



한국의 전력안보:

재생에너지 확대를 중심으로

요약

International
Energy Agency



요약

전 세계적으로 에너지 전환은 재생에너지의 전력 시스템 편입을 촉진하고 있으며, 최종에너지 소비에서 전력이 차지하는 비중을 증가시키고 있다. IEA의 지속가능한 발전 시나리오 (Sustainable Development Scenario)에 따르면, 최종에너지 소비에서 전력이 차지하는 비중은 오늘날 약 20%에서 2040년에는 30% 이상까지 늘어날 것으로 예상된다. 에너지 시스템에서 수소의 도입에 속도를 내는 목적 또한 전력 수요 때문이다.

이런 신재생에너지의 도입은 정책입안자로 하여금 전력 안보에 대해 고민하게 한다. 전력 안보란, 전력 시스템에 나타나는 다양한 충격을 견뎌내고, 빠르게 복구함으로써 끊임 없는 전기의 공급을 보장하는 전력 시스템의 능력을 의미한다. IEA는 전력 안보를 적정성 (adequacy), 운영 안정성 (operational security), 회복 탄력성 (resilience) 세 가지 측면에서 보고 있다. 이 세 가지 측면은 보고서의 각 섹션에서 다뤄진다.

산업통상자원부의 요청을 받아 IEA와 에너지경제연구원에서 공동으로 작성된 이 보고서는 제 9차 전력수급기본계획과 최근 그린뉴딜 정책에서 제시한 목표에 비추어 한국의 전력 시스템에서의 전력 안보를 다룬다. 제 9차 전력수급기본계획과 그린뉴딜 정책은 신재생에너지 발전 비중을 오늘날 7.4%에서 2030년에 20%, 2040년에는 30-35%까지 증가시키는 것을 포함하고 있으며, 신재생에너지에는 풍력과 태양광 외에도, 수소, 해양, 바이오가스, 매립 가스, 연료 전지, IGCC 에너지를 포함한다.

게다가 제 8 차, 제 9 차 전력수급기본계획은 2020 년과 2034 년 사이에 발전에서 원자력의 점유율이 줄어들고 새로운 석탄 화력발전은 금지될 것으로 예측하고 있다. 본 보고서는 한국의 안전하고도 다양한 전력 시스템의 역사를 고려하여 향후 필요한 유연성, 운영 안정성, 장기 계획, 시장 개선, 사이버 및 기후 회복력과 같은 요소들을 통해 전력 안보를 보장하기 위한 주요 고려사항을 다루고 있다.

유연성 (Flexibility)

국가의 장기 목표로부터 예측되는 첫 번째 결과는 급전 가능 발전에서 급전 불가능 발전으로의 변화이다. 2019 년과 2030 년 사이 조절 가능한 발전의 점유율은 94%에서 79%까지 감소할 것으로 전망된다. 에너지 공급 측면에서 이러한 변화는 연평균 0.6%의 전력 소비량 증가와 연평균 1.1% 최대전력 증가를 수반한다. 변동성 자원인 태양광과 풍력이 70% 차지하는 재생에너지 발전의 증가는 발전 믹스를 상당히 바꿀 것이다. 게다가 제 9 차 전력수급기본계획에서 계획된 변동성 재생에너지(variable renewable energy, VRE)의 연간 점유율을 달성하는 것은 전력 시스템 운영에 상당한 변화를 야기할 것이다. 특히, 더욱 빈번하고 더 높은 수준의 즉각적인 VRE 발전의 보급으로 인해 그러하다. 초기 분석에 따르면, 2030 년까지 현재 텍사스, 스페인, 영국의 최대 보급 수준과 비슷한 수준인, 시스템 부하의 약 70%에 도달할 수 있다.

제 9 차 전력수급기본계획의 목표에 대한 기초 분석에 따르면, 2030 년까지 한국의 전력 시스템은 유연성 요구 증대에 직면할 것이다. 이는 전력 시스템의 순 부하 패턴의 변화와 1 시간, 3 시간 단위 증감발 요구량의 점진적인 변화에서 드러난다. 예를 들어, 3 시간 기준 일 최대 증발량은 2019 년 20,718 MW 에서 2030 년 35,435 MW 까지 증가할 것으로 예상되며, 같은 기간 동안 3 시간 기준 일 최대 감발량은

12,941 MW 에서 25,483 MW 까지 증가할 것으로 예상된다. 전반적으로 최대 증감발량은 시스템 부하의 약 50%가 될 것으로 예상된다. 이는 60-70% 정도 수준의 증감발에 직면한 캘리포니아나 인도와 같은 전력 시스템과 비교하였을 때 적절한 수준이지만, 이들 시스템은 한국보다 인접 시스템들과 더 많이 상호연결되어있다.

증가하는 한국 전력 시스템의 유연성 요건을 충족시키기 위한 많은 옵션이 있는데, 이는 새로운 기술들을 구축하는 것뿐만 아니라 기존 자산의 잠재적 유연성을 활용하는 것을 포함한다. 예를 들면, 석탄 및 원자력 발전소의 유연한 운영을 위해서 예비력 및 증감발 능력 같은 기타 밸런싱 서비스에 대한 보상을 강화하는 것을 포함하여, 시장 운영 가이드라인과 규칙을 업데이트 할 수 있다. 한국 화력발전이라는 기존의 기술을 최대한 활용하기 위해서는 더 나은 신호를 제공하기 위한 규제 및 시장의 업데이트가 필요할 것이다.

다양한 에너지 저장 기술들은 한국 전력 시스템에 필요한 유연성을 확보하는데 기여할 수 있다. 저장장치가 효과적이 되기 위해서는 유연성을 제공하기 위한 기술과 기간별 저장 시스템이 제공하는 가치 사이의 연관성을 이해하는 것이 중요하다. 예를 들어, 배터리는 현재 초단기에서 단기 유연성에 더 적합하며, 양수 발전은 시간 단위에서 일 단위의 유연성 제공이 가능하고, power-to-gas(P2G) 기술은 국가의 장기 유연성 요건을 충족시킬 수 있다. 저장기술을 시스템에 적용하기 위해서는 단순히 연료 회피 비용(avoided fuel cost)이 아닌 시스템의 전체 가치를 인식하기 위해 보상 메커니즘의 개선이 필요하다.

수요 측면의 유연성 또한 시스템의 유연성 요건을 충족시키는 데 있어 중요한 역할을 할 것으로 예상된다. 비록 몇몇의 산업 설비는 이미 특정한 자발적이고

의무적인 부하 감소 프로그램에 참여하고 있지만, 소규모 고객에게까지 참여를 확대하는 것이 중요할 것이다. 전기자동차는 수요 측면의 유연성에 상당한 기여를 할 것이나, 참여를 보장하기 위해서 소매 요금을 통해서 사용자들에게 제공되는 가격 신호를 개선하는 것이 매우 중요할 것이다.

운영 안정성 (Operational security)

다양한 재생에너지의 시스템 친화적인 구축은 한국 전력 시스템의 운영 안정성을 보장하기 위해 필수적일 것이다. 이는 서로 다른 VRE 자원 간의 기술 혼합을 고려하고, 그들의 지리적 확산을 관리하며, 주파수 조절부터 전압에 이르기까지 시스템 서비스 제공에 참여를 가능케 하는 것을 포함한다. 특히 해상 풍력 구축을 위한 계획과 현재의 전력망 제약을 고려하였을 때, 재생에너지구역(renewable energy zones, REZs)처럼 네트워크 개발과 변동성 재생에너지(VRE) 보급을 함께 고려하는 방법이 있다.

VRE 발전기의 가시성과 발전 예측력을 향상하는 것은 운영 안정성을 유지하고 VRE 통합의 비용을 경감시키는 데 있어 중요하다. VRE 부터 분산형 에너지 자원에 이르기까지 모든 자산이 올바르게 구축되고 모든 시장 참여자들이 그들의 예측과 실시간 데이터를 시스템 운영자와 정시에 공유하는 것을 보장하기 위해서 그리드 코드를 개선하는 것이 필수적이다. 한국은 이미 그리드 코드를 업데이트하기 위한 상당한 단계를 밟았지만, 기술 변화와 부상하는 시스템 요구를 처리하기 위해서는 계속해서 이를 검토하고 업데이트하는 것이 중요하다.

시스템 관성이 감소하는 것은 VRE의 점유율이 높거나 VRE의 집중도가 높은 특정 지역에서 나타나기 시작하는 도전적인 과제이다. 이것에 대한 해결책은 전통적인 발전을 최소한으로 유지하거나 동기 조상기(synchronous condensers)를

설치하는 것과 같이 가장 기술적으로 성숙한 방법부터 VRE로부터 합성 관성(synthetic inertia)을 제공할 수 있는 메커니즘을 도입하거나 계통형성 방식의 인버터(grid-forming inverter)를 개발하는데 이르기까지 다양한 방법이 있다. 전 세계적으로 인버터 기반의 발전원의 보급률이 높은 시스템을 강화하기 위한 기술적 해결방식에 대한 경험이 쌓이고 있다. 재생에너지 보급 전략은 이러한 기술적 및 경제적 함의를 고려해야 한다.

장기 계획 (Long-term planning)

재생에너지의 높은 점유율과 함께 적정성과 운영 안정성을 보장하기 위해서는 더 나은 장기 계획이 필요하다. 예를 들어 부하 패턴이 일정하다고 가정하면, VRE 구축은 시스템 피크를 2034년까지 약 10 GW 증가시키는 것은 물론 저녁 시간대로 전환할 것으로 예상된다. 게다가, 비록 한국은 이미 어느 정도 확률론적 계획을 도입하였지만, 다른 요인 중에서도 기후와 관련된 극단적인 현상과 VRE와 부하의 변동성을 설명하는, 더욱 다양한 시나리오에 대한 더 상세한 분석을 도입하는 것이 도움이 될 것이다.

전력 시스템의 장기계획을 개선하는 방법의 하나는 다양한 신뢰성 지표(reliability indicator)를 사용하는 것이다. 평균 주파수, 공급되지 않는 에너지의 양, 극단적인 이벤트의 발생 빈도 등 모든 측면의 정전 위험을 설명하는 것이 중요하다. 이러한 접근법은 평균에 의존하는 방식과는 반대로 극단적인 사건을 이해하는 데 있어 중요하다.

소비자 그룹, 지역, 발생 빈도 등 정전에 경제적 영향에 대한 이해도를 높이는 것은 신뢰성 목표가 정해진 이후 시스템 투자의 방향성을 결정하는데 필요한 중요한 단계가 될 것이다. 이는 수요측의 유연성 확보를 위해 새로운 프로그램을

도입하는 것부터 공급시스템의 유연성 자원에 대한 투자에 이르기까지 정책입안자가 선택할 수 있는 다양한 수단에 대한 지표를 제공할 수 있다.

통합된 자원 계획은 전력 시스템의 발전을 조율하기 위한 매우 중요한 도구가 될 것이다. 비록 현재 어느 정도 통합이 이루어지긴 하였으나, 분산에너지자원 구축과 배전단의 개발 및 최종 소비자의 전력화에 대한 다양한 시나리오를 설명하는 보다 정교한 모델과 전통적 발전과 송전계획을 통합함으로써 더 좋은 결과를 얻을 수 있다. 이러한 계획들은 장기적으로 시스템 효율성을 개선하고 투자자들에게 확실성을 제공하면서 시장 역동성(market dynamics)을 허용하는 것을 보여줌으로써 통해 수행될 수 있다.

시장 개선 (Market improvements)

한국의 높은 수준의 전력 안보를 유지하고 강화하는 데 있어 시장 디자인을 개선하는 것은 중요한 요소이다. 이러한 개선에는 에너지 시장의 변화에 적응할 수 있는 투명하고, 공정하며, 충분히 유연한 경쟁 시장을 유지하기 위한 효과적인 규제가 필요하다. 이러한 개선은 소비자 선호의 변화와 기술적 진보 모두를 설명해야 한다.

높은 수준의 시장 디자인 개선사항은 다음을 포함한다: 시장 참여자가 데이터를 공유할 수 있는 메커니즘의 강화, 기술적 제약과 함께 희소성에 대한 가치도 반영하는 가격 결정 메커니즘 향상, 기존 온실가스 배출권 거래제 메커니즘과 도매 시장 가격 결정 방식 사이의 연결성 개선.

사이버/기후 회복 탄력성 (Cyber/climate resilience)

한국의 전력 시스템은 기후 회복탄력성과 사이버 안보 측면 모두에서 좋은 첫발을 내딛었다. 예를 들면, 전력 시스템의 장기 에너지 계획은 기후 회복 탄력성의 측면에서 향후 나타날 수 있는 충격을 완화할 수 있는 인프라에 대해 강력히 제안하고 있지만, 실은 전력 시스템 계획에 기후 적응 대책이 포함되어야 한다. 폭염, 폭우, 잦은 태풍과 같이 보다 가혹하고 극단적인 기상 현상이 더 많은 발생할 수 있음을 고려하는 것은 한국 전력 공급의 연속성을 보장하기 위해 필수적일 것이다.

사이버 안보 측면에서, 기존의 국가 안보 및 중요 인프라를 보호하고, 특히 전력 분야에 적용하고 모든 가치 사슬(value chain)을 지키는 메커니즘을 강화하는 것이 중요하다. 비록 대규모 전력 시스템에는 눈에 띄는 향상이 있었지만, 배전단 및 IoT 장치의 접속에 대한 실용적인 보안 가이드라인을 도입하는 것이 중요하다. 마지막으로 정책입안자는 사이버 안보 위협의 국제적 특성과 급격한 기술 발전 및 잠재적인 위험 모두를 인지하면서 규범적 규제방식과 유연한 규제방식 사이의 적절한 균형을 맞출 필요가 있다.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

The IEA examines the full spectrum of energy issues including oil, gas and coal supply and demand, renewable energy technologies, electricity markets, energy efficiency, access to energy, demand side management and much more. Through its work, the IEA advocates policies that will enhance the reliability, affordability and sustainability of energy in its 30 member countries, 8 association countries and beyond.

Revised version,
March 2021.
Information notice
found at: [www.iea.org/
corrections](http://www.iea.org/corrections)

Please note that this publication is subject to specific restrictions that limit its use and distribution. The terms and conditions are available online at www.iea.org/t&c/

This publication and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

IEA member countries:

Australia
Austria
Belgium
Canada
Czech Republic
Denmark
Estonia
Finland
France
Germany
Greece
Hungary
Ireland
Italy
Japan
Korea
Luxembourg
Mexico
Netherlands
New Zealand
Norway
Poland
Portugal
Slovak Republic
Spain
Sweden
Switzerland
Turkey
United Kingdom
United States

The European Commission also participates in the work of the IEA

IEA association countries:

Brazil
China
India
Indonesia
Morocco
Singapore
South Africa
Thailand



Korean translation of South Korea Electricity Security Review (Executive Summary)

While the IEA is the author of the original English version of this publication, the IEA takes no responsibility for the accuracy or completeness of this translation. This publication is translated under the sole responsibility of KEEI.

No reproduction, translation or other use of this publication, or any portion thereof, may be made without prior written permission. Applications should be sent to: rights@iea.org

This publication reflects the views of the IEA Secretariat but does not necessarily reflect those of individual IEA member countries. The IEA makes no representation or warranty, express or implied, in respect of the publication's contents (including its completeness or accuracy) and shall not be responsible for any use of, or reliance on, the publication. Unless otherwise indicated, all material presented in figures and tables is derived from IEA data and analysis.

This publication and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

Revised version, March 2021. Information notice
found at: www.iea.org/corrections

IEA. All rights reserved.
IEA Publications
International Energy Agency
Website: www.iea.org
Contact information: www.iea.org/about/contact

Typeset in France by IEA - January 2021

Cover design: IEA

Photo credits: © Shutterstock

