

이슈페이퍼 24-22

재생에너지 공급확대를 위한 중장기 발전단가(LCOE) 전망 시스템 구축 및 운영(4/5)

이근대·임덕오



QR 코드를 스캔하여
보고서 전문을
확인하실 수 있습니다.

이슈페이퍼 24-22

**재생에너지 공급확대를 위한
중장기 발전단가(LCOE)
전망 시스템 구축 및 운영(4/5)**

이근대·임덕오

1 연구의 필요성 및 목적

- 최근 코로나19의 확산에 이어 우크라이나-러시아 전쟁이 발발하였고, 금리 인상 및 인플레이션 현상이 지속되고 있는데, 이러한 외부충격은 전 세계 재생에너지 시장에도 영향을 미치고 있음.
- 전 세계 공급망 리스크는 주요 원자재 가격 및 에너지 가격의 상승과 더불어 공급망의 경색을 초래하였는데 이는 수급 여건과 가격 전가 상황에 따라 산업별로 영향이 다르게 나타나고 있어 국가별로 이에 대한 대응 방안을 모색하고 있음.
- 급격한 인플레이션 상황에 직면한 유럽 국가들은 위기 극복을 위해 단기적으로는 에너지 공급망 확대와 에너지 절약을 도모하고 장기적으로는 탄소중립 시대로의 이행 및 에너지 안보 강화를 위해 재생에너지를 확대하는 계획을 발표하고 있음.
- 하지만 재생에너지 비용이 물류비 상승과 더불어 주요 원자재인 폴리실리콘, 알루미늄, 철, 구리 등의 영향으로 상승하고 있어 보급에 영향을 미치고 있음.
- 우리나라도 전 세계 공급망 리스크와 탄소중립 시대로의 이행 및 에너지 안보에 대응하여 대책을 마련하기 위한 논의가 진행 중임.
- 단기적으로는 에너지 절약 및 이용 효율화를 추진하는 한편 장기적으로는 에너지 해외 의존도를 줄이고 에너지 자립도를 제고하는 방안을 모색하고 있음.
- 이는 근본적으로는 석유나 천연가스 의존도를 낮추고, 재생에너지 비중을 늘리는 동시에 수소와 같은 신에너지의 기술개발을 통해 탄소중립 및 에너지 안보를 대응하기 위한 것임.
- 재생에너지 보급 확대를 뒷받침하기 위해서는 물리적, 사회적 여건에 대한 검

토가 필요하며 이에 따른 경제적 영향도 고려될 필요가 있음.

- 경제적 영향을 분석함에 있어 재생에너지 발전 설비비용의 현재와 미래 수준을 분석함으로써 중장기적인 재생에너지 발전단가(이하 LCOE, Levelized Cost of Electricity)를 전망하는 것이 필요
- 이러한 분석 결과는 경제적 파급효과를 검토할 수 있는 수단이 될 수 있을 뿐만 아니라 비용효율적 재생에너지 보급을 위한 정책을 마련함에 있어 기초 자료로 널리 활용될 수 있음.

○ 재생에너지 LCOE 저감을 위한 정책 개선방안 마련 필요

- 재생에너지 LCOE가 목표 수준으로 하락하지 않을 경우, 사회적 비용 상승으로 이어져 장기적으로 재생에너지 보급 확대의 장애요인으로 작용할 가능성 존재
- 비용효율적인 재생에너지 보급 확대를 위해 재생에너지 발전 설비비용 분석 및 전망 시스템을 체계적으로 구축하고 분석 결과에 기반한 정책 및 제도 개선방안 마련이 필요

□ 연구의 목적

○ 재생에너지 발전 비용 조사 시스템 구축을 통한 합리적인 LCOE 분석 및 전망

- 재생에너지원별/유형별/규모별 설비비용, 운영유지비용, 토지비용, 기타비용 등 발전 설비비용 항목 표준화 및 조사 체계 구축
- 재생에너지원별 경제적 전제조건을 고려한 LCOE 산정 방법론 정립
- 우리나라 재생에너지 발전사업 비용 분석 및 평균적인 수준에서의 LCOE 추정 및 전망
- 연도별 재생에너지 발전 비용 및 LCOE 전망 결과에 따른 DB 구축

- 국내외 재생에너지 LCOE 비교분석을 통한 비용 저감 방안 제시
 - 주요국 재생에너지 LCOE 비교 및 분석을 통한 시사점 도출
 - 국내 재생에너지 비용 하락을 위한 방안 제시
 - 비용효율적 재생에너지 보급을 위한 제도 개선방안 제시
- 본 연구는 2020년부터 5년간 수행해야 하는 일반연구과제로 전체 연구 추진 내용은 다음과 같음.
 - 1차 년도(2020년) 연구에서는 재생에너지 확대의 주요 대상인 지상태양광과 육상풍력의 세부항목별/규모별 비용 조사를 위한 체계를 구축하고, 표준화를 통한 발전 설비비용을 분석하였음.
 - 또한, 경제적 전제조건을 바탕으로 LCOE 추정 방법론을 정립하여 2020년 기준 지상태양광과 육상풍력 LCOE를 추정하였고, 선행연구¹⁾에서 추정한 재생에너지 비용 학습률을 활용하여 2030년 LCOE를 전망하였음.
 - 2차 년도(2021년) 연구에서는 1차 년도의 연구 조사대상인 지상태양광과 육상풍력에 더불어 특수태양광(건물, 수상, 영농형)을 추가하여 관련된 비용을 조사하고, 이를 바탕으로 각 유형별 LCOE를 추정하였음.
 - 또한, 분산에너지 시스템 도입을 고려하여 전국토를 1km² 격자단위로 구분한 격자-LCOE 연산모형을 활용하여 지역별(시군구) 재생에너지 LCOE를 추정하였으며, LCOE 하락을 위한 시나리오 분석 결과를 도출하였음.
 - 3차 년도(2022년) 연구에서는 국내 해상풍력 LCOE를 추정하고, 재생에너지 발전 확대에 따라 발생할 수 있는 비용(전력망 보강 비용)을 분석하여 이를 반영한 LCOE 추정 결과를 도출하였음.

1) 전력거래소-에너지경제연구원(2018), 발전원별 균등화 발전비용 산정에 관한 연구

- 올해는 4차 년도(2023년) 연구에서는 2023년 기준 태양광 및 육상풍력, 해상 풍력 발전 설비비용을 조사하여 그동안의 추세를 분석하였으며, 미래 재생에너지 LCOE에 대해 정량적 방법론과 정성적 방법론을 활용하여 전망하였음.
- 5차 년도(2024년) 연구에서는 그동안 조사 및 분석된 자료를 바탕으로 재생에너지원별, 설비 유형별, 규모별, 연도별, 지역별 LCOE를 전망할 예정임.
- 최종적으로는 5년간 연구한 재생에너지 LCOE 분석 결과를 DB화하여 연구 수요자와 공유하는 시스템을 구축할 계획임.

2 연구내용 및 주요 분석 결과

- 2023년 전 세계 재생에너지 LCOE 분석 결과, 전년대비 소폭 상승하였으나 단기적으로 재생에너지 보급에 장애요인으로 작용하지는 않을 것으로 예상
 - BNEF(2023)에서 분석한 '23년 국가별 태양광 LCOE 현황에 따르면 일본과 중국을 제외한 대부분의 국가에서 전년도 대비 상승한 것으로 나타남.
 - 하지만, 전 세계적으로 재생에너지원은 전통에너지원인 석탄과 가스의 LCOE 보다 낮아 여전히 저렴한 에너지원으로 가격 경쟁력이 유지
 - * 2023년 기준 글로벌 벤치마크 태양광과 육상풍력 LCOE는 각각 MWh당 45USD, 43USD 수준으로 신규 석탄 및 가스 LCOE(MWh당 77USD, 95USD) 대비 여전히 낮은 수준(BNEF, 2023)
 - 우크라이나와 러시아 사태로 촉발된 에너지 공급망 리스크로 인해 장기적인 관점에서 재생에너지는 에너지안보 강화 수단으로 더욱 부상하는 추세
- 태양광 비용 조사 결과 및 평가
 - 태양광 비용(1~4차 년도 조사결과) 추세를 살펴보면, 기자재 비용 중에서 모

둘, 인버터 및 모니터링 등의 일부 비용은 하락하지만, 세부 항목별로 비용 변동이 차등적이며 특정한 패턴을 보이지 않음.

- 2023년 기준 태양광 발전 설비비용은 100kW 기준으로 1,450천 원/kW, 1MW는 1,416천 원/kW, 3MW는 1,296천 원/kW, 20MW는 1,205천 원/kW 수준으로 전년대비 약 1~10% 하락한 것으로 조사됨.
 - * 이는 태양광 원부자재 가격 하락으로 인해 모듈 가격이 전년 대비 소폭으로 하락한 것에 기인
 - * 인버터의 경우 최근 접속반이 포함된 스트링 인버터가 보급되고 있으며, 해당 제품의 가격은 기술개발 및 제품 가격 경쟁으로 인해 전년 대비 2% 하락
 - * 구조물 및 전기시설, 토목공사, 계통연계 비용은 철강재 가격 및 국내외 운임 비용 상승으로 소폭 상승
 - * 각종 시공에 투입되는 직접노무비의 경우 전년대비 소폭 상승한 것으로 확인되었으며, 이는 물가상승에 따른 인건비가 증가했기 때문인 것으로 판단
 - * 설비 규모 증대(100kW에서 20MW로 확대)에 따른 비용 감소효과는 약 15% 수준
- 국가별 태양광 CAPEX 세부항목별 설비비용 비교 분석 결과 우리나라는 일본 보다는 낮지만, 해외 주요국 대비 가장 높은 수준인 것으로 나타남.
 - * 특히, 태양광 모듈과 EPC 비용이 높은 수준이며, 설계 및 감리, 진단 및 검사, 인허가, 금융 등을 포함하는 기타비용과 계통연계 비용은 해외 주요국 대비 오히려 낮거나 유사한 수준
- 주요국 태양광 세부항목별 설비비용 분석 결과 비용 하락에 가장 크게 영향을 미친 요인은 모듈과 인버터의 가격이며, 다음으로 BOS, 기타 간접비용, 운반 및 설치비용 순으로 나타남.
- 향후 우리나라는 EPC 비용을 낮추는 것보다는 모듈과 인버터 등의 기자재 비용을 낮추는 노력이 더 필요할 것으로 사료됨.

○ 육상풍력 비용 조사 결과 및 평가

- 육상풍력 비용(1차~4차 년도 조사결과)추세 분석 결과, 어떠한 추세가 보이지 않고 일정한 수준이 유지되는 것으로 확인됨.
- 2023년 기준 20MW급 육상풍력 설비비용은 2,726천 원/kW 수준이며 이는 전년대비 약 0.2% 하락, 40MW급의 경우 2,688천 원/kW 수준이며 이는 전년도 조사 결과와 유사한 수준으로 조사됨.
 - * 설비비용에서 가장 많은 비중을 차지하는 풍력 터빈 비용이 철강재 가격 상승에도 불구하고, 국내외 제조업체 간의 가격 경쟁 및 터빈의 대형화 추세 등으로 인해 전년도와 동일한 수준인 것으로 나타난 것에 기인
 - * 설비 규모 증대(20MW에서 40MW로 확대)에 따른 비용 감소효과는 약 2% 수준인 것으로 나타남.
- 국내외 육상풍력 설비비용 비교 분석 결과 우리나라 비용이 가장 높은 것으로 나타남.
 - * 국내외 터빈 비용은 유사한 수준이나, 금융비용, 보험비용, 일반관리비, 기타 경비 등의 간접비 상승이 국내 비용 상승에 영향을 미치는 것으로 확인됨.

○ 해상풍력 비용 조사 결과 및 평가

- 국내 해상풍력 발전단지 구축을 위한 설비비용 조사 결과 55~65억 원/MW 수준인 것으로 나타남.
- 국내외 해상풍력 발전단지 구축 사례와 비교해 보았을 때 국내 설비비용이 주요국 대비 약 21억~22억 원/MW 높은 것으로 나타남.
 - * 특히, 우리나라는 기초 하부구조물 제작 및 설치와 계통연계, 인허가에 투입되는 비용이 높게 나타났는데 이는 지형적인 특성과 해상풍력 발전 산업 인프라 부족 등의 어려움에 기인한 것으로 판단됨.

○ 국내 재생에너지원별 LCOE 추정 결과

- '23년 태양광 LCOE는 123~144원/kWh 수준으로 전년 대비 약 2~11% 하락한 것으로 추정되며, 글로벌 벤치마크 LCOE(45USD/MWh) 대비 약 2.1~2.5배 높은 것으로 분석됨.
- '23년 육상풍력 LCOE는 166~168원/kWh 수준으로 전년 대비 약 1% 상승한 것으로 추정되며, 글로벌 벤치마크 LCOE(43USD/MWh) 대비 약 3배 높은 것으로 분석됨.
- '23년 해상풍력 LCOE는 271~300원/kWh 수준으로 재생에너지원 중에서 가장 높은 것으로 추정되며, 해외 주요국가 대비 약 1.3~2.4배 높은 것으로 분석됨.

○ 시나리오별 재생에너지 LCOE 전망 분석(정량적 분석)

〈요약 표-1〉 재생에너지 LCOE 전망 시나리오

구분	전망 방법
시나리오 1	• 2012~2022년 RPS 실적 자료(연간 단위 설비비용)를 바탕으로 학습효과 모형에 기반하여 전망
시나리오 2	• BNEF의 전 세계 재생에너지원별 설비비용(CAPEX) 전망 결과 적용
시나리오 3	• BNEF의 한국 재생에너지원별 발전단가(LCOE) 전망 결과 적용

- 태양광(1MW)은 2023년 135원/kWh 수준에서 2030년 78~119원/kWh 수준으로 약 12~44% 하락, 2036년 65~111원/kWh 수준으로 약 18~52% 하락할 것으로 전망됨.
- 육상풍력 분석결과 2023년 166원/kWh 수준에서 2030년 93~162원/kWh 수준으로 약 2~44% 하락, 2036년 78~159원/kWh 수준으로 약 4~53% 하락할 것으로 전망됨.

- 해상풍력은 2023년 287원/kWh 수준에서 2030년 205~281원/kWh 수준으로 약 2~29% 하락, 2036년 170~276원/kWh 수준으로 약 4~41% 하락할 것으로 전망됨.
- 풍력의 경우 태양광 보다 시나리오별 LCOE 전망결과의 격차가 큰 것으로 나타났는데, 이는 우리나라는 태양광 보급은 크게 증가하였으나 풍력은 보급 실적이 저조하여 Track-record가 부족하고 그동안 설비비용이 하락하지 않고 일정 수준에 머물러 있었기 때문임.

○ 재생에너지 LCOE 전망 설문조사 분석(정성적 분석)

- 재생에너지 경제성 연구에 대한 전문적 지식과 경험을 보유한 국내 전문가들에게 미래 국내 재생에너지 LCOE 전망과 비용 하락 요인에 대한 설문조사를 진행
- 국내 태양광 LCOE는 2030년~2036년에 약 23% 하락할 것으로 예상되며, 그리드패리티는 2030년 전후에 달성 가능할 것으로 나타남.
 - * 태양광 LCOE 하락에 요인에 대해서는 설비비용 감소, 경쟁입찰 제도 확대, 주민수용성 확보 등을 우선적 방안으로 제시
- 육상풍력 LCOE는 2030년에 약 13% 하락, 2036년에 약 23% 하락할 것으로 예상되며, 그리드패리티는 2030년 전후에 달성 가능할 것으로 나타남.
 - * 육상풍력 LCOE 하락에 요인에 대해서는 설비비용 감소, 주민수용성 확보 등을 우선적 방안으로 제시

3 결론 및 정책 시사점

- 재생에너지 원부자재 가격 하락에도 불구하고 금리인상, 인플레이션 등으로 인한 외부효과로 인해 우리나라 재생에너지 LCOE는 해외 국가 대비 여전히 높은 수준이며, 그 추세는 일정 수준을 유지
 - 태양광 모듈 및 인버터 가격은 소폭 하락하였으나, 구조물, 토목공사, 전기시설 등의 비용은 상승
 - 풍력은 풍력 터빈 비용이 철강재 가격 상승에도 불구하고, 국내외 제조업체 간의 가격 경쟁 및 터빈의 대형화 추세 등으로 인해 전년도와 동일한 수준
 - 우리나라 재생에너지 설비비용은 해외 추세와는 달리 특정한 패턴을 보이지 않고 일정한 수준이 유지되고 있음.
 - 국내 재생에너지 비용 추세를 반영한 LCOE 분석 결과 태양광은 전년대비 2~11% 하락, 육상풍력은 1% 상승한 것으로 추정됨.
- 정략적으로 분석한 국내 재생에너지 LCOE 전망 결과, 가격 경쟁력 확보를 위해서는 보다 진취적인 보급 목표 설정과 이를 달성하기 위한 기술과 제도가 마련될 필요
 - 시나리오별 재생에너지 LCOE 전망 결과 국내 RPS 실적을 반영한 시나리오보다 전 세계 시장과 기술을 반영한 LCOE 실적을 반영한 시나리오의 하락률이 가장 높은 것으로 나타남.
 - 이는 국내 재생에너지 시장 규모가 주요국 재생에너지 시장 규모보다 작다는 것을 나타냄.
 - 국내 재생에너지 시장 가격의 빠른 하락을 위해서는 가격 경쟁에 기반한 참여시장 확대를 위한 기술과 제도 마련이 필요

- 전문가 설문조사에 기반한 정성적 방법론을 활용한 미래 재생에너지 LCOE 분석 결과 우리나라의 경우 태양광과 육상풍력 모두 2030년 기점으로 그리드 패리티 도달할 것으로 예상되며, 이를 달성하기 위해 제도적, 기술적 보완이 필요함을 강조
 - 정량적 방법을 통한 결과를 보완하고자 에너지 경제성 관련 국내 전문가들에게 미래 국내 재생에너지 LCOE 전망과 비용 하락 요인에 대한 설문조사를 진행
 - 국내 태양광 LCOE는 2030년~2036년에 약 23% 하락할 것으로 예상, LCOE 하락에 요인에 대해서는 설비비용 감소, 경쟁입찰 제도 확대, 주민수용성 확보 등을 우선적 방안으로 제시
 - 육상풍력 LCOE는 2030년에 약 13% 하락, 2036년에 약 23% 하락할 것으로 예상, LCOE 하락에 요인에 대해서는 설비비용 감소, 주민수용성 확보 등을 우선적 방안으로 제시
 - 한편, 풍력 전문가들은 국내 풍력 LCOE는 산업공급망 미구축, 항만 및 설치/운송선박 등 인프라 부족으로 인해 비용 하락이 어려울 것으로 판단
- 재생에너지의 안정적인 보급 확대와 비용 하락을 위해서는 신기술 확보를 위한 정책적 대응 마련이 필요
 - 태양광 모듈 제조 등과 같은 분야에서 탠덤, 페로브스카이트 등의 차세대 태양광 발전기술로의 빠른 전환이 필요
 - 풍력의 경우 대규모 터빈 풍력 발전기 개발이 필요할 것이며, 이러한 주요 기자재에 대한 원자재 공급망을 다변화하는 전략이 필요
 - 국내 재생에너지 산업 육성을 위해 경쟁력 확보가 필요한 국내 제품의 사용을 위한 정책적 지원을 강화시킬 필요
- 해상풍력 보급 확대를 위해서는 입지 확보를 위한 주민 수용성 제고 필요

- 우리나라의 경우, NDC 목표 달성 및 에너지 안보 차원에서 가장 우선적인 수단이 재생에너지 보급 확대임에도 불구하고 재생에너지 발전사업 추진은 해당 지역 주민의 반대에 직면하여 발전사업, 환경영향평가, 개발행위 관련 인허가 취득 지연과 더불어 발전소 착공 지연 등의 문제에 직면하고 있음.
 - 특히, 해상풍력의 경우 발전부지 미확보 및 사업의 지연은 결국 LCOE를 상승시켜 장기적으로는 사회적 비용을 상승시키는 요인으로 작용할 가능성이 존재함.
 - 이러한 문제를 해결하기 위해 발전 사업자 차원에서는 다수의 주민설명회 개최 등 다양하면서도 끊임없는 주민 설득 노력이 수행될 필요가 있음.
 - 또한, 해당 지자체 차원에서도 현재와 미래 세대를 위한 바람직한 에너지원 확보를 위해 관련 규정 및 지역주민 설득을 위한 노력이 병행될 필요가 있음.
- 우선적으로 추진할 수 있는 정책방안은 현재 시행 중인 주민참여형 재생에너지 사업을 확대할 방안을 강구하는 것임.
- 정부는 지역주민의 재생에너지 사업 참여 확대를 위해 국민주주 프로젝트 사업 등을 추진하고 있음.
 - 이처럼 주민 수용성 제고를 위해선 사업에 따른 다양한 이익 공유 방안을 마련할 필요가 있는데, 국민주주 프로젝트 추진과 관련하여 주민참여 협동조합의 채권투자를 더욱더 활성화 할 필요가 있음.
 - 이는 일반적으로 주민은 변동성이 있는 배당 수입보다는 안정적인 채권에 의한 이자수입을 선호하기 때문임.
- 해상풍력의 원활한 보급 및 비용 하락을 위해 인허가 창구를 단일화하고, 해상풍력 보급 인프라와 지역 경제 활성화의 연계 방안 필요
- 해상풍력 인허가 원스톱 제도 운영을 통해 인허가 과정에서 발생하는 불필요한 행정적 경제적 비용을 줄일 필요

- 해상풍력 보급을 위한 인프라 확대가 국내 산업 기술 경쟁력 강화와 지역의 지속가능한 발전에 기여할 수 있도록 산업단지, 지역경제 활성화 연계 방안을 마련할 필요