

고온초전도변압기의 개발 현황 및 전망 Present status and prospects of the HTS transformer

차귀수

순천향대학교 공과대학 정보기술공학부

Guesoo Cha

Soonchunhyang University, Asan, Korea

Received 1 August 2000

Abstract

초전도변압기는 효율이 높고 무게가 가벼울 뿐 아니라 부피도 적은 등의 장점을 갖고 있을 뿐만 아니라 가까운 장래에 실현될 것으로 예상되는 전초전도전력시스템을 구성하는 핵심적인 전력기기이다. 이에 따라 외국에서는 상업화가 가능한 초전도변압기를 개발하기 위해서 연구개발이 진행되고 있다. 국내에서도 초전도변압기를 개발하여야 할 시기가 도래했다.

Keywords: 초전도변압기, 전력기기, 개발목표

I. 서론

외부자장이 인가되어도 임계전류 감소가 적은 고성능 고온초전도선재가 개발된 이래로 초전도변압기, 초전도전류제한기, 초전도전동기, 초전도케이블 등의 고온초전도 전력기기에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

초전도 분야의 전문가들은 고온 초전도 전력기기가 늦어도 21세기 초에는 실용화될 것으로 예상하고 있으며, 이 중에서 가장 먼저 실용화가 가능하고 수요가 제일 많은 전력기기의 하나로 고온초전도변압기를 꼽고 있다. 초전도변압기는 효율이 높고 무게가 가벼울 뿐 아니라 부피도 적은 등의 장점을 갖고 있을 뿐만 아니라 가까운 장래에 실현될 것으로 예상되는 전초전도전력시스템을 구성하는 핵심적인 전력기기이다.

미국의 에너지성 등의 전망에 의하면 고온

초전도변압기는 5년 정도면 실용화가 될 것으로 예상되고 있으므로 외국에서는 전력기기 제작회사와 초전도선재 제작회사가 공동으로 개발에 참여하고 있다.

II. 고온초전도변압기의 장점

변압기는 교류전압의 크기를 바꾸는 장치로서 전력을 보내고 받을 때에 필수적으로 사용되는 전력기기이다. 변압기의 기본 구조는 권선과 철심으로 구성되어 있다. 초전도변압기의 기본 구조도 일반 변압기와 크게 차이가 없으나 일반변압기에서는 사용하는 구리로 제작된 권선을 대신해서 초전도선으로 제작된 권선을 사용한다.

변압기의 철심은 상온에 두고 1차, 2차 권선만 냉각시켜야 하므로 이를 위해서 가운데가 빈 저온용기에 권선을 설치하고 철심은 저온용기의 중심으로 통과시킨다.

그림 1은 일반적인 고온초전도변압기의 구조로서 상온부에 위치한 철심의 주위에 극저

온 용기가 설치되어 있고 그 안에 초전도 권선이 배치되어 있다.

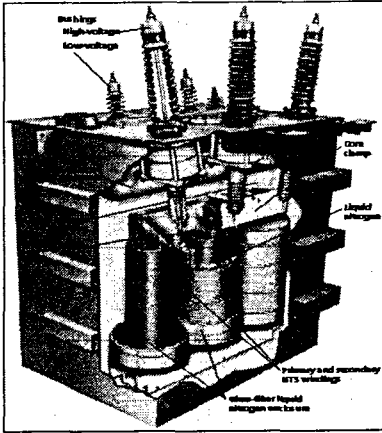


그림 1. 고온초전도변압기의 구조

이러한 고온초전도변압기가 갖는 장점을 살펴보면 다음과 같다.

1) 효율상승

초전도체에는 저항이 없으므로 전류가 흐를 때 발생하는 주울 열 손실, 즉 동손이 없어 초전도 변압기는 일반 변압기보다 효율이 높다. 철심에서 발생하는 철손, 극저온상태를 유지하는 데에 필요한 손실 등을 종합적으로 고려했을 때에 용량이 100MVA 인 변압기의 경우에 초전도변압기의 손실은 일반 변압기의 30% 수준이다.

2) 무게 및 부피 감소

변압기는 다량의 철심을 사용하기 때문에 무게가 대단히 무거워서 대용량 변압기의 경우에 운송에 어려움을 겪는다. 100MVA 급 일반 변압기의 경우에 무게가 130T에 달하고 고속전철용 변전소에 설치할 목적으로 국내에서 제작된 120MVA 일반변압기의 경우에는 190T이었다. 변압기를 대형 빌딩의 지하변전소에 설치한 경우 특히 지하변전소에 설치된 변압기를 교체할 경우에 변압기의 부피가 문제가 된다.

그림 2는 일반변압기와 냉동기를 사용한 고온초전도변압기 및 액체질소를 사용한 고온초전도변압기의 크기와 무게를 비교한 것이다.

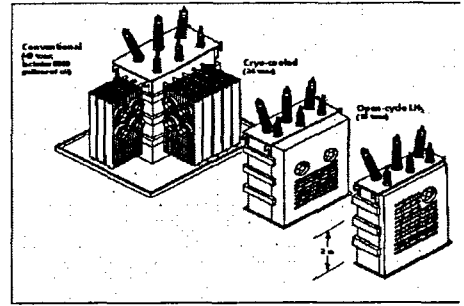


그림 2. 30MVA 일반 변압기와 고온초전도변압기의 비교

3) 과부하 운전 가능

변압기를 과부하운전하면 절연물의 열화로 인해 수명이 급격히 감소한다. 초전도변압기의 경우는 과부하 운전을 해도 절연물의 열화가 없기 때문 수명감소가 없다.

4) 안전하고 환경친화적

일반 변압기에서는 권선의 냉각과 절연을 위해 절연유를 사용한다. 30MVA 급 변압기에 사용되는 절연유는 대략 23,000 리터나 되며 이 절연유는 환경을 오염시키고 변압기 과열 시에 화재나 폭발의 원인이 된다. 고온 초전도 변압기는 냉각이나 절연을 위해서 절연유를 전혀 사용하지 않으므로 안전하고 환경오염의 위험이 없다.

III. 국내·외 관련기술 현황 및 수준

외국에서는 교류손실이 적은 고온초전도선재가 ASC, Sumitomo 등에 의해 개발된 이래로 고온초전도변압기에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있다.

1996년에 세계최초로 일본의 Kyushu 대학에서 Fuji 전기, Sumitomo사와 공동으로 500kVA의 고온초전도변압기를 개발한 이래로 대용량화를 위한 연구개발이 계속되고 있다. 이 변압기에는 고온 초전도 선재로 BSCCO-2223 테이프를 사용하였고 1차 전압은 6.6kV, 2차 전압은 3.3kV이었다. 그림 3은 Kyushu 대학에서 개발한 500kVA 단상 고온 초전도변압기로서 액체 질소 온도인 77K와 66K의 두가지 온도에서 제작된 변압기의 특성을 시험한

결과로 77K에서는 503kVA 용량에 99.1%의 효율을 얻었고, 66K에서는 99.3%의 효율에 800kVA의 최대 용량을 얻었다.

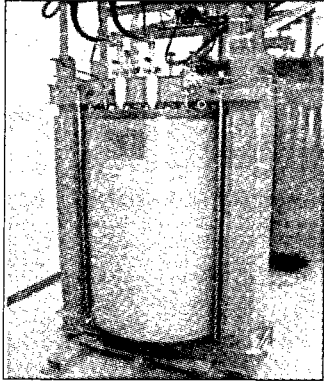


그림 3. Kyushu 대학에서 개발한 단상 500kVA 고온 초전도변압기

다음 해인 1997년에는 ABB(Asea Brown Boveri)사와 ASC(American Superconductor Corp.), Electricite de France, Services Industriels de Geneve, Ecole Polytechnique de Lausanne 등의 공동 연구로 개발한 630 kVA 3상 고온초전도변압기를 제네바시에 연결되는 전력 계통에 연결해서 6개월간의 실부하 시험을 수행했다. 그림 3은 ABB사에서 개발한 3상 고온초전도변압기로서 고온 초전도 선재로는 BSCCO-2223를 사용했으며 액체 질소로 냉각하였고 1차 전압은 18.7 kV, 2차 전압은 420V이다.

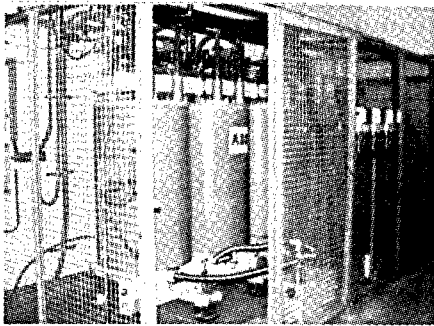


그림 4. ABB사에서 제작한 3상 630kVA 고온초전도변압기

미국에서는 Waukesha Electric Systems의 주도로 Intermagnetics General Corp., Rochester Gas & Electric Corp., Rensselaer Polytechnic Institute, Oak Ridge National Laboratory 등이 참여하여 1998년에 단상 1MVA 고온초전도변압기를 개발했다. 선재로는 BSCCO-2212를 사용했으며 냉동기를 사용해서 냉각을 시켰고 정격전압은 1차 13.8kV, 2차 6.9kV이다. 이 변압기는 20 ~ 35K의 온도에서 동작하고 30MVA 일반 변압기와 특성을 비교하기 위해 정격 전류의 최대 12배 크기의 사고 전류에도 견딜 수 있도록 설계되었다. 현재 Waukesha에서는 5MVA의 초전도 변압기를 제작하고 있는 중이다. 표 1은 미국 Waukesha Electric Systems에서 개발한 1MVA 단상 고온 초전도 변압기의 주요 사양이다.

표 1. 단상 1MVA 고온초전도변압기의 사양

전압, 전류	13.8/6.9kV
무게	590kg
진공용기 부피	3.8 × 2.8 × 2.1m ³
진공용기 무게	8774kg
액체질소 용기	300 리터
액체질소 무게	364kg
냉동기 정격	30W at 25K
철심 무게	8,000kg

630kVA 고온초전도변압기를 개발한 경험이 있는 ABB에서는 EDF, ASC와 공동으로 용량이 10MVA인 고온초전도변압기를 개발하고 있는 중이다. 2000년에 완성할 예정으로 개발 기간은 3년이고 총 개발비는 1500만불에 달한다. ABB 등에서는 10MVA 개발이 끝나면 사용화가 가능한 30MVA 고온초전도변압기를 예정할 예정이다. 한편 전력용 초전도변압기 개발과는 별도로 고속전철용 초전도변압기가 독일에서 개발되고 있는 중이다.

국내에서는 아직 기업이 참여하는 본격적인 고온초전도변압기 개발을 이루어지지 않고 있다. 현재 기초전력공학공동연구소에서 고온초전도변압기의 기본 특성을 확인하기 위해서 용량이 10kVA이고 전압이 440/220V인 고온초전도변압기를 개발하고 있는 중이다.

IV. 고온초전도변압기의 핵심 기술 및 개발 단계

고온초전도변압기의 전체적인 구조는 일반 변압기와 유사하지만 고온초전도변압기에는 일반 변압기에서 사용되는 동도체와는 특성이 다르고 동작온도가 다른 고온초전도선이 사용되기 때문에 이와 관련되는 다음과 같은 요소 기술을 확보해야 한다.

- 1) 고온초전도 선재 제작
- 2) 초전도선재의 특성 해석
- 3) 액체질소 내에서의 절연파괴 방지
- 4) 최적효율을 갖는 변압기 설계
- 5) 초전도 권선 제작
- 6) 극저온 용기 및 냉동기 제작
- 7) 전력계통 연계특성 해석

초전도변압기는 냉각시스템이 필요하기 때문에 비교적 용량이 크고 정격전압이 높은 대형변압기에서 경제성이 있다. 국외의 개발 추세를 고려해 볼 때에 국내에서도 상업운전이 가능한 고온초전도변압기를 개발하기 위해서 다음과 같은 향후 10년간의 계획을 세우는 것이 가능하다.

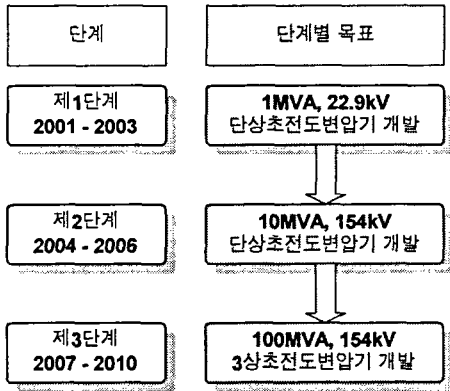


그림 5. 고온초전도변압기 개발 단계

V. 경제성 검토 및 시장 전망

초전도변압기는 총투자비용이 기존의 변압기에 비해서 저렴한 것은 물론이고 초기 투자비용도 기존의 변압기와 비슷한 수준이기 때문

에 개발이 완료된다면 특별한 제도적인 장치가 없이 시장경제에 의해서 보급될 수 있다.

1999년의 경우 국내의 22KV 급 이상의 변전소는 458 개소이고 변전소에 설치된 변압기 총용량은 96,160MVA 이다. 송전용변압기의 평균수명은 40 년으로서 송전용변압기는 매년 노후된 11 여대의 대체수요가 발생한다. 실제로 우리나라에서 변전소가 갑자기 늘어난 시기는 경제가 급성장한 시기인 1970 년대이므로 변압기의 대체수요는 향후 20 년 이내 동안 위와 같이 계산한 평균치를 훨씬 상회할 것으로 생각된다.

에너지절약의 관점에서 초전도변압기는 효율적인 전력기기이다. 1999 년의 국내 총전력 공급량은 239,325GWH 이고 이 중에서 변압기에서 발생하는 손실은 2,774GWH 에 해당한다. 30MVA 초전도변압기를 도입한다고 가정했을 때에 초전도변압기에서 손실이 60% 감소하므로 절약되는 연간 에너지는 1,795GWH 이고 이를 금액으로 환산하면 연간 1,285 억원에 이른다.

VI. 결론

고온초전도변압기는 여러가지 장점을 갖고 있을 뿐만 아니라 경제성이 높다는 연구결과가 발표되었다. 지금까지 발표된 초전도변압기에 관한 연구를 종합할 때에 초전도변압기는 초전도전력기기 중에서도 가장 먼저 실용화되는 전력기기의 하나가 될 것으로 전망되고 있다. 이에 따라 국내에서도 국내 실정에 맞는 개발 목표를 설정해서 초전도변압기를 개발하기 위한 노력을 집중해야 할 시기이다.

참고 문헌

- [1] Sam P. Mehta, Nicola Aversa, and Michael S. Walker, "Transforming Transformers," IEEE Spectrum, 34(7), (1997)
- [2] K.Funaki et al., "Preliminary Tests of a 500kVA-Class Oxide Superconducting Transformer Cooled by Subcooled Nitrogen", IEEE AS, 7(2), 824-827(1997).
- [3] J.K.Sykulski et al., "Prospects for large high-temperature superconducting power transformers: conclusions from a design study," IEE Proc. Electri. Power Appl., 146(1), 41-52, (1999)