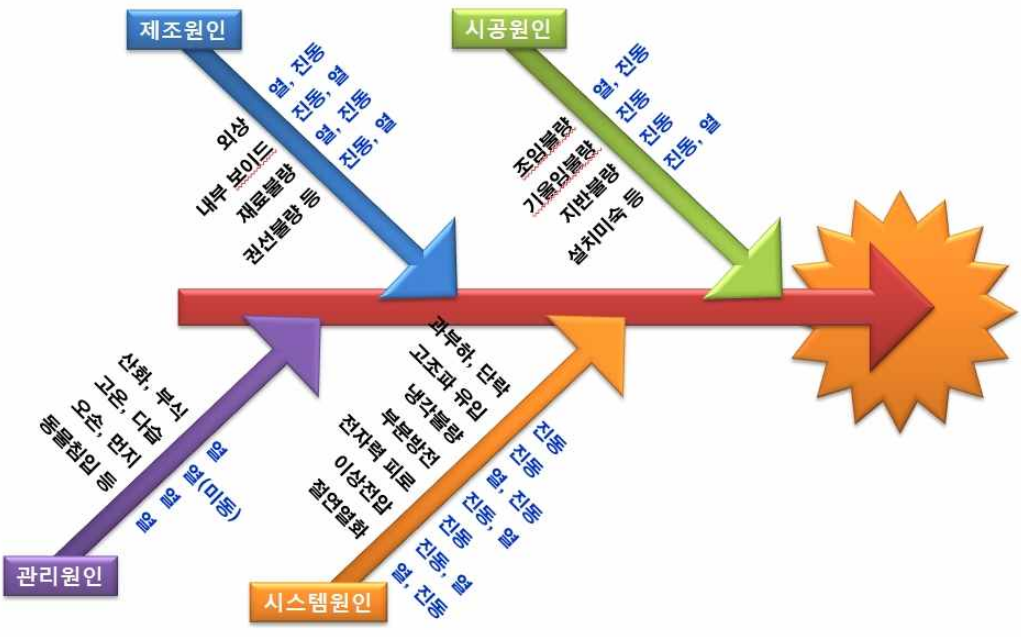

그림 1. 몰드변압기 수명단축 요인

수와 결합하여 공진을 일으켜 공진이 발생하는 것으로 추정되는 사고가 다수 나타나고 있다. 이에 대한 명확한 원인규명이 요구되므로, 변압기에 이상부하에 의한 특성전류가 변하면서 진동을 발생시키고 이 과정에서 균열 또는 열이 축적되는 과정이 진행되어 전기재해로 이어지는 일련의 사고메커니즘을 이해하여야 한다.

몰드변압기는 그 위치에 따라 다양한 사고원인을

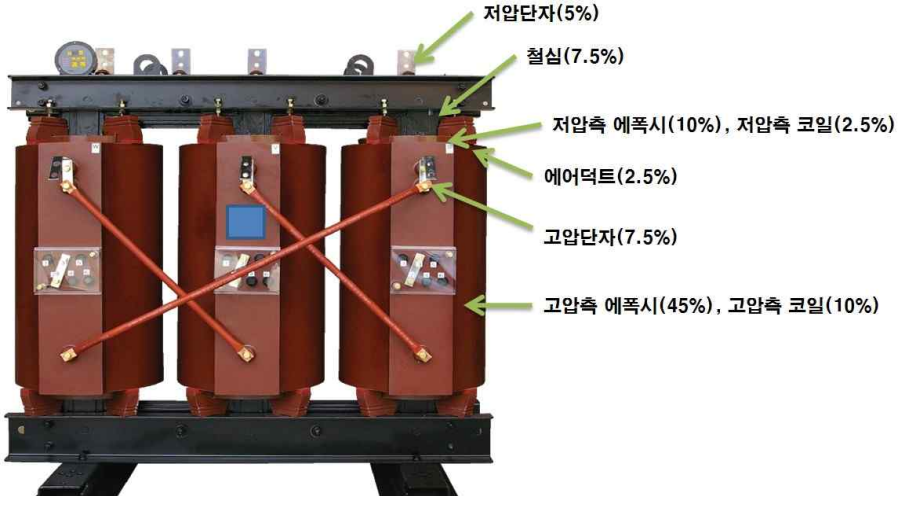

그림 2. 몰드변압기의 사고추정과 그 위치

제공하며, 이를 신속하게 검출하여 정전사고를 최소화하거나 설비사고의 파급이나 전기화재로 전이되는 것을 차단하여야 한다. 국내 몰드변압기의 사고유형에 따라 위치별 사고발생률에 대해 조사하였다.

몰드변압기의 사고발생지점 중 가장 많은 분포를 보이는 것은 고압 측 에폭시 부분과 고압 측 코일 부분인 것으로 확인되었다. 이는 고압 측의 사고분포가 전체의 약 55%에 해당하는 것으로 나타나 있다. 따라서 몰드변압기의 내부 또는 외부영향에 의해 소손되는 과정에서 초기의 전조징후로 나타나는 다양한 신호 중 진동신호를 효과적으로 검출하고 분석하여 전기화재를 미연에 방지할 수 있는 기술이 요구된다.

몰드변압기의 사고패턴을 분석하여 사고원인에 대한 역학적으로 추정을 실시한 자료에 의하면, 사고의 형태는 균열, 탄화에 의한 소손, 표면 탄화도전로 형성 등이 대다수를 차지하였으며, 부하의 형태에 있어서 가장 특징이 될 만한 부분은 고조파의 발생과 부하량에 기인한다는 것이었다. 이를 정량적으로 정의하여 관리한다면, 매우 효과적인 분석기법이 나타날 것으로 기대되며, 발열이 되는 조건으로는 내부 부하의 조건에 따른 부분과 고조파에 의한 영향이 가장 많은 것으로 조사결과 나타났다. 따라서 몰드변압기의 진단은 이러한 상관성 분석을 통해 가능할 것으로 판단된다. 몰드변압기의 사고자료 조사에서 가장 중요한 부분은 몰드변압기의 구조 특성상 고체절연체이므로 내부의 코일 또는 코아의 진동이 절연체(에폭시수지)를 통과하여 외부로 전달되기 때문에 외부의 진동 상태를 확인하는 것이 필요하다.

몰드변압기는 사고의 원인이 되는 부분이 과거에는 제조불량에 기인한 경우가 다수 발생하여 이를 근거로 하는 원인분석과 진단기술이 활발하였으나 기술이 발전하면서 몰드변압기 자체의 결함보다는 시공상의 결함 또는 안전관리상의 결함요소로 바뀌는 추세이다. 안전관리상의 결함은 주변 환경의 영향을 받으므로 인해 나타나는 나타날 수 있는 연면방전과 계통상의 영향으로 인해 나타날 수 있는 발열, 진동 등을 들 수 있다. 특히 진동은 발열이 발생하기 전에 나타나는 전조 증상이므로 이를 관리함으로써 물성적으로 안전

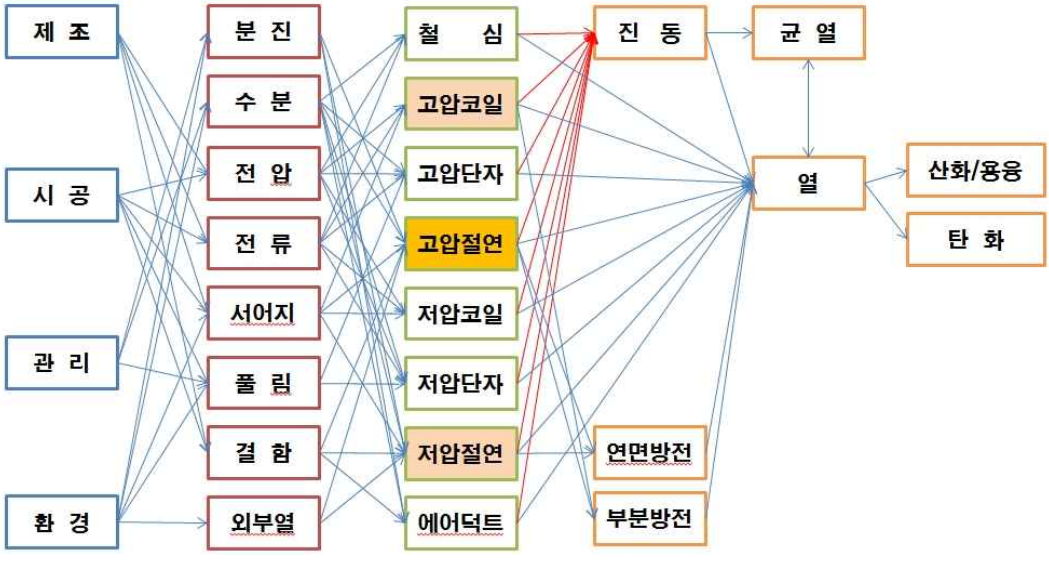

그림 3. 몰드변압기의 고장 또는 사고 진행과 분석방향

을 확보할 수 있다는 장점이 있다.

몰드변압기 사고형태는 균열, 발열에 의한 소손, 표면에서의 탄화도전로 형성에 의한 절연파괴 등이 주를 이루고 있는 것으로 나타났다. 균열이 발생하여 몰드변압기가 파손된 경우에는 내부의 결함요인이 되는 이물질, 공극 등의 제조불량과 코일이나 코아에서 발생하는 진동의 영향을 확인할 수 있으며, 진동주파수가 몰드변압기 자체에서 발생하는 고유진동 주파수와 일치하게 되면, 수배에서 수백 배의 진폭이 증가하고 이로 인해 절연체의 균열이 진행되는 경우가 있다. 발열의 경우에는 내부 진동이 절연체 또는 도전체의 분자운동을 활발하게 진행하게 하여 내부 축열이 발생하는 경우가 있으며, 열 발생에 따른 몰드변압기의 열팽창율이나 주변환경에 따라 소손되는 경우가 있다. 표면에 탄화도전로가 형성되는 경우에는 전자계적인 영향, 주변 환경의 이물질 부착에 따른 절연성능 저하 등을 고려해 볼 수 있다. 사고의 형태를 확인하여 그 원인을 추정하는 방법에 있어서 대부분의 경우에는 사고초기에 진동이 발생하는 것으로 확인되었으며, 몰드변압기의 진동특성을 분석하여 설비의 안전을 모니터링할 수 있다는 장점이 있다.

몰드변압기는 설치시공을 기준으로 하여 1년 이내에 약 11.6% 고장 또는 사고가 발생하는 것으로 확인되며, 최근에는 제품 불량이나 시공상의 결함이 적어 그 사고분포가 낮아지는 것으로 나타나고 있다. 대한전기학회의 자료에 의하면 평균 수명치는 약 31년, 일본공업협회에서의 평균 수명치는 약 25.2년인 것으로 확인된다. 다만 주변 환경, 부하의 상태와 정도 등에 따라 변압기의 수명은 매우 큰 차이가 발생한다.

몰드변압기의 관리방법은 열화조건에 따른 맞춤형 관리가 요구된다. 제조에서 발생할 수 있는 다양한 결함원인을 해소하고 시공에서 발생하는 불량과 사용중 발생할 수 있는 열화 조건을 구분하여 체계적인 계획을 수립하고 관리한다면, 매우 효과적인 관리가 될 것으로 판단된다. 제조와 시공에 관련된 부분은 초기 고장에서 대부분 발견된다고 할 수 있으나 미세한 변화에 대해서는 초기 발견이 어렵다. 다만 매년 주기적 관리를 통해 변화율에 대한 분석이 이루어진다면, 효과적으로 대응할 수 있다. 시스템적 측면에서 본다면, 제조, 시공, 환경에 의한 영향은 초기에 결정되어지는

그림 4. 몰드변압기의 수명 자료

부분이므로 설치 전부터 설치 후 약 5년간은 측정신호의 주기적 변화가 발생하고 있는 지에 대해 관찰할 필요가 있다. 부하관리의 측면을 고려하여 부하변동이 거의 없는 경우에는 부하에 의한 영향을 변압기가 받을 수 있으므로 고조파, 서어지 영향, 이상전압, 과부하 또는 단락에 대한 전력품질에 대해서 교체 직전까지 확인하고 관리하는 것이 매우 필요하다.

주기적인 점검의 관심사는 크게 열, 진동, 코로나, PD, 고조파에 관련이 있으므로 측정 자료를 분석하여 점검주기 변화를 주는 것이 바람직하다. 일반적으로는 변화율이 2년 연속 상회하거나 변화율 자체가 급한 경우에는 변압기의 상태가 측정 당시에는 정상이라 하여도 열화단계의 초기에 들어서고 있으므로 점검주기를 1년에서 6개월로 빠르게 조정하여 점검하고, 6개월의 주기로 점검하는 경우에는 3개월 또는 2개월로 하여 점검하고 검토하는 것이 필요하다.

표 2. 변압기 설치와 관리에 따른 확인방법

구분	결함원인	확인방법	비고
제조	외상	육안, 열	- 온도관리를 통한 상태점검 - 주기적인 육안점검
	내부보이드	PD, 열, 진동	- 초기 PD 측정 및 주기적 관리 - IR, 진동 측정 및 주기적 관리
	절연	열	- IR에 의한 초기 데이터 변화율 관리
	권선	진동, 열	- 왜곡 진동, 열(spot) 관리
시공	기울임	진동, 육안	- 왜곡 진동, 지반의 주기적 확인
	조임	열, 진동	- 열(spot) 변화에 대한 주기적 확인
	절연이격	코로나(PD), 열, 진동	- 코로나(defect point), 열, 진동 관리 - 주기적 측정 데이터 관리
관리	고조파	전류, 전압, 진동, 열	- 저전압 측 고조파 측정 관리 - 열측정과 비교하여 변화율 분석
	서어지	전압, 전류, 진동, 열	- 주기적 대응 어려움 - 균열에 의한 파손과 정전 가능성 높음
	과부하 · 단락	전류, 진동	- 전류 모니터링에 의한 관리 - 진동 또는 열 측정에 의한 동향 분석
	이상전압	전압, 진동	- 주기적 대응 어려움 - 균열 파손, 정전 가능성 있음
환경	지반진동	진동, 열	- 외부진동 영향에 대한 평가 - 50Hz 미만의 진동주파수 확인
	고온 · 다습	코로나(PD), 육안	- 온 · 습도 확인 및 주기적 관리 - 코로나 발생에 대한 주기적 관리
	오손 · 먼지	코로나(PD), 육안	- 주기적 육안 점검(코로나 확인) - 분진포집에 의한 주기적 분석
	동물침입	—	- 육안으로 수시 점검을 통한 관리
	산화 · 부식	열, 코로나(PD), 육안	- 열 발생의 주기적 관리 - 코로나 발생 유무 확인
	경년변화	열, 진동, 코로나	- 열 변화율에 대한 주기적 분석 - 진동변화에 대한 주기적 분석

4. 몰드변압기 판정기준

활선에서 진단을 위한 측정시스템 구성은 매우 유효한 방법으로 접근이 가능하다. 총 5개 항목의 측정시스템을 구성하여 각 판단기준에 적합하도록 조정하였다. 동일 신호라 하더라도 하드웨어, 설치환경 등에 따라 시의적절한 기준을 적용해야 한다. 진단이란 설비의 이상신호에 대해 얼마만큼의 관리방법을 적용하고 대응하느냐에 그 중요성이 있다. 주변 잡음과 비교하여 특성신호를 분류하고 단계별 조치를 취할 필요가 있다. 본 절에서는 5개 측정항목에 대한 단계별 적용기준을 정리하였다.

적외선 검출은 2개의 판정기준으로 정의할 수 있으며, 삼상비교법의 경우에는 최고온도가 60℃ 이하에서 부정확하다는 결과가 있으므로 이를 적용해야 한다. 최고온도법이나 삼상비교법에서는 각각의 판단되는 특징이 존재한다. 최고온도법에서도 전반적인 온도의 상승인지 국부적인 열의 발생인지 여부를 판단하는 것이 중요하며, 삼상비교법에서는 부하 또는 선로상의 문제가 있을 수 있으므로 이에 대한 판단이 중요하다. 동일한 적외선 검출이나 판정기준이나 적용방법에 따라 원인은 달라질 수 있다. 적외선 검출은 고전압 측과 저전압 측에 동일하게 적용이 가능하다.

자외선 검출은 고전압 측의 노출 충전부를 중심으로 하는 진단기법을 적용할 수 있다. 이미 정량화된 위험율의 적용이 요구된다. 일반적으로 22.9kV에서 적용되는 위험률 보다는 낮은 상태에서 발생하더라도 위험요소가 크므로 이를 반영하였다. 판정기준은 크게 두 가지로 정의된다. 그 중 하나는 자외선 발생 위

표 3. 적외선 검출에 의한 판정기준과 조치

구분	판정기준, ℃		조치	비고
최고온도법	정 상	Tmax<80	- 상태관리 적정 - 일상적인 관리유지	
	요주의	80≤Tmax<130	- 과부하 : 부하개선 - 중저부하 : 내부이상 파악 - 타 신호검출에 의한 판단 - 접속부 확인(spot이냐 아니냐 판단) - 개선시 까지 일일점검	
	개 선	130≤Tmax	- 즉시 개선 수행 - 정전계획 수립 - 설비의 전반적인 위험수준	
삼상비교법	정 상	Tdiff<5	- 상태관리 적정 - 부하설비 적정 분배 - 일상적인 관리유지	※ Tmax 값이 60℃를 이하인 경우에는, 판정하지 않음(정상)
	요주의	5≤Tdiff<10	- 부하율 확인 - 주변 환경 주기적 확인 - 정상이 될 때까지 점검주기 단축	
	개 선	10≤Tdiff	- 개선 필요 - 부하불평형 : 부하분배에 대한 검토 - 변압기 내부 : 타 신호 검출 확인 - 설비의 전반적인 위험수준 - 원인 검토 후 정전 계획 수립	

표 4. 자외선 검출에 의한 판정기준과 조치

구분	판정기준, %		조치	비고
자외선 발생 위험률, %	정상	UV<5	- 일상적 관리 - 발생위치 확인 및 개선	
	점검	5≤UV<10	- 점검주기 단축 - 발생원인 추적 - 자외선 이미지 변화 검토 - 발생부위 개선 계획	
	검사	10≤UV<15	- 구체적인 개선계획 - 정전계획 및 정밀검사 - 전계집중 원인 해소 - 오염, 이물 제거	
	개선	15≤UV	- 설비의 전반적 위험수준 - 즉시 정전 후 개선 수행	
자외선 형태법	정상	없음	- 일상적 관리	
	초기	amoeba	- 표면 이물 발생 수준 - 청소 또는 이물 제거 수행 - 절연성능 유지 - 점검주기 단축	
	열화	jellyfish	- 절연성능 변화 - 구체적 방전로 구성 - 즉시 개선 수행	
	개선	sunflower	- 절연파괴 임박 - 재료변성(표면 탄화) - 즉시 개선 수행	

험률에 대한 수치에 의한 판단이며, 나머지 하나는 자외선 이미지 형태를 판단하는 방법이다. 자외선 이미지 형태의 판단은 이미 많은 연구를 통해 정립되었다. 자외선 발생 위험률과 자외선 이미지 판단법은 각각 총 4단계로 구분하였으며, 각 단계별 조치사항을 정리하였다.

부분방전 검출은 최대 방전량에 의한 판단과 방전패턴을 보고 판단하는 방법을 적용하였다. 하드웨어 시스템에 따라 적용되는 기준이 달라질 수 있으며, 설치 시스템 환경에 따라 노이즈에 의한 영향을 제거하고 판단할 필요가 있다. 최대 방전량은 총 4단계의 기준을 적용하였다. 측정주파수 범위는 10MHz 대역에서 샘플링한 데이터를 중심으로 정의하였다. 외부 방전의 경우에는 환경적 영향이 매우 크므로 굳이 중요성을 놓고 판단하였을 때, 내부 방전보다는 중요성이 낮은 것이 사실이다. 최대 방전량이 500pC 이하에서 방전패턴이 보인다면, 관찰 수준으로 하여 판단하는 것이 요구된다. 관찰수준은 현재 설비에 미치는 영향의 정도가 미약하므로 노이즈와 구분되는 시점의 방전량 증가를 통해 확인이 가능하기 때문에 지속적인 관찰시점으로 확인하는 것이 적정하다고 판단된다.

고조파 전류는 부하율에 의해 크게 좌우된다. 부하율이 낮은 경우에 고조파 전류에 의한 영향은 크지 않을 것으로 판단되며, 부하율이 높을 수록 고조파 전류에 의한 영향은 커지게 된다. 따라서 각 차수에 대한 고조파 전류를 판단하는 것은 매우 중요하며, 더불어

표 5. 부분방전 검출에 의한 판정기준과 조치

구분	판정기준		조치	비고
최대 방전량, pC	정상	Q<1,000	- 일상적 관리 - 노이즈 원인 검토	
	점검	1,000≤Q<2,000	- 패턴 없음(주변 환경) - 패턴 확인(내부 또는 외부방전 분석) - 점검주기 단축 - 변화추이 분석	
	검사	2,000≤Q<3,000	- 시스템, 환경 검토를 통한 원인추적 - 정밀검사를 위한 방안 - 원인해소를 위한 수행	
	개선	3,000≤Q	- 구체적 원인 파악과 개선 - 설비의 전반적 위험수준	
방전패턴	정상	없 음	- 일상적 관리	
	점검	외부방전	- 기중, 표면의 영향 검토 - 부하설비 특성 검토 - 개선방안 마련 - 점검주기 단축	※ 방전량 500pC 이하는 관찰
	개선	내부방전	- 패턴 변화추이 검토 - 원인추적을 통한 구체적 방안 제시 - 방전량에 따른 정전계획 수립	

표 6. 고조파 전류 검출에 의한 판정기준과 조치

구분	판정기준		조치	비고
고조파전류, %	정상	PQ<5	- 일상적 관리	일반 고조파 허용치 이내
	양호	5≤PQ<15	- 각 차수 고조파에 대한 검토	주택의 고조파 전류 허용치
	관심	15≤PQ<30	- 진동, 열 측정(기준치 비교) - 열화가속 확인	
	검토	30≤PQ<45	- 점검주기 단축 - 고조파 발생원인 추적 - 고조파 변화율 분석	
	검사	45≤PQ<60	- 부하개선 계획수립(부하분담) - 고조파 영향 정밀분석(진동, 열 변화추이)	공장의 고조파 전류 허용치
	개선	60≤PQ	- 적극적 개선 수행 - 설비의 전반적 위험수준	

기본 전류에 대한 총 고조파 전류에 대한 판단이 필요하다. 고조파의 영향에 대해 총 6단계로 구분하여 판단하는 것은 고조파의 영향이 전반적인 시스템 열화에 영향을 미칠 수 있기 때문에 좀 더 관리 기준을 세분화하는게 필요하다. 고조파 전류는 에너지에 관한 부분으로 부하설비에 의한 영향을 변압기가 부담하는 의미가 있다.

몰드변압기의 진동을 분류하면, 지반진동과 같이

표 7. 진동 심각도 평가에 의한 판정기준과 조치

구분	평가기준		조치	비고
심각도, %	정상	0	- 사용하지 않음	[심각도 분류] - 전원품질 : 공진, 지속적 피로 등 - 설치환경 : 접속, 지반, 변압기 외 관변이 등 - 부하영향 : 고조차, 줄열 열화촉진 - 노출환경 : 분진, 수분 등
	인지	0<S≤20	- 일상적 관리 - 발생원인 검토(전원, 시공, 부하)	
	관심	20<S≤30	- 발생원인 심각도 우선 개선 - 진동 변화율 추적	
	검토	30<S≤40	- 점검주기 단축 - 심각도 우선순위에 따른 개선	
	검사	40<S≤50	- 정밀검사를 위한 방안 마련 - 타 신호검출 비교분석(열 추적)	
	개선	50<S	- 설비의 전반적 위험수준	

50Hz 미만에서 발생하는 진동과 자왜현상에 의해 60Hz 또는 120Hz를 중심으로 하여 주기적으로 발생하는 진동, 진동주파수 주변에서 발생하는 side band, 고주파수에 의한 영향, 고유진동 주파수와의 공진 가능성 등을 종합적으로 검토하여야 한다. 따라서 분리 가능한 부분에서 전원 측에서 발생할 수 있는 진동의 심각도, 설치환경에서 발생할 수 있는 진동의 심각도, 부하영향으로 발생할 수 있는 진동의 심각도 등을 종합적으로 평가하여 각 심각도에 따른 판정기준과 조치사항을 정리하였다. 초기 진동 데이터의 평균치에 대한 사후 관리가 매우 중요하므로 데이터 취득시점에서 주기적으로 측정하여 관리하는 것이 필요하다.

5. 결 론

몰드변압기는 고체 절연체로 이루어져 있으며, 유지보수가 거의 필요 없는 것으로 알려져 있다. 유입변압기에 비해 절연유 관리에 대한 주기적 점검이나 교체가 필요없는 설비 중의 하나로 여겨져 왔다. 그러나 초창기 제조불량에 의한 고장으로 사고가 다수 발생하는 경향을 보였다. 또한 부하의 조건에 따라 펄스 형태의 전류가 발생하게 되면, 고체 절연체인 에폭시에 물리적 영향을 미치는게 현실이다. 따라서 주기적인 점검을 통해 관리하는 것이 바람직하다. 무정전 상태에서 몰드변압기를 진단하는 방법은 많지 않으나 이를 잘 활용하고 주기적으로 검출된 신호를 분석한다면, 안전하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 본 자료에서는 부분방전 검출, 고조파, 진동, 적외선과 자외선에 대한 장비를 이용하여 검출하고 판단하는 기준을 설정한 자료이다. 고전압 설비에서 발생할 수 있는 전압에 의한 영향과 전류에 의한 영향을 충분히 고려하여 적절하게 판단기준을 적용하는 것이 바람직하며, 측정된 자료는 이력관리를 통해 향후 변압기의 교체시기 또는 정밀점검 시기를 파악하는 것이 필요하다.

◇ 저 자 소 개 ◇

송길목(宋佶穆)

1967년 3월 31일생. 1994년 2월 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 2003년 8월 동대학원 전기전자재료 및 대전력 졸업(석사). 2007년 8월 동대학원 졸업(박사). 1996년 3월~현재 KESCO-ESRI DTR team 책임연구원.

관심분야 : 전기설비진단, 시스템 개발, 전기안전 컨설팅

Tel : (031)580-3061

E-mail : natasder@naver.com,
natasder@kesco.or.kr