



SFOC
Solutions for Our Climate

저탄소전환을 위한 재생에너지 확대방향

www.forourclimate.org

2020. 7. 21.

- **토지(해양) 인허가 제도의 문제점**
 - 과학에 근거하지 않은, 기초지자체 수만권의 인허가 제도 존재
 - 토지인허가 제도에 대한 중앙정부의 개입 필요
- **재생에너지의 유통 - 전력시장구조의 문제점**
 - 한국전력공사만 전력판매사업을 할 수 있는가?
 - 왜 우리나라에서만 장내거래(전력시장운영규칙에 의한 거래)만 허용되나?
- **재생에너지 보조금**
 - 바이오매스, 연료전지 등에 대한 지원의 문제점
- **계통 밸런싱**
 - 우리의 전력시장은 충분히 유연한가?
 - 우리는 수요반응을 제대로 활용하나(예비력을 비용합리적으로 조달하고 있는가?)

문제 I. 재생에너지 관련 토지 인허가제도의 문제점

토지 관련 인허가제도 - 지방자치단체에 사실상 백지위임

국토의계획및이용에관한법률
(큰 원칙 정도 정함)



국토의계획및이용에관한법률 시행령
(구체성 적은 원칙 정함)



개발행위허가운영지침(국토교통부 훈령)

“법 시행령(이하 “영”이라 한다)에서 위임한 범위 안에서 도시·군계획조례를 마련하여 개발행위허가제를 운영할 수 있다”



도시군계획조례 / 개발행위허가 운영지침(예규)
(법/시행령에 크게 제한 받지 않는 제각각인 규제)

문제 I. 재생에너지 관련 토지 인허가제도의 문제점

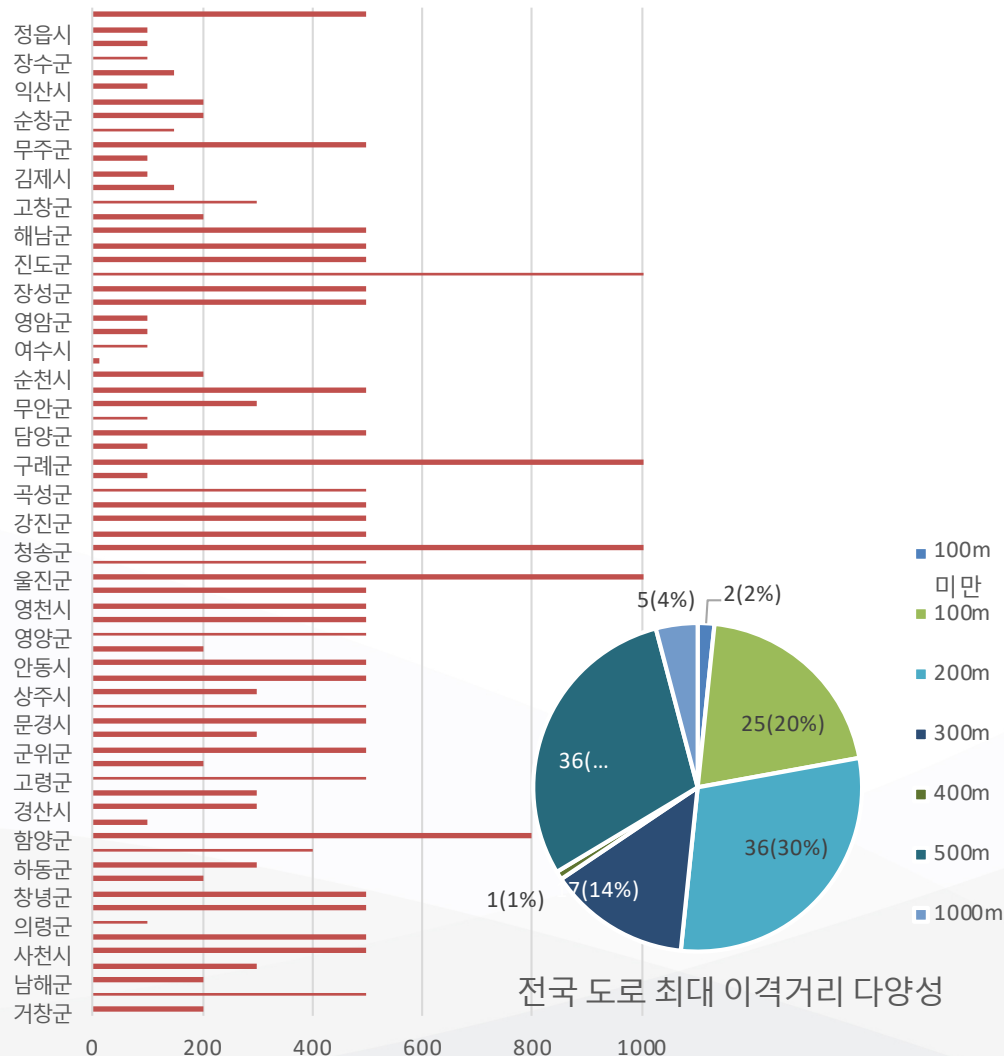
주민수용성이 문제시 되는 것은 외부효과 때문이 아니라 잘못된 제도 때문임

- 재생에너지 사업자는 외지인(투표권 없는 자)
- 재생에너지 사업자 인근 주민 등은 투표권 있을 뿐만 아니라 주변 투표권자들에게 영향을 미칠 수 있음
- 지자체장은 주민들의 견해에 더 귀 기울일 수 밖에 없음 - 주민동의 등 요건 부과
- 주민들은 사업자에게 각종 동의를 요구한다고 하여 경제적으로 잃을 것이 크게 없으며, 오히려 경제적으로 이익을 볼 가능성이 커짐
- 주민으로서는 재생에너지 사업자가 사업을 하는 데 필요한 최소한의 수익만 가져갈 수 있는 상황이 될 때까지 가능한 많은 요구를 하는 것이 경제적으로 합리적

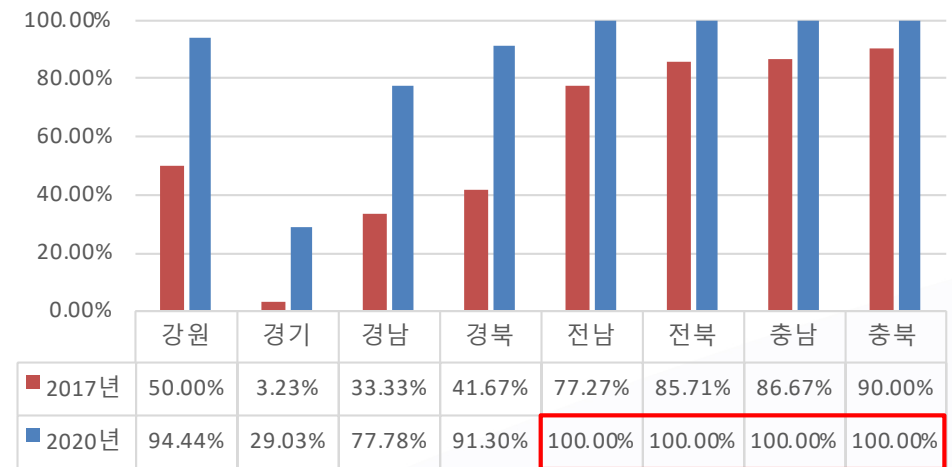
문제 I. 재생에너지 관련 토지 인허가제도의 문제점

기초지자체 수만큼 다양한 과학에 근거하지 않은 규제가 사업비를 높이고 예측가능성을 떨어트림

전라, 경상 도로 최대 이격거리



2017 vs 2020 태양광 발전시설 규제



- 임실군의 경우, 재생에너지 규제가 자원순환시설, 공장, 묘지 등 규제보다 더 강함
- 과학에 근거하지 않은, 재산권에 대한 침해 소지가 있는 규제
- 시행령 또는 고시를 통한 **중앙정부** 의 교통정리가 필요함(지자체에 그만 미루기)

문제 II. 전력시장의 문제점 – 한전 이외 판매사업자 없음

전력판매시장은 개방되어 있다, 한전 이외 누구도 허가를 안 받았던 것일 뿐

- 전기판매는 석유판매나 통신서비스와 본질적으로 다른가?
- KT만 통신서비스를 제공할 수 있다면, 우리는 넷플릭스를 지금처럼 볼 수 있을까
 - 아마도 오랜 기간 동안 올레TV가 제공하는 콘텐츠만 보다가 한참 뒤에서야 넷플릭스를 볼 수 있었을 것임?
- 전기판매시장이 개방된다면 **송배전망분리(Unbundling)**는 필수

전기사업법 부칙 <법률 제6283호, 2000. 12. 23.>

제3조 (전기판매사업의 허가의 제한) 산업자원부장관은 이 법 시행일부터 10년의 범위내에서 대통령령이 정하는 날까지는 제7조제1항의 규정에 의한 **전기판매사업의 허가를 하여서는 아니된다.**

전기사업법 시행령 부칙 <대통령령 제17137호, 2001. 2. 24.>

제3조 (전기판매사업의 허가의 제한) 법 부칙 제3조에서 "대통령령이 정하는 날"이라 함은 **이 영 시행일부터 3년이 되는 날**을 말한다.

문제 II. 전력시장의 문제점 – 장내거래만 허용

전력시장강제주의는 헌법상 허용되는가?

제31조(전력거래) ① 발전사업자 및 전기판매사업자는 제43조에 따른 전력시장운영규칙으로 정하는 바에 따라 전력시장에서 전력거래를 하여야 한다. 다만, 도서지역 등 대통령령으로 정하는 경우에는 그러하지 아니하다.

2001년 전기사업법 개정 당시 입법취지(2001년 국회심사보고서 내용)

“우리나라는 아직 시장이나 가격구조가 정착되지 못한 점을 감안하여 강제적 전력시장을 통하여 전력시장과 가격구조의 정착 그리고 전력계통의 안정적 운영에 만전을 기해 나가되, 장기적으로는 전력공급과 가격에 대한 소비자선택권의 보장을 강화하기 위하여 전력직거래의 범위를 점차 확대해 나가야 할 것”

- 모든 상장주식을 한국거래소를 통해 사고 팔아야 하는 것은 아님
 - 장내거래 및 장외거래 모두 가능(코스피, 코스닥 시장은 거래의 편의를 위해 만든 도구일 뿐)
 - 그러나 우리 전력시장에서는 장내거래만 가능하며, 그 거래방식의 비효율성이 계속 문제되고 있음
- 전력시장강제주의는 소비자의 자기결정권과 사업자의 영업의 자유를 침해하여 헌법에 부합되지 않을 여지 있음

문제 III. (신)재생에너지 보조금 제도의 문제점

REC 발급원별 발급량: 바이오매스 비중 27% 대

REC 발급원 구분			2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
1. 태양광			118,110	646,562	1,742,651	3,469,276	4,713,031	6,705,068	9,864,195	
			5.5%	14.0%	18.7%	27.9%	30.5%	32.2%	36.7%	
2. 풍력			99,569	241,411	347,388	566,064	977,621	1,639,088	1,965,596	
			4.7%	5.2%	3.7%	4.6%	6.3%	7.9%	7.3%	
3. 폐기물			123,502	195,561	324,973	389,596	467,915	567,421	580,064	
			5.8%	4.2%	3.5%	3.1%	3.0%	2.7%	2.2%	
4. 바이오에너지			196,022	1,037,430	4,035,496	4,963,190	5,855,361	7,607,324	9,392,164	
			9.2%	22.4%	43.4%	40.0%	37.9%	36.6%	34.9%	
	1) 바이오매스		111,442	790,012	3,206,971	3,442,060	3,994,093	5,715,300	7,361,416	
			5.2%	17.0%	34.5%	27.7%	25.9%	27.5%	27.4%	
		우드칩	16,262	25,329	21,892	51,967	57,190	72,113	70,207	
			0.8%	0.5%	0.2%	0.4%	0.4%	0.3%	0.3%	
		목재 펠릿	83,015	636,771	2,696,988	2,480,279	2,671,033	3,897,421	5,176,749	
			3.9%	13.7%	29.0%	20.0%	17.3%	18.7%	19.2%	
		바이오 SRF	-	-	54,430	346,570	567,571	468,453	524,382	
			-	-	0.6%	2.8%	3.7%	2.3%	1.9%	
		폐목재	12,165	127,912	433,661	563,245	698,300	1,277,314	1,589,322	
			0.6%	2.8%	4.7%	4.5%	4.5%	6.1%	5.9%	
		미이용 바이오매스	-	-	-	-	-	-	756	
			-	-	-	-	-	-	0.0%	
		2) 바이오가스		2,386	26,356	34,355	74,485	80,553	111,931	119,706
				0.1%	0.6%	0.4%	0.6%	0.5%	0.5%	0.4%
		3) 기타 바이오		82,194	221,062	794,170	1,446,645	1,780,715	1,780,093	1,911,042
				3.9%	4.8%	8.5%	11.6%	11.5%	8.6%	7.1%

문제 III. (신)재생에너지 보조금 제도의 문제점

보조금 정책결정 과정의 불투명성 및 누구도 재무적 책임을 부담하지 않는 결정구조로 인해 상당한 비효율 발생

우리나라 연료전지발전에 대하여 보조된 금액의 대략적 합계 (최근 5년간 약 1.2조원)

연도	발전량 [kWh]	발전차액지원금 지급금액[원]	REC발급량 [REC]	비태양광 REC가격(원)	REC 가액(원)	해당 연도 발전량 관련 발부 REC 가액 및 발전차액지원금 합계
2013	564,125,743	17,604,273,901	807,865	150,000*	1.2118E+11	138,784,023,901
2014	919,719,893	5,367,016,880	1,758,103	101,441	1.78344E+11	183,710,743,303
2015	1,067,840,140	4,931,982,700	2,078,698	91,839	1.90906E+11	195,837,528,322
2016	1,054,777,624	6,910,727,320	2,040,008	140,791	2.87215E+11	294,125,493,648
2017	1,337,421,690	5,710,760,240	2,616,149	151,882	3.97346E+11	403,056,702,658
합계					1.17499E+12	1,174,989,730,791

출처: 산업통상자원부의 2018. 9. 20.자 김성환 의원실 제출자료 및 한국전력거래소 REC거래동향리포트 기준

*한국전력거래소 REC거래동향리포트 상 비태양광 REC의 해당연도 현물 평균가격 기준

**2013년 비태양광 REC 평균가격 정보 부족하여 15만원 전제

우리나라 IGCC발전에 대하여 보조된 금액의 대략적 합계 (최근 3년간 약 660억원)

구분	발전량(kWh)	정격용량대비 가동률(%)	REC 발급량(REC)	비태양광 REC가격(원)	REC 가액(원)
2016년	408,396,611	19.12	68,753	140,791	9,679,803,623
2017년	1,285,733,100	42.38	223,877	151,882	34,002,886,514
2018년	1,112,057,891	52.67	147,070	151,882	22,337,285,740
합계					66,019,975,877

출처: 산업통상자원부의 2018. 9. 20.자 김성환 의원실 제출자료 및 한국전력거래소 REC거래동향리포트 기준

*한국전력거래소 REC거래동향리포트 상 비태양광 REC의 해당연도 현물 평균가격 기준

**2018년 비태양광 REC 평균가격은 2017년과 동일할 것으로 전제

문제 IV. 계통에서의 밸런싱

경직된 구조로 재생에너지 자원에 유연하게 대응 못함 – 추가 설비 안 지어도 많은 변화 가능!

2. 현행 전력시장의 문제점

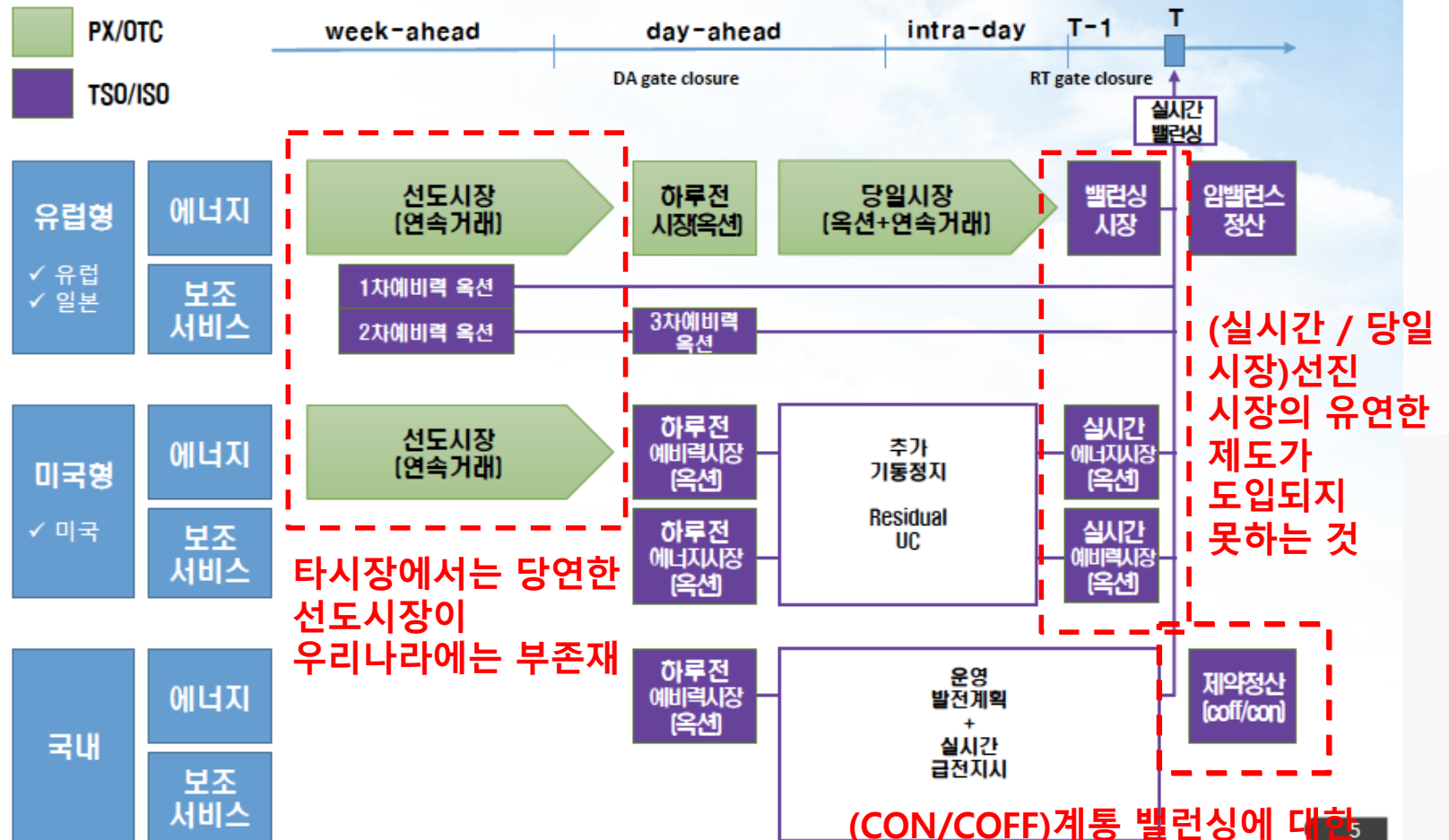


◆ 선도시장 미비

- 경쟁구조한계
- 비용평가제도
- 정산조정제도

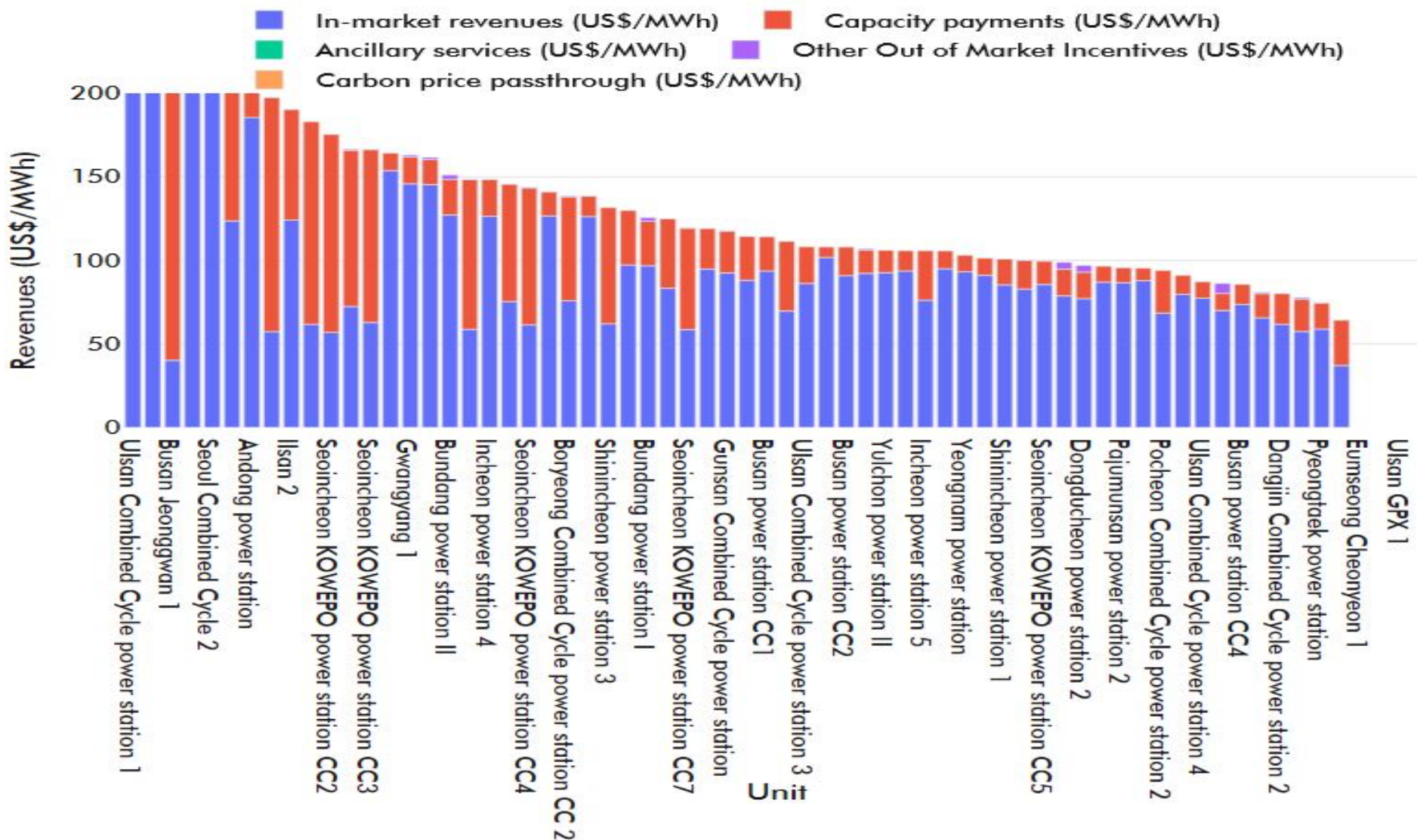
◆ 현물시장 미성숙

- 하루전시장
- 당일/실시간시장 미비
- 시장외적 제약정산
- 거래량 및 급전지시 이행유인 미흡



가스발전의 용량정산금(빨간색) 및 발전정산금(파란색) 내역 예비력을 비용효과적으로 조달하고 있는가? 더 비용효과적인 방안은 없나?

Revenues in all provinces, South Korea [2020]





재생에너지 보급 확대를 위한 기술적 지원방안

한국에너지기술연구원 윤재호 단장

저탄소 전환 실현을 위한 재생에너지 확대방안 토론회

7.21(화) 14:00~16:00, 코엑스 Conference Room 401

재생에너지 보급 확대를 위한 기술적 지원방안

재생에너지 보급 현황

해외 현황

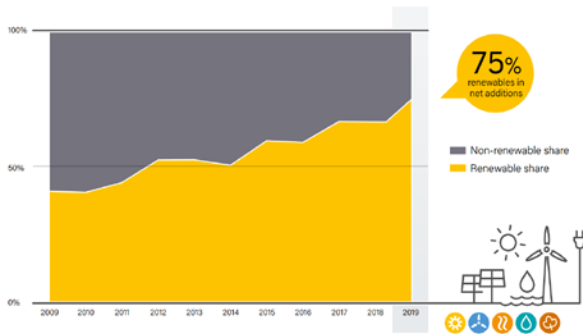
지속적인 재생에너지 글로벌 보급 확대

FIGURE 28. Solar PV Global Capacity and Annual Additions, 2009~2019



2019년 신규 발전설비의 75% 이상

FIGURE 9. Renewable and Non-renewable Shares of Net Annual Additions in Power Generating Capacity, 2009~2019

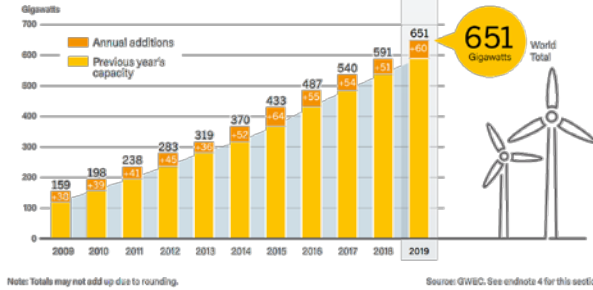


국내 현황

2018 재생에너지 전력 비중
~8.3% (에너지공단)

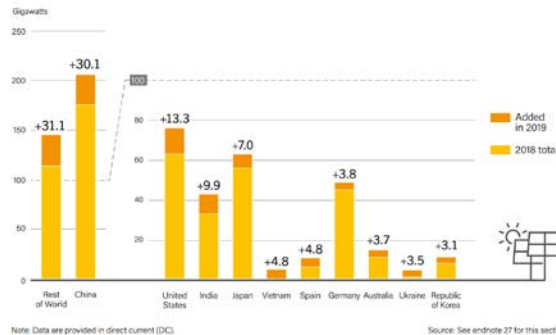
2020, 4035 및
2050년 탄소중립을 위한
확대 전략 필요

FIGURE 37. Wind Power Global Capacity and Annual Additions, 2009~2019



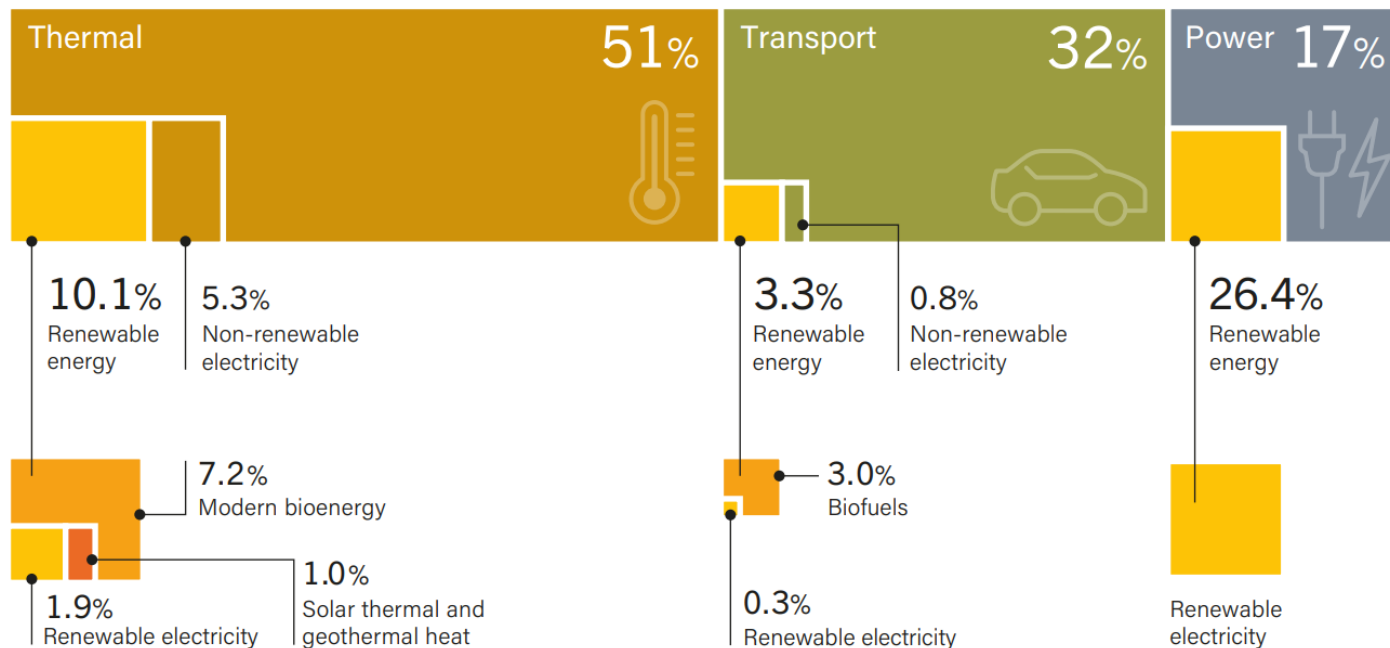
2019년 국내태양광 보급 3.1GW (Global TOP 10)

FIGURE 30. Solar PV Capacity and Additions, Top 10 Countries for Capacity Added, 2019



저탄소 실현을 위한 재생에너지 보급

FIGURE 3. Renewable Share of Total Final Energy Consumption, by Final Energy Use, 2017



전력 분야의 지속적인 재생에너지 확대 (Grid parity, Grid Flexibility)

수송 및 열(건물 냉난방 및 산업열 등) 분야의 재생에너지 확대

재생에너지 기반 융복합 시스템 확대

재생에너지 보급 확대를 위한 해결과제

설치 부지의 확보

대규모 태양광 및 풍력 발전 단지

경제성 확보

Grid parity (Socket Parity)

그리드의 유연성 증대

분산에너지 시스템

국내 기업의 산업경쟁력 강화

양질의 일자리 창출

응용범위 확대

건물, 수송, 산업 등

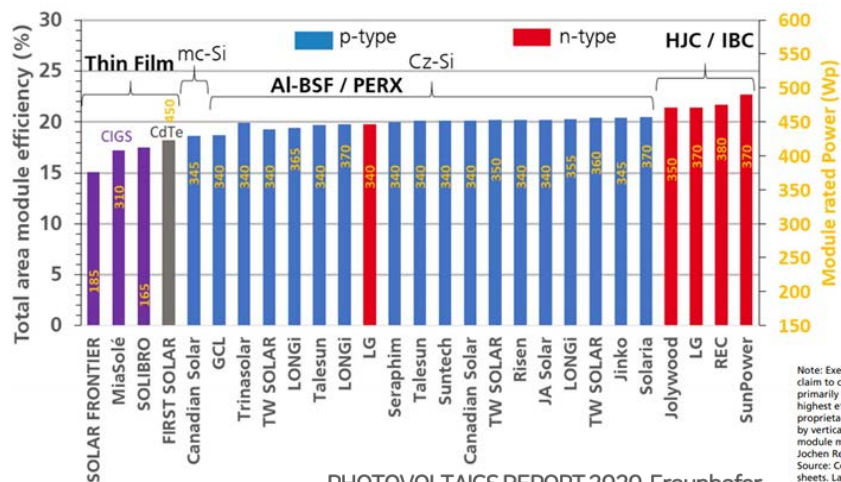
수용성 개선

심미성 확보, 정확한 정보교류,
사용자 참여확대

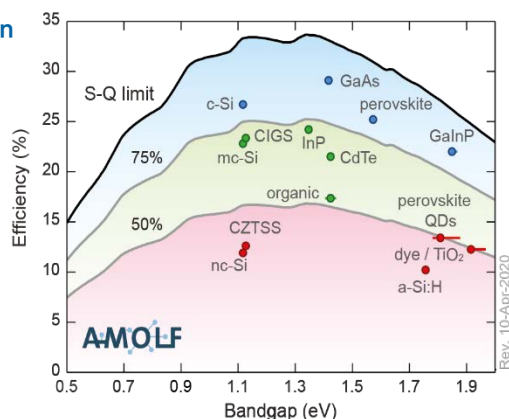
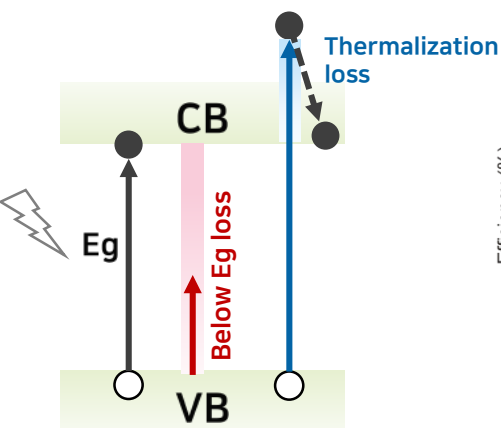


혁신기술 개발 고효율 태양광 모듈 기술

Current Efficiencies and Power of Selected Commercial PV Modules
Sorted by Bulk Material, Cell Concept and Efficiency



Note: Exemplary overview without claim to completeness; Selection is primarily based on modules with highest efficiency of their class and proprietary cell concepts produced by vertically integrated PV cell and module manufacturers; Graph: Jochen Rentsch, Fraunhofer ISE. Source: Company product data sheets. Last update: Nov. 2019.



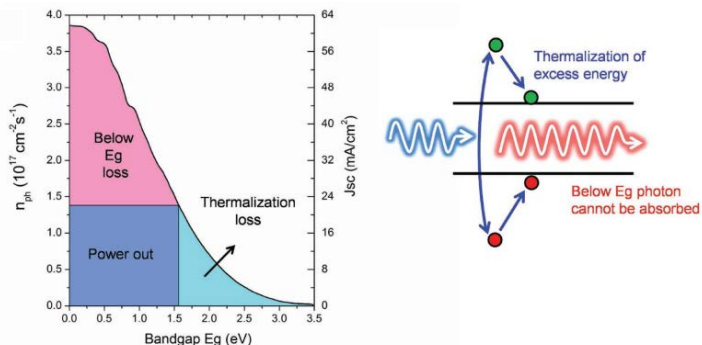
1 태양광 모듈 효율은 지속적으로 증가하고 있으며 이로 인해 가격도 하락하고 있음

2 최근 20% 이상의 효율을 가지면서 500W 이상의 모듈 출시

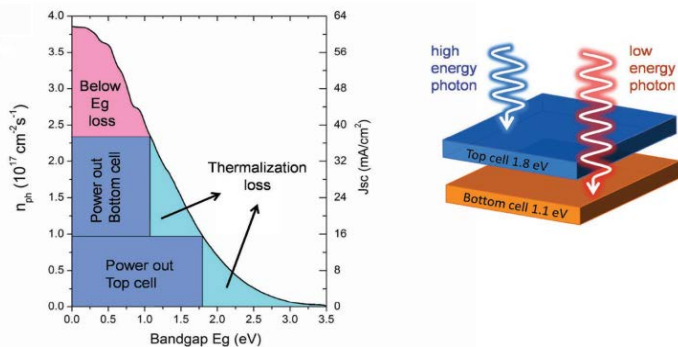
3 이론 효율(29%)과 근접한 효율 확보로 이를 뛰어넘는 혁신적인 기술 필요

고효율 이중접합 태양전지 기술

Single-junction



Dual-junction



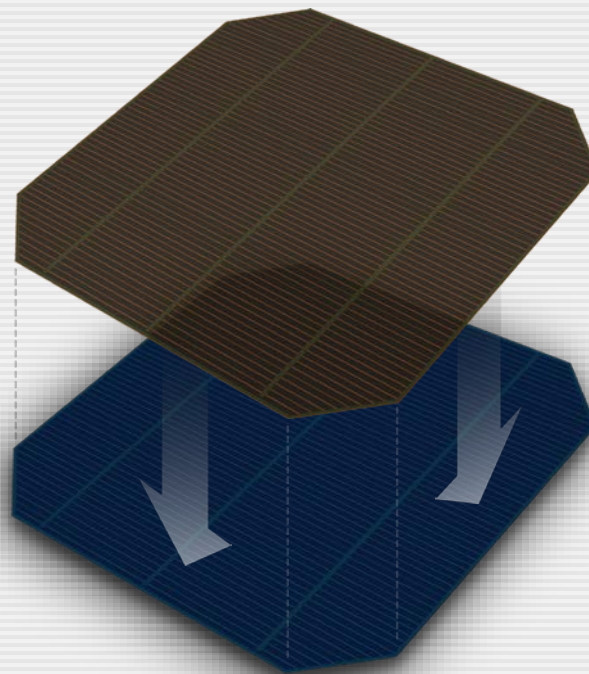
Adv. Energy Mater. 2017, 1602400

이론 효율

이중접합
44 %

무한(infinite)접합
65.4 %

높은 잠재성 & 높은 기술장벽



35%
효율 달성

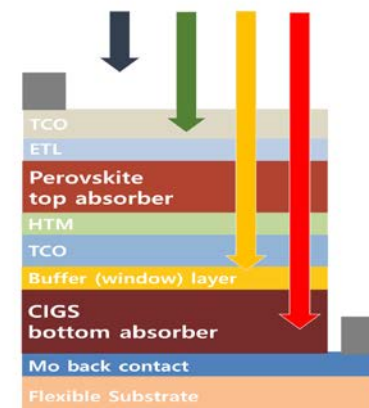
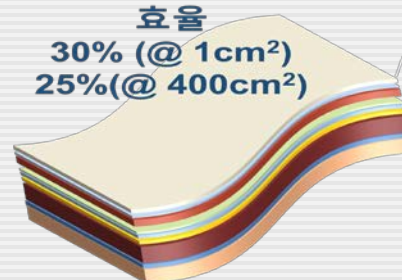
내구성
확보

제조단가
경쟁력 확보

공정 안정성
확보

Flexible Perovskite/CIGS Tandem Device

효율
30% (@ 1 cm^2)
25% (@ 400 cm^2)

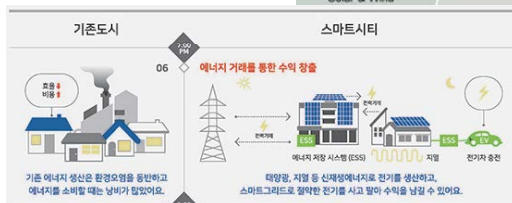
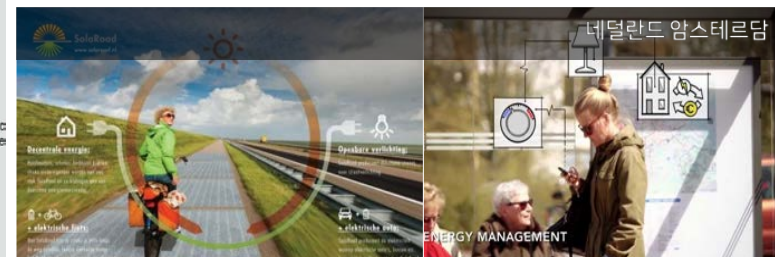
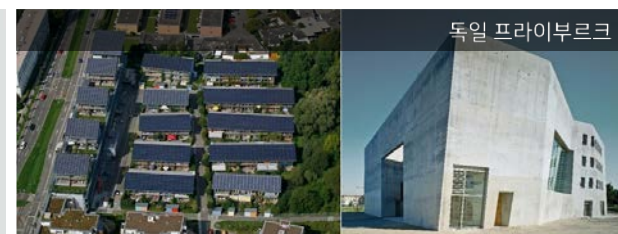
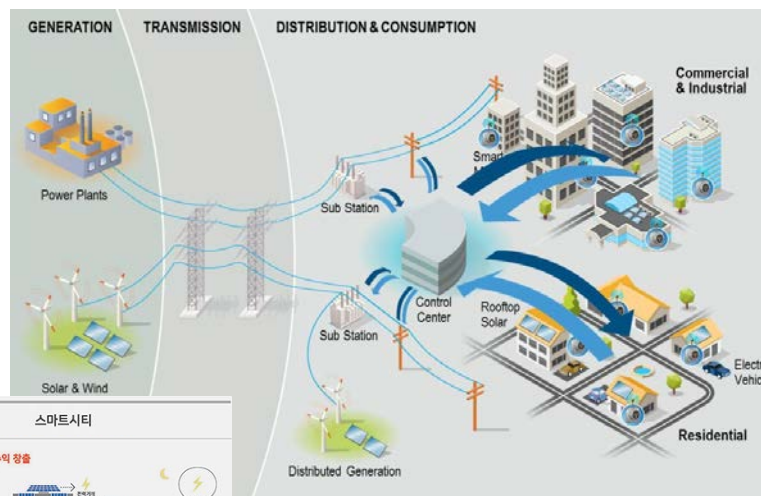


통합기술개발 스마트 에너지 시티(도시發電)

재생에너지 기반의 스마트에너지시티를 구축

에너지에 대한 새로운 통합관리체계 운영

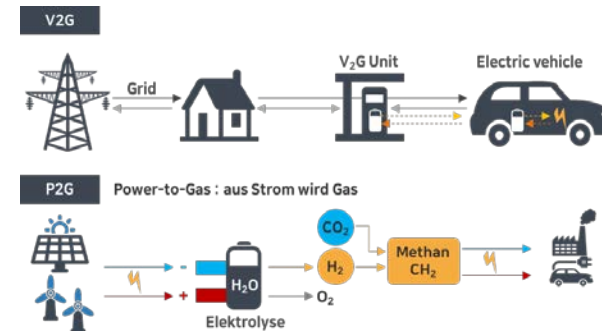
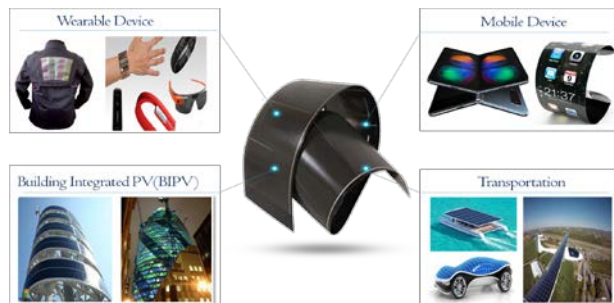
- 스마트 시티의 에너지 소비량 및 수요량 예측 & 실시간 예측 데이터를 이용한 에너지 공급량 예측
→ ICT 연계 수요량 맞춤형 에너지 공급 제어 기술 구현
- 기존의 열 및 전력 네트워크와 연동된 재생에너지의 통합 제어로 에너지 절감효과 극대화
- 재생에너지 발전량 모니터링을 통해 수요 및 공급 최적화



▲ 스마트그리드의 예

▲ 재생에너지 기반의 스마트에너지시티의 예

통합기술개발 스마트 에너지 시티



재생에너지 생산 기술
(도심형 태양에너지, 에너지하베스팅...)

재생에너지 발전량 예보 기술
DNA* 기반 통합 모니터링 기술

*DNA: Data, Network, AI

V2G, P2G 등 에너지 통합기술
(에너지 저장, 에너지 하베스팅)



산업경쟁력확보 재생에너지 소부장 플랫폼 구축

고효율 태양전지 R&D 플랫폼

다양한구조의고효율
태양전지제조연구

양산적용가능한공정개발
테스트베드

태양전지특성분석을위한
분석기법개발

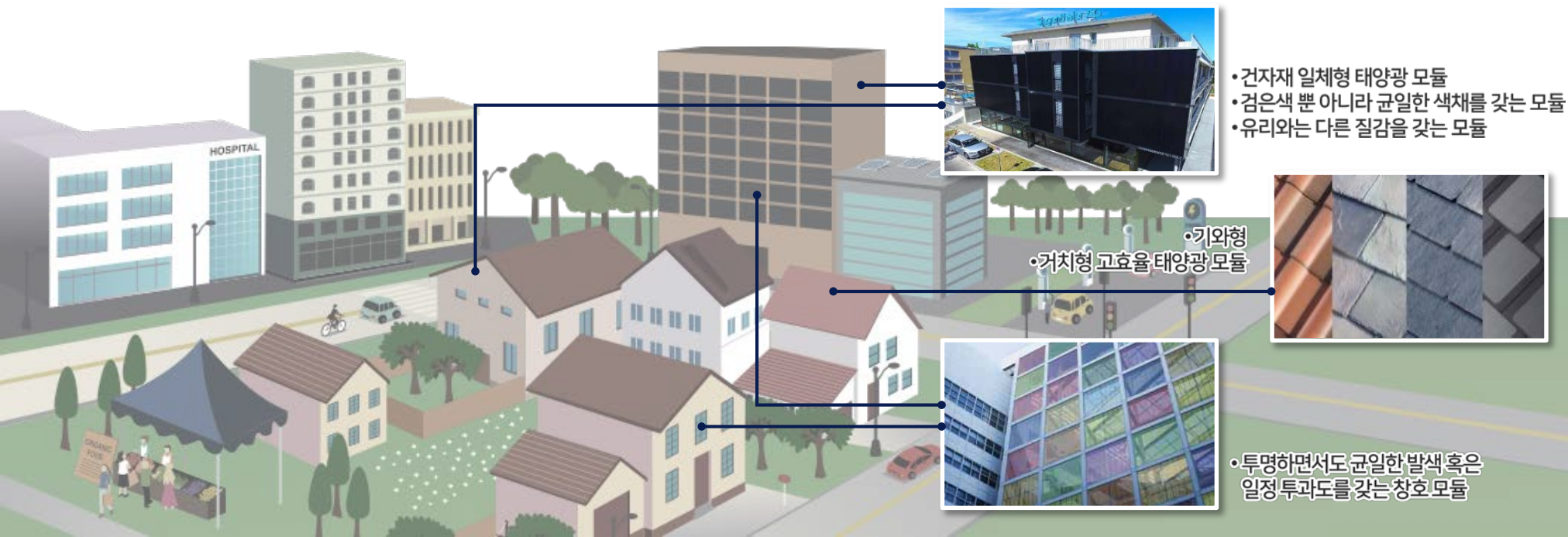


태양광 모듈 제조 및 성능 평가

양산적용가능한모듈제조
공정개발

모듈의내구성및신뢰성
테스트베드

국제표준화대응가능한
성능평가기법확립



R&D 이행 추진력 강화

그린뉴딜 이행 및 2050 장기저탄소 발전전략(LEDs)을 R&D 측면에서 체계적으로 지원하기 위한
기후변화대응 기술개발 관련 법 제정 및 R&D 전략수립 필요

저탄소사회 구현을 위한 중점 R&D 전략과 방향성 제시 필요

- 국가 기후·에너지·환경 주요계획에 대한 시의성과 정책 간 정합성을 고려한 **국가 목표달성을 위한 기후기술 R&D 전략 부재**
- 저탄소 전환을 위한 **혁신기술 R&D의 체계적 지원** 및 중점기술 투자 방향성 설정을 위한 **R&D 전략 수립 필요**



기후변화대응 기술개발 지원을 위한 법·제도적 근거 마련

- 온실가스 감축에 과학기술적 뒷받침이 중요하나, 지원할 수 있는 법적근거 부재로 기후기술 R&D 전략 수립 및 이행 관리에 한계

※ 현재는 녹색성장기본법에 R&D 근거가 명시*되어 있으나 기본법의 특성상 구체적 목표 없이 방향성만 제시하는 한계

*저탄소 녹색성장기본법 26조(녹색기술의 연구개발 및 사업화등의 촉진)

- 기후기술법 제정을 통해 온실가스 감축에 관한 책임 이행 및 기후변화대응기술 확보를 위한 **기술개발체계 구축 및 지원근거 마련 필요**



감사합니다.

국내외 에너지 전환 과정에서 재생에너지의 역할과 시사점

2020. 7. 21. 화요일 코엑스 컨퍼런스룸 401호

2050 장기 저탄소 발전전략 수립을 위한 전문가 토론회

발표: 전남대학교 경제학부 배정환 교수

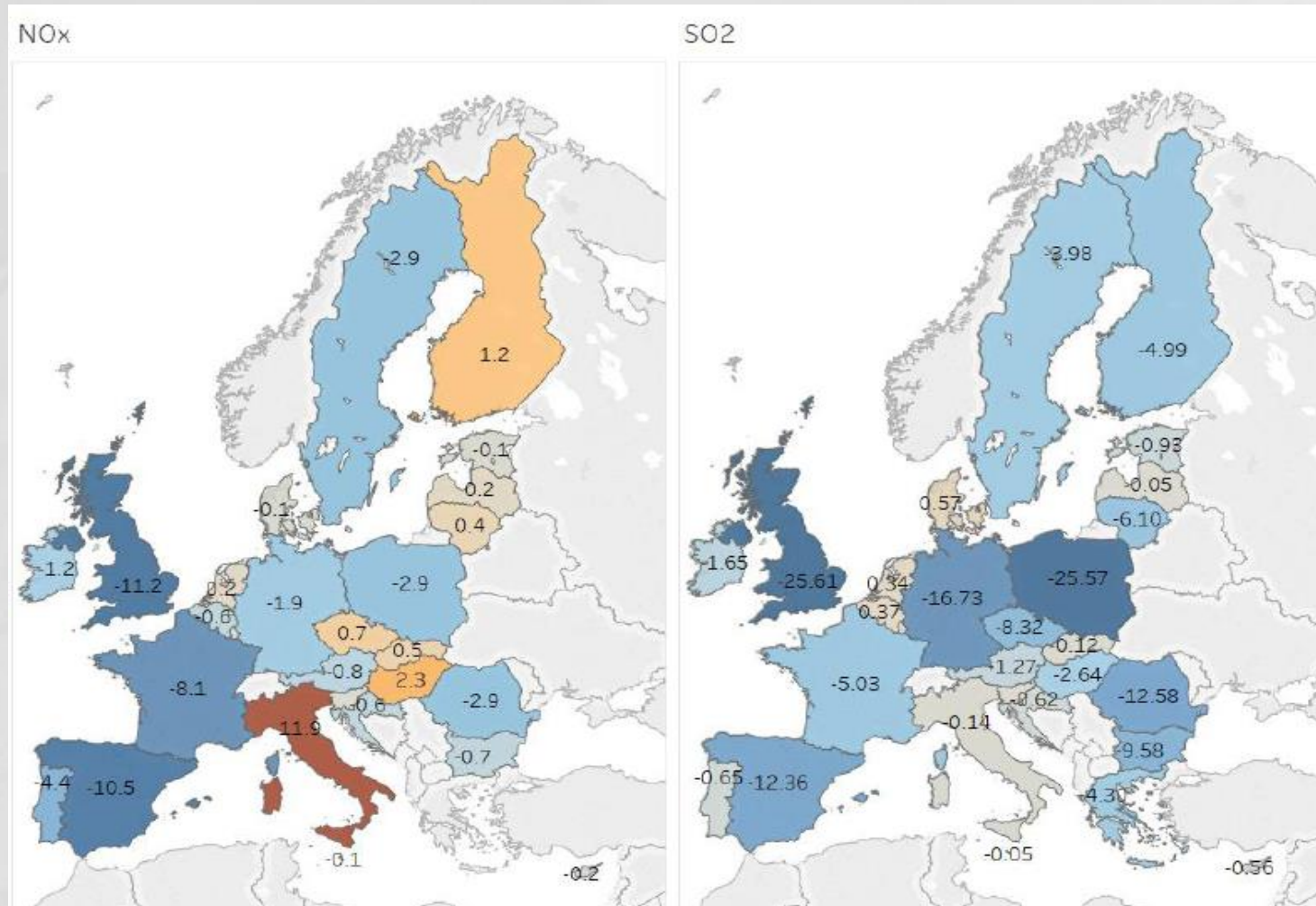
(이메일: jhbae@jnu.ac.kr)

에너지 전환에서 재생에너지의 역할과 이슈

에너지 전환의 필요성과 이슈

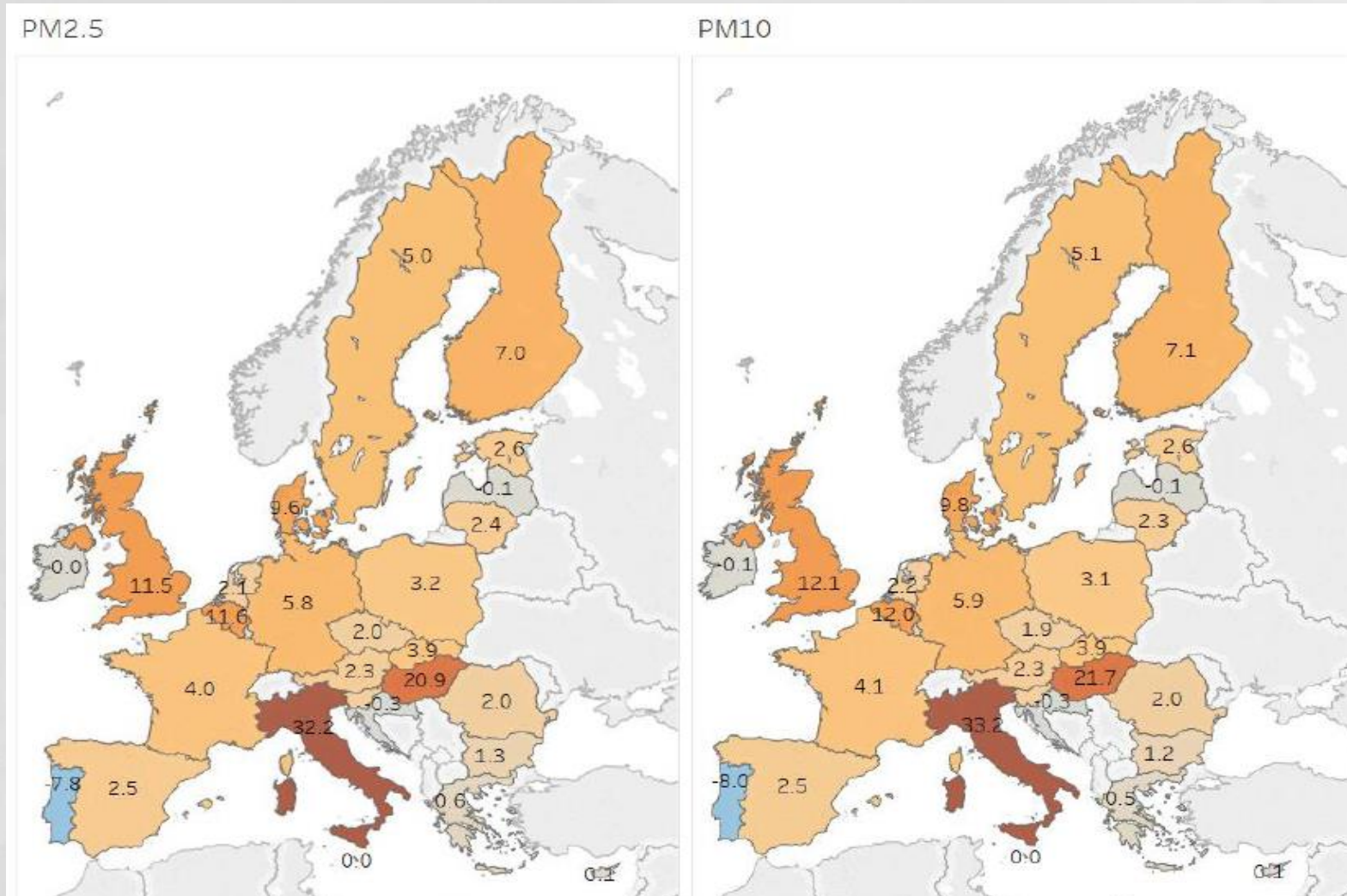
- 화석에너지에서 재생에너지로의 전환은 세계적 추세
 - 기후변화 가속화, 대기오염 문제 심화, 화석에너지 고갈, 에너지 국산화를 통한 에너지 안보, 일자리 창출 등이 driving factors!
- 재생에너지의 명과 암
 - 재생에너지는 클린에너지이지만 다양한 문제를 야기
 - 태양광, 풍력과 같은 간헐성 에너지 자원은 기저부하 역할에 한계
 - 출력 변동성 문제로 전력 품질 저하 문제
- ‘문제가 있는 곳에 혁신이 있다!’
 - 간헐성, 변동성 문제 해결을 위해 ESS (보조서비스) 시장 발달
 - 소규모 분산형 전력자원의 효율적 활용을 위한 가상발전시스템 (VPP) 및 블록체인 기반 P2P 시스템 개발
 - 변동성 재생에너지의 전력공급 예측력 개선을 위한 빅데이터 기반 전력예측시스템 개발 (드론, IoT 활용 등)
 - REC 시장 가격 변동성 문제: 수요독점적 시장 구조의 개선 필요 (민간 부문의 시장 진입 허용)

유럽의 재생에너지 소비증가가 대기오염배출에 미친 영향 (2005-2015)

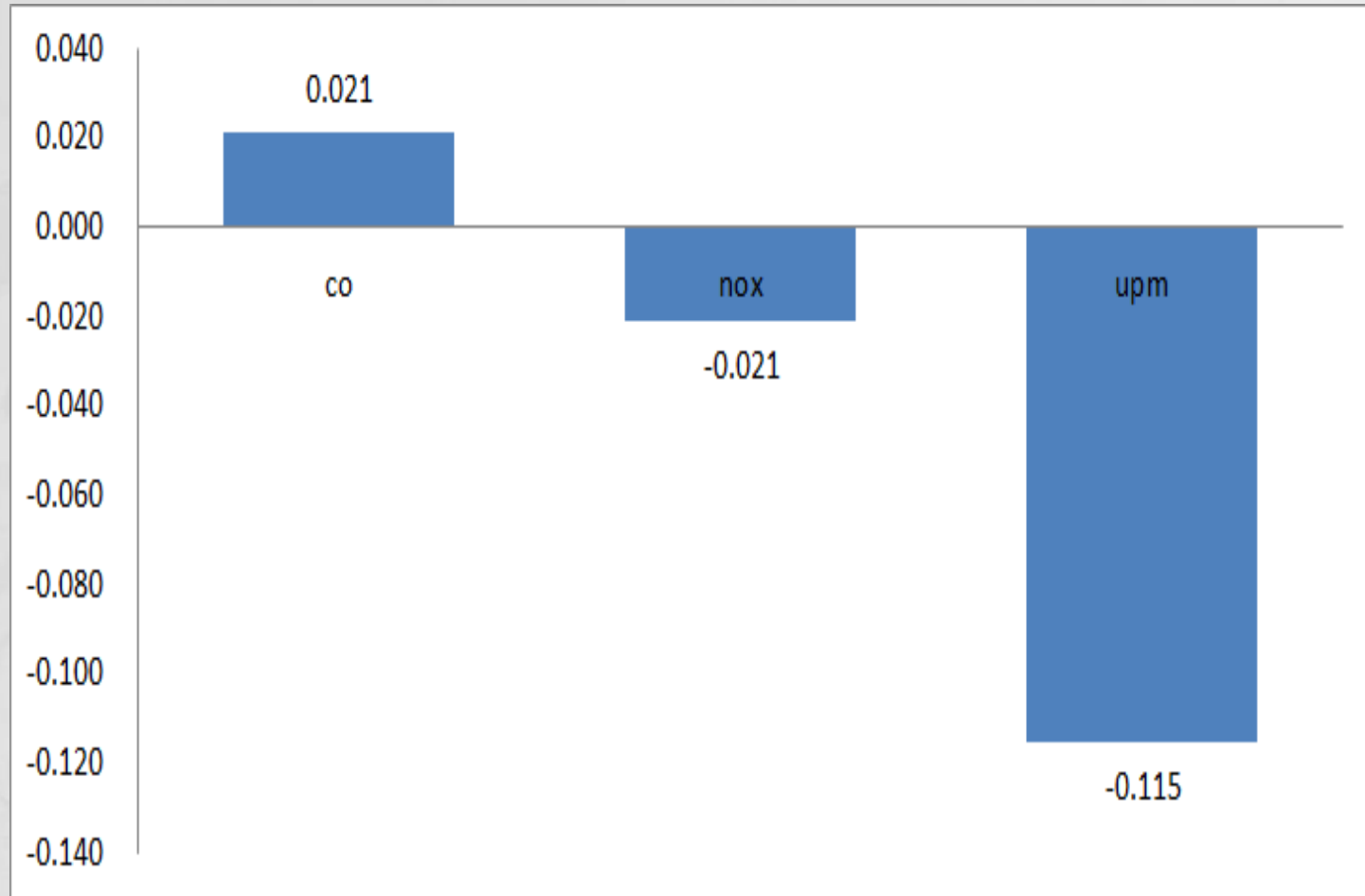


Source: European Topic Centre on Climate change mitigation and energy, 2019, 'Impacts of renewable energy on air pollutant emissions'

유럽의 재생에너지 소비증가가 대기오염배출에 미친 영향 (2005-2015)



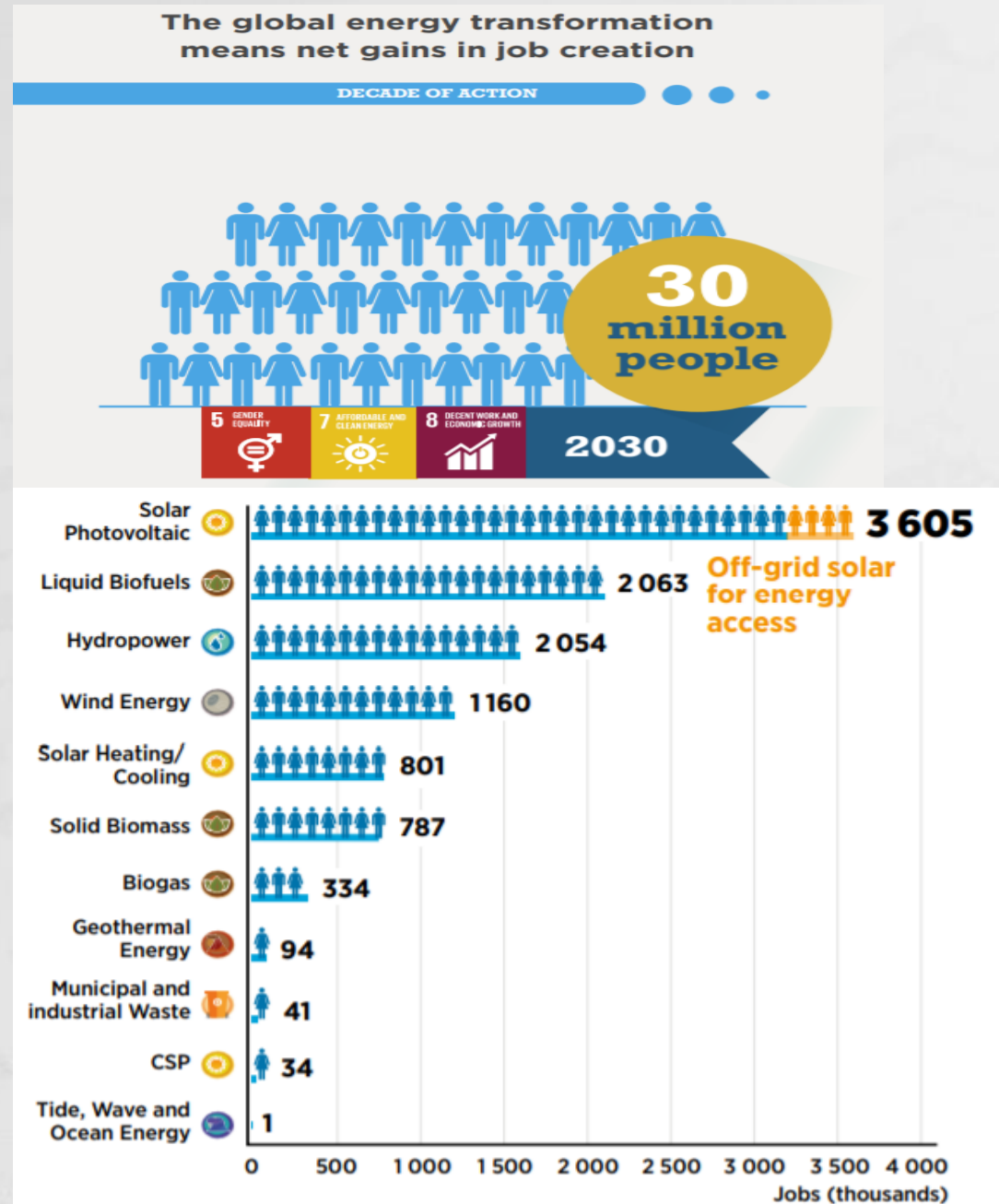
한국: 신재생에너지 1% 증가가 대기오염 배출 증가율에 미치는 영향



배정환, 정서림, 2020, '신재생에너지의 확산이 대기오염 배출 저감에 미치는 영향 분석', New & Renewable Energy Forthcoming

재생에너지의 일자리 창출 효과

- IRENA (2019)에 의하면 2018년 기준 11백만명이 재생에너지 산업에 고용됨
- 태양광 3.6백만명, 바이오연료 2백만명, 수력 2백만명, 풍력 1.1백만명 고용
- 2030년에는 에너지 전환을 통해 3천만개의 새로운 일자리가 창출될 전망



국내외 재생에너지 보급 및 투자 현황

국내 신재생에너지 보급 현황

- 2018년 총1차에너지 생산량: 302,065천 TOE
- 신재생에너지 생산비중: 5.25%
 - 2017년 4.62%이고, 2007년 2.04% 대비 2.58%p 증가
 - 2018년 17,837,507TOE가 생산됨
- 2018년 신재생에너지 믹스
 - 폐기물이 50.9%로 가장 많은 비중을 차지함
 - 바이오에너지가 24.9%, 태양광이 11.1%로 뒤를 이음
 - 수력 4.0%, 풍력 2.9%, 연료전지 2.1%

❖ 에너지원별 생산 비중 비교

(단위 : toe)

구 분	2017		2018		전년대비 증감		기여도 (%)	
	생산량	비중(%)	생산량	비중(%)	생산량	증감율(%)		
1차에너지(천toe)	302,066	100.00	307,501	100.00	5,435	1.80	-	
신·재생에너지	16,448,380	5.45	17,837,507	5.80	1,389,127	8.45	100.0	
재 생 에 너 지	15,861,216	5.25	17,098,676	5.56	1,237,460	7.80	89.1	
신 에 너 지	587,164	0.19	738,831	0.24	151,667	25.83	10.9	
재 생 에 너 지	태 양 열	28,121	0.2	27,395	0.2	△725	△2.6	△0.1
	태 양 광	1,516,343	9.2	1,977,148	11.1	460,805	30.4	33.2
	풍 력	462,162	2.8	525,188	2.9	63,026	13.6	4.5
	수 력	600,690	3.7	718,787	4.0	118,097	19.7	8.5
	해 양	104,256	0.6	103,380	0.6	△876	△0.8	△0.1
	지 열	183,922	1.1	205,464	1.2	21,542	11.7	1.6
	수 열	7,941	0.0	14,725	0.1	6,784	85.4	0.5
	바 이 오	3,598,782	21.9	4,442,376	24.9	843,594	23.4	60.7
폐 기 물	9,358,998	56.9	9,084,212	50.9	△274,786	△2.9	△19.8	
신 에 너 지	연 료 전 지	313,303	1.9	376,304	2.1	63,001	20.1	4.5
	I G C C	273,861	1.7	362,527	2.0	88,666	32.4	6.4

한국에너지공단, 2019, '2018년 신재생에너지 백서 '

❖ 국내 신재생에너지 생산 추이



한국에너지공단, 2018, ' 신재생에너지 보급통계 '

❖ 에너지원별 발전 비중 비교

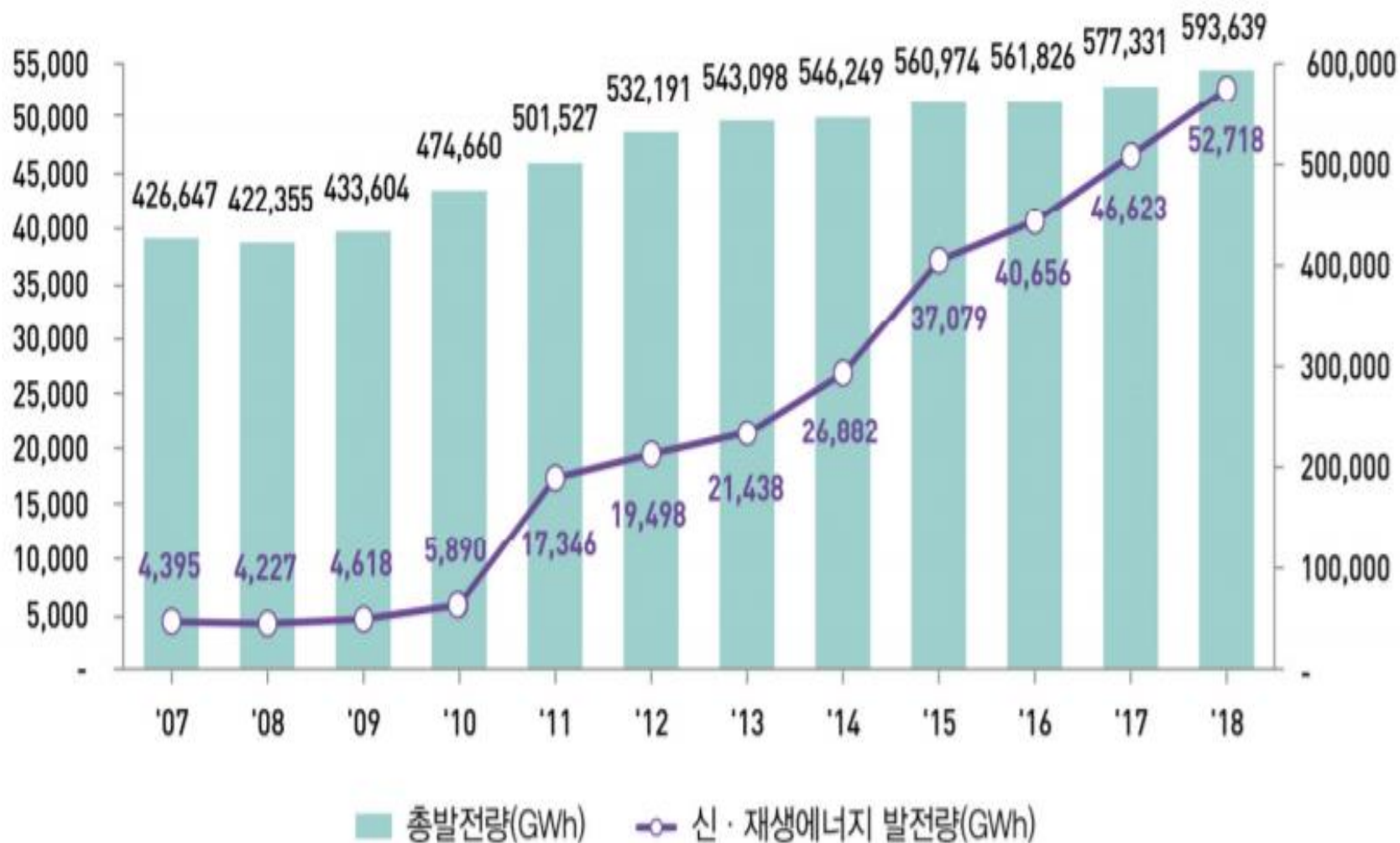
(단위 : MWh)

구 분		2017		2018		전년대비 증감		기여도
		발전량	비중(%)	발전량	비중(%)	발전량	증감율(%)	(%)
총 발 전 량		577,331,030	100.00	593,638,916	100.00	16,307,886	2.82	-
신·재생에너지		46,623,321	8.08	52,718,258	8.88	6,094,937	13.07	100.00
재 생 에 너 지		43,868,299	7.60	49,251,304	8.30	5,383,005	12.27	88.32
신 에 너 지		2,755,022	0.48	3,466,954	0.58	711,932	25.84	11.68
재 생 에 너 지	태 양 광	7,056,219	15.1	9,208,099	17.5	2,151,880	30.5	35.3
	풍 력	2,169,014	4.7	2,464,879	4.7	295,865	13.6	4.9
	수 력	2,819,882	6.0	3,374,375	6.4	554,492	19.7	9.1
	해 양	489,466	1.0	485,353	0.9	△4,113	△0.8	△0.1
	바 이 오	7,466,664	16.0	9,363,229	17.8	1,896,565	25.4	31.1
	폐 기 물	23,867,053	51.2	24,355,370	46.2	488,317	2.0	8.0
신 에 너 지	연 료 전 지	1,469,289	3.2	1,764,948	3.3	295,659	20.1	4.9
	I G C C	1,285,733	2.8	1,702,006	3.2	416,272	32.4	6.8

주) 국내 총발전량은 사업자+상용자가+신재생자가용 합계임

한국에너지공단, 2018, ' 신재생에너지 보급통계 '

신재생발전량 추이



한국에너지공단, 2018, '신재생에너지 보급통계'

전세계 재생에너지 현황

- 2016년 기준 전세계 최종에너지 소비의 18.2%가 신재생에너지로 공급
 - 현대식 재생에너지 비중은 10.4%로 열에너지(바이오매스, 지열, 태양열) 7.8%, 수력 3.7%, 풍력, 태양광, 바이오매스 발전, 지열발전 1.7%, 바이오연료 0.9%
 - 재래식 재생에너지 비중은 7.8%
- 2016년 기준 최종에너지소비 대비 아이슬란드 89.6%, 뉴질랜드 38.8%, 노르웨이 38.5%, 스웨덴 34.7%, 칠레 31.3%, 오스트리아 30.1%, 핀란드 30.0%, 덴마크 25.1% 등
- 신재생에너지 주요 투자국
 - 중국이 1위이고, 미국, 일본, 인도, 독일이 뒤를 이음
 - 지열 용량은 뉴질랜드, 수력과 태양광, 풍력, 태양열은 중국, CSP, 바이오디젤, 에탄올 용량은 미국이 1위

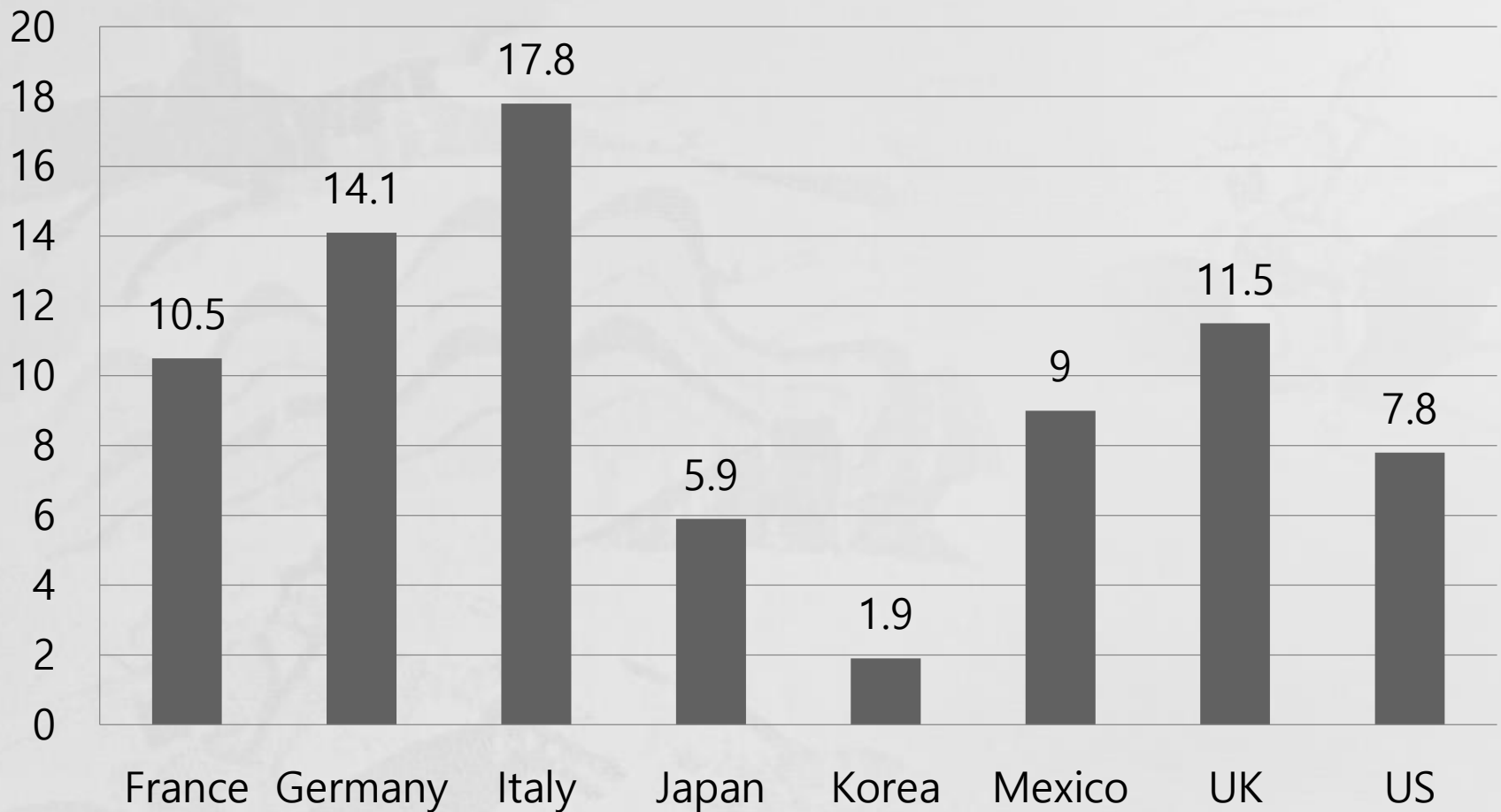
주요국 신재생에너지 생산량 비교 (2018)

신재생에너지 생산량 (GWh)



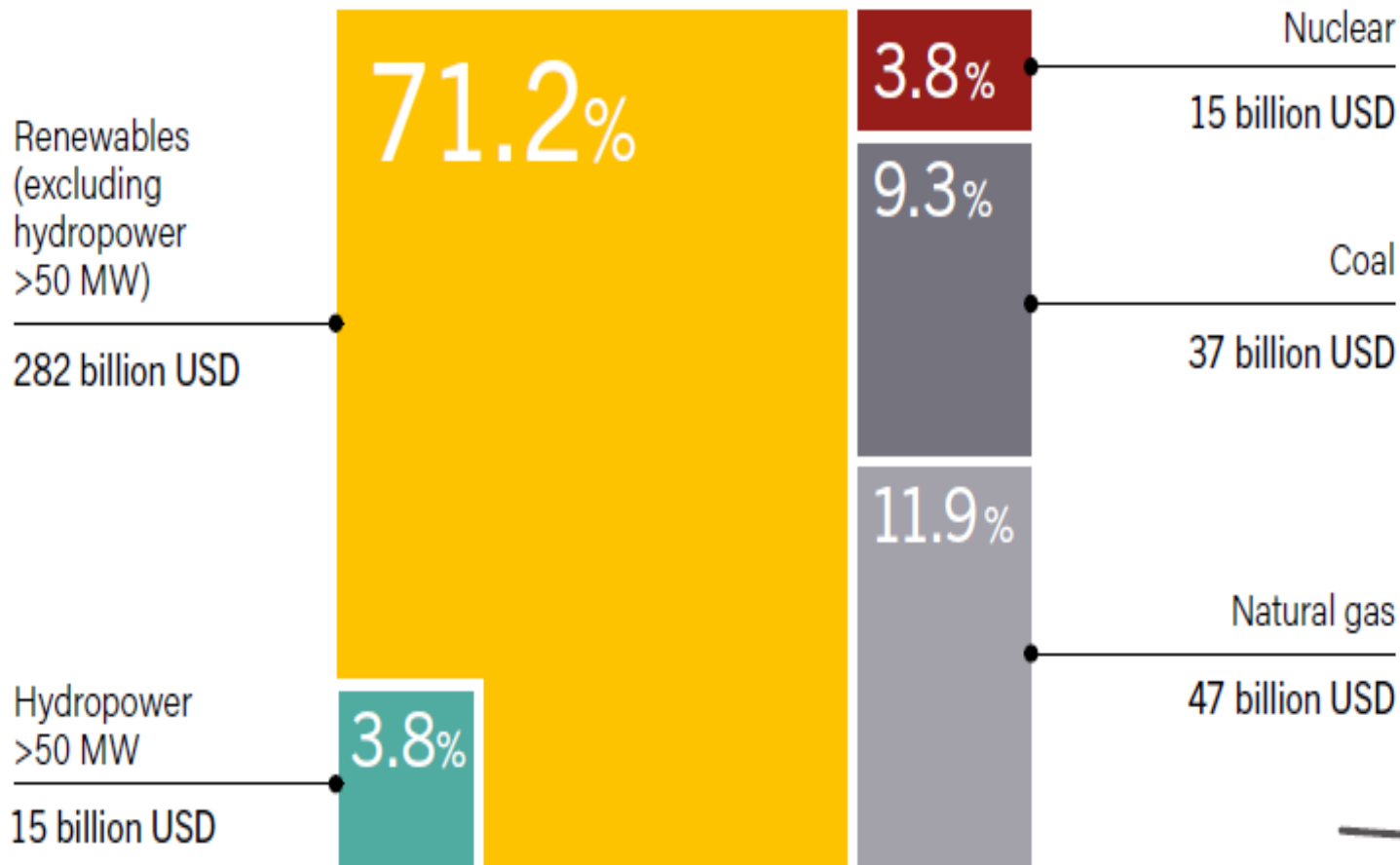
한국에너지공단, 2018, ' 재생에너지 보급통계 '

신재생에너지 비중 국제 비교



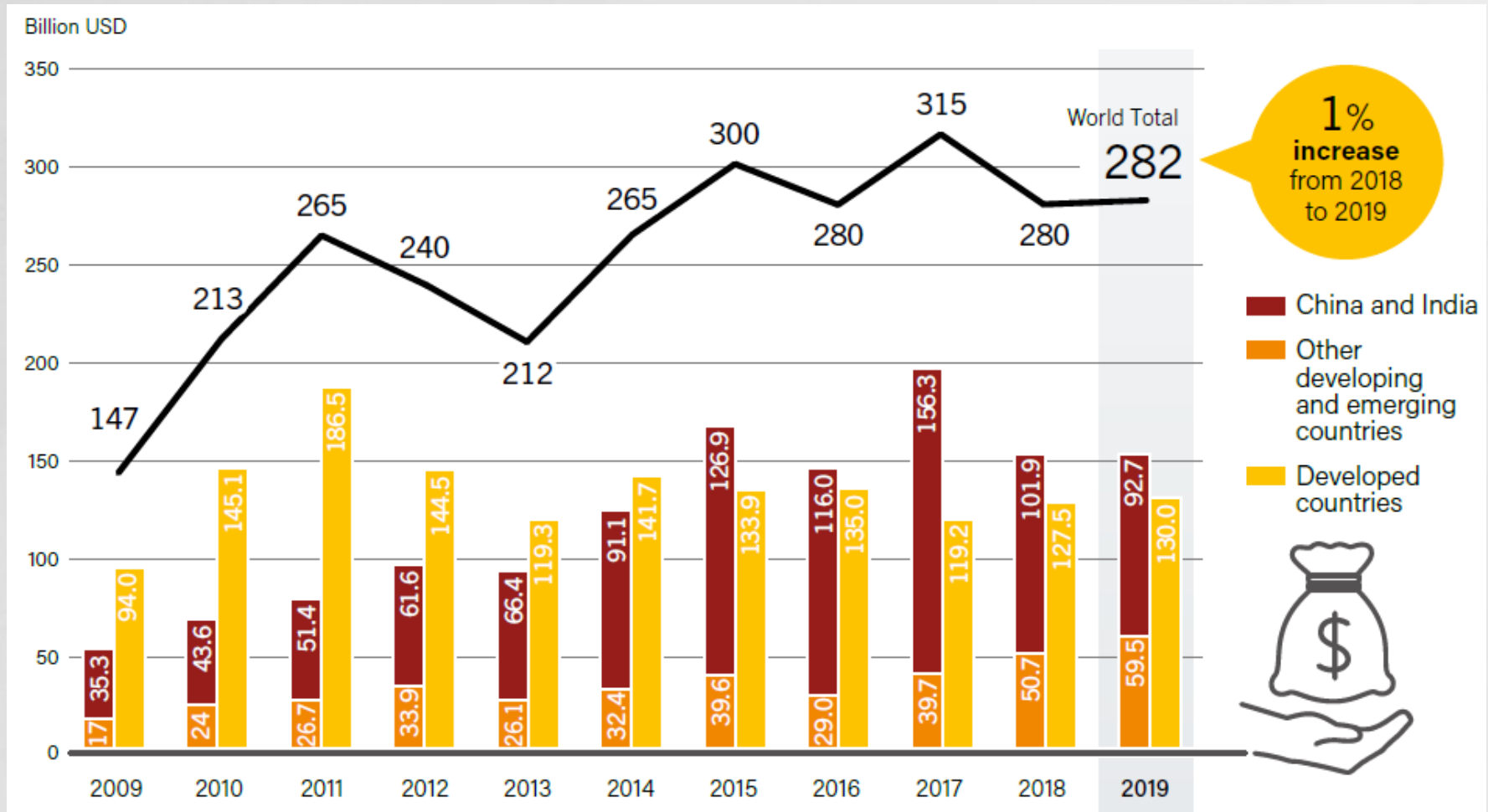
한국에너지공단, 2018, '신재생에너지 백서'

전 세계 재생에너지와 화석에너지 투자 비교



(REN21, 2020, 'Renewables 2020 global status report')

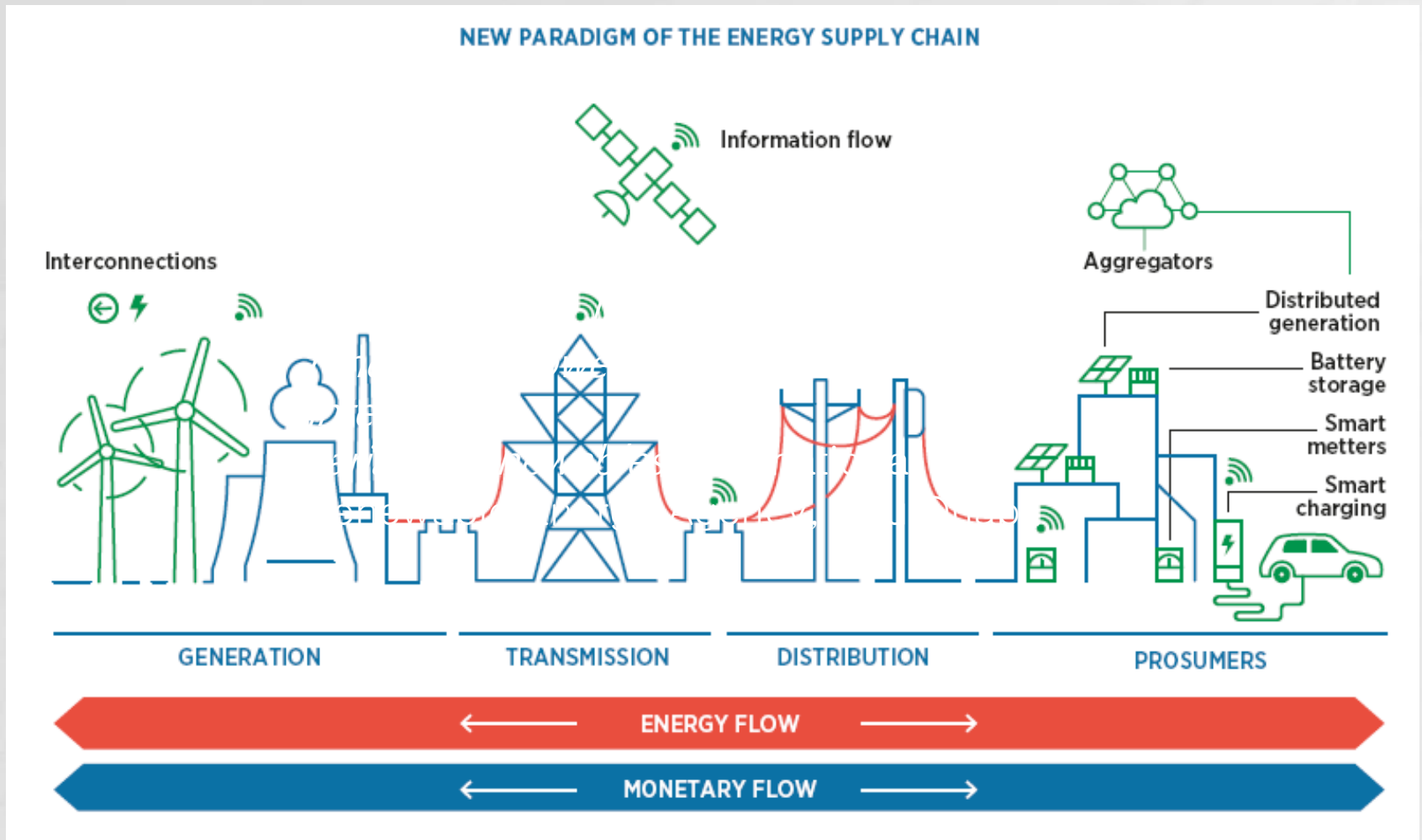
전세계 재생에너지 부문 투자 규모



(REN21, 2020, 'Renewables 2020 global status report')

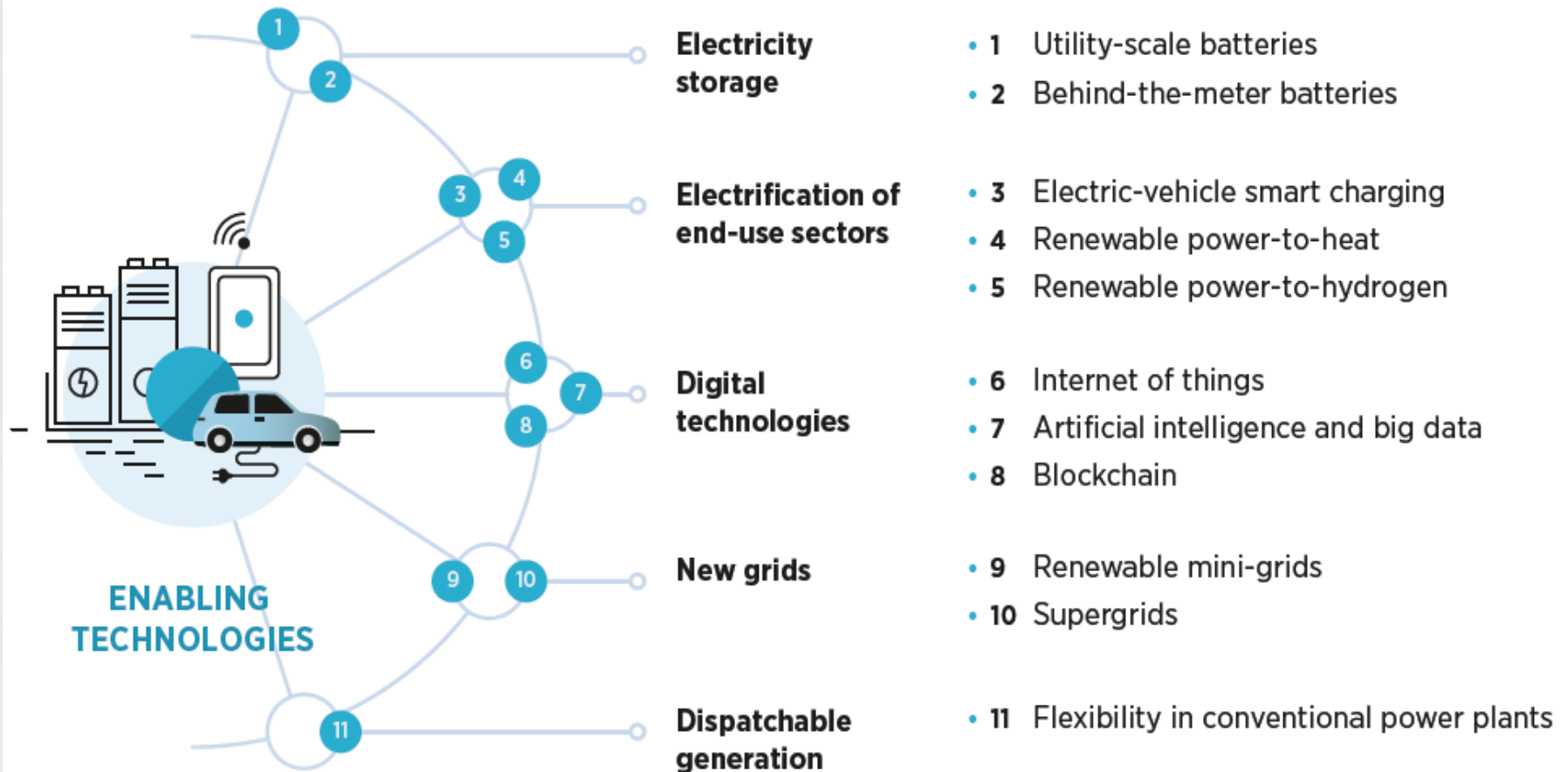
재생에너지와 4차 산업기술 혁신

미래 에너지 공급망

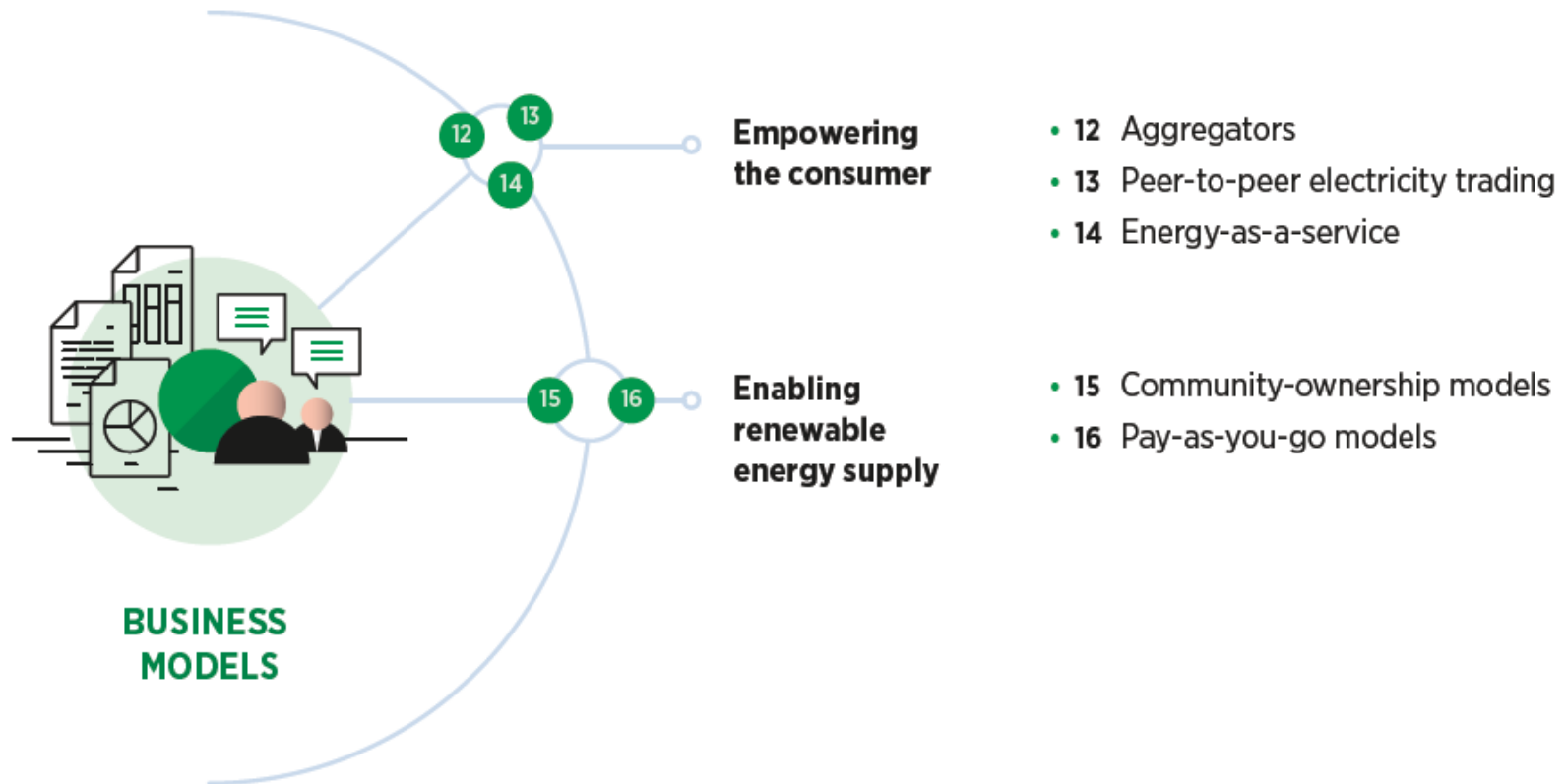


IRENA (2019), *Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

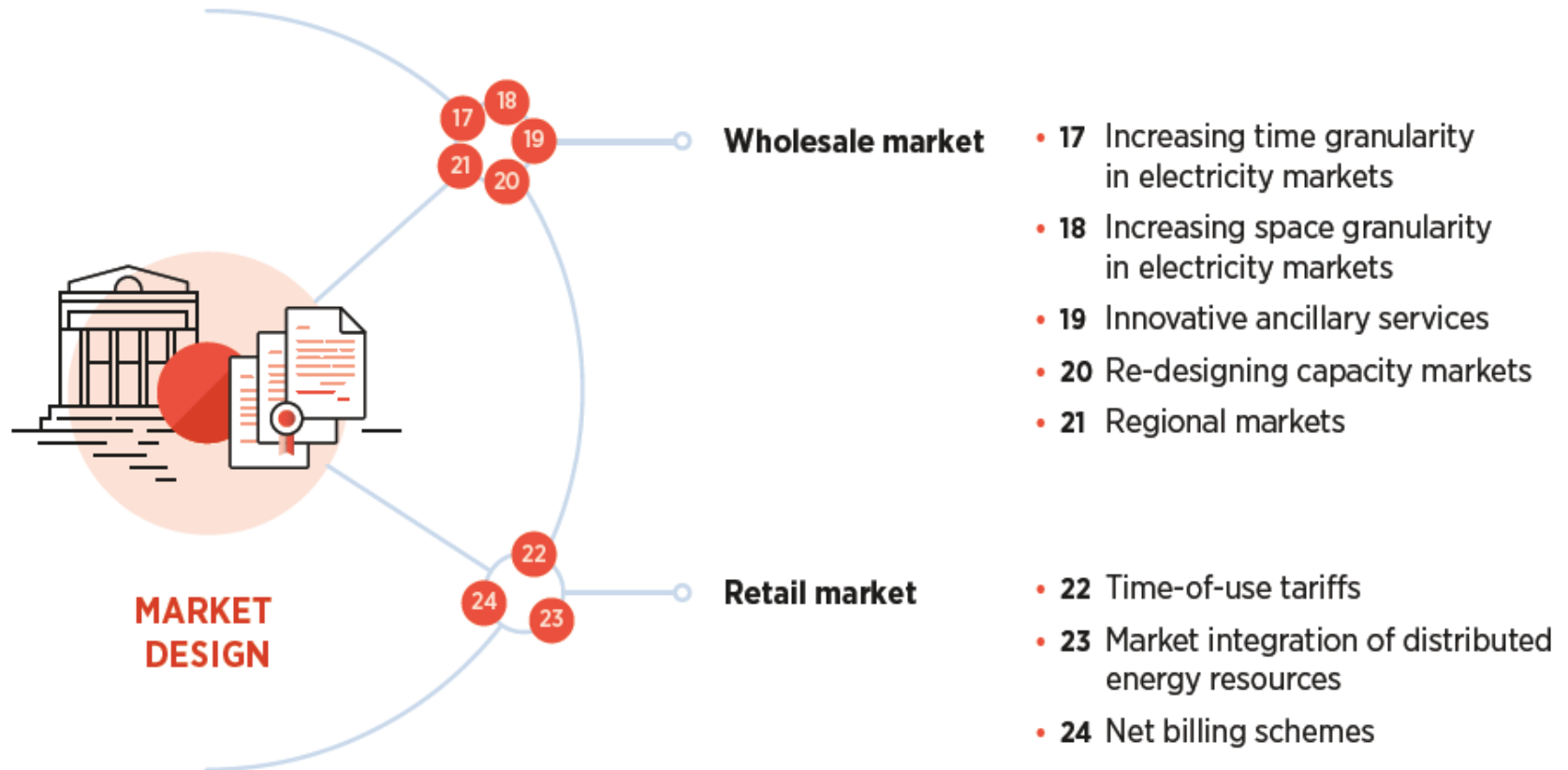
재생전력 확산을 위한 혁신 기술



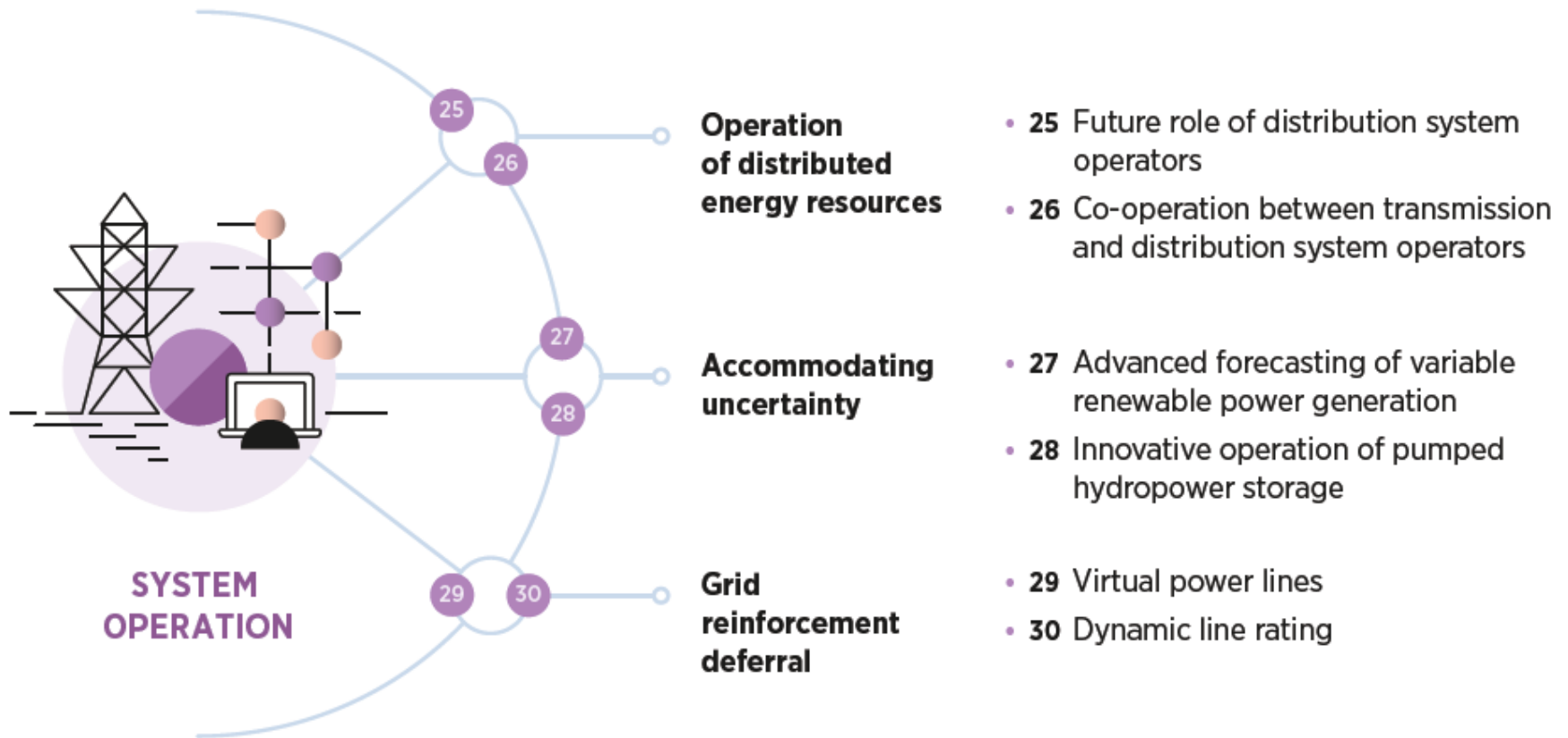
BM 혁신 솔루션



시장 설계 혁신 방안



시스템 운영 혁신 솔루션



재생에너지 확산을 위한 과제

REC 시장 이슈

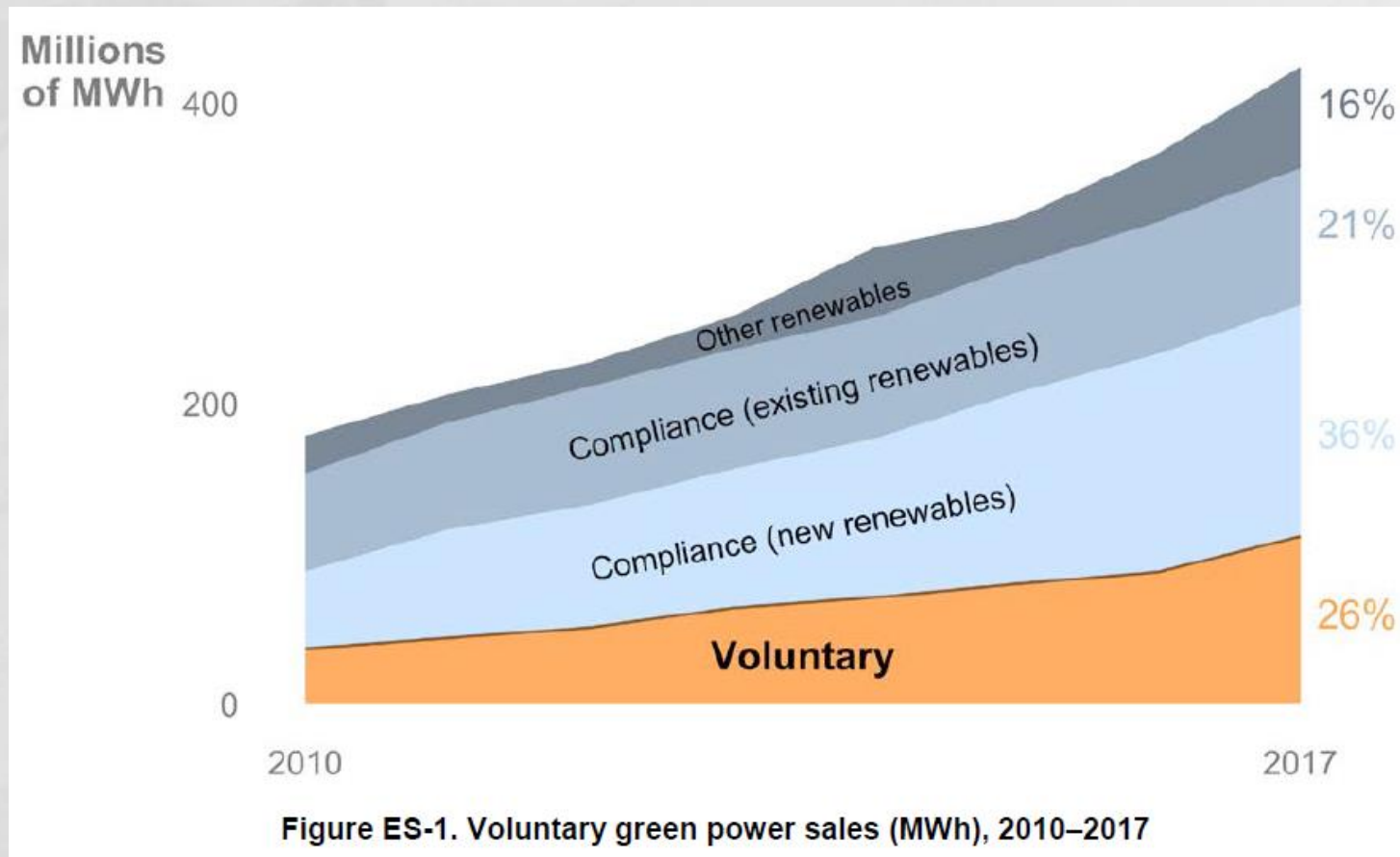
- 단기현물시장 평균가격은 '19년 1월 75,000원에서 '20년 3월 29,956원으로 60% 하락
 - 재생에너지 생산비 하락에 따른 요인이외 구조적, 제도적 요인이 존재
 - RPS 의무대상 발전사들의 수요과점적 지위, REC 공급 대비 낮은 수준의 RPS의 무비율, REC누적초과공급비축량의 지속적 증가 (2019년 146% 증가) 등이 요인
- 양방향 REC 현물거래시장의 스프레드(최고가와 최저가 차이) 변동성이 증가하고 있어 재생에너지 사업 투자 불확실성이 증가함
- REC 단기현물거래시장의 스프레드 변동성이 높은 상황이므로 신재생에너지 사업자의 기대수익 안정화를 위해서는 스프레드 허용폭을 제한할 필요 (허용폭을 초과할 경우 주식시장의 서킷 브레이크와 같은 안정화 장치 필요)
- 장기적으로 발전사 중심 REC 시장에 대해 민간 참여를 확대할 필요 (미국은 전체 REC 시장에서 RPS가 74%, 자발적 구매가 26%)

미국의 녹색전기 구매 방법

- Utility green pricing programs: 유틸리티는 가게 및 타 부문에 녹색전기를 판매하고 REC를 상계
- utility renewable contracts: 가정부문 이외 부문에서 유틸리티와 계약을 맺고 REC 구매 또는 유틸리티 green tariff 를 통해 인증서 획득
- Unbundled RECs: 대규모 녹색전기 생산자가 전력도매시장 및 REC 시장에 판매할 수 있음 (구매자도 주로 대규모 전기 소비자)
- Power purchase agreements: 비가계부문이 맺는 장기 계약
- competitive suppliers: 전력회사 이외에서 생산된 녹색전기를 소비자가 구매하도록 한 제도 (전력회사는 송배전 담당)
- Community choice aggregations: 정부에서 관리하며 가게 및 소상공인 중심
- Community solar programs: 유틸리티가 생산한 태양광을 가입자가 bill credit 형태로 구매하여 이익을 얻음 (REC가 거래되지는 않음)

미국의 자발적 녹색전력 판매량 추이

- 2017년 5.5백만명의 소매전기소비자가 112백만MWh의 녹색전기 구매 (미국 전체 소매전기판매의 3% 수준)



Source: O'Shaughnessy, E., et al., 2018, 'Status and trends in the U.S. Voluntary green power market', NREL/TP-6A20-72204

미국의 녹색전기 구매 방법

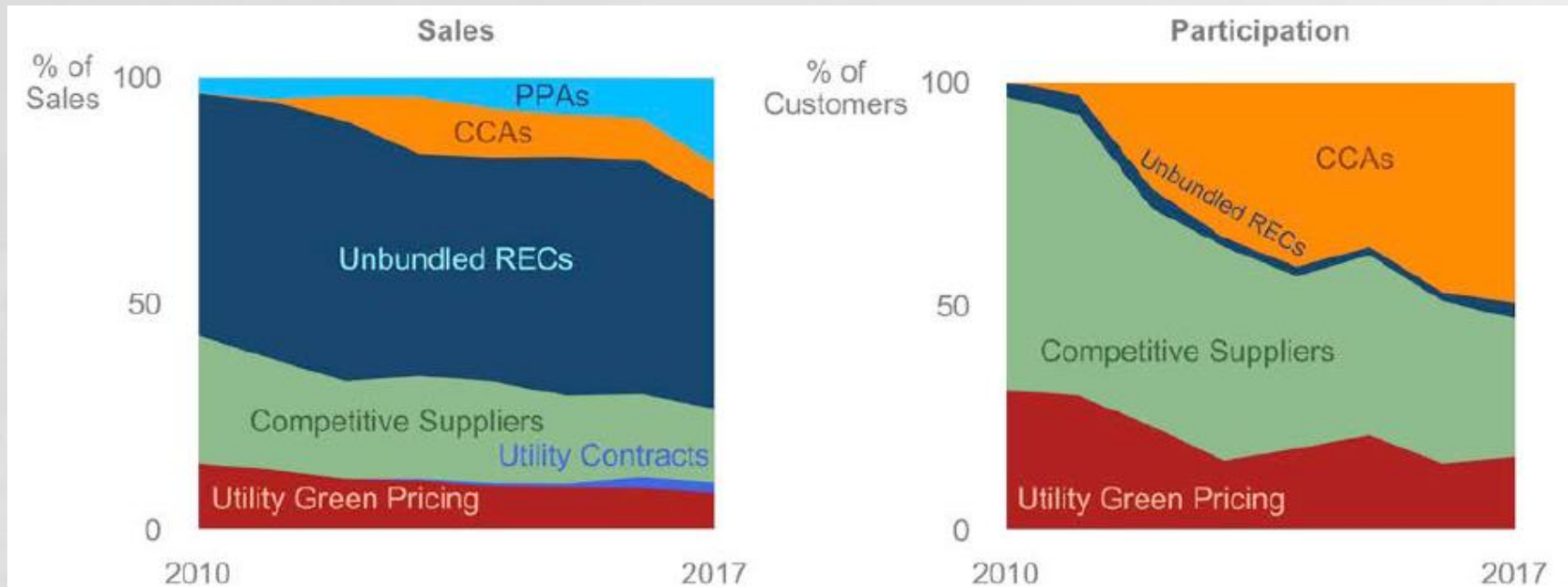


Figure ES-2. Voluntary green power market shares of different products in terms of sales (left) and customers (right), 2010–2017

PPA = power purchase agreement; CCA = community choice aggregation; REC = renewable energy certificates

Source: O'Shaughnessy, E., et al., 2018, 'Status and trends in the U.S. Voluntary green power market', NREL/TP-6A20-72204

에너지 전환의 시사점

- 재생에너지 보급 과정에서 발생하는 다양한 문제들을 해결하는 과정에서 '혁신' 과 '신시장 창출' 기대
- 특히 기술적인 측면에서 우리나라는 IT 강국이라는 점에서 재생에너지 확산에 유리한 조건
- 그러나 AI, IoT, 빅데이터, 드론, 3D 프린터 등 4차 산업기술이 중국, 미국, 일본 등에 비해 기술개발 수준이 떨어진다는 점에서 지속적인 투자 필요
- 특히, 시장 및 제도적 측면에서도 재생에너지 인증서 시장의 민간 개방, 실시간 전력요금제, 개인간 전력거래 허용 등 새로운 시도가 필요함
- 소규모 재생전력에 대한 중개거래시장 활성화를 위해서는 ESS와 태양광에 대한 단지내 설치 규제 완화 필요
- 에너지 산업을 2차 산업에서 서비스 중심의 3차 산업으로 전환할 필요

Thanks for paying attention to my presentation!

2050 장기 저탄소 발전전략 수립을 위한 전문가 토론회
- 저탄소 전환 실현을 위한 재생에너지 확대방안 (2020.7.21) -

2050 재생에너지 중심의 전력공급체계 구축 방향

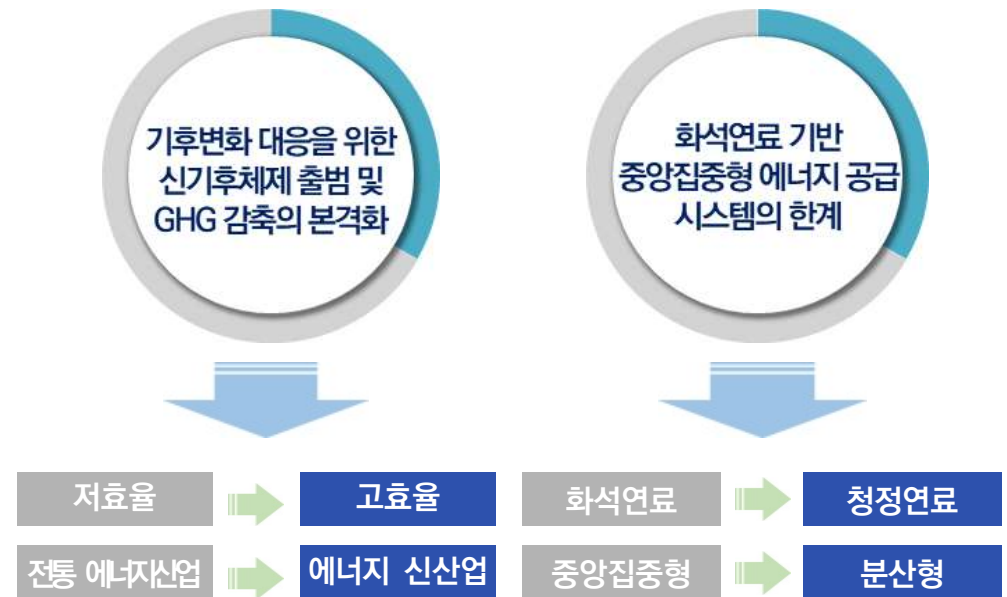
임 재 규



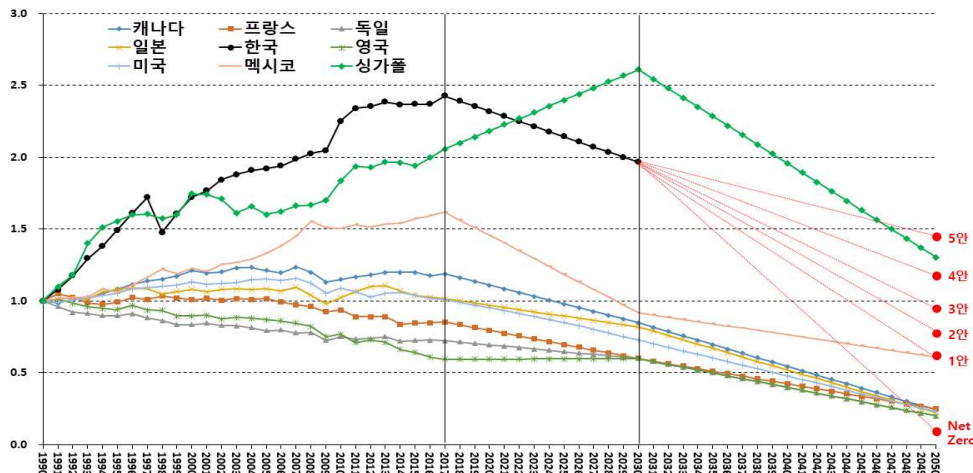
2050 장기 저탄소 발전 전략: 고효율·저탄소 에너지시스템 구축

□ 국내·외 에너지 환경변화는 기존 에너지시스템 전반의 혁신 요구

- 전원 구성의 변화와 더불어 에너지 소비, 공급, 전달체계, 산업 등 에너지시스템 전반에 걸친 변화 필요
- 고효율·저탄소 에너지시스템 구축을 통한 지속가능한 경제시스템 구현이 “에너지전환”의 핵심
- 기존의 체제에서 자생적 형성은 불가능하며, 에너지·산업·통상·국토·환경 등 관련 학제간 융합적 정책 추진 필수



〈 주요국 2050 LEDS의 '50년 온실가스 감축목표 비교 〉



자료: 주요국이 제출한 2050 LEDS 및 우리나라 민간포럼 검토안 내용을 기초로 재구성

□ 2050 LEDS: 제3차 에기본 등 기존 관련 국가정책과 더불어 우리나라의 장기 에너지시스템 구축 비전과 방향 제시

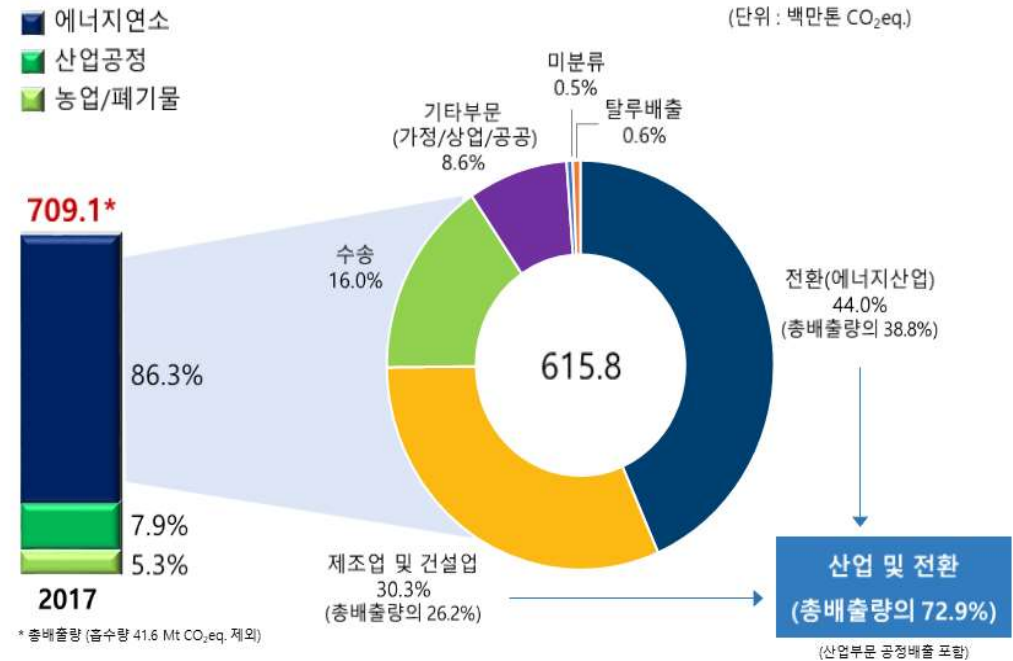
- 장기 비전 달성 전략에 대한 체계적 논의에 기초한 정량적 목표(지향점)를 도출하는 신중한 접근 필요
- 구조적 취약성, 달성 가능성, 국제적 노력 동참 등을 종합적으로 고려한 현실적 목표 수준은? 감소세 전환 시점은?
- 온실가스 감축을 통해 발생하는 파급효과에 대한 대국민 소통 및 합의 필수

온실가스 배출 추세 및 구조

경제성장 과정에서 에너지 소비와 온실가스 배출은 지속적인 증가 추세

- CO₂ 배출량 세계 7위, 일인당 배출량 18위, GDP당 배출량 60위권
- 2000년대부터 에너지원단위와 배출원단위는 지속적 개선 중이지만, 온실가스 배출량은 증가세 유지
- 제조업 특히 에너지다소비업종(예: 철강, 석유화학, 시멘트, 반도체, 디스플레이 등) 중심의 산업구조 등 우리나라 특유의 경제·사회적 구조
- 지속적인 전력수요 증가 및 석탄 등 화석연료 중심의 중앙집중식 전원믹스

〈 국가 온실가스 배출구조(2017년) 〉



온실가스 감축

⇒

에너지 효율 향상

+

에너지 공급 저탄소화

발전용 에너지 믹스 개선
(재생에너지 발전 비중)

민간포럼 검토안: 발전용 에너지 믹스 개선

제3차 에너지 기본계획

- 국내 재생에너지 산업경쟁력을 위한 내수시장 확보, 재생에너지 3020의 이행계획 보급 속도를 고려하여 '40년 재생에너지 발전비중을 30% 이상 수준의 도전적 보급 목표 설정
- 재생에너지 비중 확대에 따른 계통운영과 비용 등을 고려하여 한계점은 35%로 설정



민간포럼 검토안

- 재생에너지 발전비중을 [약]39.7%, [중]50.9%, [강]60.6% 세 가지로 설정하고, 이에 근거하여 전원믹스 구성
- Bloomberg, Carbon Budget(영국), IRENA 등 국제기구 및 단체들의 전망을 근거로 제시

발전비중(%)	약	중	강
합 계	100.0	100.0	100.0
재생에너지	39.7	50.9	60.6
원자력	12.9	13.7	14.7
가스	31.3	23.2	15.4
석탄	12.2	7.8	4.3
수소(수입)	3.9	4.4	5.0
총발전량(TWh)	662.8	622.8	580.1

* 원자력 발전량은 고정, 시나리오별 전력수요에 따라 비중 변화

* 가스:석탄 비중을 [약] 2.5:1, [중] 3:1, [강] 4:1로 산정

□ 민간포럼 검토안의 3가지 시나리오에 추가하여 재생에너지 발전비중을 80%까지 확대하는 시나리오 추가 검토

* 발전비중: 재생에너지 80.3%, 원자력 14.7%, 수소(수입) 5.0% [총발전량: 580.1TWh]

글로벌 재생에너지 보급 전망

□ 전문기관들은 '50년 세계 재생에너지 발전비중을 47%(EIA)~ 62%(BNEF)로 전망 (수력 제외시 35~49%,
 韓 수력비중은 '18년 0.6%)

* '18~'50년간 주요국 연평균 보급속도는 0.9%p(美)~1.4%p(獨) 수준

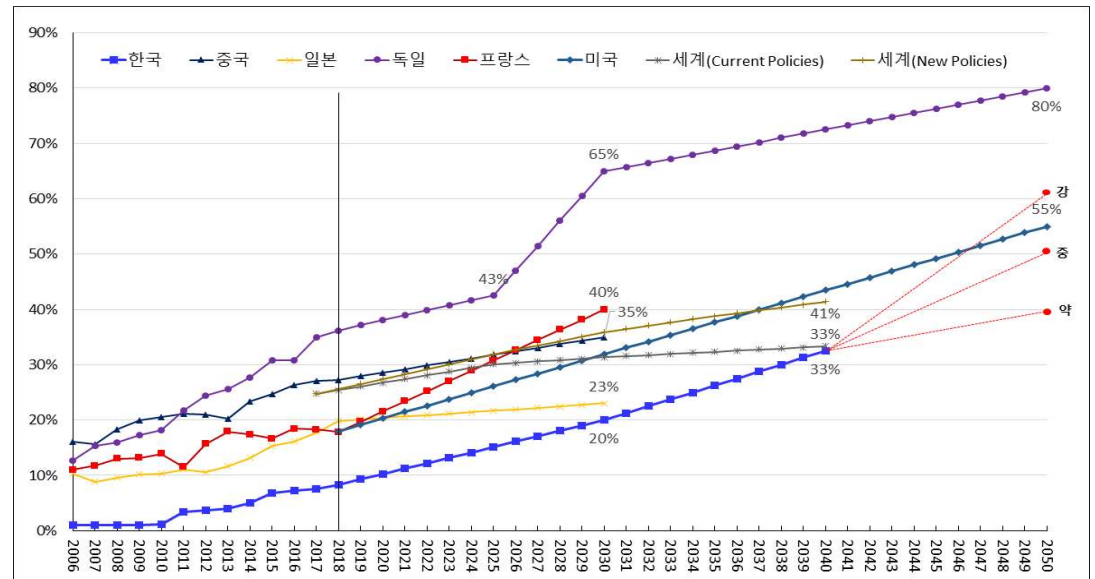
* 일본 보급속도는 연평균 0.3%p, 중국은 0.7%p ('18~'30년간)

〈 주요국의 재생에너지 발전비중 현황 및 목표 비교 〉

국가	2018	2020	2025	2030	2040	2050
한국	8%			20%	30~35%	
중국	27%			35%		
대만	4.5%	9%	20%			
일본	20%			22~24%		
독일	36%		40~45%	65%		80%
프랑스	18%			40%		
영국	28%					
미국	18%					55%
호주		23%				
뉴질랜드			90%			
세계평균	25%					
세계(CP)				31%	33%	
세계(NP)				36%	41%	

* 자료: REN21(2019), Renewables 2019 Global Status Report, IEA(2018), IEA World Energy Outlook, BNEF(2019), 주요국 2050 LEDS 등

〈 주요국의 재생에너지 발전비중 현황 및 목표 비교 〉



자료: REN21(2019), Renewables 2019 Global Status Report; IEA(2018), World Energy Outlook 등

□ 60% 시나리오는 기존계획 대비 약 2~3배 빠른 보급 속도 필요

〈 재생에너지 보급 시나리오별 연간 비중 증가 속도 〉

	'17~'30	'31~'40	'41~'50
약(40%)	1%p/년	1%p/년	0.5%p/년~1.0%p/년
중(50%)		~	1.5%p/년~2.0%p/년
강(60%)		1.5%p/년	2.5%p/년~3.0%p/년

발전용 에너지 믹스 시나리오별 설비용량 추산

- '50년 재생에너지 발전량은 태양광, 풍력을 중심으로 증가하는 것을 가정하여 누적설비용량 분석
- '50년 재생에너지 소요 설비용량은 시나리오에 따라 태양광 약 112~193GW, 풍력은 약 31GW(해상 22GW, 육상 17GW) 규모로 전망

* 재생에너지의 물리적 보급 전망이며, 주민수용성, 계통수용성 등은 미반영

〈 2050 시나리오별 재생에너지원별 설비소요량 산정 〉 (단위: GWh, GW)

구 분	태양광	육상 풍력	해상 풍력	수력	바이오	해양	총 재생e	총 발전량
40%	발전량	160,200	18,193	57,819	4,818	21,585	496	263,111
	비 중	24.2%	2.7%	8.7%	0.7%	3.3%	0.1%	39.7%
	용 량	135.5	9.2	22.0	2.5	5.3	0.3	174.8
50%	발전량	214,089	18,193	57,819	4,818	21,585	496	317,000
	비 중	34.4%	2.9%	9.3%	0.8%	3.5%	0.1%	50.9%
	용 량	172.9	9.2	22.0	2.5	5.3	0.3	212.1
60%	발전량	248,153	18,664	57,819	4,818	21,585	496	351,535
	비 중	42.8%	3.2%	10.0%	0.8%	3.7%	0.1%	60.6%
	용 량	201.5	9.4	22.0	2.5	5.3	0.3	240.9

* 신규 재생에너지 발전 설비는 태양광과 풍력 중심으로 증가 가정

* 풍력잠재량 초과분은 태양광으로 충당한다고 가정

〈 시나리오별 발전원별 설비용량 추산 결과 〉 (단위: GW)

구 분	40%	50%	60%
재생에너지	174.8	212.1	240.9
원자력	12.2	12.2	12.2
가스	96.3	67.0	41.5
석탄	14.2	8.6	4.4
수소(수입)	3.7	3.9	4.1
합 계	301.2	303.8	303.0

* 시나리오별 재생에너지 원별 설비용량 반영

* 설비용량은 원전이용률 80.0%, 가스이용률 24.6%(8차계획), 석탄이용률 64.8%(8차계획)을 적용하여 산정

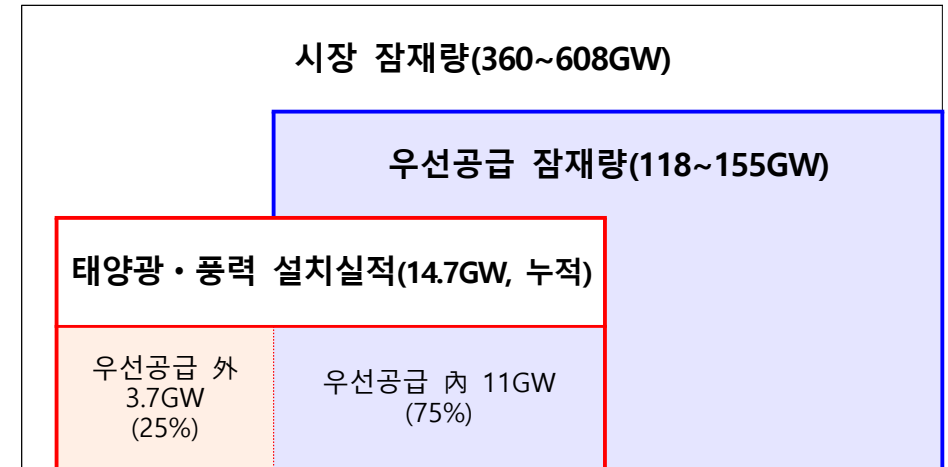
* 수소는 가정용:사업용=2:8, 가정,건물용(자가용) 이용률 71.35%(에너지공급단보급통계), 사업용 82.69% (8차계획) 적용

- 재생에너지 발전비중 80%로 확대 시, 재생에너지 설비용량은 335.2GW까지 확대

재생에너지 입지잠재량 검토

- 휴경지, 폐도로·철로, 저수지 등 수용성 문제없이 보급이 용이한 '우선공급 잠재량'은 118~155GW로 추정 (2017 에기연 전망치 조정)
 - * 기존 우선공급잠재량 152GW에서 34.5GW(산지 11.5, 농업진흥구역 23) 제외 → 118GW
 - * 잠재량 최소치(118GW)는 태양광 효율 14%, 최대치(155GW)는 25% 가정
- 그간의 실적 감안 시, 우선공급 잠재량 소진 후에도 '시장잠재량' 중 39~52GW 추가가능 → 實 활용가능 잠재량은 157~207GW
 - * 규제(문화재보호, 천연기념물, 백두대간 등)없고 경제성 있으나, 수용성은 불확실
 - * 우선공급 외 실적이 우선공급 內의 1/3 → 우선공급잠재량의 1/3은 시장잠재량에서 추가 가능

〈 입지잠재량 유형 및 보급실적 비교 〉



〈시나리오별 설비용량 및 입지잠재량 비교〉

구분	재생에너지 발전비중			
	40%	50%	60%	80%
재생에너지 설비용량(GW)	175	212	241	335
입지잠재량(GW) (우선공급 + 일부 시장)	157~207 (우선공급 118~155GW)			

- 분석결과, 재생에너지 비중 50% 이상에서는 우선공급(+일부 시장) 잠재량 이상의 입지가 필요
→ 향후 수용성 문제가 크게 대두될 가능성 높음

재생에너지 변동성 분석

- 2040년 재생에너지 도입에 따른 변동성 영향은 재생에너지의 하방 변동성에 따른 백업(Backup) 필요량, 상방변동성에 따른 출력제한량(Curtailment) 중심으로 분석
 - * 재생에너지 출력 과소 경우 백업(GT) 용량, 출력 과다 경우 출력제한 또는 이를 최소화하는 ESS 용량 산정
- 재생에너지 확대에 따라 버려지는 재생에너지도 증가 → 잉여 발전량 전환 · 활용기술(P2G, 축열 등) 없이는 비효율 증대
 - * 변동성 분석결과, ESS설치 후에도 방전시간 부족 등으로 출력제한 발생 불가피

〈 2050년 기준 시나리오별 잉여 재생에너지 전망 〉

구 분	재생에너지 발전비중			
	40%	50%	60%	80%
출력제한량(GWh) (ESS 설치 後)	7,695	17,044	20,118	27,340
ESS 설치 前	15,170	50,066	84,316	158,176
출력제한 비중(%) (ESS 설치 後)	3.5	6.4	6.8	7.0
ESS 설치 前	6.9	18.8	28.5	40.5
ESS 필요량(GWh)	54	138	225	399
출력제한 보상비용(조원)	1.1	2.5	2.9	3.8

* 출력제한은 1시간 변동성 기준, 출력제한 보상은 CO₂ 톤당 배출권가격 150달러(IEA) 적용

- 국토 전반에 재생에너지 설비 설치가 확대됨에 따라 대규모 계통보강(배전 · 송전선로, 변전소 등) 필요

재생에너지 보급 확대를 위한 투자비

- 시나리오별 재생에너지(태양광, 풍력) 설비용량 확충을 위한 투자비는 146.0~183.9조원 수준

* 누적 투자비용 = 연도별 증분설비용량 × 연도별 CAPEX

구 분	설비용량	재생에너지 설비투자비 ('50년 누적)
40%	175GW	146.0조원
50%	212GW	158.3조원
60%	241GW	166.9조원
80%	335GW	183.9조원

- 변동성이 큰 재생에너지에 대응, 출력 안정화 위한 백업설비(ESS, 가스터빈) 및 계통보강(송배전로, 변전소, 관성유지 등)에 102~326조원 추가 투자 필요

* 가스터빈은 신속한 과소출력 대응(5분 이내), ESS는 과다출력 대응용

* 전력설비 고장에도 광역정전이 없도록 관성에너지 자원 확보 필요 (IEA: 재생에너지 비중에 따라 계통영향의 단계를 구분하고 40% 이상에서 계통관성 유지를 최우선 과제로 평가)

〈 시나리오별 설비투자비('50년 누적) 산정 결과, 단위: 조원 〉

구분	백업설비			계통보강				합계
	ESS	GT	소계	계통 접속	전력 융통	관성 유지	소계	
40%	22.5	0	22.5	49.9	13.6	16.3	79.8	102.3
50%	57.6	0.6	58.2	65.0	15.1	16.3	96.4	154.6
60%	94.0	2.7	96.7	76.7	16.2	16.3	109.2	205.8
80%	166.6	7.0	173.6	118.1	17.8	16.3	152.2	325.8

* ESS 투자비는 BNEF의 ESS 가격전망(~'30년), GT는 KW당 60만원 기준으로 산정

- 재생에너지 발전비중 50% 이상에서는 재생에너지 자체 투자비보다는 부수적인 백업설비, 계통보강 등에 더 큰 공적 투자가 필요한 역전현상 발생

구분	재생e 발전비중			
	40%	50%	60%	80%
재생e (태양광, 풍력) 설비투자비(A), 조원	146	158.3	166.9	183.9
백업설비+계통보강 투자비(B), 조원	102.3	154.6	205.8	325.8
A/B	1.4	1.0	0.8	0.6

재생에너지 보급 확대에 따른 비용/편익

□ 시나리오별 ‘온실가스·미세먼지 감축편익’과 ‘재생에너지 확대에 필요한 공적설비 투자비’ 비교

* CO₂ 1톤 감축 시, 부가적으로 미세먼지 0.414kg 감축효과 발생 (‘19.4 산업연)

* CO₂ 톤당 배출권가격 150달러(IEA), 미세먼지 kg당 대기오염물질세 227천원 가정

〈 2050년 기준 온실가스·미세먼지 감축편익과 재생에너지 설비투자 비용비교 〉

구 분	내 용	재생에너지 발전비중			
		40%	50%	60%	80%
편 익	온실가스 감축편익(조원)	4.7	11.3	16.5	20.8
	온실가스 감축량(백만톤)	27.0	65.3	95.3	120.1
	미세먼지 감축편익(조원)	2.5	6.2	9.0	11.3
	미세먼지 감축량(천톤)	11.2	27.0	39.4	49.7
	합 계(B)	7.2	17.5	25.5	32.2
비 용	백업설비 투자비(조원)	1.5	8.6	16.3	31.7
	계통보강 투자비(조원)	5.3	8.7	11.2	19.8
	합 계(C)	6.8	17.3	27.5	51.5
B/C		1.1	1.0	0.9	0.6

□ 재생에너지 발전비중 50% 이상에서는 비용이 편익을 초과하는 역전현상 발생

결론 및 향후과제

□ 기후변화 대응을 위한 국제사회의 노력 적극적 동참은 의무! 단, 자국의 여건과 능력에 기초!

□ 주요국 2050 LEDS의 내용 및 특징

- 국가별 경제·사회적 여건과 전망에 대한 깊이 있는 체계적 검토 및 분석을 기초로 LEDS 작성 및 제출
- 2030년 온실가스 감축목표 연장선상에서의 2050년 비전 및 목표 설정, 장기목표는 실현가능한 수준 강조
- 기후변화 대응과 경제성장의 보완관계를 강조하고, 국가별 기존 전력생산 구조 및 여건을 충실히 반영

〈 주요국 LEDS에서 제시한 비전, 추진전략 및 온실가스 감축목표 〉

	장기비전	추진전략	2050년 감축목표 (기준년도)
독일	2050 GHG Neutrality	· 기술 중립 및 혁신 친화적 접근과 개방경쟁에 기반한 국가경제 현대화 · 재생에너지 및 에너지 효율향상 투자 확대	80~95% (1990년) ¹⁾
미국	2050 Deep Decarbonization	· 저탄소 에너지시스템으로의 전환 · 산림, 토양, CO ₂ 제거기술 등을 통한 온실가스 격리 · Non-CO ₂ 배출 감축	80% (2005년) ²⁾
일본	Decarbonized Society (Ideal Future Model)	· 환경과 성장의 선순환 체제 달성 · 신속한 정책 및 조치 시행 · 기술, 인적자원, 투자를 통한 글로벌 탈탄소화 기여 · 미래 희망에 기반한 밝은사회 구현	80% (2013년)
캐나다	배출량 감소, 환경 보호, 일자리 창출 및 경제 성장을 촉진하는 깨끗하고 혁신적인 경제 구축	· 청정에너지 및 기술을 통한 혁신과 일자리 창출 · RD&D 및 민간 투자 확대로 저탄소경제 구축 · 단기대책의 실행을 통한 장기비전의 달성 · 경제적 효율성, 사회적 수용성, 효과성 등을 반영한 정책 결정	80% (2005년)
프랑스	지속가능한 저탄소 경제로의 전환	· 경제 관련 정책결정에서 온실가스 감축을 주요 고려사항으로 반영 · 에너지전환을 지원하기 위한 투자 및 자원 확대 · 경제성장 억제 및 탄소누출을 야기하지 않게 온실가스 감축노력을 단계적으로 강화	75% (1990년)
멕시코	자연자원의 효율적 관리와 청정에너지 사용을 통한 지속가능발전 및 저탄소 경제성장	· 국가 기후변화전략 10-20-40 · 청정에너지 전환, 에너지 효율향상, 지속가능한 에너지 소비, 도시, 농업 및 산림 등을 통한 감축	50% (2000년)

□ 우리나라의 2050 LEDS

- 경제, 산업, 에너지, 국토, 환경 등 국가 전 분야의 긍정적 시스템 혁신을 주도할 수 있는 비전 및 전략 제시
- 장기 비전 달성 전략에 대한 체계적 논의에 기초한 정량적 목표(지향점)를 도출하는 신중한 접근 필요
- 온실가스 감축을 통해 발생하는 파급효과(비용, 편익, 구조변화 등)에 대한 대국민 소통 및 합의