

전력기기의 에너지절약 및 이용 합리화

전력계통에서의 발전, 송변전, 배전의 각각에 대한 에너지절약 및 이용 합리화를 미쓰비시(三菱)電機는 여러 방면에서 노력하고 있으며, 여기서는 전력기기에 대한 그간의 노력에 대하여 기술한다.

발전에 관해서는 공기냉각과 수소냉각 터빈발전기의 효율 향상으로 성(省)에너지화를 지향하고 있다. 동사에서는 세계 최대급의 공기냉각 터빈발전기를 제작하여 수소냉각기와 거의 동등한 높은 효율을 얻고 있다.

송변전에 대해서는 전력용 대형 변압기의 본체 체적 축소, 신(新)절연구조의 채용으로 대형변압기의 설치면적을 반감시키고 손실저감도 실현시킬 수 있었다. 성숙기종으로 생각되는 분야에 대해서도 새로운 발상으로 더욱 개선해 나갈 계획이다.

배전분야에 대해서는 전력의 합리적 사용이나 고효율 변압기의 채용에 의한 전력손실 등 필요성이 재검토되고 있다. 동사에서는 배전설비 구성의 일익을 담당하는 손실이 극히 적은 수퍼 고효율 유입변압기를 개발, 배전분야에서 활용되고 있다.

성(省)에너지를 위한 발전기의 응용 예의 하나로 자연에너지를 이용하는 풍력발전을 들 수 있다. 동사가 개발하여 실용화되고 있는 풍력발전기는 회전자 자극(磁極)에 영구자석을 사용한 동기발전기를 사용하고 있어, 여자장치나 기어기구가 불필요하여 전기적, 기계적인 손실을 경감시키고 있다.

1. 머리말

최근 몇 년 전부터 지구환경에 관한 세계적인 의식의 고양, 특히 지구온난화방지에 대한 대처로서 여러 가지 에너지절약 및 이용합리화 활동이 강화되고 있다. 동사에서는 여러 분야에서의 에너지절약에 대한 노력을 기울이고 있으며, 제품화로 고객이 활용하도록 하고 있다.

일본의 산업과 가정의 에너지공급원에 관계되는 전력기기는 그 가동률이 큼으로써 에너지절약과 이용합리화의 효과는 크다.

전력기기에는 여러 형태가 있는데 여기서는 발전, 송변전, 배전 각각의 에너지절약에 대한 대처에 대하여 몇 가지 예를 들어 기술한다.

2. 터빈發電機

터빈발전기의 개발역사는 냉각기 개선에 의한 대용량화의 역사이기도 하다. 지금까지 수소 직접냉각기에 의해

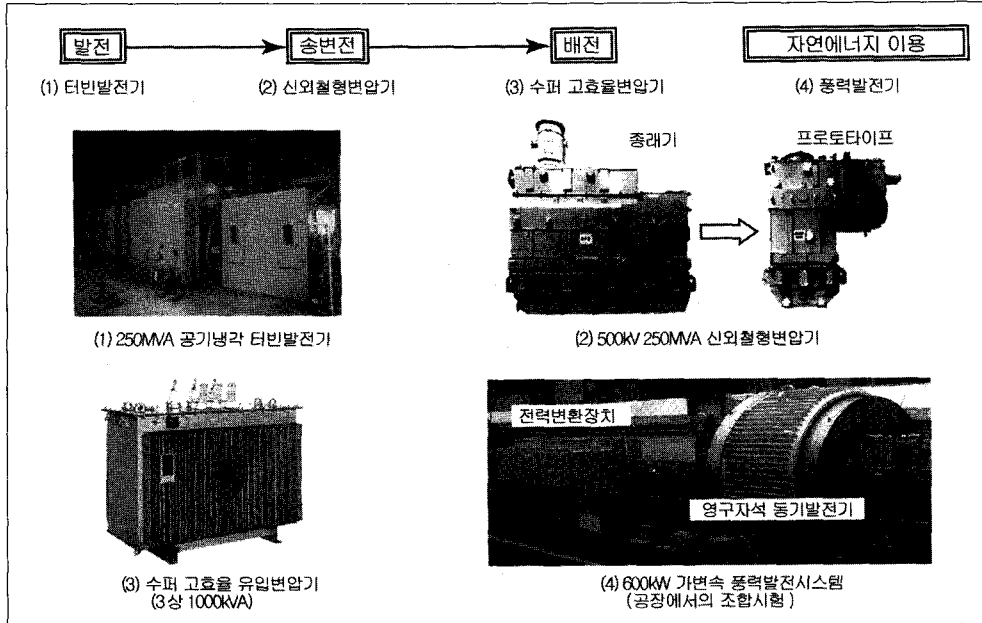
최대출력이 갱신되어 왔는데 근래에는 공기냉각기, 수소 간접냉각기의 대용량화가 현저하며, 특히 공기냉각기에서는 냉각개선과 효율향상을 아울러 달성하고 있다.

본고에서는 에너지절약 및 이용합리화에 관하여 공기냉각수를 중심으로 효율 향상책의 실기(實機) 적용 예에 관하여 기술함과 동시에 고효율을 실현가능한 초전도발전기에 대해서도 그 대처경위를 설명한다.

가. 空氣冷却 터빈發電機

공기냉각방식의 터빈발전기는 부대설비가 적고 운전조작이 용이하여 복합(複合)사이클 플랜트에 적용하고 있다. 동사에서는 복합사이클 플랜트의 대용량화에 대응하여 정격용량 250MVA, 최대용량 286MVA의 세계 최대급의 공기냉각 터빈발전기를 제작하였다. 발전기의 외관을 뒤의 그림에 게재하였다.

일반적으로 공기냉각기에서는 수소냉각기에 비하여 풍손이 크기 때문에 발전기 효율이 저하한다. 이 때문에 공기냉각기에서는 풍손저감이 주요 기술과제의 하나로 되



<전력용 쉘에너지 기기>

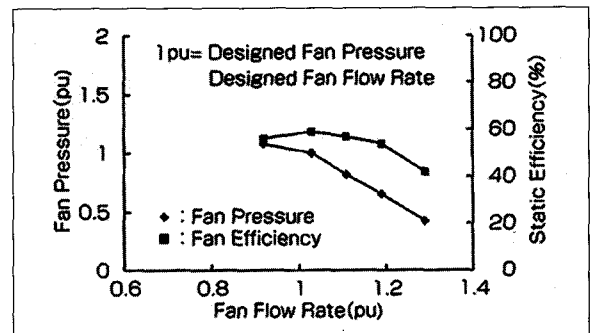
미쓰비시電機에서는 발전, 송변전, 배전의 전력계통 각 부문에서의 쉘에너지기기를 제품화하고 있다. 그림은 이들 제품의 예를 표시한 것이다.

어 있으며, 발전기의 설계에서는 팬효율의 향상과 회전자 표면의 마찰손실 저감을 위해 배려하였다. 아울러 표유부하손의 저감에도 노력하였다.

대용량 공기냉각기에서는 팬풍압이 종래 공기냉각기의 1.5배 이상이며, 새로운 팬의 설계가 필요하게 되었으므로 동익(動翼) 1단, 정익(靜翼) 1단의 팬을 개발하였다. 실기 적용에 있어서는 실물 크기의 팬을 제작하여 공장에서 풍동(風洞) 시험장치에 설치하여 팬의 압력-풍량 특성을 계측하였다. 결과를 그림 1에 표시한다. 정압(靜壓) 효율은 60%로 설계목표가 50%를 넘는 고효율을 달성하였다. 회전자와 고정자 간의 공극(틈새)에서의 냉각공기의 흐름에 대해서 수치유체 해석(CFD)을 실시하여 회전자웨지의 출구압력 손실을 평가하였다. 실기의 1/3 축소 모델에 의한 검증을 함께 실시하여 웨지의 출구손실계수를 평가하였다.

고정자, 회전자 코일엔드의 누설자속에 의하여 발전기 단부에서 발생하는 표유손(漂遊損) 저감을 위해 3차원 전자계 해석을 실시하여 손실평가를 함과 동시에 구조물에 고정자의 비자성재를 적용함으로써 표유손을 저감하였다.

공장시험결과 정격출력시 발전기 효율이 동 용량의 수소냉각 터빈발전기에 가까운 98.6%의 고효율을 달성하였다.



<그림 1> 팬의 풍동시험 결과

나. 水素冷却 터빈發電機, 초전도발전기

수소냉각기에 대해서도 효율향상 기술의 적용을 도모하고 있다. 팬 설계와 통풍 설계에 수치유체 해석을 적용하여 풍손의 저감을 도모함과 동시에 전기자권선·위상링, 회전자표면, 발전기단부 교류손(交流損) 평가에 3차원 전자계 해석을 적용하여 표유손의 저감구성을 검토하여 실기 적용을 도모하고 있다.

계자권선을 초전도화한 초전도발전기는 효율 향상, 전력계통 안정도 향상이라는 이점이 있어 현재 일본 경제산업성의 「초전도발전기 기반기술 연구개발」 프로젝트로 개발이 진행되고 있다. 계자권선 저항손이 0이고 배어링 손 등이 적기 때문에 60만kW급 초전도 발전기로 99.5% 정도의 고효율이 실현 가능하여 앞으로 개발에 진력할 생각이다.

3. 變壓器

가. 新外鐵形變壓器

전력용변압기는 송전계통에서 가장 중요한 기기로서 전력계통의 발전과 함께 대용량·고전압화를 실현하여 왔다. 동사는 지금까지 고전압·대용량 변압기에는 외철형을 채용하여 기술의 진보와 새로운 사회적 요구를 반영하여 독자적인 기술개발과 개량에 힘써 왔다. 한편 범 세계적으로 전력업계를 둘러싼 사회정세의 변화로 변압기를 비롯한 송변전기기에는 경제성 향상과 함께 성(省)에너지·성(省)자원이 강하게 요구되고 있다. 이 니즈에 응하기 위하여 종래의 대용량 외철형변압기에 절연·냉각·기계 강도에 대폭적인 기술향상책을 도입함으로써 본체의 체적, 설치면적의 대폭적인 축소를 실현한 신(新) 외철형변압기의 프로토타입기(표 1에 사양을 표시한다)를 제작하여 성능시험을 포함한 신뢰성 검증시험을 완료하였다. 외철형변압기는 용량 증대에 대해 코일 군수(群數)를 증가함으로써 누설자속, 표유손실, 기계력의 증대

없이 대응이 가능하다. 이번에 제작한 프로토타입기는 본체의 체적 축소를 위해 새로 개발한 코일군수 저감기술의 적용으로 코일군수를 증가하지 않고 용량 증대를 실현하고 또한 신철연구조를 적용하였다.

〈표 1〉 프로토타입기의 사양

형 식		단상단권변압기
전압·용량	1차	500kV 250MVA
	2차	230±27.53kV 250MVA
	3차	36kV 80MVA
냉각방식		도유풍냉
주 파 수		50Hz

이에 의하여 500kV 250MVA의 단상·단권변압기로 본체 체적과 설치면적을 종래에 비해 50%(표 2 참조)로 축소함과 동시에 손실저감(표 3 참조)을 기할 수 있었다. 앞으로 이번에 개발한 기술의 적용을 추진, 성에너지, 성자원에 기여해 간다.

〈표 2〉 프로토타입기와 종래기의 제원 비교

항 목	종래기	프로토타입기
주절연 치수	100%	70%
본체 치수(m)	(W)4.2×(L)3.2	(W)2.3×(L)2.9
본체 체적(m ³)	55.1(100%)	28.0(51%)
본체 평면적(m ²)	13.4(100%)	6.7(50%)

〈표 3〉 철손 측정 결과

구 분	종래기	프로토타입기
철 손	100%	85%
동 손	100%	100%

나. 슈퍼 高效率 油入變壓器

배전용변압기는 지금까지 시대의 요청에 응하여 저손실화, 소형 경량화, 고신뢰성 등에 대한 개선이 추진되어 왔는데 특히 근래에는 “改正 省에너지法”의 시행과 더불어 변압기의 저손실화에 한층 더 박차가 가해졌다.

이와 같은 시대의 니즈에 대응하고 또한 저손실을 추구한 “슈퍼 고효율 유입변압기”에 대하여 기술한다.

(1) 시리즈化 範圍

용량 : 단상 75~500kVA, 3상 75~2000kVA
 전압·주파수 : 1차전압 6.6kV, 2차전압 210V 및 400V
 급, 50Hz 및 60Hz

(2) 특징

수퍼 고효율 유입변압기는 철심재에 최고 등급의 자구 제어(磁區制御) 규소강대를 적용하여 설계자속밀도의 최적화, 전류밀도 저감, 표유손 저감구조에 의한 저손실화를 도모하여 무부하손, 부하손을 대폭 저감시킨 변압기로 다음과 같은 특징이 있다.

(가) 초저손실

JIS 규격 특성에 대하여 약 60%의 전 손실저감

(나) 성(省)스페이스

3상 1000kVA로 표준변압기에 대해 바닥면적 20%, 체적 약 25%의 소형화를 실현(동사비)하였다.

(다) 저소음

3상 1000kVA의 측정 예로 약 45dB의 저소음(JEM 1118에 의한 1000kVA의 기준치는 62dB)

(라) 리사이클성

규소강대를 채용하고 있어 종래의 유입변압기와 같은 리사이클성(性) 확보

(3) 성(省)에너지 효과

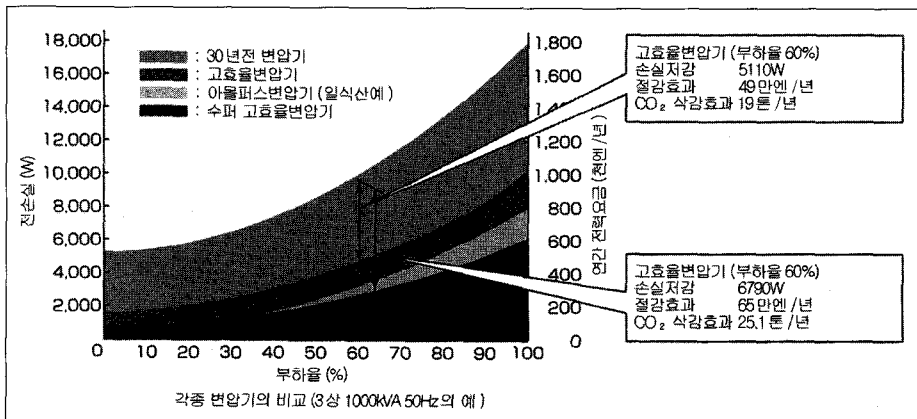
수퍼 고효율변압기를 30년전 변압기의 대체로 도입한 경우 손실저감효과, CO₂ 삭감효과에 대하여 각종 변압기와의 비교를 하나의 시산 예로 그림 2에 표시한다.

4. 風力發電機

지구환경문제에 대한 관심이 높아짐에 따라 범세계적으로 풍력발전설비 도입이 가속되고 있다.

풍력발전설비로서는 종전에는 유도발전기를 사용한 일정속(一定速) 또는 극수변환을 사용한 2속발전기가 주류였으나 이 방식은 계통에 전력맥동을 일으키는 외에 구조적으로 기어를 사용함으로써 기계적 손실 및 소음발생 등의 문제점이 있었다.

이에 대하여 동사는 계통에 영향을 주지 않는 그리고 메인テナンス성을 향상시킨 선진시스템으로서 풍력발전용 으로서는 일본 최초의 영구자석식 다극동기발전기를 탑재한 가변속 기어리스 풍력발전시스템을 개발하여 우선 300kW기로 미쓰비시重工業의 블레이드, 너트셀과 조합하여 2000년 7월부터 필드에서의 실증을 실시, 그 성능을 확인하였다. 이 결과 새로 개발한 시스템은 성에너지성, 메인テナンス성, 출력전력의 맥동 경감 등 많은 효과가 인정되어 서서히 도입실적이 늘고 있다. 이 미쓰비시 시스템은 널리 에너지절약 기술로 알려져 있는 발전기와 인버터의 조합과 비슷한 구성이지만 회전자의 자극에 영구자석을 사용한 다극(多極) 동기발전기와 고효율 전력변환기(발전기측 컨버터와 계통연계측 인버터와의 조합으로 그 사이의 직류계



〈그림 2〉 유입변압기 갱신시의 절약에너지 효과

를 콘덴서로 결합한 것)으로 되어 있으며 다음과 같은 기술적 특징을 갖고 있다.

가. **省에너지 效果**

영구자석을 사용함으로써 여자장치가 필요 없도록 하였다. 이 결과 여자장치와 이와 관련된 배선 내의 콜렉터링과 브러시간의 습동(褶動)에 의한 전기손실을 전무하게 하였다. 또 종래의 유도기방식에서는 계통연계상 일정한 속도로 하기 위하여 증속기어를 필요로 하였으나 가변속화로 그 증속기어가 필요 없게 되어 해당부분에서 발생하는 기계적 손실도 전무하게 하여 발전기 자체로서 고효율을 도모하였다. 또한 가변속운전으로 항상 풍속에 따른 최고효율점에서 운전이 가능하게 되어, 유도기방식과 비교하여 동일 풍황하에서의 출력상승이 가능하게 되었다.

나. **省메인턴스성**

유도기방식에서는 증속기어 및 그것의 운용을 위한 윤활유계통이 필요하였으나 가변속화로 증속기어·윤활유계통 공히 불필요하게 되었다. 또 영구자석을 사용하지 않는 다른 동기방식에서 사용되는 콜렉터링과 그것의 습동부 브러시가 불필요하게 되어 메인턴스성을 향상시킬 뿐만 아니라 종래 트러블의 원인이 되었던 이들 부위를 전부 제거하여 제품 자체의 신뢰성 향상을 도모할 수가 있었다.

다. **電力品質 향상**

풍력발전에서는 풍력에너지에서 변환된 그대로의 발생 전력은 풍속의 3승에 비례한다.

유도기방식에서는 이 풍속변화에 따른 맥동전력이 그대로 계통에 유출되어 약한 계통에서는 주파수 변동 등의 문제를 일으키는 경우가 있다. 이에 대하여 가변속 풍력발전시스템에서는 풍력에너지를 일단 블레이드 및 발전기 회전자의 회전에너지로 축세(蓄勢)하여 풍속이 약해

졌을 때 전력에너지로 변환하여 이것을 평활화한 상태로 계통에 송출하는 것이 가능하기 때문에 계통에 주는 영향은 적다. 또한 계통측 인버터는 역률1제어를 할 수 있어, 유도기방식과 비교하여 전력품질을 향상할 수 있어 SVC(Static Var Compensator) 등 부대설비를 필요로 하지 않는 이점이 있다.

라. **騒音低減**

풍력발전의 소음원(源)은 주로 블레이드의 풍절음(風切音)과 증속기어의 기계음이다. 가변속 풍력발전시스템에서는 증속기어가 불필요하여 유도기방식에 비해서 정속성이 대폭 향상되어 설치 환경면에서도 이점이 있는 시스템이다.

앞의 요지 페이지에 이상의 특징을 갖는 정격용량 600kW의 가변속 풍력발전시스템(영구자석식 동기발전기와 전력변환기)의 공장조합 시험상황을 표시하고 있다.

5. 맺음말

본고에서 기술한 것 이외에도 자연에너지의 이용이나 코제너레이션 등에서 보는 기존에너지의 고효율이용 등 에너지 유효이용에 대한 관심은 더욱더 높아지고 있다. 각종 분산전원의 조합을 하이브리드전원이라 하는데 이것의 대표적인 예로서 풍력발전과 태양광, 미니수력발전 또는 코제너레이션 설비와의 조합이 있다. 동사에서는 분산전원분야에서 보다 더 에너지의 고효율이용, 에너지이용 합리화 추진에 기여할 수 있는 기기 및 시스템 개발에 노력하고 있으며 이들 하이브리드전원의 제안에 대해서도 적극적으로 추진하고 있다.

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기 협회에 있습니다.