

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

2050 재생에너지 중심의 전력공급체계 구축 방향

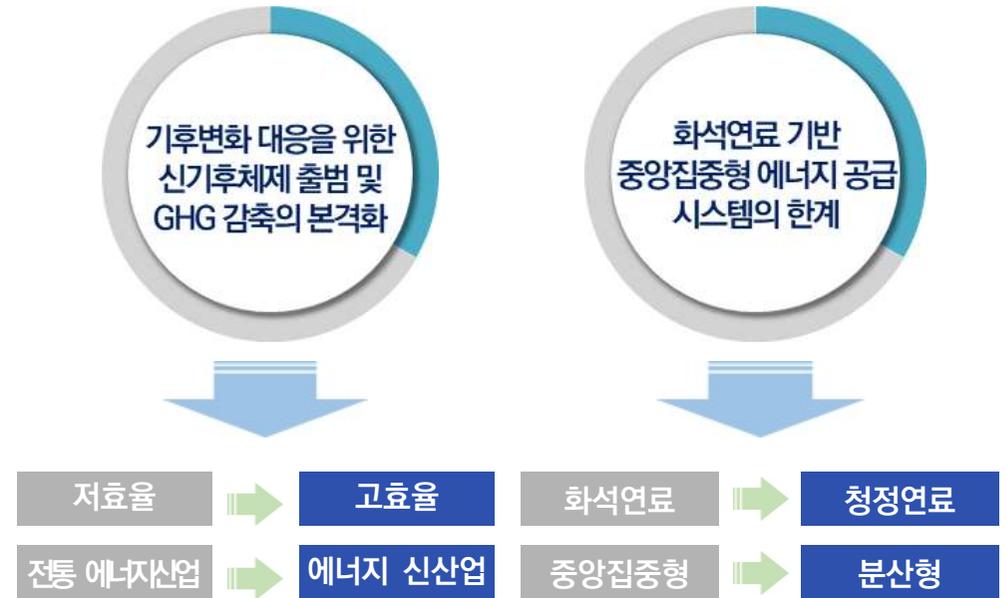
임 재 규



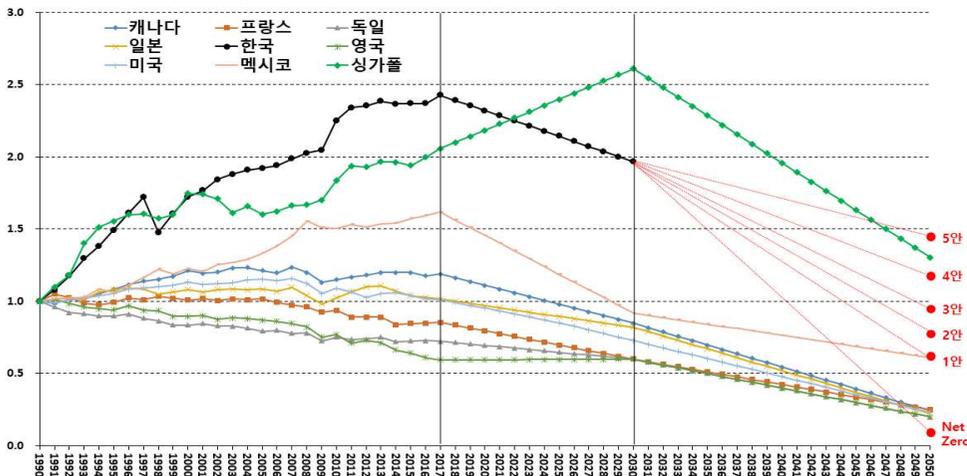
2050 장기 저탄소 발전 전략: 고효율·저탄소 에너지시스템 구축

□ 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

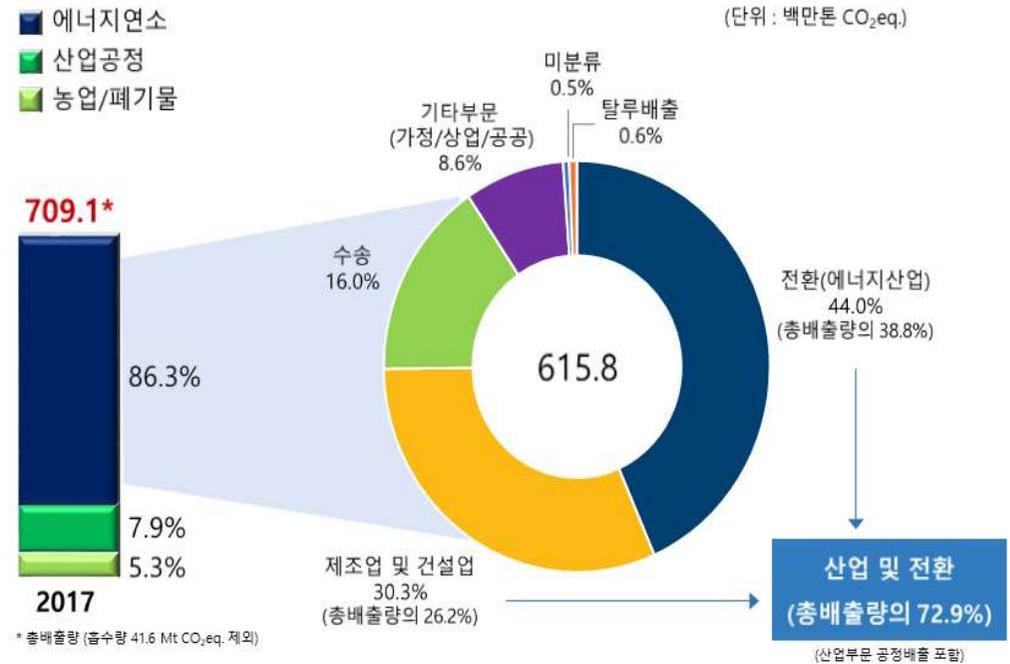
- 장기 비전 달성 전략에 대한 체계적 논의에 기초한 정량적 목표(지향점)를 도출하는 신중한 접근 필요
- 구조적 취약성, 달성 가능성, 국제적 노력 동참 등을 종합적으로 고려한 현실적 목표 수준은? 감소세 전환 시점은?
- 온실가스 감축을 통해 발생하는 파급효과에 대한 대국민 소통 및 합의 필수

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

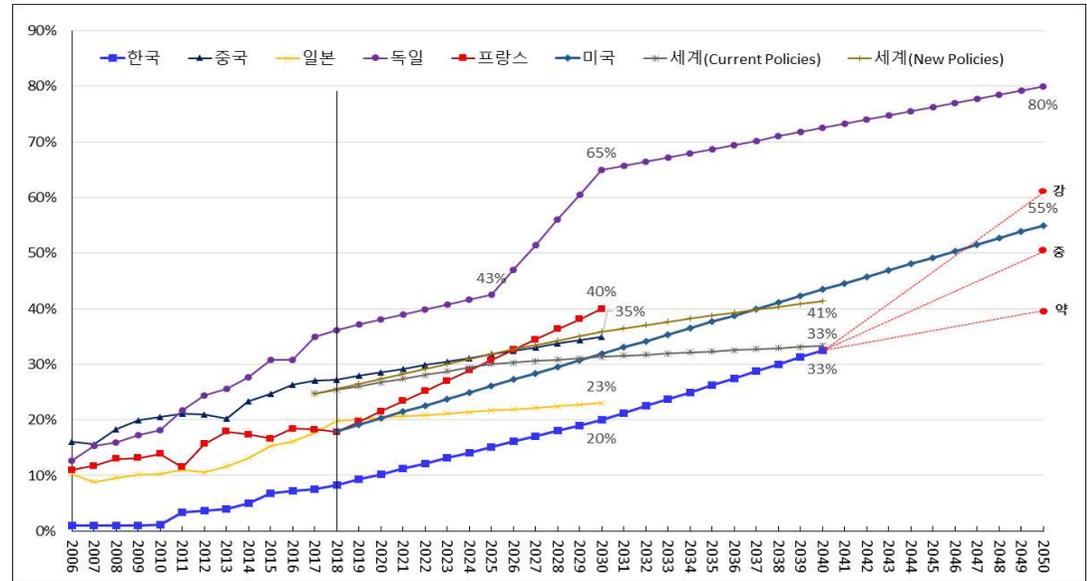
* 일본 보급속도는 연평균 0.3%p, 중국은 0.7%p ('18~'30년간)

〈 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	0.5%p/년~1.0%p/년
중(50%)	1%p/년	~	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	662,800
	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	622,800
	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	580,100
	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

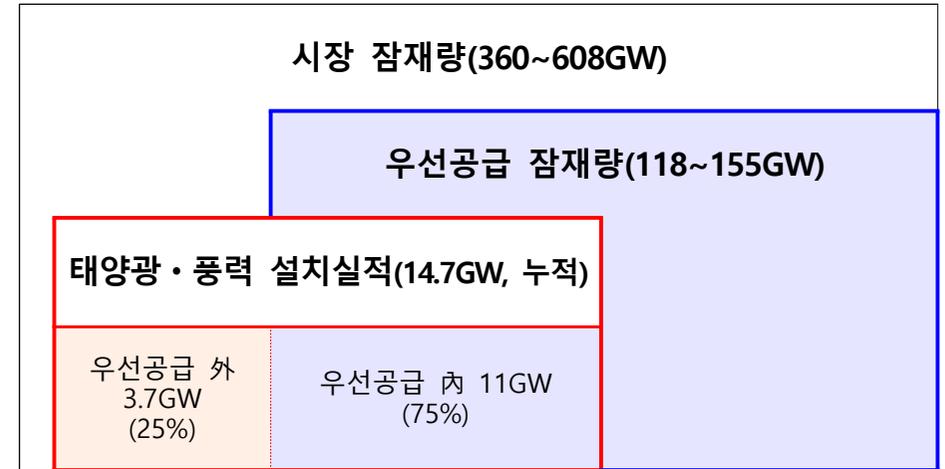
* 시나리오별 재생에너지 원별 설비용량 반영
* 설비용량은 원전이용률 80.0%, 가스이용률 24.6%(8차계획), 석탄이용률 64.8% (8차계획)을 적용하여 산정
* 수소는 가정용:사업용=2:8, 가정,건물용(자가용) 이용률 71.35%(에너지공단보급통계), 사업용 82.69% (8차계획) 적용

- 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 예기연 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 내의 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

- 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)

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

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

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

구분	백업설비			계통보강				합계
	ESS	GT	소계	계통 접속	전력 응통	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

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, 태양, 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