

2019년 연구성과 발표회

에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

재생에너지 발전비중 확대에 따른 유연성 설비의 경제성 분석

2019년 2월 29일

장희선 조주현



차례

1. 연구의 배경 및 목적
2. 2030년 유연성 부족량 산정
3. 유연성설비 경제성 분석
4. 유연성자원 확보 및 경제적 활용 방안

1. 연구의 배경 및 목적



연구의 배경

- 2017년 출범한 새 정부는 에너지전환 로드맵('17.10월), 제8차 전력수급기본계획('17.12월), 제3차 에너지기본계획('18.10월) 등을 통해 원자력의 단계적 감축과 재생에너지 확대를 기반으로 한 에너지정책의 새로운 방향을 제시하였음.
- 제8차 수급계획의 목표시나리오에 따르면 2017년 전원구성은 발전량 기준 원자력과 석탄이 약 76%, 가스와 신재생이 23%를 차지하였으나, 2030년 원자력과 석탄의 비중은 60%로 감소하고 가스와 신재생의 비중이 39%로 확대될 전망
- 특히, 신규로 보급되는 재생에너지 설비용량 48.7GW의 97%를 풍력과 태양광으로 공급할 계획

연구의 배경

- 풍력과 태양광은 각각 풍속과 일사량의 자연조건에 의존하여 발전하는 특성으로 불확실성이 큰 변동적 신재생에너지(variable renewable energy)로 분류
 - 자연조건에 따라 발전량이 불규칙적으로 변하므로 발전량을 예측하기 어려우며 변동성이 높은 특징을 가짐.
- 풍력과 태양광이 높은 수준으로 전력계통에 투입될 경우, 전력수급 균형을 유지하기 위해 발전과 부하를 조절하는 능력을 의미하는 전력계통의 유연성이 저해될 수 있음.
- 즉, 수요 변동성만을 대비하던 전력계통이 발전 변동성도 대응하게 되어 기존의 유연성자원만으로는 전력수급의 균형을 맞추는 것이 어려워질 수 있음.
- 유연성자원에는 높은 출력 증·감발율을 가진 유연성설비, 수요반응, 에너지저장장치 등이 있으나, 아직까지는 유연성설비가 전력계통의 유연성에 대응하는 주요 요인으로 볼 수 있음.

- 5 -

연구의 목적

- 본 연구는 크게 세 부분으로 구성
 - 신재생 보급 확대에 따른 2030년 국내 전력계통의 유연성 설비 부족량 산정
 - 전원구성과 시장상황의 변화가 유연성설비의 상대적 경제성에 미치는 영향을 분석
 - 유연성자원 확보 및 경제적 활용을 위한 방안 제시

- 6 -

주요 연구결과

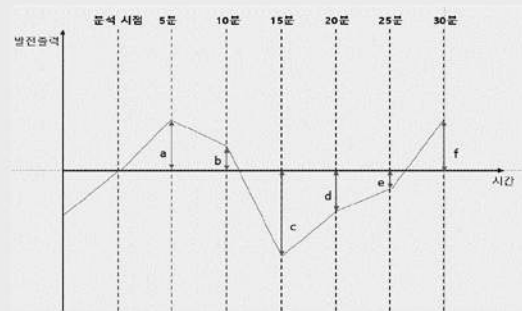
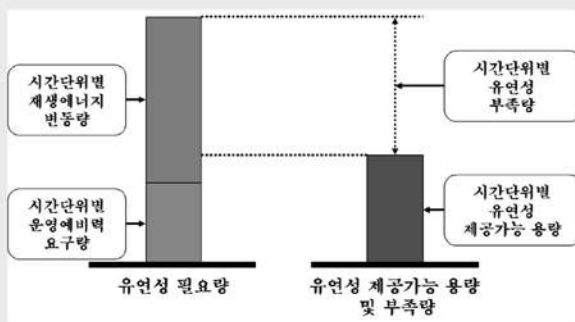
- 2030년 국내 계통의 유연성 부족량 산정 결과, 수요반응자원 및 에너지저장장치를 고려하지 않은 경우 신재생 확대에 대응하기 위해 60분~120분 이내 출력을 내야하는 설비가 현행 운영예비력에 더하여 약 1,800MW 추가적으로 필요한 것으로 추정
- LNG의 한계비용 추정치와 양수의 정산단가를 비교한 결과, LNG 한계비용 200원/kWh 내외에서 LNG와 양수의 경제성이 교차하는 것으로 분석
 - 최근 수년간의 LNG 연료가격 추세를 볼 때 경제성 면에서는 LNG가 양수에 비해 우수
- 유연성자원 확보 및 경제적 활용을 위한 제언
 - 현재 복합화력으로 운영 중인 가스터빈에 Bypass Stacks를 설치하여 유연성자원으로 활용하고, 이에 대한 비용을 보상할 목적으로 용량요금 정산에 계통안정도에 기여하는 요소를 반영
 - 제8차 전력수급계획에 따라 2028년부터 가변속양수를 활용하게 되면 수요가 적은 기저부하 시간대의 유연성이 향상되기에, 기저부하 시간대의 유연성 기여 측면을 고려한 가변속양수의 예비력 정산단가 조정을 제안

2. 2030년 유연성 부족량 산정



2030년 유연성 부족량 산정

- 전력계통내 시간대별 신재생 변동량과 운영예비력 요구량에서 유연성 제가능용량을 제하여 유연성 부족량을 산정
- 보수적인 관점에서 태양광과 풍력의 최대변동률, 전력수요 등의 전제치를 산정



- 9 -

2030년 유연성 부족량 산정

- 재생에너지의 최대변동률
 - 10분 30분 시간대의 최대변동률은 풍력이 크게 나타났으며, 60분 120분 시간대의 최대변동률은 태양광이 크게 나타남.
 - 일몰 및 일출시간대에 태양광발전이 빠르게 증가하고 감소하기 때문인 것으로 판단

시간 단위	풍력 최대 변동률[%]	태양광 최대 변동률[%]
10분	16	8
30분	18	15
60분	23	30
120분	31	52

- 전력수요 및 재생에너지 발전량
 - 최대수요일 때 많은 발전기가 가동 중이므로 유연성 제공량이 많아지며, 최저수요일 때는 주로 새벽시간으로 태양광발전량이 매우 낮아 변동성 역시 낮으므로 평균수요를 전제
 - 재생에너지의 발전량이 클수록 변동률도 높아지므로 최대발전을 전제

- 10 -

2030년 유연성 부족량 산정

□ 운영예비력 기준

- 2018년 6월 신뢰도 고시 일부개정안에 따라 운영예비력 기준이 개정
- 평상시 안정적 주파수 유지를 위한 주파수제어예비력과 주파수회복예비력으로 구분
 - 주파수제어예비력은 AGC운전을 통해 5분 이내 응답 30분 이상 지속할 수 있는 예비력이며, 주파수회복예비력은 1차·2차·3차예비력으로 구분
- 이와 별도로 20분 이내 응답 4시간 이상 출력을 유지할 수 있는 속응성자원 2,000MW 신설

운영예비력 기준	확보량[MW]	확보 시간 기준
주파수제어예비력	700	5분 이내 응답 30분 이상 출력
1차예비력	1,000	10초 이내 응답 5분 이상 출력
2차예비력	1,400	10분 이내 응답 30분 이상 출력
3차예비력	1,400	30분 이내 확보

- 11 -

2030년 유연성 부족량 산정

□ Merit Order 기반 급전

- Merit Order를 기반으로 하되 수도권 열 제약 해소를 위하여 원자력, LNG(수도권 열 제약 해소), 석탄, LNG 순으로 급전을 수행
- 또한 석탄 및 LNG 최대발전용량의 95% 운전점에서 추가적으로 감발을 하여 석탄은 89%, LNG는 79% 운전점에서 발전하여 유연성 부족량을 산정
- 산정결과, 수요반응과 에너지저장장치를 고려하지 않은 경우 2030년 국내 전력계통의 120분 시간단위에서 약 1,800MW의 유연성 부족량이 추정
 - 다만, 수요반응자원과 에너지저장장치를 이용하여 추가 유연성을 제공하거나 LNG의 운전점을 조정할 경우 120분대 유연성 부족량도 대응 가능
 - 5분 이하 재생에너지 변동성 및 계통 주파수 안정도 제약은 고려하지 않음.

단위 : MW	10분	30분	60분	120분
신재생 최대변동량	5,510	8,211	13,947	22,067
운영예비력 요구량(안)(속응성자원 별도 확보)	3,100	4,500	4,500	4,500
유연성 제공가능 용량	9,326	13,109	18,951	24,723
유연성 부족량	0	0	0	1,844

- 12 -

3. 유연성설비의 경제성 분석



유연성설비의 경제성 분석

- De Loecker and Warzynski(2012)의 한계비용 추정방법을 국내 전력계통에 적용하여 신재생 보급 확대에 따른 유연성설비의 경제성을 분석

$$L(M_{it}, K_{it}, \lambda_{it}) = P_{it}^M M_{it} + P_{it}^K K_{it} + \lambda_{it} (Q_{it} - Q_{it}(M_{it}, K_{it}, \Gamma_{it}, \omega_{it}))$$

- 비용최소화 문제를 풀면 연료탄력성과 시장에서의 연료가격, 연료사용량, 그리고 발전량과 한계비용 간의 관계를 얻을 수 있음.

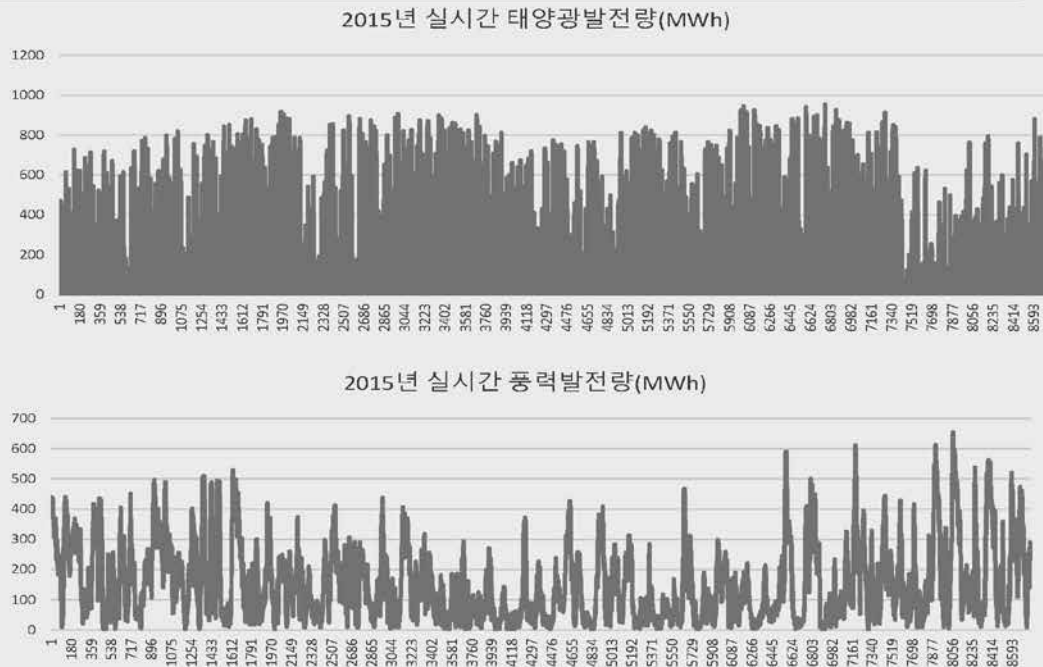
$$\lambda_{it} = \frac{1}{\theta_{it}^M} \frac{P_{it}^M M_{it}}{Q_{it}}$$

- 태양광과 풍력의 보급 확대가 유연성설비의 한계비용에 미치는 영향은 다음과 같이 추정

$$\ln \lambda_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 p_{it}^m + \alpha_2 q_{it} + \ln \Gamma_t \beta + \nu_t + \epsilon_{it}$$

재생에너지 발전비중 확대에 따른 유연성 설비 경제성 분석

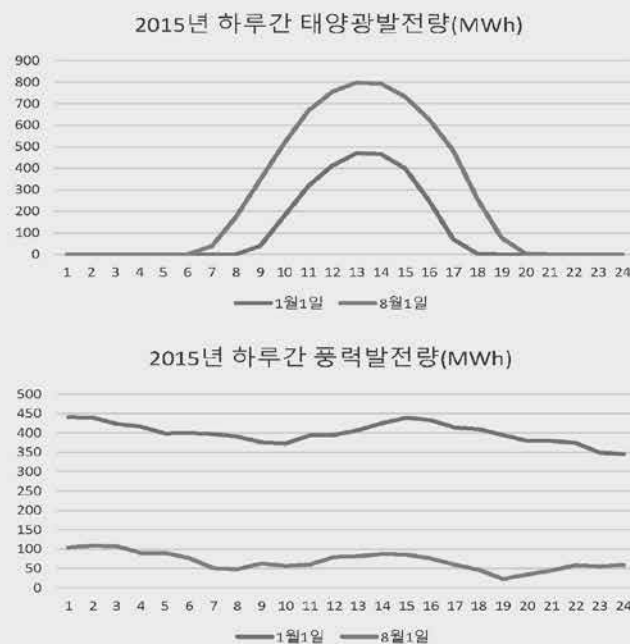
2015년 실시간 태양광 및 풍력 발전량



- 15 -

에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

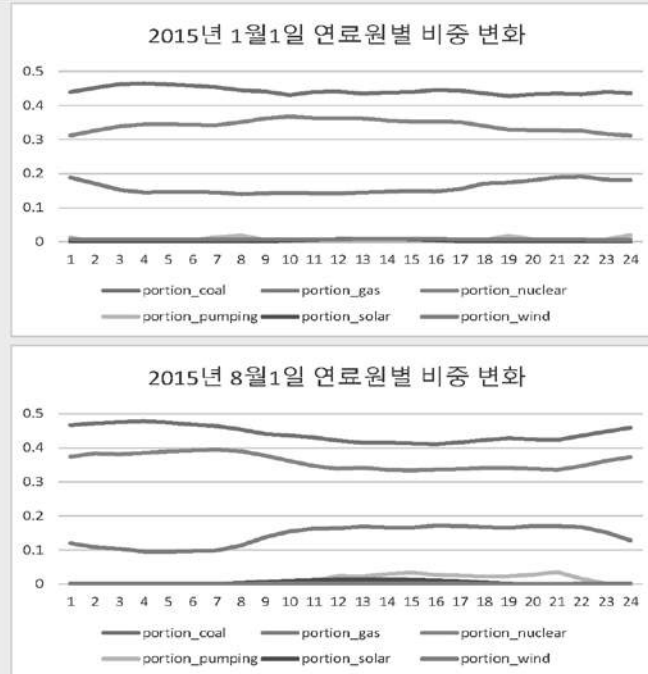
2015년 하루간 태양광 및 풍력 발전량



- 16 -

에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

2015년 하루간 연료원별 비중 변화



- 17 -

에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

LNG 한계비용 추정결과

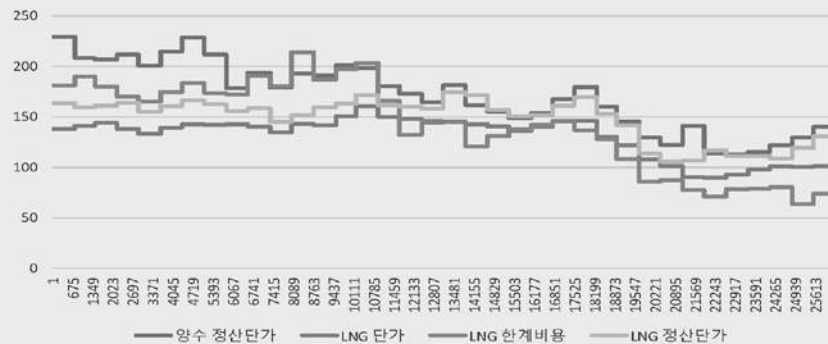
		종속변수: λ_{LNG}	
		추정계수	탄력성
가스가격 (P_G^w)		0.78** (0.008)	0.72** (0.007)
가스발전량 (Q_G)		0.002** (0.0001)	0.22** (0.009)
β_1	발전량-석탄	-0.002** (0.0001)	-0.32** (0.01)
	발전량-원자력	-0.001** (0.0001)	-0.23** (0.01)
	발전량-태양광·풍력	0.0009* (0.0004)	0.001* (0.0008)
	발전량-양수	0.001** (0.0001)	0.005** (0.0006)
	발전량-전체	-0.001** (0.00009)	-0.64** (0.03)
β_2	Fixed effects		
	Year	Yes	
	Month	Yes	
	Hour	Yes	
Adj R2		0.94	
관측치(개)		26280	

- 18 -

에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

LNG 한계비용 추정결과 및 양수 정산단가 비교

- LNG 한계비용 200원/kWh 내외에서 양수와 LNG 발전의 경제성이 교차
 - 지난 몇년간의 LNG 연료가격 추세를 볼 때 경제성 면에서는 LNG가 양수보다 우수
- 다만, 실제 유연성설비의 구성은 경제성 뿐만 아니라 각 유연성설비의 기술적 특성, 송전망 건설 및 입지 문제 등을 종합적으로 고려해야 함.
 - 경제성: LNG > 양수 > ESS
 - 출력증감발률: ESS > 양수 > LNG
 - 기동시간: ESS > 양수 > LNG



- 19 -

유연성설비의 경제성 분석

- 또한 본 연구의 결과는 현재 우리나라의 태양광과 풍력의 비중이 약 1.7% 수준으로 매우 낮다는 한계 내에서 해석할 필요가 있으며, 향후 상황 변화에 따라 경제성 분석 결과는 달라질 수 있음.
- 예를 들어, 향후 태양광이 높은 비중으로 확대될 때 낮 시간 남는 태양광으로 양수를 저장하여 저녁 시간에 전력 수요가 증가할 때 양수를 활용할 경우 양수의 경제성은 상승할 뿐만 아니라 수급조절의 기능도 확대될 것으로 전망됨.

- 20 -

4. 유연성설비 확보 및 경제적 활용 방안



유연성설비 확보 및 경제적 활용 방안

- 복합화력의 가스터빈 단독운전을 위한 설비 확보
 - 60분~120분 내 투입이 가능한 설비는 현실적으로 가스터빈인데, 우리나라는 효율성을 강화하기 위해 가스터빈에 스팀터빈을 연결한 복합화력을 주로 사용하고 있음.
 - 이에 따라 기존 복합화력 일부분을 가스터빈 단독운전이 가능하도록 Bypass Stacks를 설치하고, 이에 대한 보상방안으로서 Bypass Stacks 설치지원계수를 고정비 보상요소인 용량요금 정산요소에 적용하는 방안을 고려할 수 있음.
- 가변속양수발전 관련 제도개선
 - 제8차 전력수급계획에서 유연성 제고의 목적으로 활용될 것으로, 기저부하 시간대에 기존의 가스 혹은 석탄발전이 제공하는 주파수조정예비력을 일정부분 대체할 수 있을 것으로 기대
 - 그러나 가변속양수발전이 추가 예비력을 공급하여 얻게 될 수익이 크지 않을 것으로 예상되어, 현재와 같이 양수발전에 용량요금을 조정하여 지급하는 방안과는 다른 방안을 모색해야 함

감사합니다.

