

# 에너지믹스 특위 검토 결과 보고

2021. 8

원자력학회 에너지믹스특별위원회

서울대학교 원자력정책센터

# 에너지믹스 특별위원회 운영

---

- 에너지수급 여건을 반영한 장기 에너지믹스 시나리오별 온실가스배출, 전력시스템 영향, 비용 등을 분석하여 결과 제시  
- 검토기간 : 2050년까지
- 차기정부 에너지정책 수립을 위한 기초자료 제공
- 참여기관 : 원자력학회, 서울대
- 활동기간 : 2020.10-2021.7

# 에너지 전환 정책

# 에너지전환 정책 추진



원전축소로 감소되는 발전  
량을 태양광·풍력 등 청정에  
너지를 확대해 공급 . . .  
에너지전환로드맵(2017)

탈석탄·탈원전, 재생에너지,  
그린수소 중심사회로 빠르  
게 전환해야 . . .  
민주당 탄소중립특위  
지방정부추진단(2021.4)



→ 정부·여당의 탈원전 정책은 견고하다.

# 에너지전환 빠르게 추진 중

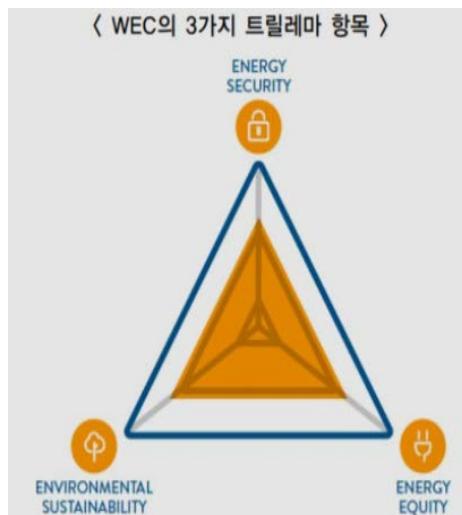
- 탈핵선포(2017.6)
  - 에너지전환 로드맵(2017.10)
  - 재생에너지 3020 이행 계획(2017.12)
  - 제8차 전력수급기본계획(2017.12)
  - 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정(2018.7)
  - 수소 경제시대 선언(2019.1)
  - 제3차 에너지기본계획(2019.6)
  - 한국판 그린뉴딜(2020.7)과 2050 탄소중립 지향 선언(2020.10)
  - 제9차 전력수급기본계획(2020.12)
  - 2030 국가온실가스감축목표(NDC)와  
2050 장기저탄소발전전략(LEDs) 유엔 제출(2020.12)
- \* NDC(Nationally Determined Contribution)
- \* LEDS(Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategy)



# 에너지 정책은 에너지원 선택과 에너지믹스의 문제

## ■ 에너지원 선택을 정치가 독점

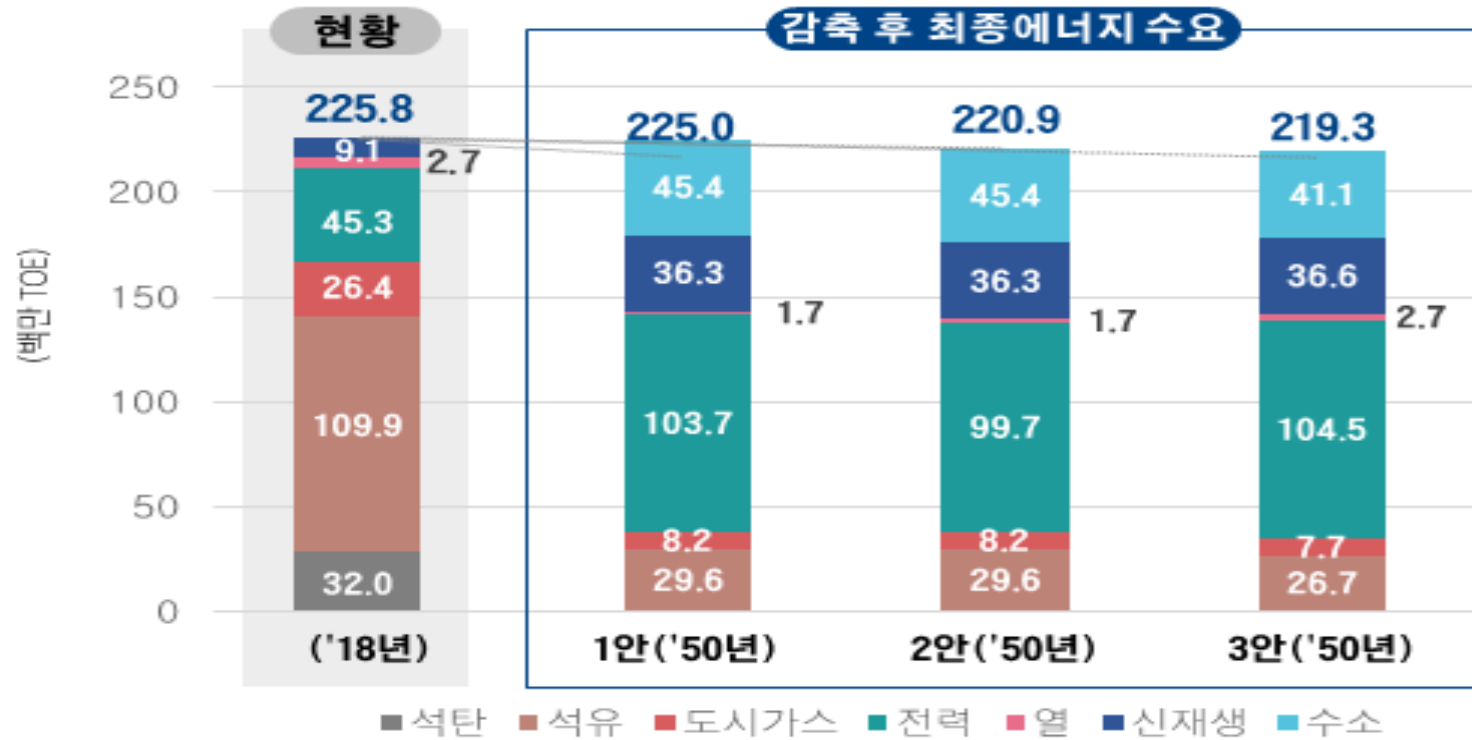
- 에너지믹스 정책수립에 과학적, 전문적 분석 외면, 원자력, 석탄 등 특정 에너지원 배제
- 장기 에너지계획에 태양광·풍력의 재생에너지와 가스발전만 반영, 그결과 특정에너지원 편중으로 에너지안보 위협 우려



## 탄소중립 시나리오안 검토

- 재생에너지에만 의존하는 탄소중립 시나리오안은 비현실적임.
- 재생에너지 발전의 변동성 불고려
- 백업발전으로서 신규 가스발전 불가피
- 비용, 전기요금 등에 대한 분석 없음.
- 대안 계획의 필요성 증대

# 탄소제로 시나리오 안(최종에너지 소비)



(신재생) 태양열, 지열, 수열, 바이오매스 등 (다만, 전력생산에 사용되는 태양광, 풍력 등은 '신재생'이 아닌 '전력'으로 포함)

- 수소(19%, 2000만톤)의 75% 수입



## 탄소중립 시나리오 초안-전환부문

- (수요) 산업, 수송, 건물 등 부문별로 전력화가 진행되면서 전력수요 2018년 대비 04.2~212.9%로 대폭 증가
- (공급) 2050년 발전량은 발전소 내 소비 및 송·배전손실(3.5%) 등 고려 1,207.7~1,259.4TWh 필요
- (온실가스 배출) 2018년 269.6백만톤 대비 82.9~100% 감축  
→ 2050년 배출량 **0~46.2백만톤**

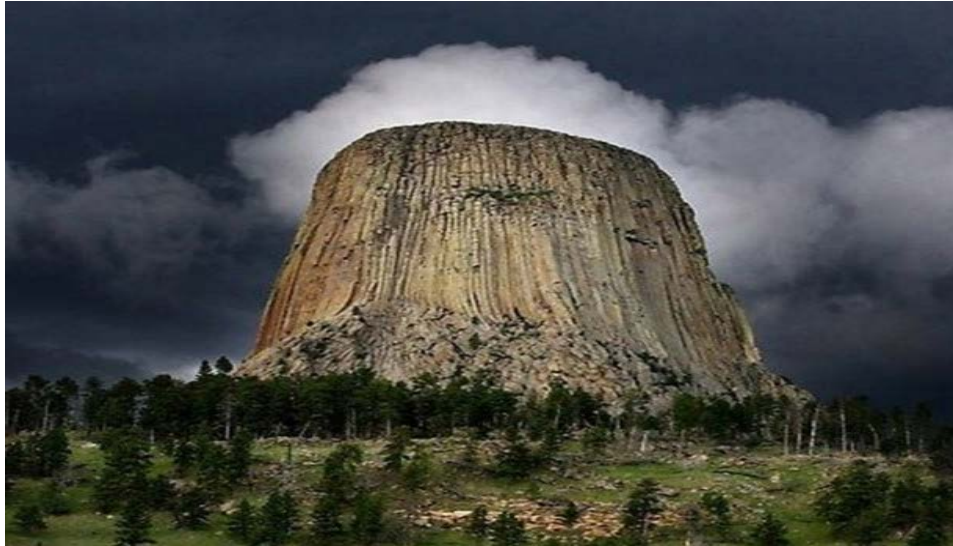
(단위 : TWh, 괄호안은 %)

구분	원자력	석탄	LNG	재생E	연료전지	동북아그리드	무탄소신전원	부생가스	합계	배출량(백만톤)
1안	89.9 (7.2%)	19.1 (1.5%)	101.1 (8.0%)	710.7 (56.6%)	121.4 (9.7%)	33.1 (2.6%)	177.2 (14.1%)	3.9 (0.3%)	1,256.4 (100%)	46.2
2안	86.9 (7.2%)	0.0 (0.0%)	92.2 (7.6%)	710.6 (58.8%)	121.4 (10.1%)	33.1 (2.7%)	159.6 (13.2%)	3.9 (0.3%)	1,207.7 (100%)	31.2
3안	76.9 (6.1%)	0.0 (0.0%)	0.0 (0.0%)	891.5 (70.8%)	17.1 (1.4%)	0.0 (0.0%)	270.0 (21.4%)	3.9 (0.3%)	1,259.4 (100%)	0

\* 석탄·LNG 감축은 수소·암모니아 전소 전환 또는 근거 법률 및 보상방안 마련 전제

- 태양광 450GW, 풍력 50GW

## <참고> Devils Tower National Monument



 [www.e2news.com](http://www.e2news.com) > news

### [칼럼] 불가능한 도전, 탄소중립 - :: 글로벌 녹색성장 미디어 - 이투뉴스

[이투뉴스 칼럼 / 노동석] 히말라야 고봉보다 등반이 훨씬 어려운 곳이 있다. 미국 와이오밍주에 있는 **악마의 탑** (devil's tower)이다. 높이 260m, 등반 성공률은 0.2%. 탄소중립 목표 달성 가능성은 **악마의 탑** 등정보다 어려워 보인다. 세계 여러 곳에서 발생하는 폭한, 폭서, 홍수, 가뭄과 같은 이상기후 현상은 지구온난화 때문이다. 소수 2021.06.07.

### [EE칼럼] 몽상으로 가득 찬 탄소중립 시나리오案

지난달 말 대통령직속 탄소중립위원회가 '정부합동 2050 탄소 중립 시나리오' 안을 제출 받아 심의했다는 보도가 있었다. 조금 더 자세한 자료도 입수되었다. 핵심 관계자가 아닌

2021-07-15 10:10 성철환

# 주요국 탄소중립 전략

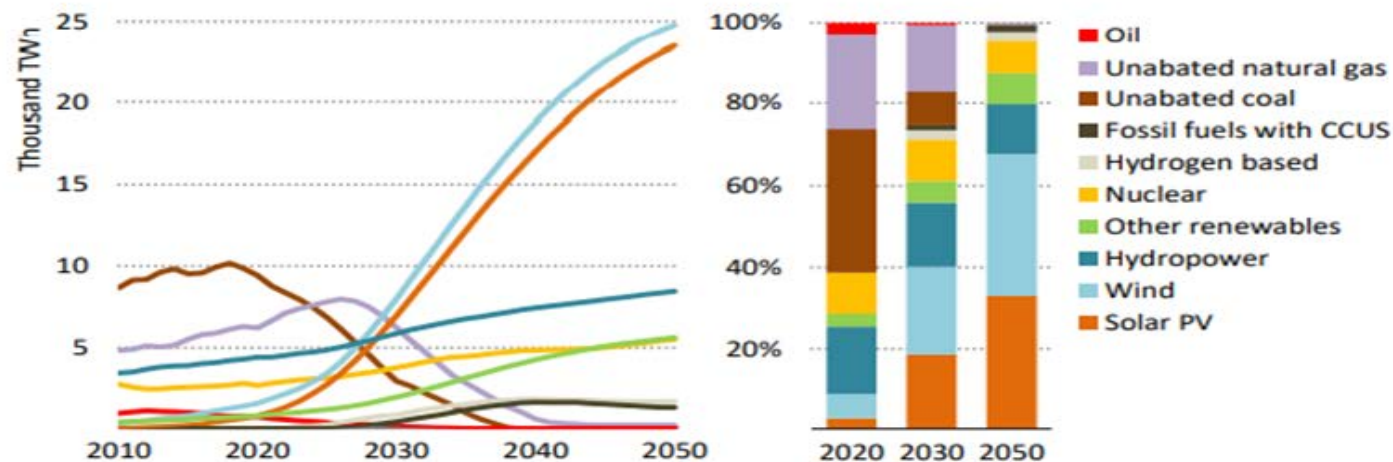
- 세계 각국은 2050 탄소중립을 선언하고 구체화 작업 중
- 활용가능한 자국내 무탄소 에너지자원, 기술, 인프라를 최대한 활용

	목표년도	주요수단
미국	2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2035년까지 발전부문 넷제로 실현</li> <li>- 2050 재생비중 42%, 원전 유지 정책</li> <li>- 차세대 원자력 : 소형 모듈형 원자로(SMR)</li> </ul>
영국	2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 해상풍력</li> <li>- 원자력 : 대형원전, 소형 모듈형 원자로 Advanced Modular Reactor → 수소생산</li> </ul>
독일	2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 재생에너지 → 수소생산</li> <li>- 천연가스의 한시적 이용, 2022년 탈원전, 2038년 탈석탄</li> </ul>
프랑스	2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2022년 탈석탄, 2030년 재생에너지 비중 50%</li> <li>- 원전 발전비중 75% → 2035년 50%</li> </ul>
일본	2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 재생에너지, 원자력</li> </ul>
중국	2060	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2025년 대비 2060년 원자력 4.8배, 풍력 4.5배, 태양광 6.9배</li> </ul>
한국	2050	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 태양광, 풍력, 수소경제 등</li> </ul>

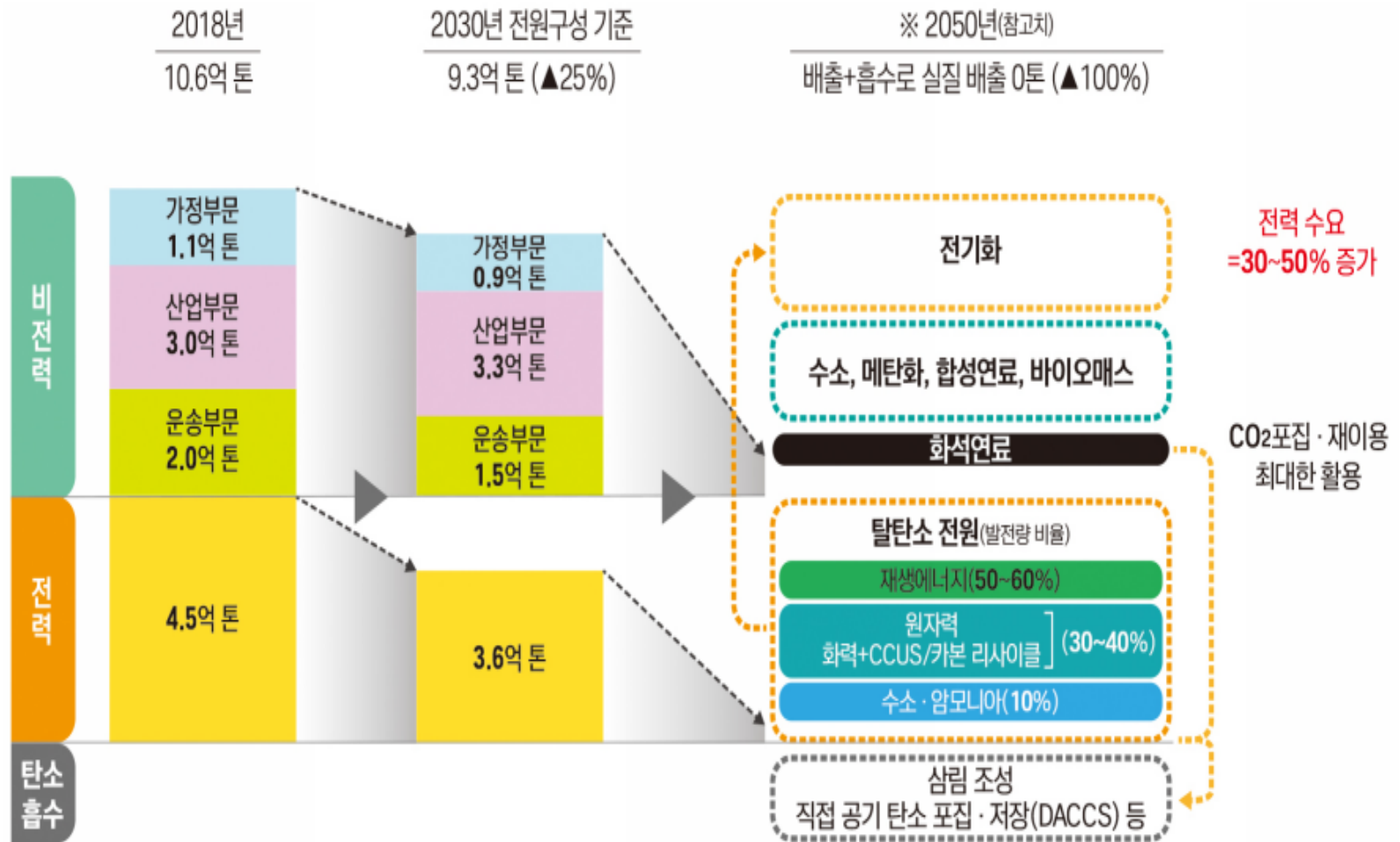
# 2050 NZE – IEA 2021.5

- 전제 : 2050년 세계경제 규모는 현재의 2배 이상, 인구 20억 이상 증가, 에너지수요 현재보다 약 8% 감소
- 에너지수급
  - 현재 4/5의 에너지를 공급하는 화석연료는 '50년 1/5로 축소
  - 총에너지의 2/3를 풍력, 태양광, 바이오, 지열 및 수력으로 공급
    - \* 태양광 현재의 20배, 풍력 11배 증가 필요
- 전력
  - '50년 에너지소비의 50% 차지, 2.5배로 증가(선진국 2배, 개도국 3배)
  - '50년 발전량의 90%는 재생에너지, 8%는 원자력(현재의 2배)
- 배터리, 수소, CCUS 등 활용
  - \* '30년 이후의 적용기술은 미개발 상태임

Global electricity generation by source in the NZE



# (일본) 탄소중립 달성을 위한 배출량 전망(경산성 등)



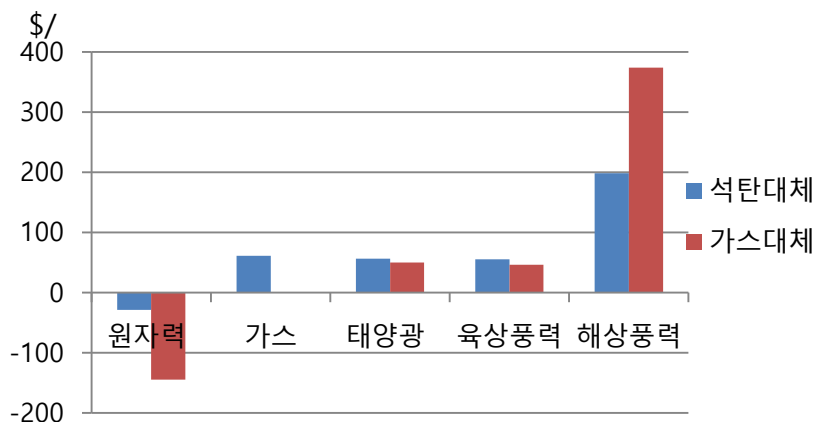
• 수치는 에너지에서 발생한 CO<sub>2</sub> 임.

## 전원별 탄소저감 비용(한국, 직접비용 고려)

### ○ 현재 발전비용 기준 전원별 탄소저감 비용

- EU ETS carbon market price : 40유로/CO2톤(2021.4)
- 한국거래소 탄소배출권 거래가격 : 14,000원/CO2톤(2021.4)

		원자력	석탄	가스	태양광	육상풍력	해상풍력
배출량	g/kWh	-	825.8	362	-	-	-
단가	원/kWh	58.3	86.0	118.7	139.6	138.0	274.5
저감비용 (\$/CO2톤)	석탄대체	-29	-	61	56	55	198
	가스대체	-145	-	-	50	46	374



### ○ 계통통합비용, 과잉발전대응 비용 포함시 대폭 증가

## 탄소중립- 우리의 경우

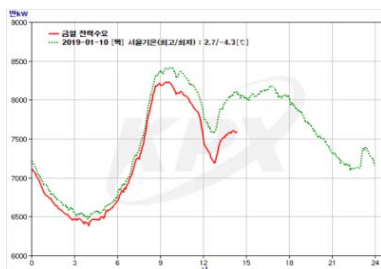
---

- 전력소비량은 최소 두배 이상으로 증가해야 함
- 태양광, 풍력에만 의존하는 탄소중립은 입지제약, 계통운영 문제, 막대한 소요비용 소요 등으로 비현실적
- 다른 나라들의 경우 자국내 자원과 가용한 기술을 최대한 활용하는 전략을 수립하고 있음.
- 우리는 재생에너지 자원도 좋은 상황이 아님.
- 반면 원전은 기술력뿐만 아니라 세계최고 수준의 공급망을 가지고 있음. 서방국가들은 우리의 공급망을 활용하고 중임(ex. 두중)
- 원자력을 배제하는 우리의 탄소중립 전략은 무모함.

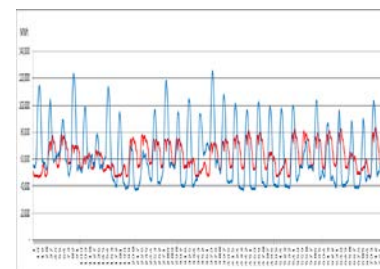
# 에너지믹스 시나리오 분석



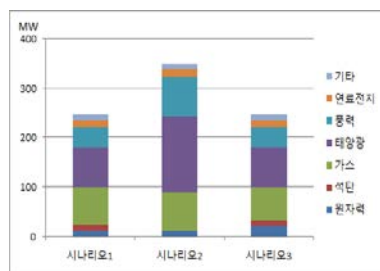
# 에너지믹스 분석 Flow



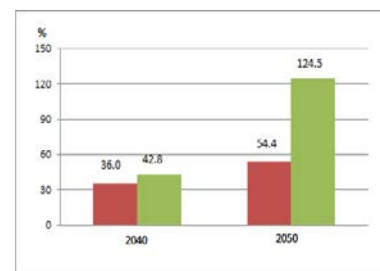
3차 예기본, 9차 전력수급계획 참조  
시간대별 전력수요 추정



Case별 시간대별 과잉  
발전량 추정



Case별 전원구성,  
발전량구성



재생에너지 LCOE,  
과잉발전대응비용,  
재생에너지 계통통합비용 추정,  
발전비용계산  
전기요금 영향 계산

# 에너지믹스 분석 Case

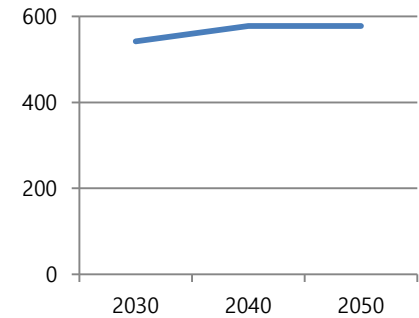
- 2030년 : 9차 전력수급계획, 재생에너지 3020
- 2040년 : 3차 에너지기본계획, 2040년 재생에너지발전비중 35% 가정
- 발전원별 전제
  - 원자력 : 신규고려 vs. 불고려, 계속운전 불고려
  - 석탄 : 수명기간 40년 vs. 2040년까지만 운영
  - 가스 : 피크기여도 예비율 22%가 되도록 신규설비 조정
  - 재생에너지 : 2050년 50% vs. 80%, 수소연료전지 2040년 8GW, 2050년 15GW
- CASE별 개요

		재생에너지 비중			
		2030	2040	2050	
				50%	80%
원전	탈원전	20%	35%	CASE1	CASE2
	신규건설			CASE3 석탄○, 원전6기	-
				CASE4 석탄x, 원전13기	-

# 전력수요

## ○ 전력수요

구 분	2030(9차)	2040	2050
전력수요(TWh)	542.3	577.9	
발전량(TWh)	585.0	627.2	
최대전력(GW)	100.4	107.7	
부하율(%)	66.5	66.5	



## ○ 전력수요전망 전제

구 분	9차 계획	3차 에기본
	~ '34년	~ '40년
인구증가율(%)	0.0	0.1
경제성장률(%)	2.06	2.0
산업구조	전기,전자 및 정밀기기(2.78%), 서비스업(2.51%) 중심	서비스업(2.29%), 조립금속(1.88%) 중심
기온	기상청 장기 기후변화 시나리오	-

## ○ 전력수요 실적과 전망 비교 : 과소수요예측 우려

구분	2018	2019	2020
전망치(기본계획)	87.2GW(8차)	88.5GW(8차)	89.1GW(9차)
실적치(공급예비율)	92.5GW (7.7%)	90.3GW (6.7%)	90.6GW (9.5%)

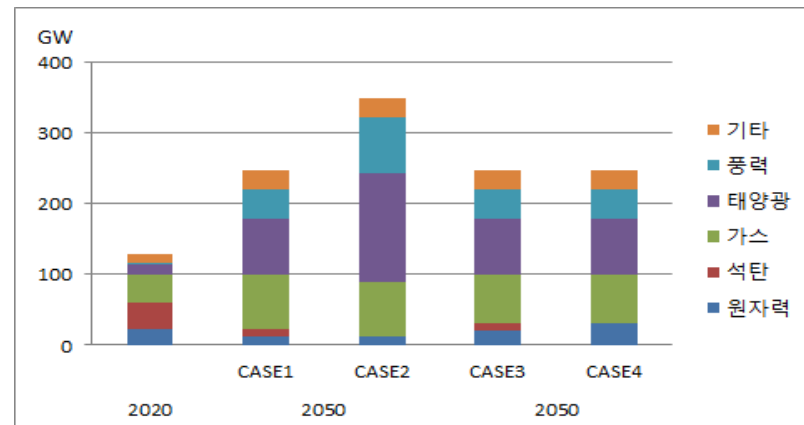
# 설비구성

- 전력수요는 동일, 발전설비는 case에 따라 250GW~350GW 필요
  - 재생에너지의 낮은 피크기여도 때문, 재생비중이 확대될 수록 총용량은 대폭 증가
  - 재생비중 30%p. 확대시 100GW 더 필요(재생비율 50% 248GW → 80% 349GW)

## ○ CASE별 2050년 설비구성(GW)

구 분		원자력	석탄	가스	양수	신재생				기타	합계
						태양광	풍력	연료 전지	기타 신재생		
정격 설비 용량 (GW,%)	2020	23.3 (18.2)	35.9 (28.1)	41.3 (32.3)	4.7 (3.7)	14.3 (11.2)	1.8 (1.4)	0.6 (0.5)	3.4 (2.7)	2.5 (2.0)	127.9 (100)
	Case1	12.4 (5.0)	10.5 (4.2)	76.8 (31.0)	6.5 (2.6)	79.7 (32.2)	41.5 (16.8)	15 (6.1)	3.8 (1.5)	1.2 (0.5)	247.5 (100)
	Case2	12.4 (3.5)	0	75.8 (21.7)	6.5 (1.9)	154.4 (44.2)	80.3 (23.0)	15 (4.3)	3.8 (1.1)	1.2 (0.3)	349.4 (100)
	Case3	20.8 (8.4)	10.5 (4.2)	68.4 (27.6)	6.5 (2.6)	79.7 (32.2)	41.5 (16.8)	15 (6.1)	3.8 (1.5)	1.2 (0.5)	247.5 (100)
	Case4	30.6 (12.4)	0	69.2 (28.0)	6.5 (2.6)	79.7 (32.2)	41.5 (16.8)	15 (6.1)	3.8 (1.5)	1.2 (0.5)	247.5 (100)

- CASE2에서 태양광, 풍력용량은 150GW, 80GW로 확대되어야 함
- 가스발전 70GW 내외로 확대



# 발전량 구성(2050)

## ○ 발전량 계산

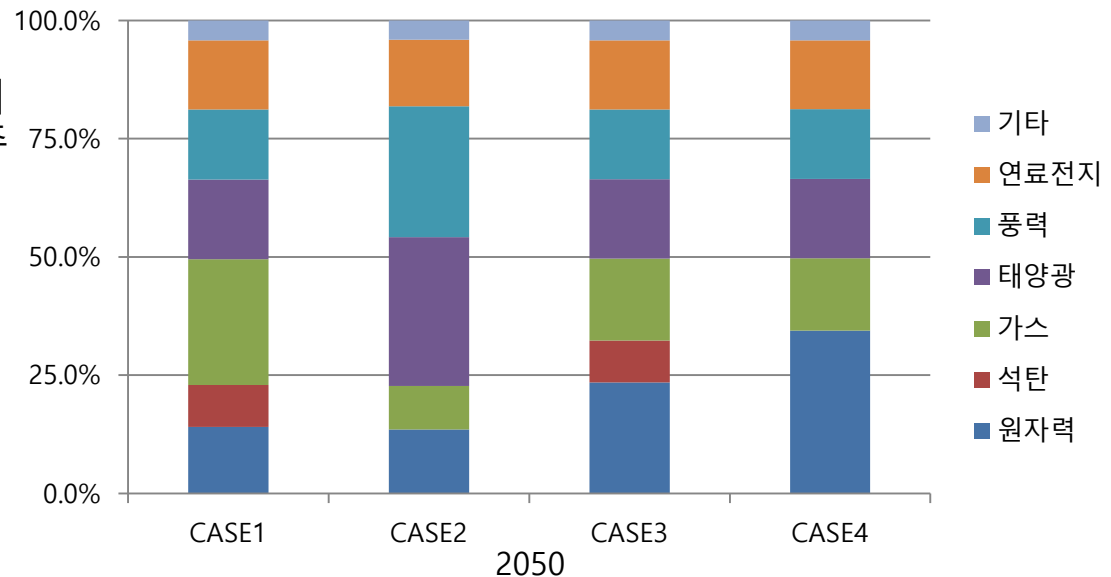
- 신재생 발전 : 9차 전력수급계획의 재생에너지 원별 발전비중과 증가율 감안, CASE별 발전량 배분
- 일반 발전기 : 원전 81.8%, 석탄 61.2% 이용률(9차) 적용, 가스발전은 수급조절 (swing producer) 역할

	원자력	석탄	가스	양수	태양광	풍력	연료전지	기타 신재생	기타	합계
CASE1	14.0	8.9	26.6	0.8	16.8	14.8	14.6	3.2	0.3	100.0
CASE2	13.5	0.0	9.2	0.8	31.4	27.7	14.1	3.0	0.2	100.0
CASE3	23.4	8.9	17.3	0.8	16.8	14.8	14.6	3.1	0.3	100.0
CASE4	34.4	0.0	15.3	0.8	16.8	14.8	14.6	3.1	0.3	100.0

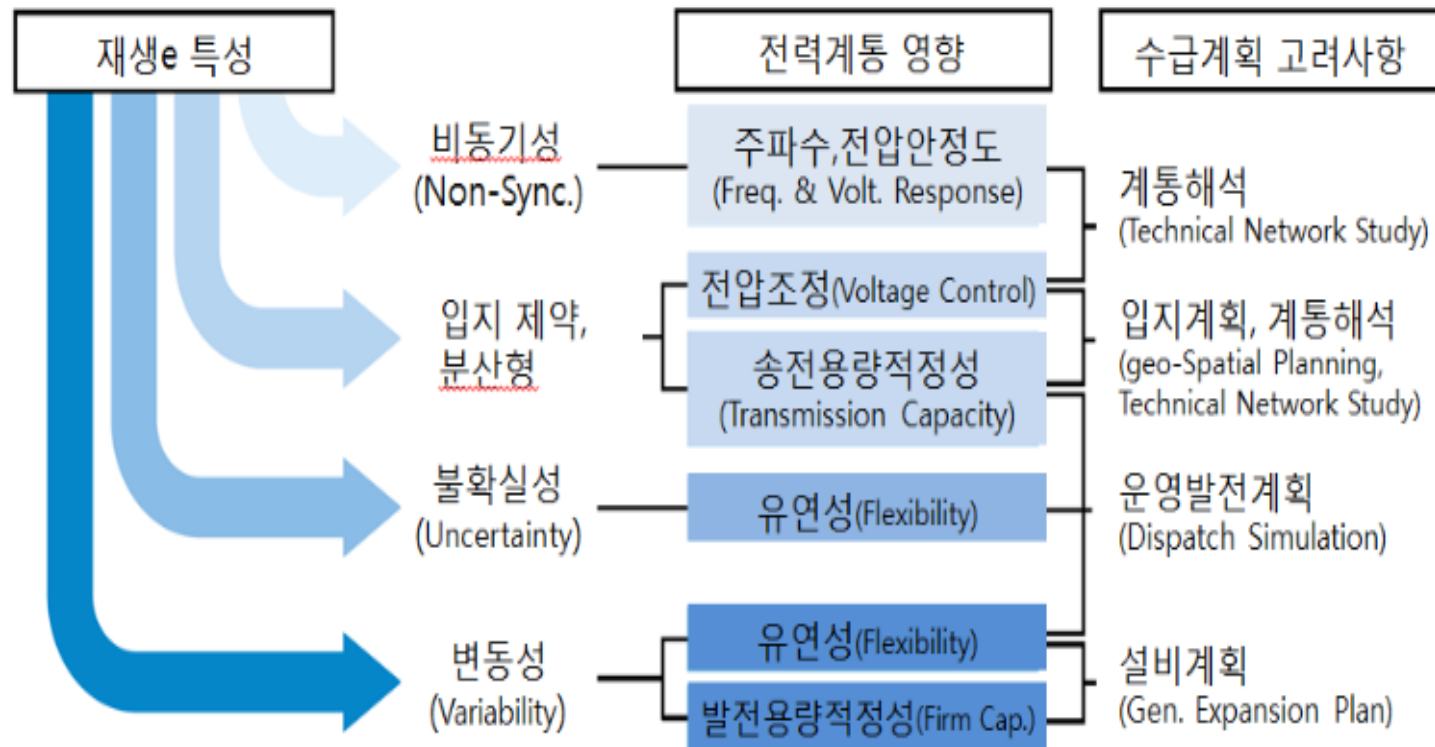
## ○ 원자력의 발전비중

CASE별로 10~30% 내외

## ○ 가스발전은 백업역할, 주 파수 조절 등 역할 수행

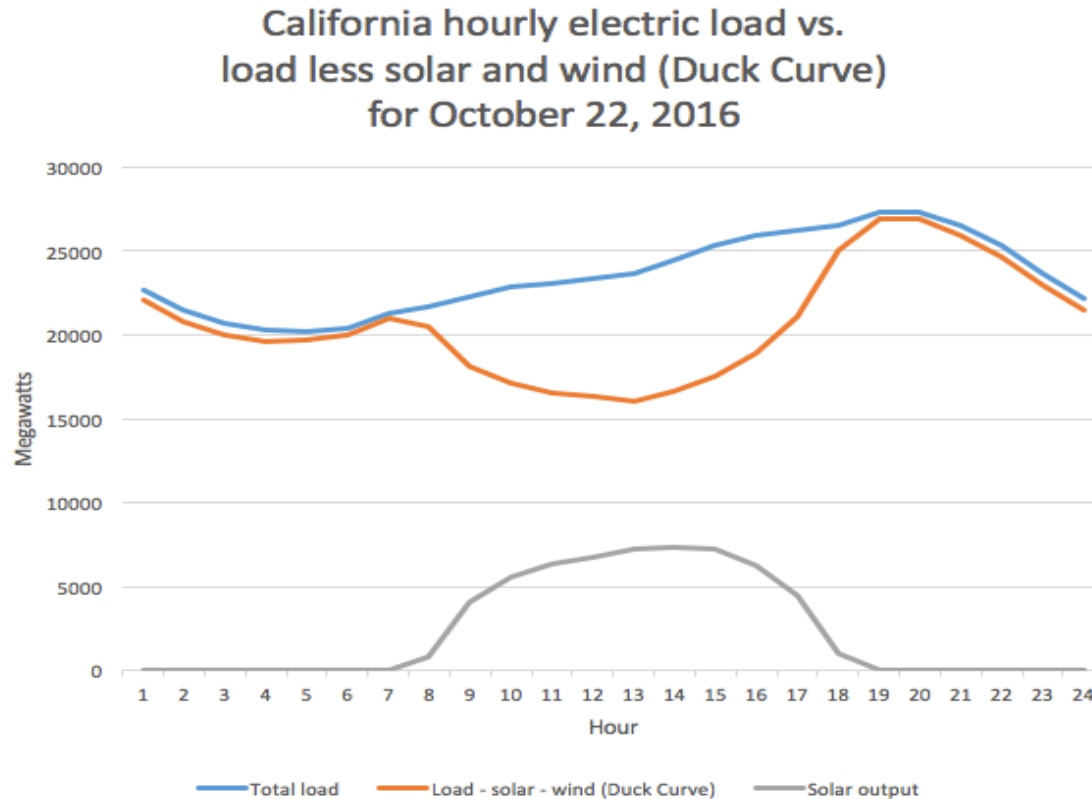


# 재생에너지 확대는 전력계통 운영에 다양한 문제 유발



전력거래소, 제9차 전력수급기본계획의 현안 및 주요 변화

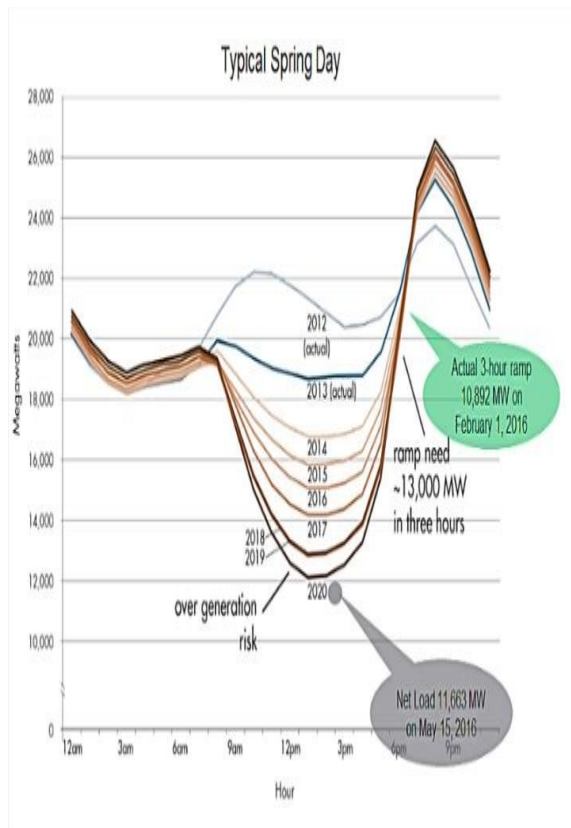
# 전력공급곡선이 Duck Curve가 된 이유



‘태양광의 힘’ vs. ‘도움 안되는 태양광’

# 재생에너지 확대 - Duck Curve 현상의 심화

California Duck Curve (2020)  
- 15시 8.3GW, 20시 24.5GW

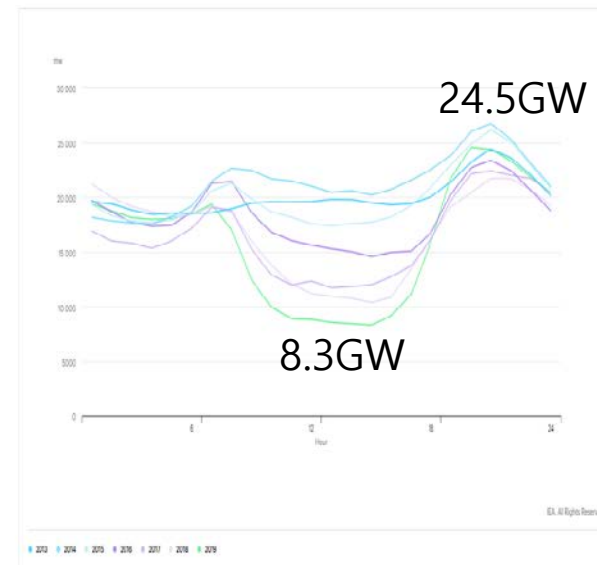


## The California Duck Curve

Last updated 10 Dec 2019

Download chart

Cite Share



Appears in

More of a good thing - is surplus renewable electricity an opportunity for early decarbonisation?

Sources  
California ISO



# 과잉발전량 발생

## ○ 전력수요/공급의 불균형

- 발전설비는 250GW~350GW, 최대전력은 108GW에 불과, 재생발전의 간헐성으로 시간대별 수요와 공급의 불균형 심각
- 과잉발전에도 일반발전기들이 가동을 중지하지 않는 이유는 가동중지 후 재가동시 경우 더 많은 비용이 소요되거나 열공급 우선 열병합발전소 같이 불가피한 상황 때문
- 재생에너지발전이 많은 국가(ex.독일)에서 빈번하게 발생하며, 계통운영자는 수출, ESS 활용, 출력제어(curtailment) 등의 수단을 동원하여 수급 조절
- 국내에서도 발생(2020년 제주풍력 77회 신한울 3,4호기, 2021년 제주 태양광, 신안 가좌태양광 출력제한 사례 발생)

## ○ 과잉발전 발생사례(일, 월)

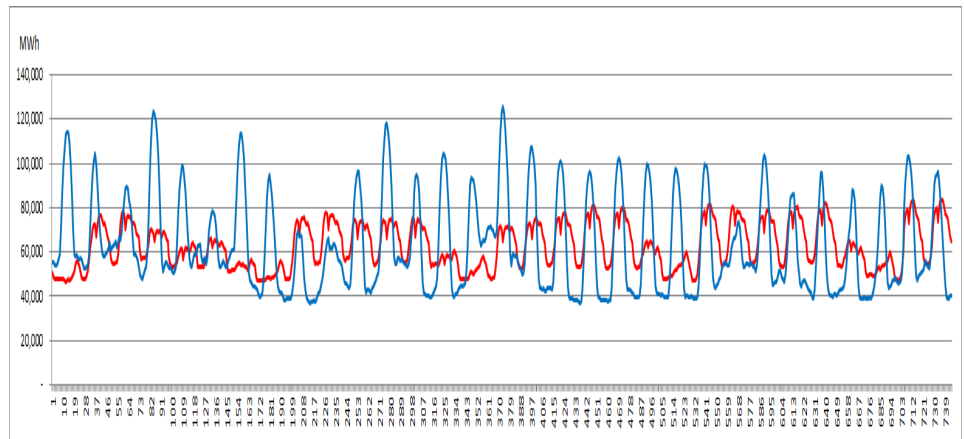
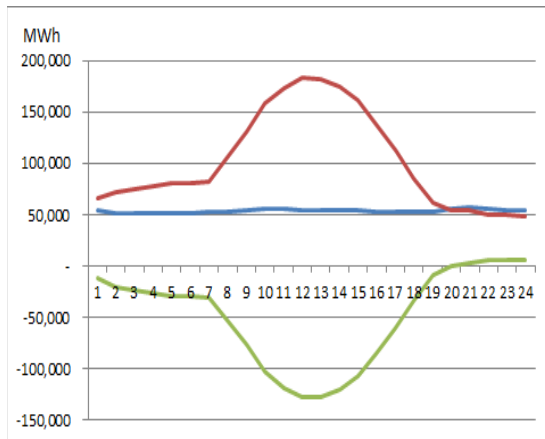
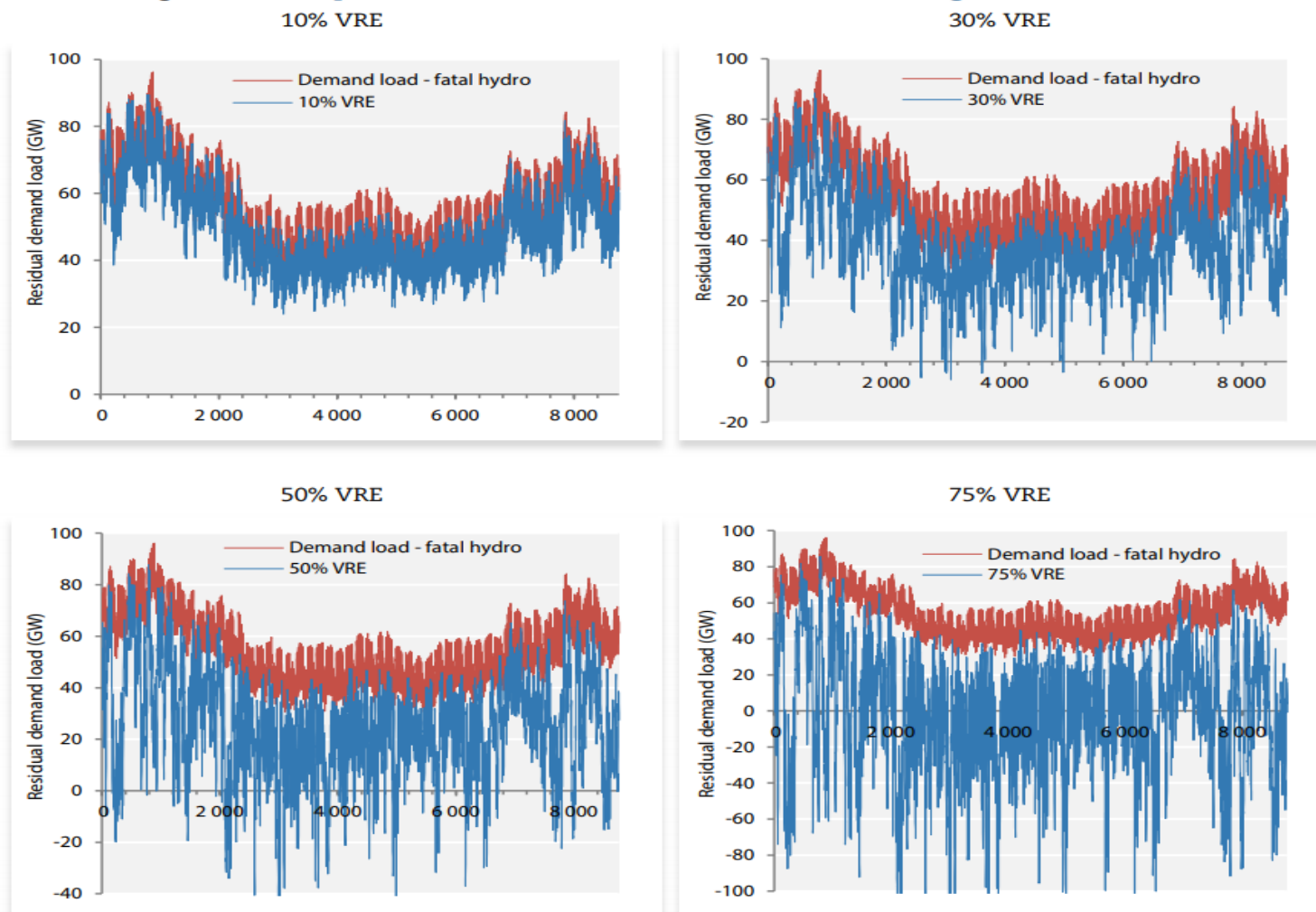


Figure 23. **Comparison of the residual load at different VRE generation shares**



Note that the figures have a different vertical scale.

THE COSTS OF DECARBONISATION: SYSTEM COSTS WITH HIGH SHARES OF NUCLEAR AND RENEWABLES, NEA No. 7299, © OECD 2019

# 과잉발전량 계산

## ○ 과잉발전량 추정 전제

- 재생발전량 시간대별 발전패턴 : 2016년 실적자료 활용
- 일반발전기 최소출력 가정 : 원자력 70%, 석탄 50%, 가스 30%

※ 타연구 발표자료와 비교하여 추정값의 적정성 판단

	과잉발전 발생시간수 (시간)	시간비율	과잉발전량 (GWh)	태양광+풍력 발전량 중 비율
CASE1	1,919	21.9%	32,398	16.1%
CASE2	3,877	44.3%	133,013	34.2%
CASE3	2,366	27.0%	39,567	19.7%
CASE4	2,617	29.9%	44,167	22.0%

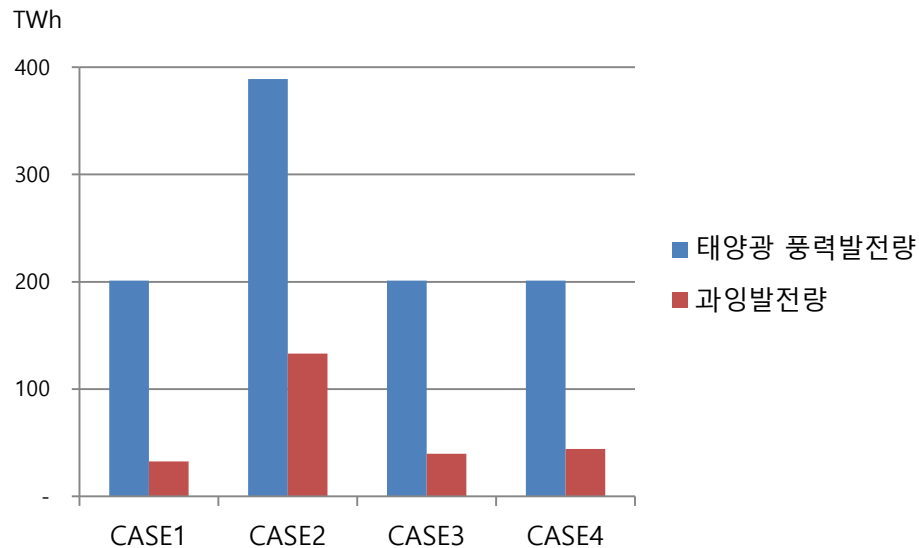
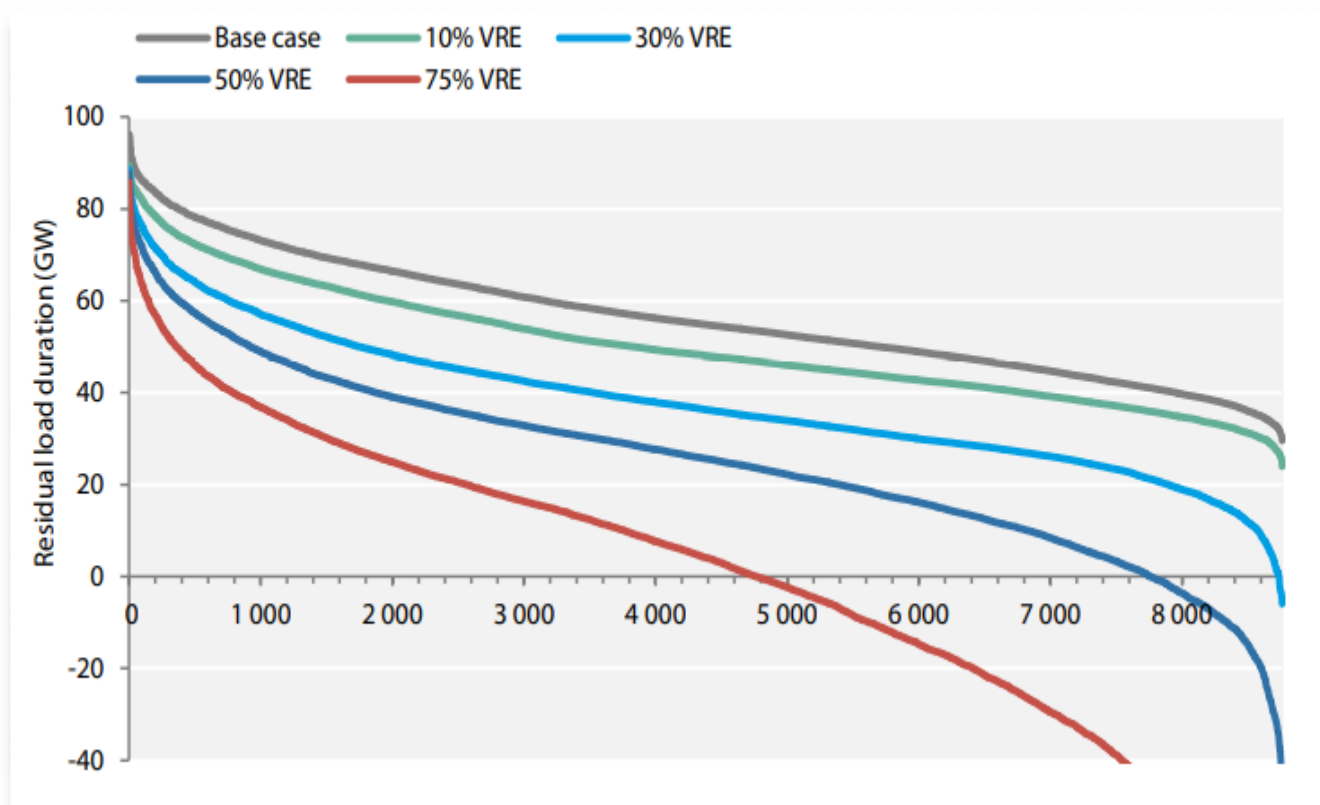


Figure 22. **Yearly residual load duration curves for different levels of VRE generation shares**



THE COSTS OF DECARBONISATION: SYSTEM COSTS WITH HIGH SHARES OF NUCLEAR AND RENEWABLES, NEA No. 7299, © OECD 2019

# 비용의 추정 - 일반발전기, 재생에너지 발전비용

## ○ 재생에너지 발전비용(원/kWh)

구 분			태양광	육상풍력	해상풍력	연료전지
단가 (원/kWh)	'20		139.6	138.0	274.5	240.0
	'50		60.0	115.0	194.4	200.0
구간 가중평균 (원/kWh)	'20-'50	CASE1,3,4	93.3	132.2	241.0	213.5
		CASE2	90.6	130.0	234.2	213.5

- 재생에너지 발전비용(원/kWh)은 장기적으로 하락이 예상되지만
  - 재생에너지원 구성비의 변화, 해상풍력의 상대적으로 빠른 비중 증대로 가중평균 발전비용은 2040년까지 하락하지 않음.
  - 가중평균 발전비용(원/kWh)은 2030년 173원, 2040년 175원, 2050년 165원으로 추정

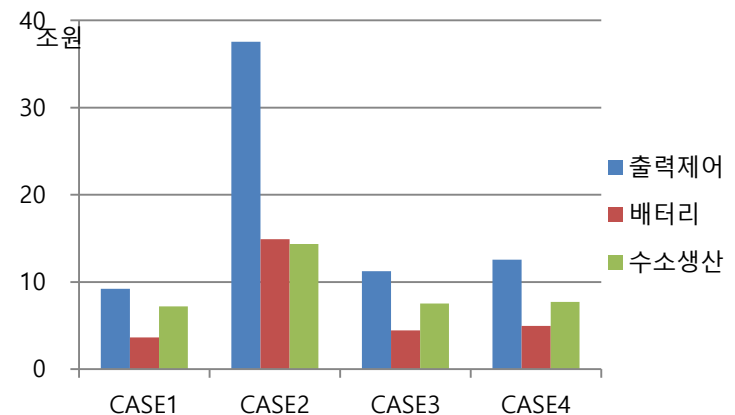
## ○ 일반발전기 : 2019년 정산단가 불변 적용(원/kWh)

	원자력	석탄	가스	양수	평균
정산단가	58.31	86.03	118.66	121.25	89.38

# 비용의 추정 - 과잉발전 대응비용

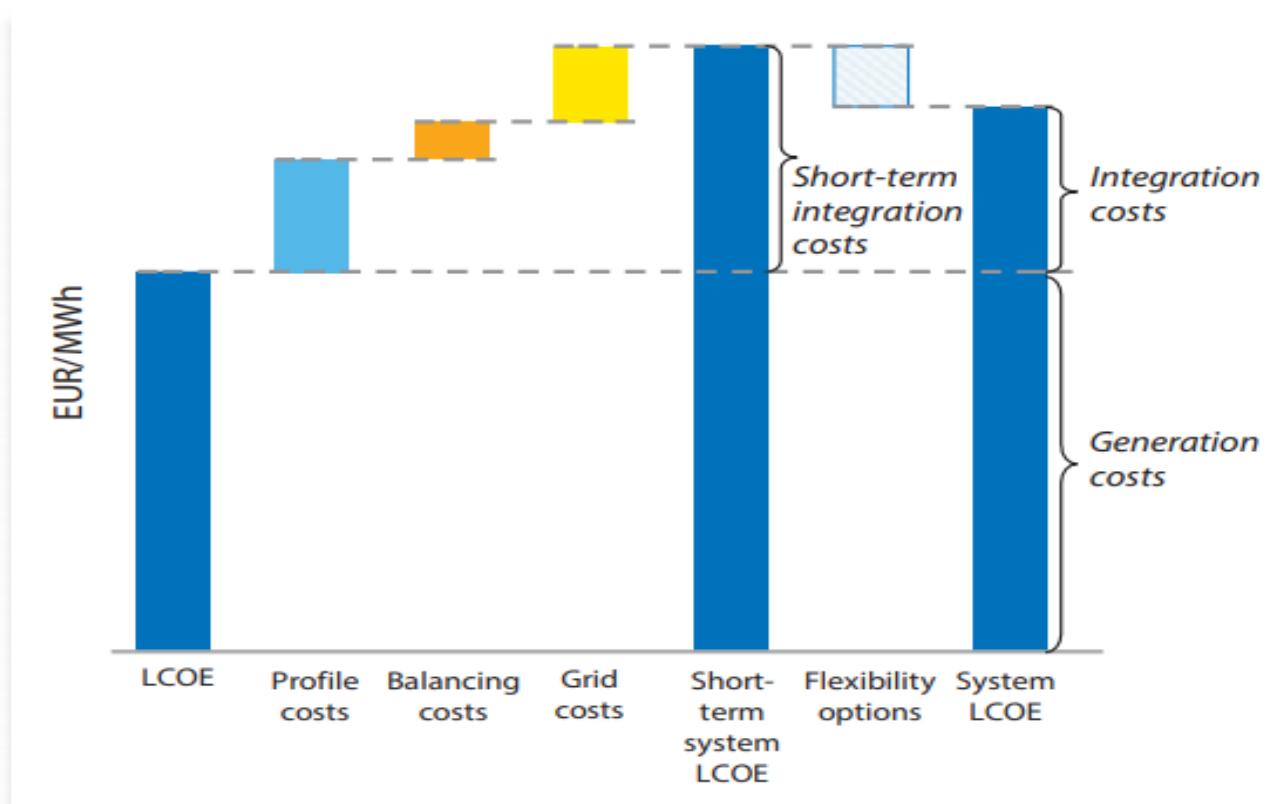
- 과잉발전 대응 방법으로 출력제어, 배터리, 수소생산 고려
  - 출력제어 : 재생에너지 가중평균 발전비용(2050년 165.3원/kWh) 보상, 출력제어로 미공급된 전력의 생산(백업발전) 비용으로서(118.7원/kWh) 고려
  - 배터리 : 리튬이온 배터리의 2025년 전망단가, 충방전 효율 등을 고려하여 배터리 비용으로서 174.9원/kWh 반영
  - 수소생산 : 과잉발전량, 최대과잉량, 수전해설비 투자비 등을 고려하여 CASE별로 108원~222원/kWh 적용
- 과잉발전 대응 비용으로 총 6조~38조 소요
  - 출력제어를 보상하지 않을 경우 소요액 대폭 감소
  - 대체적으로 과잉발전 물량이 많아질 수록 수소생산이 유리
  - 과잉발전 대응수단별 소요액(2050년, 조원)

	출력제어	배터리	수소생산
CASE1	9.2	5.7	7.2
CASE2	37.6	23.3	14.3
CASE3	11.2	6.9	7.5
CASE4	12.5	7.7	7.7



# SYSTEM Cost of VRE

Figure ES2. **Illustration of system cost**

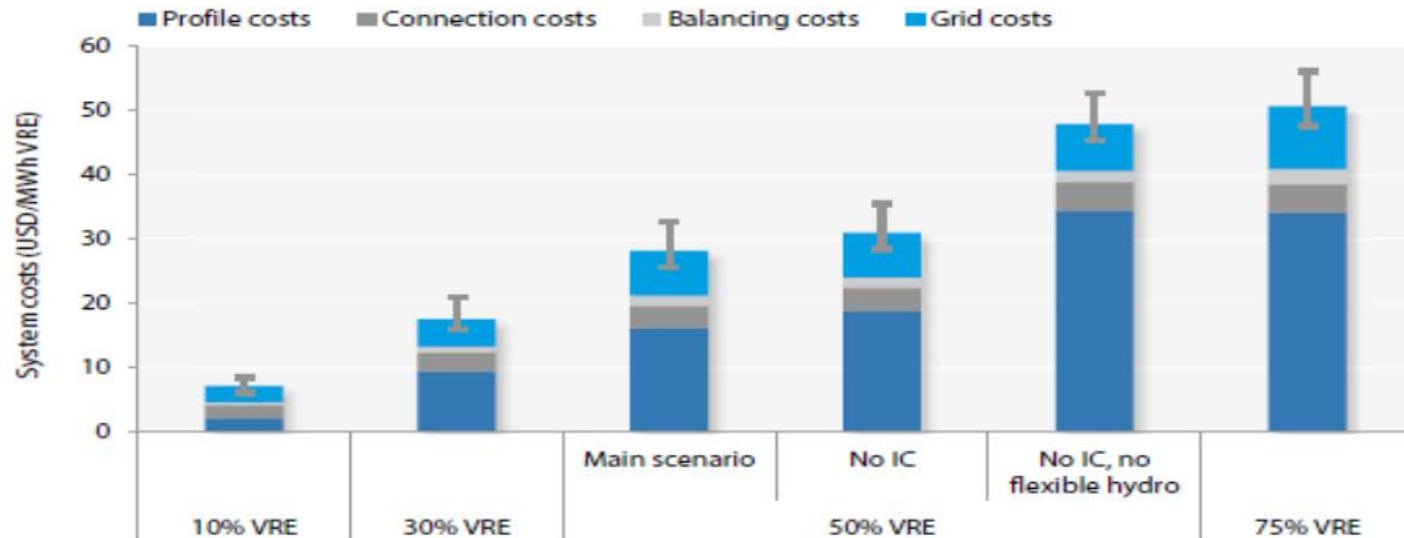


Source: OECD, 2015.

THE COSTS OF DECARBONISATION: SYSTEM COSTS WITH HIGH SHARES OF NUCLEAR AND RENEWABLES, NEA No. 7299, © OECD 2019

# 비용의 추정 – 재생에너지 계통통합비용

- 프로파일 비용 : 신재생발전의 변동성에 전력계통이 유연하게 대응하기 위해 추가로 확보해야 하는 발전설비(백업) 비용
- 밸런싱 비용 : 신재생 발전의 불확실(날씨예보 등) 때문에 발생. 불확실한 재생에너지 발전은 다른 발전기의 대기, 주파수 조정을 위한 운영계획의 변경으로 비용을 발생
- 그리드비용 : 재생에너지의 송배전망 접속비용, 계통보강비를 말함. 그리드비용은 일반발전기도 해당
- OECD/NEA(2019)는 재생에너지 비중증가는 단위 발전량당 통합비용 증가, 국가간 계통연계 여부, 수력비중에 따라 통합비용이 증가할 수 있다는 연구결과 제시
- 계통통합비용으로 2030년 \$7/MWh<sub>-VRE</sub>, 2040년 \$17, 2050년 \$30 적용





## 비용의 계산 - 발전비용 변화

### ○ 총발전비용(조원)

- 재생비중에 따라 2050년 발전비용은 2019년 대비 연간 50조~100조원 증가

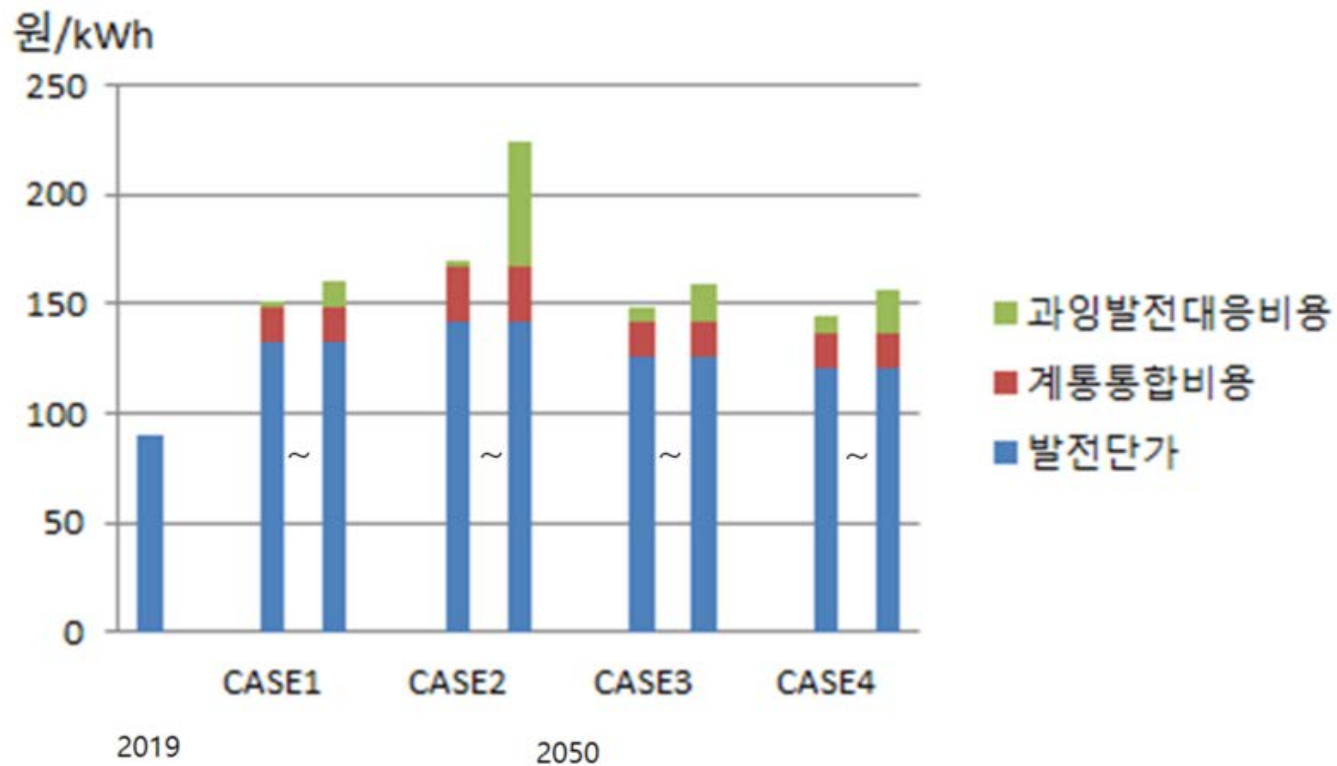
	총 발전비용	계통통합 비용	과잉발전 대응비용		계	
			최소	최대	최소	최대
2019	50.7	-	-	-	50.7	
CASE1	83.4	10.1	5.7	9.2	99.3	102.8
CASE2	92.9	16.6	14.3	37.5	123.8	147.1
CASE3	80.0	10.1	6.9	11.2	97.0	101.4
CASE4	76.9	10.1	7.7	12.5	94.7	99.5

### ○ 발전단가(원/kWh)

- 2050년 발전단가는 최대 223원/kWh까지 증가

	발전단가	계통통합 비용	과잉발전비용		계	
			최소	최대	최소	최대
2019	90.1	-	-	-	90.1	
CASE1	131.4	16.0	9.0	14.5	156.4	161.9
CASE2	141.1	25.3	21.8	57.0	188.1	223.3
CASE3	125.7	15.9	10.8	17.7	152.4	159.3
CASE4	120.6	15.9	12.1	19.7	148.5	156.1

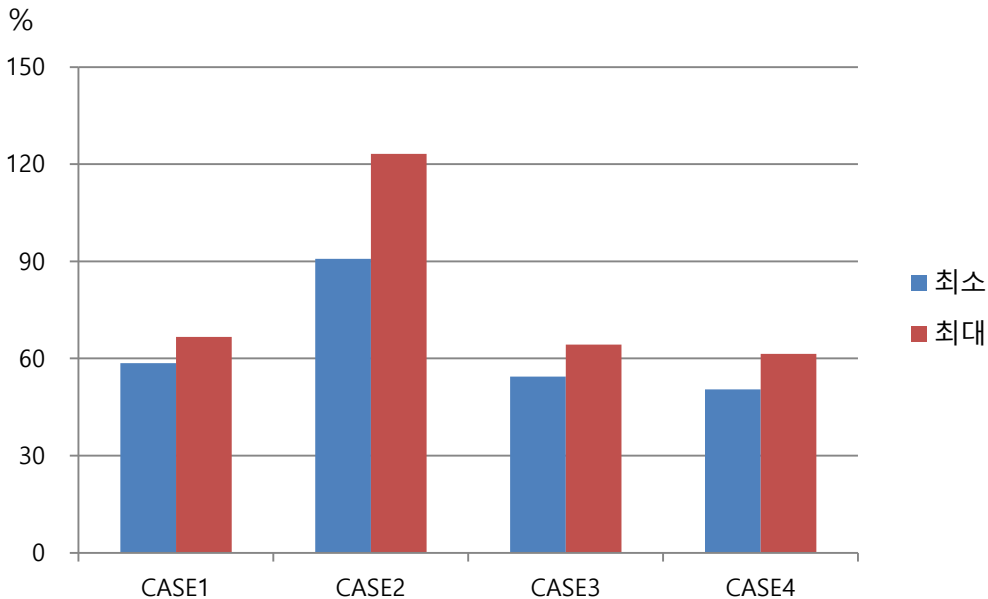
## 발전단가 변화(2050년) 추정



# 전기요금 영향(2050년)

○ 전기요금은 50%~123%의 인상요인 발생(2019년 대비)

	발전단가		한전 비용	계		2019 판매단가	전기요금 인상율(%)	
	최소	최대		최소	최대		최소	최대
CASE1	153.1	161.9	19.3	175.7	181.2	108.7	61.6	66.7
CASE2	188.1	223.3		207.4	242.6		90.8	123.2
CASE3	148.6	159.3		171.7	178.6		58.0	64.3
CASE4	144.2	156.1		167.8	175.4		54.4	61.4



# CO2 배출량

## ○ 온실가스 배출 원단위

- 1,400MW급 원전 2기가 석탄발전을 대체하는 경우 연간 1,620만톤, 가스발전을 대체한다면 710만톤 저감

구 분	석탄	가스
배출계수(tC/TJ)	27.404	15.312
발열량(kcal/kg)	5499	13061
열소비율(kcal/kWh)	1963	1540
배출계수(CO2-g/kWh)	825.8	362.0

주 : 1kgC = 44/12 kgCO2

자료: 2019국가온실가스통계산정 검증지침(제9차제정),p.15.

## ○ CASE별 온실가스 배출량(백만 CO2톤)

- 2019년 2.15억톤(추정치)에서 0.6~0.7억톤으로 감소
- 발전부문 탄소제로 달성 불가

2030 9차계획	2040		2050			
	Case1,2	Case3,4	Case1	Case2	Case3	Case4
189.6	178.0	163.8	141.3	55.6	120.1	68.9

## 탈원전(case2)과 원전유지(case4) 결과 비교

	Case2	Case4
Case 개요	탈원전, 재생비중 80%	원전유지(신규 13기), 재생비중 50%
'50 전력수요(TWh, GW)	577.9, 107.7	
정격용량(GW)	349.4	247.5
원자력	12.4	30.6
태양광	154.4	79.7
풍력	80.3	41.5
발전량(TWh), 비중(%)	원자력 89.0 (13.5) 태양광 206.9 (31.4) 풍력 182.2 (27.7)	원자력 219.5 (34.4) 태양광 106.8 (16.8) 풍력 94.2 (14.8)
과잉발전 시간수(시간)	3,877	2,617
비율(%)	(44.3)	(29.9)
과잉발전량, 태양광 · 풍력 발전량 중 비중(GWh, %)	133,014 (34.2)	44,167 (22.0)
과잉발전 대응비용(조원)	14.3~37.6	7.7~12.5
계통통합비용(조원)	16.6	10.1
발전비용(조원)	123.8~147.1	91.9~99.5
전기요금 영향(%)	90.8~123.2	50.4~61.4
온실가스 배출(백만 CO2톤)	55.6	68.9
배출저감 비용(\$/CO2톤)	399~526	245~290

## 결론

- 재생에너지에 의존하는 전력공급시스템은 이론적, 계산상으로는 가능할 수 있으나, 비현실적이며 상시적인 전력수급 불안과 막대한 비용을 유발할 것임
  - 태양광, 풍력과 같은 간헐성 전원의 확대는 낮은 피크기여도로 인해 총설비용량을 대폭 증가시킴.
  - 간헐성 전원은 과잉발전을 유발, 막대한 대응비용을 수반
  - 계통의 고립, 수력자원이 부족한 우리에게 태양광·풍력은 계통 통합비용을 유발할 뿐 아니라 상시적 수급 불안 원인이 됨
- 에너지전환 정책이 지속될 경우 2050년 총발전비용은 대략100조 원이 증가하고, 전기요금은 100% 이상 인상되어야 함.
  - 그럼에도 불구하고 발전부문의 탄소제로는 달성되지 못함.
- 2050 탄소제로 전략은 비전력 에너지의 전력화를 전제하며 전력수요는 최소 2배 이상으로 증가할 것임.
- 탄소제로를 위해서는 가용한 자원과 기술력을 최대한 활용해야 함.
  - 원자력이 배제된 탄소중립 논의는 무의미함(ex. 탄소중립위원회)
- 에너지믹스 정책의 전면적 재논의가 필요함.
  - 탄소중립 에너지 믹스는 추후 검토 과제임

# 한계점

- 본 검토의 한계점은 다음과 같음
  - 과잉발전량은 급전가능 발전원의 최소출력을 전제한 것으로 최소치로 볼 수 있음
  - 풍력과 태양광의 발전비중이 높은 전력시스템에서는 에너지 저장을 고려하더라도 상당한 양의 부하차단이 필요한데 부하차단으로 이 발전원들의 실제 이용률이 하락하게 되고 발전단가는 상승할 것이지만 고려하지 않았음
  - 과잉발전의 대응비용으로 배터리, 수소 등 에너지 저장비용 추정치를 적용했으나 불확실성이 존재함
  - 재생에너지의 전력계통 통합비용 역시 불확실성이 존재함
  - 이밖에 제한된 자료의 이용에 따른 가정 또는 전제, case 설정의 한계 등은 향후 관련연구에서 보완되어야 할 사항임.

감사합니다.

010-8938-2278  
dash3742@gmail.com