

전력계통 신기술 동향 및 과제

윤 용 범

한국전력공사 전력연구원 책임연구원

1. 21세기 전력환경 변화

20세기 인류는 에너지를 대량으로 소비하는 생활을 누려왔으며 우리가 사용하는 자원을 환경에는 제한이 없는 무한한 것으로 생각해 왔다. 그러나 이러한 우리의 생활 방식이 지구환경에 큰 영향을 미치기 시작한 지금, 21세기에는 지금까지의 사고방식이나 행동방식을 대폭적으로 수정해야 할 상황에 와 있다. 21세기는 지속적인 인구증가와 함께 에너지 소비도 증가할 것으로 예상된다. 이에 대하여 우리 인류에게는 에너지 자원의 효율적 이용과 함께 에너지와 환경과의 조화가 더욱 중요한 관심사로 대두되고 있다. 특히 전기에너지는 21세기 들어 인간생활에서 차지하는 비중이 더욱 높아질 것으로 예상하고 있다. 이와 같은 배경으로 참고문헌 (1)에서는 21세기 에너지에 대한 전망으로 다음과 같은 특징들을 열거하고 있다.

- 물질적 풍요에서 정신적 풍요로
- 경제성장에서부터 가치관 변화로
- 지역화(Nationalism)에서부터 세계화(Globalism)로
- 품질이나 가치의 단일성에서부터 다양화, 개별화, 차별화로
- 대규모에서부터 소규모 분산으로
- 에너지 자원의 소비나 폐기에서부터 회수, 재이용, 순환으로
- 환경조화에서부터 환경재생이나 적극적인 창조로
- 변환의 고도화에서 변환이 불필요한 기술로
- 사람이나 물건의 이동에서부터 정보 이동으로
- 전기 저장의 불가능하다는 개념에서 저장이 당연한 것으로

이와 같은 시대변화에 따라 전력기술 개발도 양적인 확대에서부터 질적인 충실로 그 시각 패러다임이 변할 것으로 예상된다. 종래의 대규모 기술뿐만 아니라 각종 설비의 컴팩트나 고도화를 겨냥한 기술개발을 시발점으로 하여 에너지 자원의 효율적 이용, 환경과의 조화 등이 더욱 중요해질 것이다. 전력계통 기술분야도 향후 전력수요의 지속적인 증가와 함께 전력품질에 대한 요구 수준도 더욱 높아질 것으로 예상된다. 특히 전기요금과 전력품질에 대한 관심이 더욱 높아지고 전기를 주요 에너지원으로 사용하는 외에도 다른 종류의 2차에너지와 조합한 합리적인 에너지 관리방법 등에 대해서도 많은 관심이 고조될 것으로 생각된다. 이에 본고에서는 국내외 관련자료들을 기반으로 지구환경 문제와 관련한 재생에너지의 전력계통 활용현황 및 분산전원이 전력계통에 미칠 영향을 분석하고 이와 관련된 기술동향을 기술적 과제와 함께 고찰하였다. 또한 눈에 보이지 않는 전력설비로 대표되는 지중송전 기술개발과 함께 수용가의 전력품질 요구수준 증대에 따른 기술개발 현황 및 제반 과제들도 고찰하였다.

2. 전력계통 관련 기술개발 현황

가. 재생에너지 개발

미래의 전력계통은 환경친화적인 요소와 전력품질 조건 모두를 만족하여야 하며 이에 관한 기술개발이 꾸준히 진행되고 있다. 지속적으로 증가하는 전기에너지에 대한 수요를 현재의 발전설비 형태로만 충족할 경우 현재 20Gton을 훨씬 넘어선 CO₂에 의한 심각한 환경문제가 초래되며, 원료가 되고 있는 화석연료의 부족이라는 문제에 당면하게 된다. 이를 극복하기 위한 방안으로 재생에너지(Renewable Energy)의 활용이 대두되고 있으며 현재 표 1에 나타난 바와 같이 세계 전력생산량의 1%인

〈표 1〉 재생에너지 설비용량⁽²⁾

에너지 종류	설비용량(GW)	에너지 종류	설비용량(GW)
태 양	1	지 열	7
풍 력	12	해 양	0.3
생화학	10	계	30

30GW 정도만을 차지하고 있는 실정이다.

하지만 재생에너지에 대한 절대적인 필요성은 유럽각국의 에너지 정책에서 확인되고 있으며 그 예로 덴마크, 오스트리아, 프랑스, 포르투갈, 스페인 등은 2010년까지 대규모 수력을 제외한 재생에너지의 전체비율을 20% 이상이 되도록 하는 계획을 가지고 있다. 특히, 풍력에너지는 현재 전세계에서 운용되고 있는 모든 기존 발전기의 발전량을 합한 것의 4배에 이르는 가용에너지가 존재하는 것으로 추정되고 있으며 이에 대한 재생에너지 개발은 더욱 증가할 전망이다.⁽²⁾

나. 저비용 및 친환경 지중송전기술

송전선로의 지중화 문제가 환경친화적인 전력설비의 관점에서 최근 부각되고 있다. 현재 망의 형태를 가진 사업 중에서 수도, 가스, 통신 및 정보 산업의 경우 그 망들이 눈에 보이지 않는 형태로 바뀌었으며, 이제는 전력 송전망에 대해서도 그러한 요구가 증대되고 있다. 일반적으로 선로 비용만을 비교할 경우 표 2에 나타난 바와 같이 가공형태가 지중케이블 형태에 비해 기존 케이블 형태에서는 최대 15배 정도가 되며 새로운 케이블

〈표 2〉 가공송전선과 케이블의 건설비용 비교⁽²⁾

항 목	가공송전선 : 케이블
기존 케이블	15 : 1 ~ 5 : 1
새로운 케이블(XLPE)	4 : 1 또는 그 이하
향후 목표	2 : 1

개발을 통해 4배까지로 낮아졌다. 현재는 2배 수준까지 낮추는 것을 목표로 선진국에서는 기술개발이 진행중에 있다.

이와 함께 새로운 형태의 케이블 설치기술이 개발되어 1시간 내에 1km 정도의 케이블을 1m 깊이로 묻을 수 있게 되었다. 이러한 기술개발로 인하여 '보이지 않는 전력 송전망' 구현이 가능해질 것이다. 그리고 주상변압기의 지중화, HVDC Light 기술을 이용한 변환설비 설치면적의 축소, PASS(Plug And Switch System) 기술을 이용한 변전소 면적의 축소 등이 가능해져 친환경적 전력계통 기술이 한층 고도화될 전망이다.⁽²⁾

다. 전력설비 예방진단 기술개발

전력계통 전압이 높아지는 만큼 전력설비 사고가 사회에 미치는 영향도 막대해짐에 따라 세계각국에서는 예방진단 기술이 향후 전력설비의 안정운용에 필수 요소임을 인식하게 되어 자국의 특성에 적합한 기술들을 적극 개발하고 있다. 국내에서도 765kV 상업운전을 눈앞에 두고

대용량화된 전력설비의 신뢰성을 확보하여 안정적인 전력을 공급하기 위해 예방진단 시스템 적용을 추진하고 있다. 예를 들어 변압기 및 GIS의 운전상태에서 이상징후를 상시감시하여 불시 정전을 방지하며 축적된 데이터로 최적의 유지보수계획을 수립하게 된다.⁽³⁾

라. 전력품질 기술개발

전력품질은 CIGRE Working Group 37-28에서 공급신뢰도(Supply Reliability)와 전압품질(Voltage Quality)에 해당하는 공급품질(Quality of Supply)로 정의하고 있다. 공급신뢰도는 전력계통의 임의의 점에서 전력사용이 가능한 정도를 의미하는 것이고 전압품질은 전압크기와 주파수에 관한 특성을 포함하는 전압파형의 정확도를 의미하는 것이다. 이와 같은 전력품질이 전력회사 및 수용가 단위에서 어떻게 유지되고 있는지를 표 3에 나타내었다.

이와 같이 전력품질은 전력회사 및 수용가 모두에 의하여 유지, 관리되고 있으며 이에 대한 기술개발이 전력회

〈표 3〉 전력회사 및 수용가와 전력품질과의 관계⁽⁴⁾

전력품질	전 력 회 사			수 용 가
	계 통 운 용	설비 유지관리 및 보강		
		발 전 설 비	송·배 전 설 비	
주파수	• 주파수 제어 • 경제급전	• 부하추종 능력 확보	-	-
전 압	• 전압감시제어	• AVR에 의한 자동제어 (지상 90% ~ 진상 95%)	• 조상설비 설치 • DVR 설치(배전)	-
정 전 (신뢰도)	• 운용한도 감시 • 계통조작	• 예비력 확보	• (N-1) 기준확보 • 가공지선 설치 • 피뢰기 설치	• 무정전 전원설치 (CVCF, UPS)
플리커	• 계통전환	-	-	• 플리커 저감장치 설치
고조파	-	-	-	• 고조파 기준 준수
전압불평형	-	-	• 송전선 연가 • 상배열	• 불평형 부하 해소

주) CVCF : Constant Voltage Constant Frequency
UPS : Uninterruptible Power System

DVR : Dynamic Voltage Restorer
AVR : Automatic Voltage Regulator

사 자체를 비롯하여 기기제작사 및 연구소 등에서 진행되고 있다. 이외에도 동기차단기의 개발로 인하여 커패시터, 케이블, 변압기, 전동기 등에 대한 스위칭 과도현상이 경감되었고 결국 전력품질의 개선이 가능하게 되었다. 또한 정보통신 기술발전의 혜택을 전력산업에도 적용하여 변전소의 설비를 웹을 통하여 조작하고 이동통신을 이용함으로써 지리적으로 제한받지 않는 조작도 가능해질 전망이다.

마. 초전도 한류기 개발

초전도를 이용한 전력기기는 전세계적으로 실험실의 시험단계를 지나 실계통에 부분적으로 적용되고 있고, 상용화를 위한 시장조사와 함께 전력계통에 본격적으로 적용하기 위한 타당성 연구도 진행중에 있다.⁽³⁾ 그 중 초전도 한류기(Superconducting Fault Current Limiter: SFCL)가 가장 먼저 상용화되어 전력계통에 적용될 것으로 전망되고 있다. 초전도 한류기는 초전도체의 특성을 이용한 기기로서 정상상태에서 임피던스가 거의 0을 유지하고 있다가 전력계통 사고시에는 초전도체의 퀸치 현상으로 인해 수msec 이내에 임피던스가 발생하여 사고전류를 순간적으로 제한하는 장점을 가진다. 초전도 한류기는 낙뢰, 지락, 단락 등의 사고시 발생하는 이상전류(fault current)를 감지하고 이를 정상전류 수준까지 제한함으로써 전력기기를 보호한다.

3. 전력계통 구성변화 및 기술과제

가. 전력계통 구성변화

향후 전력계통은

- 기간송전선로 건설에 따른 용지 확보가 점점 곤란해진다.

- 열에너지 수요 증대에 따라 열병합시스템이 보급된다.
- 다양한 형태의 발전사업자가 등장하고 지역사회 입장에서 움직인다.
- 열에너지와 전기에너지를 조합하여 공급하거나 소규모 발전기술들이 더욱 고도화된다.

이에 따라 지역밀착형 소규모 전원이 증가하고 수용가에 있어서도 분산전원 비율이 높아질 전망이다. 물론 향후 개발되는 모든 형태의 전원이 상기와 같은 지역밀착형 소규모 전원만은 아닐 것이다. 한편으로는 종래와 같은 기간계통형태의 대규모 전원도 지속적으로 확대될 것이다.

결과적으로 향후 21세기의 전력계통은 전원형태는 다양화되면서 전체적으로는 2계층화되는 경향을 보일 것으로 예상된다. 전력수요지역에서의 전원이 상대적으로 증가함에 따라 수요지를 중심으로 한 지역전력계통이 종래보다 부각될 것이다. 향후 이와 같은 지역전력계통은 기간계통과는 다른 특이한 형태로 발전되어 갈 것으로 예상된다. 이러한 지역전력계통은 소규모 전원이 많이 도입되기 때문에 아직까지는 경험하지 못한 새로운 형태의 전압분포나 조류분포가 나타나게 되고 평상시의 운용관리는 물론 사고시의 제어보호방식에도 변화가 예상된다. 여기서의 지역 전력계통은 현재의 배전계통과 한 단계 상위의 송전계통을 포함하는 정도의 규모가 될 것으로 예상하고 있으나 그 적정규모는 전원용량이나 지리적 혹은 행정적 요소들에 의하여 영향을 받게 될 것이다. 결국 전력계통은 기간계통과 지역전력계통으로 계층화된 구조를 가지게 되고 이에 대한 상호 유기적 협조운용 체제가 될 전망이다.⁽⁴⁾

나. 전력계통 기술과제

- 분산전원이 연계된 전력계통의 품질 안정성
- 분산형 전원이 증대함에 따라 전력품질이 영향을 받게

되며 결국 분산형 전원도 전력품질에 관여될 것이다. 전력회사 이외의 사업자나 수용가가 설치한 분산형 전원은 송전계통이나 배전선에 연계되게 되며 기본적으로는 전력회사 발전기와 동기 또는 이와 유사한 형태로 회전하고 있는 일종의 공동운명체인 것이다.

따라서 송전선에 연계된 분산전원은 전력회사 발전기와 동일한 운전지령에 의하여 유효전력과 무효전력을 조정받게 된다. 어느 정도 전력계통 전체에 분산형 전원이 증가하면 관련규정을 토대로 분산전원도 전력계통의 안정적 운용에 이바지하여야 한다. 그리고 배전선에 연계된 분산형 전원도 배전선 단위의 전압안정화를 위하여 일정기능을 담당하여야 한다. 배전선은 기본적으로 상위계통으로부터 전력을 받아 전력수용가에게 전력을 배분하는 기능을 가지며 그 동안 분산형 전원은 여기에 접속되어 고품질의 전력혜택을 누려왔으나 앞으로는 배전선의 전압안정이나 품질유지를 지원하는 역할을 담당하여야 한다. 예를 들면 가스터빈과 같은 회전기 형태의 분산형 전원은 배전선 전압 불안정시 출력조정에 의하여 전압유지에 기여하여야 한다. 물론 이와 같은 분산형 전원을 전력계통의 품질관리에 참여시키기 위해서는 관련제도를 만드는 것만으로 가능한 것이 아니고 현재의 기술에 IT기술 접목이나 발전기 자체의 성능 향상 및 기능 부가와 함께 저비용 실현이 필수적이다. 이와 같은 의미에서 전력계통기술과 발전기술, 그리고 최신의 IT 기술을 조합한 혁신기술개발이 수반되어야 할 것으로 생각된다.⁽⁵⁾

○전력상품 마케팅 관리

지금까지 전력은 품질이라는 개념을 사용하여 전력자체의 공급품질과 서비스 품질을 수용가의 입장에서 관리, 공급하여 왔다. 향후 새로운 전력환경에서는 전력품질 자체뿐만 아니라 이를 제품생산에 어떻게 적절히 사용할 것

인가, 사무실이나 점포·매장 환경과는 어떻게 조화시킬 것인가, 편리성을 높여 가정에서는 어떻게 안전하고도 안심하게 사용할 것인가 하는 데까지도 수용가의 요구를 만족시켜야 한다. 이와 같은 요구에 부응하기 위하여 어떻게 새로운 전력기술을 개발하고 마케팅 영역을 확대하여 나갈 것인가 하는 것이 향후 새로운 과제로 부각될 전망이다. 바꾸어 말하면 기존의 전력품질 관리라는 좁은 의미에서의 전력마케팅에서 실시간 전력품질 요구에 맞추고 고객 중심의 전력상품 마케팅 관리기술이 필요할 것으로 예상된다.⁽⁵⁾

○전력계통의 안정운용 및 계획

한편, 21세기 중엽에는 전력수요가 둔화되고 공급측면에서 볼 때 전력계통 확충은 점차 후퇴할 것이다. 따라서 기간계통은 최종적으로 어떠한 형태로 구성되어야 할 것인가에 관한 과제가 발생하게 된다. 또한 계통의 성숙화에 맞춰 전압계급의 통합(승압) 등과 같은 계통의 질적인 변화도 예상된다. 그리고 전력계통 활용측면에서도 「인프라 개발형」에서 「인프라 활용·보존형」으로 진전될 것이고 고밀도 전력수송이 한층 중요시될 것이다. 동시에 기기나 방식의 표준화나 간소화 등도 더욱 강조될 것이다. 전력계통에 분산전력저장 기능을 두는 아이디어도 제안되고 있는 단계이다. 지역전력계통에 전력저장기능을 둘 수만 있다면 전력계통 운용전반에 효율성이 높을 것으로 예상되나 저장설비 기술개발면에서 획기적인 돌파구가 없는 한 당분간은 대규모 도입이 곤란할 것으로 예상된다.

이와 같은 점을 감안하여 향후 예상되는 주요 기술과제를 나열하면 표 4와 같다. 표 4에서는 전력계통의 기존설비를 적극 이용하는데 필요한 기술과제와 새로운 설비를 적극 건설하여 기간계통을 확충하는 경우, 그리고 지역전력계통에 분산전원 비율을 증대시키는 경우로 구분하여

주요 관련과제들을 제시하였다.

〈표 4〉 전력계통 주요기술 과제⁽⁶⁾

분 야	주요기술 개발과제
기존 전력설비의 성능 향상 및 효율적 이용	<ul style="list-style-type: none"> • 전력전송의 과밀화에 따른 계통운용 취약성 보강 • 설비 감시진단 및 수명연장 기술
고성능 기능을 갖는 새로운 기간계통 구성	<ul style="list-style-type: none"> • 전력전자기술·전력저장기술·정보기술 응용 • 자율분산적 제어방식에 의한 개별설비 고도화 • 차세대 혁신적 환경조화형 설비 개발 • 최종적 전력계통 구성 및 운전
수요지 중심의 전력 계통 구축	<ul style="list-style-type: none"> • 전력저장기능을 갖는 전력계통 특성 • 지역전력계통 구성 및 관리

4. 미래의 전력계통 전망

○ 미래의 전력계통은 재생에너지 비율이 증대되고 각종 설비들이 지중화 및 컴팩트화되어 눈에 보이지 않거나 환경과 조화를 이루게 되며 전력공급 신뢰성이 한층 높아지고 각종 계통 운용 및 제어가 Internet/Intranet에 의하여 운용 및 제어되게 된다. 이와 함께 전력기술 및 고객서비스가 관련기술 발전과 함께 더욱 고도화될 전망이다.

- 또한, 새로운 발전방식이 분산형 전원으로 실용화되어 보급되면 전력신뢰성 확보, 송배전 설비비 저감, 에너지의 합리적 이용 및 공해저감 등의 효과를 거둘 수 있을 것이다. 아울러 분산전원은 발전, 송전·배전에서부터 수용가까지 다양한 형태로 보급이 확산될 것으로 기대된다. 그러나 분산전원으로 연료전지 등 소형 발전설비 실용화를 위하여는 전력계통에 연계되어 안정적인 운전이 가능하도록 그리고 기존의 발전설비 및 새로이 개발되는 소형 발전설비들에 비하여 경제성이 있도록 관련 기술개발이 뒤따라야 할 것이다.
- 그리고 지구환경에 대한 관심은 생활의 질 향상과 함께 더욱 증대될 전망이며 이와 관련하여 지중선로를 이용한 전력공급도 증가할 전망이다. 여기에는 환경친화적인 지중화 기술개발과 함께 관련 기자재 활용 및 개발도 필요할 것으로 전망된다.
- 결론적으로, 전력기술은 개선의 차원을 넘는 변혁의 요구를 수용할 수 있어야 하며 이 모든 것이 전력산업에 종사하는 우리의 몫이자 책임이라 해도 지나치지 않을 것이다. **ㄴ**

〈참고문헌〉

- (1) 高橋 一弘, 大山 力, “21世紀の 電力・Energy 展望と 基盤技術”, J. IEE Japan pp.36~40, Vol.121, No.1
- (2) Markus Bayegan, “ABB’s vision of the future grid and how we prepare ourselves for its realization”, IEEE PES, Vancouver, July 15-19, 2001
- (3) KEPRI NEWS, 한전전력연구원, 2001. 7, 11, 12
- (4) ささき てつお, “わか國の電力品質 維持の 仕組み”, 電氣評論 pp.46~51, 2001. 4
- (5) 西村陽, “電力自由化 に 伴う 課題”, T. IEE Japan pp.1422~1425, Vol.121-B, No. 11, 2001
- (6) 高橋 一弘, “21世紀の 電力 System と 研究課題”, CRIEPI 研究發表資料, 平成 9年, 11. 25