

# 2023년 재생에너지 균등화발전비용(LCOE) 동향<sup>1)</sup>

재생에너지정책연구실 공지영 부연구위원(jkong@keei.re.kr), 유경진 전문원(jjini2u@keei.re.kr)

- ▶ 2023년 세계 재생에너지원별 균등화발전비용(LCOE)은 2022년과 비교하여 바이오에너지 및 지열을 제외하고 모두 하락함.
- ▶ 2023년 세계 육상풍력과 해상풍력 LCOE가 지난해 대비 각각 3%와 7% 감소하였으며, 이는 LCOE가 낮은 중국의 설비 설치 비중이 높았기 때문임.
- ▶ 2023년 태양광 LCOE는 공급망 회복과 원자재 가격 인플레이션 감소로 전년 대비 12% 감소함.
- ▶ 2023년 CSP를 제외한 세계 재생에너지원별 LCOE는 화석연료 보다 낮게 나타남.
- ▶ 세계적으로 태양광과 풍력이 가격 경쟁력을 확보하였지만, 지역별 편차가 큰 편으로 우리나라 재생에너지 LCOE는 상대적으로 높은 편임.
- ▶ 배터리 저장장치 비용은 2010년에서 2023년 사이에 89% 하락하였고, 이는 규모의 경제 확보와 기술개발을 통한 효율성 개선 덕분임.

## 1. 2023년 재생에너지 보급 주요 특징<sup>2)</sup>

- 2023년 세계 재생에너지 신규 설치 용량은 전년 대비 54% 증가한 473GW로, 2000년 이후 가장 큰 연간 성장률을 보임.
  - 이 중 태양광과 육상 풍력 발전용량이 95% 이상을 차지해 재생에너지 확대를 주도함.
    - 태양광 발전 신규 설치 규모는 346GW로 전년 대비 73% 증가하였고, 육상 풍력은 104GW로 전년 대비 48% 증가함.
    - 태양광과 육상풍력 신규 설치에서 중국의 비중은 각각 63%와 66%로, 신규 용량 보급에 중국이 주요 역할을 함.
  - 해상풍력, 수력, 바이오에너지, 지열 등 기타 재생에너지원 비중은 5% 수준임.
- 2023년 제28차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP28)에서 약 130개국은 2030년 까지 재생에너지 발전용량 3배 증가, 에너지효율 2배 개선을 약속함에 따라 연간 974GW의 재생에너지 신규 설치가 필요함.
  - COP28에 따라 재생에너지 누적 설치 용량은 2030년까지 11.2TW가 필요함.
  - COP28에서는 향후 태양광과 육상풍력을 중심으로 재생에너지 보급이 이루어질 것으로 전망하며, 각각 5.5TW와 3TW의 누적 보급이 이루어질 것으로 예상함.

“2023년 신규 재생에너지 발전 용량은 473GW로 전년 대비 54% 증가하여 기록 경신”

1) 본 내용은 IRENA(2024) Renewable power generation costs in 2023과 BNEF(2023) 2H 2023 LCOE Updates An Uneven Recovery의 주요 내용을 정리함.

2) IRENA(2024) Renewable power generation costs in 2023

## 2. 2023년 재생에너지 균등화 발전비용(LCOE) 동향<sup>3)</sup>

○ 2023년 세계 재생에너지원별 균등화 발전비용(Levelized Cost of Electricity, 이하 LCOE)은 2022년과 비교하여 바이오에너지와 지열을 제외하고 모두 하락함.

– 육상풍력 LCOE는 전년 대비 3% 감소하였으며, 이는 중국의 설치 비중이 높았기 때문임.

- 중국의 신규 육상풍력 설치 비중은 지난해 50%에서 2023년 66%로 증가하면서, LCOE가 상대적으로 높은 시장들의 비중이 감소함.

- 세계 육상풍력 LCOE에서 중국 비중을 제외하면 전년 대비 15% 상승함.

※ BNEF(2023)에서는 2021년 상반기까지 중국과 중국외 지역의 LCOE가 큰 차이가 없었으나, 2023년 하반기 기준 중국의 LCOE는 \$33.0/MWh, 중국외 지역의 LCOE는 \$55.2/MWh, 전 세계 가중 평균 LCOE는 \$41.8/MWh로 발표함.

– 태양광 LCOE는 전년 대비 12% 감소하였으며, 공급망 회복과 원자재 가격 인플레이션 감소가 주요 요인임.

- 2023년 유럽, 중국, 미국 등 주요 시장 대부분에서 태양광 LCOE가 감소함.

- 특히 그리스(48%), 네덜란드(41%), 독일(29%) 등 유럽 국가의 LCOE가 크게 감소하였고, 중국은 10% 감소함.

- 미국은 4%, 브라질은 5%로 소폭 감소한 반면, 인도는 예외적으로 7% 증가함.

– 해상풍력 LCOE는 전년 대비 7% 감소하였으며, 이는 중국의 설치 비중(65%)이 높았기 때문임.

※ BNEF(2023)에서는 2021년 상반기까지 육상풍력과 동일하게 중국과 중국외 지역의 LCOE가 큰 차이가 없었으나, 2023년 하반기 기준 중국의 LCOE는 \$63.4/MWh, 중국외 지역의 LCOE는 \$107.8/MWh, 전 세계 가중 평균 LCOE는 \$84.4/MWh로 발표함.

– CSP(concentrated solar power) 프로젝트는 2023년 단 1건만 완료하였으며, 해당 프로젝트 결과에 따라 LCOE는 4% 감소함.

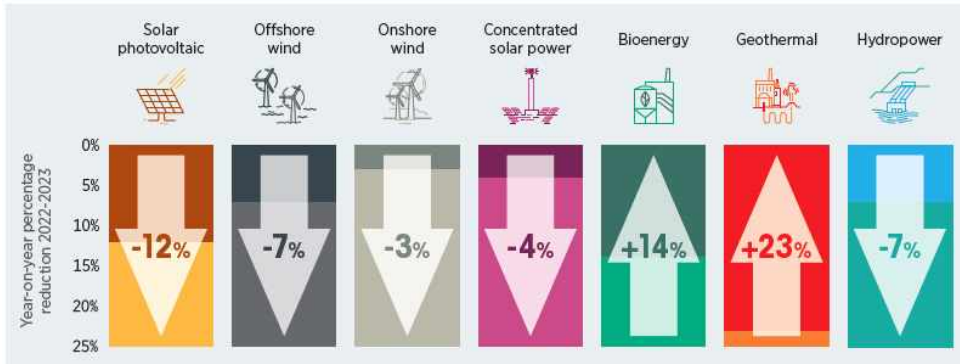
– 바이오에너지와 지열은 지난해 대비 각각 14%와 23% 증가함.

“2023년 육상풍력과 해상풍력의 LCOE는 각각 3%와 7% 감소하였으며, 이는 중국의 설비 설치 비중이 높았기 때문”

“2023년 태양광 LCOE는 공급망 회복과 원자재 가격 인플레이션 감소로 전년 대비 12% 감소”

3) IRENA(2024) Renewable power generation costs in 2023

< 2022년~2023년 재생에너지 LCOE 변화 >



자료 : IRENA(2024) Renewable Power Generation Costs in 2023, p. 32

○ 세계 재생에너지원별 LCOE는 지난 13년 동안 지열과 수력을 제외하고 모두 감소하면서, CSP를 제외한 모든 재생에너지원의 LCOE가 화석에너지 보다 낮게 나타남.

- LCOE가 가장 많이 하락한 재생에너지원은 태양광으로 2010년 \$0.460/kWh에서 2023년 \$0.044/kWh로 90% 하락함.

- 태양광 가격 하락의 가장 큰 이유는 기술개발로, 2018년~2023년 동안 소프트 비용 59%, 모듈과 인버터 비용 46%, BoS(balance of system) 하드웨어 39%, 설치비용 36% 하락함.
- 2023년에는 지난해 대비 O&M(operations and maintenance) 비용이 5% 감소함.

- 2023년 육상풍력 LCOE는 \$0.033/kWh, 해상풍력 LCOE는 \$0.075/kWh로 지난 13년 동안 각각 70%, 63% 하락함.

- 지난 13년동안 터빈 비용은 하락하고 이용률은 증가하면서 육상풍력의 경제성이 개선됨.
- 동 기간 터빈 가격은 중국외 지역에서 41%, 중국에서 64% 감소하였고, 전 세계 평균 이용률은 27%에서 36%로 개선됨.
- 2010년 해상풍력 LCOE는 유럽보다 중국이 더 낮았지만, 2021년 이후로는 유럽이 더 낮게 나타났으며, 비용 하락 폭은 중국에서 더 크게 나타남.

※ 2021년 중국의 해상풍력 LCOE는 \$0.085/kWh에서 2023년 \$0.07/kWh로 하락하고, 동기간 유럽은 \$0.057/kWh에서 \$0.066/kWh으로 소폭 상승함.

- 반면, 지열과 수력의 LCOE는 각각 \$0.071/kWh, \$0.057/kWh로 지난 13년 동안 각각 31%와 33% 상승함.

- 지열과 수력의 LCOE는 지난 13년간 상승하였지만, 화석연료 LCOE보다 낮게 나타나 상대적으로 가격 경쟁력을 가지고 있음.

“CSP를 제외한 세계 재생에너지원별 LCOE는 화석연료 LCOE보다 낮게 나타나면서 경쟁력을 확보”

〈 설치비용, 이용률, LCOE 재생에너지원별 변화(2010년~2023년)〉

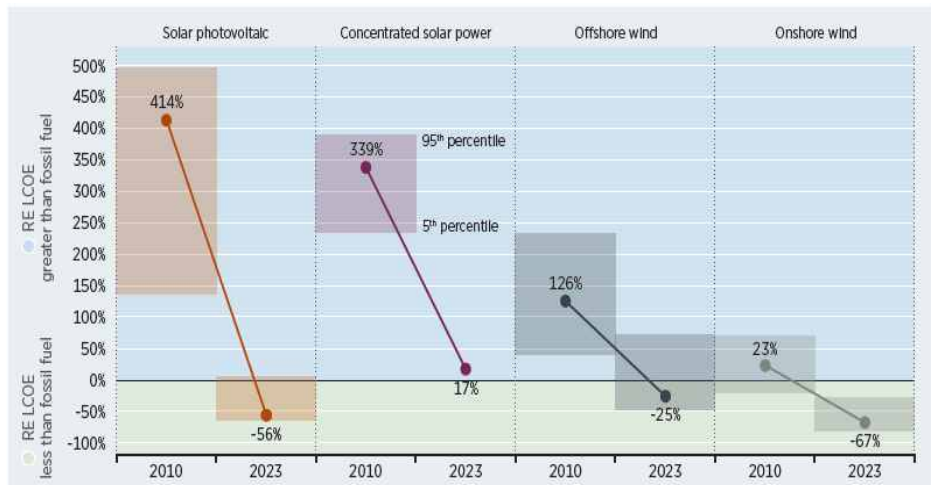
	설치비용 (2023 USD/kW)			이용률 (%)			LCOE (2023 USD/kWh)		
	2010	2023	변화율	2010	2023	변화율	2010	2023	변화율
바이오	3,010	2,730	-9%	72	72	0%	0.084	0.072	-14%
지열	3,011	4,589	52%	87	82	-6%	0.054	0.071	31%
수력	1,459	2,806	92%	44	53	20%	0.043	0.057	33%
태양광	5,310	758	-86%	14	16	14%	0.460	0.044	-90%
CSP	10,453	6,589	-37%	30	55	83%	0.393	0.117	-70%
육상풍력	2,272	1,160	-49%	27	36	33%	0.111	0.033	-70%
해상풍력	5,409	2,800	-48%	38	41	8%	0.203	0.075	-63%

자료 : IRENA(2024) Renewable Power Generation Costs in 2023, p. 15

- 2023년 화석연료 LCOE는 \$0.100/kWh으로 태양광보다 2.3배, 육상풍력보다 3배 더 높음.

※ 2010년에는 화석연료보다 태양광이 414%, 육상풍력이 23% 더 높았음.

〈 태양광 및 풍력의 LCOE와 화석연료 LCOE의 차이 변화(2010년~2023년) 〉



참고 : RE = 재생 가능 에너지(renewable energy)

자료 : IRENA(2024) Renewable Power Generation Costs in 2023, p. 15

“전 세계 인구의 약 59%는 육상풍력 또는 대규모 태양광(또는 둘 다)이 가장 저렴한 전력원인 국가에 거주”

3. 주요국 재생에너지 발전 비용 비교4)

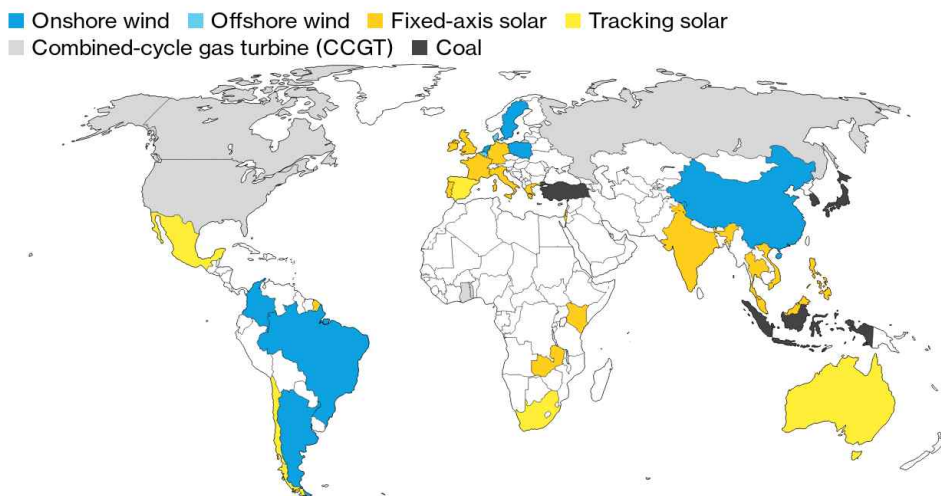
○ 전 세계 인구의 약 59%는 육상풍력 또는 대규모 태양광(또는 둘 다)이 가장 저렴한 전력원인 국가에 거주함.

- 2023년 상반기에는 전 세계 인구의 약 82%가 재생에너지 LCOE가 화석연료 대비 낮은 지역에 거주하였으나, 하반기에 23%pt 감소함.

4) BNEF(2023) 2H 2023 LCOE Updates An Uneven Recovery

- 이는 미국과 일본에서 가장 낮은 비용의 에너지원이 각각 가스와 석탄으로 전환되었기 때문임.
- 미국에서 가장 낮은 비용의 발전원은 육상풍력에서 가스로 전환되었으나, 육상 풍력의 생산세(production tax) 감면을 고려하면 육상풍력이 가장 낮음.
- 일본에서 가장 낮은 비용의 발전원은 태양광에서 석탄으로 전환되었으나, BNEF에서는 2024년에 가장 낮은 LCOE를 가진 에너지원이 다시 태양광이 될 것으로 전망함.
- 유럽 대부분의 국가에서는 재생에너지가 가장 낮은 LCOE를 나타내며, 중국은 육상풍력, 인도는 태양광이 가장 낮은 LCOE를 보임.

< 신규 건설시 최저비용 대규모 발전원 분포(2023년 하반기 LCOE 기준) >



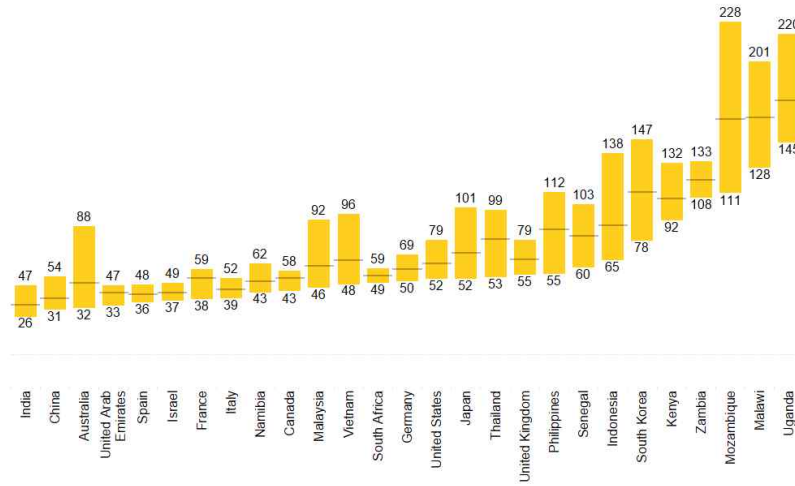
자료 : BNEF(2023) 2H 2023 LCOE Updates An Uneven Recovery, p.8

- 세계적으로 태양광과 풍력이 가격 경쟁력을 확보하였지만, 지역별 편차가 큰 편으로 우리나라 재생에너지 LCOE는 상대적으로 높은 편임.
- 태양광 LCOE가 가장 낮은 국가는 인도, 중국, 호주 등으로 중간값은 \$34~49/MWh 수준이며, 우리나라는 \$111/MWh로 조사국 중 높은 편임.
- 육상풍력 LCOE가 가장 낮은 국가는 중국과 브라질, 칠레, 아르헨티나 등 남미 국가로 중간값은 \$33~46/MWh 수준인 반면, 우리나라는 \$120/MWh로 조사국 중 두 번째로 높음.
- 해상풍력 LCOE가 가장 낮은 국가는 중국과 덴마크로 중간값은 각각 \$63/MWh, \$89/MWh이며, 우리나라는 \$233/MWh으로 중국의 3.7배임.

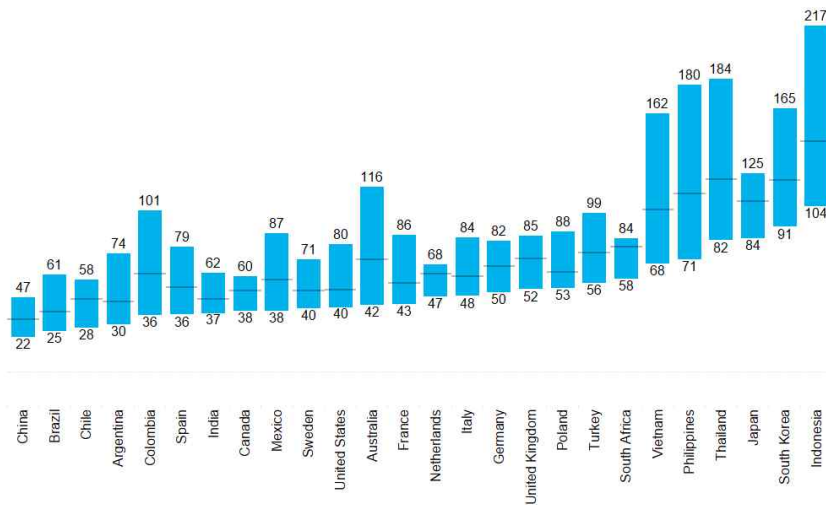
“세계적으로 태양광과 풍력이 가격 경쟁력을 확보하였지만, 지역별 편차가 큰 편으로 우리나라 재생에너지 LCOE는 상대적으로 높음”

< 2023년 하반기 국가별 LCOE (\$/MWh) >

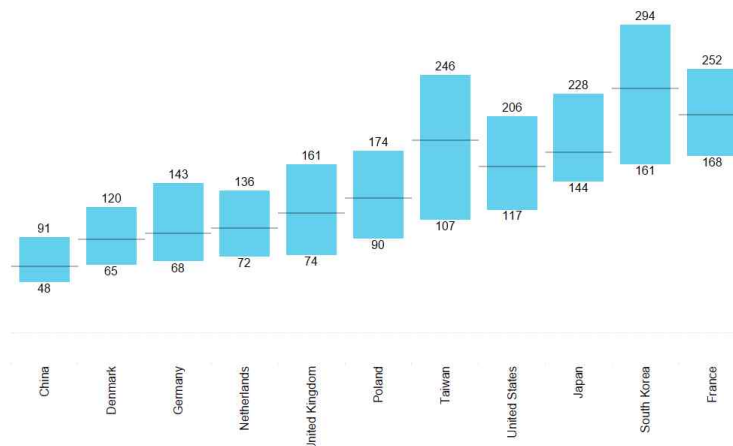
(a) 대규모 고정식 태양광



(b) 육상풍력



(c) 해상풍력



자료 : BNEF Data (최종접속일: 2024.10.22.)

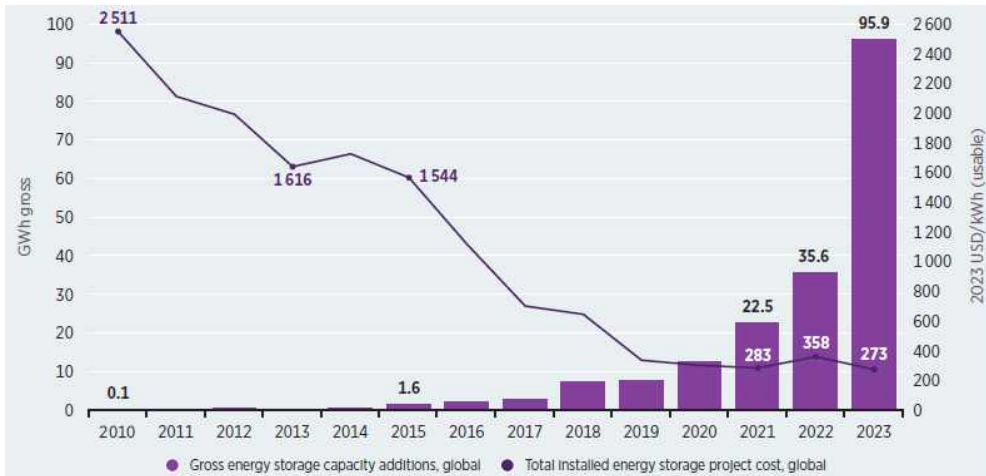
### 4. 배터리 저장장치 비용 동향<sup>5)</sup>

- COP28에서 2030년까지 재생에너지 용량을 3배 확대하겠다고 약속함에 따라, 배터리 역할의 중요성은 더욱 강조될 것으로 보임.
  - 배터리 저장장치는 재생에너지의 간헐성을 보완하고, 공급의 안정성을 보장하면서 경제적인 서비스를 제공할 것으로 보임.
  - 궁극적으로 재생에너지 보급을 확대하면서 전력시스템을 안정적으로 유지하기 위해서는 저장장치 보급을 함께 고려할 필요가 있음.
  - 따라서 BNEF에서는 배터리 저장장치 보급이 2023년 89GW에서 2030년 782GW로 8.79배 증가할 것으로 전망함.<sup>6)</sup>
- 배터리 저장장치 보급은 2010년 0.1GWh에서 2023년 95.9GWh로 증가하였고, 전체의 75%가 중국과 미국에서 보급됨.
  - 2023년 배터리 저장장치를 가장 많이 보급한 국가는 중국으로 2022년 대비 3.25배 더 많은 46.5GWh를 보급하였으며, 이는 전 세계 보급량의 50%를 차지함.
  - 미국은 두 번째로 배터리 저장장치를 많이 보급(22GWh)한 국가임.
  - 두 국가 모두 주정부 혹은 정부 차원에서 배터리 저장 의무와 목표에 따라 보급이 빠르게 이루어짐.

“COP28에서 2030년까지 재생에너지를 3배 보급할 것을 약속함에 따라, 앞으로 간헐성을 보완하고 공급의 안정성을 보장하기 위해 배터리 중요성 강조”

“배터리 저장장치 가격은 2010년에서 2023년 89% 하락하였고, 이러한 배경은 규모의 경제 확보와 기술개발을 통한 효율성 개선”

〈 배터리 저장장치 연간 보급 규모와 LCOE 〉



자료 : IRENA(2024) Renewable Power Generation Costs in 2023, p. 145

- 유틸리티급 배터리 저장장치 비용은 \$2,511/kWh에서 \$273/kWh으로 89% 하락함.
  - 배터리 저장장치 비용 감소는 규모의 경제 확보와 기술개발을 통한 효율성 개선 덕분임.

5) IRENA(2024) Renewable power generation costs in 2023  
 6) BNEF(2024) 1H 2024 Energy Storage Market Outlook

“국가별 배터리 저장장치 비용을 비교하면 미국과 유럽이 중국보다 높은 편인데, 이는 자국의 높은 제조 비용과 수입에 의존하기 때문”

– 2023년에는 배터리 제조 시장이 성장하면서 전체 가치 사슬에 걸쳐 공급업체 경쟁 심화로 공급 과잉이 일어나고, 원자재 가격이 하락하면서 배터리 비용이 감소함.

※ 2022년에는 원자재 가격 상승으로 배터리 비용이 전년 대비 7% 상승함.

○ 주요 시장에서 턴키(Turnkey) 배터리 저장장치 시스템 가격을 공개하므로, 이를 통해 지역 간 비용 차이를 파악할 수 있음.

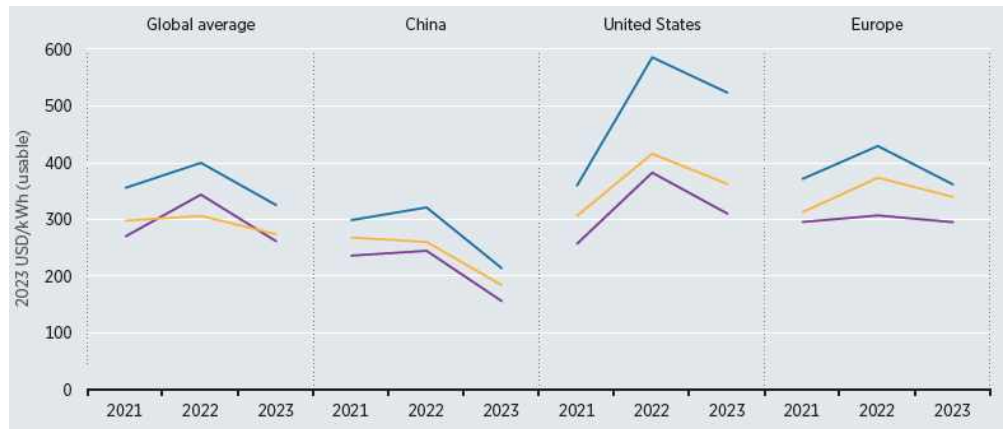
※ 턴키 배터리 저장장치 비용은 배터리 공급업체와 시스템 통합 가격을 포함하고, EPC와 그리드 연결 및 개발 비용은 제외함.

– 세계 평균 비용은 \$325/kWh~\$260/kWh로 시스템 지속시간에 따라 20% 차이남.

– 중국은 내수시장 과열로 배터리 저장장치 비용이 가장 낮게 나타남.

– 미국과 유럽의 저장장치 비용은 2021년에 세계 평균과 비슷했지만 2023년에 세계 평균보다 높게 나타나는데, 이는 자국의 제조 비용이 비싸고 수입에 의존하기 때문임.

〈 주요 시장 턴키(Trunkey) 배터리 저장장치 시스템 가격 〉



자료 : IRENA(2024) Renewable Power Generation Costs in 2023, p. 148

참고문헌

BNEF(2023) 2H 2023 LCOE Updates An Uneven Recovery

BNEF Data,

<https://www.bnef.com/interactive-datasets/2d5d59acd9000009?tab=Current%20LCOE%20by%20Technology>, (최종접속일: 2024.10.22.)

BNEF(2024) 1H 2024 Energy Storage Market Outlook

IRENA(2024) Renewable power generation costs in 2023