



배전용 지능형변압기 기술개발 동향



김 주 용
한전 전력연구원 선임연구원

1. 개 황

변압기는 배전선로 최말단에서 수용가와 연계되어 전력을 공급하는 배전설비이다. 변압기의 고장은 정전과 직결되므로 운전 상태를 모니터링하여 고장을 방지하기

위한 연구가 활발하다. 이와 같이 열화진단센서를 변압기에 설치하고 상위 운영시스템에서 실시간으로 상태를 모니터링 할 수 있도록 한 것이 지능형변압기이다.

기존의 변압기는 저가이면서도 동시에 신뢰도와 효율이 높은 장점이 있지만, 부하 시 전압강하 및 플리커(flicker)를

저감할 수 없고 고조파에 민감하다. 또한 DC 오프셋 (offset) 부하 불평형 하에서 성능발휘가 제한되고, 단상을 3상으로 변환시킬 수 없는 단점을 가진다.

그러므로 기존의 변압기가 설치된 배전선로에서 고품질 전력을 사용하기 위해서는 변압기 출력단이나 수용가 인입부에 정류기, 저장장치 및 고조파 필터 등을 별도로 설치해야 한다.

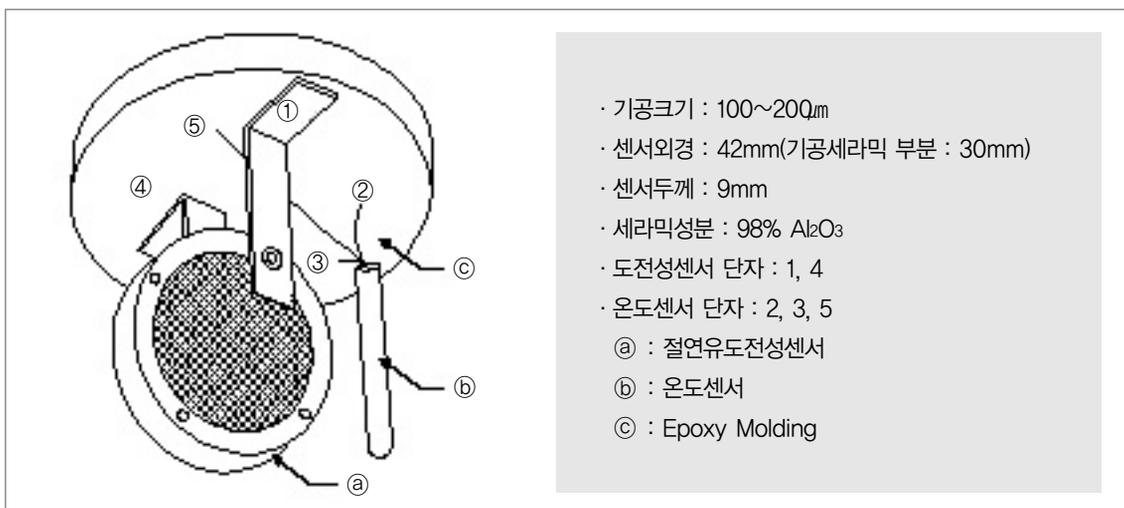
지능형 변압기의 다른 한 종류인 전력용 반도체 응용 변압기는 기존의 변압기와 수용가 측의 전력품질 보상 장치를 통합한 개념의 설비이다. 농촌지역의 소규모 상업용 및 산업용 수용가에 전력용 반도체 응용변압기를 활용하면 단상선로에서 3상 전력 공급 서비스가 가능하고 직류 사용 수용가에 직접 직류전원을 공급할 수 있다. 21세기 디지털 경제에서는 신뢰도 높은 전력 공급을 요구하고 있고, 특히 인터넷 및 통신장비 등에는 그 요구 사항이 더욱 높아지고 있다. 일반 가정용 전기제품들도 내부적으로 직류를 사용하는 기기들이 늘어날 전망임에 따라 이러한 기기 및 장비들에 직류를 공급하거나, AC와 DC를 동시에 공급하는 설비가 요구될 것으로 예상된다. 하지만 아직까지 배전용 변압기를 대체할 고압 전력용

반도체와 제어기술이 확립되지 않은 상태여서 상용화까지는 더 많은 기술개발이 필요한 상황이다.

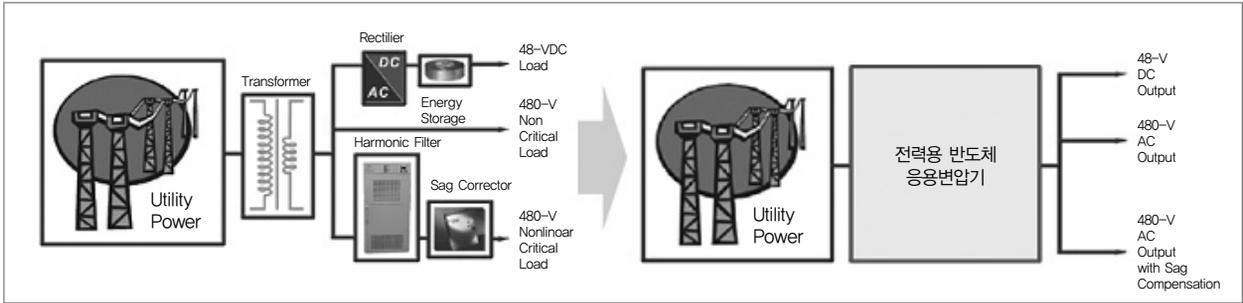
2. 동향

국내에서는 전력 IT 연구를 통해 부하계측과 변압기 이상 진단, 고장판정, 누전감시 기능 등이 가능한 지능형 변압기를 개발하였다. 이 변압기는 절연유 도전성 측정 센서와 수소가스 감지 센서를 내장하고 있어 변압기 내부의 절연유 상태를 실시간으로 감시할 수 있다.

그리고 변압기 2차 측 중성선에 흐르는 누설전류를 CT로 검출하고, 전기품질 측정부(PQM)에서 고조파 전류, 불평형 전류 등 누설전류를 연산하여 누전을 판단할 수 있다. 또 선간전압 중 A-B, B-C, A-C 중 1개소 선간 전압이 2개소 선간 전압 대비 75% 이하면 1선 단선이 발생하였음을 감지하도록 설계되어 있다. 또한 이상 징후가 감지되면 배전운영시스템으로 이벤트를 전송하여 고장 이전에 조치를 취하거나 고장의 파급을 방지하게 된다.



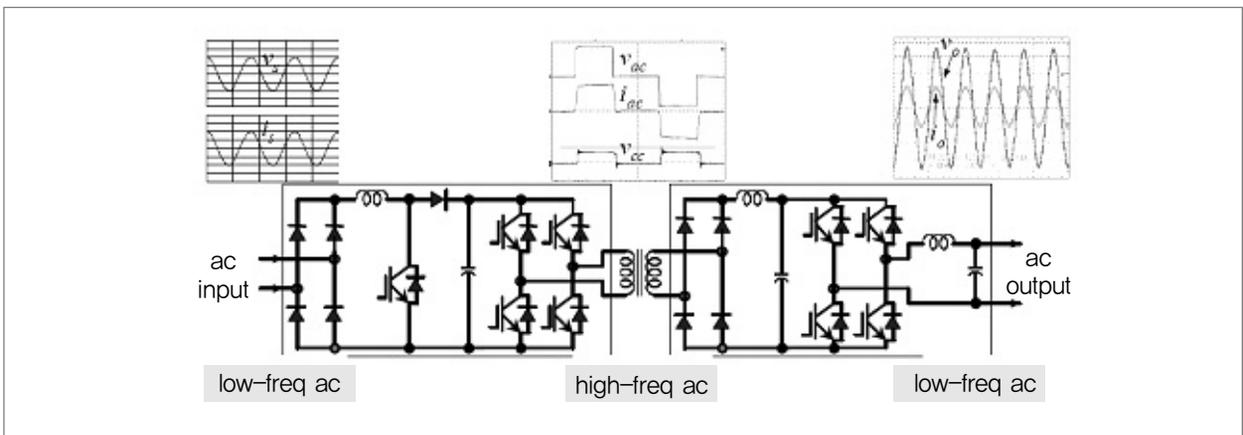
[그림 1] 변압기 절연유 도전성 센서



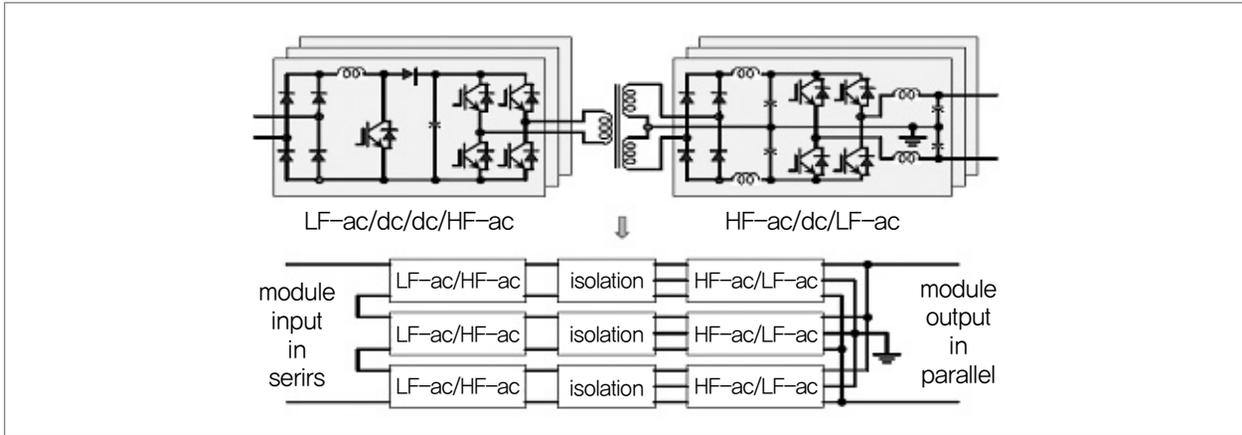
[그림 2] 전력용 반도체 응용변압기 개념도

변압기를 지능화하여 상태를 감시하고 고장이나 전력 품질 저하요인을 관리하더라도 고품질 전력을 사용하고자 하는 수용가의 요구 대응에는 한계가 있다. 따라서 무정전 고품질 전력을 사용하기 위해서는 변압기 출력단에 각종 전력품질 보상장치나 저장장치 등이 연계되어야 한다. 전력용 반도체 응용변압기(Solid-state Transformer)는 이러한 요구에 효과적으로 대응할 수 있는 기기이다. 전력용 반도체 응용변압기는 고품질 전력수요와 DC배전 뿐만 아니라 신재생에너지원, 전기자동차와의 연계운전이 가능하여, MIT 10대 미래 유망기술로 선정되는 등 향후 기술개발이 활발하게 이루어질 전망이다. 전력용 반도체 응용변압기는 그림 2와 같이 기존 변압기에 각종 전력 품질 보상장치를 추가한 것과 동일한 성능을 가지면서 변압기 절연유에 의한 환경문제를 유발하지 않는 장점이

있다. 전력용 반도체 응용변압기의 초기연구는 1980년에 전력전자기반의 승압 및 강압 변압기 시스템을 제안하면서 시작됐다. 비슷한 시기에 미국 해군 연구원에 의해서 제안된 AC/AC buck Converter는 원하는 전압정격을 얻기 위해 N개의 반도체 소자를 직렬로 연결하고 높은 주파수로 전환하여 전압을 제어하는 방법을 적용하였다. 이러한 초기 디자인은 스위치의 스트레스가 심하며 자기적으로 분리되지 않는다. 또한 부하 역률 개선이 불가능하며 부하의 고조파가 계통으로 전파되는 것을 막을 수 없는 단점이 있다. 대안으로 그림 3과 같은 Multi-stage, Multi-module 설계안이 제안되고 DC-DC 변환방법을 사용하는 고주파 링크 결합방안이 적용되었다.



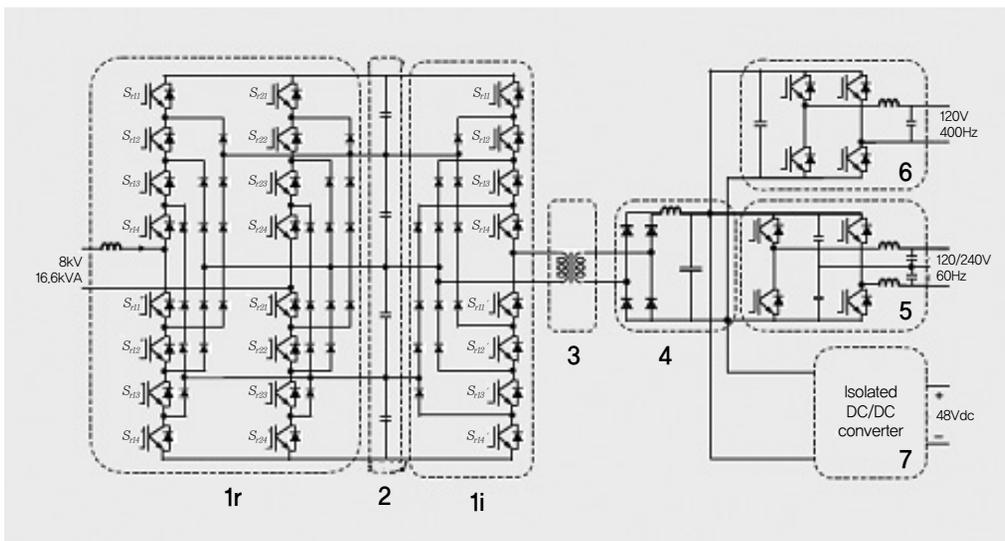
[그림 3] 고주파 AC 변압기를 이용한 전력변환기(ABB)



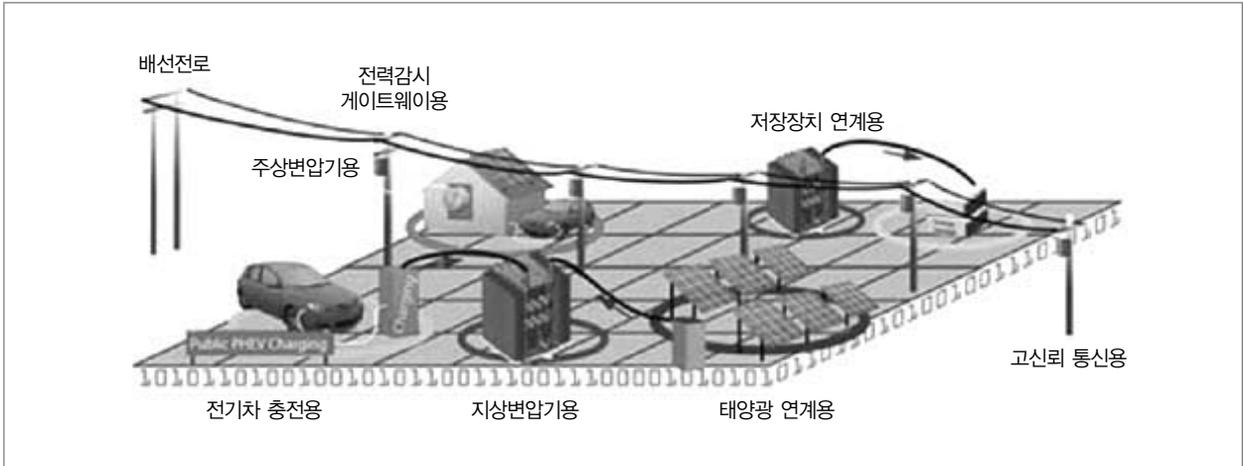
[그림 4] 직렬연결 입력 및 병렬연결 출력 구성도(ABB)

그림 4는 그림 3을 빌딩 블록으로 전력전자 변압기를 구성하는 방식을 보여준다. 입력은 직렬로 연결하고 출력은 병렬로 연결하여 구성한다. 그리고 저 전압 반도체 소자를 적층하고 배전급 고전압 입력을 감당하도록 하여, 일반 고객들이 사용할 수 있는 저전압 출력전압을 만들기 위한 설계이다. 이때 출력을 부하와 직접 연계하여 사용하기 위해서는 반도체 소자의 전압분담을 일정하게 제어해야 한다.

ABB에서는 실험실 시제품으로 10kVA, 7.2kV-to-240/120V 전력전자식 배전변압기를 구현한 바 있으며, 최근에는 직렬로 연결된 소자나 컨버터 스택에 대한 전압 분배 문제를 극복하기 위해 멀티레벨 컨버터(Multi-level Converter) 회로 토폴로지가 연구되고 있다. 멀티레벨 컨버터 기술은 HV-IGBT를 사용하여 배전급 전압 레벨에 직접 연결할 수 있도록 한다. 그림 5는 EPRI에서 제안한 고압 멀티레벨 컨버터 기반 지능형 다기능 변압기(IUT : Intelligent Universal Transformer)의 구성도



[그림 5] EPRI의 IUT 구성도



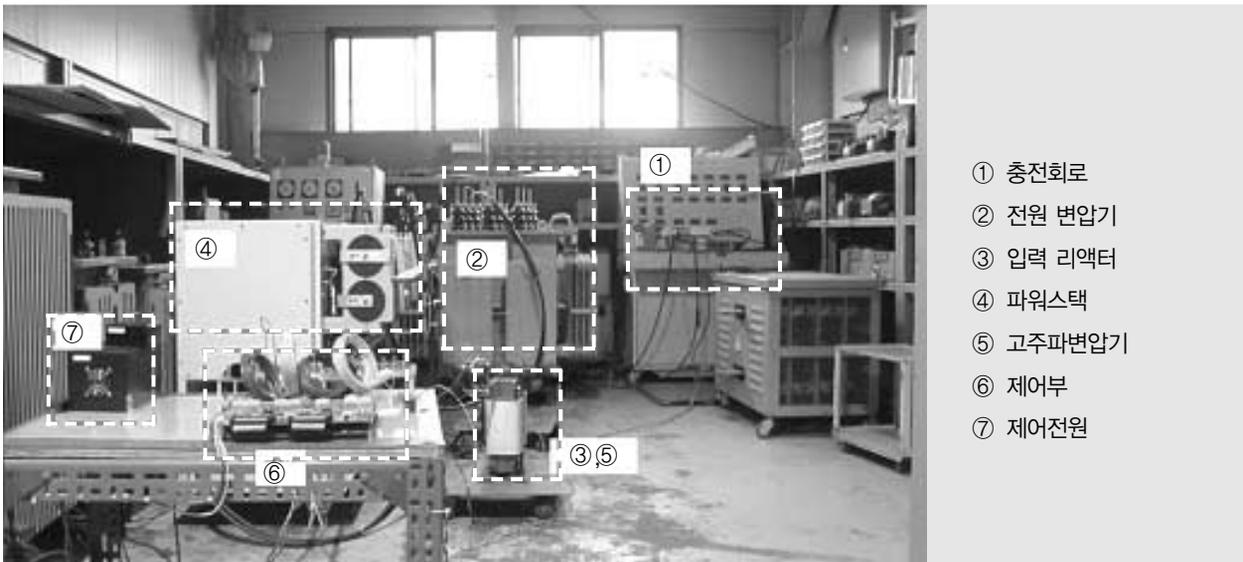
[그림 6] 반도체 응용변압기 적용 개념도(EPRI)

이다. 입력단에서는 다이오드 클램프형 멀티레벨 컨버터를 사용하여 AC/DC-DC/AC로 변환하고, 그 사이에 커패시터 DC 버스를 구성한다.

그리고 고주파 변압기를 사용하고 정류회로와 필터를 거쳐 DC, 저압 AC 및 고주파 AC 출력을 생성하는 구조로 되어 있다. 이러한 구조의 IUT로 DC 서비스, 고주파 AC 서비스 등의 새로운 서비스를 제공할 수 있을 뿐만 아니라

그림 6과 같이 다양한 고객의 전기품질 및 요구사항을 충족하는 서비스를 제공할 수 있다.

국내에서도 전력연구원과 산일전기가 공동으로 입력 전압 6.6kV인 30kVA 전력용 반도체 응용변압기를 개발 중에 있다. 현재 그림 7과 같이 입력전압 3.3kV, 10kVA 시제품을 제작하고 성능시험을 완료하였으며, 30kVA 시제품 제작을 위한 회로설계를 마친 상태이다.



[그림 7] 3.3kV, 10kVA 전력용 반도체 응용변압기 시제품

3. 전망

스마트그리드 관련 솔루션의 대부분이 배전망과 연계됨에 따라 최종적으로 수용가와 연결되는 배전용 변압기의 역할은 더욱 중요시되고 있다. 이에 따라 배전선로의 고품질 전력공급을 위해 기존 변압기에 열화진단센서 등을 설치하여 기기 및 선로의 상태감시가 가능한 지능형 변압기의 사용이 증가될 것으로 예상된다.

전력용 반도체를 이용하여 기존 변압기를 대체하기 위한 연구는 전력용 반도체 소자기술의 발달과 이를 제어하기 위한 기법이 개발될 경우 상용화가 급속히 진행되고 배전망 운영에 획기적인 변화를 가져올 것으로 기대된다. 특히 직류출력 신재생에너지원과 부하를 직접 연계하는 직류 배전이 활성화되고 전기자동차, 태양광

등과 배전망 연계가 확대될 경우 전력용 반도체 응용 변압기의 수요는 더욱 증가할 것으로 예상된다.

하지만 현재까지 국제적으로 배전전압을 직접 수전할 수 있는 제품은 개발되지 못하고 있다. 궁극적으로 이 문제를 해결하기 위해서는 고전압 대용량의 전력용 반도체 소자가 개발되거나 다수의 전력용 반도체 소자를 직병렬로 연결하여 고전압 대용량의 전력을 균일하게 제어할 수 있는 토폴로지와 제어기법이 개발되어야 한다. 국내의 경우 대부분의 전력용 반도체 소자를 해외 수입에 의존하고 있어 향후 시장 확대 시 경쟁력을 확보하기 위해서는 반도체 소자 제어기술을 확보할 필요가 있다. 문헌상으로는 다양한 토폴로지와 제어기법들이 소개되고 있으나 실용화할 수 있는 제어기술이 제한되므로 기술 개발 등의 적극적인 활동이 필요하다. KEA

[참고문헌]

-
- [1] INTELLIGENT UNIVERSAL TRANSFORMER DESIGN AND APPLICATIONS, CIRED 2009
 - [2] Feasibility Assessment for Intelligent Universal Transformer, EPRI, 2002
 - [3] An Average Model of Solid State Transformer for Dynamic System Simulation, IEEE 2009
 - [4] Development of a New Multilevel Converter-Based Intelligent Universal Transformer: Design Analysis, EPRI, 2004
 - [5] EPRI Intelligent Universal Transformer Risk Appraisal and Project Plans, EPRI, 2006