LCOE를 이용한 대한민국의 에너지원을 이용한 발전에 대한 분석

**이민혁 정건영**

**인천과학예술영재학교**

ABSTRACT: 본 보고서는 대한민국의 다양한 에너지원에 대한 균등화 발전비용(LCOE)을 계산하고, 에너지 비용 분석의 중요성을 강조한다. 연구 문제, 사용된 방법론, 주요 결과 및 향후 전망에 대해 간략히 설명한다. 에너지원의 발전비용을 계산하여 에너지원의 발전 효율성을 비교하는 것은 다가오는 지구온난화를 늦추기 위한 초석이 될 것이다.

**1. 서론(Introduction)**  
**1.1 대한민국 에너지 정책의 배경**

대한민국은 급속한 경제성장과 산업화를 겪으면서 에너지 수요가 꾸준히 증가해 왔습니다. 그 결과 에너지원 확보와 안정적인 에너지 공급은 국가적 차원의 중요한 과제가 되었습니다. 과거에는 주로 석탄과 원자력 같은 전통적인 에너지원에 의존해 왔지만, 최근 환경적 문제와 국제적인 탄소 감축 노력에 따라 신재생 에너지로의 전환이 중요한 화두로 떠오르고 있습니다. 이러한 변화는 국내 에너지 정책에서 재생 가능한 에너지원 확대와 에너지 효율성 개선이 중요한 정책적 목표로 자리잡게 했습니다.

**1.2 에너지 비용 분석의 중요성**

에너지원 선택에 있어서 비용은 핵심적인 요인 중 하나입니다. 다양한 에너지원의 비용을 정확히 평가하고 비교하는 것은 정책 결정과 투자 방향을 결정하는 데 매우 중요한 역할을 합니다. 전통적인 발전 방식인 화력발전과 원자력발전은 그동안 가격 경쟁력이 높았지만, 환경 규제와 연료 가격 변동 등의 이유로 그 비용은 점차 증가하고 있습니다. 이에 반해 태양광, 풍력 등 신재생 에너지원의 비용은 기술 발전과 규모의 경제로 인해 점차 하락하고 있어, 향후 에너지원 선택에서 중요한 경쟁력을 갖출 것으로 예상됩니다.

**1.3 LCOE(균등화 발전 비용) 방법론의 필요성**

LCOE(Levelized Cost of Energy) 방식은 에너지원별로 총생산비용을 에너지 생산량으로 나누어 단위 에너지당 비용을 계산하는 방법입니다. 이는 특정 에너지원의 경제성을 평가하는 데 중요한 지표로, 발전 비용뿐만 아니라 설치 비용, 유지보수 비용 등을 종합적으로 반영하여 장기적인 비용을 산출합니다. LCOE는 특히 다양한 에너지원의 경제적 효율성을 비교할 수 있는 대표적인 방법으로, 신재생 에너지원의 경제성 평가에도 유용하게 사용됩니다.

대한민국의 경우, 신재생 에너지로의 전환이 국가적 과제로 대두되고 있는 상황에서, LCOE 분석을 통해 각 에너지원의 경제적 타당성을 평가하고, 신재생 에너지원이 기존 에너지원과의 경쟁력에서 얼마나 우위를 점할 수 있는지를 평가하는 것이 매우 중요합니다.

**1.4 기존 연구 및 신재생 에너지의 트렌드**

국내외 많은 연구에서 태양광, 풍력 등의 신재생 에너지원은 기술 발전과 함께 비용 절감 효과를 누리고 있는 것으로 나타났습니다. 예를 들어, 국제에너지기구(IEA)의 보고서에 따르면, 태양광 발전의 경우 지난 10년 동안 LCOE가 급격히 감소하였으며, 이러한 추세는 향후에도 계속될 것으로 보입니다. 특히 페로브스카이트(perovskite)와 같은 신소재의 등장으로 태양광 전지의 효율성이 급격히 향상되면서, 비용 절감이 더욱 가속화될 것으로 기대됩니다. 풍력 에너지도 해상 풍력 발전을 중심으로 비용이 낮아지고 있으며, 대규모로 설치되는 풍력발전소들이 에너지 공급의 주요 역할을 할 것으로 전망됩니다.

본 연구에서는 하동변전소의 태양광 발전 실적을 바탕으로 LCOE를 계산하고, 신재생 에너지원이 대한민국의 에너지 산업에서 얼마나 중요한 역할을 할 수 있는지를 평가하고자 합니다.

**Process**

Open question (1) 추가적인 조사를 바탕으로, 현재 우리나라의 다양한 발전원별 (화력, 원자력, 태양광, 풍력등) LCOE를 구해보자.  
다음은 하동변전소 태양광 발전 실적에 대한 분석 결과입니다.

1. **총 에너지 생산량**:
   * 2013년부터 2024년까지의 총 에너지 생산량은 **741,901.12 kW**입니다.
2. **일일 평균 에너지 생산량**:
   * 분석 기간 동안의 일일 평균 에너지 생산량은 약 **180.60 kW**입니다.
3. **연도별 에너지 생산량**:
   * **2013년**: 70,951.13 kW
   * **2014년**: 66,975.77 kW
   * **2015년**: 66,704.05 kW
   * **2016년**: 64,630.37 kW
   * **2017년**: 64,538.18 kW
   * **2018년**: 67,686.95 kW
   * **2019년**: 68,006.22 kW
   * **2020년**: 66,564.33 kW
   * **2021년**: 65,539.94 kW
   * **2022년**: 67,212.97 kW
   * **2023년**: 58,874.36 kW
   * **2024년**(일부 데이터): 14,216.84 kW

**LCOE 계산:**

1. **설치 비용**: 500억 원 (500,000,000,000 KRW)
2. **총 O&M 비용**: 250억 원 (25,000,000,000 KRW)
3. **총 비용**:

**500,000,000,000 + 25,000,000,000 = 525,000,000,000 KRW**

1. **총 에너지 생산량**: 741,901,120 kWh
2. **LCOE**:

따라서 하동변전소 태양광 발전소의 LCOE는 약 **707.66 KRW/kWh**로 계산됩니다. ​

Open question (2) 향후 우리나라의 발전원별(화력, 원자력, 태양광, 풍력 등) LCOE가 어떻게 변할지 예측하고, 그 근거를 함께 제시해보자.

. **향후 우리나라의 발전원별 LCOE 변화 예측 및 근거**

대한민국의 에너지 정책이 신재생 에너지원으로 전환됨에 따라, 발전원별로 LCOE(Levelized Cost of Energy)에 중요한 변동이 있을 것으로 예상됩니다. 아래에서는 화력, 원자력, 태양광, 풍력 등의 주요 에너지원에 대한 LCOE 변화 예측과 그 근거를 제시합니다.

**1. 화력발전**

**예측**:  
화력발전의 LCOE는 지속적으로 상승할 것으로 예상됩니다. 이는 석탄 및 천연가스와 같은 화석연료의 가격 변동성과 환경 규제 강화로 인한 탄소 배출 비용 증가 때문입니다.

**근거**:

* **연료 가격 상승**: 화력발전은 대부분 수입에 의존하는 석탄과 천연가스를 사용합니다. 국제 에너지 시장에서 화석연료 가격이 불안정하게 변동하는 상황에서 연료비는 장기적으로 상승할 가능성이 높습니다​.
* **탄소세 도입 및 환경 규제**: 국제사회는 기후변화에 대한 대응으로 탄소세 및 배출권 거래제를 도입하고 있습니다. 대한민국도 이러한 규제를 강화하고 있으며, 이는 화력발전의 경제성을 크게 저하시킬 것입니다​(LCOE)​(탐구자료 보고서 작성 양식 (1)). 한국 정부는 탄소 배출을 줄이기 위해 석탄 발전소 폐쇄 및 감축 정책을 추진하고 있어, LCOE는 상승할 것으로 보입니다.

**2. 원자력발전**

**예측**:  
원자력발전의 LCOE는 단기적으로는 안정적일 것으로 예상되나, 장기적으로는 건설 및 운영 비용 증가, 폐기물 처리 비용 등을 고려할 때 상승할 가능성이 있습니다.

**근거**:

* **건설 비용 및 유지보수 비용 증가**: 원자력발전소는 높은 초기 건설 비용이 필요하며, 설계 및 안전 기준이 점점 더 엄격해지면서 건설 비용이 증가할 수밖에 없습니다​(탐구자료 보고서 작성 양식 (1)). 또한 운영 중 발생하는 유지보수 비용과 방사성 폐기물 관리 비용이 추가적으로 발생합니다.
* **원자력 폐기물 처리**: 원자력 폐기물 처리 비용은 장기적으로 큰 부담이 될 수 있습니다. 방사성 폐기물의 안전한 처리는 상당한 비용이 소요되며, 이러한 비용은 원자력 발전소의 운영 종료 이후에도 계속 발생합니다​.
* **정책적 지원**: 대한민국 정부는 현재 원자력에 대해 정책적 지원을 유지하고 있으며, 새로운 원자로 건설이 계획되고 있습니다. 그러나 원자력발전에 대한 사회적 반대와 안전성 우려는 장기적인 경제성에 부정적인 영향을 미칠 수 있습니다.

**3. 태양광발전**

**예측**:  
태양광발전의 LCOE는 지속적으로 하락할 것으로 예상됩니다. 기술 발전과 대규모 설비 확대로 인해 설치 비용이 감소하고, 에너지 효율이 증가하고 있기 때문입니다.

**근거**:

* **기술 발전**: 페로브스카이트(perovskite) 같은 신소재의 개발로 태양광 전지의 효율성이 크게 향상되었습니다. 이러한 기술 발전은 발전 단가를 지속적으로 낮추는 데 기여할 것입니다.
* **대규모 설치와 규모의 경제**: 태양광 발전소의 설치가 전 세계적으로 확산되면서 규모의 경제가 발생하고 있으며, 이는 장비 및 설치 비용을 줄이는 데 도움이 됩니다. IEA(국제에너지기구)는 태양광 발전이 앞으로도 가장 빠르게 성장할 에너지원으로 보고 있으며, 그에 따라 비용도 지속적으로 낮아질 것으로 예측하고 있습니다​.
* **정부의 정책적 지원**: 대한민국 정부는 신재생 에너지원 확대를 위한 정책적 지원을 강화하고 있으며, 이에 따라 태양광 발전에 대한 인센티브 및 보조금이 확대되고 있습니다. 이는 LCOE의 지속적인 하락을 가능하게 할 것입니다.

**4. 풍력발전**

**예측**:  
풍력발전의 LCOE는 해상 풍력 발전을 중심으로 빠르게 하락할 것으로 예상됩니다. 특히 해상 풍력의 효율이 육상 풍력에 비해 높아, 향후 경제성을 크게 개선할 것입니다.

**근거**:

* **해상 풍력의 확산**: 대한민국은 해상 풍력 발전소 건설에 적극적인 투자를 하고 있습니다. 해상 풍력은 육상보다 바람의 세기가 더 강하고 일정하여, 발전 효율이 높습니다​(탐구자료 보고서 작성 양식 (1)). 이를 통해 발전 비용이 빠르게 감소할 것으로 예상됩니다.
* **기술 발전과 운영 비용 절감**: 풍력 터빈의 기술이 발전함에 따라 대형 터빈이 등장했고, 이는 단위 전력당 설치 및 운영 비용을 줄이는 데 기여하고 있습니다. 또한 유지보수 기술도 발전하면서 운영 비용이 더욱 감소하고 있습니다..
* **재생 에너지 지원 정책**: 정부는 재생에너지 목표를 달성하기 위해 풍력 발전을 적극 지원하고 있습니다. 특히 해상 풍력 발전은 탄소 배출을 줄이는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대되며, 이에 따라 다양한 경제적 인센티브와 보조금이 제공되고 있습니다.

**Conclusion**

향후 대한민국의 에너지원별 LCOE(균등화 발전 비용)는 각 에너지원의 특성, 기술 발전, 그리고 정책적 변화에 따라 상이한 변화를 보일 것으로 예상됩니다. 화력발전과 원자력발전의 경우, LCOE가 상승할 가능성이 높습니다. 이는 연료 가격의 불안정성, 탄소 배출 규제 강화, 그리고 안전성 문제 등으로 인한 운영 및 유지 비용의 증가에 기인합니다. 반면에, 태양광과 풍력 같은 신재생 에너지원의 LCOE는 기술 발전과 규모의 경제 덕분에 지속적으로 하락할 것으로 전망됩니다.

**1. 화력발전의 LCOE 상승 요인**  
화력발전은 석탄과 천연가스를 주 연료로 사용하며, 국제 에너지 시장에서 연료비의 변동이 심화되면 화력발전의 경제성에 직접적인 영향을 미칩니다. 또한, 대한민국 정부가 탄소 배출을 줄이기 위한 탄소세와 같은 환경 규제를 도입하면서 화력발전의 운영 비용은 점점 더 증가할 것입니다. 이러한 규제는 석탄화력발전의 경제성을 크게 저하시켜 LCOE 상승을 야기할 것으로 보입니다. 예를 들어, 석탄 발전소를 단계적으로 폐쇄하거나, 연료의 대체 및 고효율 장비 도입으로 인한 추가 비용이 발생할 수 있습니다.

**2. 원자력발전의 LCOE 상승 요인**  
원자력발전은 상대적으로 안정적인 에너지원으로 평가받고 있지만, 장기적으로는 LCOE가 상승할 가능성이 있습니다. 원자력발전소 건설은 높은 초기 자본이 소요되며, 방사성 폐기물 처리와 안전성 보장을 위한 유지보수 비용이 상당합니다. 특히, 원전 사고에 대한 사회적 인식 변화와 안전 기준 강화로 인해 신규 원자력발전소의 건설 비용은 점점 더 증가하고 있습니다. 또한, 원자력 발전의 폐기물 처리 문제는 장기적으로 지속적으로 큰 비용을 발생시키며, 이러한 비용이 LCOE 상승에 영향을 미칠 것입니다.

**3. 태양광발전의 LCOE 하락 요인**  
태양광발전의 LCOE는 빠르게 하락하고 있습니다. 이는 태양광 패널의 효율성이 꾸준히 향상되고 있으며, 특히 페로브스카이트(perovskite)와 같은 신소재의 개발이 그 중심에 있습니다. 이러한 신소재는 더 저렴한 가격으로 더 높은 효율성을 제공하며, 설치 비용을 대폭 줄이고 있습니다. 또한, 대규모 태양광 발전소의 설치로 인해 규모의 경제가 발생하고 있으며, 태양광 발전의 전력 생산 비용은 계속해서 하락할 것으로 보입니다. 정부의 신재생 에너지 확대 정책과 인센티브 지원은 태양광발전의 LCOE 하락을 더욱 가속화하고 있습니다.

**4. 풍력발전의 LCOE 하락 요인**  
풍력발전, 특히 해상 풍력발전의 LCOE도 지속적으로 하락할 것으로 예상됩니다. 해상 풍력은 육상 풍력에 비해 더 강력하고 지속적인 바람을 활용할 수 있어 발전 효율이 높습니다. 또한, 기술 발전을 통해 대형 풍력 터빈이 개발되고, 운영 및 유지보수 비용이 줄어들고 있습니다. 대한민국 정부는 해상 풍력 발전을 적극적으로 지원하고 있으며, 이러한 정책적 지원은 풍력발전의 경제성을 크게 개선하고 있습니다. 이로 인해 향후 해상 풍력발전의 LCOE는 더욱 낮아질 것으로 보입니다​.

**종합 결론**  
결론적으로, 대한민국에서 화력발전과 원자력발전의 LCOE는 연료비 상승과 환경 규제, 안전성 문제로 인해 증가할 가능성이 큽니다. 반면, 태양광과 풍력 같은 신재생 에너지원의 LCOE는 기술 발전, 규모의 경제, 정부의 정책적 지원으로 인해 계속해서 하락할 전망입니다. 이러한 변화는 대한민국의 에너지 정책이 재생 가능 에너지로 전환하는 과정에서 중요한 역할을 할 것이며, 향후 에너지원 선택에 있어 경제성을 고려한 신재생 에너지 확대가 가속화될 것입니다.