

# KEMRI 전력경제 REVIEW



Vol.312

이전 Review 보기

2025년 2월호

## ▶ Issue Paper

- 해외 전력수급계획 수립체계 분석 및 시사점 연구

## ▶ Research Activities

- 극한기상에 대비한 미국의 계통 신뢰도 기준 개발 현황
- 신흥시장 에너지 부문 투자 실적 및 전망

## 【 Highlight 】

### 1. 전력수급계획의 개요

- 전력수급계획은 전력수요 전망과 그에 대한 안정적인 전력공급을 위해 적정한 전력 공급설비(발전 및 전력망)를 확보하고 효율적으로 운영하기 위한 중장기 전략 계획
  - 국가 또는 전력 관련 기관들을 중심으로 10~20년간의 계획을 주기적으로 수립
- 전력수급계획은 전력공급의 안정성을 전제로, 경제성, 환경성, 정책방향 등을 반영하여 효율적이고 지속가능한 전력시스템을 구축하고, 국가 차원의 에너지 안보 강화와 기업·소비자 차원의 전력공급 및 전력시장의 예측 가능성을 높이는 데 기여

### 2. 해외 전력수급계획 수립체계

- 전력시장 전부문에서 자유경쟁체제<sup>\*</sup>인 주요국들은 규제기관 및 계통운영자가 자원계획의 수립기준, 지침, 분석모델 등을 제시하고, 사업자들이 수립한 사업·자원계획을 종합<sup>\*\*</sup>하거나 다양한 미래 시나리오기반의 중장기 수급을 전망<sup>\*\*</sup>
  - \* 전력망은 효율적인 설비투자를 위해 사업 및 관할지역의 독점권이 허용되나 요금규제를 받음
  - \*\* [종합] 美CPUC, 일본(OCCTO) / [전망] 美PJM-ISO & ERCOT, 호주(ISO), 독일(TSO)
- ISO/TSO는 종합된 자원계획 또는 수급전망에 대한 중장기 공급안전성 평가와 전력망 계획을 검토 및 수립하고, 시장제도<sup>\*</sup>를 통한 적정한 전력공급자원을 확보
  - \* 발전: 용량시장, 선도계약, 선도시장 등 / 전력망: 경쟁입찰(ISO), 직접사업(TSO, 유ти리티)
- 지역관할 유ти리티들은 정책과 규제기관의 수립기준 및 지침에 따라 다양한 수급자원과 전력망에 대한 통합자원계획을 수립하고 규제기관이 승인

### 3. 결론 및 시사점

- 해외의 통합자원계획 또는 수급전망과 전력망계획의 주요 목적은 전력시장에 투명한 정보를 제공하고 사업자들의 합리적인 계획수립 및 사업개발 지원과 미래 전력수요에 대응한 안정적인 중장기 전력공급방안을 확보하는 것
- 전력수급계획은 단순한 전력설비 확충계획을 넘어 경제·환경·정책적 요소들을 종합적으로 고려하여 지속가능한 국가 에너지시스템 구축 및 안정적인 운영을 위한 필수적인 전략으로, 다양한 이해관계자들의 사회적 합의와 수용성에 기반한 계획의 실행력 제고가 중요

# 【 목 차 】

## Issue Paper

### ■ 해외 전력수급계획 수립체계 분석 및 시사점 연구

장세환, 구자열 책임연구원

정현우, 김영욱, 백민호, 윤영, 강대영 선임연구원

I . 전력수급계획의 개요 .....	1
II . 해외 전력수급계획 수립체계 .....	2
1. 미국 .....	2
2. 호주 .....	9
3. 독일 .....	11
4. 일본 .....	14
III . 결론 및 시사점 .....	16

## Research Activities

I . 극한기상에 대비한 미국의 계통 신뢰도 기준 개발 현황 .....	18
II . 신흥시장 에너지 부문 투자 실적 및 전망 .....	22

## Research Issue : 해외 전력수급계획 수립체계 분석 및 시사점 연구

### I. 전력수급계획의 개요

- 전력수급계획은 전력수요 전망과 그에 대한 안정적인 전력공급을 위해 적정한 전력공급설비(발전 및 전력망)를 확보하고 효율적으로 운영하기 위한 중장기 전략 계획
  - 일반적으로, 국가 또는 전력 관련기관들을 중심으로 10~20년간의 계획을 주기적으로 수립
  - 전력수요 전망, 발전설비 신규 및 폐지계획, 송배전망계획, 신재생확대전략, 전기저장장치계획, 수요관리방안, 온실가스 감축·전력시장·가격 등 영향 및 개선방안 등 포함
- [필요성] 전력수급계획은 전력공급의 안정성을 전제로, 경제성, 환경성, 정책방향 등을 반영하여 효율적이고 지속가능한 전력시스템을 구축하고, 국가 차원의 에너지 안보 강화와 기업/소비자 차원의 전력공급 및 전력시장의 예측 가능성을 높이는 데 기여
  - (공급안정성 확보) 전력의 수요와 공급은 실시간으로 일치해야하는 특징이 있으며 전력설비는 수년에서 10년 이상의 건설기간이 소요되기 때문에, 장기적인 계획을 통해 미래의 수요변화에 조응하는 전력설비(발·송·배전)를 확보하는 것이 중요
    - 중장기 전력공급 부족으로 인한 경제·사회적 손실을 예방하고, 공급안정성을 지속 유지
  - (경제성/효율성 극대화) 전력공급산업은 대규모 자본 투자와 긴 회수기간이 요구되는 장기 투자사업으로, 비계획적인 발전소 및 전력망 건설 시 비효율적인 비용이 발생 하므로 종합적인 계획을 통한 적정 수준의 전력설비 투자 유도로 경제성을 제고
  - (환경성 및 정책목표 달성) 대규모 설비 구축과 자원을 사용하는 전력산업은 전통적으로 환경에 미치는 영향이 커, 탄소감축 대응 등 환경정책 달성을 중요한 역할을 수행
  - (에너지 안보 강화) 발전원의 다변화를 통해 특정 에너지 자원에 대한 의존도를 축소하고 에너지 자립도를 제고하며, 수입자원 의존도 축소를 통해 에너지 안보를 강화
  - (시장 및 기술 변화 대응) 에너지자원, 자본, 전력거래 등 시장의 변동성과 SMR, AI 등 신기술 발전에 대응하여 전력시스템의 확장성과 유연성을 확보할 수 있으며, 미래 지향적인 전력공급체계 구축 및 환경변화에 대한 능동적인 적응이 용이

## II. 해외 전력수급계획 수립체계

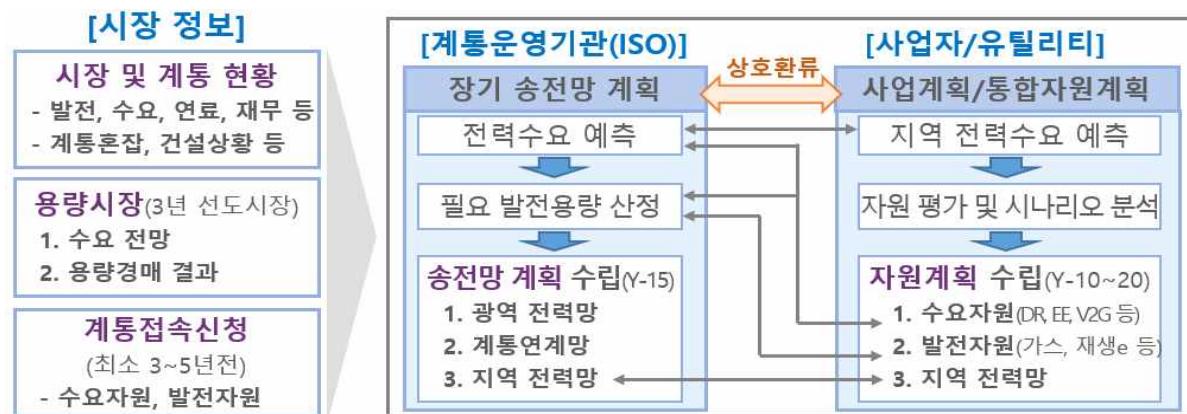
### 1. 미국

#### 1.1. 북동부 지역 州\*

\* PJM ISO/RTO가 북동부 13개 주와 워싱턴 D.C.를 관할(약 6,500만명)하는 전력시장 및 계통을 운영 ('22년 기준, 약 600개 발전사업자, 약 200개 송배전사업자, 약 200개 판매사업자 및 유ти리티 등이 참여)

- 주정부들의 상이한 규제하에 지역관할 유ти리티, 시장경쟁사업자 등 다양한 사업구조의 사업자들이 존재하는 시장환경으로, 종합정책적인 전력수급계획은 없으며 매년 수립되는 장기 송전망 계획과 사업자 계획을 중심으로 시장구성원들간의 상호보완관계를 구축하여 수급안정성을 확보
- 판매사업자들에게 공급용량 확보의무를 부여하고, 용량시장(3년 선도시장), 장기계약, 자체건설, 수요관리 등을 통한 단장기 용량확보로 전력수급과 시장 안정성을 유지

#### ■ 자원/사업계획과 송전망 계획의 환류(자체구성) ■



- 안정적이고 경제적인 전력계통 운영을 위해 필요한 송전망 보강 및 개선사항을 식별하기 위해, 매년 향후 15년간의 장기 송전망 계획\*을 수립·발표(9월)하여 시장에 정보를 제공하고 지속적인 환경변화를 계획에 반영

\* RETP(Regional Transmission Expansion Plan) : FERC Order 1000에 근거해 NERC의 신뢰도 기준(Standard TPL-001-4, 송변전설비 상정고장 시 공급신뢰도 허용범위)을 준수

- 용량시장(Y-3), 계통접속신청(Y-3~5), 사업자계획 등 시장정보와 사업자들의 사업계획 및 지역관할 유ти리티의 통합자원개발계획\*(IRP)을 종합적으로 고려하여 수립

\* Integrated Resource Plan : 발전, 수요, ESS 등 전력수급자원들의 중장기 확보 및 운영계획 (유ти리티들은 송배전 및 관련 설비까지 포함하여 수립)

- 지역관할 유틸리티들은 주별 규제기관의 규제 및 기준에 따라 주기적으로 개별적인 통합자원 계획(IRP)을 수립하며, 연계 전력계통과의 깊은 상호 연관성으로 인해 수립 과정에서 PJM ISO/RTO와의 정보 공유 및 상호환류를 통해 전체 시스템의 신뢰성과 정합성을 확보
- PJM은 시장동향, 수급상황, 발전설비의 상태 등 다양한 정보를 제공하여 전력회사들이 정확한 사업계획 및 통합자원계획을 수립할 수 있도록 지원
- 유틸리티의 IRP는 주규제기관의 승인 및 PJM의 송전망 계획과의 일관성 검토를 받음

### (1) 장기 송전망 계획(RTEP)

- 전력시장 환경을 고려해 크게 3가지 송전망 계획으로 구분하여 수립
  - (Baseline 계획) 계통신뢰도 유지를 위해 필요한 송전망 보강 및 신규 건설 계획으로, 필요 예비력 산정 결과에 기반해 수립
  - (Supplemental 계획) 특정 지역의 전력수요 변화, 신규 발전소 가동 등에 대응하기 위한 지역 유틸리티들의 자체 송전망 계획으로, PJM이 종합·검토해 송전망 계획에 반영
  - (Interconnection 계획) 신규 발전소 또는 대규모 수용자가 기존 송전망에 접속하기 위해 필요한 송전망 보강 및 신규 건설 계획으로, 계통접속신청을 모니터링하여 계획에 반영
- 다양한 시나리오에 기반한 최적 송전망 계획을 제시하고 있으며, 장기 계획의 불확실성을 최소화하기 위해 최신 데이터를 반영해 매년 수립하여 규제기관(FERC)의 승인을 받음
  - 6단계 수립절차에 따라 에너지정책, 수급 변화 등 영향요인들을 분석하고, 계통신뢰도 평가 및 경제성을 고려한 최적방안을 마련하고, 이해관계자 의견수렴 후 계획을 확정

#### ■ 송전망 계획 수립 절차 ■

구 분	주요 내용
1) 수요 예측	(데이터 수집 및 분석) 전력수요를 포함하여 다양한 예측 데이터를 수집하고 분석 (모델 개발) 미래 전력수요를 예측하기 위해 다양한 예측 모델을 개발하고 적용
2) 필요발전용량 산정	(필요량 산정) 전력 계통의 안정성을 유지하기 위해 필요한 발전 용량을 산정 (발전 용량 평가) 미래 전력 수요와 공급을 고려하여 충분한 예비력이 확보되는지 평가
3) 송전망 검토	(신뢰도 검토) 송전망의 신뢰도를 평가하고, 과부하 또는 잠재적 문제를 식별 (수용 용량 평가) 현재와 미래의 송전망 수용 용량을 평가
4) 송전망 계획 수립	(계획 수립) 식별된 문제를 해결하기 위한 송전망 보강, 신규 건설 등의 방안을 제안 (비용-편익 분석) 제안된 해결 방안의 경제적 타당성을 분석하여 최적의 방안을 선정
5) 정보공개 및 승인	(이해관계자 참여) 제안된 방안을 공개하고, 다양한 이해관계자의 의견을 수렴 및 반영 (PJM 이사회 승인) PJM 이사회의 검토와 승인을 받아 실행 계획에 포함
6) 계획 실행	(계획 실행) 승인된 송전망 건설 및 보강 계획을 실행 (모니터링 및 평가) 계획 실행 후 지속적인 모니터링 및 평가를 통해 목표 달성을 점검

## (2) 유틸리티들의 통합자원계획(IRP)

- 안정적으로 전력을 공급하고 비용효율적으로 미래 전력수요를 충족시키기 위해 주정부가 관련 법령으로 지정한 사업자들은 통합자원계획을 수립 후 주 규제기관에 제출
  - 통합자원계획 수립 주체는 주로 유틸리티들이며, 주별로 10~20년간의 장기 전력설비 계획을 2~5년 주기로 규제기관의 가이드라인에 맞춰 수립
- 주정부의 정책목표를 기초로 분산e, 전기차, 수요반응 등 에너지 신자원을 포함한 발전, 송전, 배전의 모든 설비와 자원을 고려하여 사업지역 전체의 통합적인 최적 자원개발계획을 수립
  - 다양한 에너지 자원의 비용, 가용성, 환경 영향을 종합적으로 고려

### ■ IRP 수립 절차 ■

구 분	주요 내용
1) 수요 예측	경제성장, 인구 증가, 기술 발전, 과거 전력수요 등을 고려하여 미래 전력수요를 예측
2) 자원 평가	현재와 미래의 발전 자원들을 평가하여 최적의 자원 포트폴리오를 분석
3) 시나리오 분석	다양한 경제적, 환경적 시나리오를 고려하여 자원계획을 최적화
4) 공개 검토	이해관계자와의 공개 토론 및 의견 수렴을 통해 계획을 재검토하고, 피드백을 반영
5) 계획 수립	최종 계획을 수립하고 규제 기관의 승인을 받음

## 1.2. 캘리포니아주\*

- \* 도·소매 전력거래가 자유화된 전력시장이지만, 주정부의 규제를 받는 유틸리티들과 공영 사업자의 전력공급 비중(22년 약 64%)이 높음
- 주 규제기관(CPUC\*)이 유tility 등의 사업계획·자원계획을 종합하여 수립한 통합자원계획(IRP)과 계통운영자(CAISO\*)가 매년 수립하는 송전망 계획의 수립·이행·환류 과정이 유기적으로 결합된 체계를 구축하여 중장기 수급안정성을 확보하고 정책목표(재생e 확대, 탄소감축) 이행을 추구

\* California Public Utilities Commission, California Independent System Operator

### ■ 자원 및 송전망 계획의 환류 과정 ■

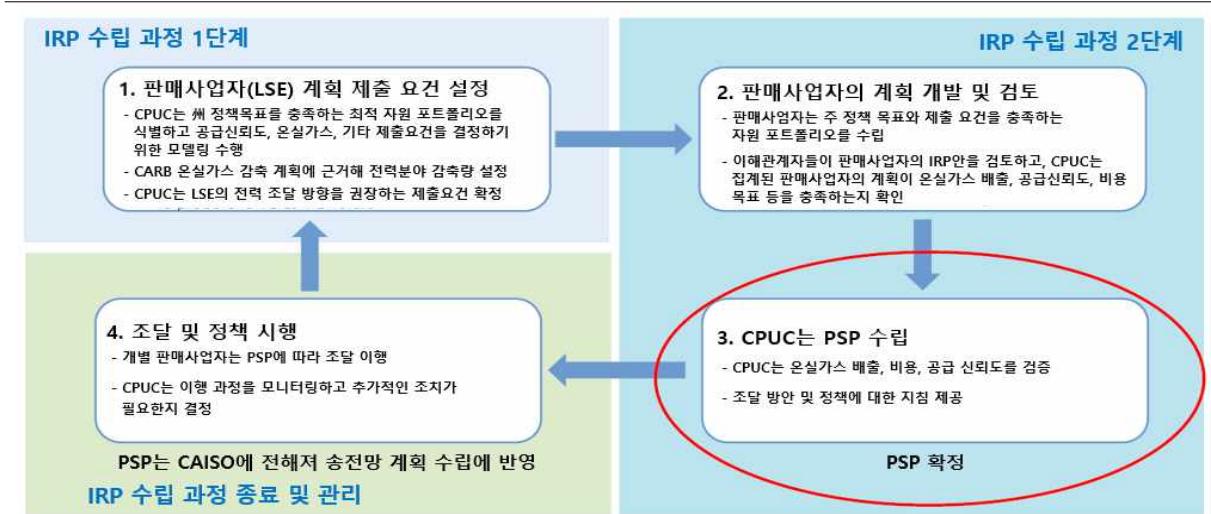


\* California Energy Commission : 에너지정책 및 장기계획 수립기관으로, 에너지수요 전망, 화력발전 사업허가, 신재생 보급촉진, 효율향상 등 업무 수행

## (1) 통합자원개발계획(IRP)

- 州 규제기관이 청정에너지 확대와 탄소배출 감축에 대한 정책목표를 적기에 이행하기 위해 통합자원개발계획(IRP)을 수립
  - (배경) '15년 SB350법을 통해 CPUC가 2년마다 IRP를 수립하도록 의무화하고, '30년까지 州 전역의 에너지효율 향상, 재생e 보급 확대, 온실가스 배출 감소에 대한 구체적 실행전략을 담도록 규정
  - (수립과정) 온실가스 감축 등 정책목표를 고려한 기준계획모델(PSP)\*을 확정하고, 기준 계획모델을 바탕으로 판매사업자들이 수립·제출한 사업계획을 종합해 우선계획\*\*을 확정
    - \* Reference System Plan : 개별 판매사업자들의 사업계획 수립에 참조할 수 있는 기본 자원 계획 모델로 CPUC가 캘리포니아 州 에너지 정책목표를 고려해 자체 개발·제공
    - \*\* Preferred System Plan : 캘리포니아 州의 미래 온실가스 감축과 공급신뢰도 유지를 최소 비용으로 달성하는데 필요한 자원 포트폴리오 구성, 조달 방법 등에 대한 계획
  - (후속과정) CPUC는 유틸리티 등 사업자들의 우선계획 이행과정을 모니터링하고 필요 시 추가 조치를 마련하여 CAISO의 송전망 계획 수립 자료로 제공

### ■ 캘리포니아 州 IRP 수립 과정 ■



- 판매사업자 및 유틸리티들은 기준계획모델, 의무·지원제도\*, 정책전망\*\* 등을 고려한 시나리오 기반 최적 자원 포트폴리오 및 조달 계획(=사업계획)을 규제기관(CPUC)에 제출
  - \* 탄소배출 규제, 재생e 지원 프로그램, 무탄소 전력판매 계획, 지역 공급용량 조달 역무 등
  - \*\* BTM 재생에너지 발전량, 전기화 영향(EV 확대, 건물 전기화), 직접 구매 고객 등

- 도매시장 및 자원구성 분석모델을 통해 시나리오별 최적 자원을 구성하고, 필요수익·온실가스 배출량·공급신뢰도, 요금영향 등을 분석하여 수립계획의 적정성 검토 후, 현재 운영·계획 중인 조달 계약과 프로그램 등을 검토하여 이행계획과 시행방안을 마련

### ■ 최적 자원 포트폴리오 분석 및 수립 과정(PG&E) ■

1단계 : 분석 전제 수립	→	2단계 : 자원 증설 추정	→	3단계 : 증설 방안 결정
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 고객 전력수요 전망</li> <li>▪ 비용정보 및 가격전망 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 가스, 배출권, LCOE 등</li> <li>- 에너지, 용량, REC 등</li> </ul> </li> <li>▪ 기준 포트폴리오 구축 <ul style="list-style-type: none"> <li>- CPUC의 RSP 모델 활용</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 시나리오 분석용 자원구성 모델 구축 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 설비 계약, 조달, 프로그램, 보유자원 정보 등 활용</li> </ul> </li> <li>▪ 추가 자원 필요량 결정 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탄소배출, RPS, 공급 신뢰도 총족 여부 검토</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 추가 자원 필요량에 대한 최적 구성 방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신규 자원 취득 비용의 최소화를 고려</li> <li>- 자원 조달 방안도 포함</li> </ul> </li> </ul>

## (2) 장기 송전망 계획

- 계통운영자(CAISO)는 에너지위원회(CEC\*)의 수요전망, CPUC의 통합자원계획 결과를 활용해 1년 단위로 장기 송전망 계획을 수립하며, 송전망 계획 결과는 판매사업자의 자원 조달, 송·배전사업자의 지역망 건설 이행 등에 반영
- (근거) FERC Order 890, 1000에 의해 송전망 계획수립 과정 개발
- (수립과정) ① 송전망 계획수립에 필요한 전망전제와 분석모델 결정(1~3월), ② 이해관계자 요구, 정책목표 등을 종합 달성할 수 있는 망 계획안 검토 및 확정(약 1년), ③ 신규 망 건설사업 공고
  - 기존 IRP의 분석 가정, 자원계획 결과 등을 1단계 전망전제 수립에 활용

### ■ CAISO의 송전망 계획 수립 과정 ■



### 1.3. 텍사스州

- 시장자유화(99)로 통합자원계획(IRP) 수립·제출은 폐지\*되고, 사업자가 자율적인 계획을 수립하고 시장 여건에 따라 조정되는 시장구조로 변화
  - \* 텍사스 내 규제를 받는 일부 지역의 관할 공영유틸리티(전체 약 8%)는 IRP를 수립  
(발전사업자 약 900개, 송배전서비스공급자 7개, 판매사업자 270개 이상 시장 참여)
- 규제기관(PUCT\*)의 감독하에 시장 및 계통운영자인 텍사스전기신뢰도위원회(ERCOT\*)가 전력공급의 안정성과 계통신뢰도 유지를 담당
- \* Public Utilities Commission of Texas, Electric Reliability Council Of Texas
- ERCOT은 수요전망, 자원적정성 평가, 송전망 계획수립의 시스템 계획(System Planning)을 수행하고, 사업자들이 전력시스템의 장기 변화와 관련 자원계획을 분석·수립할 수 있도록 데이터와 모델을 지원

#### ■ ERCOT 시스템 계획 흐름 및 세부사항 ■

시스템 계획 (System Planning)		
부하 전망 (Load Forecasting)	자원 적정성 (Resource Adequacy)	송전망 계획 (Transmission Planning)
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Near-term Forecasting<ul style="list-style-type: none"><li>- 단기 전력수요 예측(안정성)</li></ul></li><li>▪ Long-term Forecasting<ul style="list-style-type: none"><li>- 장기 전력수요 예측(확장)</li></ul></li><li>▪ Meteorology<ul style="list-style-type: none"><li>- 기상데이터 이용, 수급 변동 예측</li></ul></li><li>▪ Load Profiling<ul style="list-style-type: none"><li>- 시간대와 상황에 따른 전력 사용 패턴 분석</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Capacity, Demand, and Reserves Study<ul style="list-style-type: none"><li>- 미래 전력 수급균형 평가</li></ul></li><li>▪ Seasonal Assessment of Resource Adequacy<ul style="list-style-type: none"><li>- 계절별 자원 적정성 평가</li></ul></li><li>▪ Loss of Load Study<ul style="list-style-type: none"><li>- 전력 부족 가능성 평가</li></ul></li><li>▪ Drought Model<ul style="list-style-type: none"><li>- 가뭄의 발전자원 영향평가</li></ul></li><li>▪ Generation Availability<ul style="list-style-type: none"><li>- 발전 자원의 가용성 평가</li></ul></li><li>▪ Risk Analysis<ul style="list-style-type: none"><li>- 전력망 신뢰성 위험 분석</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Regional Transmission Plan<ul style="list-style-type: none"><li>- 지역별 송전망 보강 계획 수립</li></ul></li><li>▪ Regional Planning Group Review<ul style="list-style-type: none"><li>- 지역계획그룹의 전력망 계획 검토</li></ul></li><li>▪ Generator Interconnection Needs Review<ul style="list-style-type: none"><li>- 신규 발전기 계통접속 수요 및 송전망 영향평가</li></ul></li><li>▪ Reliability Must-Run Study<ul style="list-style-type: none"><li>- 특정 발전소 자속운영 필요성 평가</li></ul></li><li>▪ Dynamic Study<ul style="list-style-type: none"><li>- 전력망의 동적 안정성 분석</li></ul></li><li>▪ Long-Term System Assessment<ul style="list-style-type: none"><li>- 10년 이상의 장기적인 송전망 필요와 인프라 평가</li></ul></li></ul>

- (부하 전망) 단기·장기 전력수요 예측, 송전망 계획과 자원적정성 평가를 위한 핵심 데이터로 활용, 수요 변화에 따른 공급 전략 수립에 기여
- (자원적정성 평가) 발전자원의 적정 확보 여부, 미래 전력수요 충족을 위한 자원의 가용성과 배치 분석, 송전망 계획수립 데이터 활용 등

- (송전망 계획) 매년 향후 6년의 지역간 송전망 계획(RTP)과 2년마다 최대 15년의 장기 시스템 평가(LTSA)를 수행하여 송전망 필요량과 보강 계획을 수립하고 시장에 정보를 제공
  - 발전원 변동, 수요 증가 등에 따라 송전망 보강이 필요하면, ERCOT과 송전사업자들은 객관적 기준\*으로 사업 결정 및 건설
- \* ERCOT 프로토콜과 계획지침, 북미 전력신뢰도기구(NERC)의 안정성 표준에 근거
- 발전사업자들은 발전설비계획 수립 후 ERCOT에 계통접속신청을 하면 송배전사업자의 계통 영향평가 등을 거쳐 접속 승인을 받고, 망계약을 체결하여 사업을 추진

## (1) 지역간 송전망 계획(RTP)

- 전력망의 현재 상태와 발생가능한 망제약을 분석하여 송전망 인프라 개선 수요를 보고하고 향후 6년간의 망보강 계획을 매년 제시
- 주기적으로 현존·잠재적 전력망 제약사항 및 안정성을 평가하여 송전망 부족지역을 식별하고 시장에 수급 및 송전 인프라 상황을 제공

### ■ 전력망 현황 및 변화 요인('22) ■

발전	분산전원	전기차	수요증가	대규모 계통연계
발전원 변화 (화석 → 재생e, ESS)	분산전원 통합 절차 개선	전기차 부하의 영향 반영	대규모 전력수요 급증	40GW 계통연계 요청 해소 필요

- 2023~2028년 약 14조 원 규모의 10개 중요 송전망 보강 프로젝트가 완료 예정

## (2) 장기 시스템 평가(LTSA)

- [목적] 미래 송전시스템 확장을 위한 로드맵을 제공하고, 단기계획에서 고려해야 할 장기 추세를 파악하기 위해 2년 주기로 10~15년간 평가
- [근거] PUCT와 ERCOT은 공익 유틸리티 규제법(PURA 39.904(k))에 따라 송전 및 발전 용량 증가의 필요성을 조사하여 텍사스 주의회에 보고
- [과정] 분석전제 및 시나리오 개발, 수요전망, 발전설비 신규·폐지 추정, 자원의 자리적 유연성을 고려한 송전망 보강 분석 및 신뢰성을 평가

- (시나리오 개발) 경제, 규제, 에너지정책, 기상전망, 최신현황 등에 따른 변화요인을 분석하고, 입력 전제와 시나리오\*를 설정

\* 변동 요인과 시나리오 설정 과정에서 이해당사자 의견을 반영

- (수요전망) 소비변화에 따른 송전수요 파악을 위해 계량경제모델을 활용하고 다양한 불확실성을 고려하기 위해 시나리오 기반의 예측
- (발전설비 신규·폐지 분석) 신규 발전기의 설비용량, 전원유형 및 폐지 예상 발전설비를 추정하고, 자본비용, 신기술 유형, 인센티브, 풍력과 태양광 위치 및 프로파일 등의 입력 전제를 결정
- (송전망 확장 분석) 수요전망, 발전계획 등에 기반한 다양한 시나리오별 송전망 잠재 수요를 평가
  - 345kV 및 138kV 송전망의 혼잡 분석을 중심으로, 신규 전원의 유연성을 반영하여 필요 송전선로의 위치를 결정

### ■ 장기 시스템평가(22)의 주요 시나리오 및 분석가정 ■

시나리오	수요				발전			
	수요 전망	전기차	추가 대형부하	분산 태양광	재생e 인센티브	탄소 가격제	재생e 추가상한	가스가격
현재 동향	전망 업데이트	'37년까지 3,6백만대	없음	'37년까지 5.9 GW	현재계획 유지	없음	풍력 3GW, 태양광 4GW	'21년 기준값
시스템 확장 전망	상동	상동	없음	상동	'35년까지 연장	없음	상동	상동
수요 변화	상동	'37년까지 5,2백만대	16 GW	'37년까지 7.4 GW	현재계획 유지	없음	상동	상동

## 2. 호주

- 2018년\*부터 호주 에너지규제기관(AER)의 지침에 따라 호주 에너지시장운영기관(AEMO\*\*)은 미래 에너지시스템의 청사진을 제시하고, 이해관계자들의 의사결정 지원을 위해 2년마다 향후 20년간의 국가 장기 에너지 계획인 통합시스템계획(Integrated System Plan)을 수립

\* 2018년 이전까지 AEMO가 매년 향후 20년간 국가 송전망 건설계획을 수립해 왔으나, 시장 변화와 기후변화 대응을 위해 전체 시스템 관점으로 확장한 통합시스템계획 체계로 전환

\*\* Australian Energy Market Operator

- ISP는 국가전력법(NEL) 및 국가전력규칙(NER)에 근거해 정책목표를 고려한 전력시장의 에너지전환 로드맵을 제시하고, 다양한 시나리오별 전력수급 안정성 평가를 통해 시장 신호를 제공함으로써 시장메커니즘에 의해 안정적으로 공급용량 및 자원을 확보하는 것을 목적으로 함

## (1) 통합시스템계획(ISP)

- 2050년 탄소중립을 위한 에너지시스템 전환을 목표로 시나리오별 전력수급 전망, 재생e 확대, 에너지 저장시스템 및 전력망 보강, 수요관리, 탄소감축 등의 전략적 계획(Outlook)을 제시
- (과정공개) 규제기관(AER)의 지침에 따라 통합시스템계획의 신뢰를 구축하기 위해 이해관계자들과의 사전 협의를 통해 시나리오·입력데이터·가정·방법론 등을 수립하고 공개\*
  - \* 가정보고서(IASR, Input Assumptions, Scenarios and Methodology Report)를 발표
    - 이해관계자와의 협의 과정에서 제출된 다양한 문서와 세부 협의 정보도 공개
- (분석방법) 전력시스템 관련 모든 요소를 고려해 엔지니어링 분석을 시행하고, 계량경제 모델을 활용하여 시나리오별 국가 차원의 최적개발경로(Optimal Development Path)를 수립
  - 5개 시나리오를 상정하고, 시나리오별 계통신뢰도를 평가하고 태양광, 풍력, 에너지 저장장치, 송전망 등의 신규 필요 용량 및 계획을 제시

### ■ 통합시스템계획의 주요 시나리오 ■

구분	시나리오	설명
1	Central	현재까지 발표된 연방 및 주정부 정책을 반영한 시나리오
2	Slow Change	기술비용감소 둔화, 탄소감축 동기 저하 등으로 느려진 에너지전환 시나리오
3	High DER	기술 진보와 분산e 비용 감소로 빠른 소비자 주도형 전환을 가정한 시나리오
4	Fast Change	대규모 기술 진보와 정책 지원으로 기술 주도의 빠른 에너지전환 시나리오
5	Step Change	소비자 및 기술 주도 에너지전환에 따른 급속한 탄소감축 및 인프라 확충 시나리오

- 송전망 강화 시나리오를 수립하고 향후 몇 년 내 실행 가능한 프로젝트 및 비용·기간 등에 대한 정보도 함께 제시

### ■ 송전망 강화 시나리오 ■

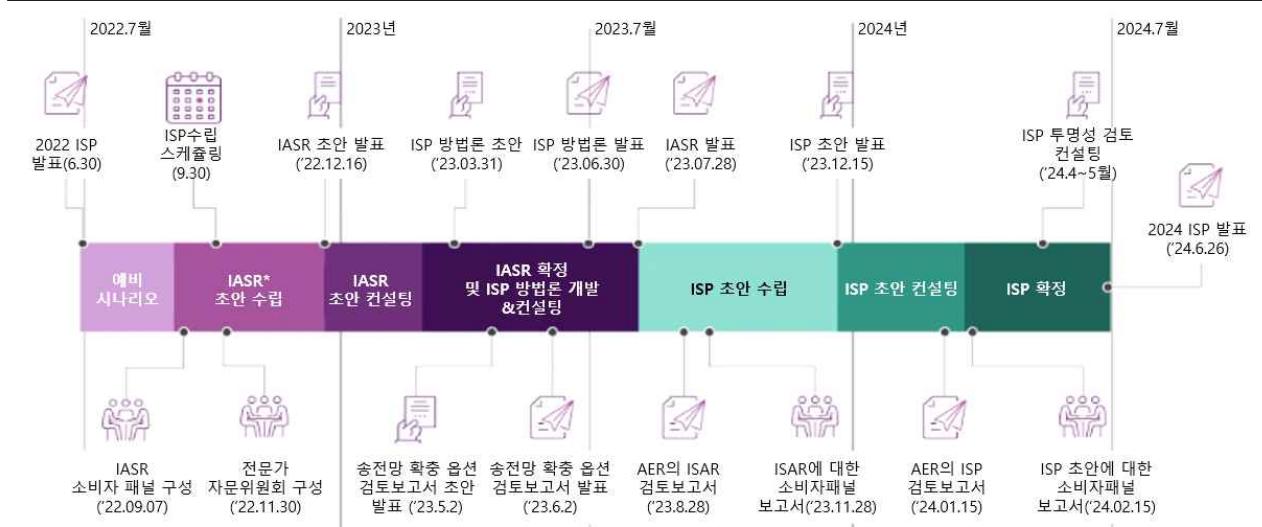
시나리오	내용
1	기존 자원의 경제적 활용을 극대화하기 위한 단기 건설
2	지역 간 거래를 강화하고, 저장 시설에 대한 접근성을 제공하며, 재생에너지 구역(REZ)의 광범위한 개발을 지원하기 위한 중기적 개발
3	재생에너지 구역(REZ)과 시스템 안정성, 에너지 안보 등을 강화하기 위한 장기적 개발

- (자료검증) AEMO는 전기요금 영향, ISP의 세부 주제별 적정성 평가 등에 대하여 독립된 제 3자를 통한 참고용\* 분석보고서를 발간

\* 독립적인 연구 결과를 인정하지만, 시장운영자의 견해가 아님을 명시

- 자발적 온실가스 감축목표(2030년까지 2005년 배출량 대비 26~28% 감축) 달성 검토

## ■ 통합시스템계획(ISP) 수립 과정(2022.7~2024.6) ■



### 3. 독일

- 도·소매경쟁이 자유화된 전력시장으로, 연방 네트워크청(BNetzA)의 규제하에 4개로 구분된 지역을 관할하는 계통소유·운영자(TSO\*)가 안정적인 전력망 운영을 위한 전력망 보강의 필요 지점 및 필요량 산정을 최종 목표로 통합계획을 수립

\* Transmission System Operator(50Hertz, Amprion, TenneT, TransnetBW) : 송전망을 소유하면서, 계통운영, 송전계획, 전력시장 관련 정책개발 지원, 신재생 부과금 관리수탁자 등의 역할을 담당

- (법적근거) 전기·가스공급법(EnWG, 12a조)에 따라 TSO는 시나리오 프레임워크 및 네트워크 개발 계획을 2년 주기로 규제기관에 제출
- (시나리오 프레임워크) 4개 TSO가 협력하여 수립하며, 법으로 규정된 정부 계획을 충족시키기 위한 합리적인 전원구성 시나리오를 수립 및 제시할 뿐 강제력은 없음
- (네트워크 개발계획) TSO는 시나리오 프레임워크를 기반으로 향후 15년간 전력망 보강 및 신규 건설이 필요할 곳에 대한 개발계획을 수립
- (연방요구사항계획) 규제기관이 신규 망건설 프로젝트의 시작과 끝 지점을 의회에 제안하고, 프로젝트 시행 근거 및 관련 법안 입법
- (연방계획 승인) 계획이 의회를 통과한 후 TSO와 규제기관은 망 건설의 세부 경로를 지정하며, 규제기관(BNetzA)이 주변환경 영향을 최종 검토한 후 승인

## ■ 독일 통합계획 및 전력망 보강 절차 ■



### (1) 시나리오 프레임워크

- 정부의 중장기 정책목표\* 달성을 고려하여 향후 15년간 전원믹스 및 발전량에 대해 최소 3가지 시나리오를 수립해야 하며, 탄소중립 달성을 목표 시기인 2045년의 수요와 전원믹스를 별도로 제시

\* 독일은 2045년까지 기후 중립(기후보호법(KSG)) 및 해상풍력 용량 70GW(해상풍력 에너지 법(WindSeeG)) 달성, 2038년까지 석탄발전소 완전 폐지(석탄발전 종료법(KVGB)), 2030년까지 재생에너지 발전량 80% 달성을 등의 정책목표를 제시함

- (산정과정) 지역·부문별 수요와 공급이 고려되며 추정 과정 및 근거가 별도의 방법론 문서를 통해 투명하게 공개

- 수요전망: 인구, 지역별 소득, 가구 수, 산업별 특성, 자가용 수, 허가된 데이터센터 /수전해 프로젝트 등을 고려해 경로·부문·지역별로 산정
- 공급전망: 지역별 발전소 데이터는 승인된 프로젝트와 관련 연구를 바탕으로 추정

- (대중참여) 이해관계자와 대중들의 공식적인 의견 제시 기회가 제공되며, 수립기관은 수렴된 의견에 대해 별도의 문서를 통해 답변을 제공

- (수립결과) 탄소중립 달성을 위한 수소, 전력수요, 재생에너지 수준에 따른 3가지 시나리오를 제시

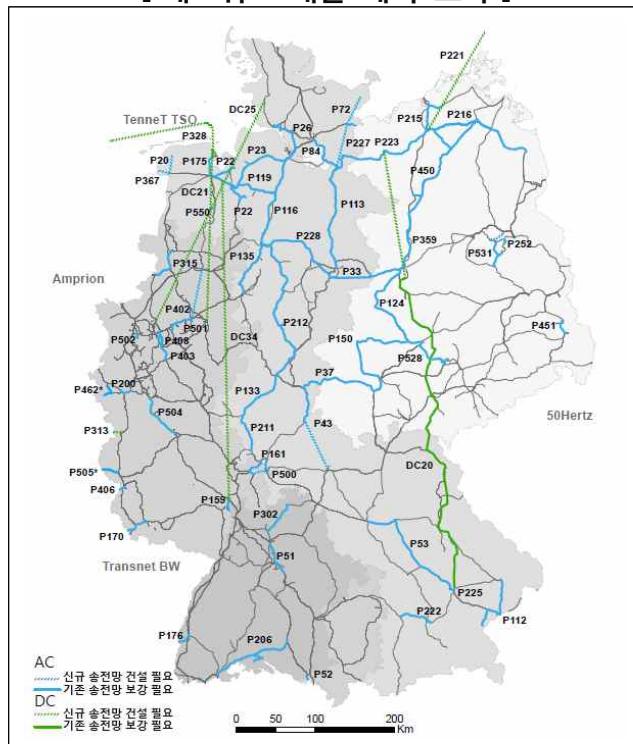
### ■ 2037년 시나리오별 무탄소에너지원 비중 비교 ■



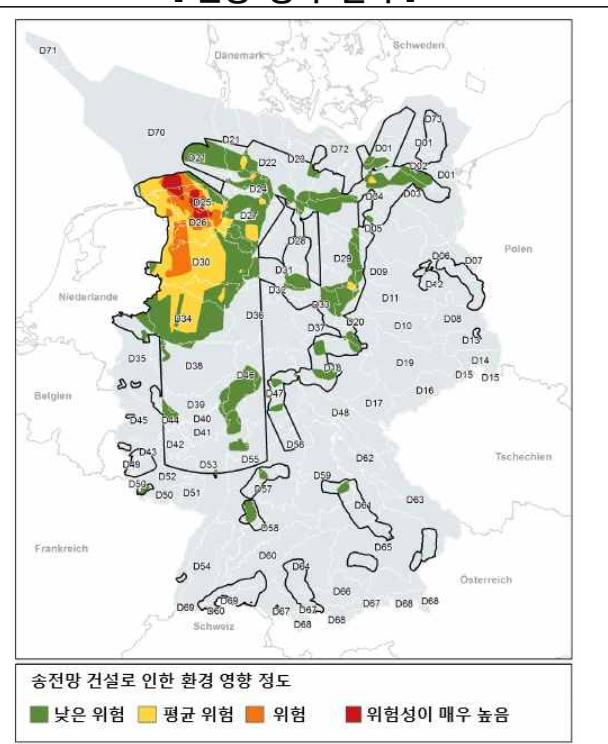
## (2) 네트워크 개발계획

- 시나리오 프레임워크를 기반으로 향후 15년간 전력망 보강 및 신규 건설이 필요할 것으로 예상되는 곳을 추정하여 송전망 계획을 수립
    - 지역별 전력수요 및 공급 전망을 바탕으로 전력시장 시뮬레이션과 계통안정도 분석을 통해 송전망 필요량을 산정하고 환경평가 결과와 함께 연방 요구사항 계획을 규제기관에 제안
    - EU의 전력비용 절감 및 재생에너지 통합을 위해 국가간 연계선로, 거래 용량\* 등을 고려

## | 네트워크 개발 계획 요약 |



## | 환경 평가 결과 |



- 이후, 규제기관은 건설이 필요한 프로젝트를 연방의회에 제출하고, 의회는 이를 고려하여 프로젝트 건설의 근거가 될 법안을 제정
    - 법안이 통과된 이후 환경 영향 평가를 고려하여 건설 프로젝트의 구체적인 경로가 제안되고, 연방정부의 대규모 인프라 건설 승인 및 건설 절차에 따라 프로젝트가 추진

## 4. 일본

- 전력광역운영추진기관(OCCTO)<sup>\*</sup>은 매년 사업자들의 사업계획을 바탕으로 단장기 수요전망 및 공급 계획을 포함하는 전력수급 및 송배전망 계획을 발표하고, 5년마다 광역연계계통 마스터플랜을 수립

\* Organization for Cross-regional Coordination of Transmission Operators) : 전국적 수급과 계통운영 감시, 용량시장 운영, 필요시 급전지시, 계통접속 및 연계선 이용관리, 계통보강 및 송배전망이용규칙 검토, 공급계획 및 광역연계계통 마스터플랜 수립 등 수행

- OCCTO는 모든 전기사업자들의 사업계획을 종합하여 개선·권고사항을 포함한 「공급 계획」을 경제산업성에 신고하고 공표
- 관련 법령 및 규정에 따라 개별적으로 수립되는 지역별 일반 송배전망 사업자의 사업계획을 참고하여 전체 계획에 활용

### | 전력광역운영추진기관(OCCTO)의 업무와 이해관계자 간 관계 |



### (1) 수요전망 및 공급계획

- [목적] OCCTO는 단·장기 전국 및 공급지역별 수급균형을 일원적으로 파악하고 평가하기 위해 사업자들의 수급 관련 정보를 종합 및 검토
  - 전기사업법에 따라 1,902개('24. 3월 기준)의 모든 전기사업자는 매년 자신의 개별 사업계획을 제출해야 함
  - 경제산업성은 안정적인 전력공급의 관점에서 OCCTO의 의견을 토대로 전기사업자의 공급계획 변경 권고 가능
- [근거] 전기사업법 제29조(공급계획) 및 업무규정 제23조(수요전망)
- [절차] 전기사업자로부터 수급 실적 및 전망 정보를 수집(당해 3월까지)하여 매년 4월 1일에 공급계획을 공표

- (수요전망) 일반송배전사업자가 제출하고, OCTTO는 전망방법론, 전망치 등을 검토해 종합
- (공급계획) 모든 전기사업자가 제출하고, OCCTO는 취합된 정보를 종합하고 공급안정성 관련 검토·조치 의견을 더해 경제산업성에 제출
- [주요 내용] 전기사업법 시행규칙에 따라 수급전망, 전원구성 등 제시
  - (수급전망) 전국 및 각 지역별 과거 실적과 향후 10년간의 연도별 수요 전망, 공급 능력 전망, 수급밸런스 검토 등
  - (전원구성) 사업자의 전원개발 및 폐지 계획을 토대로 전국 단위의 전원구성 변화를 종합
  - (광역운영) 향후 1년간의 지역간 전력거래 계획, 전기사업자별(소매사업자, 발전사업자 등) ·지역별·규모별 현황, 소매사업자가 확보한 공급력(계약전력) 추이 등을 종합·검토
  - (송배전망정비) 송배전사업자의 주요 송전선 및 변전소 정비계획, 설비 노후화 대책 등

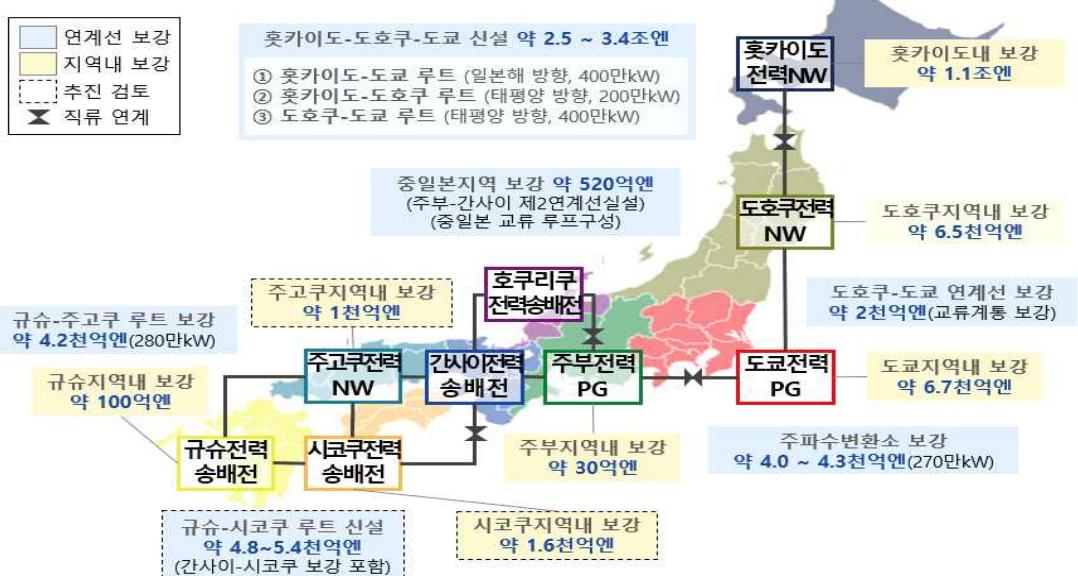
## (2) 광역계통 장기방침(광역연계계통 마스터플랜) 및 광역계통 정비계획

- [목적] '50년 탄소중립을 실현하고 재생에너지를 주력 전원화하기 위하여 미래 광역연계계통\*에 대한 장기 전망과 세부 대책을 마련
  - \* ① 사업자 공급지역 간 연계선(250kV 이상 송전선 및 교류직류 변환설비)
  - ② 공급지역 내 기간송전선(최상위 전압 2계급, 지역별로 상이)
  - ③ 공급지역 내 최상위 전압 2계급의 모선, 이를 연계하는 변압기
- [근거] 전기사업법 제28조(광역계통 정비계획), 업무규정 제48조(광역계통 장기방침의 책정), 업무규정 제50조(광역계통 정비계획)
- [기간/주기] 「광역계통 장기방침」은 10년 이상의 기간을 대상으로 5년 주기 또는 필요시 수립하고, 「광역계통 정비계획」은 개별 공사 안건에 대해 필요시 수립
- [절차] 국가의 중장기 정책방향(에너지기본계획, 에너지믹스 등)을 참조하여 OCCTO의 “마스터 플랜검토위원회”에서 수립
  - 관련 제도(계통혼잡 관리, 설비경년화 대책 등)와 공급계획 등에 의한 계통평가를 동시 검토
  - 개별 공사 안건에 대해 국가, OCCTO, 일반송배전사업자의 안건 제기 및 요청이 있을 경우 OCCTO가 「정비계획」을 수립

- [주요 내용] '23년 계획에서 재생에너지 주력 전원화와 전력망 강화를 위해 지역간 연계선 및 기간계통 보강에 7조엔 규모의 투자가 필요할 것으로 전망

○ 이전에는 계통접속 신청에 대응하는 수동적 계획(Pull형)이었으나, 전기사업법 개정 후 ('20.6월) 지역별 에너지 잠재성을 고려한 계획적·선제적 계통 정비(Push형)로 전환

### I '23년 광역계통 장기방침(Base 시나리오 기준)



### III. 결론 및 시사점

- 글로벌 탄소중립 이행, 지정학적 위협 및 에너지 위기에 대한 에너지 안보 확립, 반도체·AI·데이터센터 등 전력집약적 첨단산업의 우위선점 경쟁 등의 거시환경변화에 대응하고, 중장기 전력수급의 안정성과 경제성 및 환경성을 제고하기 위한 전력수급계획에 대한 관심이 증대
- 국내 전력수급기본계획과 같은 해외의 통합자원계획 또는 수급전망과 전력망계획은 전력시장에 투명한 정보를 제공하고 사업자들의 합리적인 계획수립 및 사업개발 지원과 미래 전력수요에 대응한 안정적인 중장기 전력공급방안을 확보하는 것이 주요한 목적
- 전력수급계획은 단순한 전력설비 확충계획을 넘어 경제·환경·정책적 요소들을 종합적으로 고려하여 지속 가능한 국가 에너지시스템 구축 및 안정적인 운영을 위한 필수적인 전략으로, 다양한 이해관계자들의 사회적 합의와 합리적인 거버넌스에 기반한 계획의 실행력 제고가 중요
- 국내 전력수급계획의 사회적 신뢰성과 수용성을 제고하기 위해서는 다양한 시나리오기반의 전망(Outlook) 체계, 계획수립의 중립성 및 개방성 강화, 계획수립 절차 및 방법론의 규정화 및 투명성 제고 등 다양한 측면에서의 개선방향에 대한 검토가 필요

## 【참고문헌】

- ▶ 일본, 전기사업법 및 하위법령, 2024
- ▶ 전력거래소, 2017년 해외 전력산업 동향, 미국 ERCOT, 2017
- ▶ AEMO, 2024 Integrated System Plan, 2024.6.
- ▶ AEMO, ISP Methodology, 2023.6.
- ▶ Bundesnetzagentur, Genehmigung des Szenariorahmens 2023-2037/2045, 2022.7.
- ▶ CAISO, 2023-2024 Transmission Plan, 2024.5
- ▶ CPUC, IRP Proposed 2023 PSP and 2024-2025 TP Process Portfolios Analysis, 2023.10
- ▶ Duke Energy, Ten-year Site Plan, 2023
- ▶ EPRI, A Survey of Global Electric System Resource Planning Approaches to Achieve Decarbonization, 2023
- ▶ ERCOT, Strategic Plan 2024-2028, 2024
- ▶ ERCOT, Item 5: CEO Board Update, 2024
- ▶ ERCOT, Long-Term System Assessment for the ERCOT Region, 2022
- ▶ LBNL, THE FUTURE OF ELECTRICITY RESOURCE PLANNING, 2016
- ▶ NEP, Netzentwicklungsplan Strom 2035, Version 2021, 2022.2
- ▶ OCCTO, 업무규정 및 광역계통 장기 전망, 2023
- ▶ PJM, Regional Transmission Expansion Plan(RTEP), 2024
- ▶ PJM, Manual 14B, 2024
- ▶ PG&E, 2020 Integrated Resource Plan, 2020.9
- ▶ PG&E, 2023 Corporate Sustainability Report, 2023
- ▶ RFF, Experience with Competitive Procurements and Centralized Resource Planning to Advance Clean Electricity, 2021
- ▶ USAID, Best Practices in Electric Utility IRP, 2018

작성자 : 한전 경영연구원 장세환 책임연구원  
구자열 책임연구원  
정현우 선임연구원  
김영욱 선임연구원  
백민호 선임연구원  
윤영 선임연구원  
강대영 선임연구원

## Research Activities I : 극한기상에 대비한 미국의 계통 신뢰도 기준 개발 현황

**자료1** Transmission System Planning Performance Requirements for Extreme Weather [Docket No. RM 22-10-000; Order No. 896] (FERC, 2023.6)

**자료2** Petition of the North American Electric Reliability Corporation for Approval of Proposed Reliability Standard TPL-008-1 (NERC, 2024.12)

- ※ 극한기상(Extreme Weather)은 기온, 강수량 등이 평년값을 크게 벗어나 일정 기준값보다 높거나 낮게 나타나는 현상을 의미하며, 폭염, 한파, 폭우, 폭설 등이 대표적인 극한기상 현상임
- ※ 계통 신뢰도(Reliability)는 전력계통을 구성하는 설비 및 운영체계 등이 주어진 조건에서 의도된 기능을 적정하게 수행할 수 있는 정도로 정의되며, 계통 신뢰도 기준은 일정 수준 이상의 계통 신뢰도를 확보하기 위해 지켜야 할 세부 규정 및 운영 절차를 의미함

### 1 극한기상에 대비한 계통 신뢰도 기준 개발 필요성

- 지난 수년간 미국에서는 정전을 일으키거나 계통 신뢰도를 위협하는 극한기상 현상이 여러 차례 발생함
  - 2021년 이후 7회 이상의 극한기상 현상이 발생하였으며, 크고 작은 정전으로 이어짐
  - 특히 2021년 한파(30년 만의 최저 기온)로 인해 발생했던 텍사스 대규모 정전<sup>\*</sup> 사태(정전 가구 450만 호, 사망 151명, 피해 금액 1,956억 달러)로 인해 미국 내 기상이변 대응 필요성 증대
    - \* 예상치 못한 한파에 대한 방한 대책의 부재와 난방 수요의 급격한 증가가 원인으로 지목됨
- 기후변화로 인해 극한기상 현상 발생 빈도와 그에 따른 피해 규모가 계속 증가할 것으로 예상되므로 이를 고려한 송전망 계획의 수립 필요성이 대두됨
  - 극한기상에 대응할 수 있는 새로운 송변전설비 확충 기준 마련과 규제 필요성이 제기됨
- 이에 따라 FERC<sup>1)</sup>는 장기 송전망 계획 수립 시 극한기상 현상이 전력계통에 미치는 영향을 반영하기 위해 NERC<sup>2)</sup>에 기존의 계통 신뢰도 기준을 개선하거나, 새로운 계통 신뢰도 기준을 개발할 것을 지시(Order 896, 2023년 6월)
  - 송전망 계획 수립과 관련한 계통 신뢰도 기준은 총 7개(TPL-001~007)가 있었으나, 신뢰도 기준의 중복 회피 및 효율성 제고를 위해 TPL-002~006는 TPL-001에 통합됨
  - 현재 두 가지(TPL-001-5.1\*, TPL-007-4) 계통 신뢰도 기준이 시행되고 있음
    - \* ① TPL은 Transmission Planning의 약자, ② 001은 기준의 순번, ③ 5.1은 개정 버전을 나타냄

1) Federal Energy Regulatory Commission : 연방 에너지규제위원회

2) North American Electric Reliability Corporation : 북미 전력신뢰도기구

## | 미국 송전망 계획 수립과 관련한 계통 신뢰도 기준 현황 |

구분	내용	상태
TPL-001-5.1	송변전설비 상정 고장 시 계통 신뢰도 기준	시행 중
TPL-002-2b	송변전설비 단일 고장 시 계통 신뢰도 기준	TPL-001 통합
TPL-003-2b	송변전설비 다중 고장 시 계통 신뢰도 기준	TPL-001 통합
TPL-004-2a	자연재해, 테러 등 극단적 상황에 대비한 계통 신뢰도 기준	TPL-001 통합
TPL-005-0	지역 간 계통 신뢰도 평가 기준	TPL-001 통합
TPL-006-0.1	계통 신뢰도 평가를 위해 필요한 데이터 제공 및 관리 기준	TPL-001 통합
TPL-007-4	지자기 교란에 대비한 계통 신뢰도 기준	시행 중

- 개선 또는 새롭게 개발되는 계통 신뢰도 기준에는 “① 극한기상 현상 발생 시나리오 개발, ② 극한기상 현상 발생 시 계통영향 분석, ③ 전력계통 안정도 확보 실패 시 시정조치 계획 수립”에 대한 내용이 포함되어야 함

## | FERC Order 896 주요 내용 |

구 분	내 용
① 극한기상 현상 발생 시나리오 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>과거 주요 극한기상 현상 발생 사례(2021년 텍사스 한파 등)와 미래 기상 예측 데이터를 기반으로 극한기상 현상 발생 시나리오를 개발해야 함</li> <li>변화하는 기상 패턴을 반영하기 위해 극한기상 현상 발생 시나리오는 5년마다 업데이트해야 함</li> </ul>
② 극한기상 현상 발생 시 계통 영향 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>정상상태, 과도상태 조건에서의 계통 영향 분석을 수행하여 발전설비와 송변전 설비 등이 극한기상 현상 발생 조건에서도 안정도를 유지할 수 있는지를 평가</li> <li>극한기상 현상이 광범위하게 발생하는 점을 고려하여 광역(인접 지역까지 고려한) 계통영향 분석을 수행해야 함</li> </ul>
③ 전력 계통 안정도 확보 실패 시 시정조치 계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> <li>계통영향 분석 결과, 극한기상 현상 발생 시 전력계통의 안정도가 확보되지 않는 경우 이를 완화하기 위한 구체적인 방안을 마련해야 하며, 규제기관이나 규제 당국에 해당 내용을 신속하게 보고해야 함</li> <li>시정조치 계획에는 실행 절차와 단계적 대응 방안이 포함되어야 하며, 문제 해결을 위한 일정과 자원 배치 등을 명확하게 기술해야 함</li> </ul>

- Order 896에는 NERC가 Order 896 규정 발효일로부터 18개월 이내(2024년 12월까지)에 새로운 계통 신뢰도 기준을 FERC에 제출해야 한다는 내용이 명시됨

## 2 극한기상에 대비한 계통 신뢰도 기준 개발 현황

- NERC는 FERC의 지시 사항(Order 896)을 이행하고, 극한기상에 대비하기 위해 새로운 계통 신뢰도 기준 “TPL-008-1”을 개발\*(2024년 12월)

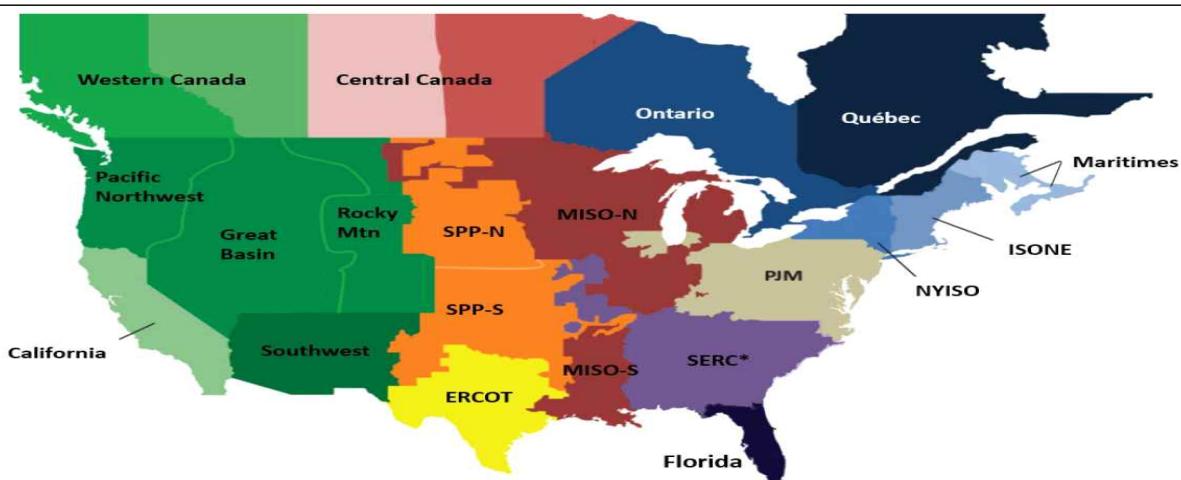
\* DOE(미국 에너지부), NOAA(미국 해양대기청), EPRI(미국 전력연구소) 등 다양한 정부 부처 및 연구기관과의 협업을 통해 추진

- NERC는 기존 계통 신뢰도 기준(TPL-001-5.1)을 개선하는 방식이 아닌 새로운 계통 신뢰도 기준(TPL-008-1)을 만드는 것이 효과적이라고 판단함
  - TPL-001-5.1은 일반적인 상황(상정사고)을 다루는 것으로, 특수한 상황(극한기상) 포함 시 복잡성이 증가하여 기존 계통 신뢰도 기준의 명확성과 실효성이 훼손될 것으로 우려
  - 따라서 기존 계통 신뢰도 기준의 구조와 범위를 유지하고, 극한기상 조건만을 전담하는 별도의 계통 신뢰도 기준을 추가하기로 결정
- TPL-001-5.1이 상정사고 발생 시 지장 범위 및 가용 조치에 대한 명확한 허용/불허 기준을 다루고 있다면, TPL-008-1은 기상이변 발생에 대비한 계통영향 분석과 대응 계획 수립을 요구하고 관련 지침을 제시한다는 점에서 차이 존재

□ TPL-008-1은 폭염, 한파 등 극한기상 현상이 발생해도 안정적으로 운영이 가능한 전력계통의 구축을 위해 11가지 요구사항을 포함하고 있음

- NERC는 북미 지역을 20개 구역으로 세분화<sup>\*</sup>하여 각 지역이 실제로 직면할 수 있는 기상 이벤트와 계통 취약성을 식별·분석하고, 이에 대한 대응 방안을 마련하도록 규정함
  - \* 극한기상이 발생하는 양상과 계통에 미치는 영향은 지역별 편차가 크므로 지역 구분 필요
- 구역 세분화 시 기후 및 기상 패턴의 유사성, 전력시장(RTO/ISO, 수직통합 유틸리티 등) 관리 영역, 지역 간 연계 송전선로 존재 여부, 이해관계자의 피드백 등을 종합적으로 고려

■ TPL-008-1 적용을 위한 구역 세분화 ■



□ FERC 이사회의 승인이 완료되면 TPL-008-1이 공식적으로 시행될 예정이며, 각각의 요구사항(R1~R11)은 단계적으로 발효될 계획

- R1은 FERC 승인일로부터 12개월 이내, R2~R6은 24개월 이내, R7~R11은 48개월 이내에 발효될 예정
- 송전망 운영기관은 각 요구사항의 발효일 전까지 요구사항에 대한 준비를 완료해야 함

## | TPL-008-1 주요 내용 |

구분	내용
R1. 책임 명시	<p>송전망 운영기관<sup>*</sup>은 5년마다 폭염, 한파 등 극한기상이 전력계통에 미치는 영향을 분석해야 하며, R2~R11 각각에 대한 송전망 운영기관의 책임을 명시해야 함            * RTO/ISO, 수직통합 유틸리티 등</p>
R2. 극한기상 사건 식별	<p>송전망 운영기관은 망 사업자 및 전력 유틸리티와 협력하여 지역<sup>*</sup> 내 극한기상 사건을 식별해야 함(폭염 및 한파 사건을 각각 1개씩 선정)            * 규정에서는 미국 전역을 20개 구역으로 세분화 함            - 최근 5년 이내의 데이터를 사용하고, 최소 40년 이상의 기온 데이터 고려            - 해당 지역 내 3일간의 평균 최고 기온과 평균 최저 기온을 기준으로 가장 극단적인 극한기상 사건 20가지 중 하나를 선택</p>
R3. 극한기상 발생 시나리오 개발 프로세스 마련	<p>송전망 운영기관은 망 사업자 및 전력 유틸리티와 협력하여 극한기상 현상 발생 시나리오를 개발하기 위한 프로세스를 마련해야 함            - 장기 송전망 계획 수립을 위한 시스템 모델 선정(계통 모의 프로그램 등), 계절 및 기온에 영향을 받는 지역 데이터(발전량, 수요, 송전량 등) 예측, 민감도 분석을 위한 조건 식별 등</p>
R4. 극한기상 현상 발생 시나리오 개발	<p>송전망 운영기관은 R3에서 설정된 프로세스를 바탕으로 극한기상 현상 발생 시나리오와 민감도 분석 시나리오를 개발해야 함            - 폭염 및 한파에 대한 기준 시나리오와 민감도 분석 시나리오 개발(총 4개)</p>
R5. 계통영향 분석	<p>송전망 운영기관은 R4에서 개발된 시나리오를 반영하여 정상상태 및 과도상태에서의 전력계통 안정도를 분석해야 함            - 전력계통이 정상적으로 운영될 때 유지해야 하는 전압 한계와 사고 시 허용할 수 있는 전압 변화 한계를 설정<sup>*</sup>해야 하며, 설정된 기준에 기반하여 극한기상 현상 발생 시 전압 변화 결과와 비교하여 전력계통의 안정도를 분석            * 전압 한계 기준은 송전망 운영기관이 자체적으로 설정하여 분석하도록 명시</p>
R6. 분석 결과 문서화	<p>송전망 운영기관은 계통영향 분석 결과에 대한 데이터를 체계적으로 관리하고, 문서화해야 함            - 데이터는 정확성과 일관성을 확보해야 하며, 규제기관의 요구에 부합해야 함</p>
R7. 시정 조치 계획 수립	<p>계통영향을 분석한 결과, 극한기상 현상 발생 시 전력계통의 안정도가 확보되지 않는 경우 송전망 운영기관은 이를 완화하기 위한 시정 조치 계획을 수립해야 함            - 시정 조치 계획에는 문제 해결을 위한 구체적인 단계와 일정이 포함되어야 함</p>
R8. 시정 조치 계획 시행	<p>수립된 시정 조치 계획은 적시에 실행되어야 하며, 송전망 운영기관은 계획의 진행 상황과 결과를 지속적으로 모니터링하고 기록해야 함</p>
R9. 정보 공유	<p>송전망 운영기관은 계통영향 분석, 시정 조치 계획 등에 대한 주요 정보를 망 사업자, 전력 유틸리티 등 모든 이해관계자에게 공유해야 함</p>
R10. 주기적 검토	<p>송전망 운영기관은 5년마다 계통영향 분석 및 시정 조치 계획의 효과를 검토하고, 필요한 경우 이를 개선해야 함</p>
R11. 결과 보고	<p>송전망 운영기관은 계통영향 분석, 시정 조치 계획 등에 대한 주요 결과를 규제 기관에 보고해야 함            - 규제기관의 요청 시 추가 정보를 제공해야 함</p>

작성자 : 한전 경영연구원 정현우 선임연구원

## Research Activities II : 신흥시장 에너지 부문 투자 실적 및 전망

자료 Emerging Markets Energy Investment Outlook 2024 (BNEF, 2024.11)

### 1 글로벌 에너지 부문 투자 실적

- 2023년 신흥시장\*의 에너지 부문(수요+공급)에 대한 평균 투자 규모는 2.3조 달러(약 2,988조 원\*\*)로 2020년 1.8조 달러(약 2,338조 원) 대비 28% 증가하여, 동기간 고소득 국가의 증가율 8%(2020년 2.6조 달러 → 2023년 2.8조 달러)보다 높게 나타남

\* 신흥시장 : World Bank의 국가별 소득 기준으로 고소득 국가를 제외한 저소득 및 중간소득 국가(중국, 브라질, 인도, 인도네시아, 베트남, 중동 및 북아프리카 국가 등)가 이에 해당. 본문에서는 신흥시장을 다시 중국과 중국을 제외한 나머지 기타 신흥국으로 구분함

- \*\* 원-달러 환율은 BNEF 보고서의 실적/전망 구분 시점인 2023.12.31을 기준(1,299원/달러)으로 함
- 2020~2023년 에너지 부문에 대한 투자의 연평균 증가율(CAGR)\*은 중국을 제외한 기타 신흥국(7%), 중국(6%), 고소득 국가(2%) 순   \* CAGR : Compound Annual Growth Rate

- 중국과 고소득 국가가 저탄소 부문\*에 대한 투자를 주도하였으며, 특히 중국은 2023년 처음으로 총투자액의 절반 이상(52%)을 저탄소 부문에 투자

\* 저탄소 부문 : 재생에너지, 원자력, 수소, 탄소 포집 및 저장(CCS), 에너지저장장치(ESS) 등 공급 측면의 기술과 전기차, 히트펌프 등 수요 측면의 기술을 모두 포함

- 중국과 고소득 국가는 재생에너지와 전기차를 중심으로 저탄소 부문의 투자를 확대

- 중국을 제외한 기타 신흥국은 2023년 에너지 부문에 평균 1.1조 달러(약 1,429조 원)를 투자했으나 여전히 화석연료에 대한 투자가 대부분을 차지(82%)

■ 2020~2023년 글로벌 연간 에너지 부문 투자 규모 ■



## 2 에너지 부문의 수요측 지출 전망

### BNEF의 전망 분석 시나리오

- Net Zero Scenario(NZS) : 21세기 중반까지 넷제로 목표를 달성하고 지구 온난화 수준을 21세기 말까지 산업화 이후  $1.75^{\circ}\text{C}$  이하로 억제하는 시나리오
- Economic Transition Scenario(ETS) : 에너지 부문이 기술-경제적 트렌드에 따라 최소 비용으로 진보하며, 21세기 말까지 온난화 수준을  $2.6^{\circ}\text{C}$ 로 유지하는 시나리오

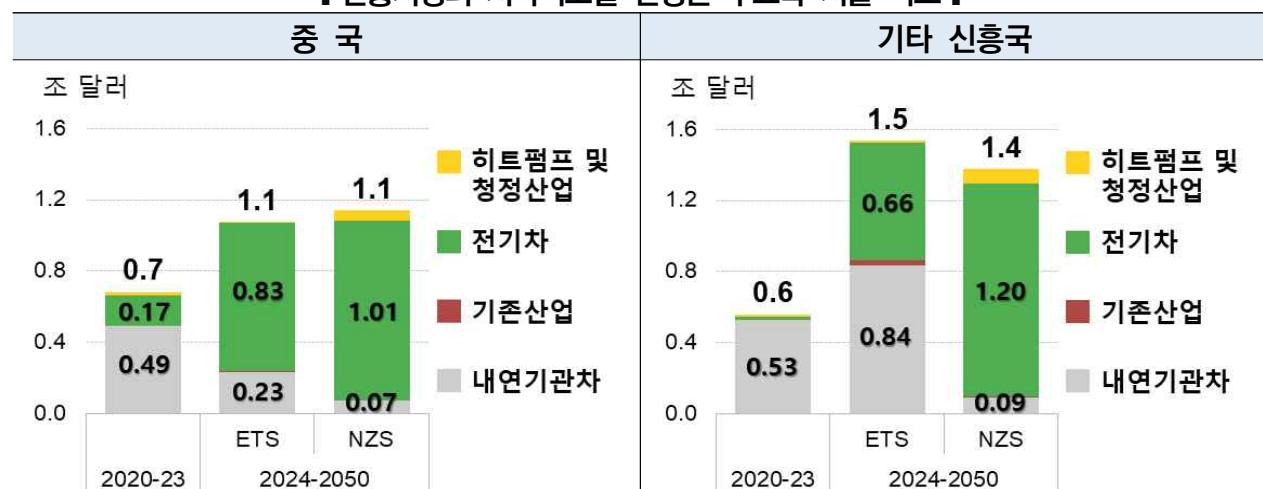
#### □ [중국] NZS 하에서 2050년까지 연평균 1.1조 달러(약 1,429조 원)의 지출이 발생할 것으로 예상되며, ETS 하에서도 비슷한 규모의 지출이 이루어질 전망

- NZS 하에서 연평균 지출액 중 전기차 부문이 가장 큰 비중을 차지할 것으로 예상됨
  - NZS는 중국과 고소득 국가가 잔여 수명이 남은 기존 내연기관차를 폐기하고 전기차 도입을 확대하는 상황을 가정하고 있어, 전기차 보급이 대폭 증가할 전망
- 중국에서는 전기차의 가격이 내연기관차 가격에 근접한 수준까지 하락함에 따라 투자의 경제성을 고려하는 ETS에서도 여전히 전기차 비중이 높을 것으로 예상됨

#### □ [기타 신흥국] NZS 하에서 2050년까지 연평균 1.4조 달러(약 1,819조 원)의 지출이 예상되며, ETS 하에서의 지출 규모는 NZS에 비해 더 높은 연평균 1.5조 달러(약 1,949조 원)에 이를 전망

- 신흥국의 경제규모와 인구가 성장함에 따라 NZS와 ETS 하에서 연평균 지출 전망치는 2020~2023년 연평균 지출 실적(0.6조 달러)에 비해 대폭 증가할 전망
- 향후 전기차가 내연기관차보다 저렴해지고 둘 사이에 가격 차이가 더 벌어질 것으로 예상되고 있어, ETS에 비해 더 빠른 저탄소 전환(전기자동차 수요 증가)을 요구하는 NZS의 연평균 지출 규모가 ETS보다 상대적으로 더 작아질 것으로 예상됨

■ 신흥시장의 시나리오별 연평균 수요측 지출 비교 ■



### ③ 에너지 부문의 공급측 투자 전망

- [중국] 2024~2050년 연평균 투자규모는 2020~2023년 실적(0.4조 달러) 대비 비슷한 수준을 유지하거나(ETS 0.4조 달러), 50%가량 상승할 것으로(NZS 0.6조 달러) 예상됨
  - NZS와 ETS 모두에서 화석연료의 비중이 줄어들 것으로 보이나, 미래 전력수요 증가가 크지 않을 것으로 예상되어 전체 연평균 투자 금액은 현재와 비슷할 전망
  - 2050년까지 넷제로 목표 달성을 위해서는 전력망(1,800억 달러, 약 234조 원)과 재생에너지(1,600억 달러, 약 208조 원)를 중심으로 저탄소 부문에 더 많은 투자가 요구됨
- [기타 신흥국] NZS 하에서 2050년까지 연평균 1.2조 달러(약 1,559조 원)의 투자가 예상되는데, 이는 ETS 하의 0.8조 달러(약 1,039조 원)와 비교해 더 큰 규모임
  - NZS 하에서 투자 규모 전망치는 2020~2023년 연평균 투자 실적(0.4조 달러)의 3배에 달하는데, 이는 기타 신흥국의 에너지전환에 대한 투자 확대 전망을 반영함
  - 신흥국의 인구 및 경제성장에 따른 전력수요 증가에 대응하기 위해 발전설비, 전력망, ESS 등에 더 많은 투자가 필요할 것으로 예상됨
    - 특히 NZS 하에서 2050년까지 재생에너지와 전력망에 대한 투자는 2020~2023년 실적(연평균 1,200억 달러)의 5배가 넘는 연평균 6,500억 달러(약 844조 원)에 이를 것으로 예상
- NZS에서 신흥시장의 화석연료에 대한 투자는 대폭 감소할 것으로 예상되나, 전원 믹스에 유연성을 제공하기 위해 가스 발전소에 대한 투자는 지속될 전망
  - 산업공정과 같이 기술적·비용적 문제로 탈탄소화가 어려운 분야에서 화석연료에 대한 수요가 있어 화석연료 공급을 위한 투자 필요성 상존

■ 신흥시장의 시나리오별 연평균 공급측 투자 비교 ■



작성자 : 한전 경영연구원 박정주 선임연구원

## KEMRI 전력경제 Review 2025년 2월호 (Vol.312)

---

발행일 2025. 3. 14.

발행인 원장 강민석

편집인 경영연구원 편집위원회  
편집장 책임연구원 원동규(☎국선 : 02-3456-5490 / 사선 : 021-5490)  
편집위원 선임연구원 김범규(☎국선 : 02-3456-5491 / 사선 : 021-5491)

홈페이지 [www.kepco.co.kr/KEMRI](http://www.kepco.co.kr/KEMRI)

문의처 경영연구원 연구기획팀(☎국선 : 02-3456-5490~1 / 사선 : 021-5490~1)

---

※ 한국전력 경영연구원의 사전 동의 없이 본 보고서의 내용을 무단 전재하거나 제 3자에게 배포하는 것을 금합니다.