

## 지역별 경제성을 고려한 태양광 시장잠재량 산정 및 이행비용 분석

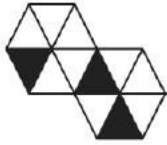
2018년도 연구성과 발표회

조 상 민, 이석호

2019.3.29

### 목 차

1. 연구 필요성 및 목적
2. 연구방법론
3. LCOE 및 시장잠재량 산정
4. 이행비용 분석
5. 시사점 및 추후 연구내용



## 1. 연구 필요성 및 목적

### 1) 연구 필요성

- 재생에너지 3020 이행계획 발표
  - 2030년까지 재생에너지발전 비중 20% 달성
  - 태양광 36.5 GW ('17년 5.7 GW), 풍력 17.7 GW ('17년 1.2 GW) 보급 목표
- 목표 달성 가능성과 이행비용의 적정성 관련 논란 제기
- 목표 달성 가능성 검토를 위한 시장잠재량 산정방법론의 합리성 증대 필요
- 입지별, 시점별 경제성과 잠재량에 기반한 보급목표 달성 이행비용 분석 요구됨

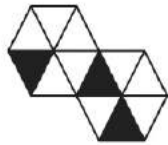
### 2) 연구 목적

- 격자-LCOE연산 기반 시장잠재량 산정 모델에 기반한 태양광 시장잠재량 산정
  - 토지비 등을 현실적으로 반영하여 지역별(지점별) LCOE 분석
  - 이론적, 지리적, 기술적, 규제적, 경제적(LCOE) 요인을 고려한 합리적 시장잠재량 산정
- 정부의 태양광 보급목표 달성 시 이행비용 분석
  - 발전비용 관점에서의 태양광 보급에 따라 우리 사회가 부담해야할 비용 분석
  - 이행경로에 따른 이행비용 차이 비교

3

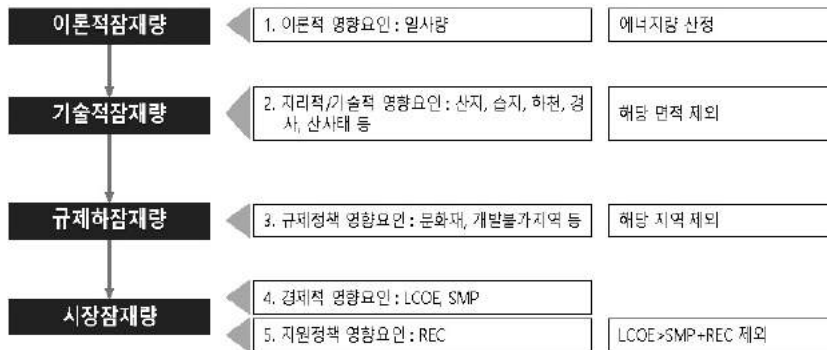
## 2. 연구방법론

4



## 2. 연구방법론

### 1) 잠재량 단계 및 정의



자료: 이현용·김현구·김진영·조상민, 2017, 국내 풍력 시장잠재량 감정안, 한국신재생에너지학회 2017년 추계 학술대회 발표자료를 바탕으로 적자 수정

시장잠재량 정의: 기술적잠재량 중 정부의 규제정책(규제정책 영향요인)과 지원정책(지원정책 영향요인)을 반영한 시장 환경 하에서 실질적으로 공급 가능한 잠재량

※ 규제정책과 지원정책과 같은 시장 환경이 변화하면 시장잠재량 또한 변화함.

※ 본 연구에서는 시장잠재량은 지원정책이 확정된 2017에 대해서만 산정. 이행비용은 규제정책이 변화하지 않는다는 가정하에서 규제하잠재량을 활용하여 분석 (한국에너지기술연구원·에너지경제연구원, 2017, 신재생에너지 자원지도 고도화 및 시장잠재량 분석에 관한 기술개발)

에너지경제연구원  
Korea Energy Economics Institute

5



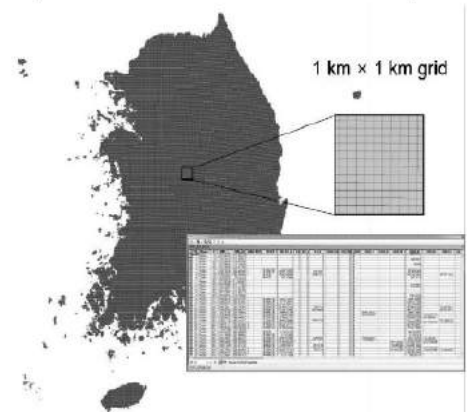
## 2. 연구방법론

### 2) 격자-LCOE연산 기반 시장잠재량 산정 모델

#### ■ 격자연산

- 전 국토를 1kmX1km 격자 약 10만개로 구분
- 각 격자별로 시장잠재량 산정을 위한 정보 입력\*, DB 구축
  - 이론적 영향요인, 지리적/기술적 영향요인, 규제정책 영향요인, 경제적 영향요인, 지원정책 영향요인 등
- 격자별로 LCOE 산정 모형 입력
- 입력된 정보를 반영하여 격자별로 LCOE 및 단계별 잠재량을 산정하고 이를 취합·분석하여 국토 전체 및 지자체별, 혹은 지역별 잠재량을 산정

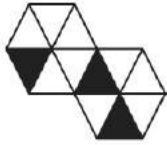
#### [격자-LCOE연산 기반 시장잠재량 모델 개요]



자료: 한국에너지기술연구원, 2017, 신재생에너지 자원지도 고도화 및 시장잠재량 분석에 관한 기술개발, 한국에너지기술연구원 에너지경제연구원, p.54.

에너지경제연구원  
Korea Energy Economics Institute

6



## 2. 연구방법론

### 2) 격자-LCOE연산 기반 시장잠재량 산정 모델

#### ▪ LCOE 연산 – ELCOE (Economic LCOE)\*

- ELCOE 추정식은 아래와 같음

※ 단, 실제 격자별 ELCOE는 격자별 영향요인(설치유형, 일사량, 공시지가)을 적용하여 차별적으로 산정됨

[ELCOE 추정 방법]

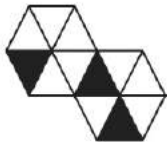
$$ELCOE = \frac{CAPEX + LE + \sum_{t=1}^T \frac{OPEX}{(1+r)^t} - \frac{LE}{(1+r)^T} - \frac{SV}{(1+r)^T}}{\sum_{t=1}^T \frac{Q(1-d)^t}{(1+r)^t}}$$

여기서, CAPEX : 설치비, OPEX : 운전유지비, LE : 토지비,

SV : 잔존가치(폐기비용 포함), r : 실질 사회적 할인율, d : 성능저하율,

Q : 조기발전량, T : 발전기의 경제적 수명 (년수)

\* 사회적 관점의 LCOE, 사적 관점의 LCOE는 Financial LCOE(FLCOE)로 정의,  
분석은 ELCOE와 FLCOE로 구분하여 수행하였으나 여기서는 시간 관계상 ELCOE 기준으로 결과 제시

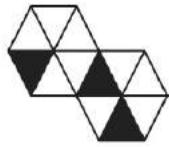


## 2. 연구방법론

### 2) 격자-LCOE연산 기반 시장잠재량 산정 모델

#### ▪ 태양광 ELCOE 추정 주요 고려요소

| 주요 요소   |         | 반영 여부       |
|---------|---------|-------------|
| CAPEX   | 모듈      | ○           |
|         | BOS     | ○           |
|         | 건설비     | ○           |
|         | 계통접속비   | ×           |
|         | 인센티브    | ×           |
| OPEX    | 수리 및 관리 | ○           |
|         | 보험료     | ○           |
| 금융비용    |         | ×           |
| 감가상각    |         | ×           |
| 세금(법인세) |         | ×           |
| 토지비     |         | ○ (지점별 반영)  |
| 잔존가치    |         | △ (폐기비용 반영) |
| 성능저하율   |         | ○           |
| 경제적수명   |         | ○ (20년)     |
| 할인율     |         | ○ (사회적 할인율) |



## 3. 지역별 LCOE 및 시장잠재량 산정

### 2) 격자-LCOE연산 기반 시장잠재량 산정 모델

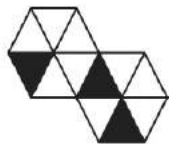
#### 태양광 ELCOE 추정 주요 전제

| 태양광 발전단가 추정 전제조건(2017년 기준)   |                        |                    |                                                                                                                                                                   |
|------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 구분                           | 태양광<br>(지상)            | 태양광<br>(건물)        | 산출근거                                                                                                                                                              |
| 규모                           | 200kW<br>(100~3,000kW) | 3kW<br>(3~10kW)    | - 국내 표준 설비                                                                                                                                                        |
| 초기투자비용<br>(CAPEX)<br>(억원/MW) | 16.6                   | 20.9               | - 지상 : 전력거래소, 2018, 발전원별<br>균등화 발전원가 산정에 관한 연구,<br>에너지경제연구원 자료 활용<br>- 건물 : 전력거래소, 2018, 발전원별<br>균등화 발전원가 산정에 관한 연구,<br>에너지경제연구원 자료(10kW이하<br>CAPEX를 활용하여 저자 재추정) |
| 운영 및 유지비용<br>(OPEX)<br>(% 년) | 초기<br>투자비용의<br>1.5     | 초기<br>투자비용의<br>1.5 | - 운영 및 유지비용 : 전력거래소,<br>2018, 발전원별 균등화 발전원가<br>산정에 관한 연구,<br>에너지경제연구원                                                                                             |
| 잔존가치(원/kW)                   | -34,500                | -34,500            | - 폐모듈 처리비용 : 전력거래소,<br>2018, 발전원별 균등화 발전원가<br>산정에 관한 연구,<br>에너지경제연구원                                                                                              |

|                | 태양광<br>(지상) | 태양광<br>(건물) | 산출근거                                                                   |
|----------------|-------------|-------------|------------------------------------------------------------------------|
| 평균 이용률<br>(%)  | 14.75       | 14.75       | - 산업통상자원부, 2017, 에너지원별<br>균등화비용(LCOE) 추정 연구,<br>에너지경제연구원               |
| 사회적 할인율<br>(%) | 4.5         | 4.5         | - 기획재정부(2017.08.11.) : 사회적<br>할인율 4.5%                                 |
| 이자율(%/년)       | 3.0         | 3.0         | - 국내 설정 반영                                                             |
| 불가상승률(%)       | 2.5         | 2.5         | - 국내 설정 반영                                                             |
| 법인세율(%)        | 11%         | -           | - 법인세 10%(2억원 이하), 지방세 1%                                              |
| 경제적 수명<br>(년)  | 20          | 20          | - 산업통상자원부(2014.04), 2014년 격중<br>신재생에너지 공급인증서 가중치에 관<br>한 연구(2014년도 기준) |
| 성능저하율(%)       | 0.8         | 0.8         | - 한국에너지기술연구원 내부자료(2017년도 기준)                                           |

9

에너지경제연구원  
Korea Energy Economics Institute



## 2. 연구방법론

### 3) LCOE 전망 및 대체전원 LCOE 산정 및 전망 방법

| 구분           | 가정 및 출처                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 태양광 CAPEX 전망 | <ul style="list-style-type: none"> <li>태양광 발전 누적보급용량과 모듈-BOS(Balance of System) 가격을 활용해 회귀분석으로 관계식 추정</li> <li>8차 전력수급기본계획에서 계획된 태양광 누적보급용량 자료를 이용하여 태양광 설비 가격을 전망</li> <li>- 추산식 : <math>\ln(\text{가격}) = a + b \cdot \ln(\text{누적보급용량}) + e</math></li> <li>- 모듈/BOS 가격(2012년 ~ 2017년) : 전력거래소, 2018, 발전원별 균등화 발전원가 산정에 관한 연구, 에너지경제연구원</li> <li>* CAPEX에 토지비 포함 여부가 불명확하여 토지비는 포함되어 있지 않은 것으로 가정</li> <li>- 태양광 누적보급용량(2011년 ~ 2017년 실적, 이후 계획치) : 한국에너지공단, 산업부</li> </ul> |
| 석탄 LCOE 전망   | <ul style="list-style-type: none"> <li>건설비, 운영유지비, 송전접속비, 연료비, 환경비용, 정책비용 등을 포함한 2017년 석탄화력 LCOE 81.22원/kWh에서 2030년 100.06원/kWh으로 상승할 것으로 전망</li> <li>- 2017년 ~ 2030년 석탄화력 LCOE 연평균 1.62% 증가 반영</li> <li>* 자료 : 전력거래소, 2018, 발전원별 균등화 발전원가 산정에 관한 연구, 에너지경제연구원</li> </ul>                                                                                                                                                                                                     |
| 가스 LCOE 전망   | <ul style="list-style-type: none"> <li>건설비, 운영유지비, 송전접속비, 연료비, 환경비용, 정책비용 등을 포함한 2017년 가스복합 LCOE 92.0원/kWh에서 2030년 98.71원/kWh으로 상승할 것으로 전망(연평균 0.54% 증가)</li> <li>- 2017년 ~ 2030년 가스복합 LCOE 연평균 0.54% 증가 반영</li> <li>* 자료 : 전력거래소, 2018, 발전원별 균등화 발전원가 산정에 관한 연구, 에너지경제연구원</li> </ul>                                                                                                                                                                                         |

10

에너지경제연구원  
Korea Energy Economics Institute



## 2. 연구방법론

### 4) 이행비용 정의 및 분석 방법

#### · 이행비용 분류 및 산정방법

| 구분                           | 정의                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. t기의 총이행비용 ( $TE_{S,t}$ )  | $TE_{S,t} = wELCOE_{S,t} \times Q_{S,t}$ <p>- 여기서, <math>wELCOE_{S,t} = \frac{\sum_t (ELCOE_{S,t} \times \Delta Q_{S,t})}{Q_{S,t}}</math><br/> <math>\ast ELCOE_{S,t}</math>는 t기의 신규 태양광 Economic LCOE, <math>Q_{S,t}</math>는 t기의 태양광 발전량</p>                                                                                                                                                                                 |
| 2. t기의 순이행비용 ( $NE_{S,t}$ )  | $NE_{S,t} = (wELCOE_{S,t} - wELCOE_{A,t}) \times Q_{S,t}$ <p>- 여기서, <math>wELCOE_{A,t} = \frac{\sum_t (ELCOE_{A,t} \times \Delta Q_{S,t})}{Q_{S,t}}</math><br/> <math>\ast ELCOE_{A,t} = \frac{q_C \times ELCOE_{C,t} + q_G \times ELCOE_{G,t}}{q_C + q_G}</math> 단, <math>q_C = 0.221, q_G = 0.773</math><br/> <math>\ast ELCOE_{C,t}</math>는 t기의 신규 석탄 Economic LCOE, <math>ELCOE_{G,t}</math>는 t기의 신규 가스 Economic LCOE</p> |
| 3. t기의 전력생산단가 증가분 ( $IC_t$ ) | $IC_t = \frac{(wELCOE_{S,t} - wELCOE_{A,t}) \times Q_{S,t}}{E_t}$ <p>- 여기서, <math>E_t</math>는 t기의 총 발전량</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 4. T기까지의 전환비용 ( $PE_{S,T}$ ) | $PE_{S,T} = \sum_t NE_{S,t} - (ELCOE_{S,T} - ELCOE_{A,T}) \times Q_{S,T}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

11

에너지경제연구원  
Korea Energy Economic Institute

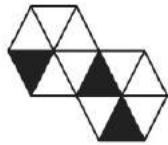


## 3. 지역별 LCOE 및 시장잠재량 산정

12

에너지경제연구원  
Korea Energy Economic Institute





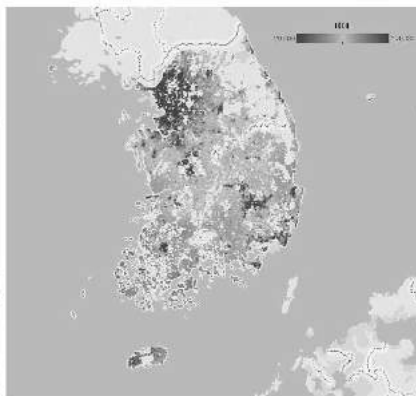
### 3. 지역별 LCOE 및 시장잠재량 산정

- 지역별 태양광 균등화 발전원가(LCOE)

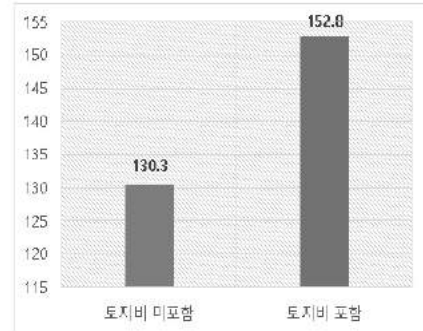
[지역별 ELCOE 분포 - 토지비 미포함]



[지역별 ELCOE 분포 - 토지비 포함]



[평균 ELCOE]



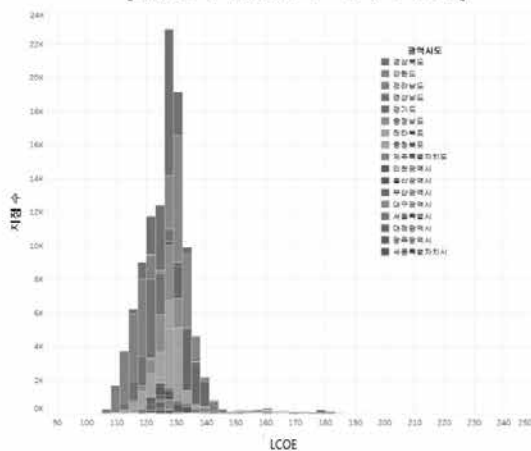
녹색이 가까울 수록 LCOE가 낮고 붉은색에 가까울 수록 LCOE가 높음을 의미

13

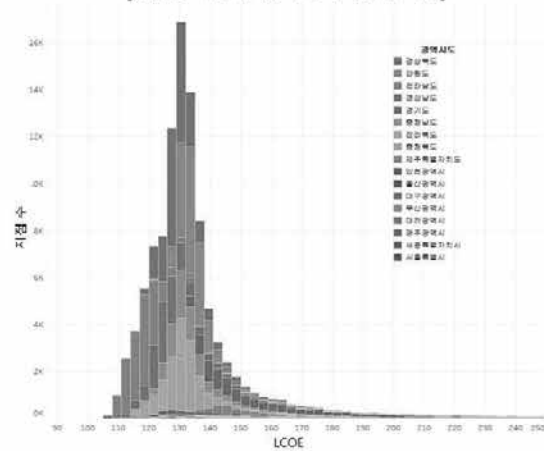


### 3. 지역별 LCOE 및 시장잠재량 산정

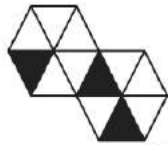
[ELCOE 지자체 분포도 - 토지비 미포함]



[ELCOE 지자체 분포도 - 토지비 포함]



14



## 3. 지역별 LCOE 및 시장잠재량 산정

- 2017년 기준 태양광 시장 잠재량 산정
  - 태양광 시장잠재량(약 290GW)은 2030년 목표(36.5GW)와 비교하여 충분
  - CAPEX 상승 시 시장잠재량 하락

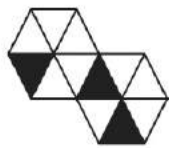
[태양광 시장잠재량 – 토지비 포함]

| 구분         |            | 평균 ELCOE<br>(원/kWh) |        | 설비용량<br>(GW) |         | 발전량<br>(TWh) |         |
|------------|------------|---------------------|--------|--------------|---------|--------------|---------|
| CAPEX 시나리오 | 기준가격       | 152.8               | -      | 293.4        | -       | 378.9        | -       |
|            | 10만원/kW 상승 | 159.0               | (4.1%) | 292.0        | (-0.5%) | 377.1        | (-0.5%) |
|            | 20만원/kW 상승 | 166.6               | (9.0%) | 285.0        | (-2.9%) | 368.1        | (-2.9%) |

15

## 4. 태양광 보급에 따른 이행비용 분석

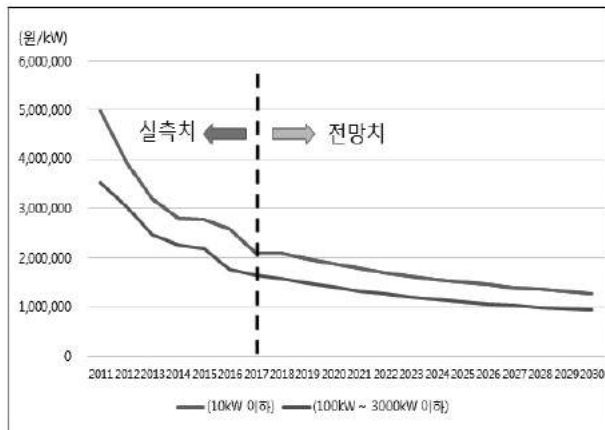
16



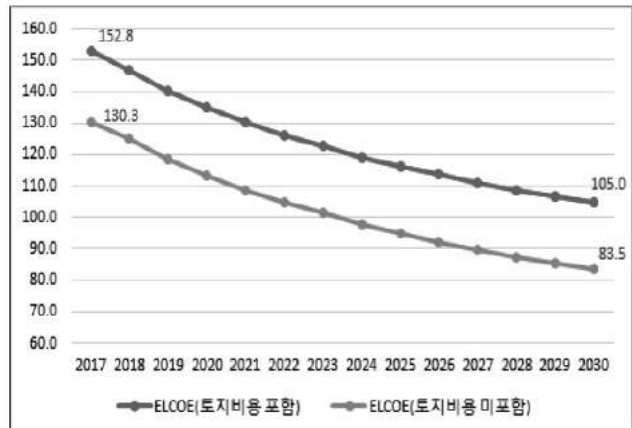
## 4. 태양광 보급에 따른 이행비용 분석

### ■ CAPEX 및 평균 ELCOE 전망

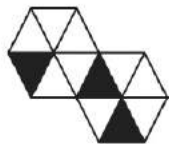
[태양광 용량별 CAPEX 전망]



[연도별 태양광 평균 ELCOE 전망]



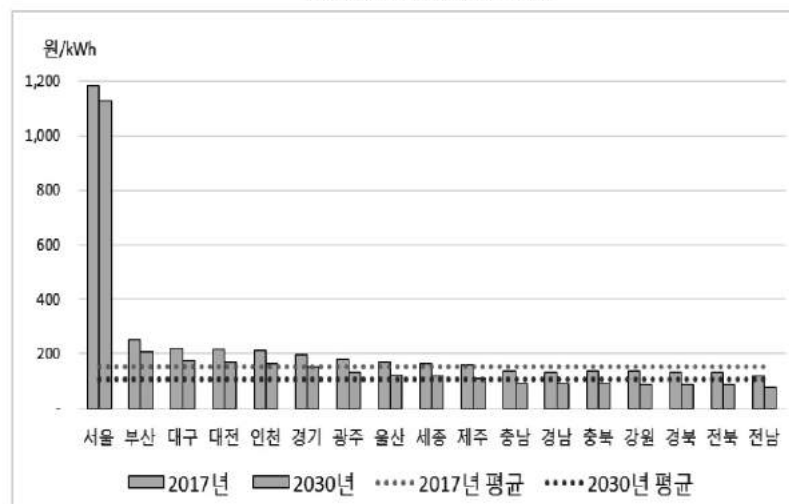
17



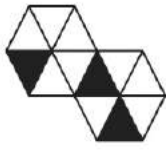
## 4. 태양광 보급에 따른 이행비용 분석

### ■ 2017년 vs 2030년 지자체별 평균 ELCOE 비교

[지자체별 평균 ELCOE 비교]



18



## 4. 태양광 보급에 따른 이행비용 분석

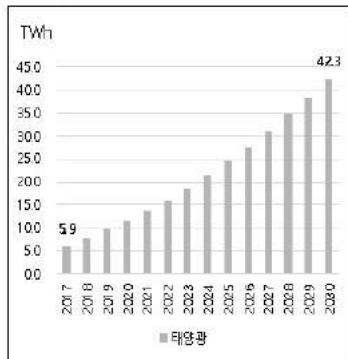
### ■ 순이행비용 산정을 위한 석탄 및 가스 ELCOE 전망

- 원전발전량 증가에 따라 석탄발전량과 가스발전량이 주로 줄어들게 되는데, 원전발전량 증가분의 약 22.1%는 석탄발전에서, 약 77.3%는 가스발전에서 감소

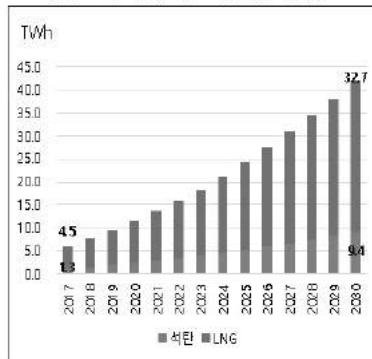
※ 에너지경제연구원 내부연구자료(2017), 신고리5,6호기 건설재개 영향

- 태양광 보급 시 동일한 기준으로 석탄, 가스가 각각 각 22.1%, 77.3% 감소하는 것으로 가정

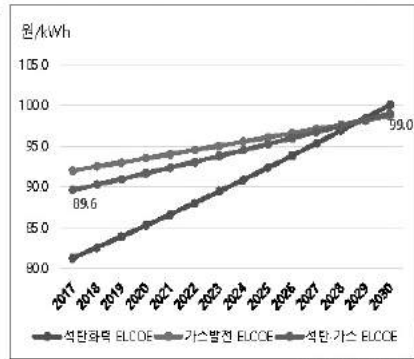
[연도별 태양광 발전량 목표]



[연도별 석탄, 가스 발전량 대체]

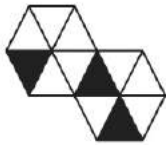


[석탄, 가스, 석탄-가스 복합 ELCOE]



에너지경제연구원  
Economic Research Institute for Energy

19

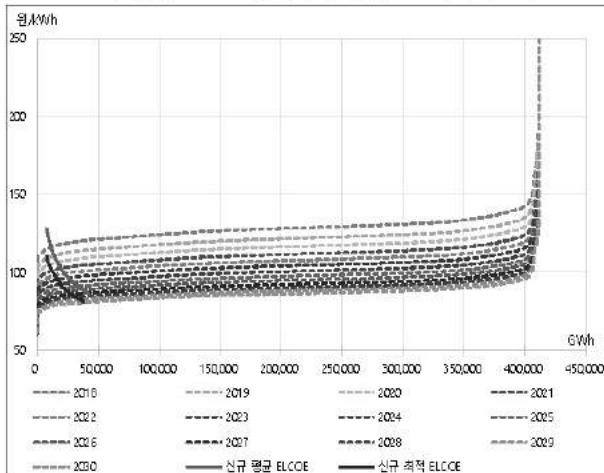


## 4. 태양광 보급에 따른 이행비용 분석

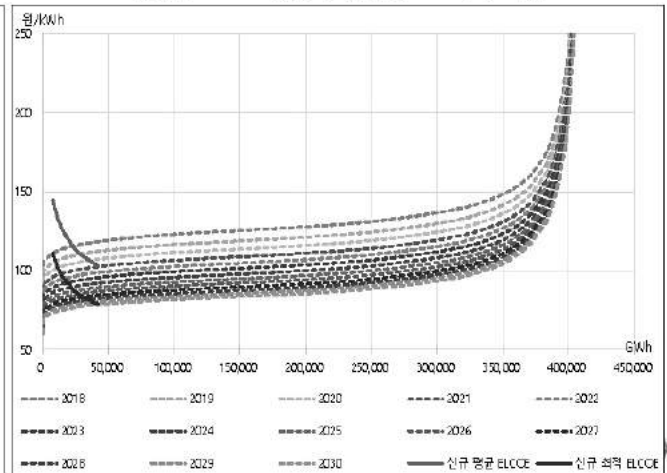
### ■ 태양광 보급목표에 대응한 최적 ELCOE와 평균 ELCOE 도출

- 지점별/연도별 태양광 ELCOE를 고려한 태양광 공급 곡선 도출
- 연도별 태양광 보급목표를 고려한 최적 ELCOE 도출

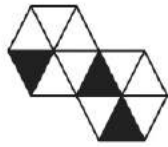
[태양광 ELCOE 및 규제하잠재량 - 토지비 미포함]



[태양광 ELCOE 및 규제하잠재량 - 토지비 포함]



에너지경제연구원  
Economic Research Institute for Energy



## 4. 태양광 보급에 따른 이행비용 분석

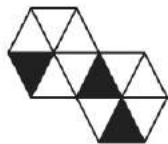
태양광 보급목표에 대응한 최적 ELCOE와 평균 ELCOE 도출

[보급목표를 반영한 연도별 신규 ELCOE 비교 - 토지비 포함]

| (원/kWh) | 신규       |          | 가중평균     |          | 신규 석탄-가스 | 가중평균 석탄-가스 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
|         | 평균 ELCOE | 최적 ELCOE | 평균 ELCOE | 최적 ELCOE | 복합 ELCOE | 복합 ELCOE   |
| '18     | 147      | 113      | 151      | 115      | 90       | 90         |
| '19     | 140      | 108      | 149      | 114      | 90       | 90         |
| '20     | 135      | 104      | 147      | 112      | 91       | 90         |
| '21     | 130      | 100      | 144      | 103      | 92       | 91         |
| '22     | 126      | 97       | 141      | 100      | 93       | 91         |
| '23     | 123      | 95       | 139      | 97       | 93       | 91         |
| '24     | 119      | 92       | 136      | 95       | 94       | 92         |
| '25     | 116      | 89       | 134      | 92       | 95       | 92         |
| '26     | 114      | 87       | 131      | 89       | 95       | 93         |
| '27     | 111      | 85       | 129      | 87       | 96       | 93         |
| '28     | 109      | 84       | 127      | 85       | 97       | 94         |
| '29     | 107      | 82       | 125      | 84       | 98       | 94         |
| '30     | 105      | 81       | 123      | 82       | 99       | 94         |

21

에너지경제연구원  
Korea Energy Economics Institute



## 4. 태양광 보급에 따른 이행비용 분석

태양광 보급에 따른 이행비용 분석 : 발전비용 관점

[연도별 태양광 보급 및 이행비용(토지비 포함) 전망 결과(2018~2030)]

| 연도  | 구분                  |                     |                     |                     | 1기까지의<br>전환비용<br>(억원) | 최적 보급시<br>전력생산단가<br>증가분<br>(원/kWh) | 평균 보급시<br>전력생산단가<br>증가분<br>(원/kWh) |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|     | 최적<br>총이행비용<br>(억원) | 최적<br>순이행비용<br>(억원) | 평균<br>총이행비용<br>(억원) | 평균<br>순이행비용<br>(억원) |                       |                                    |                                    |
| '18 | 1,918               | 426                 | 2,519               | 1,027               | 48                    | 0.08                               | 0.20                               |
| '19 | 4,078               | 855                 | 5,344               | 2,120               | 670                   | 0.16                               | 0.40                               |
| '20 | 6,170               | 1,206               | 8,074               | 3,109               | 1,807                 | 0.22                               | 0.58                               |
| '21 | 8,062               | 992                 | 11,234              | 4,165               | 2,881                 | 0.18                               | 0.76                               |
| '22 | 10,060              | 869                 | 14,290              | 5,099               | 3,949                 | 0.16                               | 0.92                               |
| '23 | 12,003              | 673                 | 17,256              | 5,926               | 4,869                 | 0.12                               | 1.08                               |
| '24 | 14,635              | 431                 | 21,085              | 6,880               | 5,839                 | 0.08                               | 1.22                               |
| '25 | 16,991              | -110                | 24,799              | 7,698               | 6,498                 | -0.02                              | 1.35                               |
| '26 | 19,189              | -834                | 28,420              | 8,397               | 6,447                 | -0.15                              | 1.47                               |
| '27 | 21,862              | -1,597              | 32,536              | 9,076               | 5,864                 | -0.28                              | 1.58                               |
| '28 | 24,431              | -2,493              | 36,557              | 9,833               | 4,296                 | -0.43                              | 1.67                               |
| '29 | 27,120              | -3,296              | 40,496              | 10,080              | 2,377                 | -0.57                              | 1.74                               |
| '30 | 29,855              | -4,585              | 44,907              | 10,467              | -898                  | -0.79                              | 1.81                               |
| 합계  | 196,375             | -7,464              | 287,516             | 83,678              |                       |                                    |                                    |

'30년 누적 최적 총이행비용  
⇒ 196,375 억원

'30년 누적 최적 순이행비용  
⇒ -7,464 억원

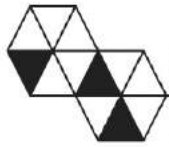
'30년 누적 평균 총이행비용  
⇒ 287,516 억원

'30년 누적 평균 순이행비용  
⇒ 83,678 억원

'30년 기준 전환비용  
⇒ -898 억원

22

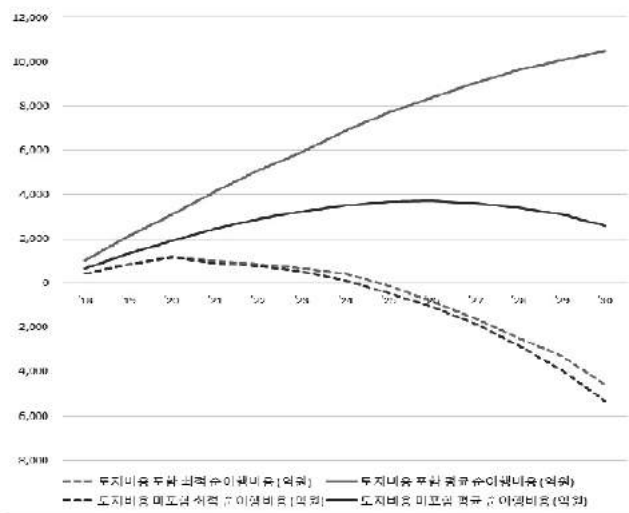
에너지경제연구원  
Korea Energy Economics Institute



## 4. 태양광 보급에 따른 이행비용 분석

- 토지비용을 포함하더라도 최적 보급 시 순이행비용은 감소 가능
- 최적 이행비용과 평균 이행비용간 격차가 큼

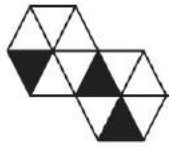
[최적/평균 순이행비용 비교]



23

## 5. 시사점 및 연구의 한계

24



## 5. 시사점 및 연구의 한계

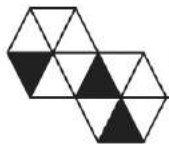
### <시사점>

- 태양광 시장잠재량은 재생에너지 2030 이행목표 달성에 충분
- 최적 입지 활용 여부(이행 경로)에 따라 이행비용 편차가 클 것으로 전망

### <정책 제언>

- 주민 수용성 확보 및 원활한 계통접속 보장 등을 통한 최적 입지 활용 유도
- 적절한 거래가격을 유도하는 시장여건 조성

25



## 5. 시사점 및 연구의 한계

### <연구의 한계 >

- 시스템 비용 미포함, 외부 비용 반영 미흡  
→ 실제 이행비용은 제시된 결과 보다 크게 나타날 것
- 태양광 모듈 효율향상으로 인한 잠재량 증가 미반영  
→ 반영 시 잠재량 증가 가능
- 토지 유형별 태양광 설치 형태 및 비용 차이를 반영한 잠재량과 LCOE 산정 필요  
→ 영농형 태양광 등 반영 시 잠재량 변화 가능
- 주민 수용성과 관련한 숨겨진 비용(hidden cost)의 반영 미흡  
→ 반영 시 ELCOE 상승 및 잠재량 감소 가능
- 격자 세분화에 따른 영향요인 반영 현실화 필요  
→ 반영 시 잠재량 증가 가능 가능

26

경청해주셔서  
감사합니다.

