전력시장의 효율성과 리스크에 대한 小考

- 텍사스 순환정전 이후 다시 불거진 민영화 논쟁과 한국 전력시장의 구조적 문제 관점에서

2021. 3. 8

건국대학교 전기전자공학부 교수 노재형

Texas 전력시장의 특징

- **텍사스 전력시장은 Energy Only Market 구조**
  - 공급용량 부족 시 전력시장가격이 $9,000/MWh 까지 상승하는 것을 허용하는 Scarcity pricing 메커니즘을 통해 신뢰도 확보
  - Energy only market은 이론적으로 가장 효율적이며 최적 자원 배분[최적 설비투자]를 유도
  - 시장참여자의 합리적 행위에 대한 기대에 기반
  - 타 전력시장에 비해 낮은 예비율로 운영

Since 2010, a downward trend in ERCOT's reserve margins has led to scarce resources during the peak and less operating flexibility. To some extent, this is an expected outcome of managing resource adequacy through an energy-only market construct. In Texas, regulators ensure reliability through a mechanism called scarcity pricing, allowing real-time electricity prices to reach as high as $9,000/megawatt hour (MWh) in response to capacity shortage conditions. …… Recent performance over the last several years has proven the ERCOT market and system operations to be successful with no load shedding events …….

출처: 2019 Long-Term Reliability Assessment, NERC

Table 1: NERC's Risk Determination of All Assessment Areas 5-Year Projected Reserve Margins

Assessment Area	2024 Peak Anticipated Reserve Margin	2024 Reference Margin Level	Expected Capacity Surplus or Shortfall (MW)	Assessment Result Through 2024
MISO	17.5%	16.8%	877	Adequate
MRO-Manitoba	17.6%	12.0%	269	Adequate
MRO-SaskPower	16.6%	11.0%	219	Adequate
NPCC-Maritimes	26.0%	20.0%	320	Adequate
NPCC-New England	27.3%	17.8%	2,261	Adequate
NPCC-New York	25.3%	15.0%	3,152	Adequate
NPCC-Ontario	17.3%	20.1%	-615	Marginal
NPCC-Quebec	13.7%	12.8%	324	Adequate
PJM	34.3%	15.7%	26,779	Adequate
SERC-C	32.0%	15.0%	3,862	Adequate
SERC-E	28.1%	15.0%	6,828	Adequate
SERC-FP	25.3%	15.0%	4,827	Adequate
SERC-SE	36.5%	15.0%	9,875	Adequate
SPP	23.0%	12.0%	5,966	Adequate
TRE-ERCOT	7.8%	13.75%	-4,859	Marginal
WECC-AB	20.9%	10.1%	1,326	Adequate
WECC-BC	14.8%	10.1%	577	Adequate
WECC-CAMX	15.7%	13.9%	958	Adequate
WECC-NWPP-US	22.1%	15.8%	3,288	Adequate
WECC-RMRG	16.7%	12.4%	590	Adequate
WECC-SRSG	14.5%	11.0%	916	Adequate

Texas 전력시장의 특징

- **텍사스 예비율 동향과 전망**

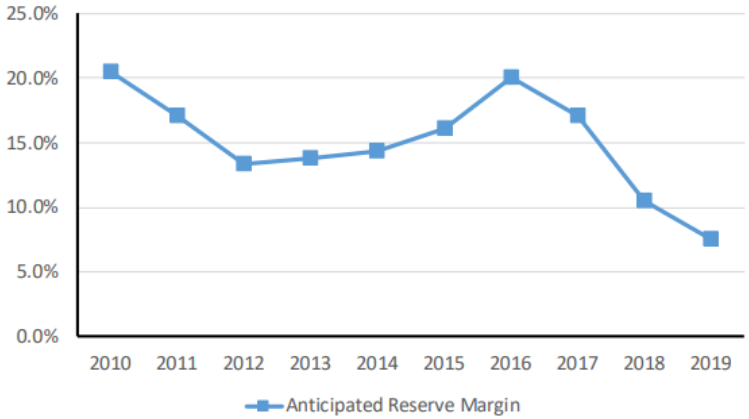


Figure 3: TRE-ERCOT Historical Projected Reserve Margins*

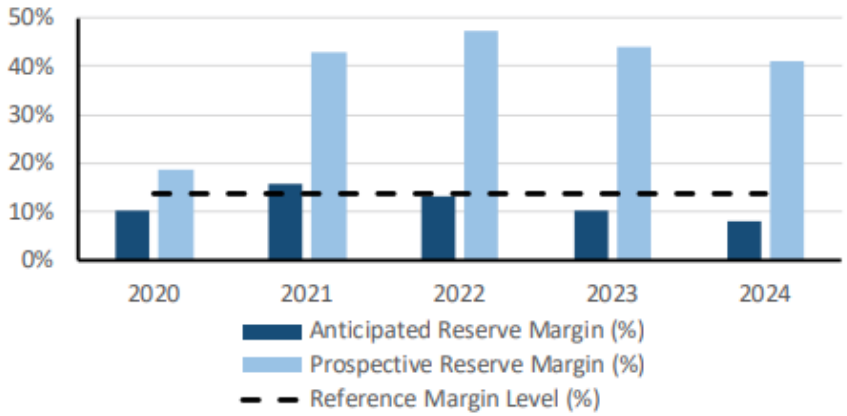
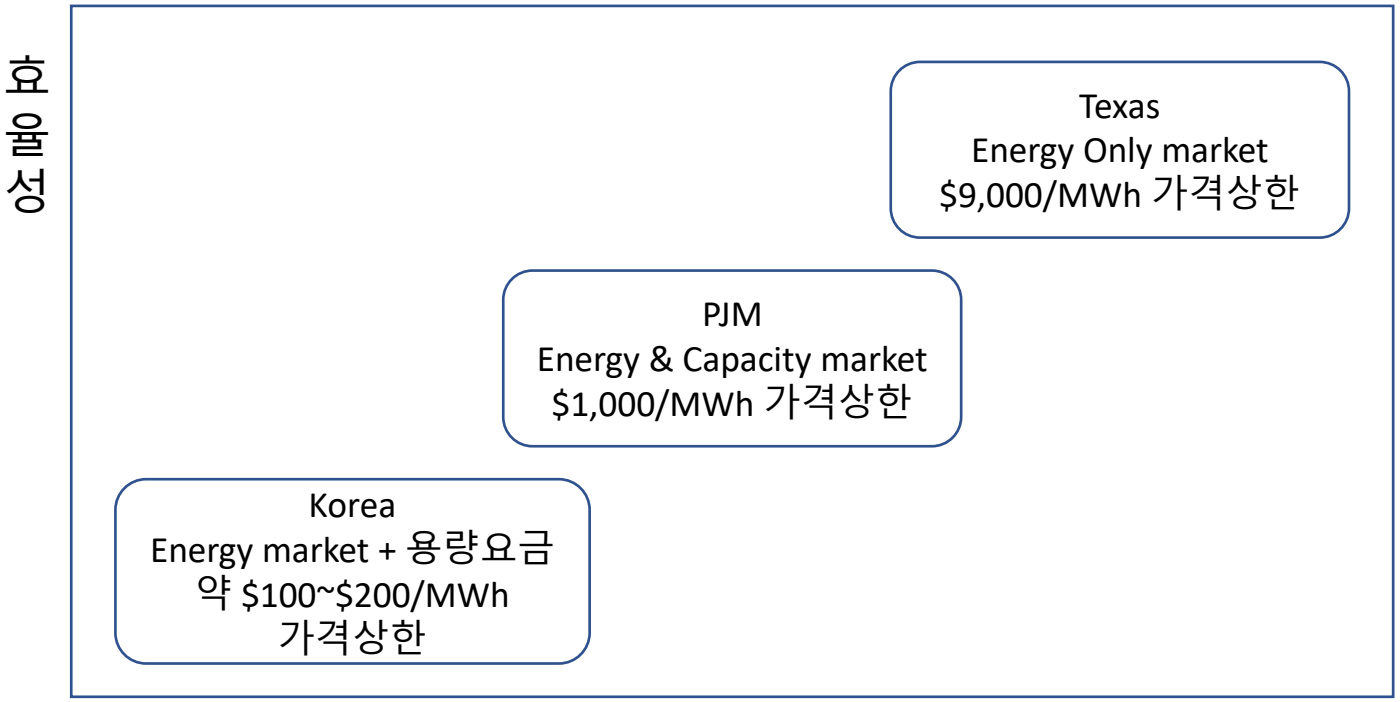


Figure 2: TRE-ERCOT 5-year Projected Reserves (ARM and PRM)

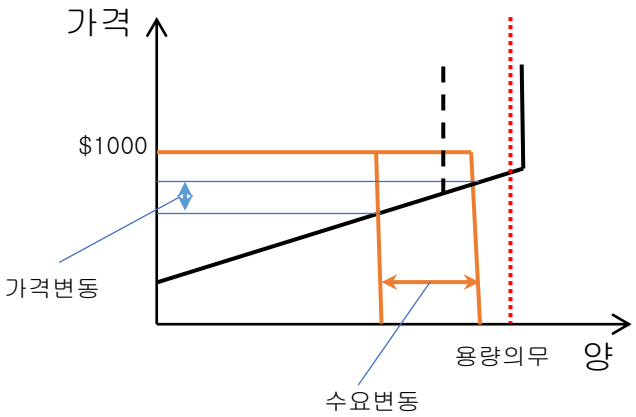
- 예비율이 하락하는 경향을 보이고 있으나, NERC(북미신뢰도관리기구)는 ERCOT이 수요반응자원 등을 활용하여 성공적으로 전력시스템을 운영하고 있다고 평가하면서도 신뢰도 리스크가 높아지고 있음을 경고한 바 있음.

전력시장 비교

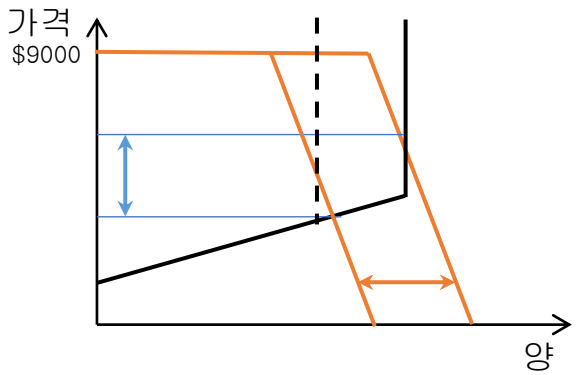


- Capacity market 또는 용량요금 : 공급용량에 대한 별도 보상을 통해 투자비의 일부를 보장함으로써 설비에 대한 투자를 유도하고 예비력을 확보하는 메커니즘.

전력시장 비교



Energy Market + Capacity Mechanism



Energy only Market

Texas 순환 정전 이후 논쟁

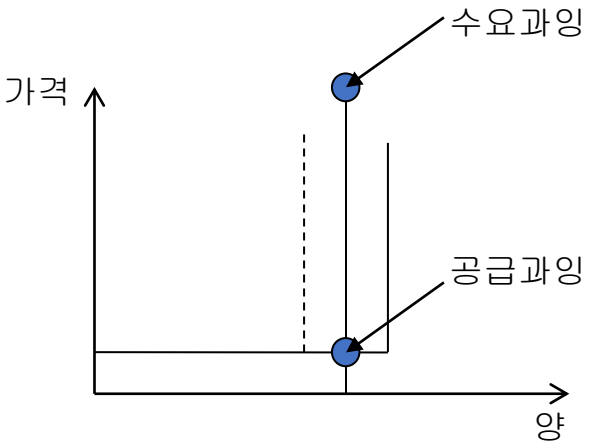
- **대규모 정전사태의 근본 원인은 전기시장의 민영화?**
  - 미국의 대부분 주는 전력시장 자유화(규제완화) 이전에도 민영 전력회사가 지역 독점으로 전력 공급
  - 독점 민영 전력회사는 주정부의 규제를 받았음
  - 따라서, "전기시장의 민영화"가 아닌 "전력시장 자유화" 또는 "전력산업 규제완화"가 정확한 표현임.
  - "전력시장 자유화"가 정전의 근본 원인인가? NO
    - 시장 경쟁에 노출된 민간 전력회사들이 비용 절감을 위해 한파를 대비한 유지 · 보수에 거의 투자하지 않아서 정전이 발생했는가? NO
    - 시장 경쟁에 노출된 민간 전력회사들이 이윤 극대화를 위해 발전소에 대한 투자를 하지 않아 전력 예비율이 목표치(13.45%)를 밑돌았으며, 금번 정전의 원인이 되었는가? NO
  - 소비자 전기요금 폭등은 시장 자유화 때문인가?
    - Yes but 폭등 정도는 시장설계 에 기인. 폭등 가능성이 없는 규제 독점이 낫지 않나?

왜 시장자유화?

- 경쟁은 “가격을 한계비용 수준으로 낮춘다” 그리고 “비용 최소화에 대한 강한 인센티브를 제공한다”. 반면 규제는 둘 다를 동시에 달성할 수 없다. (출처: Power System Economics, Stoft, 2002)
  - 완벽한 투자보수율 규제는가격을 장기한계비용 수준으로 유지할 수 있지만, 비용 최소화 인센티브를 제공하지 못한다.
  - 완벽한 가격 상한 규제는 비용 최소화 인센티브를 제공할 수 있지만 가격은 장기한계비용 보다 높은 수준에서 결정된다.
- 경쟁이 가능한 상품이라면 시장자유화가 바람직하다.

왜 시장자유화?

- **전력은 경쟁이 가능한 상품인가?**
  - ✓ Demand-Side Flaw 1: Lack of Metering and Real-Time Billing
  - ✓ Demand-Side Flaw 2: Lack of Real-Time Control of Power Flow to Specific Customers
  - ✓ 첫 번째 결함은 수요가 가격에 반응하는 것을 어렵게 만든다. 즉 수요의 가격 탄력성이 매우 낮게 만든다. -> AMI, EMS, AI 등 기술발전으로 극복
  - ✓ 두 번째 결함은 물리적인 쌍무계약을 어렵게 만든다. 계통운영자가 실시간에서는 디폴트 공급자가 된다. -> 시장규칙과 재무계약으로 보완



수요곡선과 공급곡선이 일반적인 상품 시장에서의 수요공급 곡선과 상이하여 가격은 급등급락할 가능성이 높음

Problems with Private Monopolies

- Monopolies are inefficient
  - No competition
  - No need to be efficient to survive
  - No incentive to be efficient:
    - Utility earns more if it invests more
    - No penalty for building "white elephants"
    - High costs passed on to consumers as high prices of electricity
    - A bankrupt utility is in nobody's interest
- Rates are "higher than they should be"

© 2018 D. Kirschen &
University of Washington

Could the regulators do better?

- Regulation is difficult
  - Little basis for comparison
    - Each regulator oversees a small number of utilities
    - Each utility has a territory with different characteristics
  - Difficult to evaluate the utilities' decisions
    - Regulator does not have as much staff as the utility
    - "Information imbalance"

© 2018 D. Kirschen &
University of Washington

Problems with Public Monopolies

- A good government will run its utilities in an efficient and far-sighted manner
- This is not always the case
- Conflicts can arise between the objectives of the gove rnment and the objectives of the utility
- Government monopolies are inefficient too!

© 2018 D. Kirschen &
University of Washington

Things bad governments do…

- Keep rates low to please the voters
  - Utility does not have enough money for investments
- Keep rates high and use the surplus money for othe r programs
  - Inefficient taxation
  - Discourage consumption of electricity
- Force the utility to make unnecessary investments t o create jobs

© 2018 D. Kirschen &
University of Washington

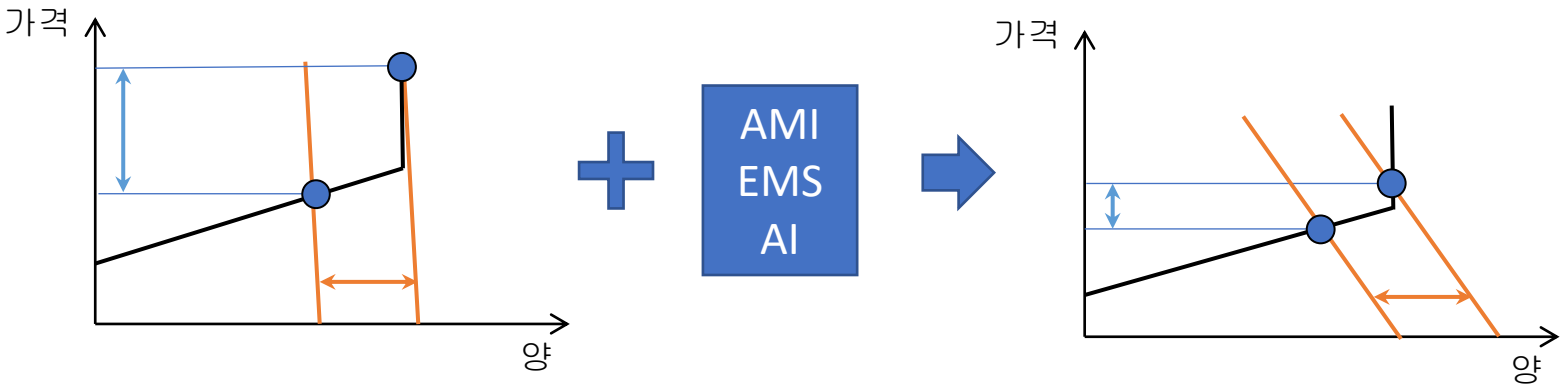
Expected benefits of privatization

- Utility can focus on its mission
- If markets function properly:
  - Utility gets the revenues it needs
  - Price of electricity reflects its true cost
  - Optimal allocation of economic resources
- Access to private sector capital
  - Important in developing countries when government is s hort of money for investments
- Revenue from the sale of privatized assets
  - Short term only

© 2018 D. Kirschen &
University of Washington

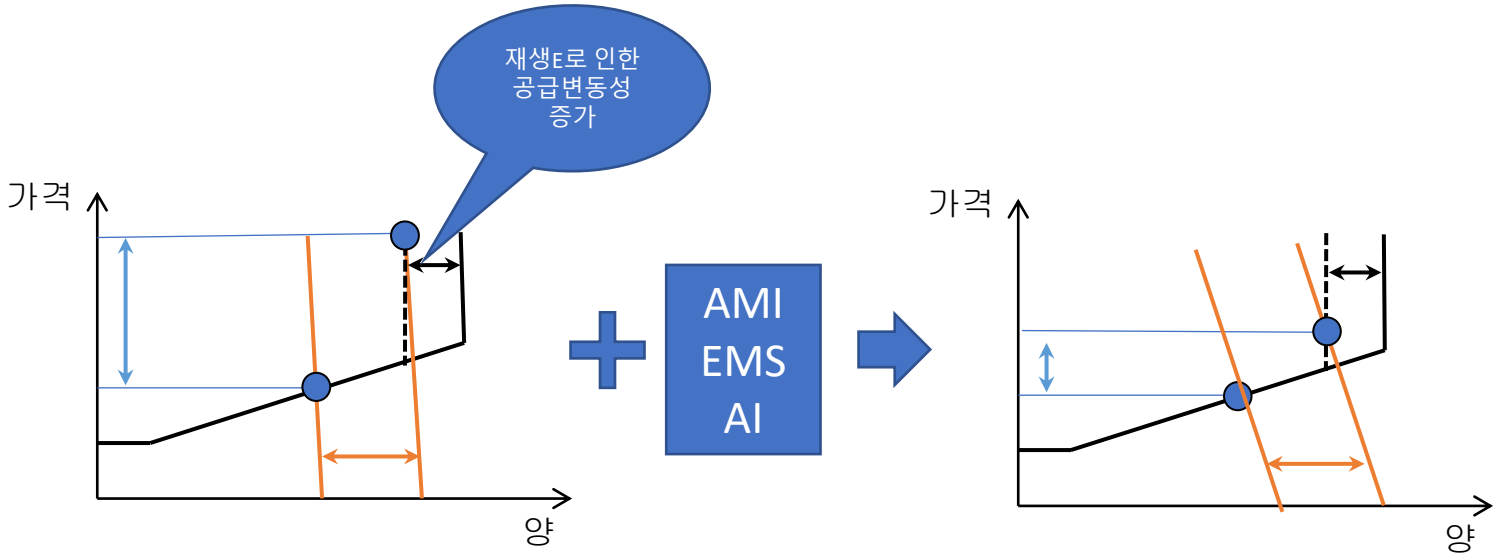
에너지전환과 시장자유화

- AMI, EMS, IoT, AI 등 기술 발전은 전기라는 상품의 수요측 결함(가격 비탄력성)을 해소함으로써 시장 경쟁을 통해 공급 가능한 상품으로 전환시키고 있음
- 시장경쟁을 통한 비용 최소화 및 가격 한계비용 유지 가능



에너지전환과 시장자유화

- **간헐성이 높은 재생에너지원의 비중 확대는 더 많은 소비자 참여(수요 반응, 가격 탄력성)를 필요로 함**
- **소비자가 반응하기 위해서는 가격 신호가 필요**
  - ✓ **독점 사업자도 요금 신호 제공 가능하지만 한계가 있음**



에너지전환과 시장자유화

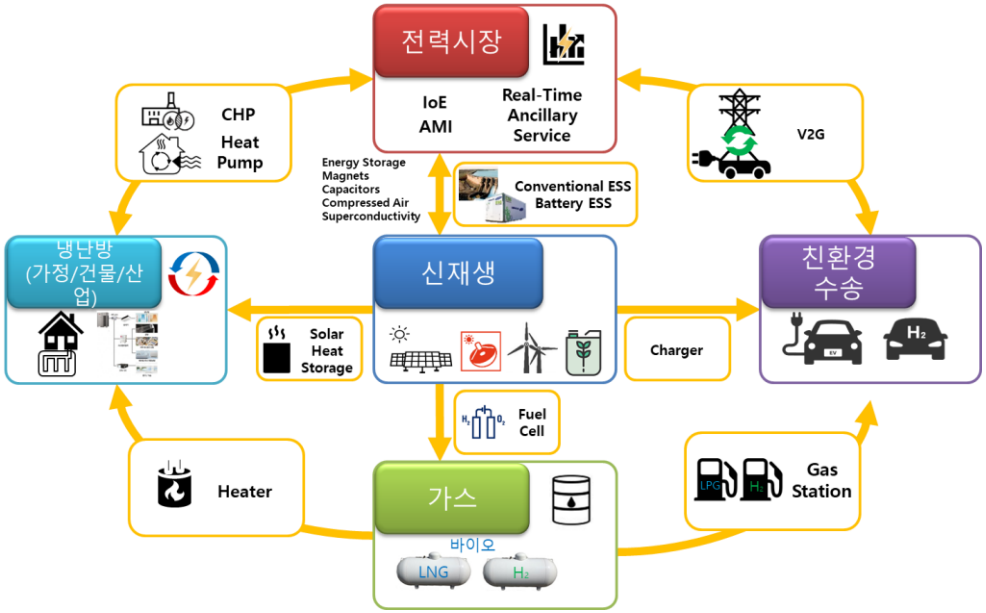
- **에너지전환에 따라 자원이 다양화, 분산화 됨에 따라 더 이상 중앙 계획 및 제어 (Central Planning and Scheduling) 불가능**
- **효율적 에너지전환(비용최소화)을 위해서는 시장 가격신호를 통한 분산 계획, 제어가 요구됨**

	과거	에너지전환 이후
목적 함수	대형 발전소 건설비 +대형 발전소 운영비	대형 발전소 건설비 +대형 발전소 운영비 +분산전원 건설비 및 운영비 +ESS 건설비 및 운영비 +DR 장치 설치비 및 운영비
제어 대상	100~200개 대형 발전소	100~200개 대형 발전소 1000개 이상 분산 발전기(& 프로슈머) 수백만 수용가 수요 수백만 ESS
수학적 타당성	수학적으로 최적화 가능	수학적으로 최적화 불가능

전력시장 자유화는 독일 에너지 전환의 숨은 일등공신이다.” 펠릭스 마테스(Fellix Matthes)오에코 환경연구소 에너지·기후정책 연구위원 https://www.edaily.co.kr/news/read?newsId=01282486625635424&mediaCodeNo=257&OutLnkChk=Y

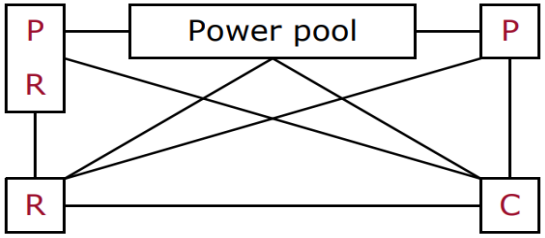
에너지전환과 시장자유화

- 에너지전환에 따른 가스, 전력, 수송, 열 등 부문간 융합 역시 중앙 계획 및 제어 (Central Planning and Scheduling) 불가능 하게 함
- 효율적 부문간 융합, 부문간 소통을 위해서는 시장 가격신호 필요
- 재생E 시장, 배출권시장 존재 하에서 전력만 규제 독점?

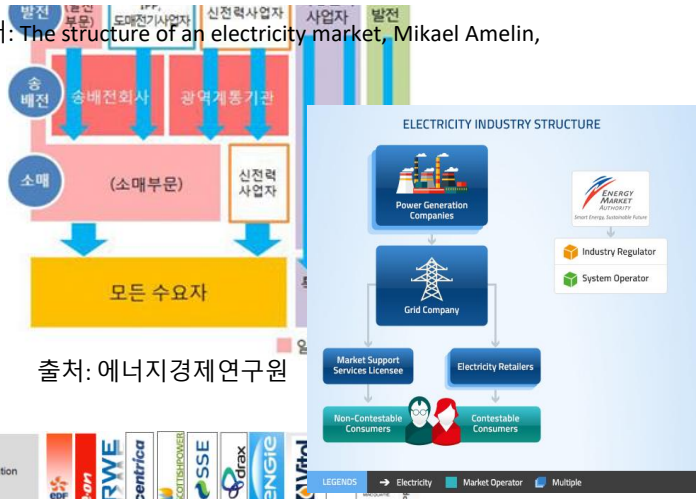


해외 전력산업 구조

- **경쟁부문 : 발전과 판매**
  - 해외 주요국은 **모두 소매시장 개방**
  - **발전부문과 판매부분간 겸업 허용**
  - 전력산업의 활발한 수평, 수직 통합, 글로벌 사업화
  - 가스, 전력, 열, IT 등의 급격한 융복합 사업화
- **비경쟁부문 : 송배전, 계통운영**
- **거래 형태**
  - 에너지시장 쌍무계약 중심 시장으로 급격히 진화 (현물시장 노출 최소화 및 발전판매 계약시장 활성화)



출처: The structure of an electricity market, Mikael Amelin, KTH



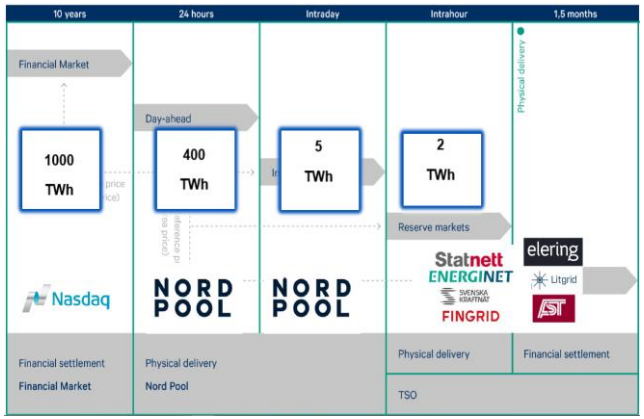
출처: 에너지경제연구원

출처: Singapore EMA

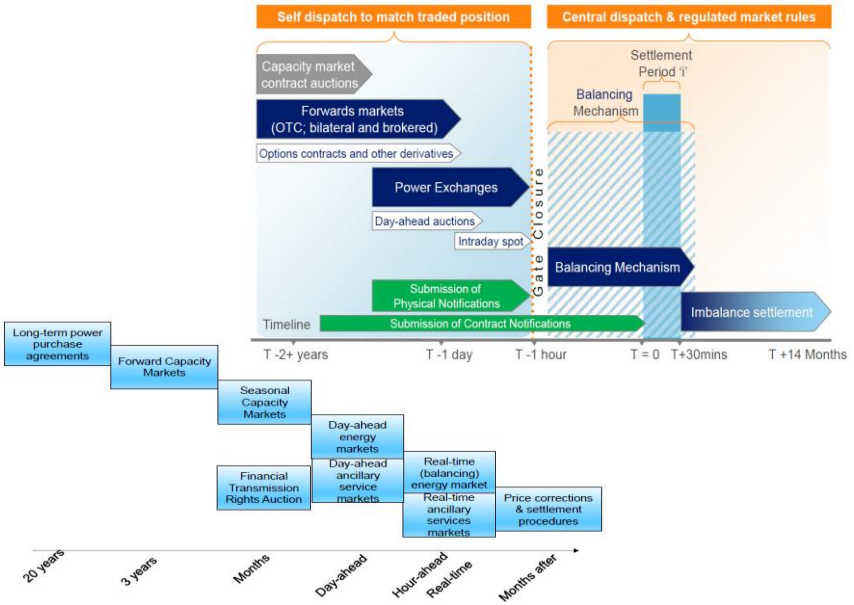
해외 전력시장 구성

Timeline

	Year or Month Ahead	Day Ahead Markets	Intra-Day	Real time
계통운영자	전력계통 예비력 확보 Price spike 축소	전력계통 안정성 확보	전력계통 안정성 확보	수급균형
시장참여자	설비투자 리스크 관리 가격 , 연료 리스크 관리	발전기 기동정지, 가격 리스크 관리 판매사 가격 리스크 관리	고장, 수요변동, 기상변화 등에 따른 포지션 조정	imbalance 해소



출처: Nord Pool, How and why did the Nord Pool model become the model for the integrated European energy market?, 2017



출처: Wholesale Electricity Market Design Initiatives in the United States (EPRI, 2016)

해외 전력시장 구성

Products & Timeline

		Years or Month Ahead	Day Ahead Markets	Intra-Day	Real time
북미 전력 시장	Energy	Power Purchase Agreement Derivatives	Energy Market	Energy Market	Energy Market
	Ancillary Service	Forward Reserve Market (ISO-NE)	Regulation Market Synchronized Reserve Market Non-Synchronized Reserve Market Ramp Market (MISO)		Regulation Market Spinning Reserve Market Non-spinning Reserve Market Ramp Market (CAISO,MISO)
	Capacity	Forward Capacity Market Seasonal Capacity Market	-	-	-
우리나라 전력 시장	Energy	(차액계약)	Energy Market	-	-
	Ancillary Service	-	-	-	-
	Capacity	-	용량요금	-	-

에너지 시장과 보조서비스 모두 지역 가격 신호 제공
ISO-NE's forward reserve market은 퀵스타트 발전기 확보를 목적으로 개설
우리나라 차액계약은 부생가스 이외 발전기에 대해 체결된 바 없음

보조서비스 시장 비교

- **보조서비스 시장 효과**
  - **계통운영자 : 비용효율적으로 안정적인 계통운영 도모**
  - **시장참여자 : 가장 경쟁력 있는 시장에서 수익 창출 기회 확보**

서비스 구분	북미 전력시장 확보방식	우리나라 전력시장
무효전력 및 전압제어	·발전기의 무효전력 공급 및 제어 서비스 ·고정비용기반 요금제(static cost-based service)로 처리	고정요금
블랙스타트	·정정 발생시 계통을 복구하는데 필요한 자원 ·고정비용기반 요금제(static cost-based service)로 처리	고정요금
주파수조정	·평상시 주파수를 60Hz로 유지하기 위한 서비스 ·제어편차(area control error)를 줄이는데 사용 ·'주파수조정시장'을 통해 상품 공급, 시장가격으로 지불	고정요금
주파수응답	·주파수에 자체적으로 반응하는 조속기를 통한 주파수의 급격한 저하 또는 상승 저지에 기여하는 서비스 ·의무사항(서비스 제공에 대한 별도의 비용 지불 없음) (단, ERCOT은 주파수응답 및 관성을 보조서비스 상품)	고정요금
에너지 임밸런스	·하루전 에너지시장과 실시간 사이에 발생하는 에너지의 임밸런스를 수정하기 위한 서비스 ·'실시간 시장'을 통해 에너지를 추가 또는 감소 확보 ·보조서비스시장에 해당되지 않음(에너지시장에 해당)	시장기반 (CON/COFF)
운전예비력 (Synchronized Reserve)	·상정고장 발생시 실시간 수급균형을 맞추기 위해 운전 중인 발전기가 사용하지 않고 남겨둔 발전력 ·'운전예비력시장'을 통해 상풍 공급, 시장가격 지불	COFF로 일부 보상
대체예비력 (Supplemental Reserve)	·예비력 소진 시 소진된 예비력을 대체하기 위함. ·'대체예비력시장'을 통해 상풍 공급, 시장가격 지불	고정요금

국내외 시장 비교

구분		미국	영국	프랑스	호주	일본	한국
경쟁도입모델		시장개방 (구조개편)	구조개편	시장개방	구조개편 시장개방	시장개방	구조개편
구조개편	수평분할	△	○	×	○	×	발전:○ 판매:×
	수직분리	△	○	○	○	×	발전:○ 송배전판매×
겸업규제	발판겸업	○	○	○	○	○	×
기관구조	독립규제	ㅇ (FERC)	ㅇ (OFGEM)	ㅇ (CRE)	ㅇ (AER)	×	×
	계통운영	ISO 다수송전사	TSO 단일송전사	TSO 단일송전사	ISO 다수송전사	ISO 다수송전사	ISO 단일송전사
	현물시장	ISO	전력거래소	전력거래소	ISO	전력거래소	ISO
	선물거래	선물거래소	전력거래소	전력거래소	선물거래소	전력거래소	×
도매경쟁	거래플랫폼	전력풀	쌍무계약	쌍무계약	전력풀	쌍무계약	전력풀
	장기계약	○	○	○	○	○	×
소매경쟁	전력시장	△(주별)	○	○	○	○	×
	가스시장	△(주별)	○	○	○	○	×

출처: 전력거래소

1) 판매경쟁 (소비자 선택권) 이 없는 유일한 시장
2) 쌍무계약제도가 없는 유일한 시장
3) 실시간 수급균형시장이 없는 유일한 시장

시장참여자의 역무

사업자	해외전력시장		우리나라전력시장	
	목적	의사결정사항	목적	의사결정사항
발전사업자	·수익극대화	What to sell (Energy, AS, Cap.) How to bid How to sell(PPA, Spot, Derivative) How to reduce cost How to manage risk(price, fuel)	·수익극대화	How to reduce cost When to overhaul How to manage risk(fuel)
재생에너지 발전사업자	·수익극대화	(What to sell) (How to bid) How to sell Energy & REC How to reduce cost (How to manage risk)	·수익극대화	How to reduce cost How to sell REC(계약, 현물)
판매사업자	·수익극대화	How to offer How to buy (PPA, Spot, Derivative) How to reduce cost How to manage risk(price, demand)	·경영평가	How to get high score
계통운영자	·수급균형(신뢰도)	How to operate market and system efficiently and reliably What markets to open	·수급균형(신뢰도)	How to operate market and system reliably What markets to open
소비자 (수요반응)	·비용최소화	Who/Which program to choose When to use How to reduce usage (How to manage risk)	·비용최소화	How to reduce usage (How to reduce cost)

재생에너지 확대에 따른 주요 이슈

해외 시장 동향

1) Capacity Payment

- 용량요금은 장기 신뢰도 확보와 신규 발전원의 충분한 수익 제공을 위해 필수적인 방안
- EU 및 북미 등 다양 한 국가에서 이미 적절한 용량요금에 대한 논의가 활발히 이루어짐
  - Missing Money Problem, Subsidized Renewable Sources
  - PJM Capacity Performance, PJM Minimum Offer Price Rule
  - Capacity Market in British market

2) Negative Market Price

- 수요가 매우 낮을 때 비유연성 자원들에 의해 발생하는 시장 가격
- 비 유연성 자원이 Negative market price 시에 발전을 원할 경우 비용 지불 (해당 비용은 유연성 자원들에 대한 인센티브 등으로 활용 가능), 프랑스, 독일, 오스트리아 등의 국가에서 적용 중

3) Ancillary Services

- 보조서비스 상품 다양화 : 속응성을 고려한 Regulation Service 구분, Ramping service 도입 등
- 예비력 상한 가격 상향 등

4) Energy Pricing

- Uplift 비용을 제거하거나 Ramping의 가치 포함 : ELMP, Multi-period pricing
- 변동성 대응 자원 지원을 위한 Scarcity Pricing 강화 : Price Cap 상향 조정

재생에너지 확대에 따른 주요 이슈

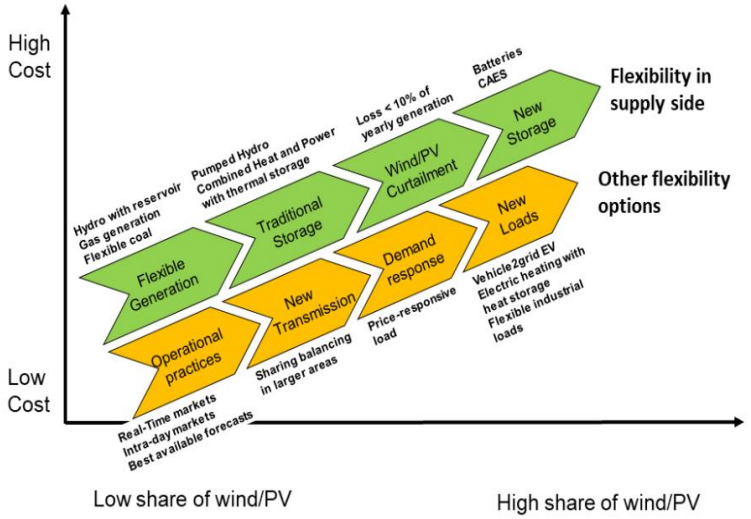
시장참여자 영향 및 대응

사업자	영향	대응방안
발전사업자	시장가격 변동성 확대에 따른 위험 증가 낮은 시장가격에 따른 고정비 회수 어려움	에너지저장장치 활용 파생상품 활용한 위험 회피, 공유 신규 발전소 건설 회피
재생에너지 발전사업자	예측 오차 페널티 (uninstructed deviation) 위험 증가 시장가격 변동성 확대에 따른 위험 증가	에너지저장장치 활용 파생상품 활용한 위험 회피, 공유
판매사업자	시장가격 변동성 확대에 따른 위험 증가	에너지저장장치 활용 수요반응 자원 활용 파생상품 활용한 위험 회피, 공유
계통운영자	재생에너지 변동성, 불확실성에 따른 수급균형 유지 어려움 증가 전통적인 발전소 건설 회피에 따른 신뢰도 유지 어려움 증가	속응성, 유연성, 정확성을 갖춘 자원에 대한 보상을 위한 시장제도 개선 전통 발전소 유지를 위한 용량시장 개설
프로슈머	요금 최소화를 위한 에너지 이용 관리 필요	에너지저장장치 활용 에너지관리시스템 설치 수요반응 자원 활용

국내 전력시장 개선사항

◆ 시장구조 측면

1. 소매시장 개방
   - 현 독점 판매사업자는 리스크 관리 수요 없음
   - 소비자참여를 위해서는 개방 필요. 독점 판매사업 구조 하에서도 소비자 참여 가능하지만 제한적
   - 소비자 참여 없이는 에너지전환 불가능
2. 계약시장 도입
   - 발전/판매 사업자 리스크 관리 수단 제공
3. 재생에너지 급전 도입 (안정적 계통운영, 공평성)



◆ 시장구성 측면

1. 가격입찰시장 도입 (규제적 비용평가 불가능, 리스크 관리 수요 발생)
2. 보조서비스시장 도입 및 다양화
   - 효율적이고 안정적인 계통운영
   - 공정한 자원간 경쟁의 장 제공
2. 시간대별 시장 개설 (보다 정확한 가격 신호)
3. 지역가격신호 제공 (보다 정확한 가격 신호)

국내 전력시장 개선사항

IEA Korea 2020 Energy Policy Review 권고사항

- **전체 시스템의 비용 최소화를 위해, 전력가격이 비용을 반영할 수 있도록 하기 위해, 효율적인 분산 전원 투자와 수요 관리가 이루어지도록 하기 위해, 재생E 고비중 전력시스템의 효율적인 운영을 위해 시장 개선 필요**
  - ✓ 효율적인 투자를 위해 송전망 비용과 신규 재생에너지 발전기 위치가 반영될 수 있는 시장 필요
  - ✓ 경쟁과 투명성이 강조되어야 함
  - ✓ 별도의 보조서비스 시장 도입하여 유연하고 급전가능한 발전기에 적절한 가격 제공, 주파수 조정 예비력의 효율적 확보
  - ✓ 일간시장, 실시간시장 도입을 통해 재생에너지 예측 정확도 향상을 계통운영에 반영함으로써 소요 예비력 축소 및 유연한 급전 조정 허용
- **극심한 이상 기후, 기반시설에 대한 사이버 공격 등 중장기 리스크에 대한 평가와 대응 필요**
  - ✓ 최근 발생한 지진, 태풍 등 재난에 견딜 수 있는 전력망 보강이 안정적인 전력 공급을 위한 중요한 요소
  - ✓ 재난 시 공급 능력 회복을 위한 비상대응절차 마련
- **스마트미터 설치 완료 이후 소매시장 개방 적극 고려 필요**
  - ✓ 정부 규제 요금이 철폐되고, 소비자가 다양한 공급자가 제시하는 비용을 반영한 가격에 노출되면, 공급자들은 다양한 시간별 가격으로 차별화를 도모할 것이고 더 효율적인 전기 사용을 유도할 것임
  - ✓ 시장이 더 발전하면 더 많은 스마트그리드의 편익들이 성과로 나타날 것임