

A satellite night view of Earth, showing the continents of North America, South America, and parts of Europe and Africa. The landmasses are covered with a dense network of yellow and white lights, representing city lights and urban areas. The oceans are dark blue. The text is overlaid on the image in a yellow, sans-serif font.

전력수급과 전기요금

2018. 10

노동석

에너지경제연구원

목차

1. 전기요금은 어떻게?
2. 발전비용
3. 전원믹스 문제
4. 다른나라의 전원 정책

서론 - 에너지전환 정책은 성공할 수 있을까?

- 3020, 신규 95% 이상을 태양광, 풍력으로 달성 가능할까
 - 태양광 연평균 15.2%/년(5→34GW), 풍력 24.4%/년(1→18GW) 증가 필요
 - 3020 → 4030(?)
- 재생에너지와 가스발전만으로 전력수급이 가능한가
 - 재생에너지의 간헐성 대처 방법은 있는가
 - ESS REC는 왜 높은가(풍력 연계 4.5, 태양광 연계 5)
- 에너지전환에 의한 전기요금 영향은 미미한가
 - 2018 상반기 한전의 적자발생 원인은 무엇인가
- 탈원전과 원전 수출은 무관한가
 - 무어사이드 원전 우선협상대상 지위 상실 이유는 무엇인가
- 에너지전환은 고용을 확대하는가
 - 누가 돈을 버는가
- 원자력, 화력분야 산업 및 인력대책은 있는가
- DR은 마스터키인가

1-7월	37854	122773	0.370243	
	37851	93117	0.561665	1.367236
		68106		

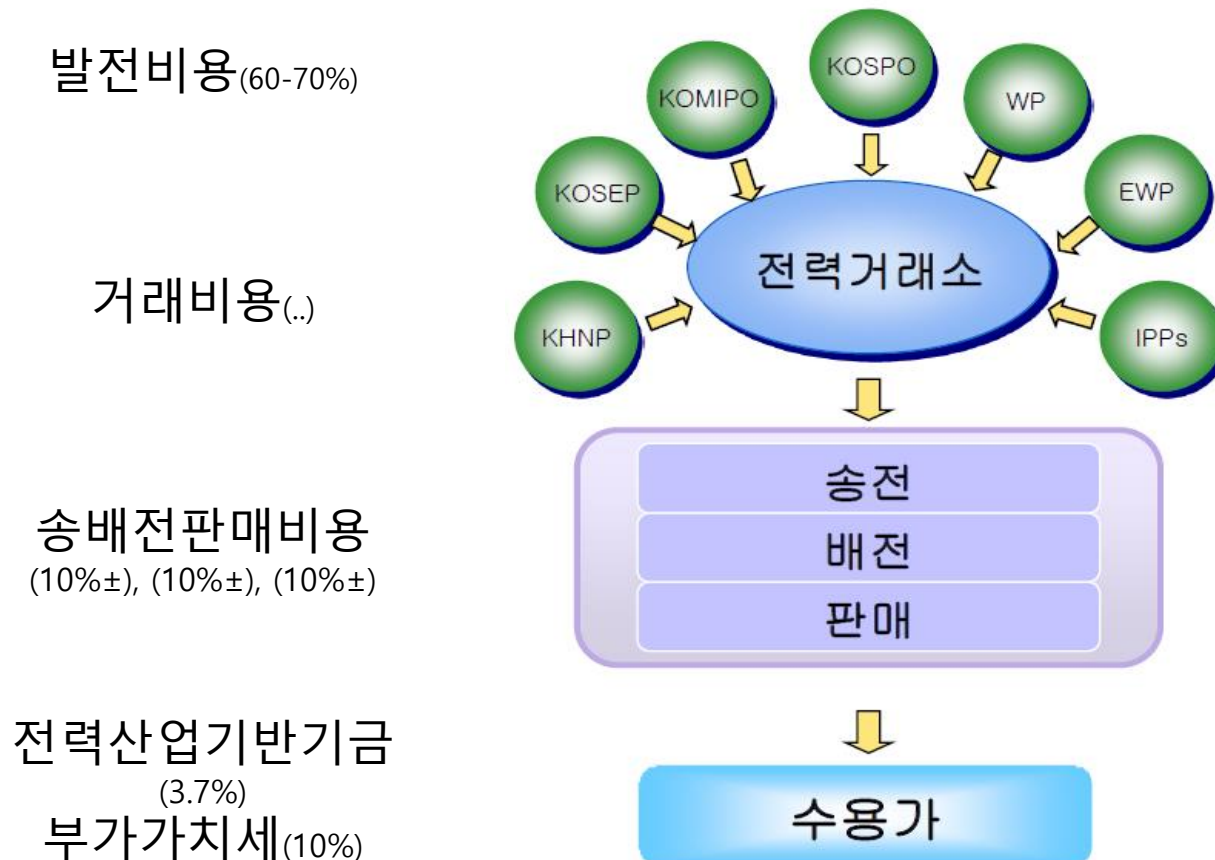
전기사업법 시행령-전기요금 규정

제7조(기본공급약관에 대한 인가기준) ① 법 제16조제1항에 따른 전기요금과 그 밖의 공급조건에 관한 약관에 대한 인가 또는 변경인가의 기준은 다음 각 호와 같다.

1. 전기요금이 **적정 원가에 적정 이윤을 더한 것**일 것
2. 전기요금을 공급 종류별 또는 전압별로 구분하여 규정하고 있을 것
3. 전기판매사업자와 전기사용자 간의 권리의무 관계와 책임에 관한 사항이 명확하게 규정되어 있을 것
4. 전력량계 등의 전기설비의 설치주체와 비용부담자가 명확하게 규정되어 있을 것

② 제1항 각 호에 따른 인가 또는 변경인가의 기준에 관한 세부적인 사항은 산업통상자원부장관이 정하여 고시한다. <개정 2013. 3. 23.>
[전문개정 2009. 11. 20.]

전기요금 구성 요소



⇒ 전기요금 수준은 발전비용이, 발전비용은 설비규모와 설비구성이 결정

전력시장의 발전비용 정산

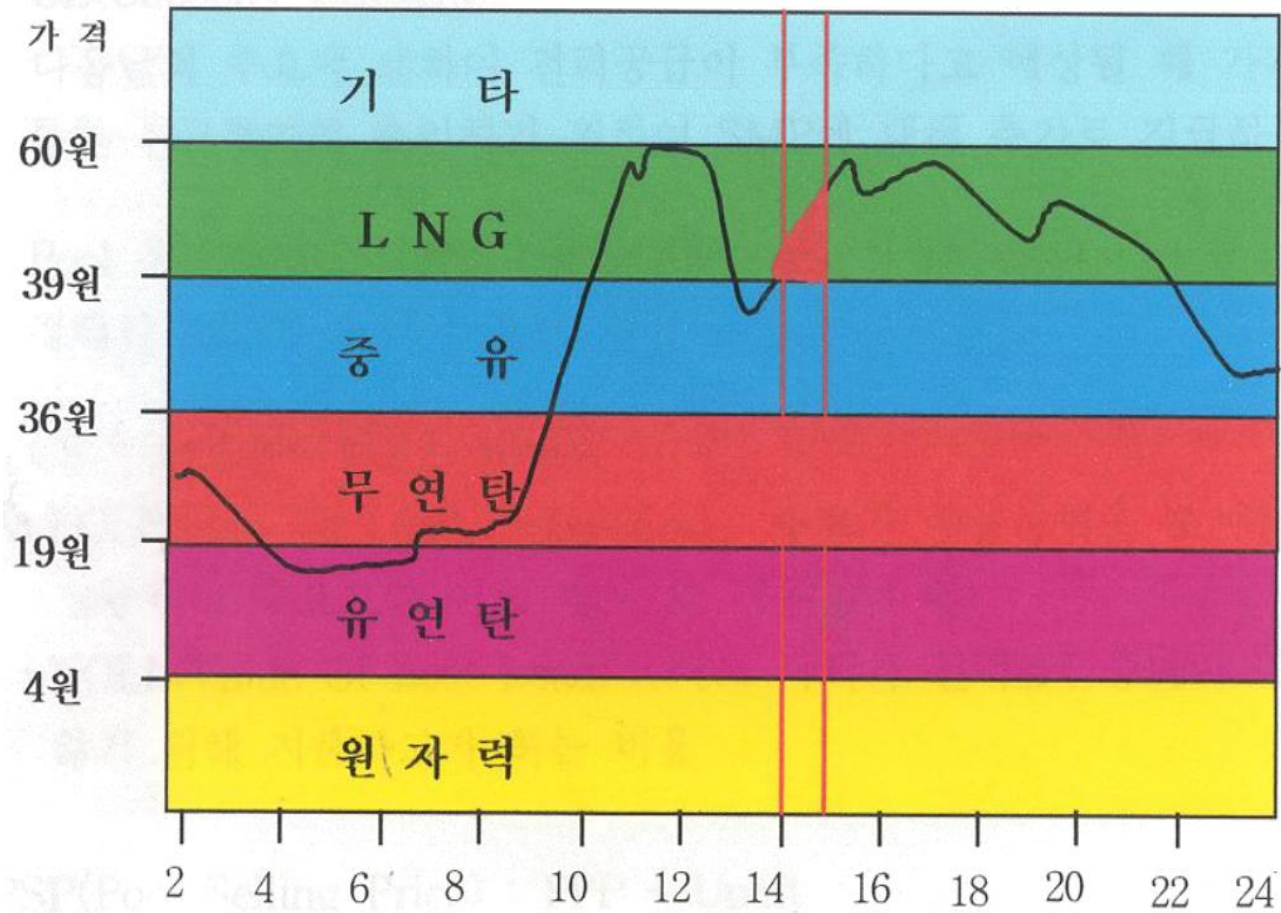
- 전력시장 정산비용 : 발전회사가 전력을 팔고 전력시장에서 받는 수익
 - 전력시장에서 받은 수익을 판매전력으로 나눈 값
 - 전력시장가격 변동에 따라 급변
- 정산비용 계산식
 - 자기 변동비 + (시장한계가격 - 자기변동비) x 정산조정계수

원/kWh

구분	원자력	유연탄	LNG	신재생*
2017	60.68	78.49	111.60	220.29
2016	67.91	73.93	99.39	186.66
2015	62.69	70.99	126.38	214.19
2014	54.70	65.13	160.96	255.51

* 전력거래소 EPSIS 통계, 신재생에너지 단가는 SMP와 REC비용(129.77/kWh) 합계

전력시장한계가격(SMP)



계약종별 전기요금

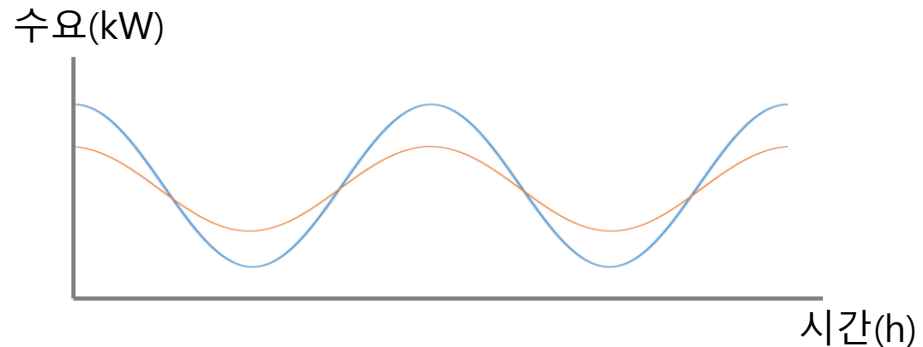
- 우리나라 전기요금은 OECD 국가에 비해 중간 이하 수준
- '산업용 전기요금이 싸다'는 주장은 허구
- 주택용 누진제는 나쁜 제도인가?

단위: 원/kWh

	주택	일반	교육	산업	농사	가로등	심야	평균
2015	123.7	130.5	113.3	107.4	47.3	113.4	67.2	111.6
2016	121.5	130.4	111.5	107.1	47.4	113.2	67.5	111.2
2017	108.5	130.4	103.1	107.4	47.6	113.6	67.4	109.5
2017 1-7	106.9	128.3	101.4	107.1	47.9	115.3	67.3	108.8
2018 1-7	107.8	128.8	102.4	106.3	48.0	115.7	67.6	108.4

발전비용을 이해하기 위한 개념

- kW, kWh
 - kW : 용량(예, 최대시속 100km로 달릴 수 있는 자동차)
 - kWh : 전력량(평균시속 80km로 3시간 달린 거리, 240km)
- 가동률, 이용률, 부하율
 - 가동률 : 시속 80km로 3시간 달린 자동차의 3시간 가동률은 100%
 - 이용률 : 최대시속 100km인 자동차가 평균시속 80km로 달린 3시간 이용률은 80%
 - 부하율 : 3시간 동안 88km/h, 62km/h, 90km/h로 달렸다면 부하율은 89%
- 1kWh의 열량은 860kcal, 만일 1kWh의 전기를 만들기 위해 투입된 에너지가 2,150kcal라면 발전효율은 40%이다.
- 출력 증감발률(ramp rate) : 단위 시간당 변동시킬 수 있는 출력량(kW/시간)
- 예비율(%) : 발전용량이 최대전력을 초과하는 양(예비력)을 최대전력으로 나눈 값의 백분율
- 할인율(%) : 미래의 가치를 어느 시점의 가치와 같게 하는 비율



발전비용의 구성

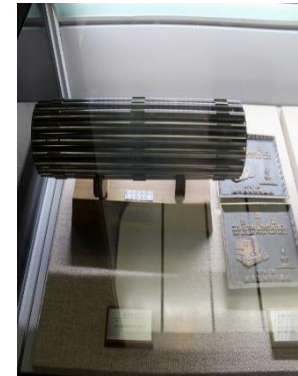
건설비



운전유지비



연료비



- 건설비
- 운전유지비 : 인건비, 수선유지비, 사후처리비
 - 원자력사후처리비 : 중저준위폐기물, 사용후연료 처분, 해체비용
- 연료비

발전비용의 종류

- 발전원가, 전력시장 정산가격
 - 발전원가 : 비용
 - 전력시장 정산가격 : 수익
 - 수익 - 비용 = 영업이익 (※영업외비용, 세금, 당기순이익)
- 균등화 발전비용(LCOE)
 - 서로 다른 운전특성을 가지는 발전소 비용 비교
 - 전력수급계획에 적용
- 시스템 비용
 - 미래 전력수요 전망, 기존설비의 규모와 구성, 폐지예정 설비, 신규도입 대상 전원의 기술적·경제적 특성을 고려한 전력시스템 전체 비용
 - 전력수급계획 수립에 적용

발전원가와 전력시장 정산비용

- 발전원가 : 발전회사가 전력을 생산하기 위해 지출한 비용
 - 발생 비용을 생산 전력으로 나누어 구해진 값
 - 발전소의 운전(발전량) 상태와 연료비 변동에 따라 급변
 - 전원별 발전원가(1991-2000), 원/kWh

	1991	1993	1995	1997	1999	2000	
유연탄	25.14	25.63	29.46	28.05	36.27	33.30	50% ↑
LNG	37.44	34.99	37.38	60.17	105.38	125.94	300%이상 ↑
원자력	22.62	24.57	25.17	30.59	35.38	39.34	100% ↑

- 전력시장 정산비용 : 발전회사가 전력을 팔고 전력시장에서 받는 수익
 - 전력시장에서 받은 수익을 판매전력으로 나눈 값
 - 전력시장가격 변동에 따라 급변

원/kWh

구분	원자력	유연탄	LNG	신재생*
2017	60.68	78.49	111.60	220.29
2016	67.91	73.93	99.39	186.66
2015	62.69	70.99	126.38	214.19
2014	54.70	65.13	160.96	255.51

* 전력거래소 EPSIS 통계, 신재생에너지 단가는 SMP와 REC비용(129.77/kWh) 합계

- 원가, 정산비용은 객관적 관점의 전원간 경제성 비교에 부적합, 기업의 회계, 재무분석의 내부자료로 활용

균등화발전비용 계산식

■ Simplified LCOE Calculation

$$\frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

I_t = 건설비

M_t = 운전유지비

F_t = 연료비

E_t = 발전량

r = 할인율

n = 운전수명



전원의 경제성은 균등화 발전비용으로 비교하는 것이 맞다.
우리의 균등화 발전비용은 원자력이 가스의 1/2, 재생에너지의 1/3 수준이다.

- 전원의 경제성은 원가, 정산단가로 비교하면 틀리다. 매년 변동하기 때문이다.
 - 가스발전의 kWh당 정산단가는 2014년 161원에서 2016년 99원으로 떨어졌다. 원자력은 같은 기간 55원에서 68원으로 올랐다.
- 전세계의 많은 기관들은 경제성 비교시 균등화발전비용을 사용한다.

- 우리나라 균등화 발전비용(원/kWh)-2017년도 평가

	건설비	운전유지비	연료비	계
가스	9.2	5.4	89.9	104
원자력	23.3	26.4	4.7	54
풍력	-	-	-	221
태양광	-	-	-	214

주 : 풍력, 태양광은 2017년 실적 기준(SMP+REC)
자료 : 7차전력수급계획, 에너지경제연구원

미국 · 영국에서 원자력은 경제성이 없어졌다.
일본 · 중국은 경제성이 있다.

- 미국, 영국 정부는 원자력이 가스나 재생에너지에 비해 비싼 전원으로 평가했다. 그래도 미국, 영국은 원전을 유지, 확대하려 하고 있다.
- 일본, 중국은 원자력을 다른 전원에 비해 경제적으로 평가한다. 일본은 후쿠시마 사고 이후 정지되었던 원전의 재가동을, 중국은 원전을 확대하고 있다.

※ 만일 원자력의 경제성이 없어지면, 원전유지 명분은 없어 진다.

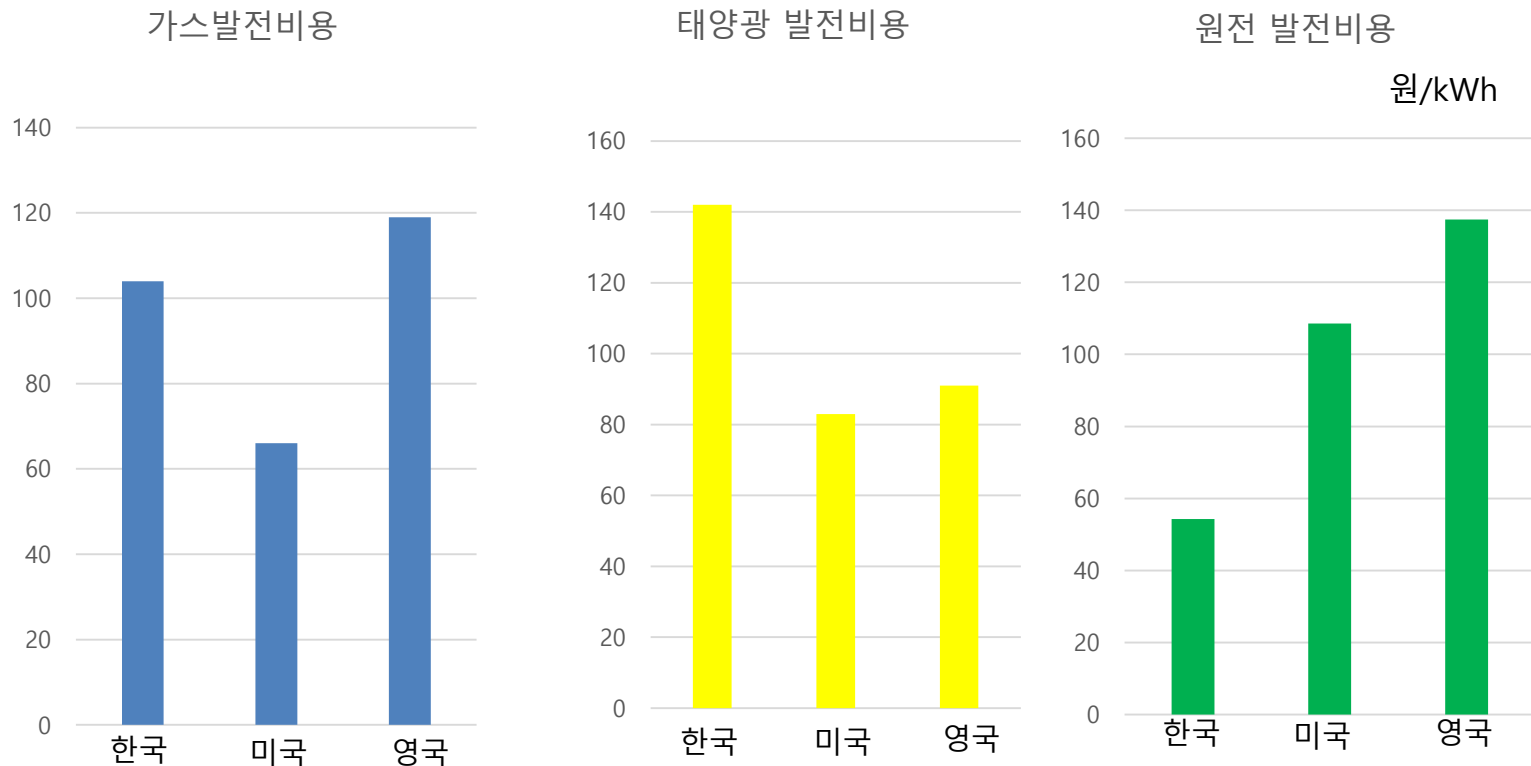
미국		건설비	운전유지비	연료비	송전투자비	계
	가스	15.8	1.6	47.4	1.2	66
	원자력	79.9	14.2	13.2	1.1	109
	풍력	44.9	14.8	0.0	3.3	63
	태양광	67.5	11.4	0.0	4.3	83

영국		건설비	운전유지비	연료비	환경비용	계
	가스	10.1	7.2	57.9	42.0	119
	원자력	105.6	26.0	7.2	0.0	138
	풍력	107.1	37.6	0.0	0.0	145
	태양광	79.6	11.6	0.0	0.0	91

* 환율 : 1,129원/달러, 1,447원/파운드

우리는 미국, 영국에 비해 원자력은 싸고 태양광, 풍력은 비싸다.

- 우리는 원자력발전소를 싸게 지을 수 있다. 그러나 풍력, 태양광은 건설비도 비싸고 자연조건은 좋지 않다.
 - 원전의 건설비는 미국, 영국의 1/2~1/3 수준, 풍력 태양광의 이용률은 1/2 수준
 - 왜 우리는 건설비가 싼가? : 정부사업, 잘 준비된 공급망
- 그래서 미국, 영국과 달리 우리는 원자력이 재생에너지 보다 싸다.



어떻게 다른가

- 설비예비율(capacity reserve margin)
 - 정격용량 기준
 - 피크기여도 기준
- 공급예비율
- 운전예비율(operation reserve margin)
- 순동예비율(spinning reserve margin)

발전소들은 특성이 서로 다르다.
모든 면에서 우월한 발전원은 없다.

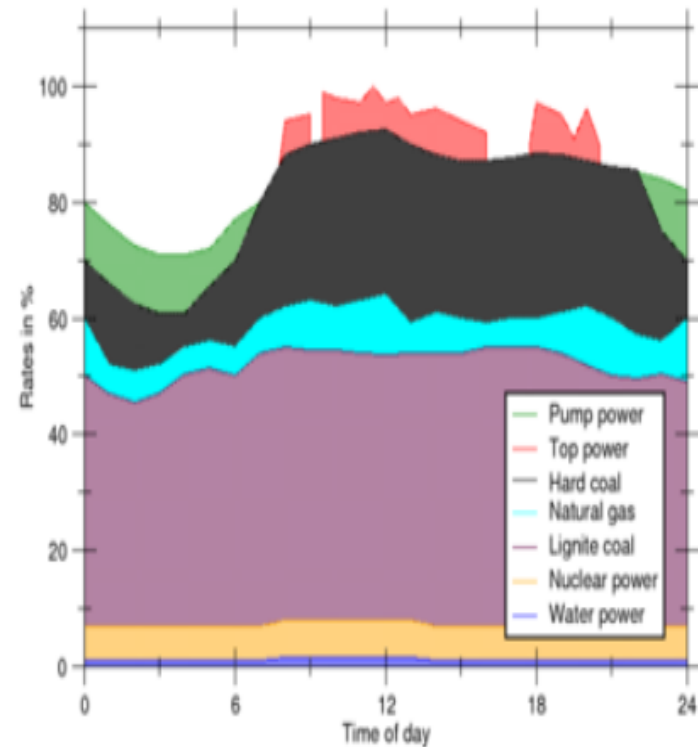
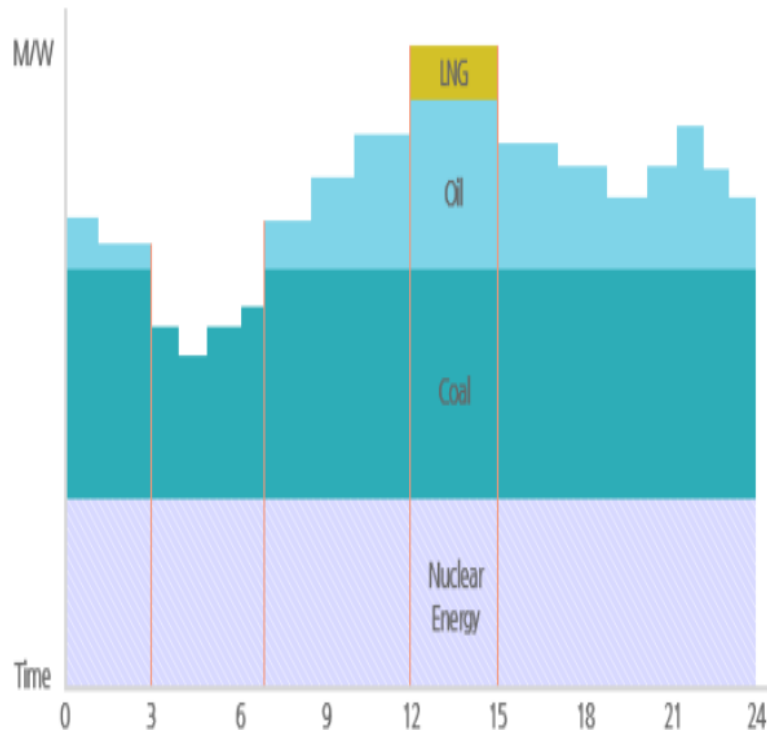
■ 전원별 특성 비교

	가스	석탄	원자력	재생
건설비(고정비)	쌈	중간	비쌈	비쌈
건설기간	짧음	중간	김	짧음
변동비(연료비)	비쌈	중간	쌈	없음
발전비용	비쌈	중간	쌈	비쌈
대기환경성	중간	낮음	낮음	낮음
연료의 해외의존도	높음	높음	낮음	없음
출력조정성	높음	중간	낮음	없음

- 전력수요의 행태와 발전소의 특성, 경제와 환경, 그리고 연료공급의 안정성, 안전성을 고려하여 발전비중을 결정하는 것이 중요하다.
- 급격한 탈원전, 탈석탄은 기간이 아닌 방식과 경로의 문제
- 우리의 에너지 여건에서 원자력과 석탄 포기는 신중히 결정 필요
 - 자원빈국, 계통 비연계

적정 전원/발전의 구성이 필요합니다.

- 공급의 신뢰도를 유지하면서, 환경기준을 만족하고 최소의 비용으로 전기를 공급하는 대안을 찾는다.
 - 송전선로, 열공급 등의 제약을 별도로 고려한다.
- 하나의 발전원이 확대되거나 축소되면 다른 전원이 축소, 확대되어야 한다.
- 재생에너지 비중을 20%로 결정했다면 나머지 80%를 어떻게 구성할 지 고민해야 한다.



전기요금은 전원의 규모와 구성에 영향을 받는다.

- 원자력, 석탄 축소 가스, 신재생 확대는 전기요금 인상 요인
 - 비싼 전기가 싼 전기를 대체
 - 신재생 백업설비 보강, 소규모 태양광·열병합 설비 지원, 수요지인근 가스발전소 보상 확대 불포함

		구입단가 (원/kWh)	인상율(%)		가구당 전기요금 (350kWh/월)
			2017-30	연평균	
2017		82.7	-	-	5.5만원
2030	목표	91.7	10.9	1.3	약 720원 ↑
	BAU	90.4	9.3	1.1	약 610원 ↑

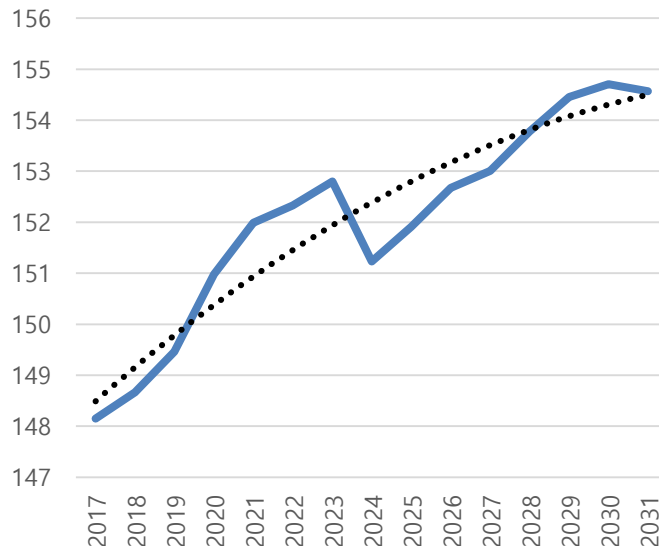
자료: 국회 에너지소위 보고자료, 2017.12

- 에너지전환 정책 추진시 20% 이상(2030) 인상 요인 발생 추정
 - 기술혁신에 의한 재생에너지 발전비용 하락 전제
 - 재생에너지 확대에 의한 출력 변동성을 보완하기 위한 밸런싱, 백업설비, 송전망 비용 제외

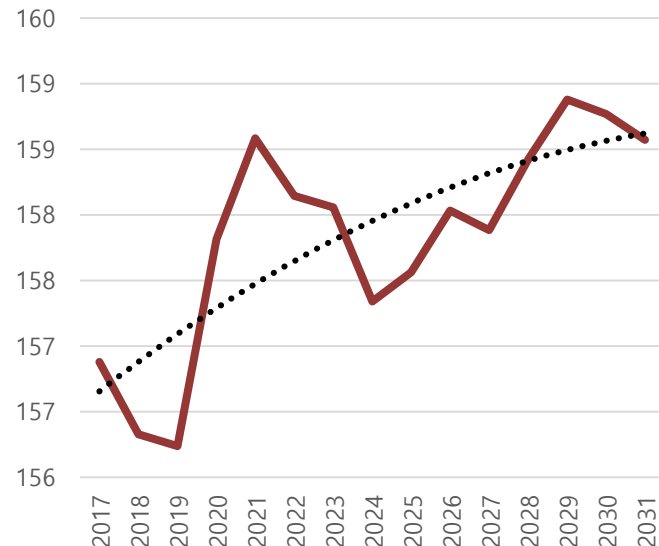
8차 계획의 재생에너지 평균 발전비용

- 한국형 FIT – RPS와 FIT 결합 형태
 - 20년간 의무구매 : 협동조합 및 농민 100kW 미만, 개인사업자는 30kW 미만 태양광
 - 협동조합, 시민펀드 REC 가중치 부여 등 인센티브 제공
- 신재생 발전비용이 크게 하락한다는 것은 지나친 가정 - 2030까지 35.5% 하락?
 - 신재생 평균, 태양광·풍력 평균발전비용은 2030년까지 소폭 증가
 - 신재생 발전원 구성이 태양광, 풍력(해상풍력) 중심으로 변화하기 때문임.

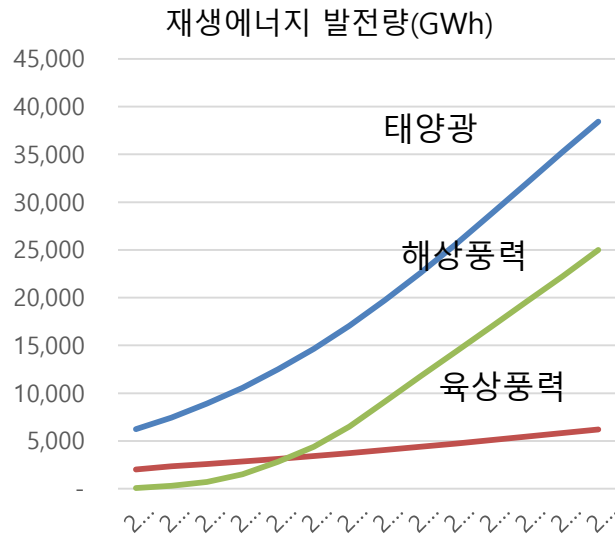
신재생 평균발전단가(원/kWh)



태양광·풍력평균발전단가(원/kWh)

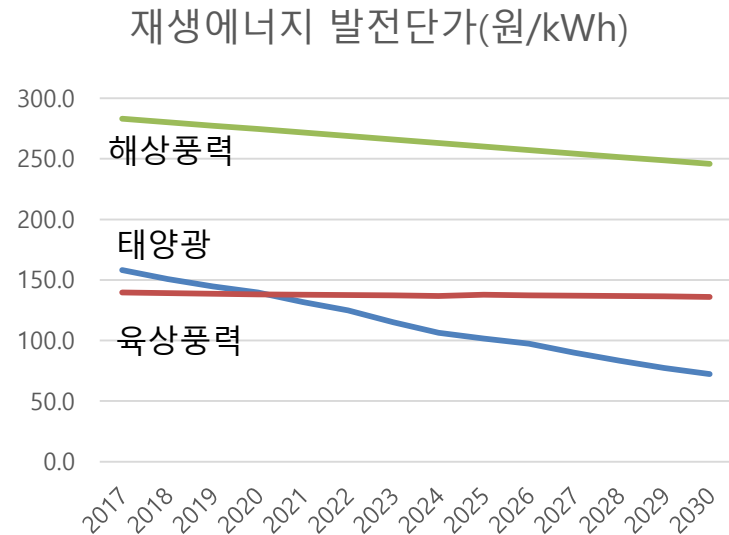


신재생 발전비용은 왜 증가하나?



태양광: 158.1원/kWh(2017) → 72.2원/kWh(2031)
 육상풍력: 139.7 → 136.1
 해상풍력: 283.2 → 245.8

태양광: 6.2TWh(2017) → 38.4TWh(2031)
 육상풍력: 2.0 → 6.2
 해상풍력: 0.1 → 25.0
 전체: 48.7 → 129.0

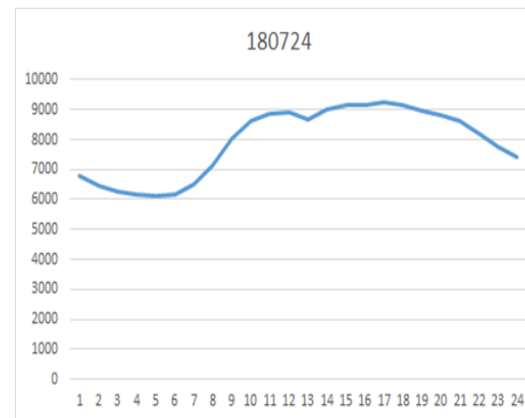
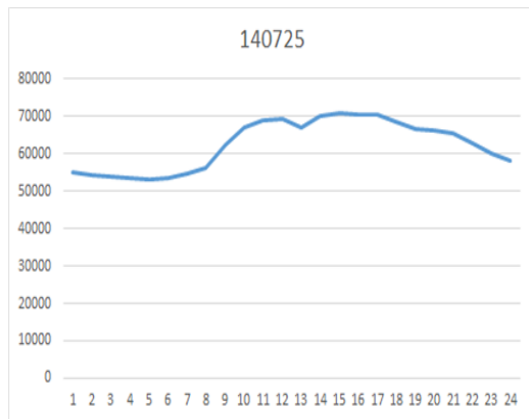


어떻게 다른가 – 예비율 종류

- 설비예비율(capacity reserve margin) : 연간, 22%
 - 정격용량 기준(8차, 2030년, 174.5GW)
 - 피크기여도 기준(123.5GW)
- 공급예비율 : 연간, 사후적
- 운전예비율(operation reserve margin) : 시간
- 순동예비율(spinning reserve margin) : 순간

피크시간대의 이동(2018)

- 하계 가장 더운 시간대는 오후 2-3시대
 - 2014.7.25. 오후 3시의 수요는 5시에 비해 66만kW 높음
 - 반면 2018.7.24.에는 5시 수요가 3시에 비해 55만kW 높음.
 - 시차를 무시하면 표면적으로 120만kW 이동으로 보임.



- 거래소 통계에 잡히지 않는 소규모 태양광 때문
 - 한전직거래, 상계거래 등, 시간대별 계량기 없음
 - 시간대별 태양광 이용률을 적용하여 재추정한 2018.7.24의 오후 3시 수요는 9,440만kW, 5시 수요는 9,420만kW임.
 - 앞으로 DR은 오후 5시 전후에 발동해야 하나?
 - 피크 시간대의 이동에 대한 분석과 대비 필요

전기요금과 경제

- 산업연관분석(Input-Output Methodology, IO분석)과 일반균형이론(Computational General Equilibrium, CGE) 모형
 - 물가상승 : 전력을 사용하는 산업 및 공급자들의 원가가 높아지며, 이것이 최종 재화 가격 상승으로 이전
 - GDP : 생산비용 상승은 생산 및 소비감소를 유발, 소득감소 및 무역수지 악화 유발
-
- 전기요금의 물가 및 GDP 영향

전기요금 인상률	물가상승		GDP 변화	
	산업연관분석	CGE	산업연관분석	CGE
10%	0.58% ~ 0.23%		-0.47% ~ -0.35%	
20%	1.16% ~ 0.46%		-0.93% ~ -0.70%	

전원 정책은 나라별로 다르다.

- 에너지믹스 정책은 나라별로 에너지 여건과 형편에 따라 다르다.
 - 미국 : 가스 · 재생에너지 확대, 원자력 유지, 석탄 축소
 - 일본 : 재생에너지 확대, 원자력 · 화력 비중 고르게 축소
 - 영국 : 재생에너지, 원자력, 가스발전 확대, 석탄 폐지
 - 독일 : 재생에너지 확대, 석탄 유지, 원자력 폐지
- **OECD 국가 중 원전보유국의 전력수요와 전원구성 추이(2010년 이후)**

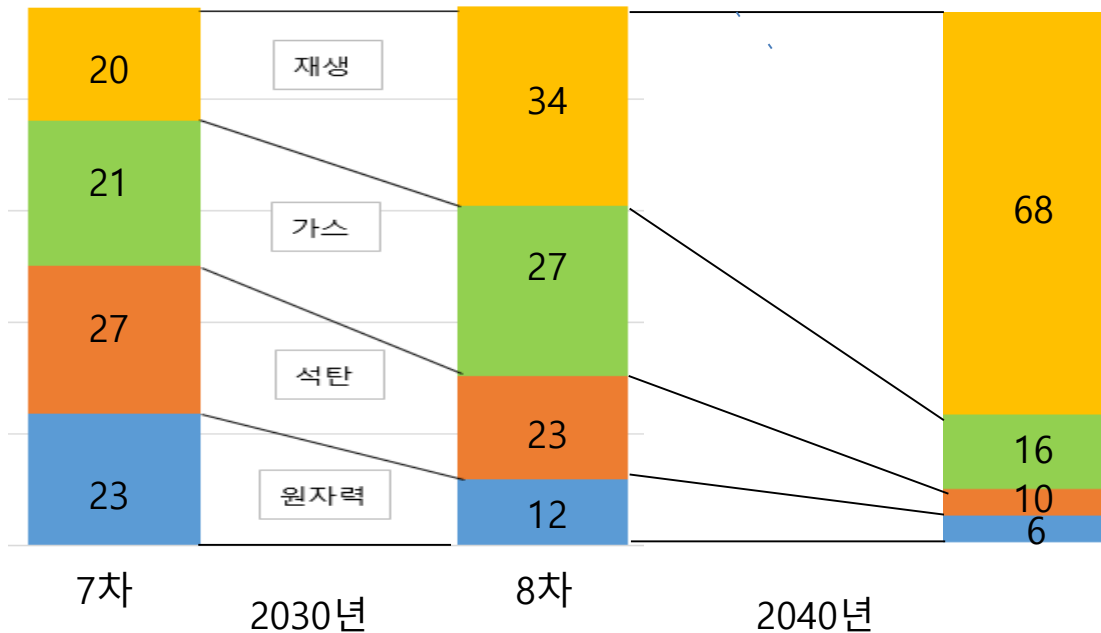
	전력수요	원자력	재생에너지	석탄	가스
벨기에	정체	유지	증가	감소후유지	감소
캐나다	감소	유지	유지	유지	
체코	정체	유지	감소	유지	약간증가
핀란드	정체	유지	미미	감소	
프랑스	약간감소	약간감소	증가	감소	증가
독일	약간감소	대폭감소	대폭증가	유지	증가
헝가리	정체	유지	미미	유지	감소
일본	정체	대폭감소	태양광대폭증가	증가	증가
한국	증가	증가후감소	소폭증가	증가	증가
멕시코	증가	증가	풍력증가	유지	증가
네덜란드	정체	유지	풍력증가	증가	감소
슬로바키아	정체	유지	미미	약간감소	약간감소
슬로베니아	정체	유지	증가	증가후감소	감소
스웨덴	정체	유지	미미		
영국	약간감소	증가	증가	대폭감소	
미국	정체	유지	증가	감소	증가

참고. 3차 에기본 – 2040년에는?

- 2040년까지 에너지 비전을 제시하는 3차 에기본 수립 중
- 탈원전, 탈석탄 기조가 유지될 경우 전원 비중
 - 원자력, 석탄 설비수명 40년
 - 전력수요 2030년 불변 가정
 - 정격용량 규모는 2030년 174GW에서 351GW로 증가(신재생 평균 피크기여도 15% 적용)
 - 피크기여 용량 규모는 123GW로 동일

⇒ 원자력, 석탄 비중의 감소, 변동성 전원의 대폭 확대로 계통운영 및 비용 문제 발생 예상

설비비중(정격용량)

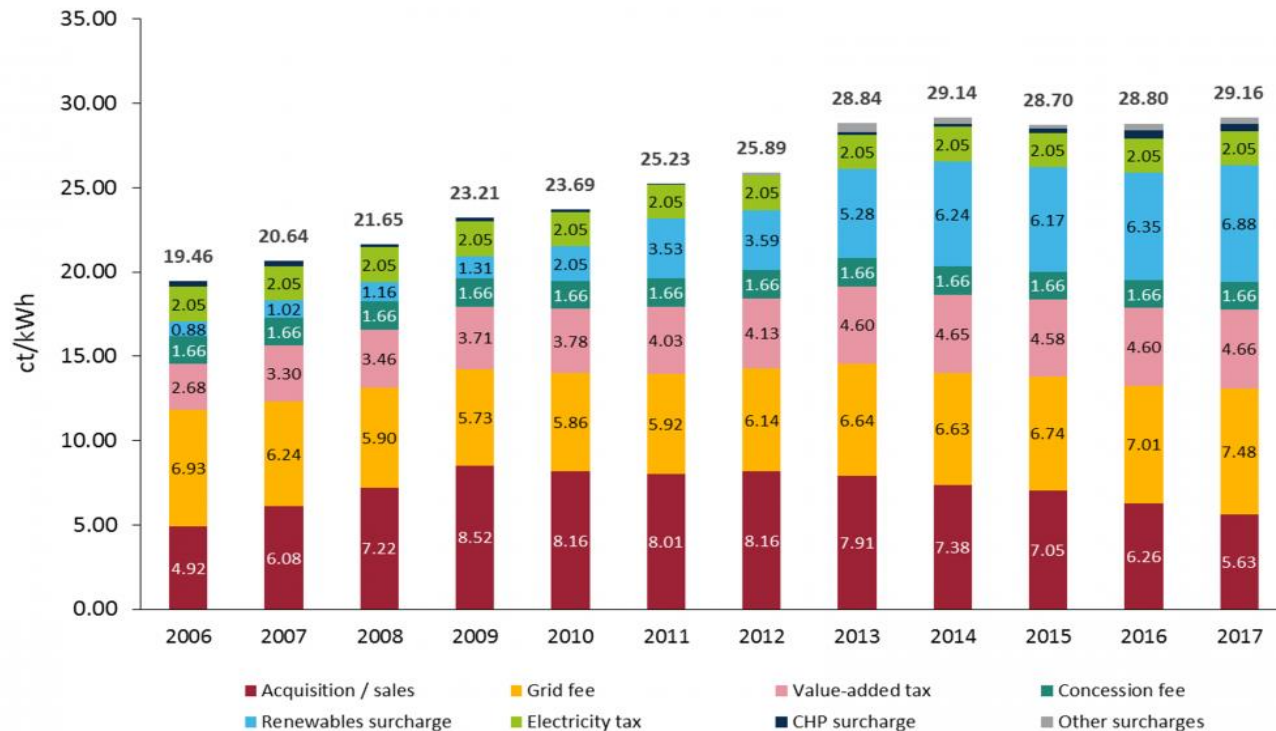


참고. 독일 주택용 전기요금

- 2006년 16.46 €C 에서 2017년 29.16 €C(367원/kWh)로 기간중 49.8% 인상
- 재생에너지 보조금은 2006년 0.88 €C에서 2017년 6.88 €C로 6 €C가 올라 같은 기간 전기요금 인상분 9.7 €C의 61.9%를 점유

Composition of average power price in ct/kWh for a household using 3,500 kWh per year, 2006 - 2017.

Data: BDEW February 2017.



- 에너지믹스는 선택의 문제
 - 에너지 정책 수립의 딜레마: 환경과 안전, 에너지 안보, 경제성
 - 하나의 목표가 강조되면 나머지 두 개의 목표는 소홀해 지는 구조
- 에너지전환은 에너지안보와 경제성 측면의 손실을 감수하겠다는 것
 - 에너지 안보는 '연료공급의 안정성과 가격변동에 노출될 가능성' 으로 정의
 - 가스는 원자력, 석탄에 비해 공급안정성이 낮고 가격변동성은 높음
 - 신재생은 기상조건에 발전량 의존(간헐성), 공급안정성과 비용이 높음
- 에너지믹스의 변화는 파급영향이 막대
 - 에너지믹스 변화는 장기간 소요, 내용과 속도 결정이 긴요(제2차 석유파동과 탈석유 전원 정책의 경험)
 - '79년 2차 석유파동 시점에는 발전설비의 71%를 석유에 의존, 원유 도입단가가 3배로 증가함에 따라 전기요금도 3배이상 인상(22→70원/kWh) - 2차 예기본 p.40

감사합니다.