

대한민국 2050 탄소중립 달성을 위한 부문별 전략 및 정책개발 연구

2020. 11. 10



대한민국
2050 탄소중립 달성을 위한
부문별 전략 및 정책개발 연구

2020. 11. 10

1 서론

1.1 연구의 배경	08
1.2 연구의 목표	09
1.3 연구방법	10
1.4 LEDS 동향	12

2 전력부문

2.1 우리나라 전력부문 온실가스 배출 현황과 주요 특징	24
2.2 국내외 온실가스 감축 시나리오 및 감축방안	28
2.3 시사점 및 정책과제	44

3 산업부문

3.1 산업부문 온실가스 배출 현황과 주요 특징	50
3.2 국내외 장기저탄소발전전략 시나리오 및 감축방안	56
3.3 시사점 및 제언	66

4 건물부문

4.1 건물부문 에너지사용량과 온실가스 배출량 현황	80
4.2 국내외 건물부문 장기 저탄소 발전전략 시나리오 및 감축방안 검토	88
4.3 건물부문 정책 제언	99

5 수송부문

5.1 수송부문 에너지 소비량 및 온실가스 배출현황과 특징	110
5.2 교통, 수송부문 온실가스 배출량 전망과 실적	117
5.3 우리나라 및 주요국의 교통, 수송부문 저탄소발전전략 시나리오	120
5.4 수송부문 정책 제언	130

6 2050 탄소중립을 위한 정책과제

6.1 화석연료 감축을 위한 정책 과제	142
6.2 재생에너지 확대를 위한 정책 과제	145
6.3 시장 개선을 위한 정책 과제	146
6.4 이번 연구를 마치며	148

연구 목표

- 2050 저탄소 발전전략 시나리오 작업의 한계를 극복하는 정책과제 도출
- 온실가스 다배출 4개 부문-전환, 산업, 수송, 건물-에 대한 미래상을 구상하고 기술진척도와 사회적 수용성 등을 고려하여 핵심 정책과제 도출
- 한국 정부의 저탄소 발전전략에 대응하는 대안 전문가 그룹 형성

주요
연구내용

- 기존 발전전략과 시나리오 비교 검토
 - 환경부 2050 저탄소사회비전 포럼의 저탄소 발전전략 시나리오
 - 홍종호 교수(서울대학교 환경대학원)팀의 ‘Long-term energy strategy scenarios for South Korea : Transition to a sustainable energy system(Energy Policy Volume 127)’
 - 녹색에너지전략연구소 섹터 커플링 시나리오(아고라 에네르기 벤데 펀딩)
 - 해외 넷제로 시나리오 : IRENA, IEA 등
- 부문별 넷제로 정책과제 도출
 - 현재 시나리오 한계 규명과 단기 정책 방향 중 기후위기와 에너지전환 관련 정책 정리
 - 넷제로 실현을 위한 국내외 정책과제 검토
 - 해결해야 할 기술적, 법·제도적 과제 도출 : 부문별 연구원과 자문그룹 운영, 금융과 거버넌스 등 종합적인 정책 과제

참여 인력

- 책임 연구원 : 이성호 한국에너지기술평가원 수석전문위원
- 담당 연구원
 - 전력부문(재생에너지 100%) : 이성호 한국에너지기술평가원 수석전문위원
 - 산업부문(구조와 공정) : 서정석 재생에너지환경재단 아시아사무소 소장
 - 건물부문(시스템, 관련 기술) : 이미경 고려대 에너지환경대학원 연구교수
 - 수송부문(도로, 항공, 선박) : 송상석 녹색교통운동 사무처장
 - 자문그룹 운영 및 연구조정 : 윤순진서울대학교 교수, 임재민 에너지전환포럼 사무처장 대행

서론

- 1.1 연구의 배경
- 1.2 연구의 목표
- 1.3 연구방법
- 1.4 LEDS 동향



1.1 연구의 배경

- 세계 10위권의 경제대국이자 기술강국인 한국은 에너지 다소비 국가이자 온실가스 다배출 국가임. 한국은 OECD 국가 중 에너지전환에 가장 뒤쳐진 국가 중 하나로 2019년 석탄발전량 비중은 40%가 넘고, 배출량은 여전히 증가 추세에 있음. 2017년 온실가스 배출량은 2016년 6억9,410만톤에서 1,490만톤이 더 증가하였는데 특히 에너지부문 온실가스 배출량 증가량은 860만톤에 달했음.
- 유엔의 1.5°C 경로에 맞는 강화된 NDC 및 LEDS 요구에도 불구하고 우리 정부의 NDC와 LEDS는 1.5°C 경로에 비해 미흡함. 우리나라는 온실가스감축계획 및 배출권거래제의 실시에도 불구하고 에너지 부문의 온실가스 배출이 지속적으로 상승하고 있음. 한국의 NDC는 2030년 536만톤 배출을 목표로 2017년 대비 24.4% 감축을 목표로 하고 있으나 재생에너지 발전량 증가속도가 매우 느리고, 에너지효율을 국가 전반적으로 추진하는 데 있어서도 미흡하여 2030년 목표 달성 가능성이 쉽지 않은 상황임.
- 환경부가 환경정책평가연구원을 통해 총괄, 전환, 산업, 수송, 건물, 비에너지(농축수산·폐기물·산림), 청년 등 총 7개 분과에 69명으로 구성된 ‘2050 저탄소 사회비전 포럼’은 2019년 3월부터 논의하여 “2050 장기 저탄소 발전전략(Long term low greenhouse gas Emission Development Strategies, LEDS)’ 검토안을 제출하면서 우리나라 기후변화 정책의 장기 비전을 ‘저탄소사회 전환과 지속가능한 탄소중립 국가경제 구현’으로 제시했으나 온실가스 감축안 5개에는 넷제로 시나리오가 포함되지 않았음.
- 환경부의 2050 장기 저탄소 발전전략에 넷제로 시나리오가 없는 주요 이유는 소비절감과 전력부문에서 재생에너지 100% 등의 목표를 제시하지 못했기 때문임. 기후변화에 대한 위기인식 부재 뿐 아니라, 현재의 에너지세제 체계와 전력시장, 과학기술, 발전단가, 지역 수용성 등 현재 상황의 한계가 여전히 지속될 것이라고 보는 비관적 전망이 우세했기 때문으로 평가되고 있음. 특히 넷제로 시나리오가 기존 산업과 경제에 위협이 될 것이라는 정부 내 인식이 강하고 주류 경제전문가들이 그 인식을 뒷받침하고 있는 상황임.
- 2050 저탄소 발전전략에서 중요한 것은 시나리오 그 자체의 수치보다 저탄소 발전전략이 실현되기 위한 구체적인 정책과제이며, 이를 실현하기 위한 법과 제도적인 변화를 구체적으로 마련하는 것이 중요함.
- 환경부 2050 저탄소 사회비전 포럼에 참여한 전문가 등과 함께, 장기 저탄소 발전전략을 구현할 수 있는 구체적인 정책과제를 도출하는 연구를 시작하여 P4G 시기에 초안을 제시하고 이를 보다 발전시켜 21대 국회 과제로 제출하는 한편 대선 정책과제까지 준비하는 시작점으로 삼음.
- 2020년 10월 28일 문재인 대통령은 국회에서 가진 2021년 예산안 시정연설에서 국제사회의 온실가스 감축 노력에 동참해 한국도 2050년 탄소 중립을 선언함. 이에 목표 달성을 위한 구체적인 로드맵 수립과 달성 방안 모색이 보다 구체적으로 이루어져야 함.

1.2 연구의 목표

- 본 보고서는 한국 정부의 NDC 및 LEDS가 유엔의 1.5°C 요구에 부합하지 못한다는 점에 주목하고, 해당 목표에 부합하는 우리나라의 시나리오(경로)와 이를 위한 정책과제를 제시하고자 함.
- 2020년까지 강화된 NDC 및 LEDS를 제출해야 하는 시간적 제약 속에 국내 연구 실적과 유럽의 경험 및 지식을 활용해, 1.5°C 목표에 부합하며 우리나라에 적용 가능한 장기 저탄소 발전전략과 이를 위한 정책과제를 제시하고자 함.
- 특히, 우리나라도 유엔의 1.5°C 요구에 부합하는 시나리오를 제시함으로써 향후 에너지전환의 방법론이 더욱 풍부해지는 계기가 되기를 희망함.
- 또한, 지구온난화를 유발하는 석탄, 석유, 가스, 원자력에 의존하지 않고도 인류의 문명을 유지할 수 있다는 믿음이 확산되기를 소망함.
- 유엔의 1.5°C 목표 이행을 위한 기술적, 경제적 준비가 성숙하고 있음을 이해하고, 화석연료와 원자력에 의존한 기존의 에너지 시스템을 에너지절약과 재생에너지에 기반한 시스템으로 전환하는 것이 일자리를 나누고 불평등을 해소하는 길이라는 인식이 확대되기를 바람.
- 기후위기는 매 시각 강화되고 있으며, 온실가스 배출을 빠른 속도로 줄이기 위해서는 기후위기에 대한 국민적 인식제고와 동의가 필요함. 또한, 기후위기 완화를 위한 온실가스 감축 및 기후위기 적응을 위한 다양한 정책이 도입되어야 하며, 관련 법령의 제·개정이 필요함.
- 우리나라는 경제성장과 산업발전을 위해 국가가 주도하여 값싸고 안정적인 에너지 공급 정책을 펴왔으나, 국가가 에너지(화석연료, 원자력)를 독점적으로 수입하고 에너지 관련 인프라에 정부 재정을 투자해 값싸고 안정적인 에너지 공급구조를 구축한 동시에 이를 통해 에너지 다소비 산업을 키워왔음.
- 그 결과 현재 국민경제에서 에너지 다소비 산업이 차지하는 비중이 적지 않으며, 낮은 전기가격에 익숙한 국민들이 전기가격 인상에 대해 갖는 저항감도 큼. 이에 따라 에너지 시스템 전환의 필요성과 방법에 대한 국민적 동의가 필요한 상황임.
- 따라서 우리나라에서 유엔이 요구하는 1.5°C에 부합하는 방향의 에너지정책 전환은 국민의 정치적 의지를 모아야 가능할 사안으로 생각됨. 이에 다가오는 대선에서 기후위기 대응이 핵심 선거공약으로 제시되고, 선거를 통해 국민적 의지를 확인하는 과정이 필요함. 여기에 이번 연구가 도움이 되기를 바라는 바임.
- 마지막으로 필진들의 바람과 달리 부족한 부분들은 향후 수정 및 보완되기를 기대함.

1.3 연구방법

- 에너지전환포럼은 국제사회의 1.5℃ 요구에 부합하는 시나리오 검토 필요성을 제기하였으며, 한-EU기후행동과의 협력사업으로 관련 연구를 진행하기로 결정하고, 에너지전환포럼의 에너지 전문가들로 연구팀을 구성함.
- 필진으로 이성호 박사, 윤순진 교수, 서정석 박사, 이미경 교수, 송상석 사무처장을 위촉하였으며, 자문위원으로 홍종호 교수, 전영환 교수, 이창훈 박사, 권필석 소장을 위촉함.
- 본 연구는 유엔을 비롯한 국제사회의 1.5℃ 요구에 부합하는 우리나라의 2050년 온실가스 순배출제로 시나리오(경로)의 모색과 이를 위한 정책과제 제시를 목적으로 함.
- 연구방법으로는 기존의 국내외 장기 저탄소 시나리오 및 부문별 온실가스 감축계획에 대한 전문가 연속 세미나, 워크샵, 회의를 진행하여 발표, 토론, 자문을 함으로써 우리나라의 정책과제를 도출하고, 연구진들의 내부회의를 거쳐 최종보고서를 작성하였음.
- 기존의 저탄소 시나리오는 홍종호 교수, 이창훈 박사, 권필석 소장 등 자문위원이 기존에 작성한 시나리오를 검토하고, 유럽, 독일, 영국, 프랑스의 2050년 온실가스 배출제로 계획을 검토함.
- 부문별 시나리오 및 정책과제 도출을 위한 전문가 검토회의는 전력, 산업, 건물, 수송 분야로 나누어 진행함.
- 유럽의 장기저탄소 시나리오에 대한 인식 제고를 위해 워크샵을 2회 개최해 유럽, 독일, 영국, 프랑스의 2050 온실가스감축계획을 검토함. 또한, 유럽의 녹색기술분류기준, 산업부문의 온실가스감축계획, 재생에너지 확대에 따른 전력계통 안정화 방안, 장기 저탄소사회 이행의 경제성과 일자리 변화 등에 대해 검토함.

[세미나/워크샵]

일 정	자 문
사전 자문회의 5월 13일(수)	(발제) 대한민국 2050 에너지 전략 - 홍종호 서울대환경대학원 교수 (발제) 한국의 에너지전환 가속화 - 권필석 GESI 박사
전환부문 워크숍 5월 26일(화)	(발제) 탈탄소 에너지전환 시나리오 - 이창훈 KEI 선임연구위원 (발제) 신재생 계통수용성과 확대방안 - 곽은섭 한전 계통부장 (자문) 전영환 홍익대 교수
산업/건물부문 워크숍 6월 9일(화)	(발제) 산업부문 온실가스 배출량 현황 및 감축전략 - 권동혁 에코앰파트너스 본부장 (발제) 넷제로를 위한 건축물 에너지 관련 과제 - 박덕준 KCL TF장 (자문) 이승연 건설기술연구원 선임연구위원, 임성진 전주대 행정학과 교수
유럽 그린딜 워크숍 6월 23일(화)	(발제) 유럽연합의 2050 넷제로 목표 - Miles Perry EU 집행위원회 (발제) 유럽연합의 에너지전환을 위한 전력 그리드 시스템 - John Lowry, EirGrid 프로젝트 디렉터 (발제) 유럽 2050 넷제로를 위한 산업 전환 - Yeen Chan ICF 컨설팅 디렉터
공개세미나 7월 21일(화)	(발제) 한국의 2050 배출제로 계획의 중요성, 도전과 기회 - 이성호 에너지기술평가원 수석연구원 (발제) 한국의 2050 배출제로 달성을 위한 녹색금융 - 임대웅 에코앰파트너스 대표 (발제) 유럽 그린딜과 지속가능 금융 - 헬레나 비네스 피에스타스 BNP Paribas 자산운용 글로벌관리정책 이사 (발제) 유럽 에너지전환의 과제와 기회 - 돌프 기엘렌, IRENA 혁신기술센터 센터장

1.4 LEDS 동향

1.4.1 국제사회 동향

- 파리협약은 산업화 이전에 비해 1.5~2℃ 온도 상승 제한을 결의하고, 선진국 뿐 아니라 개발도상국까지도 각국의 NDC 제출 이행 점검을 약속함.
- 유엔 IPCC는 파리협약의 목표인 1.5℃를 제안하였으며 2030년 이산화탄소 순배출량을 2010년 기준대비 45% 감축하고 2050년 이산화탄소 배출 중립(Net Zero)를 제안함.



- 유럽은 2050 온실가스 배출제로를 선언하고 입법화를 진행 중이며, 미국 바이든 당선인은 2035년 전력부문 배출제로, 2050 이전 온실가스 배출제로를 선언함.
- 중국 시진핑 주석은 유엔총회 화상 연설에서 2060년 이전 온실가스 배출제로를 공약하였으며, 일본 신임 스가 총리는 2050년 온실가스 배출제로를 선언함.
- 세계에서 2050년 온실가스 배출제로를 선언한 국가는 121개국, 입법화한 국가는 9개국임.

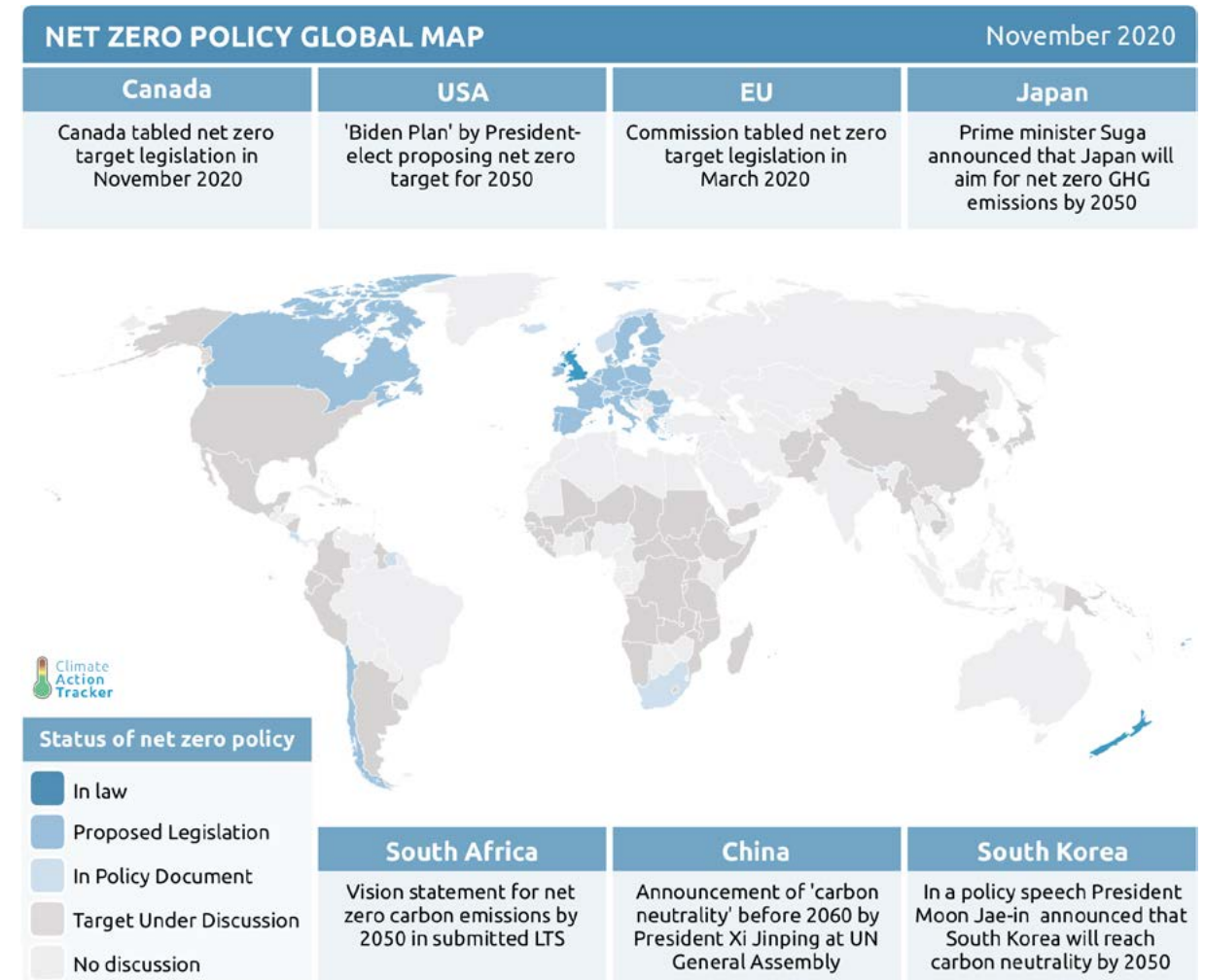
[표1-1] 탄소중립 선언 국가 현황

유형	국 가	주요 내용
Type 1 Climate Ambition Alliance 참여국	120 + EU 영국 일본 캐나다 독일 ...	Climate Ambition Alliance : 2050년까지 Net-Zero달성을 약속한 국가 모임(주관 : UNFCCC)
Type 2 법안상정 또는 법제화	9 영국 프랑스 등	(법안상정) EU, 스페인, 칠레, 피지 (법제화) 영국, 덴마크, 프랑스, 스웨덴, 뉴질랜드

출처 : UNFCCC¹⁾

1) <https://climateaction.unfccc.int/?coopinitid=94#CA>

<그림 1-1> 탄소중립 선언 국가 현황



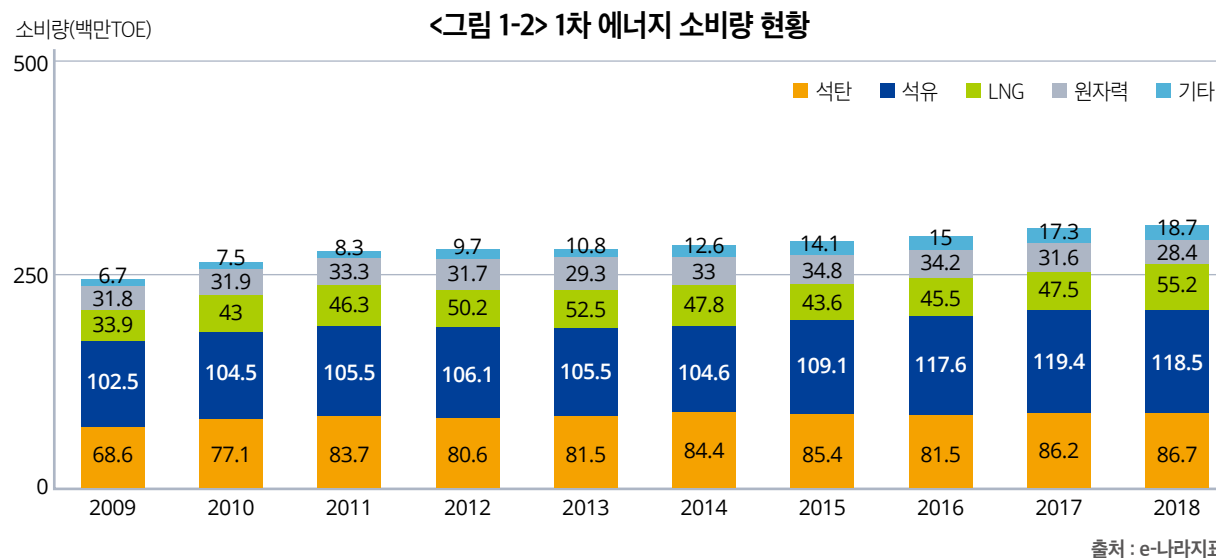
- RE100 캠페인: 2020년 10월 현재 세계적 기업 264개가 재생에너지 100% 사용 선언을 이행 중이며, 탄소발자국(Carbon footprint)이 상품과 서비스 거래의 주요 기준으로 등장함.
- G20, OECD, WTO, IEA, Powering Past Coal Alliance 등이 국제적 석탄 퇴출 움직임을 구체화하고 있음.
- Global Carbon Project의 Global Carbon Budget 2019에 따르면 세계의 온실가스 배출은 화석연료 사용에서 86%, 토지 이용 부문에서 14% 발생함에 따라 화석연료(석탄, 석유, 가스) 퇴출 움직임으로 확대되고 있음.
- 유럽은 배출권거래제에서 온실가스 최저가격제를 도입하고 탄소세를 강화했으며, 탄소국경세 도입을 선언함.



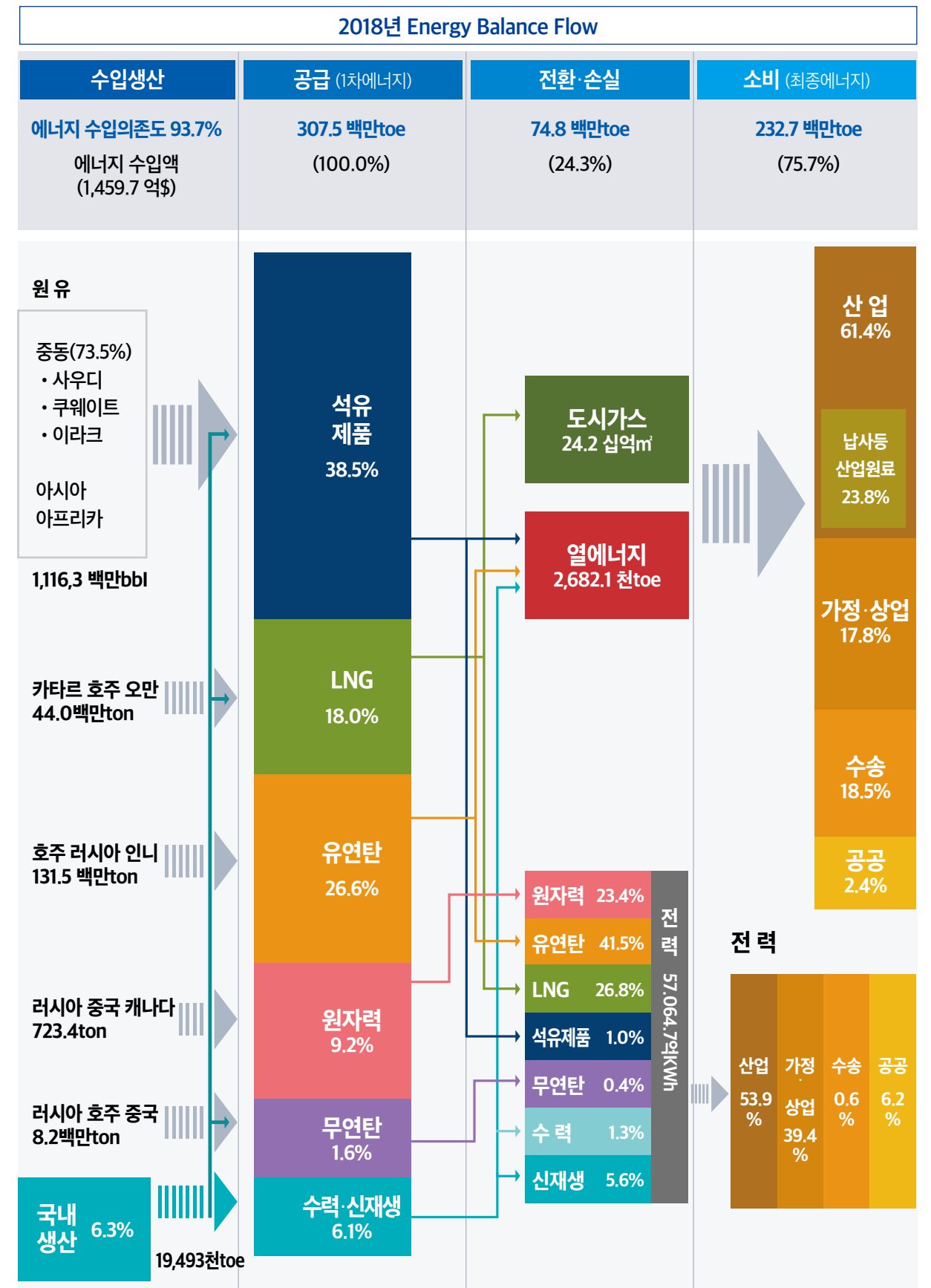
1.4.2 우리나라 동향

1) 우리나라의 에너지 소비 현황

- 우리나라는 2017년 기준 인구 5,148만명으로 세계 28위, 세계 인구의 0.69%를 차지.
- 우리나라의 경제 규모는 2019년 기준 GDP가 1조 6,421억 달러로 세계 10위이며, 1인당 GDP는 3만1,682달러로 세계 22위 수준이며, 수출입 비중이 약 65%에 이르는 무역의존도가 높은 국가임.
- 에너지 소비량도 지속적으로 증가하여 2018년 총에너지소비량은 307백만 TOE로 1차 에너지 소비량에서는 석유가 가장 소비되었으며, 석탄, LNG, 원자력 순으로 소비되었음.

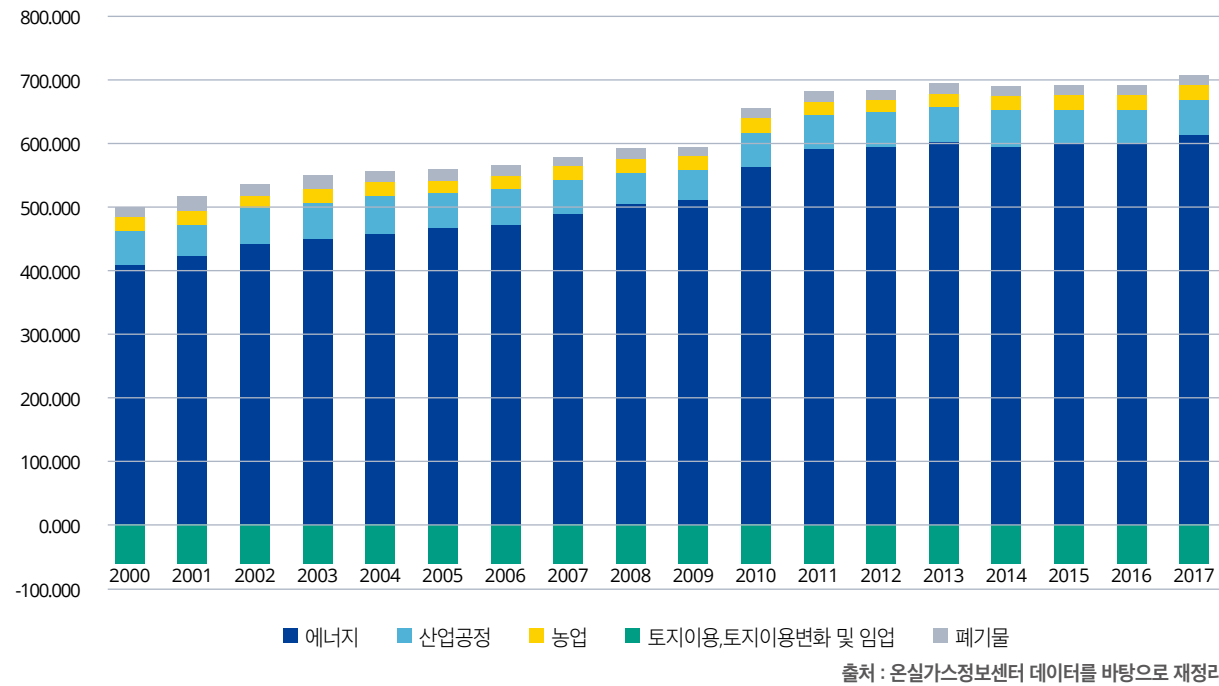


<그림 1-3> 2018년 Energy Balance Flow



출처 : 에너지경제연구원(2019)

<그림 1-4> 우리나라 온실가스 배출 현황(1990-2017)



2) 우리나라의 온실가스 배출 현황

- 이산화탄소 배출량 역시 지속적으로 증가하였는데, 1990년 292.2백만톤에서 2017년 709.1백만톤으로 두 배 이상 증가하였으며, 2017년 기준 세계 배출량 비중 1.71% (9위), 누적배출량 비중 1%이며, 1인당 배출량은 연 11.8톤에 이릅니다.

[표 1-2] 연도별 온실가스 배출추이 (단위 : 백만 톤 CO₂eq)

분야	'90년	'95년	'00년	'05년	'10년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
총배출량 (전년대비 증감)	292.2	435.9 (7.9%)	503.1 (7.1%)	561.8 (0.8%)	657.6 (10%)	697.0 (1.4%)	691.5 (-0.8%)	692.3 (0.1%)	692.6 (0.03%)	709.1 (2.4%)
순배출량	254.4	405.0	444.8	507.7	603.8	652.8	649.3	649.9	648.7	667.6
에너지	240.4	352.2	411.8	468.9	566.1	605.1	597.5	600.8	602.7	615.8
산업공정	20.4	45.2	51.3	55.7	54.7	54.8	57.3	54.4	52.8	56.0
농업	21.0	22.8	21.2	20.5	21.7	21.2	21.3	20.8	20.5	20.4
폐기물	10.4	15.7	18.8	16.7	15.0	15.9	15.4	16.3	16.5	16.8
(LULUCF)	(-37.7)	(-30.9)	(-58.3)	(-54.0)	(-53.8)	(-44.2)	(-42.2)	(-42.4)	(-43.9)	(-41.6)

출처 : 2019 국가 온실가스 인벤토리 보고서

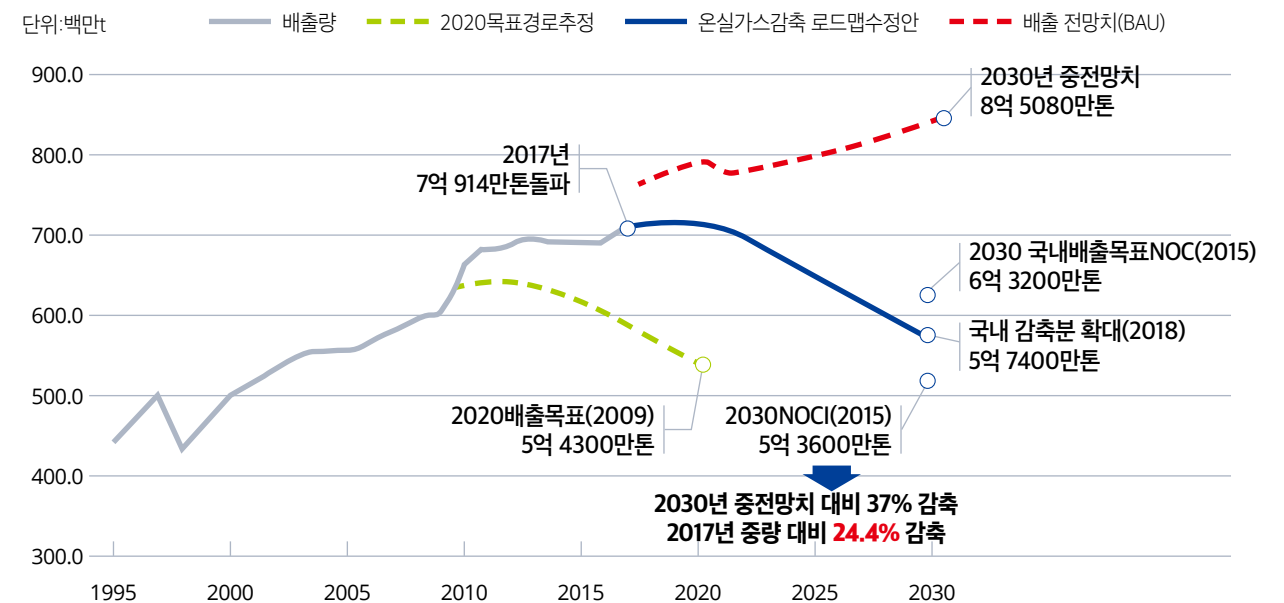
[표 1-3] CO₂ 배출량 세계 순위('16년 연료연소 기준)

배출량 관련 지표	우리나라	순위	비고
CO ₂ 배출량	5.94억톤 CO ₂	7위	1위 중국(91.0), 2위 미국(48.3)
증가율('90~'16)	156%	59위	1위 베냉(2,121), 2위 베트남(976)
1인당 CO ₂ 배출량	11.6톤 (CO ₂ /인)	18위	1위 카타르(30.8), 2위 쿠라소(25.9)
증가율('90~'16)	115%	28위	1위 베냉(908), 2위 베트남(667)
온실가스 원단위 (GDP당 CO ₂ 배출량)	0.45kg (CO ₂ /\$)	60위	1위 리비아(2.31), 2위 쿠라소(2.24)
증가율('90~'16)	-29%	78위	1위 베냉(616), 2위 리비아(287)

출처 : 제2차 기후변화대응 기본계획

- 2017년 총배출량은 709.1백만 CO₂톤(tCO₂)이며, 이 중 에너지 부문에서 615.8 백만 tCO₂ (86.8%), 산업공정에서 56.0 백만 tCO₂ (7.9%), 농업에서 20.4 백만 tCO₂ (2.9%), 폐기물에서 16.8 백만 tCO₂ (2.4%)가 배출됨.
- 유엔에 제출된 우리나라 온실가스감축계획(NDC)의 2030년 온실가스 배출량은 536백만 tCO₂임.
- 유엔은 2020년 말까지 강화된 NDC 및 2050년 장기 저탄소 발전 전략 (LEDS, long-term low greenhouse gas emission development strategies) 제출을 요구하였으며, 이에 우리나라는 환경부 주관 하에 2050년 LEDS를 수립 중에 있음.
- 2050저탄소 사회비전포럼의 시나리오는 2017년 대비 2050년 온실가스의 최대 75% 감축을 제시함.

<그림 1-6> 한국의 온실가스 배출 경로



[표 1-4] 2030년 온실가스 감축 목표

부문		배출량 (‘17)	배출전망 (‘30 BAU)	감축목표		
				목표 배출량	BAU 대비 감축량 (감축률)	주요 감축수단
국내 부문별 목표		-	850.8	574.3	△276.4 1 (32.5%)	
배 출 원 감 축	산업	392.5	481.0	382.4	△98.5 (20.5%)	√효율개선 √냉매대체 √연·원료전환 √폐열활용
	건물	155.0	197.2	132.7	△64.5 (32.7%)	√단열강화 (신규·기존) √설비개선 √BEMS 확대
	수송	99.7	105.2	74.4	△30.8 (29.3%)	√친환경차 확대 √연비개선 √친환경선박 보급 √바이오디젤
	폐기물	16.8	15.5	11.0	△4.5 (28.9%)	√재활용확대 √메탄가스 회수
	공공 (기타)	20.0	21.0	15.7	△5.3 (25.3%)	√LED 조명 √재생에너지 확대
	농축산	20.4	20.7	19.0	△1.6 (7.9%)	√분뇨 에너지화 √논물관리
	탈루 등	4.8	10.3	7.2	△3.1 (30.5%)	
감축 수단 활용	전환	(253.1)	(333.2)2	(192.7)	(△140.5)3 (42.2%)	√전원믹스 개선 √수요관리
	E 신산업, CCUS		-	-	△10.3	√탄소포집·활용·저장
국외감축 등			-	-	△38.3 (4.5%)	산림흡수 +국제시장활용
감축 수단 활용	산림 흡수원	(-41.6)	-	-	△22.1	√경제림단지 조성 √도시숲 확대
	국외 감축 등		-	-	△16.2	√양자협력 √SDM
합계		709.1 4	850.8	536.0	△314.8 (37%)	국내 (32.5%)+국외 (4.5%)

출처 : 2030 국가 온실가스감축 기본로드맵 수정안

[표 1-5] 저탄소사회비전포럼 2050년 국가 배출목표 검토안

- 국가·부문별 목표배출량 및 감축량(률)

구 분			‘17년 현황	2050년 목표				
				제1안	제2안	제3안	제4안	제5안
국가	배출량(백만톤)		709.1	178.9	222.0	279.5	355.9	425.9
	감축률(‘17년 대비)		-	75%	69%	61%	50%	40%
부문별	전환	배출량	252.3	24.8	28.9	71.4	75.6	125.3
		감축률		90.2%	88.6%	71.7%	70.0%	50.3%
	산업	배출량	259.9	89.7	124.1	132.2	200.7	211.1
		감축률		65.5%	52.3%	49.2%	22.8%	18.8%
	건물	배출량	52.8	17.5	18.8	20.3	21.4	22.5
		감축률		66.8%	64.4%	61.6%	59.5%	57.3%
	수송	배출량	98.3	26.3	28.8	33.8	36.0	40.0
		감축률		73.3%	70.7%	65.7%	63.4%	59.4%
	폐기물	배출량	16.8	9.1	9.4	9.6	9.8	10.0
		감축률		46.1%	43.9%	43.2%	41.9%	40.7%
	농축 어업	배출량	24.1	21.8	22.2	22.5	22.8	22.8
		감축률		9.5%	7.8%	6.6%	5.5%	5.4%
	탈루* 등	배출량	4.8	7.3				
	산림	흡수량	-	17.6	17.6	17.6	17.6	13.0
배출 원단위	GDP당(톤/백만원)		0.46	0.07	0.08	0.10	0.13	0.16
	인당(톤/인)		13.8	3.6	4.5	5.7	7.2	8.6

출처 : 저탄소사회비전포럼 검토안(2020)

* 탈루 : 석탄·석유·천연가스 등 화석연료의 연소과정이 아닌 채광·생산·공정·정제·운송·저장·유통 과정에서 빠져 새어나가는 온실
가스를 의미

[표 1-6] 저탄소사회비전포럼 검토안

- 2050년 부문별 주요 사회상

구 분	1안	2안	3안	4안	5안
 에너지 공급부문	- 석탄화력발전 비중 4% - 재생에너지 발전 비중 60% - 수소경제 시대	- 석탄화력발전 비중 4% - 재생에너지 발전 비중 60% - 수소경제 시대	- 석탄화력발전 비중 8% - 재생에너지 발전 비중 50% - 수소경제 보편화	- 석탄화력발전 비중 8% - 재생에너지 발전 비중 50% - 수소경제 보편화	- 석탄화력발전 비중 12% - 재생에너지 발전 비중 40% - 수소경제 가시화
 산업부문	- 전면적 전환과 융복합 확대 - 자원 재활용 최대화 및 획기적 공정개선	- 스마트 에너지 관리 시스템 전면 보급 - 자원 재활용 및 단계적 공정개선	- 스마트 에너지 관리 시스템 보급 확대 - 자원 재활용 및 단계적 공정개선	- 스마트 에너지 관리 시스템 보급 확대 - 산업공정 고효율 저감설비 도입	- 스마트 에너지 관리 시스템 일부 적용 - 전동기, 보일러 기기 에너지 소비효율 개선
 건물부문	- 녹색건물 정착 - 미활용 열 등 신재생에너지 소비 극대화	- 녹색건물 정착 - 신재생에너지 보급 확대 강화	- 녹색건물 일반화 - 신재생에너지 보급 확대 강화	- 녹색건물 일반화 - 신재생에너지 보급 추진	- 녹색건물 관리 강화 - 신재생에너지 보급 추진
 수송부문	- 내연차 급격한 퇴보(비중 7%) - 친환경차 대중화(비중 93%) - 자율주행, 인공지능 확산	- 내연차 급격한 퇴보(비중 7%) - 친환경차 대중화(비중 93%) - 도로체계 변화 본격화	- 내연차 점진적 퇴보(비중 18%) - 친환경차 보편화(비중 82%) - 도로체계 변화 본격화	- 내연차 점진적 퇴보(비중 18%) - 친환경차 보편화(비중 82%) - 도로체계 변화 가시화	- 내연차 감소(비중 25%) - 친환경차 확대(비중 75%) - 도로체계 변화 가시화
 농·축·산·폐부문	- 스마트팜 다각화 - 폐기물의 완전한 자연 선순환 - 자연친화적 환경	- 스마트팜 보급 확대 - 폐기물의 완전한 자연 선순환 - 자연친화적 환경	- 스마트팜 보급 확대 - 매립부문 호기성 운영 및 바이오 플라스틱 비중 강화 - 자연친화적 환경	- 스마트팜 실용화 - 메탄가스 회수 증대 및 폐기물 재활용·감량 강화 - 자연친화적 환경	- 스마트팜 실용화 - 폐기물 재활용·감량 강화 - 자연친화적 환경

출처 : 저탄소사회비전포럼 검토안(2020)

3) 국내 기후변화 대응 동향

- 국제사회의 적극적인 온실가스 감축 운동에 동참하고 국제협약에 적극적으로 대응하기 위해 국내에서도 시민 단체를 중심으로 다양한 기후위기 운동 및 싱크탱크들이 등장하였음. 또한 2020년 4월 총선 이후 국회에서 적극적인 탈탄소와 탄소중립, 그린뉴딜 관련 법안 발의가 활발히 추진되고 있으며, 정부와 청와대가 '한국형 그린뉴딜'을 선포하고 관련 정책을 적극적으로 추진하고 있음
- 2020년 10월 문재인 대통령은 국회연설에서 2050년 탄소중립 국가를 선언하고, 우리나라도 경제사회 전분야에서 탈탄소화를 위한 움직임이 본격화되고 있음
- 많은 여론조사들에서 80% 이상의 응답자들이 기후위기가 심각하다고 응답하였으나, 기후위기는 다른 사회·경제·정치적 사안에 비해 상대적으로 우선순위가 낮다고 생각하는 국민들이 여전히 많아 시민사회를 중심으로 국민들의 인식전환을 더욱 적극적으로 유도해야 할 필요가 있음
- 아래는 국내에서 대표적인 기후변화 관련 시민운동 및 정책수립 과정을 나열한 내용임.
 - 2018년 에너지전환포럼 발족
 - 2019년 기후위기비상행동 출범
 - 2019년 총괄, 전환, 산업, 수송, 건물, 비에너지(농축수산·폐기물·산림), 청년 등 총 7개 분과에 학계와 연구계, 산업계, 시민사회계, 청년 대표 등 69명 '이 민관합동 LEDS 사회비전포럼'에 참여
 - 2020년 총선 전후 2050 넷제로 논의가 활성화.
 - 2050 저탄소 사회비전포럼을 검토
- 2020 총선 후 기후위기 대응 동향
 - 6월 05일 : 모든 기초 지자체(226개) 기후위기 비상선언
 - 7월 07일 : 모든 광역 지자체(17개) 탄소중립 선언
 - 9월 24일 : 국회 '기후위기비상대응 촉구 결의안' 채택
 - 10월 28일 : 문재인 대통령 국회시정연설에서 2050년 탄소중립 선언

전력부문

- 2.1 우리나라 전력부문 온실가스 배출 현황과 주요 특징
- 2.2 국내외 온실가스 감축 시나리오 및 감축방안
- 2.3 시사점 및 정책과제



2.1 우리나라 전력부문 온실가스 배출 현황과 주요 특징

2.1.1 전력부문 온실가스 배출 현황

- 2017년 기준 최종에너지는 230,019(단위 천toe)이며, 석탄 33,36, 석유 117,861, 천연가스 795, 도시가스 23,258, 전력 43,666, 열 2,441, 신재생에너지 8,638임. 최종에너지 중 전력부문 비중은 19%, 신재생에너지는 3.8%.²⁾
- 2017년 에너지 전환부문(발전·열) 온실가스 배출량은 252백만CO₂톤³⁾으로, 에너지 부문 배출량 615백만CO₂톤의 40.9%
- 온실가스종합정보센터는 발전원 별 온실가스 배출량을 발표하지 않아 에너지경제연구원의 에너지통계연보를 활용, 전환 부문 연료별 온실가스 배출량을 계산, 아래 표 산출
- 표1에서 2017년 석탄발전 온실가스 배출량은 213.81백만CO₂톤으로 전환부문 배출량 252백만CO₂톤의 84.8% 차지. 산업단지의 열을 공급하는 석탄-열 변환과정의 에너지 사용량과 온실가스 발생량은 미확인.
- 2017년 가스-전력 변환과정에서 47.495백만CO₂톤 발생하였으며, 가스-열 변환과정에서 5.129백만CO₂톤이 발생함.
- 2017년 석유-발전 변환과정에서 3.575백만CO₂톤의 온실가스 발생
- 우리나라는 2009년 G20 회의 이후 화석연료 보조금 폐지 및 석탄발전 퇴출 움직임에도 불구하고, 석탄발전 신규건설이 이어지고, 석탄발전량은 꾸준히 증가해옴.
- 특이 사항으로 연료전지 발전의 경우 LNG에서 수소를 생산할 때 이산화탄소가 발생함. 2019년 연료전지 발전량은 2,256,560MWh인데, LNG에서 수소를 생산할 때 발생한 이산화탄소는 상당한 양으로 추정됨. 그러나 온실가스종합정보센터의 통계에서는 연료전지 발전에 사용된 LNG에서 발생한 이산화탄소량이 확인되지 않음. 수소차에서 사용되는 수소를 LNG에서 생산할 때 발생하는 이산화탄소도 국가 통계에서는 누락되고 있음.
- 우리나라 전력배출계수는 온실가스종합정보센터에서 공식적으로 발표하고 있지도 않음. 정부 문헌⁴⁾을 통해 간접적으로 확인되는 우리나라 발전배출계수는 440kg/MWh이며, 발전원별 배출계수는 석탄발전 830kg/MWh, 가스발전 350kg/MWh 수준임.

2) 에너지통계연보 2018

3) 온실가스종합정보센터

4) 제3차국가에너지기본계획

[표 2-1] 에너지 전환(전기, 열) 부문 2000년~2017년 연료 별 온실가스 배출량⁵⁾

구분	에너지 전환부문 배출량 산정 결과 (천톤 CO ₂ eq)				
	석탄-발전	석유-발전	가스-발전	석유-열	가스-열
2000년	86,480	17,090	13,258	1,204	1,020
2001년	93,981	18,421	14,184	1,415	1,919
2002년	102,138	16,147	17,970	1,502	1,855
2003년	106,060	16,245	17,827	1,703	1,873
2004년	114,497	12,325	25,103	1,906	1,754
2005년	120,089	12,131	25,459	1,967	2,086
2006년	125,708	12,054	30,031	1,567	1,885
2007년	138,579	12,498	34,404	1,425	1,922
2008년	156,265	6,993	34,036	1,058	1,837
2009년	176,479	9,676	29,559	1,023	1,596
2010년	189,149	8,857	43,456	1,066	1,983
2011년	196,262	6,403	44,952	758	5,360
2012년	193,586	9,935	49,133	577	6,232
2013년	194,753	10,185	54,887	565	6,420
2014년	192,002	4,890	49,660	460	5,038
2015년	197,284	5,701	44,376	340	4,684
2016년	192,048	8,564	47,230	555	4,739
2017년	213,810	3,575	47,495	525	5,129

출처 : 저자 작성

- 우리나라는 2030년 재생에너지 발전량 20%를 목표로 하고 있으며, 제3차 국가에너지기본계획에서 2040년 재생에너지 발전량은 30~35%를 목표로 하고 있음.
- 환경부의 LEDS 포럼은 2050년 5개의 LEDS 시나리오를 제시하고 있는데, 가장 강한 시나리오의 재생에너지 발전량 비중은 60%임. 가장 강한 시나리오의 2050년 온실가스 감축 목표는 75%인데, 재생에너지 전력량 비중 60%를 통해 어떻게 75%의 온실가스 감축을 달성할 수 있는지 명확하지 않음. 최종에너지 소비를 획기적으로 줄일 경우 가능할 수도 있지만 상당량의 재생에너지를 수입하는 방식을 취한다면 에너지 안보나 안정적 에너지 공급에 문제를 야기할 수 있음.

5) (활용자료) 에너지통계연보 내 `00~`17년 전환부문 에너지원별 소비량 대상

2.1.2 주요 특징

1) 에너지 전환(전기, 열) 부문의 온실가스는 꾸준히 증가

- 전력 소비 지속적 증가, 최근 증가 속도 지체
- 주요 OECD 국가와 달리 GDP 성장과 전력소비의 디커플링 현상 미미.
- 기존 발전원(석탄, 가스, 원자력)의 신규 투자 지속, 2020.2 기준 건설 중인 설비는 원전 5.6GW, 석탄 7.26GW, 가스복합 5.86GW, 집단에너지 3.6GW임.
- 석탄발전 비중이 40%를 넘고, 전력부문 온실가스 배출의 85% 차지.

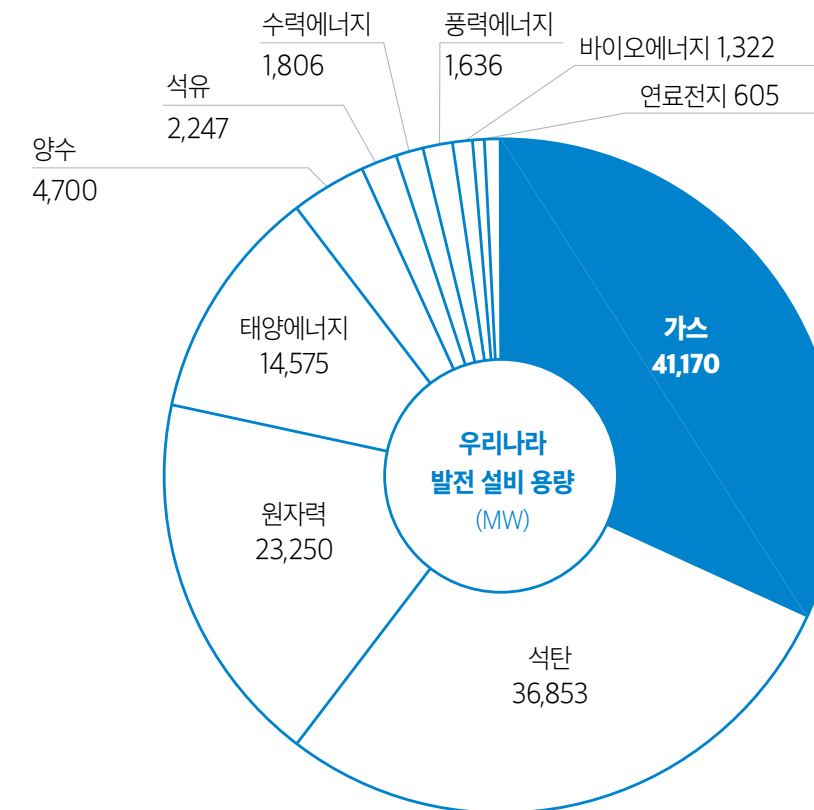
2) 재생에너지 공급 저조

- 재생에너지 보급 속도는 OECD 국가에 비해 더욱 뒤쳐지고 있음. 2019년 신규 태양광발전 3.5GW, 신규 풍력발전 0.25GW 설치됨.
- 제8차전력계획은 기존 발전원 중심의 전력공급계획이며, 재생에너지 중심의 전력체계로까지 진행되고 있지 못함.

[표2-2] 우리나라 건설 중인 발전설비

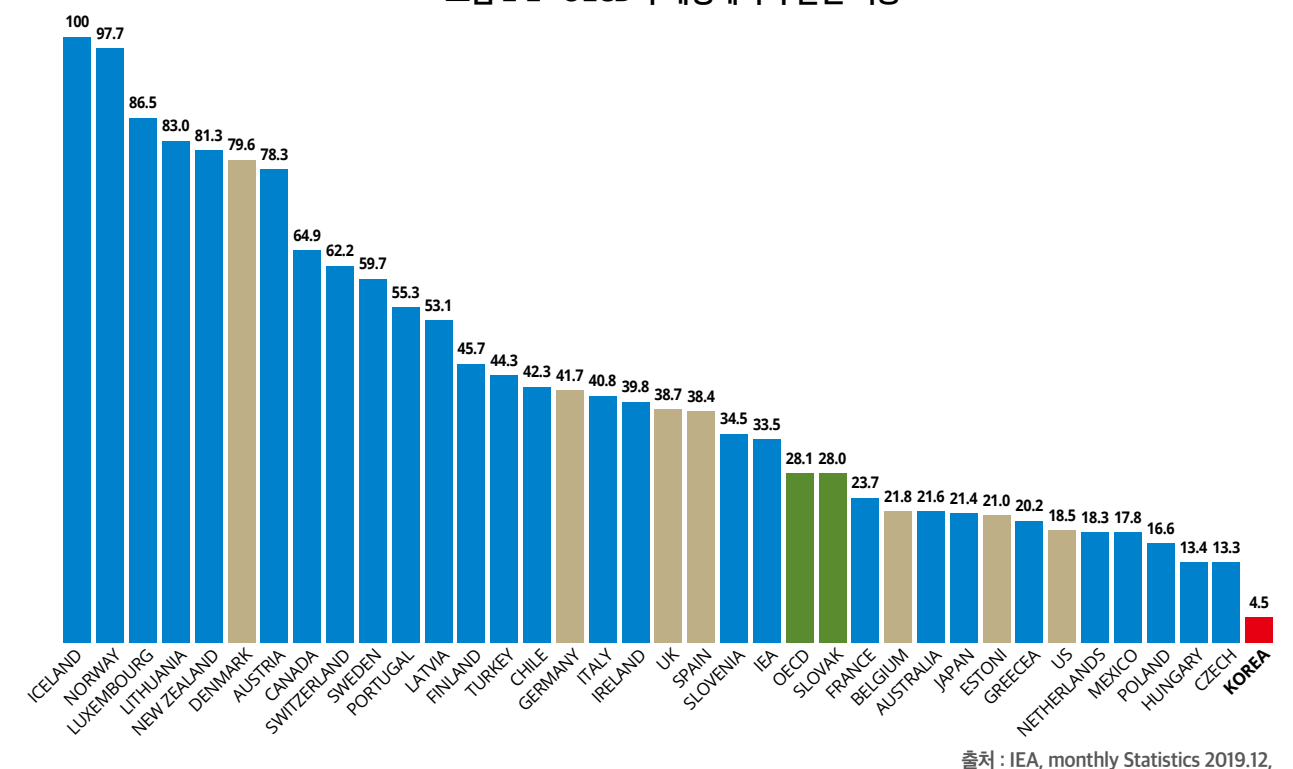
건설중인 발전설비			2020년 9월 기준	
구 분	발 전 소 명	설비용량 (MW)	건 설 공 기	비 고 (회 사 명)
원자력 (5,600MW)	신한울#1	1,400×2	'10. 04 ~ '21. 08	한국수력원자력(주)
	신한울#2			
	신고리#5 신고리#6	1,400×2	'16. 06 ~ '24. 06	한국수력원자력(주)
복 합 화 력 (5,680MW)	남제주복합	GT : 55×2 ST : 63×1 GT : 50×2 ST : 50×1	'19. 02 ~ '20. 12	남부발전(주)
	여주 천연가스발전소	GT : 321.3×2 ST : 361.4×1 GT : 327.2×2 ST : 349.6×1	'19. 12 ~ '22. 07	여주에너지서비스(주)
석탄 (7,260MW)	신서천화력	1,000×1	'15. 11 ~ '21. 03	중부발전(주)
	고성하이화력#1,2	1,040×2	'15. 10 ~ '21. 10	고성그린파워
	강릉안인화력#1,2	1,040×2	'17. 05 ~ '23. 03	강릉에코파워
	삼척화력#1,2	1,050×2	'19. 08 ~ '24. 04	삼척블루파워

<그림2-1> 우리나라 발전설비용량 (MW)



▶ 재생에너지 발전량 비율은 OECD 국가 중 최하위

<그림 2-2> OECD국 재생에너지 발전 비중



3) 기후위기 및 에너지전환에 대한 국민적 인식 부족

- 국민 및 정치권의 기후위기 및 에너지전환에 대한 무관심 여전.
- 기후위기 심화에 따른 화석연료 사용을 줄이기 위한 재생에너지 보급을 탈원전과 연계, 가짜뉴스가 과다로 재생에너지에 대한 부정적 인식 확대.
- 지자체 역시 기후위기와 재생에너지에 대한 인식이 낮고, 재생에너지 인허가 관련 조례를 강화하여 재생에너지 경제성 악화.
- 재생에너지 설치 지역 관련해서 일부 환경단체의 재생에너지에 대한 부정적 인식으로 녹-녹 갈등 여전.

2.2 국내외 온실가스 감축 시나리오 및 감축방안

2.2.1 해외 시나리오 및 감축 방안

1) 국제 동향

- 세계 각국은 화석연료 발전을 줄이고, 전력부문의 탈탄소화 전략 추진 중.
- 전력 뿐 아니라 산업, 수송, 건물 에너지의 재생에너지화 추진.
- 탈탄소 전원으로 원자력과 재생에너지 중 재생에너지 중심의 에너지전환 추진. 태양광발전, 풍력발전, 수력발전, 바이오에너지, 지열에너지를 보급하여 탈탄소 추진.
- 이산화탄소 포집 저장(Carbon Capture and Storage, CCS), 이산화탄소 직접 포집(Direct Air Capture, DAC) 기술에 대한 평가와 전망에 대한 각국과 국제기구 간 이견 존재.
- IEA의 탈탄소화 전략은 원전, CCS가 주요수단, IRENA는 원전, CCS는 무의미.
- 세계 주요국 중 미, 일 영은 원전과 CCS를 탈탄소의 주요 전략으로 포함.
- EU는 녹색기술분류기준에서 원전을 배제, CCS는 바이오 연료 소비 시 활용할 뿐, 화석연료 사용 CCS는 미적용.
- 파리협정 1.5도시 목표 달성을 위해 2010년 대비 2030년 이산화탄소 45%, 2050년 순배출제로 감축이 제시됨에 따라 감축이 어려운 배, 비행기, 중화학산업, 석유화학 산업의 탈탄소화를 위해 그린수소 생산이 반드시 필요한 옵션으로 부상. 그린수소 생산을 위해 재생에너지 설비 계획이 보다 상향되는 추세임.
- 2050년 온실가스 배출제로를 위해 에너지소비를 줄이고, 재생에너지 사용을 늘려 2050년 탄소 순배출제로 목표를 선언하거나 입법화하는 국가 증가 추세.

▶ IRENA 에너지전환 시나리오(IRENA, 2020, Global Renewable Outlook)

- IRENA의 TES(Transforming Energy Scenario)는 파리협정의 목표에 부합하는 온실가스 감축 시나리오임. TES의 에너지 관련 CO2 저감 기여도는 재생에너지 52%, 에너지 효율 27%, 연료 전환 등 21%임.
- TES는 각국의 NDC에 기초한 감축계획 대비, 2050년까지 경제성장 기여도는 2.4% 더 높음. 재생에너지, 효율, 전기화는 광범위한 사회경제적 혜택 수반.
- 재생에너지 일자리는 2050년 현재보다 네 배 더 많은 4천2백만명. 에너지효율에서 2천1백만명, 시스템 유연성에서 1천5백만명 추가 일자리 창출.
- TES는 이산화탄소 저감의 마지막 부분인 산업부문의 깊은 감축을 위한 감축기술, 비즈니스 모델, 행동 적응의 필요성을 강조함.
- 재앙적인 기후변화를 막기위한 에너지 사용의 탈탄소화는 국제적인 협력체제 필수. 배출 감축 필요성 인식과 함께 청정에너지 투자는 좌초자산의 증가를 수반하므로 단기적 이해에 따른 결정 등에 주의해야 함.
- 코로나19를 극복하기 위한 정책으로 유연한 전력 계통, 효율, 전기차 충전소, 에너지 저장, 상호 연결된 수력발전, 그린수소, 에너지와 기후의 지속가능성에 부합하는 다른 기술 투자가 포함될 필요가 있음.
- 에너지전환의 순기능을 극대화하기 위해 산업정책, 노동시장개입, 교육연수개발, 사회보호프로그램을 포함함.

▶ TES의 미래 에너지 시스템 전환을 위한 5대 핵심 정책

1) 전기화

- 재생에너지 전력은 낮아지는 보조금에도 불구하고 기록적인 가격 하락 계속.
- TES에서 전력은 더욱 지배적인 에너지 전달 수단. 전력은 현재 최종에너지의 20%에서 2050년 50%까지 증가. 산업, 수송, 건물의 전기화로 전력소비는 2배 이상 증가.
- 재생에너지 전력 비중의 연간 증가율은 현 0.25%/년에서 1%/년으로 높아져야 함. 연간 1천TWh의 재생에너지 전력이 추가되어야 하며, 이는 설비용량으로 520GW/년 신규로 추가되어야 함. 2019년 재생에너지 전력 26%에서 2030년 57%, 2050년 86%까지 증가해야 함. 이는 재생에너지 전력의 가격 하락으로 가능. 2020년 개통된 태양광발전, 풍력발전의 4/5는 기존 발전 가격보다 저렴(IRENA).
- 최종 소비의 전기화는 재생에너지로 채워져야 함.
- TES에 따르면 2019년 8백만대의 전기차는 2050년 11억대까지 증가함. 기존 난방시스템에 비해 2~4배의 에너지효율을 가지는 히트펌프는 10배 이상 증가함.

2) 강화된 전력 시스템 유연성

- 전력시스템의 유연성은 미래 전력시스템의 근간(backbone), 높은 비율의 변동성 재생에너지를 수용하는 핵심 열쇠(key enabler).
- 기후친화적 에너지시스템은 전기화, 디지털화, 탈탄소화.
- 현재 변동성 발전량이 연간 30%를 넘을 경우 일시적으로 총전력수요에 근접하거나 그 이상을 발전함. 이러한 초과전력은 새로운 비즈니스 기회를 만들고, 이는 전기화를 촉진함. TES 시나리오에서 2050년 변동성 전원인 태양광발전, 풍력발전은 설비용량으로는 73%, 발전량은 60%(현재는 10%) 담당함.
- 전력시스템은 현재 또는 개발중인 혁신기술을 활용하여 비즈니스 모델, 시장계획, 시스템 운영을 변화시켜 시스템의 유연성을 최대화해야 함.
- 기술 차원에서 저장은 단기, 장기 모두 중요. 현 30GWh에서 2050년 9,000GWh로 증가. 전기차는 전력 시스템 안정과 전력 저장 측면 모두에서 매우 중요. TES에서 전기차의 저장능력은 2050년 14,000GWh ~ 23,000GWh로 증가.
- 그러나 대부분의 유연성은 계통확장과 운영수단 예를 들어 수요 부문의 유연성, 부문간 통합(sector coupling) 같은 다른 수단으로 확보. 전기차의 스마트 저장은 수요의 유연성과 저장능력의 향상, 계통 유연성 확보의 잠재량은 매우 크다고 평가.
- RES에서 전력시스템의 스마트화를 위한 투자는 2050년까지 현 13조 달러에서 26조 달러로 증가해야 함.

3) 전통적인 재생에너지 역할

- 수력, 바이오, 태양열, 지열의 잠재량은 극대화해야 하며, RES에서 온실가스 감축의 1/4을 담당. 수력과 바이오 에너지는 특별히 중요한 역할을 함.
- RES에서 수력은 미래 전력시스템에서 매우 중요, 설비용량이 2030년까지 25% 증가해야 하며, 2050년까지 60% 증가해야 함. 양수발전은 2배로 증가해야 함. 2050년까지 두 종류의 설비를 합하여 대략 유럽의 전체 발전 용량인 850GW의 수력발전 설비 증가가 필요. 수력은 태양광, 풍력발전의 변동성에 대응할 수 있고, 계절적 특수성을 상호 보완할 수 있으며, 홍수 저감 등 수자원 관리에도 유용.
- 수력발전 증가는 새로운 댐 건설, 기존 발전소 업그레이드, 기존 댐 활용 등으로 가능함. 신규 수력발전 계획은 지역에 대한 환경영향 조사와 지역 공동체와 협의 필수. 재생에너지 간헐성 대응, 가변속 발전, 저수량 관리 등 운영계획의 변화 필요. 정책결정권자는 장기간의 건설기간이 소요되는 수력발전 건설에 대한 종합계획을 수립 필요, 기존 수력발전을 새로운 전력계통에서 요구되는 성능을 발휘하기 위한 현대화 계획 필요.

- 바이오 에너지는 최종에너지 부문에서 역할이 더욱 높아질 것. 바이오 에너지는 현재도 재생에너지의 중요한 비중을 차지하며, 산업용 열과 전력생산 그리고 수송분야에서 중요한 에너지원으로서 존재.
- 현재 계획된 시나리오에서 바이오 연료를 제외한 현대적 바이오 에너지의 1차에너지 비중이 현 5%에서 10%까지 증가. TES에서 바이오 에너지는 전기화가 곤란한 해상운송 및 항공운송 그리고 산업분야에서 공정 열 공급 및 연료로서 중요한 역할, 그 비중은 23%까지 증가. 현재 전통적 바이오 에너지는 현대적 바이오 에너지로 대체해야 함. 바이오 에너지는 환경적, 사회적, 경제적으로 지속가능한 방법으로 개발되어야 함.
- 바이오 에너지 잠재량은 매우 큼. 기존의 농지, 초지를 활용하여 숲을 파괴하지 않고 경제적이고, 친환경적으로 생산. 바이오 에너지 생산은 식량생산과 충돌하지 않으면서 생산할 여지는 많음.

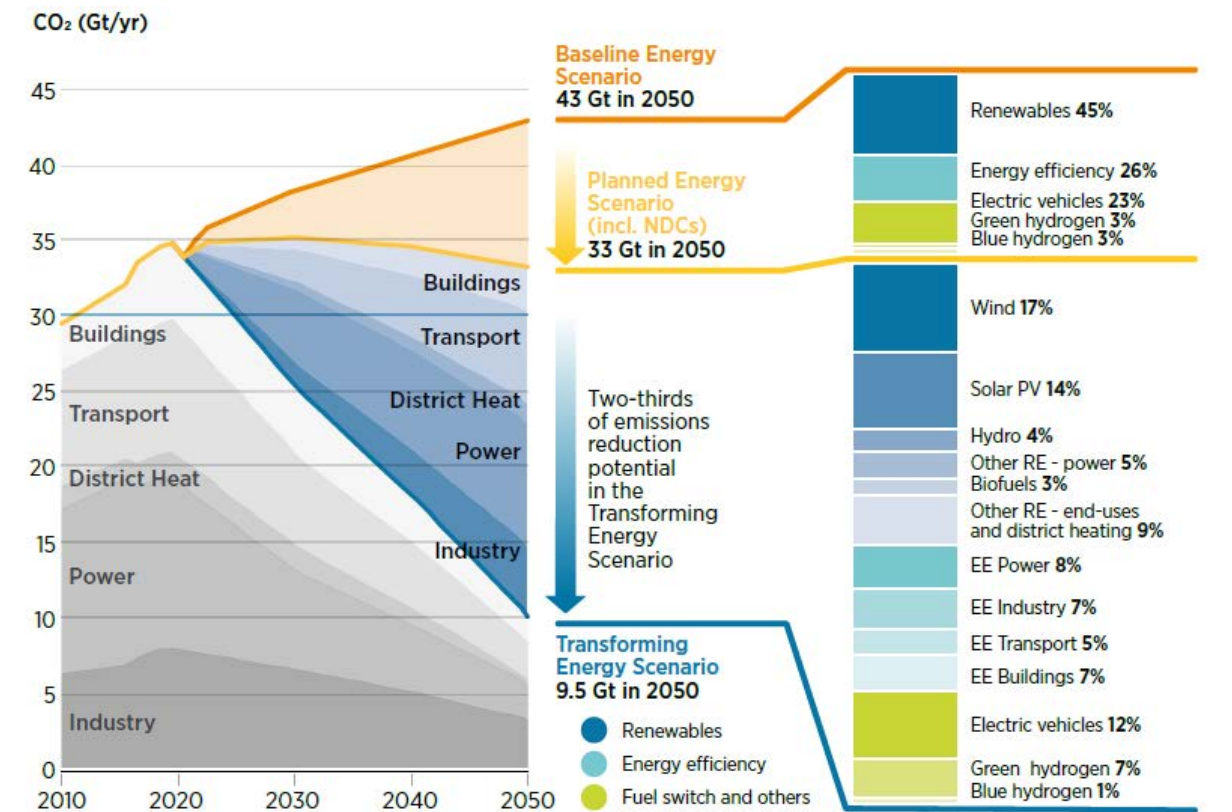
4) 그린수소

- 수소는 전기화가 곤란한 분야의 에너지 소비를 충족하기 위해 필요. IEA에 따르면 2018년 7천만톤 수소 생산. 대부분의 수소는 화석연료에서 생산. 그린수소는 1% 미만.
- 2020년 초반 일본에서 10MW 전기분해 그린수소 생산설비 가동, 가격은 빠르게 하락 예상. 재생에너지 여건이 좋은 지역에서 생산된 그린수소는 블루수소(CCS를 하는 화석연료 수소)와 조만간 경쟁이 가능할 것. 재생에너지 가격이 더욱 하락할 경우 향후 5~15년 내에 그린수소는 여러 지역에서 블루수소보다 저렴해질 것. 에너지 집약적인 산업 예를 들어 제철 및 암모니아 생산 등은 재생에너지가 저렴한 지역으로 그린수소 생산지를 찾아 공장을 옮길지도 모름.
- 2020년에 그린수소로 생산한 암모니아가 첫 선을 보일 것. 수소는 암모니아와 탄화수소 연료로 전환시킬 수 있으며, 이를 통해 배, 비행기, 제철 및 석유화학 산업의 온실가스 저감에 기여할 수 있음.
- 가스산업은 수소를 가스 인프라 사용을 연장할 수 있는 기회로 생각. 그러나 이런 관점은 실제 가스의 온실가스 배출 저감에 기여할지 검토가 필요하며, 자칫 탄소 집약적인 인프라에 대한 잠김(lock-in) 효과를 불러올 가능성도 검토해야 함.
- 수소 상품 거래는 이제 발생기이지만 수소는 청정에너지 벡터가 될 것. 넓고 멀리 떨어진, 낮은 가격의 재생에너지 생산이 가능한 지역에서의 수소 생산은 지정학적인 의미를 가짐, TES에 따르면 2050년에 연간 1억6천만톤의 그린수소가 생산. 이는 현 에너지소비의 5%에 해당.
- 그린수소 생산을 위해 전기분해 기술의 업그레이드 필요, 2050년까지 그린수소 생산을 위해 연간 50GW~60GW의 신규 재생에너지 설비가 추가 보급되어야 함.

5) 도전적인 분야의 혁신이 필요(FOSTER INNOVATION TO ADDRESS CHALLENGING SECTORS)

- TES는 2050년까지 50% 전력화 함. 나머지 50%에 대한 고려가 있어야 함. 이와 관련 1/3은 이미 재생에너지로 최종 소비되며, 나머지 2/3는 화석연료가 담당. 화석연료 사용을 줄이기 위해 태양열, 바이오 에너지, 지열 사용, 에너지효율을 높여야 하고, 수요 자체를 줄일 수 있는 구조적 변화 및 전기화가 필요.
- 나머지 3/4의 온실가스를 배출하는 해운, 항공, 중공업의 에너지 소비를 줄이 대책이 필요. 이 분야는 보다 깊은 탈탄소 관점(Deeper Decarbonisation Perspective (DDP))에서 기술. 도전적인 분야인 이 영역은 화물, 배, 비행기, 중공업 분야인데 바이오연료, 합성연료, 새로운 재료, 순환경제 등을 통해 감축. 에너지 집약도가 높은 산업이 많은 중국과 같은 나라는 에너지의 50%를 이 분야에서 소비. 많은 에너지를 소비하는 제철, 제강, 시멘트, 석유화학 분야의 해결책을 찾아야 함. 또한 공정에서 배출하는 온실가스를 줄이기 위한 대책도 수립해야 함.
- DDP는 도전적 분야의 온실가스 배출제로를 위해 재생에너지 60%, 에너지효율 및 구조적, 행동적 변화를 통해 37%, CCUS와 원자력을 통해 나머지 3%를 감축. 전체적으로 에너지 및 공정 배출을 제로화 하는 기본 에너지 시나리오(Baseline Energy Scenario)는 재생에너지가 43%, 에너지효율 26%, 전기차 12%, 그린수소 9%, CCS/CDR 7%, 행동변화 2%, 원자력 1% 감축.
- ETS(Energy Transformation Scenario)는 탄소배출을 2050년까지 해마다 3.8% 감축해야 함. 에너지 관련 탄소배출은 2050년까지 70%를 감축해야 함.
- TES 시나리오는 2050년까지 온실가스 배출의 50% 이상은 재생에너지(전력과 최종소비), 1/4 가량은 에너지효율을 통해 감축. 직간접적 전기화를 포함할 경우(그린수소, 전기차 등) 재생에너지를 통한 전체 감축은 90% 이상 차지. DDP에서 도전적 분야인 배, 비행기, 중공업 분야의 감축을 위해 추가적인 재생에너지, 전기화, 에너지효율, 탄소 경영, 구조적인 변화 및 행동의 변화가 요구됨.
- 비에너지 분야의 감축 노력도 필요하다. 토지이용, 토지이용변화와 숲(LULUCF), 석탄, 석유, 가스 산업의 비산 가스 배출 감축 노력도 필요하다.

<그림 2-3> IRENA, TES 시나리오의 온실가스 감축 기여도

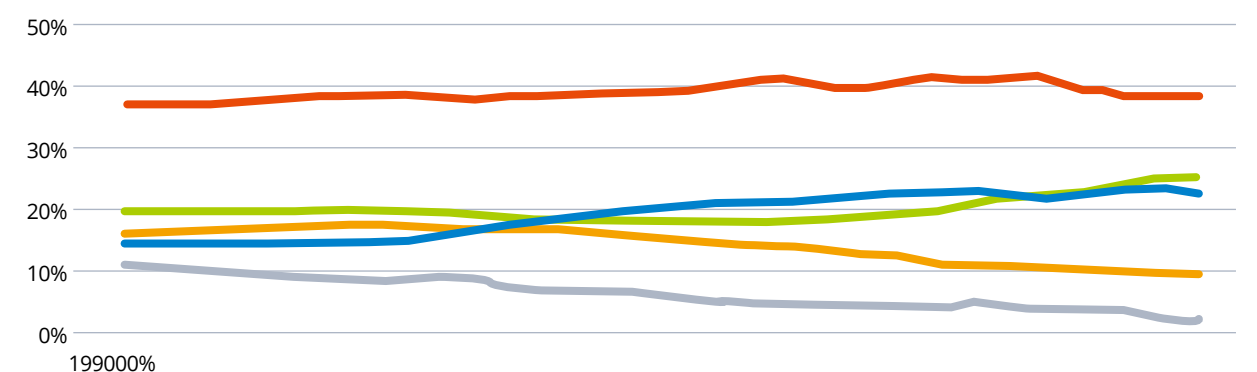


출처 : IRENA (2020), Global Renewable Outlook

> <세계 전원별 발전량 동향(IEA, World Energy Balances 2019)>

- 재생에너지 전력은 세계 많은 국가와 지역에서 기존 발전원 대비 경쟁력 확보함,
- 아래 그림 세계 발전량 믹스 동향에서 보듯이 석탄·원자력·유류 발전은 감소하고 있으며, 재생에너지·천연가스는 증가하고 있음.
- 재생에너지에 보수적인 전망을 하는 IEA조차 재생에너지의 가격 경쟁력을 높게 평가하고 있음.

<그림 2-4> 세계 발전량 믹스 동향



출처 : IEA (2019), World Energy Balances 2019

2.2.2 국내 시나리오 및 감축 방안

▶ 홍종호, 대한민국 2050 에너지전략

1) 왜 에너지전환인가?

- 에너지 안보 : 에너지 소비 세계 9위, 에너지 수입 95%,
- 경제위기 극복 견인 : 잠재성장률 2%대 하락, 4차산업혁명과 에너지 혁신, 포스트 코로나 경제회복
- 안전하고 깨끗한 에너지 : 원전 밀집도 세계 1위, 재생에너지 발전 비중 OECD 꼴찌, 미세먼지 농도 OECD 1위
- 온실가스 감축 : 연료 연소 이산화탄소 배출 세계 7위, 지구온난화 기후변화 기후위기 기후비상사태

2) 2050 에너지 시나리오

[표 2-3] 지속가능한 미래를 위한 2050 에너지 시나리오

시나리오	BAU	점진형(MTS)	적극형(ATS)	비전형(VTS)
정책·기술조건	국책연구원의 「2016 장기에너지 전망」 기반	1인당 에너지 소비 저감을 위한 수요 관리 중앙집중형 발전소 점차 축소	평균기온 상승 2°C 제한을 위해 보다 적극적인 수요관리	최종 에너지 수요의 100%를 재생에너지로 공급
최종에너지 수요 (2014년 기준)	2050년까지 35.4% 증가	2050년까지 7.0% 감소	2050년까지 24.0% 감소	2050년까지 24.0% 감소
최종에너지 전력 생산 비중	2014년 31.9%에서 2050년 34.0%로 증가	2014년 31.9%에서 2050년 45.8%로 확대	2014년 31.9%에서 2050년 45.6%로 확대	2014년 31.9%에서 2050년 75.9%로 대폭 확대
총발전량 중 재생에너지 발전비중	2014년 2.1%에서 2050년 6.1%로 증가	2014년 2.1%에서 2050년 67.7%로 증가(5070 시나리오)	2014년 2.1%에서 2050년 60.4%로 증가(5060 시나리오)	2014년 2.1%에서 2050 100% 달성 (5000 시나리오)

출처 : 홍종호 외 (2017), 지속가능한 미래를 위한 대한민국 2050 에너지 전략, WWF

- BAU의 경우 발전량은 2014년 480TWh에서 2050년 675TWh로 약 29% 증가하며, 이 중 원자력42%, 석탄29%, 가스19%, 재생에너지4% 비중
- 점진적 전환 시나리오(Moderate Transition Scenario, MTS)의 경우 2050년 발전량은 626TWh, 이 중 태양광 265TWh(42%), 풍력 105TWh(17%), 천연가스 78TWh(13%), 원자력 80TWh(13%), 석탄 43TWh(7%)비중

- 적극적 전환 시나리오(Advanced Transition Scenario, ATS)의 경우 최종에너지는 2014년 129.5Mtoe에서 2050년 98.4Mtoe로 24% 감소
- 비전형 전환 시나리오(Visionary Transition Scenario, VTS)의 경우 최종에너지 소비는 2014년 129.5Mtoe에서 2050년 98.4Mtoe로 24% 감소, 71.8Mtoe (75%) 전력; 10.7Mtoe (11%) 열(RR); and 7.3Mtoe (8%) 바이오 5.9Mtoe(6%)

▶ 권필석(2020, Accelerating energy transition in South Korea)

1) 목적

- 전력부문 온실가스 감축 대안 시나리오 연구(2030, 150백만CO2톤 배출 목표)

2) 이산화탄소 감축 시나리오 구성

- 탄소세(이산화탄소 배출에 비용) 부과(톤당 1만~10만원 부과)
- 석탄발전 조기 퇴출 위한 설계수명(30년, 25년, 20년) 조건 부여
- 재생에너지 확대(정부 계획에 제한 받지 않고 최대한 보급)

3) 시나리오 분석 결과

- ① 탄소세 부과-탄소세 부과가 없을 경우 전력의 45%를 담당하던 석탄발전은 탄소세 부과 가격이 높을수록 가스발전이 증가. 톤당 10만원 부과 시 석탄발전 8% 발전. 이경우 이산화탄소 배출 151백만CO2톤을 달성. 하지만 비용이 지나치게 상승.
- ② 석탄발전의 설계수명을 30년, 25년, 20년으로 설정할 경우 2030년 석탄발전량은 22.5%까지 하락 가능. 현재 건설 중인 7기의 석탄발전은 가스발전으로 대체한 시나리오임. 설계수명을 앞당길수록 전력부문의 감축 목표 달성이 용이.
- ③ 재생에너지 경쟁력은 외부비용이 증가할수록 높아짐. 재생에너지 최대 시나리오는 92GW(태양광 42GW, 풍력 50GW)일 때 발전량 비중 32% 차지. 재생에너지 확대를 통해 온실가스는 최대 90백만 CO2톤 절감 가능
- ④ 모델링 결과 2030년 150백만CO2톤 달성 위해서는 복합 수단 필요

- ⑤ 탄소세 10만원 초과할 경우와 설계수명 20년 조기퇴출을 병행할 경우 목표 달성
- ⑥ 복합 수단 중 재생에너지 확대와 조기퇴출을 병행할 경우 가장 경제적으로 목표 달성.

4) 우리나라 탈탄소 도전과제

- ① 토지 이용 및 공공 수용성
 - 토지 이용, 복잡한 허가 절차
 - 재생에너지에 대한 부정적 인식
- ② 전력시장과 재생에너지 가격
 - 비재생 및 재생에너지 발전에 대한 동시 보조
 - 프로슈머에 대한 무대책과 재생에너지 가격 하락 저조
 - 장단기 전력시장 부재
- ③ 전력계통과 전력시스템 유연성 부족
 - 과다한 경직성 전원
 - 송전선로 확장 지체

▶ 이창훈, 2019, 탈탄소 에너지전환 시나리오- 지속가능발전과 에너지·산업전환: 기후변화 정책목표 1.5°C 대응을 중심으로

1) 1.5°C 대응 탄소 예산

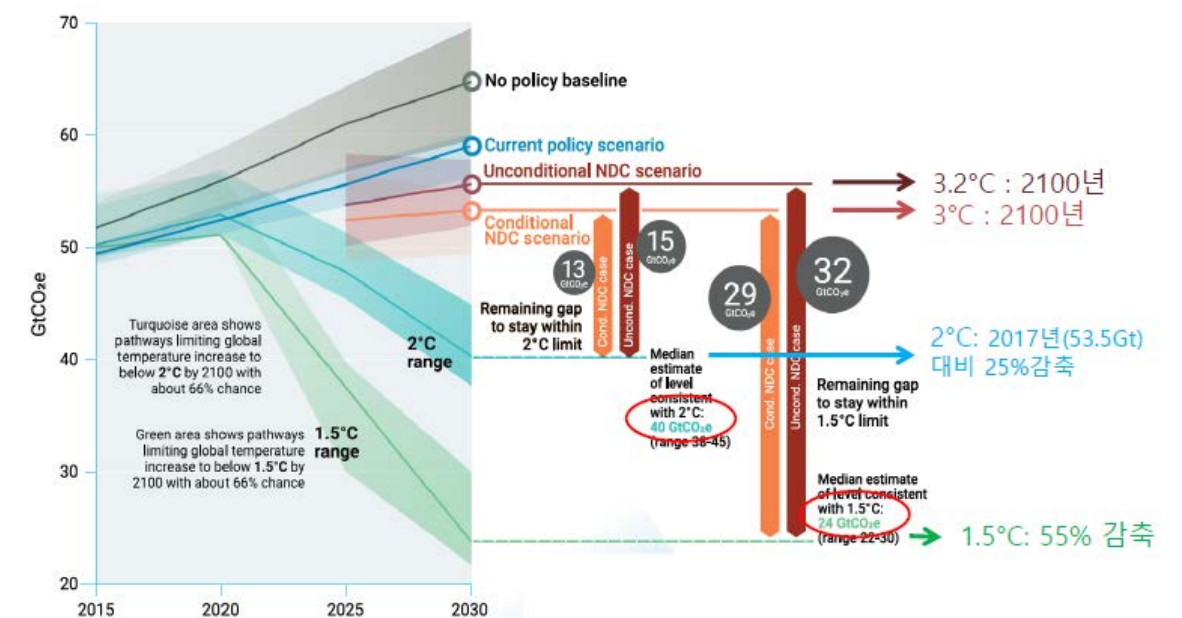
- 1.5°C 대응 온실가스 배출량 (Global Carbon Budget)
- IPCC 1.5°C 보고서(2018)의 이산화탄소 배출경로
- 순배출 0 달성 시점
- 1.5°C 목표 시 : 2050년 전후, 2030년, 2010년 대비 45% 감축
- 2°C 목표 시 : 2070년 전후, 2030년, 2010년 대비 20% 감축
- 1.5°C 에너지전환 시나리오 (2010년 대비 2030, 2050 비율)
- CO2배출 : 58%, 93% 감축
- 최종에너지수요 : 15%, 32% 감축
- 전력 재생E 비중 : 60%, 77%
- 1차에너지 재생E 비중 : 49~67%(50)
- 최종에너지 전력비중 : 34~71%(50)

2) 1.5°C 대응 온실가스 국내 배출량 (National Carbon Budget)

- 국제협약의 감축부담 배분원칙 : 공정성 (Fair Sharing of Burden)
- 형평(Equity) : 1인당 온실가스
- 책임(Responsibilities) : 누적온실가스배출량(1850~, 1950~, or?)
- 역량(respective capabilities) : 국민소득, 1인당 GDP, HDI, 소득

* 협약 3조3항에, 비용효과성(Cost-Effectiveness)도 원칙으로 제시되고 있으나 비용효과성은 국가간 '배출권'거래를 통해 달성할 수 있고, 이를 통해 개발도상국
의 지속가능발전을 촉진할 수 있다는 점에서 부차적 원칙

<그림 2-5> 시나리오 별 온실가스 기여도(이창훈 재인용)



출처 : UNEP Emissions Gap 2018 보고서

3) 심층 에너지전환 시나리오

- 에너지효율의 획기적 개선, 탈탄소 잠재량이 높은 전력비중 증가, 재생에너지 이용의 대폭 확대를 통해 국내 이산화탄소배출량을 2017년 592백만톤CO_{2e}에서 2050년 50백만CO_{2e} 91.5% 줄이고, 개발도상국 온실가스 감축지원을 통해 순배출 0 달성

4) 1.5도시 대응 시나리오 전략

① 에너지 효율의 획기적 개선

- 2018년 이후 에너지효율성을 매년 3.0% 개선하여, 에너지 집약도(TOE/백만원)를 2017년 0.114에서 0.042로 줄이고, 최종에너지 소비는 2017년 172.6백만TOE에서 2050년 114.4백만TOE로 33.7% 절감

② 에너지 수요의 전기화

- 발전량은 2017년 553.5TWh에서 935.1TWh로 68.9% 증가하고, 최종에너지 중 전기 비중은 2017년 25.3%에서 2050년 63.7%로 증가

③ 발전부문 재생에너지 확대

- 전기화와 더불어 전력생산에서 태양광, 풍력 등 재생에너지 이용을 대폭 확대하여 발전부문의 탄소 집약도를 최소화.
- 재생에너지 비중을 최대 85%까지 제고하고, LNG 발전 및 에너지저장기술(배터리, 수소, P2G 등)을 통해 전력계통의 유연성을 확보.
- 2040년까지 발전부문 탈석탄, 탈석유를 완료하고, 원자력은 현 정부의 정책을 반영하여 수명연한 40년 또는 60년 보장(2050년 기준 12.4GW 용량 발전)

④ 발전부문 심층 에너지전환 전략

- 발전부문 배출량은 2017년 233백만톤CO2를 2050년 16백만톤CO2로 감축하는 탈탄소화로 전력의 탄소집약도(tCO2e/MWh, 소비단) 2017년 0.4046에 0.0194로 개선.
- 발전부문 전력믹스는 탄소집약도가 높은 석탄발전 비중을 지속적으로 낮추어 이를 태양광, 풍력 등 재생에너지로 대체

⑤ 재생에너지 발전량 확보 가능성

- 2050년 재생에너지 발전량을 육상 태양광과, 해상 풍력(부유식 포함)을 통해 50%씩 달성한다고 하면
- 각각의 이용률 15%, 30% 가정 하에, 305GW, 152GW가 필요
- 2050년 필요 태양광 시설용량의 3/4정도(229GW)를 영농형태양광으로 할 경우의 설치면적은 기존 나대지 태양광시설에 비해 1.5배가 필요, 전체 경지면적의 약 20%인 3,050km2를 차지
- 태양광효율이 평균 30%로 개선된다는 가정이며, 효율개선이 이루어지지 않아 20% 수준에 머물 경우 시설 설치를 위해 전체 경지면적의 30%가 요구
- 이창훈 외(2014, 81쪽)에 따르면 수심 50m 이내, 해안으로부터 50km 이내이면서 풍력밀도 300W/m2 이상인 해양면적은 88,829km2로 이 지역의 20%에 풍력발전기 약 88GW를 설치하고,
- 부유식 해상풍력시설을 수심이 깊은 동해안에 설치하면, 2050년 해상풍력 필요용량 확보 가능
- 육상태양광과 해상풍력 설치요구량은 기술적, 경제적으로 달성 가능하나, 모두 대규모 설치 면적을 요구하여 농촌 및 해양 경관을 근본적으로 바꾸므로, 새로운 경관에 대한 인식 전환 및 적응이 필요

⑥ 재생에너지 간헐성 극복방안

- 태양광, 풍력의 재생에너지전력은 자연에너지로 기상조건에 따라 발전량을 인위적으로 통제할 수 없고, 또 이용률이 낮아 재생에너지 발전비중이 높을수록 필연적으로 잉여전력이 발생
- 재생에너지전력의 간헐성을 보완하는 전력운영시스템의 재설계가 필요하며, 특히 잉여 재생에너지전력의 효율적인 저장(양수, 배터리, 수소생산, 메탄생산) 및 활용이 요구
- 이들 저장장치의 활용에 따른 전환손실을 고려하면, 2050년 재생에너지 필요 발전용량은 더욱 증가할 수 있음.

2.2.3 우리나라 2050 재생에너지 공급 시나리오 제안

1) 기본 전략

- 유엔은 1.5도시 목표를 위해 2030년 이산화탄소 배출 45%, 2050년 순배출제로 요구
- 유엔은 각국에 강화된 NDC 제출 요구(2015년 NDC 최초 제출 후 5년마다 제출).
- 유엔은 각국에 2020년 말까지 2050 장기저탄소발전전략(LEDs)의 제출 요구.
- 우리나라도 2050년 이산화탄소 순배출제로를 위한 이행계획 수립 필요.
- 2050년 온실가스 배출제로 위한 전략은
첫째, 최종에너지 소비를 줄이고,
둘째, 산업, 수송, 건물의 에너지를 전력화하고,
셋째, 전력의 재생에너지화.
- 결국 2050년 온실가스 배출제로는 에너지소비를 최대한 줄이고, 재생에너지를 최대한 공급함으로써 달성.
- 2050년 에너지소비는 2017년 최종에너지 소비량의 30~50%를 절감하는 것으로 가정하고, 최종에너지의 80%를 전력화하며, 전력의 90%를 재생에너지로 공급하는 시나리오를 제시하고자 함.
- 2017년 최종에너지는 제3차에너지기본계획에서 176백만toe(산업용 원료 제외).

2) 2050년 재생에너지 전력 목표

- <전제>

- 2050년 최종에너지는 2017년 최종에너지의 30~50% 절약

- 2050년 최종에너지의 전기화 비율은 80%

- 2050년 전력의 재생에너지 비율 90%
- <2050년 재생에너지 전력 설비 규모 계산>

- 2050년 최종에너지 176백만Toe(원료용 소비 제외)의 50% 감축은 88백만Toe

- 2050년 최종에너지 88백만Toe 중 80% 전기화는 70.4백만Toe=819TWh

- 2050년 70.4백만Toe의 90%는 63.36백만Toe임.

- 1백만Toe는 11.63TWh이므로 63.36백만Toe는 약 737TWh임.

- 2050년 최종에너지 176백만Toe(원료용 소비 제외)의 30% 감축은 123.2백만Toe

- 2050년 최종에너지 123.2백만Toe 중 80% 전기화는 98.56백만Toe

- 2050년 98.56백만Toe의 90%는 88.704백만Toe임.

- 백만Toe는 11.63TWh이므로 88.704백만Toe는 약 1,032TWh임.
- 3) 2050년 재생에너지 설비량: 태양광발전 400GW, 풍력발전 100GW, 양수 50GW
- 이용률은 태양광발전 15%일 경우 , 풍력발전 27.5%일 경우 766.5TWh 생산

- 태양광발전 400GW는 연간 400GW*8760h*0.15=525,600GWh=525.6TWh 전력 생산

- 풍력발전 100GW는 연간 100GW*8760h*0.275=240.9TWh 전력 생산

- 양수발전 50GW는 연간 50GW*8760h*0.3=131.4TWh 전력 생산,

- 양수발전 효율 80%일 경우 131.4TWh/0.8 = 164.25TWh이므로

- 양수발전은 연간 펌핑 164.25TWh 사용하고, 발전은 131.4TWh할 경우 32.85TWh 소비.

- 제8차전력계획에서 전력소비량은 연평균 1.0% 증가하여 2030년 579.5TW이며, 최대전력은 연평균 증가하여 2030년(동계) 기준 100.5GW 전망함.

- 위 계획에 비추어 2030년, 2040년, 2050년 재생에너지 발전량을 아래와 같이 설정
- [표 2-4] 중장기 태양광발전, 풍력발전 설비 규모
- | | 2030년 | | 2040년 | | 2050년 | |
|--------|--------------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|-------------------------------|----------|
| | 시설용량 | 발전량 | 시설용량 | 발전량 | 시설용량 | 발전량 |
| 태양광 | 80GW | 105.12TWh | 220GW | 289.08TWh | 400GW | 525.6TWh |
| 풍력 | 30GW | 72.27TWh | 60GW | 144.54TWh | 100GW | 240.9TWh |
| 태양광+풍력 | 177.39TWh
(총전력 600TWh의 30%) | | 433.63TWh
(총전력700TWh의 60%) | | 766.5TWh
(총전력 819TWh의 90%) | |
- 2030년 : 태양광 80GW(105.12TWh), 풍력 30GW(72.27TWh), 177.39TWh(총전력 600TWh의 29.5%)

- 2040년 : 태양광 220GW(289.08TWh), 풍력 60GW(144.54TWh), 433.62TWh (총전력 700TWh의 61.9%)

- 2050년 : 태양광 400GW(525.6TWh), 풍력 100GW(240.9TWh) 766.5TWh (총전력 819TWh의 93.6%)
- 4) 태양광발전 설치면적, 기대효과, 경제성
- ① 태양광발전 설치면적 : 1kw=모듈(18%, 340W, 1m*2m) 3장, 6㎡, 이격거리 감안 10㎡ 1MW(1000kw), 1000*10㎡=1ha

- 태양광발전 400GW 중 100GW는 도시 공간, 300GW는 전용 부지(국토의 3%) 필요.

② 태양광발전 일자리 창출 효과 : 1MW 비용, 20억 20.6명, 10억 10.3명 (산업연구원) 고용유발효과: 건설업: 10.03, 제조업(전지): 5.06

③ 태양광발전 CO2 흡수량 : 소나무숲의 65.88배, 1,314MWh*(540kg/MWh)/ha,년=709.56톤/ha,년 (산림과학원) 30년 소나무숲의 이산화탄소 흡수량: 10.77톤/ha,년

④ 태양광발전, 풍력발전은 석탄발전, 원전을 대체하며, 더 경제적.

⑤ 태양광발전, 풍력발전은 도시, 산업단지, 도로, 논밭보다 환경친화적.

- 태양광발전, 풍력발전은 공기, 토지, 수질 오염 없고, 기타 환경영향은 최소 수준.
- 5) 풍력발전 설치면적, 설치방법, 경제성
- ① 육상풍력터빈 유니스 4.2MW 모델 날개 직경(D) 151m, 타워 간 이격거리 2D, 3D 가정

- 가로 세로 5줄씩 25개 정사각형일 경우 면적 최소화, 3D 적용

5*5 정사각형은 (0.453km*4)=1.812, 1.812*1.812=3.28km² 이므로 1GW는 32.8km²

- 1렬일 경우 2D 적용 1*(0.302*24)=7.248km²이므로 1GW는 72.5km²
- 40
- 41

② GE 해상풍력발전기 6MW, 직경(D) 150m, 이격거리 3D 기준 적용시

- 정사각형은 $(0.15 \times 3 \times 4) + 1 = 2.8$, $2.8 \times 2.8 = 7.84 \text{km}^2$,
6MW 25개는 150MW이므로 1GW 면적은 $7.84 \times 1000 / 150 = 52.27 \text{km}^2$
- 일렬일 경우는 $0.15 \times 3 \times 24 + 1 = 11.8$, $11.8 \times 1 = 11.8 \text{km}^2$
1GW 면적은 $11.8 \times 1000 / 150 = 78.67 \text{km}^2$
- 1GW 소요면적 : 30 km^2 (직경의 3~5배 이격, 3.3MW 날개 직경 140m)
- 설치장소 : 육상 30GW, 해상 70GW

③ 설치지역

- 백두대간 중 생태자연도 2등급 지역 설치
- 서남해안 평야에 설치(150m타워, 100m날개)
- 해상 : 정부주도의 입지계획과 송전선로 구축 뒤 최저가 입찰

④ 토지비용 : 90조, 3만원/m²

⑤ 풍력설치비 : 100~200조, 10억~20억/MW

⑥ 연간 풍력발전 수입 : 24.09조(이용율: 27.5%, 육상 20%, 해상 30%)

5) 유연성 확보방안

① 송전선로 확장 및 전력시장 변화

- 재생에너지 확대는 전력계통에 대한 대대적 투자 필수, 발전:송전 투자비는 1:1
- 대규모 재생에너지 발전소 건설로 경제성에 기초한 에너지전환(종합계획 필요)
- 전력의 쌍방향 흐름, 실시간 모니터링 및 제어를 통해 계통 유연성 확대.
- 전력시장의 변화
 - 기후 및 발전량 예측 프로그램 개발,
 - 전력균형 유지 위한 용량요금제 도입
 - 계약시장(연/월/주/일)과 실시간시장(일/시간/15분/5분) 세분화,
 - 소비자의 선택권 강화, 생산자와 소비자의 직거래 허용.
 - DR 위한 시간요금제 도입.
 - 외국과의 연계선로(10~20GW) : 국내 전력계통 보강 및 인근 국가와 연계 강화

② 양수발전

- 수력발전 현황(에너지공단 신재생에너지백서, 2018)
- 양수발전소 : 4,700MW(제8차전력계획에서 2GW추가), 4,088GWh(9.9%이용율) 생산

- 대수력 : 수자원공사 1GW, 한수원 595MW, 3,561GWh(25.5%이용율) 생산
- 소수력 : 188MW(237개소), 662GWh(40%이용율) 생산
- 산악지형을 활용, 양수발전 최대한 확대 : 10~20GW
- 각 시군구별로 고르게 분포 필요. 밤낮으로 이용으로 경제성 확보 가능
- 양수발전은 시군구의 에너지자립사업으로 수익사업형태로 예산 지원 통해 개발.
- 수력, 조력은 여건이 허락하는 한 최대한 확보 : 새만금 조력, 댐, 저수지, 하천, 양어장, 하수처리장 등 활용.

③ 바이오발전

- 바이오가스는 필요할 때 발전할 수 있는 유연성 발전자원으로 최대한 에너지화.
- 목질계, 곡물부산물, 축분, 음식물쓰레기 등 유기성폐기물을 활용한 혐기 소화 발전.
- 런던협약으로 해양투기 및 직매립이 금지됨으로써 에너지화가 필수, 파리협약의 체결로 온실가스발생 및 처리에 대해 유엔에 보고해야 함.
- 유기성폐기물은 부패하면 온실효과지수가 높은 메탄이 발생하므로 전량 에너지화 필수.
- 유기성폐자원 잠재량은 31만toe/년~98만toe/년(신재생에너지백서)
- 산업부는 3020에서 유기성폐자원, 바이오매스, 매립지가스를 통해 120만toe/년 목표.

이슈 : ① 해외 펠렛 수입 금지, ② 국내 바이오작물 재배 기술지원 및 매수 단가 보장, ③ 축산농가의 분뇨 적정 처리 증명제 도입

④ 배터리

- EV(100kwh, 600km) 1천만대, 10~20% V2G 참가 시 저장 용량은 50kwh*100만대~200만대
=50~100GWh
- EV(100kwh, 600km) 사용 후 배터리(초기 용량의 80%) ESS 활용 가능 매년 100만대의 배터리
100kwh*0.8*100만대=8GWh ESS 재활용 가능 재활용 배터리 10년 사용 시 80GWh
- ESS 500GWh = \$5billions ESS 가격 \$50/kwh, 5000cycles이고, PV 가격 \$50/MWh일 경우의 PV+ESS
전기가격은 \$60/MWh(pv50+ess10)

⑤ 수요반응(DR, Demand Response): 20GW

- 이동가능부하(deferrable load, 냉동, 냉난방, 열저장, 히트펌프 등)는 시간요금제(Time Of Use)에 맞추어 사용시간 조절 가능,
- 대규모 이동가능부하 뿐 아니라 소규모의 이동가능부하와 ESS는 중개자에 의해 집합적으로 전력시장에서 역할 가능
- 프로슈머의 등장과 확산은 남는 전력을 팔 수 있는 시장을 요구할 것이며, 이는 전력시장 변화의 기본 동인.
- DR시장이 성장하기 위해서는 쌍방향 모니터링과 콘트롤 가능한 시장 환경 필수.
- 전력플랫폼은 전력생산자와 소비자의 자유로운 거래가 가능한 방향으로 변화.

2.3 시사점 및 정책과제

2.3.1 국내외 시나리오 연구의 시사점

- 발전 부문의 석탄발전 퇴출에 대한 공감대 확산
- 석탄발전의 배출 원단위는 가스발전의 2.7배, 전력부문의 온실가스 감축은 석탄발전이 우선
- 가스발전의 퇴출 속도에 대한 각국의 태도와 전략은 상이.
- 중유발전의 경우 세계 발전량의 2% 수준, 최근 재생에너지와 배터리를 활용한 마이크로그리드 확산으로 중유 발전 감소세.
- 유럽, 미국, 중국, 인도, 일본 등은 재생에너지를 확대함으로써 석탄발전을 우선적으로 감축하는 전략 채택.
- 재생에너지 변동성에 대응하기 위한 유연한 전력계통에 대한 투자의 중요성 부각
- 에너지전환은 트레이드오프(trade-off) 관계로서 좌초자산 발생 등 정치사회적 갈등을 수반하므로 정치사회적 합의가 매우 중요, 그에 따라 정의로운 전환 기금도 중요.
- 우리나라의 기후위기 및 에너지전환에 대한 인식이 선진국 대비 부족한 현실에서 이에 대한 인식과 이해를 높여 본격적인 기후대응이 가능하고, 관련 입법이 가능할 것.

2.3.2 우리나라 재생에너지 보급 전략 및 정책 과제

1) 재생에너지 보급 전략

- 국제적 상황인식
 - 파리협약의 목표 1.5도 달성을 위한 국제사회의 흐름은 RE100에서 보듯 새로운 경제, 무역, 기술 기준임.
 - 수출이 중요한 우리나라로서 기후변화에 적극 대응하여 적응하여야 함.
 - 1.5도 달성을 위한 국제사회(IPCC)의 요청인 2030년 45% 감축, 2050년 배출 제로를 위한 노력 필수.
 - 2050년 온실가스 순배출제로를 위한 최종 에너지 소비 감축, 효율향상, 재생에너지 공급 목표를 제시하고, 미세먼지와 온실가스 감축을 위한 전쟁을 선포하고, 이를 위해 국민적 역량을 결집해야 함.
 - 최소 재생에너지 4040, 5060은 국제사회의 책임 있는 일원으로서, 수출산업국가로서 지속가능한 발전을 위해 필수불가결한 상황임.

● 우리나라 2050년 온실가스 감축 목표와 전략

- 문재인대통령이 10월 28일 국회에서 기후위기 대응과 그 목표를 '2050년 탄소 배출 중립'으로 분명히 제시 한 만큼 보다 구체적이고 실질적인 로드맵과 정책수단 필요.
- 2050년 목표가 분명해야 이를 위한 에너지절약 및 재생에너지 보급 목표 설정이 가능.
- 각국의 재생에너지 잠재량은 각국의 에너지 소비량 이상임.
- 각국은 재생에너지 공급을 통해 에너지 탈탄소화 및 자립화 추구
- 우리나라는 태양광발전, 풍력발전, 수력발전, 바이오 에너지로 에너지 탈탄소화 및 자립화 추구.
- 온실가스 감축이 국가 정책의 우선순위에서 최상위 목표로 확고히 해야 함.
- 온실가스 감축은 화석연료의 재생에너지로의 전환으로서 기존 질서를 새로운 질서로 대체하는 과정으로 정치사회적 논란이 필수불가결한 정치적인 사항임.
- 국민적 공감대를 형성하기 위해 필요하다면 국민투표를 통해서라도 국가의 정책방향을 바로잡아야 함.
- 2050년 목표 수준 : 유엔의 1.5도시, 2050년 배출 제로
- 2030년 목표 수준 : 45% 저감(재생에너지 3020은 너무 낮은 수준)
- 방법(IRENA): 에너지절약 및 재생에너지 공급 강화(현재 속도의 6~7배)
- 2050년 최종에너지 절감 목표: 2017년 기준 최종에너지의 30~50% 절감.
- 원칙 : 시장 원리, 세금 및 보조금은 시장 조성 수단
- 우선 순위 : 1)화석에너지 보조금 철폐 2)전기가격 정상화 3)재생에너지 확대
- 2050년 재생에너지전력 90% 달성
- 우리나라 재생에너지 원 별로 각각 얼마를 어떻게 공급할지 구체적 실행계획 필요.

2) 전력 부문 정책과제

● 재생에너지 전력 보급 목표 상황

- 2030년 재생에너지 전력 30%, 2040년 재생에너지전력 60%, 2050년 90%
- 국가 주도의 계획입지. 송전선로 건설과 민간의 발전소 건설, 운영 참여
- 전력산업구조개편, 에너지산업(스마트그리드, DR, 프로슈머, RE100) 육성

● 보급제도 개선

- 대규모 재생에너지(1MW 이상)는 경매 방식, 소규모(1MW 미만)는 발전차액지원제도 도입

● 입지계획

- 공공(국가/지자체) 재생에너지 입지계획 및 송배전 계획 수립
- 지자체의 에너지정책 역할 강화 : 에너지 효율, 재생에너지 인허가
- 민간의 발전, 판매 경쟁 시장 참가

● 전력계통 유연성 확장

- 전력계통 확장, 발전의 유연성 확대(양수, 바이오발전), 소비의 탄력성 확대(DR), 저장능력 확대(ESS)

● 전력시장 구조개편

- 원칙 : 자연이 제공하는 재생에너지는 누구나, 모두가 생산하고 판매할 수 있어야
- 에너지신산업(PPA, RE100, 프로슈머, V2G, DR, 스마트그리드) 시장이 작동하려면 실시간 전력시장, 15분 단위, 5분 단위로 전력거래가 가능해야 함.

참고문헌

<국내 문헌>

2050 저탄소 사회 비전 포럼 (2020), 2050 장기 저탄소 발전전략

권필석, 2020, Accelerating Energy Transition in Korea

국가온실가스종합관리시스템 명세서배출량통계(<https://ngms.girgok.kr/main.do>)

산업통상자원부 (2019), 제3차 에너지기본계획

에너지통계연보 2018, <http://www.keei.re.kr/keei/download/YES2018.pdf>

이창훈, 김태현, 박현주, 김태현, 김남일, 박명덕, 이민찬 (2019), 지속가능발전과 에너지·산업전환:

기후변화 정책목표 1.5℃ 대응을 중심으로, 경제·인문사회연구회협동연구총서

제3차국가에너지기본계획

제8차전력수급계획

홍종호 외 (2017), 지속가능한 미래를 위한 대한민국 2050 에너지 전략. WWF

<해외 문헌>

Energy Transitions Commission (2018), Mission Possible: Reaching Net-zero Carbon

Emissions from Harder-to-abate Sectors by Mid-Century

EU (2020), Taxonomy: Final report of the Technical Expert Group on Sustainable Finance

IEA, World Energy Balances 2019

IRENA, 2020, Global Renewable Outlook

UNEP Emission Gap Report 2018, <https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2018>

산업부문

- 3.1 산업부문 온실가스 배출 현황과 주요 특징
- 3.2 국내외 장기저탄소발전전략 시나리오 및 감축방안
- 3.3 시사점 및 제언



3.1 산업부문 온실가스 배출 현황과 주요 특징

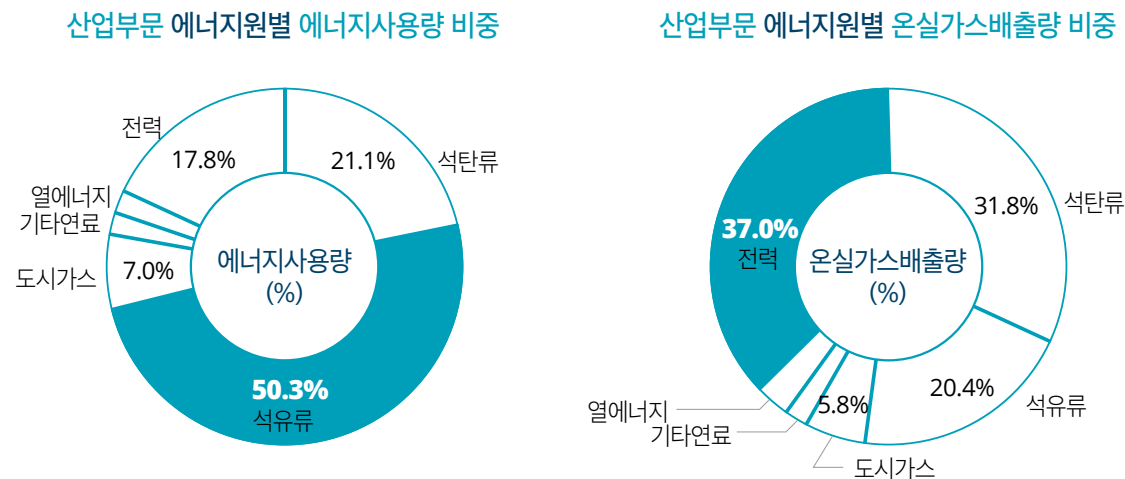
3.1.1 온실가스 배출 현황

1) 산업통상자원부-에너지공단의 산업부문 에너지사용 및 온실가스 통계 기준⁶⁾⁷⁾

- 2017년 기준, 산업부문의 에너지사용량은 석유류(50.3%), 석탄류(21.1%), 전력(17.8%), 도시가스(7.0%) 순으로 높은 반면, 온실가스 배출량은 전력(37.0%), 석탄류(31.8%), 석유류(20.4%), 도시가스(5.8%) 순으로 높음 (그림 3-1).

- 세부 에너지원별로 구분시, 납사가 전체 에너지사용량 중 43.4%로 가장 높은 비중(석유류 사용량 중 86.2%)을 차지하고, 유연탄이 20%로 두 번째로 높은 비중(석탄류 사용량 중 95.7%)을 차지함

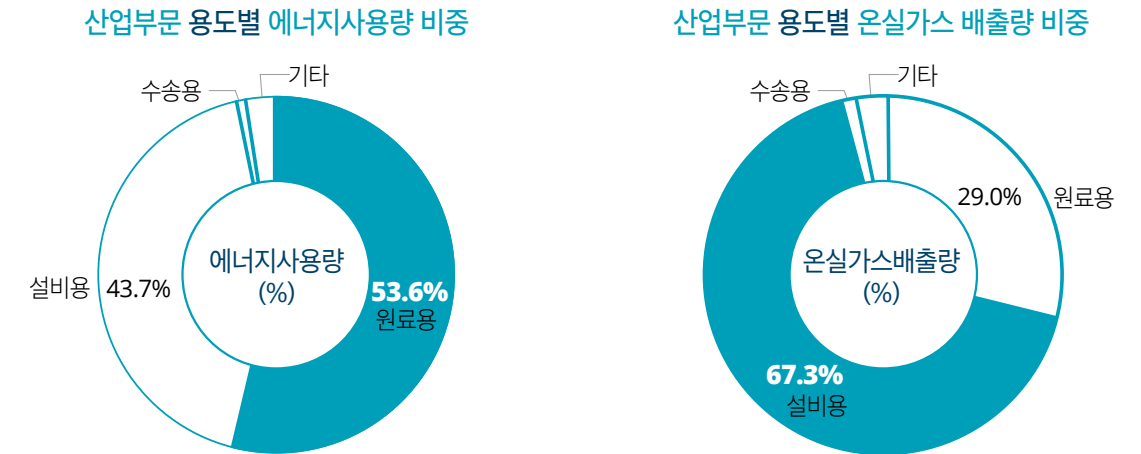
<그림 3-1> 산업부문의 에너지원별 에너지사용량 및 온실가스 배출량 현황



출처 : 산업통상 자원부, 2018 산업부문 에너지사용 및 온실가스배출량 통계, 57-59쪽 그림을 바탕으로 재구성

- 용도별 에너지사용량은 크게 원료용(53.6%)과 설비용(43.7%)으로 구분되는데, 온실가스는 설비용(67.3%)이 원료용(29.0%)에 비해 2배 이상 높게 배출됨 (그림 3-2).

<그림 3-2> 산업부문의 용도별 에너지사용량 및 온실가스 배출량 현황

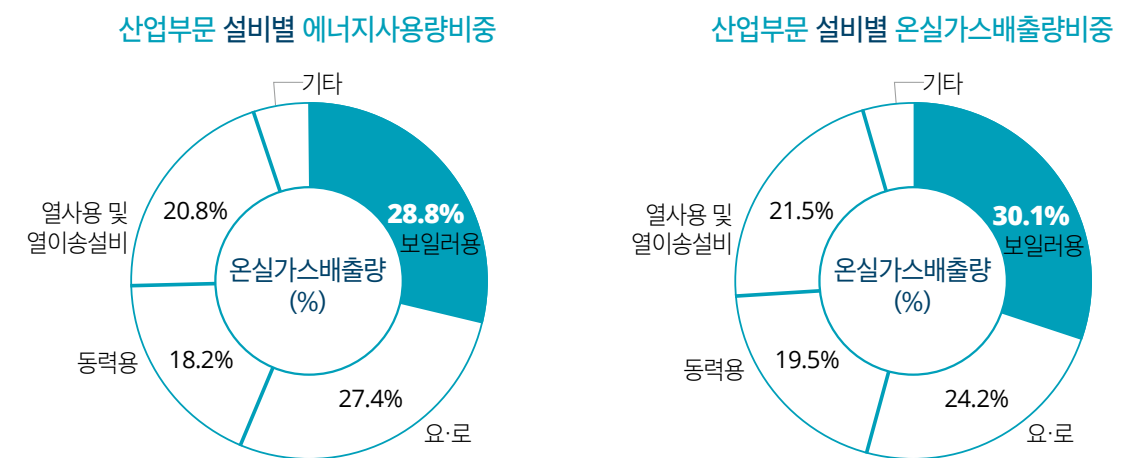


출처 : 산업통상자원부, 2018 산업부문 에너지사용 및 온실가스배출량 통계, 70-71쪽 그림을 바탕으로 재구성

- 설비별 에너지사용량 및 온실가스 배출량 비중의 순서는 동일한데 보일러용, 요·로, 열사용 및 열이송설비, 동력용 순임 (그림 3-3)

- 보일러용은 석유류(39.1%), 석탄류(38.2%), 도시가스(19.2%) 순으로 에너지사용량이 높고, 온실가스 배출량은 석탄류(53.2%), 석유류(36.6%), 도시가스(8.0%) 순임.
- 요·로의 에너지 사용량은 석유류(43.4%), 도시가스(17.8%), 석탄류(13.6%) 순이며, 온실가스 배출량은 석유류(59.9%), 석탄류(12.2%), 도시가스(8.7%) 순임.

<그림 3-3> 산업부문 설비별 에너지 사용량 및 온실가스 배출량 현황



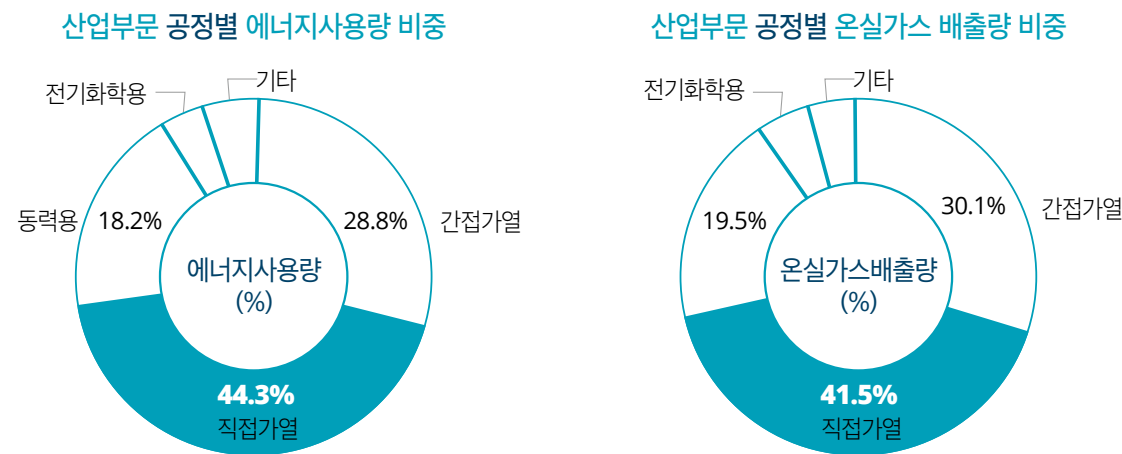
출처 : 산업통상자원부, 2018 산업부문 에너지사용 및 온실가스배출량 통계, 72-73쪽 그림을 바탕으로 재구성

6) 산업통상자원부, 2018 산업부문 에너지사용 및 온실가스배출량 통계, 56-75

7) 산업통상자원부와 한국에너지공단에서 매년 실시하는 조사로서 2017년 통계는 표본조사 방식(모집단 대비 23.9%)으로 추산한 수치임. 2017년 에너지사용량은 129.4백만toe, 온실가스 배출량은 332.3백만톤CO₂-eq로 추산함.

- 공정별로 구분할 경우 에너지사용량 및 온실가스 배출량 모두 직접가열, 간접가열, 동력용 순으로 높음 (그림 3-4).
- 직접가열에서는 석유류(44.1%), 전력(21.1%), 도시가스(14.0%), 석탄류(8.3%) 순으로 에너지 사용이 높고, 간접가열에서는 석유류(39.1%), 석탄류(38.2%), 도시가스(19.2%) 순으로 에너지 사용이 높음. 동력용은 전력사용에서 90% 이상의 에너지사용량과 온실가스 배출량 발생

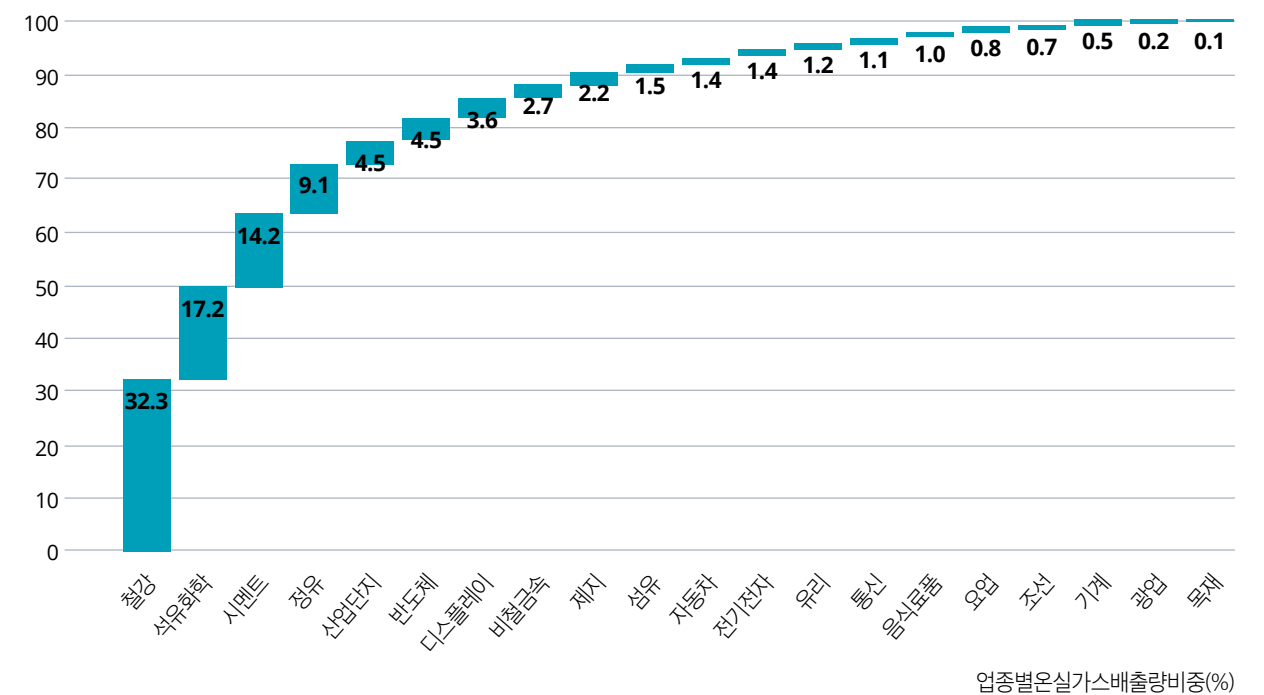
<그림 3-4> 산업부문 공정별 에너지 사용량 및 온실가스 배출량 현황



출처 : 산업통상자원부, 2018 산업부문 에너지사용 및 온실가스배출량 통계, 74-75쪽 그림을 바탕으로 재구성

- 온실가스 다배출 상위 25개 기업의 배출량(2015-2018년 평균)이 약 2억2천만톤으로 2017년 국가 총배출량 대비 약 31% 수준이며, 산업부문 총 배출량 대비 약 58%, K-ETS 할당업체 총 배출량 대비 약 70%임 (그림 3-6).
- 철강업체인 포스코와 현대제철이 최다 배출기업으로 2개사의 배출 총량이 국가 총 배출량 대비 약 13%, 산업부문 총 배출량 대비 약 24%, K-ETS 할당업체 총 배출량 대비 약 29%임
- 다배출 상위 10개 기업(포스코, 현대제철, 쌍용양회공업, 삼성전자, 지에스칼텍스, S-Oil, 엘지화학, 에스케이에너지, 삼표시멘트, 엘지디스플레이)의 배출 총량은 국가 총 배출량 대비 약 22%, 산업부문 총 배출량 대비 약 41%, K-ETS 할당업체 총 배출량 대비 약 50%임.

<그림 3-5> 업종별 온실가스 배출량 비중 (2017년 기준)



업종별온실가스배출량비중(%)

출처 : 국가온실가스 종합관리시스템, 2017년도 명세서 주요정보를 바탕으로 재구성

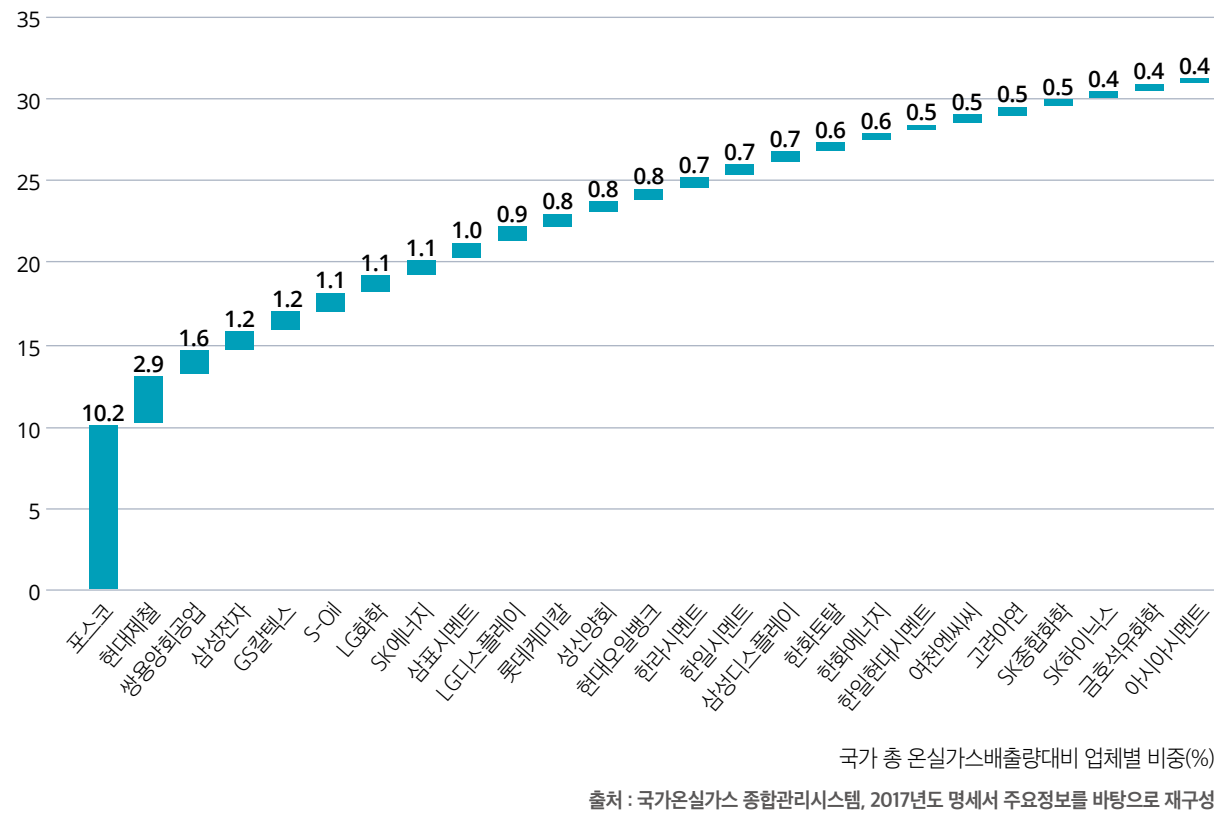
2) 국가온실가스 종합관리시스템 온실가스배출권거래제 명세서 배출량 통계 기준⁸⁾

- 2017년 기준, 우리나라 산업부문의 온실가스 총 배출량(381.3백만톤CO₂-eq.)은 국가 총 배출량(709.1백만톤 CO₂-eq.톤) 대비 54% 수준
- 국가 온실가스배출권거래제(K-ETS) 할당대상업체의 온실가스 총 배출량은 317.2백만톤CO₂-eq.⁹⁾으로 국가 총 배출량 대비 약 45%, 산업부문 총 배출량 대비 약 83% 수준임.
 - 업종별 온실가스 배출량은 철강(32.3%), 석유화학(17.2%), 시멘트(14.2%), 정유(9.1%), 산업단지(4.5%), 반도체(4.5%) 순이며, 에너지사용량은 석유화학(28.1%), 철강(18.8%), 정유(9.7%), 시멘트(6.7%), 반도체(6.3%), 산업단지(5.0%) 순으로 높음 (그림 3-5)
 - 이들 6대 산업부문의 온실가스 배출량 비중은 국가 총 배출량 대비 약 37%, 국가 산업 부문 대비 약 68%, K-ETS 산업부문 할당업체 대비 82% 수준임

8) 대한민국 온실가스배출권거래제(K-ETS) 통계는 할당대상업체 대상기준 (온실가스배출량이 과거 3년 평균 125,000톤 이상이거나 25,000톤 이상인 사업장 보유 업체)에 포함되지 않는 업체의 배출량이 빠진다는 단점이 있지만, 이들 업체의 총 배출량이 산업부문의 83%를 차지하고 제3자 기관에 의한 배출량 검증 및 정부의 검토까지 완료된 정 보라는 측면에서 신뢰성이 높은 장점이 있음.

9) 2050 저탄소 사회 비전 포럼(2020), 2050 장기 저탄소 발전전략 보고서 67페이지

<그림 3-6> 25개 온실가스 다배출업체가 국가 총 온실가스배출량에서 차지하는 비중



● 특정 배출활동 및 설비에 배출량 집중

- 온실가스 배출량의 70% 이상이 에너지사용이며, 나머지의 대부분이 공정배출(약 26%)
- 에너지 사용은 고정연소가 약 45%, 외부전기가 약 25%임¹⁰⁾
 - 외부전기(25%)를 제외하면 산업부문 총 배출량에서 고정연소 연료원이 차지하는 비중은 상당히 높은 편임 ⇒ 부생가스(18%), 부생연료(11%), 석탄(10%), LNG(5%)
- 공정배출은 5개 업종에서 90% 이상이 발생함: 철강(41%), 시멘트(29%), 정유(12%), 반도체(5%), 디스플레이(4%)
 - 산업부문 총 배출량 중 각 업종별 공정배출 비율은 철강(11%), 시멘트(7%), 정유(3%), 반도체·디스플레이(2%)¹¹⁾
- 2017년 기준, 산업용 전동기, 팬, 펌프 등이 국가 전체 전력수요의 25% 이상을 차지(산업통상자원부, 2019)¹²⁾

● 높은 원료용 비중

- 최종에너지 소비에서 산업부문 원료용 사용이 차지하는 비중은 48.8%(2015년 기준)로 OECD 평균인 29.5%보다 상당히 많은 편임(산업통상자원부, 2019)¹³⁾
- 전체 석유 소비량의 53%가 납사로 산업부문의 원료용으로 사용됨(2017년 기준)(산업통상자원부, 2019)¹⁴⁾

3.1.2 주요 특징

● 온실가스 배출량의 지속 증가

- 2000년부터 2017년까지 국가 최종에너지 소비는 연평균 2.7% 증가했는데, 산업부문이 연평균 3.2% 증가한 것이 주요 원인임.
 - * 상업(연 2.7% 상승), 수송(연 1.9% 상승), 가정(연 0.4% 상승)

● 특정 산업부문과 기업에 배출량 집중

- 6개 산업부문의 온실가스 배출량 비중이 국가 총 배출량 대비 약 37%, 국가 산업 부문 대비 약 68% 차지
- 철강업체인 포스코와 현대제철 2개사의 배출 총량이 국가 총 배출량 대비 약 13%, 산업부문 총 배출량 대비 약 24% 차지
- 다배출 상위 10개 기업의 배출 총량은 국가 총 배출량 대비 약 22%, 산업부문 총 배출량 대비 약 41% 차지

10) 고정연소 연료원별 기준 철강업종에서 대부분 사용하는 부생가스가 가장 배출량 비중이 높고(약 39%), 정유/석유화학에서 93% 가량을 사용하는 부생연료(약 25%), 산업 단지에 열을 공급하는 열병합발전시설과 시멘트, 석유화학 등에 사용되는 석탄(약 22%), LNG(약 11%) 순으로 배출량 발생

11) 철강업종의 경우 유연탄을 원료로 사용하는 포스코와 현대제철의 일관제철 공정배출이 철강업종 전체 공정배출의 약 94%를 차지하고, 시멘트 산업의 경우 석회석 소성과 정에서 공정배출이 대부분 발생하는데 시멘트 8개사가 95%, 석회생산 12개사가 5% 차지함. 정유는 수소제조나 촉매재생 공정에서 대부분 발생함(다만 정유의 경우 IPCC 가이드라인에 해당공정 산정방식이 없어, 국가 배출량에는 미포함)

12) 산업통상자원부 (2019), 제3차 에너지기본계획 (35쪽)

13) 산업통상자원부 (2019), 제3차 에너지기본계획 (21쪽)

14) 산업통상자원부 (2019), 제3차 에너지기본계획 (58쪽)

3.2 국내외 산업부문 장기 저탄소 발전전략 시나리오 및 감축 방안 검토

3.2.1 국내 시나리오 및 감축 방안

1) 2050 장기 저탄소 발전전략

● 상향식 접근 방식을 통해 전 부문을 포괄한 5개의 시나리오 제시¹⁵⁾

- 8개 부문(전환, 산업, 수송, 건물, 농축산, 폐기물, 탈루, 산림)의 35개 감축수단을 3개 기준(강, 중, 약)으로 구분
- 3개 기준별로 단순 합계한 3개의 국가 시나리오 도출 (1안, 3안, 5안)
- 35개 감축 수단을 강·중 기준에서 선택한 1개의 시나리오 도출(2안)
- 35개 감축 수단을 중·약 기준에서 선택한 1개의 시나리오 도출(4안)

● 산업부문의 시나리오는 최대 65.5%(1안)와 최소 18.8%(5안)로서, 국가 전체 및 다른 부문 대비 낮은 목표 감축률을 보임

- 2050 장기 저탄소 발전전략은 2017년 기준 산업부문에서 2050년까지 배출량을 최대 170.3백만톤(1안) 감축, 최소 48.9백만톤(5안) 감축을 제시함 (표 1)

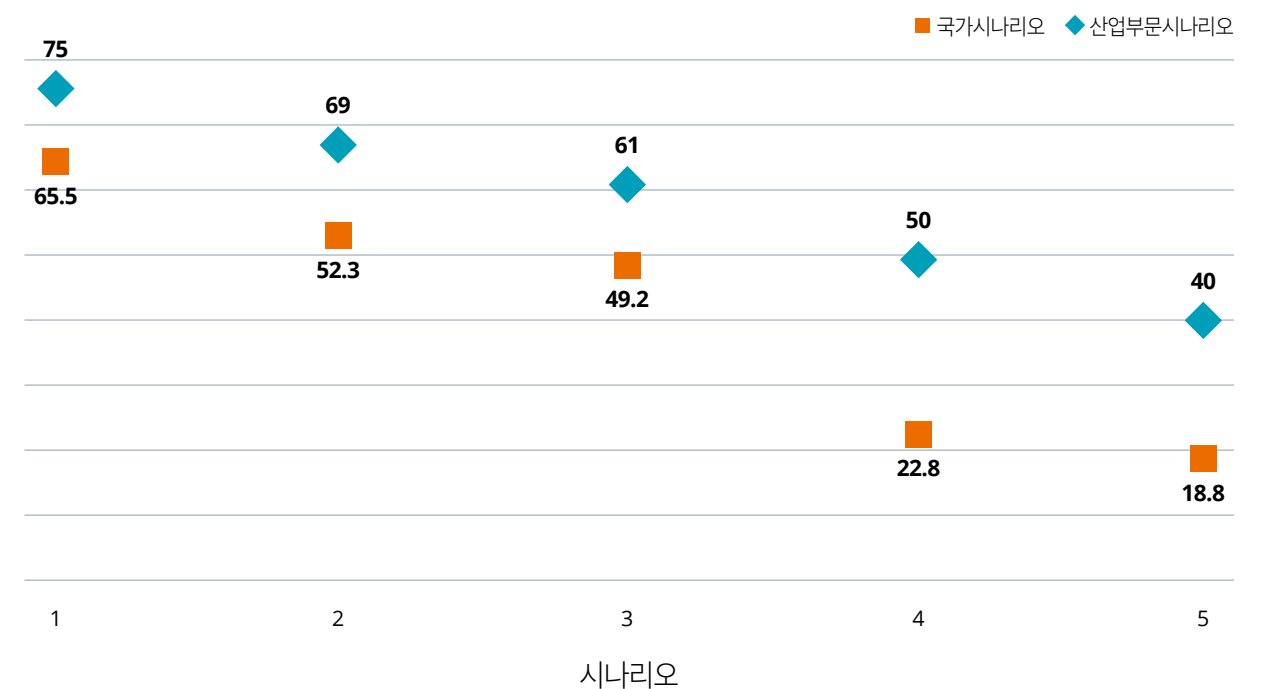
[표 3-1] 2050 장기 저탄소 발전전략 산업부문 감축 목표 제시안

구분		'17년 현황	'50년 목표				
			1안	2안	3안	4안	5안
국가 전체	배출량	709.1	178.9	222.0	279.5	355.9	425.9
	감축량	-	530.2	487.1	429.6	353.2	283.2
	감축률	-	75%	69%	61%	50%	40%
산업 부문	배출량	259.9	89.7	124.1	132.2	200.7	211.1
	감축량	-	170.3	135.8	127.8	59.3	48.9
	감축률	-	65.5%	52.3%	49.2%	22.8%	18.8%

출처 : 2050 저탄소 사회 비전 포럼 (2020), 2050 장기 저탄소 발전전략, 23쪽을 바탕으로 재정리

- 국가 목표 감축률에 비해 산업부문 목표 감축률은 9.5%(1안)에서 27.2%(4안)까지 낮게 제시됨 (그림 3-7)
- 다른 부문(전환, 수송)에 비해 목표 감축률이 낮은 것은 에너지 다소비 수출기업 중심의 산업구조적 측면과 산업부문의 감축 기술에 대한 현재의 정책적 지원과 기술 성숙도 등을 낮게 평가했기 때문으로 보여짐
- 이는 국가 목표 감축률과 산업부문 목표 감축률의 편차가 4안과 5안에서 유독 크다는 점과도 일맥상통한다고 볼 수 있음.

<그림 3-7> 2050 장기 저탄소 발전전략 국가 시나리오와 산업부문 시나리오 비교



출처 : 2050 저탄소 사회 비전 포럼 (2020), 2050 장기 저탄소 발전전략, 23쪽을 바탕으로 재정리

● 감축수단

- 산업부문 온실가스 감축을 위한 주요 수단으로 크게 7가지
- 7가지 각 수단별 정책지표와 전망지표(감축효과, 기술성숙도, 감축비용) 기준으 로 실현가능성을 비교하고 있음 (표 2)
- 7가지 가운데 실현 가능성이 높은 수단은 기기 효율개선과 산업공정 배출 감축으로 분류함.

15) 2050년 전 부문 국가 감축목표는 다음과 같음. 1안(75%), 2안(69%), 3안(61%), 4안(50%), 5안(40%)

[표 3-2] 2050 장기 저탄소 발전전략 산업부문의 온실가스 감축수단 분석

감축 수단	정책지표	전망지표		
		감축효과	기술성숙	감축비용
수소화 기술 및 원료 재활용	없음	고	중	불리
신소재 전환 및 고부가 제품 확대	없음	고	저	불리
기기 효율개선	핵심	고	고	유리
스마트 공장 및 산단	핵심	중	고	보통
이산화탄소 포집·저장 활용	일반	중	저	저
저탄소 연·원료 사용	일반	저	고	유리
산업공정 배출 감축	핵심	고	고	유리

출처 : 2050 장기 저탄소 발전전략 p.68 재구성

※ 정책지표는 각 감축수단에 대해 정책, 제도, 예산의 지원 가능 수준을 나타내는 것으로 핵심, 일반, 없음으로 분류. 정책지표가 핵심인 감축수단은 일반이나 없음인 감축수단보다는 상대적으로 실현 가능성이 높음을 나타냄. 전망지표의 감축효과와 기술성숙도는 고, 중, 저로 구분하고, 감축비용은 유리, 보통, 불리로 분류함. 정책지표가 일반이나 없음인 감축수단이라도 3개의 전망지표가 모두 높을 경우 실현가능성이 높은 것으로 분류함. 정책지표가 일반인 감축수단이 2개의 전망지표가 높을 경우에도 실현가능성 높은 것으로 분류하고 있음.

2) 이창훈 외 (2019)¹⁶⁾

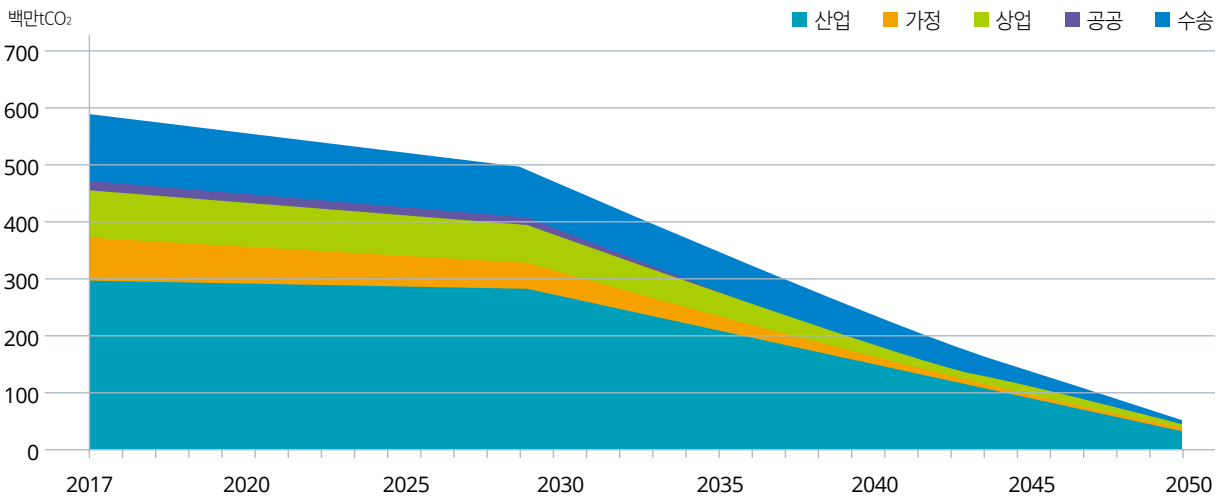
● 1.5℃ 목표 달성을 위해 2050년 이산화탄소 배출량을 0으로 설정한 ‘심층 에너지전환’ 시나리오 제시 (그림 3-8)

- 이산화탄소 배출량 592백만톤(2017년 기준)을 2050년까지 91.5% 감축하여 50백만톤으로 만들고, 개발도상국에 대한 온실가스 감축지원사업을 통해 50백만톤을 상쇄시킨다는 목표임
- 산업부문에서는 2017년 298.2백만톤에서 2050년 34.7백만톤으로 88.4% 감축하는 경로를 제시함.

● 산업공정 전반에 적용될 수 있는 감축 방안과 함께 철강과 석유화학 분야를 중심으로 온실가스 심층 감축을 가로막는 장애물과 2050년 비전을 제시하고 있음

- 산업공정상 일반적으로 사용되는 저온 보일러 및 동력엔진용 연료를 재생에너지 기반의 전력으로 대체
- 철강산업과 석유화학산업에서의 탈탄소화 방안 제시 (표 3-3)

<그림 3-8> 2050 심층 전환 시나리오



출처 : 이창훈 외 (2019), 지속가능발전과 에너지·산업전환 : 기후변화 정책목표 1.5℃ 대응을 중심으로, 경제·인문사회연구회협동연구총서, p.63

[표 3-3] 우리나라 철강과 석유화학산업의 전환을 저해하는 애로사항과 2050 목표 달성을 위한 주요 과제

	철강	석유화학
애로 사항	• 에너지효율향상 추가 여지 부족 • 온실가스 감축 기투자된 시설의 수명이 많이 남아 신규 기술이나 공정 도입 어려움 • 생산설비와 공정의 일괄 배치 구조로 부분적 교체 어려움 • 설비교체에 따른 투자회수 기간이 길어 미검 증된 설비 도입 리스크가 너무 큼	• 내부 온실가스 감축여력 부족 • 감축기술 상용화 미비에 따른 투자 리스크 높음 • 적용가능 기술의 한계감축비용 높음 • 적용가능 기술의 감축량이 낮음
주요 과제	• 30년 후를 고려한 과감한 탈탄소 공정기술 도입을 유도하는 기반 조성 • 대규모·비가역적 투자가 필요한 장치산업인 특성을 고려하여 온실가스 외부비용 반영 등 일관적이고 강화된 정부 정책 의지 필요 • 미래 철강시장을 주도할 기술에 대한 대규모 R&D 사업 개발 및 국가 R&D 로드맵 반영 • 기업 자발적인 탈탄소기술투자에 세액공제 등 인센티브를 기업 규모에 상관없이 제공 • 수소환원제철 공법 등 탈탄소기술을 경제적으로 이용할 수 있도록 그린수소 개발에 민관 협력 강화	• 감축수단 효과가 높은 ‘설비에서 발생하는 고온 재활용’, ‘에너지 고효율 설비 활용’, ‘공정 효율 개선’ 등에 초점을 둔 정책 • 대규모·비가역적 투자가 필요한 장치산업인 특성을 고려하여 온실가스 외부비용 반영 등 일관적이고 강화된 정부정책의지 필요 • 바이오 연료전환 기술 동향 적극 모니터링 및 국가 R&D 로드맵 반영 • 에너지 고효율 설비 개선에 대한 기술 투자나 R&D 투자에 대한 세액공제 지원 확대

출처 : 이창훈 외(2019) 101-104쪽을 바탕으로 재구성

16) 이창훈 외 (2019), 지속가능발전과 에너지·산업전환: 기후변화 정책목표 1.5℃ 대응을 중심으로, 경제·인문사회연구회협동연구총서

3.2.2 해외 시나리오 및 감축 방안

1) DG CLIMA (2019)¹⁷⁾

● ICF와 프라운호퍼(Fraunhofer) 시스템혁신연구소가 EU-28 산업부문을 대상으로 상향식 모델인 FORECAST 활용하여 2050 배출량 감축 시나리오 제안

- 기술혁신을 기준으로 80% 미만 감축 시나리오(2개)와 80% 이상 감축 시나리오(6개) 개발 (1990년 대비)
- 2개의 80% 미만 감축 시나리오는 현재 가용한 기술만 적용한 것으로, 기준시나리오 (Ref)와 기준 시나리오보다 좀 더 강화된(현재 가용한 에너지효율화 기술을 100% 보급 및 재활용의 급속한 적용) 시나리오(BAT)로 구성
 - ※ 기준 시나리오는 2015년 대비 12%(1990년 대비 45%), BAT 시나리오는 2015년 대비 35% 감축 (1990년 대비 59%)
- 총 6개의 80% 이상 감축 시나리오는 BAT 시나리오에 적용되는 기술에 추가 저감기술 4개별로 기술성 속도 4단계 이상을 적용한 시나리오 4개와 이들 4개 기술을 비용과 감축수준을 기준으로 혼합한 2개의 시나리오로 구성됨
 - ※ 6개 80%이상 감축 시나리오는 탄소포집 및 저장(CCS), 청정가스(CleanGas), 바이오 기반 (BioCycle), 전력 (Electric), 혼합80(Mix80), 혼합95(Mix95)로 구성됨

[표 3-4] DG CLIMA의 2050 산업부문 온실가스배출량 감축 시나리오

시나리오	온실가스 배출량 (백만톤CO2e)		감축비율(%)	
	2015년	2050년	2015년 대비	1990년 대비
1 Ref	761	665	-12	-45
2 BAT	761	493	-35	-59
3a CCS	761	157	-79	-87
3b CleanGas	761	216	-72	-82
3c BioCycle	761	245	-68	-80
3d Electric	761	255	-66	-79
4a Mix80	761	221	-71	-82
4b Mix95	761	63	-92	-95

출처 : DG CLIMA(2019), Industrial Innovation: Pathways to deep decarbonisation of Industry.
Part 2: Scenario analysis and pathways to deep decarbonisation, 44쪽 Table 3.1

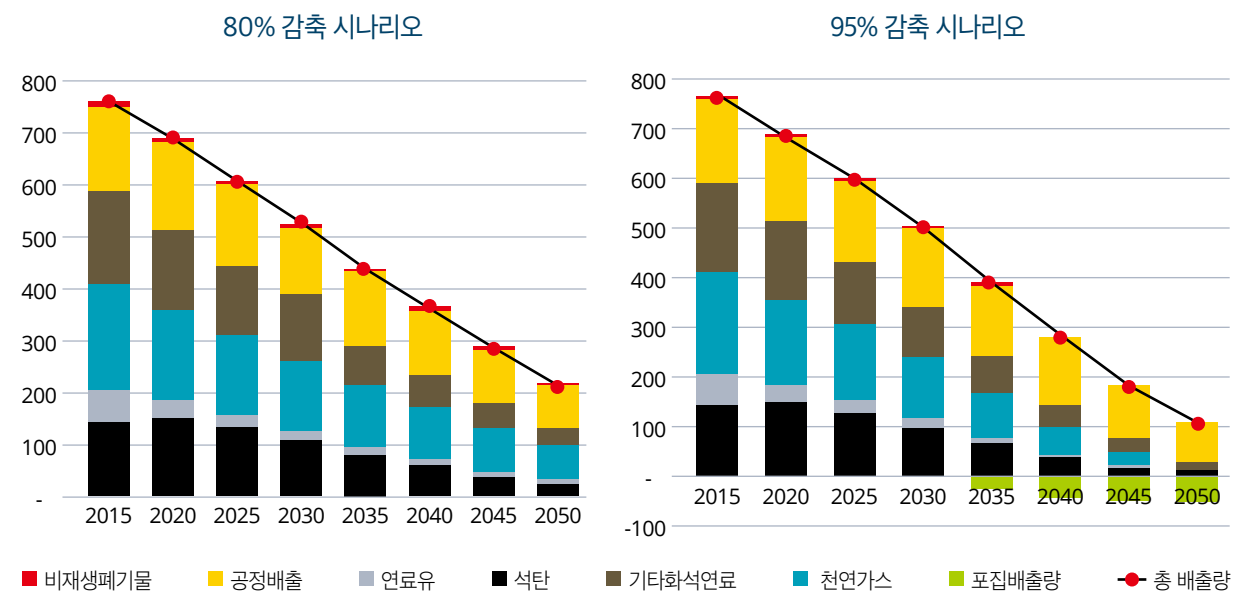
● 6개의 80% 이상 감축 시나리오 (1990년 대비)

¹⁷⁾ ICF Consulting Services Limited와 Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (ISI)가 유럽의회 산하 Directorate-General for Climate Action (DG CLIMA)에 제출한 보고서로 제목은 Industrial Innovation: Pathways to deep decarbonisation of Industry. Part 2: Scenario analysis and pathways to deep decarbonisation임.

- CCS 시나리오는 BAT 시나리오 적용 기술에 CCS를 추가한 시나리오
 - ※ 가격 측면에서 합리적인 수준이지만 상용화 여부는 매우 불확실하며, 다른 시스템의 변화가 없을 시 상당한 수준의 잠금효과 리스크 존재
- 청정가스 시나리오는 BAT 시나리오 적용 기술에 그린수소, 합성메탄 등을 추가한 시나리오
 - ※ 높은 에너지비용 발생 리스크
- 바이오경제와 순환경제 시나리오는 BAT 시나리오 적용 기술에 바이오매스를 연료와 원료로 활용하고 순환경제를 총체적으로 추가한 시나리오
 - ※ 다른 시나리오에 비해 좀 더 저렴할 수 있으나, 필요한 수준의 수량 확보 불확실
- 전기화 시나리오는 BAT 시나리오 적용 기술에 전반적인 전기화를 추가한 시나리오
 - ※ 생산시스템의 상당한 변화가 요구되고 발전부문에 상당한 부담으로 작용
- 이상의 4개 시나리오에 적용된 저감기술을 조합하여 1990년 대비 80% 감축 시나리오와 95% 감축 시나리오 제시(그림 3-9)
 - ※ 80% 감축 시나리오의 최대 감축잠재율이 82%로서 CCS는 미포함하고 바이오매스 사용은 현재 수준으로 가정 (비용이나 잠금효과도 특정 기술에 집중한 4개 시나리오에 비해 양호함)
 - ※ 95% 감축 시나리오에서는 CCS가 잔존 공정배출에 허용되고, 가스망에 합성메탄 사용, 화석연료 기반스팀발전의 조기 퇴출, 100% 공정혁신이 추가 (80% 감축 시나리오에 비해 비용이 조금 더 추가됨. 다만 2050년에는 합성메탄, 수소, 전기로의 강력한 전환 등에 의해 연간 6백억유로의 에너지비용
 - ※ 95% 감축 시나리오에서 철강(96%), 석유화학(91%), 시멘트(86%) 감축 전망

<그림 3-9> EU-28 산업부문 2050 온실가스 감축 시나리오

● 주요 감축 수단 (표 3-5)



출처 : Fleiter et al (2019)의 Industrial Innovation Part 2: Scenario analysis and pathways to deep decarbonization p.41~43 Figure 3.7, Figure 3.8 재구성

- 에너지효율의 경우, 투자 회수기간이 10년내에 가능한 수단
- 탄소비용은 2030년 100유로/톤, 2040년 200유로/톤 수준이 되어야 하고, 배출권거래제 미포함 산업과 기업도 연료 전환을 유도하기 위해 탄소가격을 적용
- 열의 전기화(PtH)를 위해 히트펌프와 전기시스템보일러에 메가와트당 각각 20 유로, 100유로의 재정지원 필요
- 모든 화석연료 기반의 발전기는 수명이 남았더라도 2040-2050년 사이 모두 운영 금지
- 저탄소 기반의 신공정(저탄소 시멘트, 수소기반 철강생산 등)에 대한 연구개발 및 상용화 필요
- 원부자재 효율성 및 순환경제의 향상

[표 3-5] 주요 산업별 80% 저감 시나리오와 95% 저감 시나리오에 필요한 감축 옵션

산업	감축률	공정 개선	연료 전환	CCS	재활용 및 재사용	원부자재 효율 제고 및 대체
철강	80%	에너지효율 혁신 (TRL 4단계 이상) - 신주조기술 (NNSC*)	H-DR, 플라스마, 전해철(80%)**	해당 없음	고성능 전기로 사용 통한 평강 (flat steel) 제품 비율 확대	- 철강을 바이오 매스 기반 제품으로 대체 - 고효율 원부자재 사용
	95%	- Top gas recycling	H-DR, 플라스마, 전해철(100%)**			
석유 화학	80%	에너지효율 혁신 (TRL 4단계 이상) 염소: ODC	전기보일러 에틸렌, 암모니아, 메탄올 제조 수소 사용(80%)	해당 없음	플라스틱 재활용률 상당한 속도로 증가	상당한 속도로 플라스틱을 바이오 플라스틱 대체, 비료 수요 경감, 원부자재 효율성 향상
	95%	나프타 촉매 분해 선별적 멤브레인	전기보일러 에틸렌, 암모니아, 메탄올 제조 수소 사용(100%)			
시멘트	80%	에너지효율 혁신 (TRL 4단계 이상)	가격 기반 연료 전환	해당 없음	시멘트 제조에 콘크리트 재활용 및 재사용	콘크리트 효율적 사용, 바이오매스 기반 콘크리트 대체, 탄소강 콘크리트
	95%	저탄소 시멘트 재탄산화 시멘트/콘크리트	청정 가스	석회석과 기존 클링커에 적용		

* 박슬라브연주(Near net shaping casting)

** 조강생산설비율(crude steel production capacity) 기준

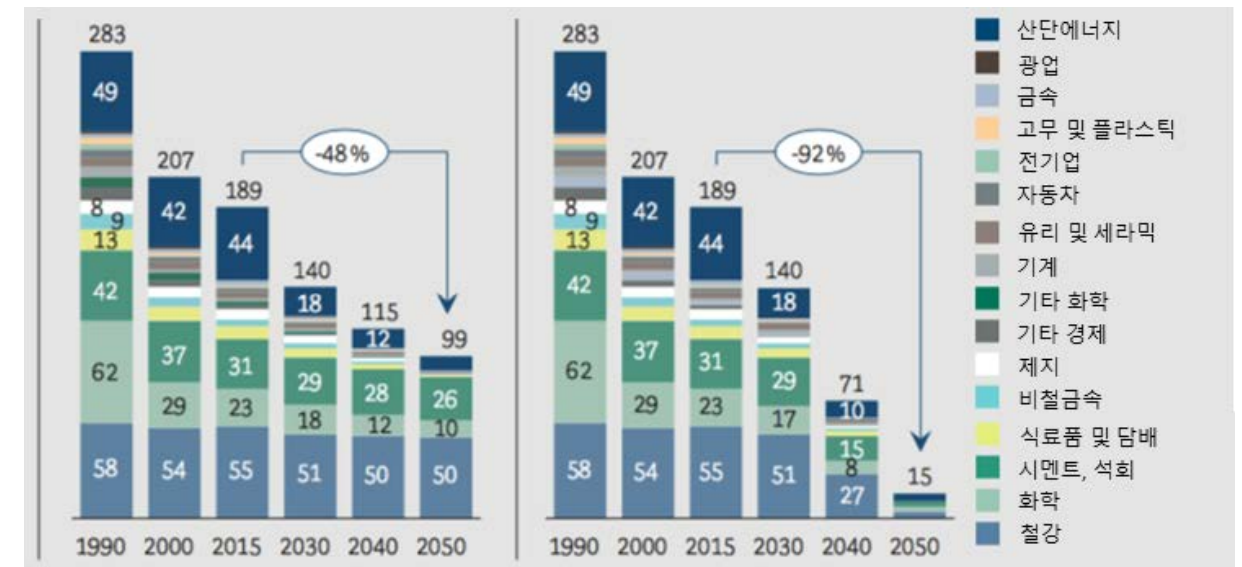
출처 : DG CLIMA(2019), Industrial Innovation: Pathways to deep decarbonisation of Industry. Part 2: Scenario analysis and pathways to deep decarbonisation, 7-8쪽 Figure 1-4, 1-5, 1-6을 토대로 저자 작성

2) 독일 BDI (2018)

● 개요

- 동 보고서는 독일산업협회(Federation of German Industries: BDI)에서 발주한 과제를 보스턴컨설팅(The Boston Consulting Group)과 프로그노스(Prognos)가 분석하여 2018년에 발간한 결과물(보고서 제목 - Klimapfade für Deutschland)로서, 독일경제 전반과 부문별 2050년 배출량 감축시나리오와 감축수단 제시
- 독일 산업부문의 온실가스 배출량은 총 189백만톤(2015년 기준)으로 국가 배출량의 21%를 구성함
- 철강, 시멘트, 석유화학 순으로 온실가스 배출량이 높는데, 산업부문 전체 배출량 중 각각 29.1%, 16.4%, 12.2%를 구성함 (3개 산업이 산업부문의 총 온실가스 배출량에서 57.7% 차지)
- 국가 기준으로 2015년 대비 2050년까지 80% 감축시나리오와 95% 감축시나리오 2가지 제시

<그림 3-10> 독일 산업부문의 2050 온실가스 감축 시나리오



출처 : Gerbert et al (2018)의 Klimapfade für Deutschland p.134 재구성

● 산업부문 시나리오

- 산업부문은 2015년 대비 2050년까지 48%(80% 감축시나리오) 및 92%(95% 감축 시나리오) 감축이 가능할 것으로 전망함 (그림 3-10)
※ 기준시나리오로 22% 감축치 전망
- 80% 감축시나리오는 산업부문 온실가스배출량을 2050년까지 48% 감축(2015년 대비)하는 경로이며 (189백만 이산화탄소 환산톤 ⇒ 99백만 이산화탄소 환산톤) 기술 및 비용 측면에서 상대적으로 용이한 감축 수단으로 구성되어 있음.
※ 최종 에너지 사용량은 같은 기간 2.5 EJ에서 2 EJ로 20% 감소

- 95% 감축시나리오에서 산업부문의 온실가스 배출량은 2050년까지 92% 감축 (2015년 대비) 되어야 함 (189백만 이산화탄소 환산톤 ⇒ 15백만 이산화탄소 환산톤)
- 80% 감축시나리오에서 석유화학은 산업평균 이상의 감축(56%) 가능하지만 철강(9%)과 시멘트(16%)의 감축 잠재량을 낮게 추정함

● 주요 감축수단

- 80% 감축시나리오 달성(산업부문 48% 감축)을 위한 주요 감축수단으로 에너지 효율, 석탄사용의 최소화(저탄소 전력으로 대체 등), 바이오매스를 중·저온열 (<500℃) 공급원으로 활용할 것을 제안함
 - 95% 감축시나리오 달성(산업부문 92% 감축)을 위해 고온의 열(>500℃) 생산에 필요한 원료를 천연가스와 같은 화석연료에서 바이오가스와 PtG(Power-to-Gas) 기술을 활용한 재생에너지 가스 사용과 함께 공정배출량 잔존분에 대해 CCS가 필수적이라고 예상함
- ※ 에너지효율 수준은 80% 감축수단과 동일하다고 가정함

3) 영국 에너지·기후변화부 & 기업·혁신·기술부 (2015)

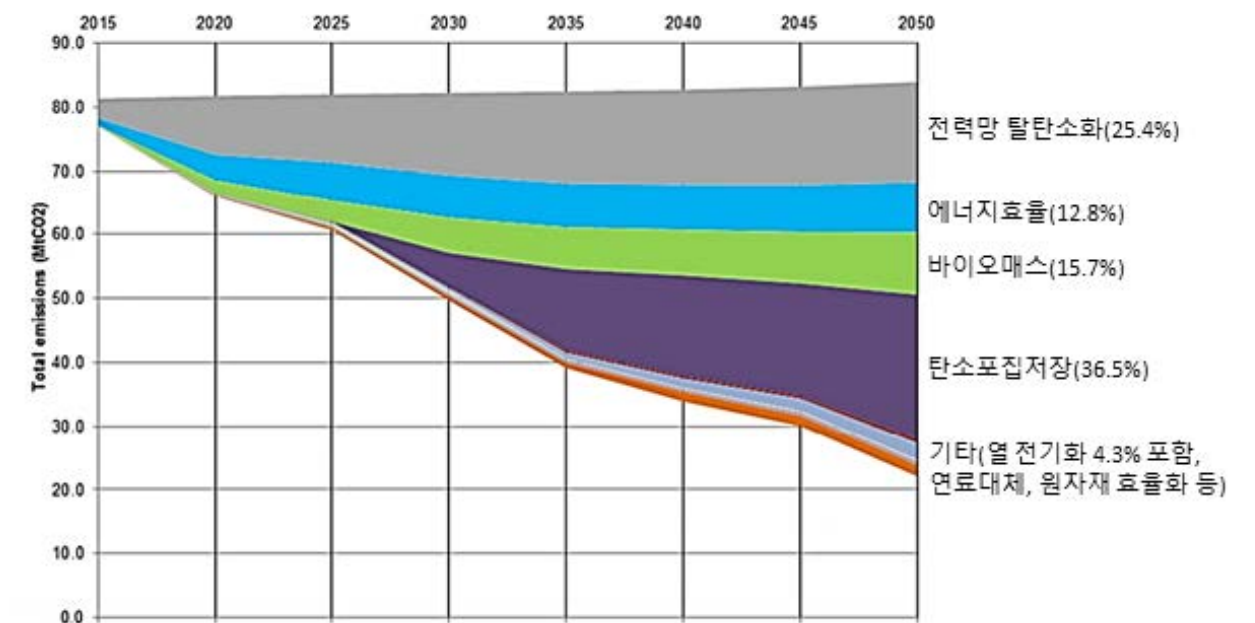
● 개요

- 2015년 영국 에너지·기후변화부(Department of Energy and Climate Change)와 기업·혁신·기술부(Department of Business, Innovation and Skills)가 발주한 과제를 WSP와 DNV·GL이 발간한 결과물로써, 영국 산업부문의 2050년 탈탄소화 시나리오와 감축수단을 제시하고 있음 (보고서 제목 - Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050)

● 감축 시나리오 및 주요 수단

- 감축 수단의 구성과 활용 범위 및 수준에 따라 (1) BAU 경로, (2) 중간(intermediate) 경로, (3) 최대 기술(Max Tech) 경로 제시함.
- BAU 경로는 2012년 이산화탄소 81백만 톤에서 2050년 58백만 톤으로 28.4% 감축 하는 시나리오로서 전력망의 급격한 탈탄소화, 에너지효율화 조치, 바이오매스 사용 확대, 탄소포집 및 저장기술의 사용 등을 통해 총 감축량의 61.6%, 23.0%, 7.3%, 2.6%를 달성 가능할 것으로 제시됨
- 중간 경로는 2012년 이산화탄소 81백만 톤에서 2050년 42백만 톤으로 48.1% 감축하는 시나리오로서 전력망의 탈탄소화(37%), 에너지효율 및 열 회수 기술(23%), 탄소포집 및 저장(18%), 바이오매스의 연료 및 원료화(13%) 등을 통해 달성 가능할 것으로 제시됨
- 최대 기술 경로는 2012년 이산화탄소 81백만 톤에서 2050년 22백만 톤으로 72.8% 감축하는 시나리오로서 탄소포집 및 저장(37%), 전력망의 탈탄소화(25%), 바이오매스의 연료 및 원료화(16%), 에너지효율 및 열 회수 기술(13%)을 주요 감축 수단으로 제시 (그림 3-11)

<그림 3-11> 영국 산업부문 2050 온실가스 최대 기술(Max Tech) 감축 시나리오



출처 : WSP & DNV-GL (2015), Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050, Cross-sector Summary. Prepared for the Department of Energy and Climate Change and the Department of Business, Innovation and Skills, 11쪽

● 다배출 산업별 감축 방안 및 감축률

- 철강, 시멘트, 석유화학에 공통적으로 적용될 수 있는 감축 수단은 에너지 효율, 원부자재 효율 향상 등인데, 이들 공통적 수단으로는 각각 15%(철강), 12%(시멘트), 31%(석유화학) 수준의 감축만 가능한 것으로 추정함
- 감축량을 획기적으로 증가시키기 위해서 탄소포집 및 저장과 바이오매스 사용 확대 등이 중요할 것으로 제시하고 있음. 이를 통해 철강, 시멘트, 석유화학 산업에서 각각 60%, 62%, 88%가 감축 가능할 것으로 전망함 (표 3-6)

[표 3-6] 온실가스 다배출 산업의 감축 방안 및 감축 잠재량

산업부문	감축 방안 및 감축률(%)	총 감축률(%) ¹⁸⁾
철강	A안- 에너지효율, 원부자재 효율, 연료 대체	15%
	A안에 CCS 최대기술(45%)적용 시	60%
시멘트	A안 - 에너지효율, 대안 시멘트	12%
	A안에 바이오매스(28%), 연료대체, CCS 최대 기술수준 적용시	33% (CCS 미포함) 62% (CCS 포함)
석유화학	A안 - 에너지효율, 바이오매스, 연료대체, CCS	31%
	A안에 바이오매스(37%), CCS(43%) 최대 기술 수준 적용 시	79% (바이오매스 미포함) 88% (바이오매스 포함)

출처 : 본 보고서 p.14~19 재구성

18) 총 감축률에는 전력망의 저탄소화를 통한 감축량은 미포함됨. 포함시 전 산업에서 6.5백만톤 추가 감축 가능함.

3.3 시사점 및 제언

3.3.1 국내외 시나리오 검토를 통해 도출가능한 시사점

1) 2050년 산업부문의 온실가스 순배출 Zero는 어렵지만 불가능하지는 않다!

- EU, 독일, 영국의 산업부문을 대상으로 감축시나리오를 분석한 글로벌 컨설팅 기관들은 2050년까지 산업부문의 온실가스 배출량을 90%까지 감축 가능할 것으로 전망함 (표 7)
- EU 회원국 전체를 대상으로 EU집행위원회 산하 Directorate-General for Climate Action의 발주로 글로벌 컨설팅사인 ICF와 프라운호퍼는 EU 산업부문에서 2050년까지 92%의 온실가스 감축이 가능할 것으로 분석함
- 독일 산업협회(BDI)가 발주한 과제로 보스턴 컨설팅과 프로그노스가 분석한 결과도 2050년까지 독일 산업부문의 온실가스배출량을 92%까지 감축 가능할 것으로 분석함.

[표 3-7] 2050 산업부문의 감축 시나리오 요약

연구팀	지역	시나리오		비고
		BAU(최저)	최대	
2050 저탄소 사회 비전 포럼 (2020)	한국	18.8% (2017년 대비)	65.5% (2017년 대비)	
한국환경정책평가연구원 (2019)	한국	— ¹⁹⁾	88.4% (2017년 대비)	이산화탄소만 포함
ICF & Fraunhofer ISI (2019)	EU	12% (2015년 대비)	92.0% (2015년 대비)	
Boston Consulting & Prognos (2018)	독일	22% (2015년 대비)	92.0% (2015년 대비)	이산화탄소만 포함
WSP & DNV·GL (2015)	영국	28.4% (2012년 대비)	72.8% (2012년 대비)	

출처 : 저자 작성

19) 이창훈 외(2019)는 2050년 이산화탄소 목표 순배출량이 0이 되기 위해 기술적·정책적으로 타당한 분야별 방안을 종합한 심층에너지전환 시나리오를 제시함. 특히 국내 연구 중 드물게 온실가스 다배출 산업부문(철강, 석유화학)에 필요한 산업부문의 에너지전환전략과 2050년 목표 달성에 필요한 산업부문의 최대 감축목표량을 제시함. 즉, 감축수단과 적용범위 등의 변수에 따라 복수의 시나리오를 제시한 것은 아님.

- 특히, ETC(2018)²⁰⁾는 온실가스 최대 배출산업인 철강, 시멘트, 석유화학 업종이 2050까지 탄소중립이 기술적·경제적으로 가능하다고 제시함

- 각국의 산업구성이나 거시경제적 동향이 다르고, 시나리오 분석의 기준연도가 상이함에 따라 한국에 그대로 적용할 수는 없음. 하지만 현재 적용가능한 기술과 미래 기술적경제적으로 타당할 것으로 평가되는 감축옵션으로 최대감축시나리오를 구성했다는 점에서 국내 산업부문의 감축시나리오 구성에 중요한 시사점을 제공함.

2) 다양한 감축옵션 존재! 현재 가용한 옵션을 적극 활용하며 중장기적 옵션에 대한 R&D 투자 필요!

- 모든 연구보고서에 따르면, 산업부문(특히 철강, 시멘트, 석유화학)에 공통적으로 적용 가능한 감축옵션과 산업부문별 감축옵션으로 구분될 수 있으며, 효과적인 온실가스 감축을 위해서는 두 가지 감축옵션이 모두 필요함
 - 공통적으로 적용가능한 감축옵션은 순환성 강화·수요관리와 에너지효율화가 있으며, 이들의 최대 감축 효과는 산업별로 44%에서 71%에 이를 것으로 전망(표 6)
 - 산업별 탈탄소옵션에도 공통적으로 적용되어 상당한 양의 온실가스 감축이 예상되는 기술(그린수소, 공정의 전기화, 바이오매스, 전환연료로서 천연가스 활용등)이 있으며, 산업별 특화된 기술의 감축 잠재량도 매우 클 것으로 전망됨. 예를 들어, 무시멘트 콘크리트가 2040년경 활용가능할 경우 최대 100%까지 관련 온실가스 감축이 가능하며, 재활용 플라스틱이나 바이오연료로 기존 화석연료를 대체할 경우 석유화학 업종의 온실가스를 50%에서 100%까지 감축 가능할 것으로 추정하고 있음.
- 많은 감축옵션이 2050년 내 기술·경제적 타당성을 확보할 것으로 전망됨. 현재 시점에서 가용하면서 비용효율적인 옵션을 적극 활용하고, 중장기적으로 활용 가능한 감축옵션에 대한 R&D가 필요함.
 - [표 3-8]의 산업별 감축옵션별 적용가능 시점은 기술적·경제적 타당성을 고려한 분석결과로, 각 옵션별 비용이 감안된 수치임. 예를 들어, 그린수소와 탄소포집이 철강, 시멘트, 석유화학 산업에서 기술경제적으로 적용가능한 시점은 각각 2040년과 2025년경으로 전망되고 있음.
 - 산업별 특화된 옵션의 경우도 다양한 시점에서 기술·경제적으로 활용 가능한 것으로 전망됨. 예를 들어, 석유화학 산업에서 재활용 플라스틱이나 바이오원료를 생산원료로 사용하는 것은 현재에도 가능한 반면, 시멘트 산업에서 무시멘트 콘크리트는 2040년경에나 가능할 것으로 전망됨.

20) 에너지전환위원회(Energy Transitions Commission)는 2050년 탄소중립의 필요성을 공감하는 전 세계 에너지, 산업, 수송, 건물, 기후변화 분야의 전문가로 구성된 위원회로서, 2018년 Mission Possible: Reaching Net-zero Carbon Emissions from Harder-to-Abate Sectors by Mid-Century 보고서를 통해 온실가스 다배출 산업(철강, 시멘트, 석유화학)과 수송분야(트럭, 해운, 항공)의 2050년 탄소중립 달성을 위해 필요한 감축 수단을 제시함. 이 보고서는 Material Economics, McKinsey & Company, University Maritime Advisory Services, SYSTEMIQ 등의 분석결과를 중심으로 위원회 소속 위원들이 작성한 것임.

[표 3-8] 온실가스 다배출 산업의 주요 감축수단별 잠재감축률 및 예상 적용가능 시점²¹⁾

감축 방안		온실가스 다배출 산업		
		철강	시멘트	석유화학
순환성 강화 및 수요관리	주요 감축 수단	- 스크랩 재활용 향상 - 순환성 향상을 위한 제품 재설계 - 철강기반 제품 재사용 (e.g. 공유 등)	- 효율적인 건축 설계 - 미수화(unhydrated) 시 멘트 및 콘크리트 재활용	① 일회용 사용 금지 ② 화학적, 기계적 재활용
	최대 감축잠재율 (적용 예상 시점)	38% (2020-2050)	34% (2020-2050)	56%* *전주기 배출량 기준 ① (2020-2050) ② (2020-2032)
에너지 효율	주요 감축 수단	- 철강로 배출 고압 가스 를 다른 장비의 동력원으 로 활용 - 코크스 건식소화설비 (CDQ) ²²⁾	- 건식소성로로 교체 - 다단사이클론 가열로 - 클링커-시멘트 비율 경 감	모노머(monomer) 생산공 정에서의 에너지효율 향상 나프타 촉매 크래킹
	최대 감축잠재율 (적용 예상 시점)	15% (2020-2050)	10% (2020-2050)	15%* (2020-2050) *생산배출량 기준
탈탄 소 기 술	그린 수소	주요 감축 수단	수소환원제철	수소 소성
		최대 감축잠재율 (적용 예상 시점)	100% (2040-2050)	100%* (2040-2050)
	바이오 매스	주요 감축 수단	BF나 BOF ²³⁾ 에 숯 (charcoal) 활용	바이오매스를 활용한 열 생산
		최대 감축잠재율 (적용 예상 시점)	100% (2020-2040)	100%* (2020-2050) * 생산배출량 기준
	공정의 전기화	주요 감축 수단	① 스크랩기반 EAF ²⁴⁾ ② 철광석 전기분해	소성로의 전기화
		최대 감축잠재율 (적용 예상 시점)	① 100% (2020-2050) ② 100% (2045-2050)	100%* (2040-2050) * 생산배출량 기준
	탄소 포 집 저장	주요 감축 수단	BF/BOF 발생 온실가스 포집	생산 및 공정배출량 포집 및 저장
		최대 감축잠재율 (적용 예상 시점)	90% (2025-2050)	90%* (2025-2050) * 제품배출량 기준
	가스 사 용	주요 감축 수단	가스환원철(전환기적 연 료로 활용)	전환기적 연료로 활용
		최대 감축잠재율 (적용 예상 시점)	50% (2020-2042)	50%* (2020-2038) * 폐기단계 배출량 기준
	기타	주요 감축 수단	-	① 포졸란기반 콘크리트 ② 무시멘트 콘크리트
		최대 감축잠재율 (적용 예상 시점)	-	① 70% (2025-2050) ② 100% (2040-2050)
		주요 감축 수단	-	① 재활용 플라스틱 사용 ② 바이오원료 사용
		최대 감축잠재율 (적용 예상 시점)	-	① 50% (2020-2050) ② 100% (2020-2050)

출처 : Energy Transitions Committee (2018)의 Mission Possible p.40~42

21) 표는 Energy Transitions Committee (2018)의 Mission Possible 40~42페이지를 바탕으로 재구성한 것임

22) Coke Dry Quenching

23) Blast Furnace(고로), Basic Oxygen Furnace(순산소전로)

24) Electric Arc Furnace (전기로)

3.3.2 전략 및 정책 제언

1) 산업부문의 온실가스 순제로배출 시나리오 및 달성 방안에 대한 연구 필요

- 여러 국가와 기관(ICF & 프라운호프, 보스턴컨설팅 & 프로그노스, WSP & DNV·GL, Energy Transitions Commission 등)이 산업부문에 특화된 연구 진행. 우리나라 일부 기관과 연구자가 탄소중립 연구 수행 했으나²⁵⁾, 산업부문에 특화된 연구는 찾기 어려움²⁶⁾
- 산업부문이 한국 경제와 온실가스 배출량에서 차지하는 비중을 고려해 볼 때, 산업부문에 대한 넷제로 연구는 가장 중요하고 시급하게 연구되어야 할 부분임. 예를 들어, [표 3-9]에서 보듯이 탄소포집 및 저장(CCS)과 같은 일부 탈탄소기술의 기술·경제적 타당성과 실제 효과에 대한 연구기관 간 입장차가 존재하는 상황에서 국내 산업에 가장 효과적인 감축옵션 포트폴리오에 대한 체계적이고 종합적인 연구가 필요함

[표 3-9] 탄소포집 및 저장에 대한 연구기관별 입장 비교

연구팀	지역	CCS에 대한 각 연구의 입장
2050 저탄소 사회 비전 포럼(2020)	한국	• 1안(최대감축안) 달성 후 잔여배출량인 178.9백만톤 추가 감축을 위해 산업 부문에서 CCUS, DAC 등이 필요 • 정부주도 실증·이행의 구체화 위한 로드맵과 법제도 기반 마련 필요
한국환경정책평가 연구원 (2019)	한국	• 심층 에너지전환 시나리오에서 CCS/CCSU 개발의 실현 가능성이 크지 않을 것으로 보고 제외함
ICF & Fraunhofer (2019)	EU	• 경제성 측면에서 합리적 수준이지만 상용화 여부 매우 불확실 • 다른 시스템 변화 부족시, 상당한 수준의 잠금효과 리스크 존재 • CCS 적용 없이, 산업부문에서 80% 감축 가능함 • 95% 감축에서도 철강과 석유화학에는 미적용. 시멘트업 석회석과 기존 클링커 적용 등 잔여공정배출만 포집하는 것으로 제한함 • 95% 감축을 위해 CCS가 반드시 필요하다고는 보지 않음
Boston Consulting & Prognos (2018)	독일	• 80% 감축안에는 CCS를 미포함 • 95% 감축을 위해서는 CCS가 필수적임
WSP & DNV·GL (2015)	영국	• 3개의 경로(BAU, 중간, 최대기술) 모두 CCS 적용 • BAU 경로에서는 2.6%, 중간 경로는 18%, 최대기술 경로는 37%만큼의 감축에 기여할 것으로 전망

출처 : 저자 작성

25) 2050 저탄소 사회 비전 포럼의 「2050 장기 저탄소 발전전략」(2020), 홍종외 외(WWF)의 「지속가능한 미래를 위한 대한민국 2050 에너지전략」(2017), 이상엽 외(한국환경정책평가연구원)의 「신기후체제 대응을 위한 2050 저탄소 발전전략 연구」(2017) 등이 있음.

26) 이창훈 외(한국환경정책평가연구원)의 「지속가능발전과 에너지-산업전환: 기후변화 정책목표 1.5℃ 대응을 중심으로」(2019)에서 에너지산업과 함께 산업부문에서의 2050 온실가스 순배출 제로 시나리오와 감축방안을 소개하고 있음. 특히 온실가스 다배출산업인 철강과 석유화학 산업의 감축을 저해하는 장애물과 감축수단을 제시하고 있음. 다만, 분석 대상에 포함된 산업이 철강과 석유화학에 한정되고 감축방안별 시나리오 분석이 이루어지지 않았다는 점에서 한계가 있음.

2) 순환경제·수요관리 및 에너지효율 향상 등 현재 기술경제적으로 타당한 감축옵션을 최대한 활용 할 필요가 있음

- 유럽연합을 중심으로 소위 3R 원칙(Reduce, Reuse, Recycle) 기반 순환경제로의 전환 및 에너지효율 향상 노력이 가속화되고 있음.
- ETC(2018)는 철강, 석유화학, 시멘트의 연간 이산화탄소 배출량을 순환경제를 통해 38%, 56%, 34% 감축하고 에너지효율화를 통해 15%, 15%, 10% 추가 감축 가능할 것으로 전망하고 있음.²⁷⁾
- 동 연구에서 검토한 3개 해외 시나리오 분석에서 에너지효율 향상을 가장 기술·경제적으로 쉽게 활용 가능한 감축수단으로 적용하고 있음. ICF & 프라운호프(2019)는 에너지효율화 조치가 10년 내에 투자 회수가 가능할 것으로 평가하고 있으며, WSP & DNV·GL(2015)은 에너지효율과 원부자재효율화를 통해 철강, 석유화학, 시멘트 산업에서 각각 15%, 31%, 12% 감축이 가능할 것으로 전망함.

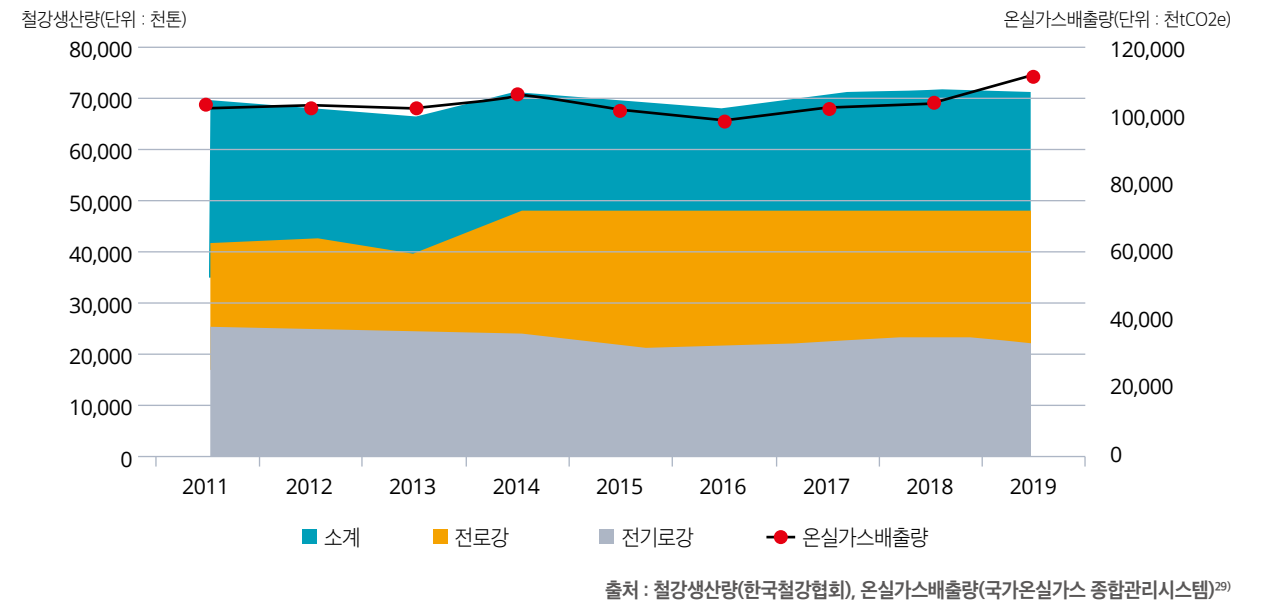
3) 온실가스 다배출 3대 산업(철강, 석유화학, 시멘트)의 감축을 위한 전 사회적 노력 필요

- 철강, 석유화학, 시멘트가 산업부문 온실가스 배출량에서 차지하는 비중이 64%이며, 국가 총 배출량 중 29%에 달함.²⁸⁾
- 철강생산은 지난 10여 년간 총 생산량은 연간 7만 톤 수준 유지함. 전기로 생산이 연간 2.5만톤 수준에서 머문 반면, 일관제철 방식은 14% 증가함 (그림 3-12). 온실가스 배출량은 2011년 대비 2016년 감소 추세(약 4% 감소)였지만, 2016-2019년 증가 추세로 전환됨 (약 13% 증가). 특히, 2019년에는 생산량은 1.5% 감소했지만, 온실가스 배출량은 7% 증가함.

27) 현재 산업통상자원부를 중심으로 산업부문의 에너지효율 향상 조치를 시행 중에 있음. 에너지 원단위 절감 협약제도는 에너지 원단위를 연간 1%씩 경감하는 협약을 체결하여 목표 달성시, 사업장에 인센티브를 부여하는 제도임(우수사업장 인증, 에너지진단 면제 등). 노후 산업용 보일러를 고효율 보일러로 교체 지원 사업도 추진 중으로 2017년 기준 보일러의 에너지소비량이 산업부문에서 18.3% 차지했는데 2018년 기준 약 1.35만대의 산업용 보일러 중 노후 보일러가 약 30%로 노후 보일러 교체를 통해 상당한 수준의 온실가스 절감이 가능할 것으로 예상됨. 마지막으로 공장에너지관리시스템(FEMS) 도입 확대 정책의 경우, 에너지 다소비업체(10만TOE 이상) 대상 FEMS 설치 의무화를 도입할 예정임(2025년 예정). 2017년 기준 10만TOE 이상 사업장이 157개로 산업부문 전체 에너지사용량의 57.7% 차지하기 때문에 FEMS 도입에 따른 온실가스 감축효과를 기대할 수 있을 것으로 예상됨. 하지만 에너지효율 성과에 대한 체계적인 측정 및 검증 표준 마련 등 보완 조치가 필요함. 10만TOE 미만 업체의 경우, 스마트산단이나 스마트공장과 연계한 FEMS 보급 지원을 확대할 예정임(2040년까지 신규 3천개 이상)

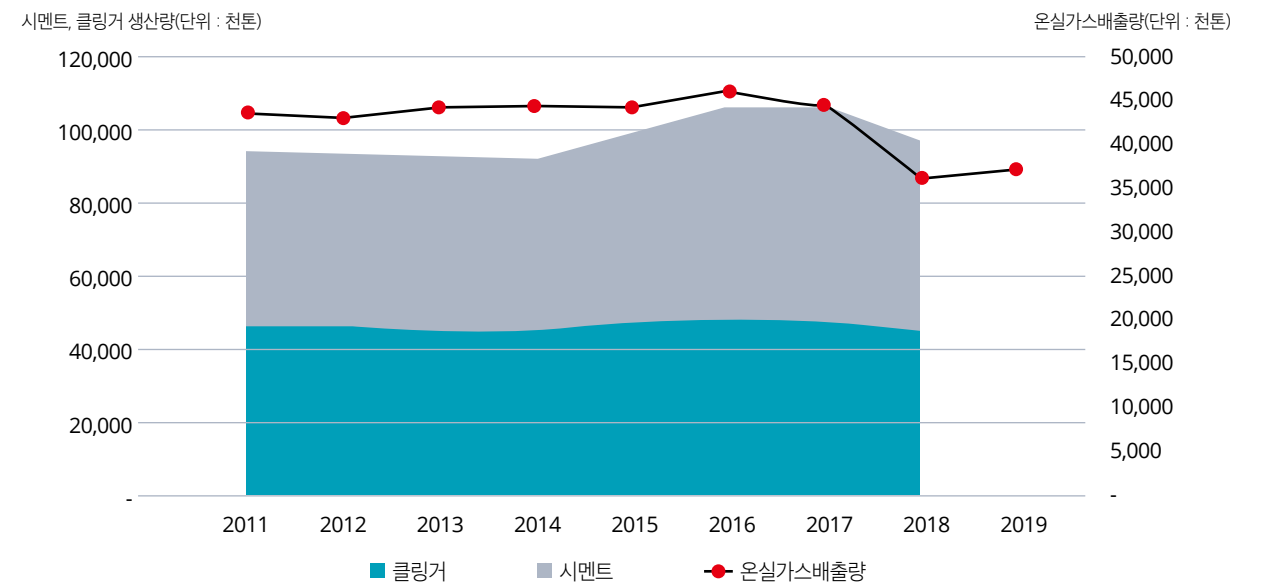
28) 주요 철강업체(포스코, 현대제철), 석유화학업체(LG화학, 롯데케미칼, 한화토탈, 여천엔씨, SK종합화학, 금호석유화학), 시멘트업체(쌍용양회공업, 삼표시멘트, 성신양회, 한라시멘트, 한일시멘트, 한일현대시멘트, 아시아시멘트)가 국가 온실가스배출량에서 차지하는 비중이 23%에 달함

<그림 3-12> 국내 철강생산량 및 온실가스배출량 (2011-2019)



- 시멘트·클링커 생산량과 온실가스배출량도 최근 8년(2011-2018)간 큰 변화는 없음 (그림 3-13). 시멘트·클링커 생산량과 온실가스배출량 간에는 비례 관계 존재했음. 특히, 2018년 시멘트·클링커 생산량 감소분(9.2%)에 비해 온실가스 배출량 감소분(18.7%)이 2배 가까이 컸음.

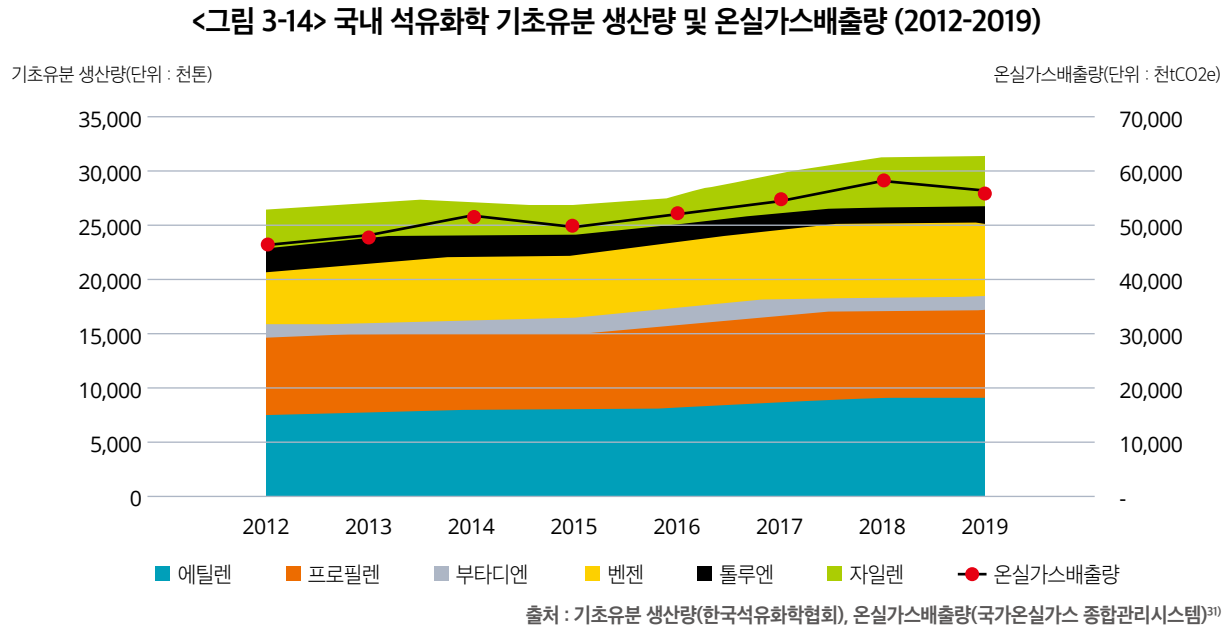
<그림 3-13> 국내 시멘트·클링커 생산량 및 온실가스배출량 (2011-2018)



29) 온실가스배출량은 명세서배출량 통계 활용 (2019년은 업체별 배출량 집계). 온실가스배출량은 국가배출권거래제에 포함된 철강업체가 연간 배출하는 모든 종류의 온실가스를 포함. 즉, 그래프 상의 철강생산량과 온실가스배출량이 100% 상관관계를 갖는 것은 아님

30) 온실가스배출량은 명세서배출량 통계 활용 (2019년은 업체별 배출량 집계). 온실가스배출량은 국가배출권거래제에 포함된 시멘트업체가 연간 배출하는 모든 종류의 온실가스를 포함. 즉, 시멘트·클링커 생산량과 온실가스배출량이 100% 상관관계를 갖는 것은 아님. 한국시멘트협회의 2019년 시멘트·클링커 생산량 데이터는 업데이트 안된 상황임

- 석유화학 기초유분 생산량 추세(2012-2019 기준)는 물질별로 차이는 있지만, 전체 생산량은 지속 상승함 (18.5% 증가). 온실가스 배출량은 기초유분 증가와 비슷한 추세를 보이면서, 지속 상승함 (20.4% 증가) (그림 3-14)



- 2050년 국가 온실가스 순배출 제로 달성을 위해 이들 3대 산업부문의 온실가스 감축이 매우 중요한 역할을 할 수 있음. 철강, 석유화학, 시멘트 산업별로 정책, 기술, 기업 측면에서 고려해야 할 혁신과제를 요약하면 [표 3-10]과 같음. 각 산업에 적용될 수 있는 수단별 감축잠재량 산정을 통해 우리나라 산업부문의 2050 넷제로 시나리오를 도출하고, 2050 넷제로 목표 달성에 필요한 법제도 개선 및 연구개발 과제에 대한 추가 연구가 필요할 것임.

4) 2050 장기 저탄소 발전전략의 감축목표 보다 더 강한 목표 수립 필요

- 3.2장에서 살펴본 것처럼, 2050 장기 저탄소 발전전략의 산업부문 감축 시나리오는 최대 65.5%(1안)와 최소 18.5%(5안)임 (전환부문 별도).
- 2050 장기 저탄소 발전전략에서는 외부전기와 열 구매를 포함한 산업부문 온실가스 감축 시나리오도 제시하고 있는데, 강시나리오 57%, 중시나리오 45.6%, 약시나리오 25.8% 감축 목표 제시(그림 3-15). 감축수단으로 제시한 8가지³²⁾를 강화하고 추가 수단 도입을 통해 산업부문의 2050 온실가스 감축목표 상향이 가능함.

31) 온실가스배출량은 명세서배출량 통계 활용 (2019년은 업체별 배출량 집계). 온실가스배출량은 국가배출권거래제에 포함된 석유화학업체가 연간 배출하는 모든 종류의 온실 가스를 포함. 즉, 석유화학 기초유분 생산량과 온실가스배출량이 100% 상관관계를 갖는 것은 아님.

32) 수소화기술 및 원료재활용, 신소재전환 및 고부가제품, 기기효율개선, 스마트 공장 및 산단, CO2 포집·저장·활용, 저탄소 연·원료 사용, 산업공정배출 감축, 수소화 및 CCUS 에너지 증가

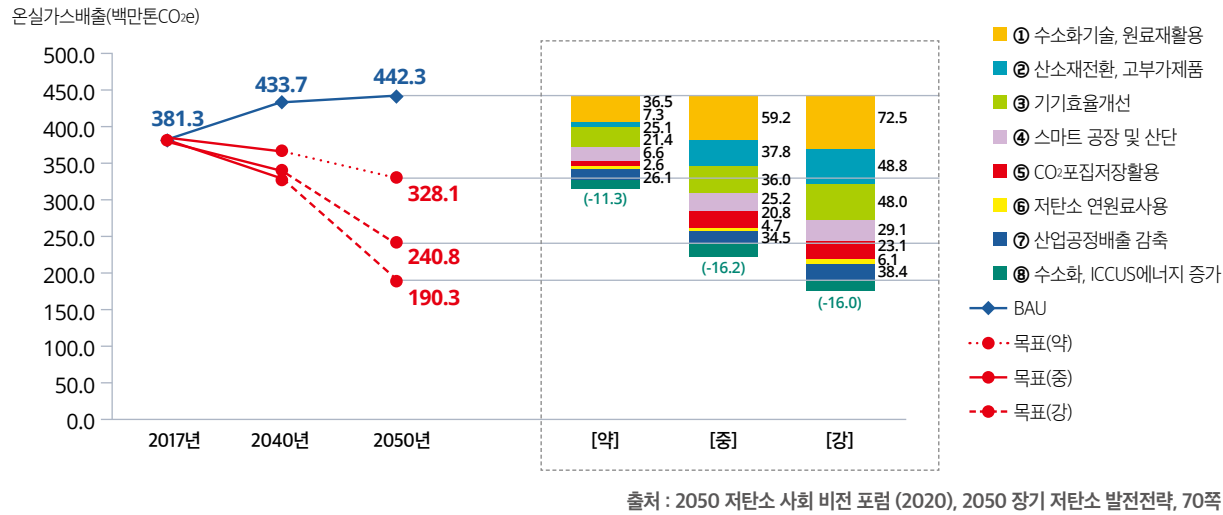
[표 3-10] 철강, 시멘트, 석유화학 산업별 혁신과제

산업	기술혁신과제	정책혁신과제	기업혁신과제
철강	• 수소직접환원철과 전기로 조합(DR H2 + EAF) • 고로/순산소전로 탄소포집 기술 개발 • 고순도, 고가치 철강의 재사용/재활용률 향상을 위한 제련법 개발 • 천연가스의 합성메탄 가스로 대체	• 배출권거래제 배출허용 총량 지속 경감 • 탄소집약도가 BM대비 높은 철강 사용에 대한 규제 신설 및 강화 • 공공인프라와 건축물의 그린 리모델링 및 신축 시 저탄소 철강과 자재 조달 유도 정책 수립³³⁾	• 수소직접환원철 개발과 재사용/재활용 향상을 위한 R&D 투자 확대 • 녹색철강표준화 노력에 적극 참여 • 녹색철강 구매/조달 (자동차, 선박업체 등) • RE100 목표 수립 및 참여
시멘트	• 수소 + 전기 소성공정 개발 • 저탄소 시멘트·콘크리트 등 녹색건축 자재 개발 • 희석된 이산화탄소 배출 및 포집비용을 저감할 수 있는 공정 개발	• 배출권거래제 배출허용 총량 지속 경감 • 탄소집약도가 BM대비 높은 시멘트 사용에 대한 규제 신설 및 강화 • 공공인프라와 건축물에 저탄소 시멘트/콘크리트 조달 유도 정책 수립	• 소성공정 연료를 수소나 재생에너지 전기로 대체 • 탄소포집기술 R&D 투자 및 시범사업 실시 • 건축물의 재료 효율성 향상 및 재활용률 증진 장애물 해결 • RE100 목표 수립 및 참여
석유화학	• 고품질 대량 물질 (mechanical) 재활용 및 화학적(chemical) 재활용 방식의 개발/고도화 • 지속가능한 바이오 원료 개발 (납사, 천연가스 대체) • 공정에 그린수소 및 저탄소 전기로 대체	• 포장재, 생활가전 등 저탄소 기준 강화 • 제품 재활용성에 대한 신규 정책 도입 및 생산자책임제 강화 • 플라스틱 소각에 대한 최소한 매립에 준하는 탄소세 부과	• 순환성 강화를 위한 밸류체인 전반(제품 설계부터 처리)의 협력 강화 • 플라스틱 제품의 재활용성과 재활용소재에 대한 R&D 강화 • 재활용시장에 대한 기회 포착/신사업 진출

출처 : Energy Transitions Commission (2018), Mission Possible: Reaching Net-zero Carbon Emissions from Harder-to-abate Sectors by Mid-Century 40-42쪽 기반으로 저자 작성

33) 2050 온실가스 순배출 제로를 위해 녹색산업이나 제품 등에 대한 명확한 기준 마련 필요. EU에서는 Technical Expert Group (TEG)이 녹색분류체계 스크리닝 기준을 수립 중임. 저탄소 솔루션이 부재하거나 부족한 다배출산업의 2030과 2050 전환경로 설정에 3가지 원칙을 세움. 첫째, 해당 산업의 평균배출량 대비 훨씬 낮은 수준의 온실가스 배출량 수준 둘째, 저탄소 대안의 개발 및 보급을 방해하지 않아야 함 셋째, 전주기 관점에서 탄소집약적 자산의 고착화(lock-in)에 기여해서는 안됨. 그리고 세 가지 활동으로 분류함. 첫째, 이미 저탄소 활동의 경우, 이들 활동의 개발 및 보급 증가를 위해 자본 필요. 이들 활동에 대한 기술분류기준은 장기적이고 안정적인 가능성 높음. 이들을 '녹색'활동으로 지칭함. 둘째, 2050년 넷제로 전환에 기여할 수 있지만 현재 넷제로 배출경로상에 없는 활동은 산업 평균대비 성과를 월등히 향상시켜야 함. 이들 활동에 대한 기술분류기준은 배출량 제로화 경로에 비취 주기적으로 검토, 수정이 필요함. 이들을 '녹색화 중인(greening of)' 활동으로 지칭함. 셋째, 저탄소 성과창출이 가능하거나 상당한 배출량 감축을 가능케하는 활동들이 있음. 이들을 '녹색화시키는(greening by)'활동으로 지칭했는데, 현재는 '가능케하는(enabling)'활동으로 지칭함 (EU Technical Expert Group on Sustainable Finance, Taxonomy: Final report of the Technical Expert Group on Sustainable Finance, 2020, p. 20).

<그림 3-15> 2050 장기 저탄소 발전전략 산업부문(외부전기 및 열 구매 포함) 온실가스 감축 시나리오



- 예를 들어, 발전부문의 재생에너지로의 전환에 따라 전력배출계수가 현재보다 현저히 낮아질 경우, 산업부문의 외부전력 구매에 따른 배출량을 상당히 낮출 수 있음. 저탄소 사회 비전 포럼의 1안과 같이 재생에너지 전기가 국가 전력망의 60.8%에만 도달하더라도, 현재보다 온실가스 배출이 60% 낮은 수준의 외부전력을 구매하는 것이 가능해짐. 이는 산업부문에서 외부전기 구매에 따른 배출량을 약 5천만 톤 추가 감축 가능함을 시사함.(현재처럼 외부전기 구매에 따른 온실가스 배출량을 83백만 톤 수준으로 가정한 경우)
- 우리나라 철강업종에서 현재와 같이 코크스용 원료로 유연탄을 사용하지 않고, 그린수소를 사용할 경우 상당한 배출량 감축이 가능. 예를 들어, 현재 포스코와 현대제철의 일관제철 공정배출이 산업부문 전체 공정배출의 42%를 차지하는데, 이들 두 업체가 유연탄 대신 그린수소를 환원제로 사용할 경우, 연간 최소 7천 6백만톤의 감축이 가능할 것으로 추정됨.³⁴⁾ 여기에 일관제철 공정의 전로를 전기로로 교체하고 현재 전기로에 사용하는 전력도 재생에너지로 사용할 경우, 연간 1천만톤 이상의 온실가스 배출량 감축 가능.³⁵⁾
- ETC 분석에 따르면 철강, 석유화학, 시멘트 업종 모두 순환경제를 통해 각각 38%, 56%, 34% 감축 가능할 것으로 추정함. 원료채굴과 제품디자인부터 처리나 폐기에 이르는 전 과정을 선형이 아닌 순환형태로 경제시스템을 재설계함으로써, 3대 다배출업종에서 최소 30% 이상의 온실가스 배출량을 경감할 수 있음을 시사함. 원료에 대한 수입의존도가 높고 폐기물 처리 문제가 시급한 국내 상황에서 순환경제시스템 구축은 다른 선진국에 비해 얻게 될 사회경제적 효과가 클 것으로 예상됨. 순환경제시스템 구축에 따른 사회경제적 혜택과 순환경제로의 전환에 필요한 과제에 대한 연구가 시급히 요청됨. 특정 분야의 전문성을 가진 연구기관이나 연구자에 의한 연구 보다는 학제간(interdisciplinary)·융합적(integrated) 방식의 연구가 효과적일 것으로 보임.

34) 2018년 기준, 포스코는 원료탄 18백만톤, 무연탄 1.2백만톤, 미분탄 6백만톤을 환원제로 사용. 이들을 그린수소로 대체시 약 7천6백만에 상당하는 배출량 감축 가능 (이산화탄소 배출계수 2.91, 2.88, 2.99 사용)

35) 포스코의 경우, 2018년 17.76TWh 전력사용. 전력배출계수를 0.459/MWh로 가정할 경우, 연간 8백만톤 이상의 온실가스 감축 가능.

부록 1. 2017년 K-ETS 할당대상업체 업종별 온실가스 배출량 및 에너지사용량 (온실가스배출량 순)

연번	업종	할당대상 업체개수	온실가스 배출량(톤CO ₂ -eq)	에너지 사용량(TJ)
		444	317,159,654	3,604,551
1	철강	40	102,564,787	677,621
2	석유화학	92	54,616,368	1,013,216
3	시멘트	24	44,881,525	241,519
4	정유	5	28,897,278	350,484
5	산업단지	13	14,318,823	178,688
6	반도체	23	14,174,822	227,267
7	디스플레이	4	11,418,223	145,443
8	비철금속	28	8,429,108	125,083
9	제지	41	6,924,379	112,228
10	섬유	16	4,713,146	85,614
11	자동차	31	4,336,800	86,846
12	전기전자	25	4,296,167	69,553
13	유리	21	3,917,961	62,973
14	통신	7	3,426,007	70,336
15	음식료품	25	3,107,041	63,413
16	요업	6	2,438,553	16,223
17	조선	11	2,083,421	36,304
18	기계	20	1,432,268	27,731
19	광업	5	789,131	2,250
20	목재	7	393,846	11,759

출처 : 국가온실가스 종합관리시스템, 2017년도 명세서 주요 정보 (<https://ngms.gir.go.kr>)

부록 2. 산업부문 업체별 최근 4년 평균 온실가스배출량 (단위 : 톤CO2-eq.)

순서	기업명	업종	평균('15-'18)
1	주식회사 포스코	철강	72,133,736
2	현대제철 주식회사	철강	20,675,992
3	쌍용양회공업 주식회사	시멘트	11,670,175
4	삼성전자 주식회사	반도체	8,240,037
5	지에스칼텍스 주식회사	정유	8,207,042
6	S-Oil(주)	정유	7,892,583
7	주식회사 엘지화학	석유화학	7,709,340
8	에스케이에너지 주식회사	정유	7,587,989
9	삼표시멘트(구, 동양시멘트)	시멘트	6,947,746
10	엘지디스플레이(주)	디스플레이	6,613,106
11	롯데케미칼 주식회사	석유화학	5,787,430
12	성신양회(주)	시멘트	5,759,987
13	현대오일뱅크	정유	5,440,901
14	한라시멘트 주식회사	시멘트	5,220,753
15	한일시멘트 주식회사	시멘트	5,096,764
16	삼성디스플레이 주식회사	디스플레이	4,943,259
17	한화토탈 주식회사	석유화학	4,360,738
18	한화에너지주식회사	산업단지	4,298,749
19	한일현대시멘트 주식회사	시멘트	3,834,406
20	여천엔씨씨 주식회사	석유화학	3,629,342
21	고려아연 주식회사	비철금속	3,428,555
22	에스케이종합화학 주식회사	석유화학	3,237,902
23	에스케이하이닉스 주식회사	반도체	3,189,655
24	금호석유화학 주식회사	석유화학	3,030,406
25	아시아시멘트 주식회사	시멘트	2,883,210
26	군장에너지주식회사	산업단지	2,578,106
27	오씨아이 주식회사	석유화학	2,401,268
28	주식회사 지에스이앤알	산업단지	2,317,190
29	주식회사 포스코케미칼	요업	2,309,532
30	동국제강 주식회사	철강	1,936,845
31	SK인천석유화학(주)	석유화학	1,690,870
32	케이씨씨	유리	1,617,678
33	주식회사 에스엔엔씨	비철금속	1,547,553
34	현대자동차 주식회사	자동차	1,533,406
35	주식회사 효성	석유화학	1,495,725
합계			241,247,973

출처 : 국가온실가스종합관리시스템 명세서배출량통계, <https://ngms.gir.go.kr/main.do>

참고문헌

<국내 문헌>

2050 저탄소 사회 비전 포럼 (2020), 2050 장기 저탄소 발전전략
국가온실가스종합관리시스템 명세서배출량통계(<https://ngms.gir.go.kr/main.do>)
산업통상자원부 (2019), 제3차 에너지기본계획
이창훈, 김태현, 박현주, 김태현, 김남일, 박명덕, 이민찬 (2019), 지속가능발전과 에너지·산업전환:
기후변화 정책목표 1.5℃ 대응을 중심으로, 경제·인문사회연구회협동연구총서
한국석유화학협회 (2020), 수급(연간) 통계, http://www.kpia.or.kr/index.php/year_sugub
한국시멘트협회 (2020), 월별 수급현황 시멘트 통계, http://www.cement.or.kr/stati_2015/total_view.asp?sm=2_2_0
한국에너지공단 (2019), 2018년도 에너지사용량통계(에너지사용량 신고업체 기준), http://www.kemco.or.kr/web/kem_home_new/info/statistics/data/kem_view.asp?sch_key=&sch_value=&c=305&h_page=1&q=21861
한국에너지공단 (2018), 2018년 산업부문 에너지사용 및 온실가스 배출량 통계, http://netis.kemco.or.kr/netis/statistics/statistics_04_01.aspx
한국철강협회 (2020), 조강생산 통계, https://www.kosa.or.kr/statistics/production_2011.jsp
홍종호 외 (2017), 지속가능한 미래를 위한 대한민국 2050 에너지 전략. WWF

<해외 문헌>

Energy Transitions Commission (2018), Mission Possible: Reaching Net-zero Carbon Emissions from Harder-to-abate Sectors by Mid-Century
EU (2020), Taxonomy: Final report of the Technical Expert Group on Sustainable Finance
Fleiter T., Herbst A., Rehfeldt M., Arens M (2019), Industrial Innovation: Pathways to deep decarbonisation of Industry. Part 2: Scenario analysis and pathways to deep decarbonisation, Prepared for DG Climate Action of the European Commission by ICF Consulting Services Limited and Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research
Gerbertet P., Herhold P., Burchardt J., Schönberger S., Rechenmacher F., Kirchner A., Kemmler A., Wünsch M. (2018), Klimapfade für Deutschland. Prepared for the Federation of German Industries (BDI) by the Boston Consulting Group (BCG) and Prognos
WSP & DNV·GL (2015), Industrial Decarbonisation & Energy Efficiency Roadmaps to 2050, Cross-sector Summary. Prepared for the Department of Energy and Climate Change and the Department of Business, Innovation and Skills

건물부문

- 4.1 건물부문 에너지사용량과 온실가스 배출량 현황
- 4.2 국내외 건물부문 장기 저탄소 발전전략 시나리오 및 감축방안 검토
- 4.3 건물부문 정책 제언



4.1 건물부문 에너지사용량과 온실가스 배출량 현황

4.1.1. 에너지사용량 현황 ³⁶⁾

1) 에너지사용 현황

- 2018년 기준 건물부문(가정·상업·공공) 에너지사용량은 46,910,000TOE이며, 우리나라 총 최종에너지 사용량의 약 20%의 비중을 점하고 있음
 - 용도별로는 가정(50.0%), 상업(38.1%), 공공(11.9%) 비중으로 가정에서의 에너지사용량이 건물부문 총 에너지사용량의 절반을 차지

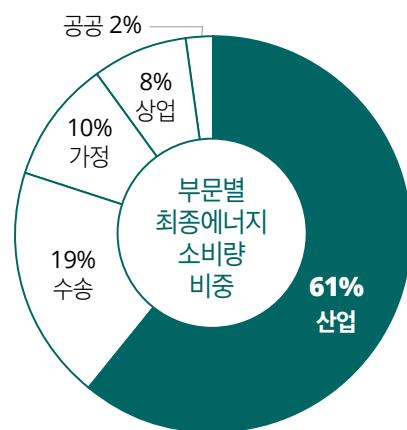
[표 4-1] 건물부문 에너지원별 최종에너지소비량 (2018년 기준) (단위 : 1,000 TOE)

	석탄	석유	도시가스	전력	열에너지	신재생	계	비중(%)
가정	432	3,366	10,901	6,079	2,289	393	23,460	50.0
상업	-	1,959	3,713	11,732	332	147	17,883	38.1
공공	-	1,429	99	2,784	61	1,195	5,567	11.9
계	432	6,754	14,713	20,595	2,682	1,735	46,910	100.0

출처 : 2019 에너지통계연보, 에너지경제연구원

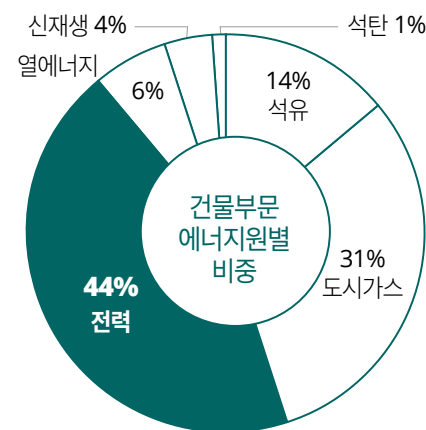
- 에너지원별로는 전력(44%), 도시가스(31%), 석유(14%), 열에너지(6%), 신재생(4%), 석탄(1%) 순으로 건물부문에서는 전력사용 비중이 가장 높으며, 도시가스 비율도 높은 편임 (그림 4-1, 4-2)

<그림 4-1> 부문별 최종에너지소비량 비중



출처 : 2019 에너지통계연보 참조로 저자 작성

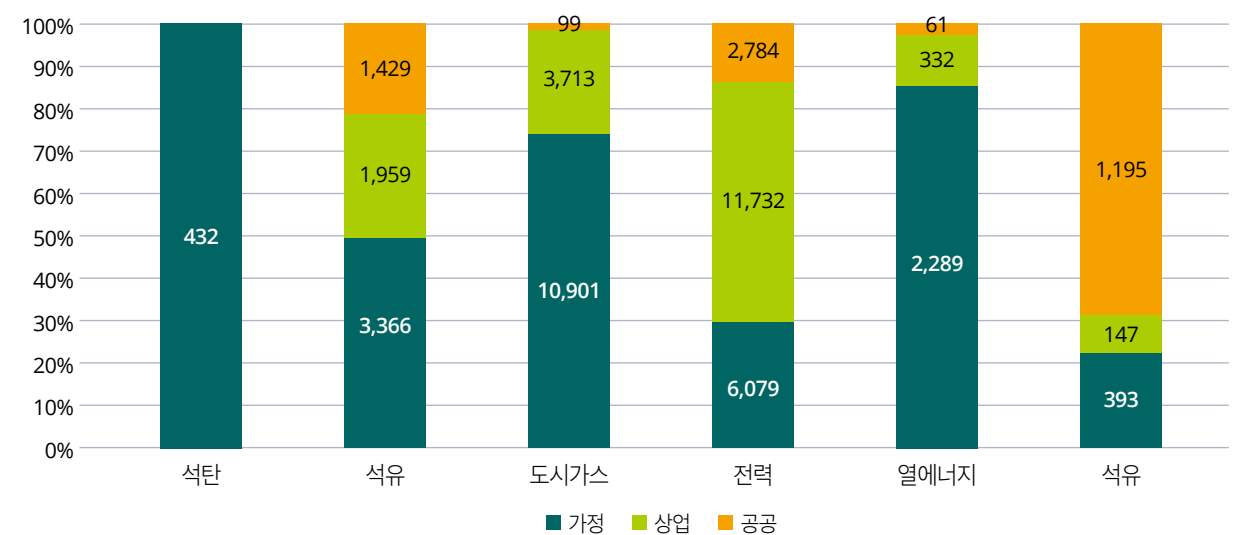
<그림 4-2>



출처 : 2019 에너지통계연보 참조로 저자 작성

- 용도별, 에너지원별 사용량은 석탄은 가정에서만 사용되고 있는 것으로 파악되며, 석유는 가정에서의 사용량이 상업에서의 사용량보다 높음. 도시가스와 열에너지사용량도 가정에서의 사용량이 상업용과 공공 사용량보다 높으나, 전력사용량은 상업에서의 사용량이 가정과 공공을 합친 사용량보다 높음. 신재생에너지는 공공에서의 사용량이 가정과 상업 사용량을 합친 것 보다 2배 정도 높음 (그림 4-3)

<그림 4-3> 건물부문 용도별, 에너지원별 사용량 및 비중 (2018)



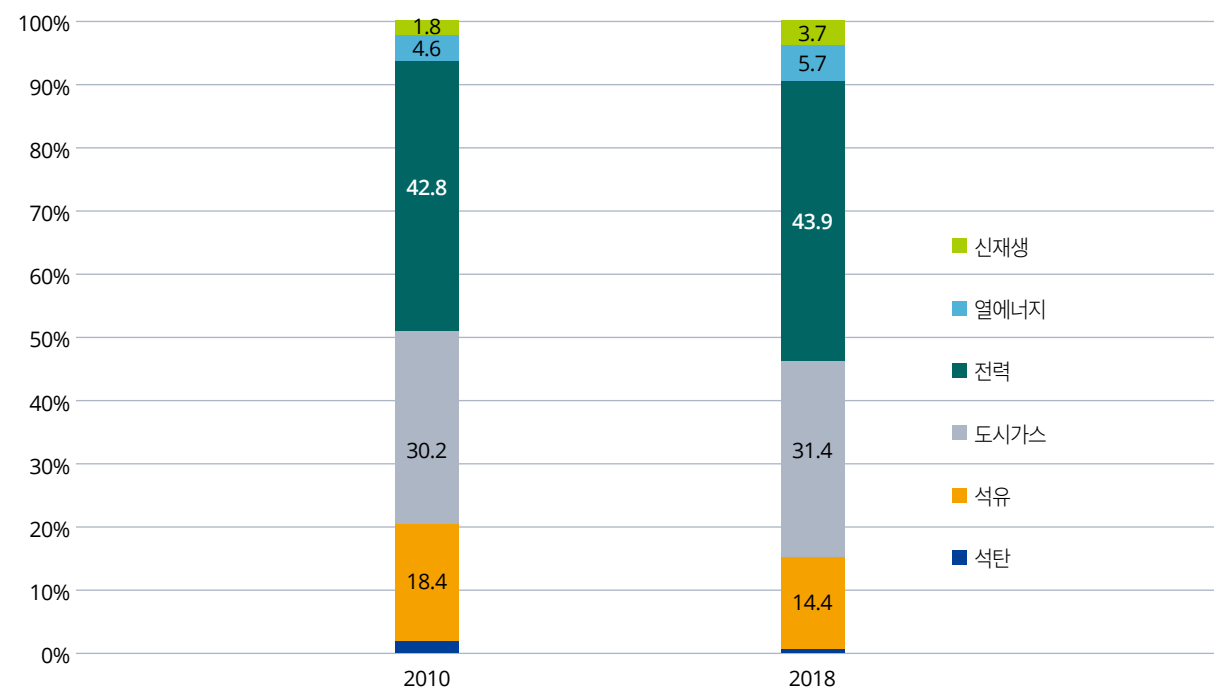
출처 : 2019 에너지통계연보 참조로 저자 작성

2) 에너지사용 추이

- 건물부문 에너지 사용량 추이를 살펴보면, 2010년에는 총 사용량이 41,908,000TOE를 기록한 후 점진적으로 증가하다가 2012-2014년 기간에는 2010년 이전 수준으로 감소하였음. 2014년 이후부터는 에너지사용량이 계속 증가추세에 있음
 - 2010년에는 석유 비중이 18.4%를 기록하였으나 2018년에는 14.4%로 감소하였고, 도시가스는 2010년 30.2%에서 2018년 31.4%로 증가하였으며 전력은 2010년 42.8%에서 2018년 43.9%로 증가하였음. 신재생에너지는 2010년 1.8%에서 2018년 3.7%로 두 배 정도 증가하였음 (그림 4-4, 4-5)

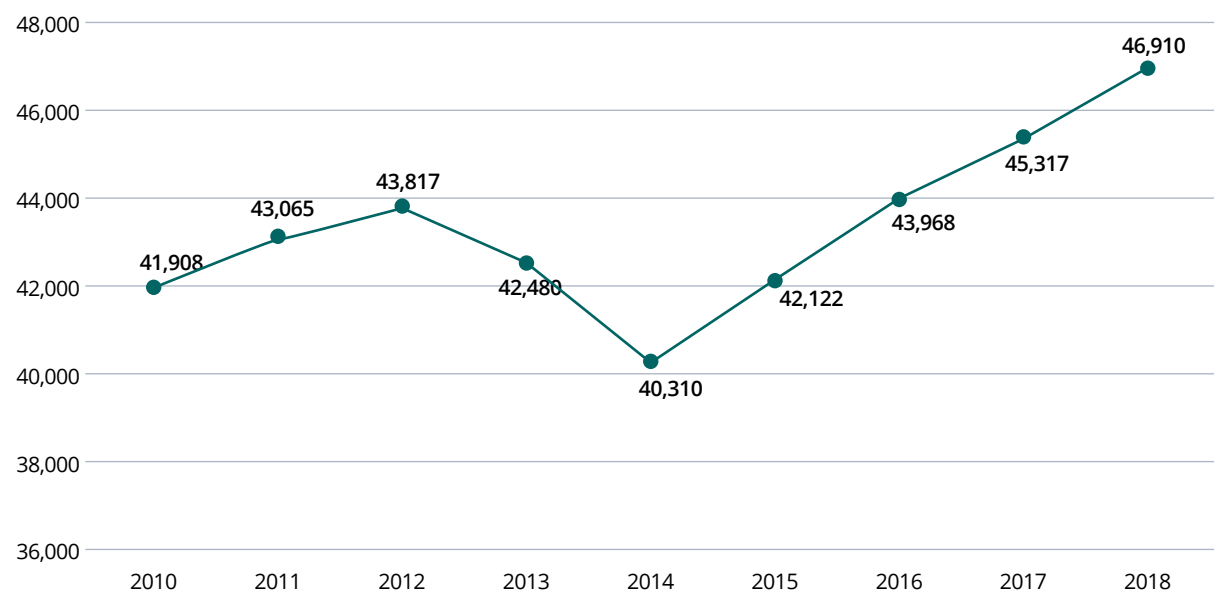
36) 에너지사용량 현황은 에너지경제연구원에서 발간한 '2019 에너지통계연보'자료를 참조하였음

<그림 4-4> 건물부문 에너지원별 사용량 비중 변화(%)



출처 : 2019 에너지통계연보 참조로 저자 작성

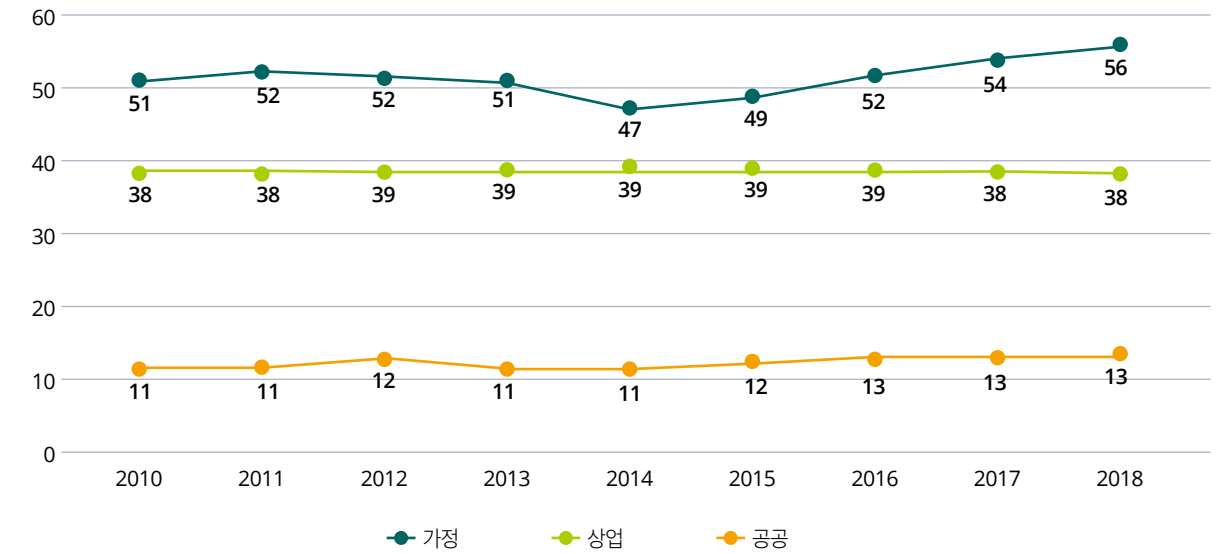
<그림 4-5> 건물부문 총 에너지사용량 추이 (단위 : 1,000TOE)



출처 : 정영선, 김태형 (2018)

- 용도별 에너지 사용량 비중 추이를 살펴보면, 2010년에는 가정(51%), 상업(38%), 공공(11%) 순이었으나, 상업용이 38% 수준을 유지하고 있는 것에 반해 가정용은 2018년 56%, 공공은 13%를 차지하여 특히 가정용 에너지사용량 비중이 높아지고 있음

<그림 4-6> 건물부문 용도별 에너지사용량 비중 추이 (%)



출처 : 2019 에너지통계연보 참조로 저자 작성

- 표 2는 용도별, 에너지원별 사용량을 2010년과 2018년을 기준으로 비교한 결과를 나타낸 것으로, 가정용에서 석탄과 석유 사용량이 감소하였으며, 상업용에서는 석유 사용량이, 공공에서는 도시가스 사용량이 각각 감소하였음. 전력, 열에너지, 신재생에너지 사용량은 모든 용도에서 증가하였음

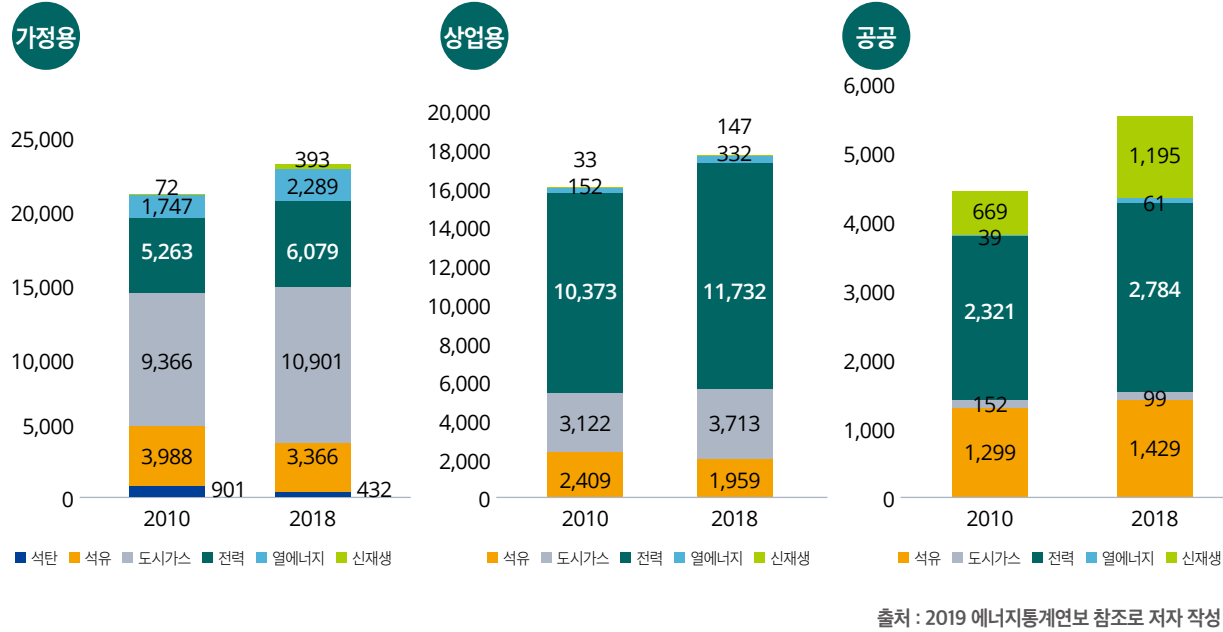
[표 4-2] 2010년 대비 2018년도 용도별·에너지원별 에너지사용량 증감 현황

	가정용	상업용	공공
석탄	감소	-	-
석유	감소	감소	증가
도시가스	증가	증가	감소
전력	증가	증가	증가
열에너지	증가	증가	증가
신재생	증가	증가	증가

출처 : 2019 에너지통계연보 참조로 저자 작성

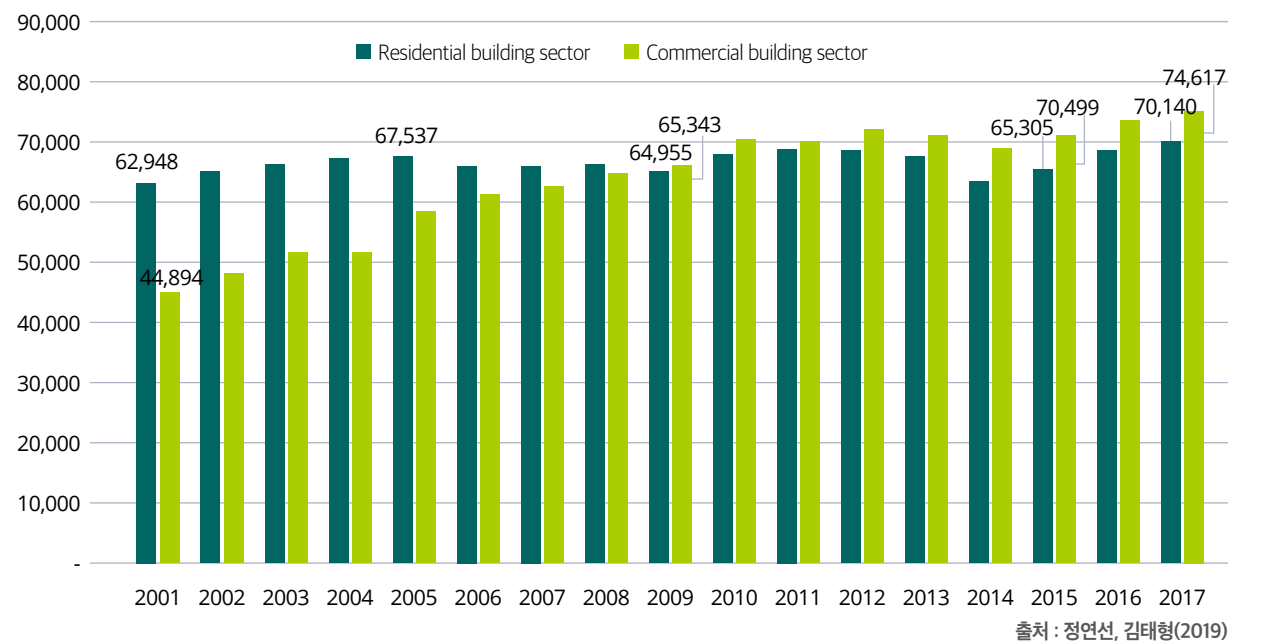
- 가정용은 도시가스 사용량 비중이 가장 높은 반면, 상업용과 공공은 전력 사용량 비중이 가장 높음. 신재생 에너지 사용량은 모든 용도에서 증가했으나, 상업용에서의 재생에너지 사용량이 가정과 공공에서의 사용량보다 현저히 낮은 것으로 나타남. 반면 공공에서 석유 사용량은 2010년보다 2018년에 더 많아져 공공용 건물에서 신재생에너지 사용량이 가장 많이 늘어난 동시에 화석연료인 석유 사용량도 가장 많이 늘어났음

<그림 4-7> 용도별, 에너지원별 사용량 비교 (2010 vs 2018)



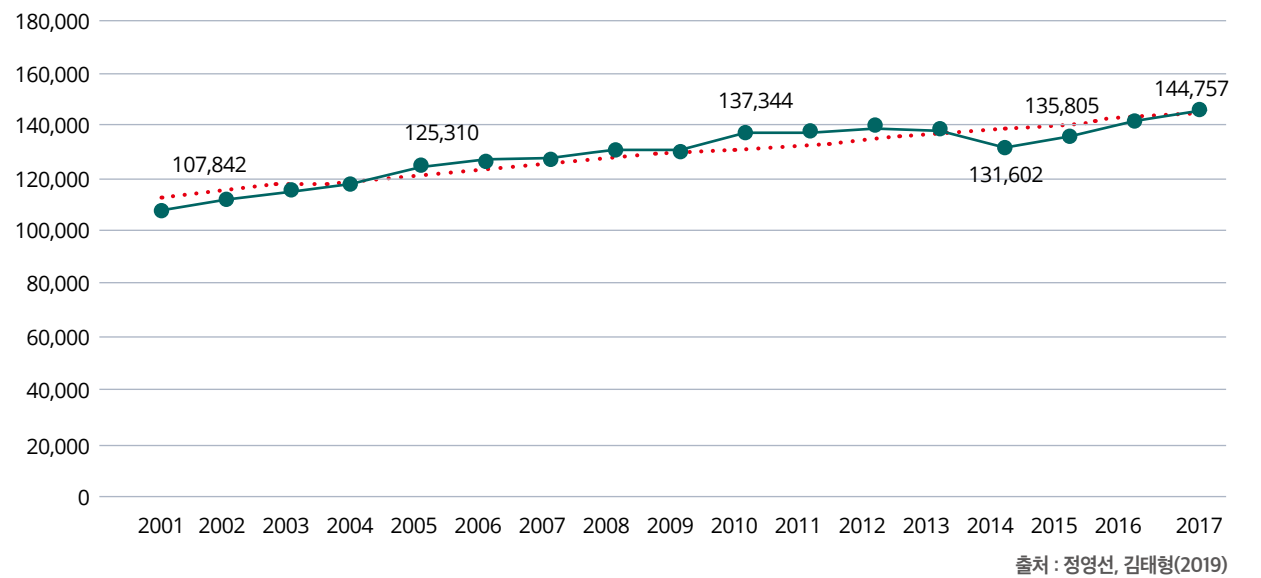
- 2017년 건물부문 배출량은 주거 건물부문에서 70.1백만tCO_{2e}, 상업용 건물부문에서 74.6백만tCO_{2e}으로 나타남³⁸⁾ (공공 제외)

<그림 4-8> 건물부문(가정·상업) 온실가스 배출량 (천tCO_{2e})



- 건물부문 온실가스 배출 추이를 살펴보면 2001년 이후 지속적으로 증가하다가 2014년에 감소하였는데, 이는 건물부문 에너지사용량 감소에 기인한 것으로 2015년부터는 온실가스 배출량이 다시 지속적으로 증가하고 있음

<그림 4-9> 건물부문(가정·상업) 온실가스 배출량 추이 (천tCO_{2e})



38) 공공부문 온실가스 배출량 통계는 온실가스정보센터에서 매년 발행되는 국가 온실가스인벤토리에 제시되어 있으나, 여기에는 간접배출량인 전력과 열은 포함되어 있지 않아 현실적인 온실가스 배출 통계로 제시하기 어려움. 세부 온실가스 배출 통계는 가정용과 상업용에 한 함.

4.1.2 건물부문 온실가스 배출 현황과 특징

1) 온실가스 배출 현황³⁷⁾

- 국내 건물부문(가정·상업·공공)의 총 온실가스 배출량(CO_{2e})은 2017년 기준 175.0백만tCO_{2e}으로 국가 전체 온실가스 총 배출량 709.1백만tCO_{2e}) 중 약 24.7%를 차지
 - 2017년 국가 에너지 총 소비량 중 건물부문의 최종에너지 사용량 비중이 약20%를 차지하는 것과 비교하여 온실가스 비중은 다소 높음. 이러한 결과는 건축물에서 전력의 소비 비중이 약 40%로 타 에너지원에 비해 소비량이 높고 전력의 온실가스 배출계수가 다른 항목의 배출계수 보다 높기 때문임

[표 4-3] 건물부문(가정·상업) 에너지원별 온실가스 배출량 (2017년 기준) (단위 : 천tCO_{2e})

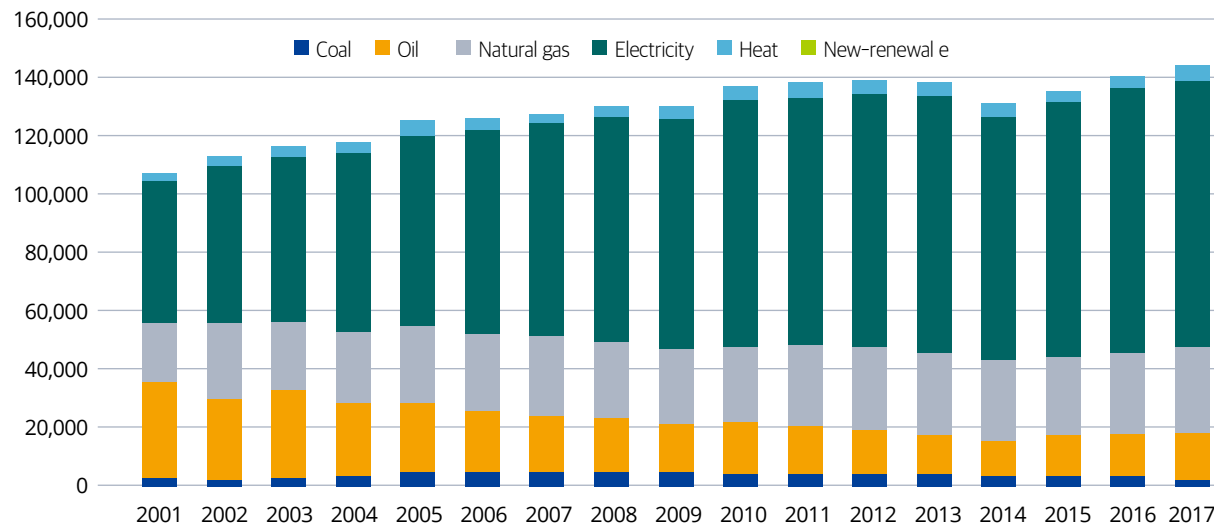
	석탄	석유	도시가스	전력	열에너지	계
배출량	2,446	15,440	29,438	91,797	5,637	144,758
비중(%)	1.7	10.7	20.3	63.4	3.9	100.0

출처 : 정연선, 김태형(2019)

37) 온실가스 배출 현황은 총량은 환경부 자료를 참고하였으며, 에너지원별 및 용도별 온실가스 배출량은 공공데이터의 한계성으로 인해 '국가 에너지통계에 따른 건물부문 온실가스 배출량 추계 및 특성'(정연선, 김태형 저, 2019)을 참고하였음. 동 자료는 건설기술연구원이 한국감정원으로부터 에너지원별 데이터를 받아 배출량 추계를 계산하여 반영한 자료이나, 가정용과 상업용 자료만 반영되어 있고 공공부문 데이터는 포함되어 있지 않음. 건물부문 온실가스 배출 현황 분석은 각 부처별, 전문기관별 통계수집 표준의 분절화, 공개된 공공데이터의 한계성으로 인해 온실가스 배출 현황 세부분석에서는 공공부문 온실가스 총량은 제외되어 있음을 밝힘.

- 에너지원별 온실가스 배출 추이를 살펴보면, 전력부문에서의 온실가스 배출량이 크게 증가하고 있으며, 석유 부문에서의 온실가스 배출량은 감소하고 있으나 석탄부문의 온실가스 배출량은 증가하고 있음. 이는 공공에서의 석탄 에너지 사용량이 증가하고 있는 것에 기인한 것으로 추정됨.

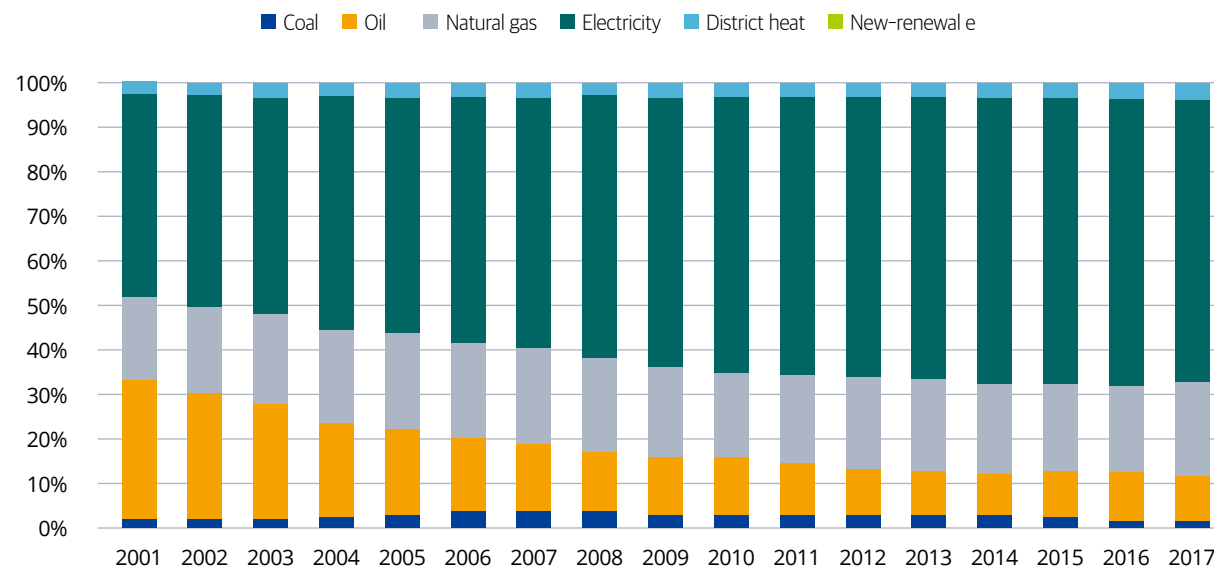
<그림 4-10> 건물부문(가정·상업) 에너지원별 온실가스 배출량 추이 (천tCO_{2e})



출처 : 정영선, 김태형(2019)

- 2001년 전력 에너지원의 온실가스 배출량 비중은 45.3% 수준이었으나 2017년 63.4%까지 증가하였으며 석탄 에너지원의 온실가스 배출량 비중은 18.5%에서 26.3%로 증가하였음

<그림 4-11> 건물부문(가정·상업) 에너지원별 온실가스 배출량 비중(%)

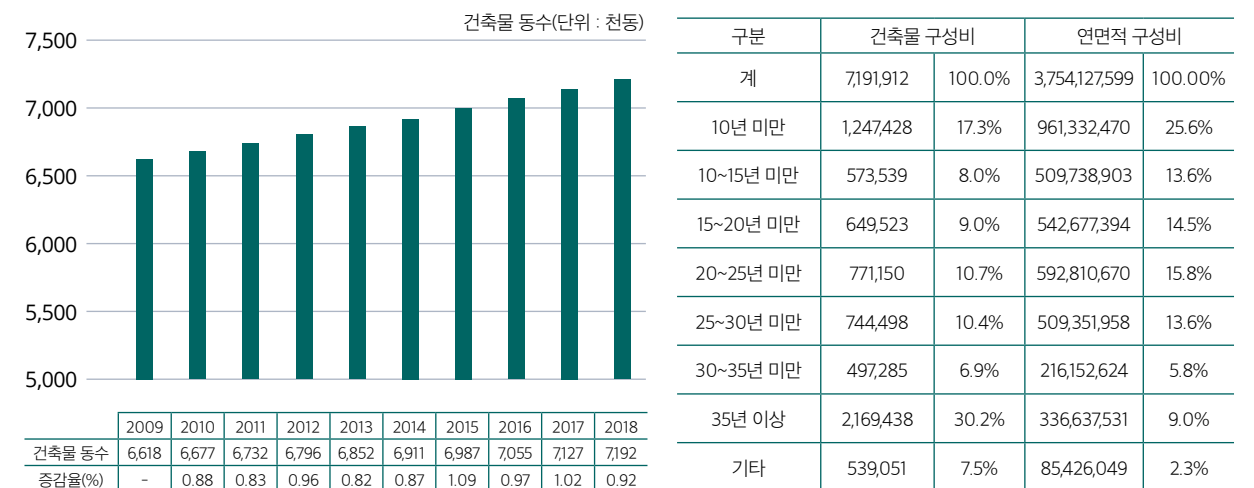


출처 : 정영선, 김태형(2019)

2) 에너지사용 및 온실가스 배출 특징

- 건물부문의 에너지 소비 특성은 네트워크(전력, 열에너지, 도시가스) 에너지 소비 경향이 강한 것으로 나타났으며, 이들 네트워크 에너지 사용량이 크게 증가하고 있음
 - 2015년 기준으로 1997년 대비 전력은 163%, 도시가스는 97%, 열에너지는 70% 증가
- 가정용 대비 상업용 건물부문 온실가스 배출량 증가 폭이 큰 것으로 나타나는데, 이는 가정용 건물부문의 온실가스 배출량이 크게 감소된 것이 아니라 상업용 건물부문의 온실가스 배출량이 크게 증가되었기 때문이며, 이는 배출계수가 높은 전력사용량의 증가에 기인한 것으로 보임
- 연도별 건축물 증가율은 연평균 1%의 증가율을 보이고 있으며 이에 따라 건축물 에너지 소비량은 계속 증가 추세임. 노후 건축물은 지속적으로 증가하고 있는데 15년이상 건축물은 2018년 기준 전체 건축물의 67.2%를 차지하고 있어, 2050 장기 저탄소 개발을 위한 건물부문 에너지사용 및 온실가스 감축 전략 정책 개발 시 노후건축물의 에너지효율 향상 문제를 고려해야 함

<그림 4-12> 건축물 동수 및 연면적 현황



연도별 건축물 동수 및 증감률 (2018년 기준)

노후 건축물 현황 (2018년 기준)

출처 : 박덕준, 2020, 'Net Zero를 위한 건축물 에너지 관련 과제'

- 건축물 동수 증가와 더불어 건물의 전력수요가 2050년까지 두 배 이상 증가하여 최종적으로 온실가스 총 배출은 증가될 것으로 예측되고 있어, 2050 장기 저탄소 시나리오 또는 탄소중립 달성을 위해서는 건물부문의 혁신적이고 보다 과감한 정책수단이 요구됨

4.2 국내외 건물부문 장기 저탄소 발전전략 시나리오 및 감축방안 검토

4.2.1 국내 시나리오 및 감축 방안

1) 2050 장기 저탄소 발전전략안

● 주요 전제

- (인구 및 가구) 인구는 연평균 0.1%(‘17~‘40년), -0.5%(‘40~‘50년) 감소, 가구는 1인 가구 증가 영향으로 0.6%(‘17~‘40년), -0.03%(‘40~‘50년) 감소

[표 4-4] 우리나라 인구 수 및 가구 수 전망

[단위:백만명]	‘17년	‘30년	‘40년	‘50년	‘17~‘40년	‘40~‘50년
인구	51.4	52.9	52.2	49.4	0.1%	-0.5%
가구	19.5	21.6	22.3	22.2	0.6%	-0.03%

* ‘15년까지 실적 적용, ‘16년 통계청 전망

출처 : 2050 저탄소 사회 비전 포럼 (2020), 2050 장기 저탄소 발전전략

- (GDP) 전망기간 동안 연평균 2.0%(‘17~‘40년), 1.0%(‘40~‘50년) 성장 전망

[표 4-5] 우리나라 GDP 성장 전망

[단위:백만명]	‘17년	‘30년	‘40년	‘50년	‘17~‘40년	‘40~‘50년
GDP 성장률	3.1%	1.7%	1.2%	0.9%	2.0%	1.0%

출처 : 2050 저탄소 사회 비전 포럼 (2020), 2050 장기 저탄소 발전전략

● 전망방법

- 3차 에너지기본계획의 ‘40년까지 에너지 전망 자료를 최대한 고려하고 목표수요 작업과 연계성을 감안 하여 에너지기본계획 연장안을 사용
- 에너지 : 부문별 BAU 전체 취합 후 결정되는 전력열 배출계수와 최신의 인벤토리 산정방식(‘17년)을 적용하여 온실가스 배출량을 산정

- 건물부문 배출전망 시나리오는 2050년에 2017년 대비 최소 17.5%에서 최대 22.5% 감축(안)이며, 2040년까지는 연평균 0.1% 감소율을, 2040년 이후부터는 연평균 0.5% 감소율을 산정함

[표 4-6] 건물부문 2050 배출량 전망 (단위 : 백만톤 CO_{2e}, %)

연도	’17년	’40년	’50년	연평균증가율(%)	
				’17~’40년	’40~’50년
배출량	175.0	172.1	173.9	-0.1%	-0.5%

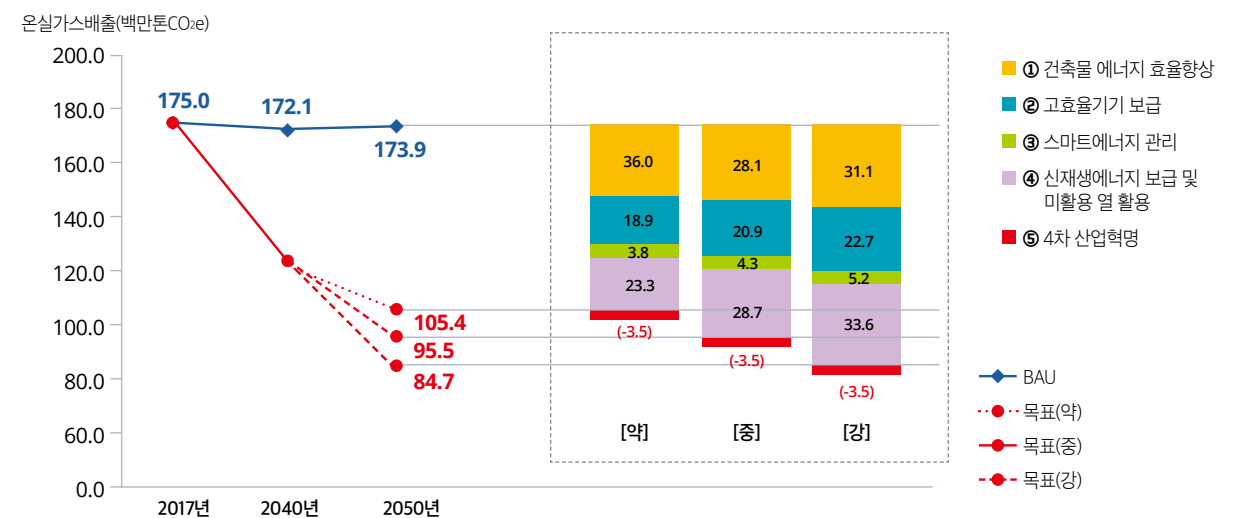
출처 : 2050 저탄소 사회 비전 포럼 (2020), 2050 장기 저탄소 발전전략

[표 4-7] 건물부문 2050 배출량 시나리오 (단위: 백만톤 CO_{2e}, %)

구분		저탄소 사회 비전 포럼 검토안 ‘50년 목표 (‘17년 대비 기준)				
		1안	2안	3안	4안	5안
건물 부문	배출량	175	188	203	214	225
	감축량	35.3	34.0	32.5	31.4	30.3
	감축률	66.8%	64.4%	61.6%	59.5%	57.3%
	주요 사회상	녹색건물 정착 미활용 열 등 신재생에너지 소비 극대화	녹색건물 정착 신재생에너지 보급 확대 강화	녹색건물 일반화 신재생에너지 보급 확대 강화	녹색건물 일반화 신재생에너지 보급 추진	녹색건물 관리 강화 신재생에너지 보급 추진

출처 : 2050 저탄소 사회 비전 포럼 (2020), 2050 장기 저탄소 발전전략

<그림 4-13> 2050 장기 저탄소 발전전략 건물부문 온실가스 감축 시나리오

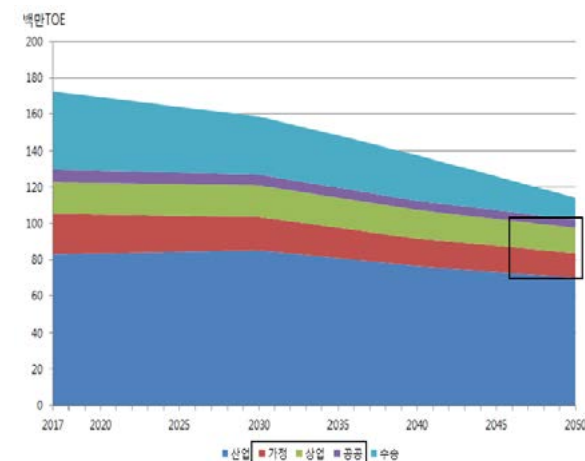


2) 한국환경정책평가연구원(KEI) 탈탄소 에너지전환 시나리오

● 주요 전제

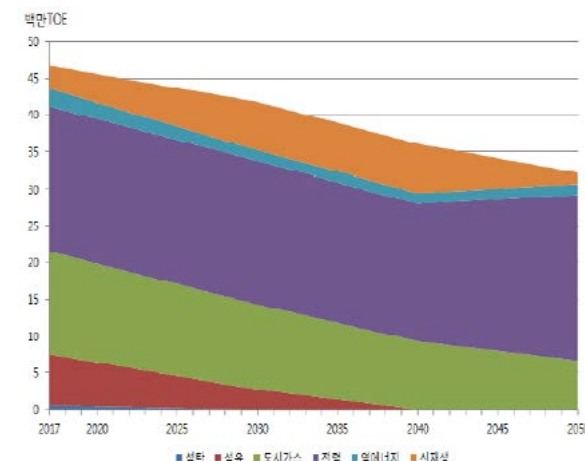
- 경제인문사회연구회는 2019년 협동연구과제로 ‘지속가능발전과 에너지산업전환’ 연구를 KEI에 의뢰하였으며 이창훈 박사 외 연구진이 2050년 1.5oC 대응 심층 에너지전환 시나리오를 제시
- 에너지효율의 획기적 개선, 탈탄소 잠재량이 높은 전력비중 증가, 재생에너지 이용의 대폭 확대를 통해 국내 CO₂ 배출량은 2017년 592백만톤 CO₂e에서 2050년 50백만톤CO₂e로 91.5% 줄이고 개발도상국 온실가스 감축지원을 통해 순배출 0 달성 시나리오를 제시
- 2018년 이후 에너지효율성을 매년 3.0% 개선하는 것으로 전망하여 최종에너지소비를 2017년 172.6백만TOE에서 2050년 114.4백만TOE로 33.7% 절감
- 건물부문 최종에너지 소비는 2017년 46.7백만TOE로 전체 최종에너지소비의 27.1%이며 2050년 31.6백만TOE로 32.4% 감소하는 것으로 전망. 2040년 이후로 전력사용량이 크게 증가하는데 이는 전기화로의 전환이 본격적으로 이루어지는 것을 전제 하였으며 전력비중은 2017년 42.0%에서 2050년 56.1%로 증가하는 것으로 전망

<그림 4-14> 부문별 최종에너지 소비



출처 : 이창훈 외(2019)

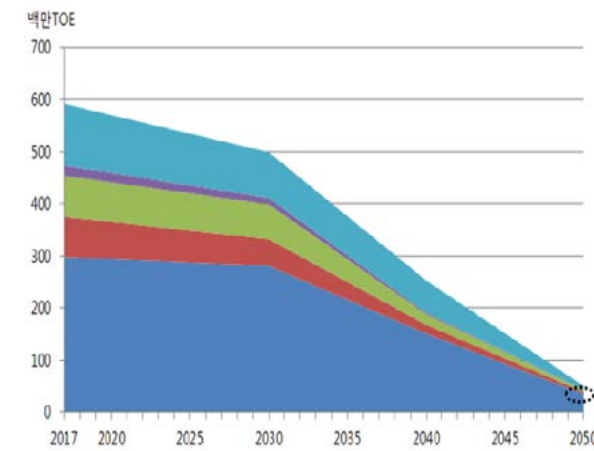
<그림 4-15> 건물부문 연료별 사용량



출처 : 이창훈 외(2019)

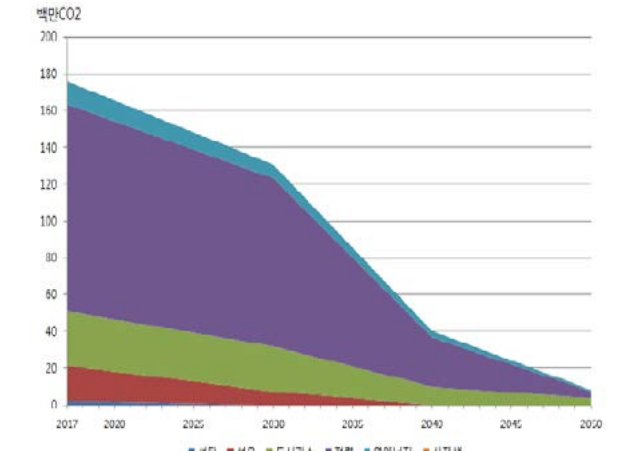
- 건물부문 전체 CO₂ 배출량은 2017년 176.2백만톤 (전체 배출량의 29.7%)에서 2050년 8.2백만톤으로 95.3% 저감되어 전체 배출량의 16.2%를 차지하는 것으로 전망
- 특히 전력부문에서 이산화탄소 배출량이 크게 줄어들며 22030~2040년 사이에 배출량이 크게 줄어들 것으로 전망하였으며 이는 전력을 재생에너지를 통해 공급하는 것을 전제

<그림 4-16> 부문별 CO₂ 배출 경로



출처 : 이창훈 외(2019)

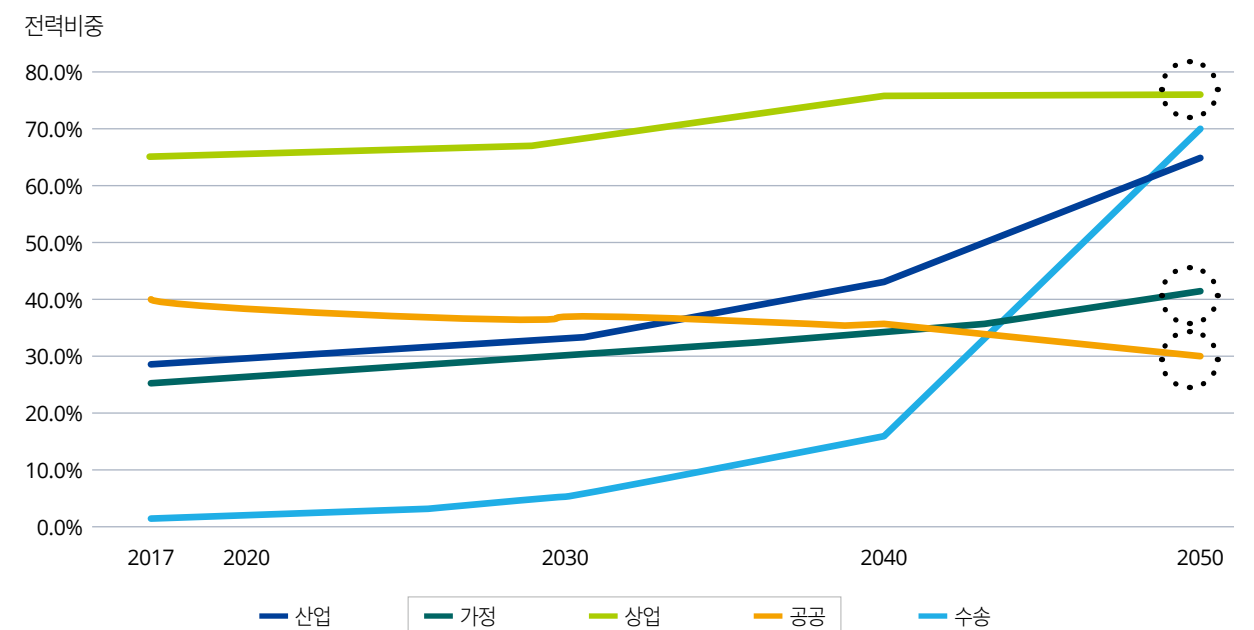
<그림 4-17> 건물부문 CO₂ 배출 경로



출처 : 이창훈 외(2019)

- 건물부문 전기화(electrification) 비중은 상업용·가정용 건물에서는 지속적으로 증가할 것으로 전망하였으나 공공건물의 전기화는 감소할 것으로 전망

<그림 4-18> 부문별 전기화 비중



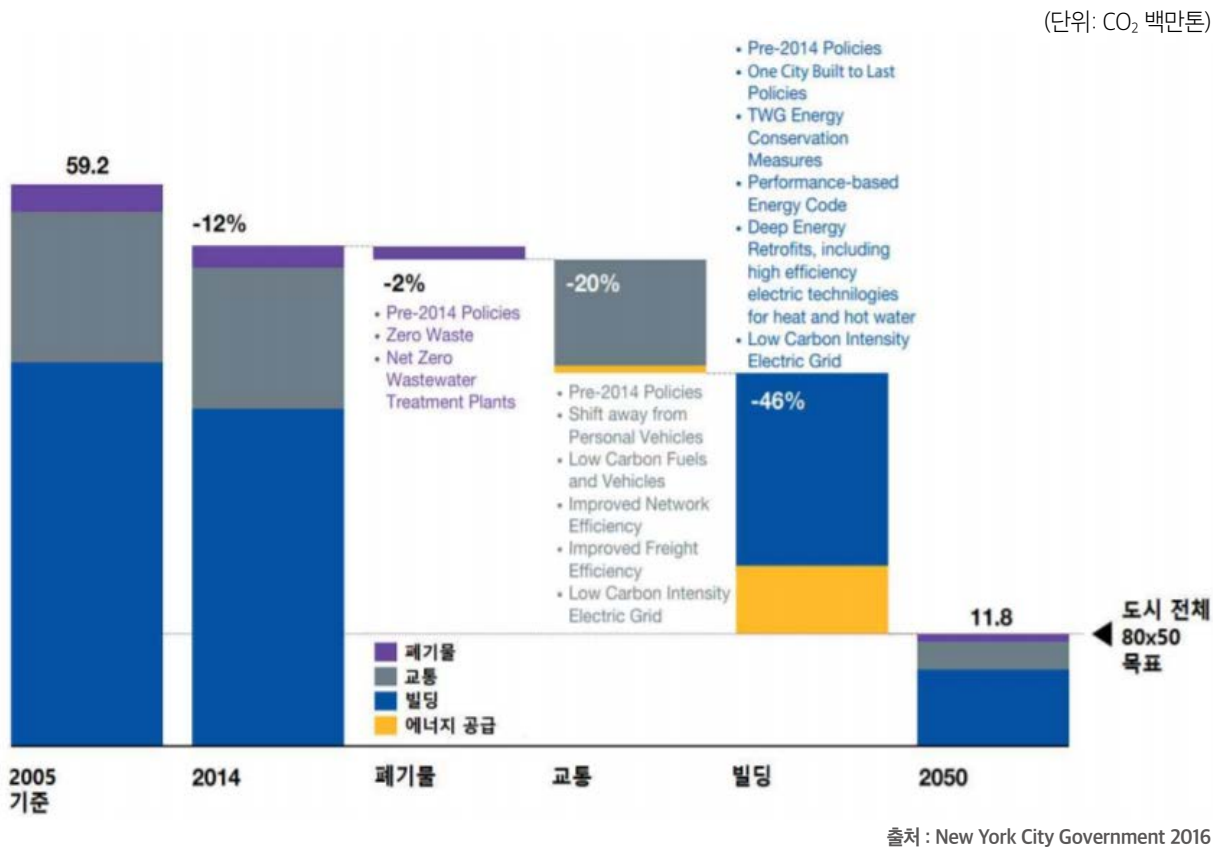
출처 : 이창훈 외(2019)

4.2.2 해외 시나리오 및 감축 방안

1) 뉴욕시 2050 로드맵³⁹⁾

- 뉴욕시는 2016년 9월에 발간한 ‘New York City’s Roadmap to 80X50’에서 Local Law66 실현을 위한 온실가스 저감 장기 전략을 공표하였으며, 2050년까지 온실가스 배출량의 80%를 줄이기 위해서는 건물 분야에서 감축 역할이 매우 중요하다고 강조하였음
 - 온실가스 80% 저감 경로는 건물에서 46%, 수송 20%으로 전망하였으며 건물부분에서 에너지효율화를 강조

<그림 4-19> NYC Roadmap to 80X50의 2050년까지 80% 온실가스 감축 경로



- 뉴욕시는 특히 중대형 빌딩의 온실가스 감축 전략이 필요하다고 강조하며, 중대형 빌딩 온실가스를 2030년까지 40%, 2050년까지 80% 감축시키는 기후활성화법(Climate Mobilization Act)을 제정하였음
- 기후활성화법은 10개 법안으로 구성된 패키지 법안 형태로 8개의 입법안(Introduction)과 2개의 결의안(Resolution)으로 구성되어 있으며 주요 법안의 내용은 아래 표와 같음

39) 동 부분은 국토연구원(2019,이정찬 자)에서 발간한 '뉴욕시 그린뉴딜 정책 및 시사점' 보고서에서 발췌하였음

[표 4-8] 뉴욕시 기후활성화법 주요 입법안

분야	핵심 내용															
빌딩 개보수 (Building Retrofits)	● 기후활성화법 10개 법안 중 가장 핵심 규제법안 ● 연면적 2만 5천ft2 (2300m2) 이상인 중대형 빌딩을 대상으로 2030년까지 2005년 대비 온실가스 40%, 2050년까지 80% 감축 의무화 - 뉴욕시 정부 건물 배출량에 대해서는 2025년까지 40%, 2030년까지 50% 감축이라는 더 공격적인 목표 적용 ● 뉴욕시에 ‘건물에너지·배출성능실(Office of Building Energy and Emission Performance)’을 설립하고 기존 건물의 온실가스 배출 제한 총괄 - 정부 차원에서 빌딩의 연간 에너지사용량 평가 프로토콜을 확립 - 2030년까지 2005년 대비 온실가스 배출량 40% 감축을 위해 빌딩 에너지 사용 및 배출을 모니터링하고, 배출량 평가방법과 배출량 제한·목표·계획 등을 보완 - 빌딩 주인이 배출량을 평가하여 제출할 수 있는 온라인 포털을 구축하여 매년 빌딩 온실가스 배출량 평가를 받고 입증할 수 있는 기반 마련 ● 본 법조항은 2024년부터 중대형 빌딩에 적용이 되어 온실가스 배출량 평가 및 제한 실시 - 현재 각 빌딩 코드별로 차등화하여 2024~2029년 배출 제한량과 2030~2034년 배출 제한량을 지정·적용 - 2050년에는 모든 빌딩에 대해서 차등 없이 동일 배출 제한량(0.0014tCO2e/ft2/년; 1.4kg/ft2/년) 일괄 적용															
건물 에너지효율 개선 재정 지원 (PACE Financing)	● 빌딩 주인에게 재생가능 에너지 시스템 설치나 에너지 효율성 개선을 위한 펀딩을 제공하기 위한 ‘Sustainable Energy Loan Program’ 실시 - 이는 PACE(Property Assessed Clean Energy) 파이낸싱에 관한 것으로 건물 에너지효율을 개선시키기 위한 재정을 지원하겠다는 내용 - 정부가 빌딩 주인에게 재생가능 에너지 시스템이나 에너지 효율성 개선 공사에 필요한 자금을 지원하고, 빌딩 주인은 에너지 비용 절약, 소규모 에너지 발전 등으로 이익을 창출하며, 정부 자금을 재산세 등을 통해서 장기 상환(예: 20년)															
빌딩 에너지효율 등급 (Building Efficiency Grade)	● 빌딩 에너지 효율 등급 범위 기준을 상향 - 기존에는 50%만 넘어도 B등급(A~D등급 중)이 부여되었으나 70% 기준에 맞춰 전체적으로 등급을 상향 조정 <table><tr><th>구분</th><th>A등급</th><th>B등급</th><th>C등급</th><th>D등급</th></tr><tr><td>기존 범위</td><td>90-100%</td><td>50-89%</td><td>20-49%</td><td>1-19%</td></tr><tr><td>개정 후 범위</td><td>85-100%</td><td>70-84%</td><td>50-69%</td><td>1-54%</td></tr></table>	구분	A등급	B등급	C등급	D등급	기존 범위	90-100%	50-89%	20-49%	1-19%	개정 후 범위	85-100%	70-84%	50-69%	1-54%
구분	A등급	B등급	C등급	D등급												
기존 범위	90-100%	50-89%	20-49%	1-19%												
개정 후 범위	85-100%	70-84%	50-69%	1-54%												

대형 풍력 터빈 (Large Wind Turbines)	● 뉴욕시 건물부(Department of Buildings: DOB)는 재생가능에너지 기술 수단 중 풍력에너지 생성을 의무적으로 포함해야 함 ● 뉴욕시 건물부는 적정 입지에 ‘대형 풍력 터빈(large wind turbines)’ 설치에 대한 기준·기술·인가에 대해 개발하고 지원을 실시해야 함 - (정의) 빌딩 코드에 대형 풍력 터빈을 200m2 면적(swept area) 이상인 터빈으로 정의 - (풍속) 130 mph(58.1 m/s)까지 견뎌야 함 - (폐기) 제조업체의 판단에 따라 터빈의 수명이 다했거나, 12개월 이상 연속해서 발전불가능 상태에 있을 경우 폐기 - (기타) 외관(색상), 디자인 기준, 제동 및 잠금, 음영, 신호간섭 등에 대한 기준을 마련
신축 건물 대상 녹색지붕 (Green Roofs for New Construction)	● 지속가능한 지붕구역(sustainable roofing zone)을 뉴욕시 빌딩 코드에 신규로 추가 - (정의) 태양광 전기발전 시스템, 그린 루프 시스템 또는 이 둘의 조합이 설치되어 있는 지붕 조합물 신규 건축 및 주요 리노베이션 시, 지속가능한 지붕구역 설치 의무화 - 지붕면적이 200ft2 (18.5m2) 이하의 경우 최소 4kw 이상의 태양광 전기발전 시스템을 설치 - 지붕 경사가 2/12 이하인 경우(4kw 이하) 최소한 그린 루프 시스템을 설치
소형 건물 대상 녹색지붕 (Green Roofs on Smaller Buildings)	● 신축 건물 대상 녹색지붕법에서 설정된 지속가능한 지붕구역의 적용 대상을 확장 - (기준) 지붕면적이 200ft2(18.5m2) 이하의 경우 최소 4kw 이상의 태양광 전기발전시스템을 설치 - (추가)건축물 용도가Group R(거주)에 속하는 5층 이하의 건물에는100ft2(9.2m2)이하의 지붕면적에 4kw 이상의 태양광 발전 시스템 설치 의무 ● 뉴욕시 주택보존개발부(Housing Preservation and Development: HPD)는 1032-A(지속가능한 지붕구역)의 적용이 특정 빌딩의 비용 수용성(affordability)에 미치는 잠재적 영향에 대한 분석을 4년 내에 실시 - 세금 면제, 대출, 보조금 지급, HPD 운용 등의 측면을 고려
녹색지붕 세제 감면 (Green Roof Tax Abatement)	● 그린 루프 설치에 대한 부동산세 감면을 1ft2당 15달러로 증가시키는 법안을 뉴욕주 입법부(State Legislature)에서 통과시키고 주지사가 서명하도록 하는 결의안 - 그린 루프 설치비용은 평균적으로 25달러/ft2인데 반해 기존의 정부 지원금액은 20% 수준인 4.5~5.23달러/ft2로 낮기 때문에 그린 루프 활성화를 위해서 지원금액을 60% 수준(15달러/ft2)으로 증가시키도록 뉴욕시의회가 뉴욕주 입법부에 요구하는 내용

출처 : 이정찬(2019), The Official Website of the City of New York (2019)

2) IEA 시나리오⁴⁰⁾

- 국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)에서 2017년 Energy Technology Perspectives 2017 보고서에서는 3가지 시나리오(“RTS”, “2DS”, “B2DS”)에 맞춰 건물부문 온실가스 감축 시나리오를 분석

[표 4-9] IEA 미래 기후변화 시나리오

시나리오	주요 가정
RTS(Reference Technology Scenario)	NDC 적용
2DS(2°C Scenario)	2°C 미만 온난화 확률 50%
B2DS(Beyond 2°C Scenario)	1.75°C 미만 온난화 확률 50% IPCC의 SR15에 비해 CDR 등(BECCS 등)을 최소로 가정하여 부문별 완화 대책이 강력하기 때문에 1.5°C 정책에 참고

출처 : IEA(2017), 에너지전환포럼

- IEA의 분석에 따른 건물 부문의 최종에너지 에너지원별 소비량을 살펴보면, 전력·열·재생에너지의 공급량 증가가 예상됨

[표 4-10] 건물 부문 최종에너지 에너지원별 소비량

최종에너지 소비량(PJ ⁴¹⁾)					RTS(NDC) 대비 변화량				
	2014	2030				2014	2030		
		RTS	2DS	B2DS			RTS	2DS	B2DS
석탄	5,733	4,440	4,233	4,201	석탄	1,291	1,000	0.953	0.946
석유	13,201	12,860	12,286	11,479	석유	1,027	1,000	0.955	0.893
천연가스	25,830	26,813	25,457	24,432	천연가스	0,963	1,000	0.949	0.911
전력	38,228	43,129	41,835	41,724	전력	0,886	1,000	0.970	0.967
열	6,393	7,008	6,935	6,956	열	0,912	1,000	0.990	0.993
재생에너지	3,857	4,978	5,163	5,245	재생에너지	0,775	1,000	1.037	1.054
전통바이오매스	29,802	30,190	30,082	30,082	전통바이오매스	0,987	1,000	0.996	0.996
합계	123,044	129,419	125,991	124,119	합계	0,951	1,000	0.974	0.959
1인당 최종에너지 (MWh)	4,712	4,600	4,207	3,898	1인당 최종에너지 (MWh)	1,024	1,000	0.914	0.847

출처 : IEA(2017), 에너지전환포럼

40 동 부분은 에너지전환포럼(2018)에서 수행한 ‘기후변화 대응 기본계획 수립을 위한 건물에너지 수요관리 정책수단 연구’에서 발췌하였음

41 PJ (petajoule) = 1015 J ≈ 23885 toe

- RTS(NDC) 시나리오에 따르면 시나리오에 관계없이 난방 분야의 에너지 절감 잠재량이 크고, 냉방 분야의 잠재량은 2DS보다 B2DS 시나리오에서 증가 (표 4)

- B2DS 시나리오에서는 최종에너지 소비를 더 줄여야하고 온난화에 따른 냉방수요 증가로 인해 그 만큼 잠재량은 커지는 것으로 전망하였으며, 냉방에 고효율 공기열 히트펌프(Air-Source Heat Pumps, ASHP)의 역할이 더 커질 것으로 전망
- 절대량에서는 냉난방 분야보다 적지만, 기후변화 완화 목표가 강화될수록 온수·조명 분야의 잠재 절감량이 증가할 것으로 전망

[표 4-11] RTS(NDC) 대비 건물부문 누적 최종에너지 절감량

최종에너지 소비 절감량(PJ)					수요 분야별 절감 기여도				
2DS	2014	2020	2025	2030	2DS	2014	2020	2025	2030
난방	0	-3877	-18628	-44675	난방	0	47.7%	49.6%	50.2%
냉방	0	-615	-3343	-9240	냉방	0	7.6%	8.9%	10.4%
온수	0	-1025	-3932	-8005	온수	0	12.6%	10.5%	9.0%
조명	0	-717	-3273	-7234	조명	0	8.8%	8.7%	8.1%
취사	0	-145	-981	-2832	취사	0	1.8%	2.6%	3.2%
가전기기	0	-810	-1963	-5644	가전기기	0	3.8%	5.2%	6.3%
기타	0	-1433	-5421	-11330	기타	0	17.6%	14.4%	12.7%
B2DS	2014	2020	2025	2030	B2DS	2014	2020	2025	2030
난방	0	-5814	-27251	-66044	난방	0	46.5%	44.3%	43.6%
냉방	0	-1649	-8738	-21522	냉방	0	13.2%	14.2%	14.2%
온수	0	-1186	-6168	-16436	온수	0	9.5%	10.0%	10.8%
조명	0	-1520	-7740	-18298	조명	0	12.2%	12.6%	12.1%
취사	0	-817	-2286	-6853	취사	0	2.5%	3.7%	4.5%
가전기기	0	-584	-3633	-103106	가전기기	0	4.7%	5.9%	6.8%
기타	0	-1433	-5642	-12085	기타	0	11.5%	9.2%	8.0%

출처 : IEA(2017), 에너지전환포럼

- B2DS 시나리오에서는 건물 부문 기후변화 완화 기술 중 에너지 소비 절감 수단별 기여 수준(RTS 대비)을 분석
 - 시간이 흐를수록 ‘기술 교체’의 영향이 증가하며 건물은 한 번 짓고 나면 기술 교체가 어렵고, 지역난방 등은 도시계획과도 연계되므로 신중하면서도 과감한 정책 도입이 필요
 - ‘기기/설비 효율 개선’과 ‘건물 외피 개선’의 최종에너지 소비량 절감 기여도도 높음

[표 4-12] 시나리오의 에너지 소비 절감 수단 B2DS별 기여 수준(RTS 대비)

최종에너지 소비 절감량(PJ)					B2DS 절감 수단별 RTS 대비 절감량 비율				
2DS	2014	2020	2025	2030	2DS	2014	2020	2025	2030
건물외피개선	0	-3377	-6542	-9912	건물외피개선	0	24.2%	23.1%	23.7%
기기/설비효율 개선	0	-4949	-8893	-12133	기기/설비효율 개선	0	35.5%	31.4%	29.0%
기술교체	0	-4054	-9433	-14887	기술교체	0	29.0%	33.3%	35.5%
기타	0	-1576	-3480	-4960	기타	0	11.3%	12.3%	11.8%

출처 : IEA(2017), 에너지전환포럼

- B2DS 시나리오에서 분석한 건물부문 CO₂ 배출량 저감 수단별 기후변화 완화 기여 수준 시나리오에서는 이산화탄소로 대표되는 온실가스 배출량은 RTS에 비해 B2DS에서는 막대한 양을 저감해야 하는 것으로 나타남

- 최종에너지의 이산화탄소 배출량 저감 잠재량 중에서 전력 공급 방법 선택의 영향력이 계속 증가할 것으로 전망됨에 따라 IEA는 전력의 저탄소화 또는 탈탄소화가 건물 부문의 온실가스 배출량 감축에서 핵심 정책이 될 것으로 예측

[표 4-13] B2DS 시나리오의 CO₂ 배출량 저감 수단별 기여 수준(RTS 대비)

이산화탄소 배출량(GT CO ₂)					B2DS 저감 수단별 RTS 및 배출량 정점 대비 저감량 비율				
2DS	정점(2013)	2020	2025	2030	2DS	2014	2020	2025	2030
RTS	9,534	9,042	9,153	9,279	직접 저감량	건물외피개선	0	14.9%	14.1%
B2OS		8,137	6,855	5,050			0	18.5%	18.0%
직접 저감량		528	1,387	2,442			0	24.9%	28.3%
건물 외피 개선		135	324	548		기술 및 연료교체	0	41.6%	39.6%
기기/설비 효율개선		168	414	684	간접 저감량 (발전부문)	기술 및 연료교체	0	24.9%	28.3%
기술 및 연료교체		225	649	1,230			0	41.6%	39.6%
간접 저감량 (발전부문)		378	910	1,787		간접 저감량 (발전부문)	0	41.6%	39.6%
정점 배출량 대비 저감 비율		14.6%	28.1%	47.0%			0	41.6%	39.6%
RTS 대비 총저감량비율		10.0%	25.1%	45.6%					
RTS대비 직접저감량비율		5.8%	15.2%	26.3%					

출처 : IEA(2017), 에너지전환포럼

● 건물부문 전력화의 필요성 (Deason et al., 2018)

- ‘간접 저감량’의 잠재량이 직접 저감량보다 큰 것으로 나타남에 따라 미국의 국립재생에너지연구소는 건물부문 최종에너지를 대부분 전력으로 충족하는 기술과 시나리오를 연구 해 오고 있음
- ‘공기열원 히트펌프(air-source heat pump space heating/cooling, ASHP)는 구동을 위해 필요한 전기에너지보다 2~4배의 열을 공급(즉, COP⁴²⁾ = 2~4)하는데, 열원 공기의 온도에 따라 예외도 있지만, 대개 ASHP는 전열기보다 에너지 효율이 좋으며, ASHP는 난방과 냉방을 동시에 구현할 수 있어서, 전체적으로는 비용이 줄어 들 수 있어서 전력화에 유리
- 수요관리와 결합된 전기온수기(electric water heaters and demand response)는 전력시장 관리자(우리나라의 전력거래소)의 수요감축 요청에 대해 부하를 옮기거나 줄이거나 켜으로써 유연하게 대응할 수 있음. 수요감축 요청에 반응할 수 있는 수요자원이 되면 건물주의 또 다른 수입원이 될 수도 있음 (다른 온수기는 제공할 수 없는 이점). 수요관리와 전기온수기 결합을 지원하는 정책이 확산하면 전기화 정책을 적극적으로 추진하는 것이 가능
- 제로에너지건축물(zero-net energy buildings)의 특성이 전력화 정책에 유리한데, 제로에너지건축물들은 등급 기준에 따라서 도시가스와 전력이 혼합하는 것보다 전면 전기화가 기준을 충족하기 쉬울 수도 있음. 비용, 효율, 온실가스 배출 집약도(저배출 전력 공급 시) 등과 같은 다른 측면의 이점 때문에 제로에너지건축물 보급 정책이 전기화를 더 강력하게 추진할 수 있음

4.3 건물부문 정책 제언

4.3.1 그간 건물부문 온실가스 감축 추진 어려움 분석

- 우리나라 건물부문 에너지효율 및 온실가스 감축 관련 정책은 국토교통부, 환경부, 산업통상자원부 3개 부처가 분절화된 정책으로 추진되어 왔으며, 부처 산하 LH공사, 환경관리공단/환경산업기술원, 에너지공단 등 전문기관이 실행사업 및 인증사업을 개별적으로 시행하고 있음
- 에너지사용 통계는 에너지경제연구원, 한국감정원, 온실가스정보센터, 에너지공단 등에서 각각 다른 데이터 수집방법과 기준을 통해 통계데이터를 발표하고 있으며, 온실가스 통계는 온실가스정보센터와 에너지공단에서 하고 있으나 정보공개가 미미한 편임

[표 4-14] 건물부문 에너지 통계 수집 현황

주관 부처		위탁· 실행기관		정보제공 기관	공개 정보				
					건물별	등록지 주소별	가정 /사업 / 공공 총량	전력/ 도시가스 /열 사용량	석유/ 석탄 사용량
					용도별				
국토 교통부	위탁 → 보고 ←	한국감정원	정보 수집 ←	한국전력 한국가스공사	x	○	○	○	x
					x				
환경부	위탁 → 보고 ←	온실가스종 합정보센터	정보 수집 ←	한국감정원 에너지경제 연구원	x	x	온실가 스 총량	x	x
					x				
산업 통상 자원부	위탁 → 보고 ←	에너지공단	정보 수집 ←	한국전력 에너지다소비 업체	x	x	x	총에너 지사용 량	
					x				
에너지 경제 연구원		에너지경제 연구원	정보 수집 ←	한국전력 한국가스공사 한국석유공사 한국석탄공사	x	x	○	○	○
					x				

42) COP(coefficient of performance, 성능 계수): [출력 냉난방 에너지] / [입력한 전력 에너지]

- 다수의 건물에너지 관련 법령, 제도 및 인증이 여러 기관을 통해 운영되고 있으나, 이들 제도 및 사업을 통해 온실가스 감축이 실질적으로 얼마나 이루어졌는지에 대한 평가는 이루어지지 않고 있음
 - 또한 각 제도별 에너지효율화 및 온실가스 감축 효과를 평가하는 표준체계 및 기술옵션별 표준이 명확하지 않거나 홍보 부족으로 건축주들에게 관련 정보가 제대로 전달되고 있지 않음
 - 그린리모델링 사업의 경우 단열과 창호 사업에서 에너지효율 개선율 기준이 수립되어 있어 정부지원을 받는 대다수의 그린리모델링 사업이 단열과 창호에만 집중되어 있음

[표 4-15] 우리나라 건물부문 법령·제도·인증 현황

구분	상위법	법령, 제도 및 인증
녹색건축물 확대	녹색건축물 조성지원법	건축물 에너지 절약 설계기준 건축물 에너지 소비총량제 건축물에너지효율등급인증 제로에너지건축물인증 녹색건축 인증 및 관련 인센티브 건축물에너지절약계획서 그린리모델링 사업
건물부문 온실가스 배출관리	저탄소 녹색성장 기본법	건축물 온실가스·에너지 목표관리제 건물부문 배출권 거래제 외부사업
에너지이용합리화	에너지이용합리화법	탄소포인트제 에너지사용 기자재 효율관리 정책 공공기관 에너지 이용합리화 ESCO사업 건물에너지관리시스템(BEMS) 보급
신재생에너지 이용활성화	신재생에너지 개발 이용 보급 촉진법	신재생에너지보급지원사업-건물지원사업 공공기관 신재생에너지 설치 의무화제도

출처 : 저자 작성

- 그동안의 건물부문 에너지효율·절감 및 온실가스 감축 정책은 건물 외피와 냉난방 기술이 주요 변수로서 관련 정책과 R&D 지원도 동 분야에만 집중되어 왔으며, 건물 유형별, 크기별, 경로별로 구분되지 않은 채 다수의 정책들이 산발적으로 실행되어져 왔음

4.3.2 정책 방향

1) 도전 과제

- 탄소중립 달성을 위한 우리나라 건물부문의 온실가스 감축에 있어 가장 큰 도전과제는 건축물 동수 증가, 노후건축물 비중 증가, 전력사용량 증가 등임
- 에너지사용에 있어서는 가정용 도시가스 사용량을 감소해야 하며, 공공부문에서 석유와 석탄 사용량을 감소하고 궁극에는 이들 에너지원에서 완전히 탈피해야 함. 또한 상업용 건축물의 재생에너지 사용량을 크게 확대해야 함
- 온실가스 배출에 있어서는 전력에서 배출되는 온실가스 배출량을 크게 감소시켜야 하는데 전력원을 재생에너지로 전환하여 전력부분에서는 탄소배출 제로를 달성해야 함
- 노후건축물이 지속적으로 증가할 것으로 전망되어 노후건축물 에너지효율 향상 및 상업용 건물의 에너지효율화가 시급한 반면 건축주들의 투자를 유인하는 실질적인 세제혜택이나 지원정책이 미흡함
- 비주거용 건물 특히 상업용 건물의 전력 소비가 빠르게 증가하고 있어 상업용 건물의 에너지 사용에 대한 효과적인 관리가 필요하며, 재생에너지원에서 발전된 전기 사용 확대와 저장, 전기화(electrification), 통합적 환경 건축설계 등 탄소중립 달성을 위해 이전보다 더 통합적이고 혁신적인 기술들이 건물부문에 적용될 필요가 있음
- 건물에너지 사용량 데이터 및 정보공개가 원활하지 않은 바, 스마트미터기 설치를 의무화하고 건물에너지 데이터댐을 구축하여 통합적인 에너지사용량 및 온실가스 배출관리 시스템 구축이 필요함
- 상업용 건물 가운데 세부용도별로 전기요금의 차등화되지 않아 전기소비 사용 증가를 제어하기 어려움

2) 정책 제언

- 제2차 기후변화대응 기본계획은 건물부문 온실가스 감축을 위해 ▲녹색건축물 확산(기존 건축물 에너지성능 개선, 신규 건축물 허가 에너지성능 기준 강화), ▲에너지효율 향상(가전·사무기기·조명 에너지 소비효율 기준 강화), ▲인프라 확충(건물에너지 정보인프라 구축, 도시단위 에너지자립도 향상)을 제시
- 2050 LEDS 시나리오에서는 건물부문 온실가스 감축을 위해 ▲건축물 에너지 효율 향상, ▲고효율 기기 보급, ▲스마트 에너지관리, ▲신재생에너지 보급 및 미활용 열 활용을 제시
- 동 보고서는 우리나라 건물부문 넷제로 달성을 위해서는 모든 건물의 넷제로화(일부 건물의 마이크로발전소화), 모든 건물의 지능화를 목표로 하며, 건물 간 에너지(전력·가스·열) 거래, 건물 온실가스 총량제 도입을 제시함
 - 이를 위해 동 보고서에서는 세부적으로는 건물 용도별, 기존·신축, 단기·중장기, 제도·기술·사회 혁신 부분으로 나누어 정책 방향을 제시하기로 함

[표 4-16] 2050 탄소중립 달성을 위한 건물부문 전략

건물 용도 주거용 건물 / 개선 분야 제도 혁신	
기존 건물	신축 건물
단기(~2022) 및 중기(~2030) 2030년 이후 급진적 온실가스 감축을 위한 제도개혁 준비단계	단기(~2022) 및 중기(~2030) 넷제로건물, 넷제로 도시 달성을 위한 제도개혁 준비단계
- 그린리모델링은 에너지효율과 온실가스 감축량과 직접적으로 연관된 부분에만 공적자금 지원 - 감축량과 직접적으로 연관된 배출규제 수립 - 건물 용도별 온실가스 배출 총량제 도입 - 건물 간 온실가스 배출 거래 제도 수립 - 제로에너지빌딩의 전면적 재설계 (현행 5단계에서 3단계로 조정하여 실질적인 넷제로건물을 실현하고 재생에너지설치 및 이용을 빠른 속도로 추진)	- 신도시 설계 및 신규 건축물 설계 시 건물일체형재생에너지(풍력 및 태양광 등) 의무 설치제도 시행 - 신규 건축물 건설 시 스마트미터 의무설치 및 HEMS 도입 의무화 - 건축물 설계 시 통합적 환경설계 및 - 지자체 단위 에너지사용 및 온실가스 배출 모니터링 시스템 구축
장기(2030 이후) 건물에너지사용총량제	장기(2030 이후) 건물 간 에너지 거래
- 기존 건물 에너지효율화 위한 규제 적용 - 재생에너지 설치 및 활용, 고효율 기기 대체, 건물 에너지관리시스템 도입 등 - 건물에너지사용총량제, 건물온실가스총량제 실시 - 건물 간 에너지(전력·열·가스) 거래 제도 수립 및 시범사업 시행 - 건물 용도별 에너지 및 온실가스 배출거래제 시행 2040년 이후 건물 간 에너지 거래시장 활성화 - 재생에너지 설치 시 ESS 또는 연료전지 설치 의무화	- 건물 용도별 에너지 및 온실가스 배출거래제 시행 - 건물 간 에너지(전력·열·가스) 거래 및 사업 시행 2040년 이후 건물 간 에너지 거래시장 활성화 - 모든 건물의 넷제로화 인증 제도 시행 - 모든 건물의 지능화 인증 제도 시행 - 신도시 건설 시, 태양일사량, 풍향·풍속·풍향 등을 고려하여 건물 간 거리 및 건물의 높이 등을 고려하여 설계하여 하며, 차량의 이동동선을 최소화하여 에너지사용 및 온실가스 배출을 최소화하도록 도시 설계 계획 인증 도입

건물 용도 주거용 건물 / 개선 분야 기술 혁신	
기존 건물	신축 건물
단기(~2022) 및 중기(~2030)	단기(~2022) 및 중기(~2030)
- 단열, 외피, 냉난방공조시스템 등 주택용 건물에 적용가능한 신기술 가운데 단기적으로 적용가능한 기술을 공공임대주택에 선도입하여 에너지사용량과 온실가스 감축 효과 제시 - 주거용 건물에 최적화된 도시형 소형풍력 기술 개발 및 시범사업 시행 - 주거용 규모별 최적화된 HEMS 개발 및 HEMS 설치 - 스마트미터기 보급을 통한 건물에너지데이터 분석 - 주택용 규모별 건물에 최적화된 공기열원 히트펌프 개발	- 도시형 소형풍력 및 건물일체형태양광, 지붕형태양광 설치 - 수요관리와 결합된 전기온수기 설치 - 공기열원 히트펌프 설치 - 건물에 적용 가능한 바이오(미세조류 등) 기술 등 차세대기술 개발 - 재생에너지활용, 미열 활용, 에너지저장을 통해 일부 건물의 마이크로발전소화
장기(2030 이후)	장기(2030 이후) 전기화, 일부 건물의 발전소화(2040년 이후)
- 재생에너지 설치 (옥상, 근거리, 지붕, 별면 등) - 냉·난방용 가스를 전기로 전환 (용도별) - 주택용 규모별 건물에 최적화된 공기열원 히트펌프 및 수요관리와 결합된 온수관리기 설치	- 에너지네트워크(전력·가스·열)의 물리적 인프라 건설 시, 에너지효율 최적화 달성을 고려한 설계 - 냉·난방·취사용 가스를 전기로 전환 (용도별) - 수요관리와 결합된 전기온수기 설치 의무화 (용도별) - 공기열원 히트펌프 설치 의무화 (용도별)

건물 용도 주거용 건물 / 개선 분야 사회 혁신	
기존 건물	신축 건물
단기(~2022) 및 중기(~2030)	단기(~2022) 및 중기(~2030)
- 건물은 발전이나 수송과는 달리 시군구별 고정되어 있는 에너지사용 및 온실가스 배출 주체로 지자체별 온실가스 감축 목표와 방향설정이 가능 - 지자체별 탄소중립을 향한 방향을 설정하고 주민들의 사회적 합의를 도출 - 전자기기 사용 및 전기화로 인한 전력사용 증가량의 일정부분은 에너지사용 절감이라는 개개인의 행동변화와 에너지절약을 생활화하는 사회적 합의, 사회적 통념 및 문화를 변화시켜 나아가야 함 - 사회적 캠페인, 공익광고, 경제계, 지자체 주민센터, 초중고 교육 캠페인, 온라인 및 SNS 캠페인 등 국가적 캠페인을 통해 에너지절약 국가운동 실행	
장기(2030 이후)	장기(2030 이후)
- 에너지절약이 자산이 되고 수익창출의 일원이 될 수 있다는 사회적 통념이 자리잡아야 함 - 에너지절약이 사회적 매너와 교양인과 지식인의 기본자세라는 인식이 자리잡아야 함	

건물 용도 비주거용 건물 / 개선 분야 제도 혁신	
기존 건물	신축 건물
단기(~2022) 및 중기(~2030)	단기(~2022) 및 중기(~2030)
- 비주거용 상용건물의 에너지효율 및 온실가스 저감 기술 도입 및 적용 시 세제혜택 부여 * 세제혜택이 실질적으로 건물주의 투자를 유인하도록 용도별·규모별 차등화되고 현실적인 세제혜택 마련 위한 법률 필요 - 그린리모델링은 에너지효율과 온실가스 감축량과 직접적으로 연관된 부분에만 공적자금 지원 - 감축량과 직접적으로 연관된 배출규제 수립 - 건물 용도별 온실가스 배출 총량제 도입 - 건물 간 온실가스 배출 거래 제도 수립 - 제로에너지빌딩의 전면적 재설계 (현행 5단계에서 3단계로 조정하여 실질적인 넷제로건물을 실현하고 재생에너지설치 및 이용을 빠른 속도로 추진) - 재생에너지 설치 시 ESS 또는 연료전지 설치 의무화	
장기(2030 이후)	장기(2030 이후)
- 기존 건물 에너지효율화 위한 규제 적용 - 재생에너지 설치 및 활용, 고효율 기기 대체, 건물 에너지관리시스템 도입 등 - 건물에너지사용총량제, 건물온실가스총량제 실시 - 건물 간 에너지(전력·열·가스) 거래 제도 수립 및 시범사업 시행 - 건물 용도별 에너지 및 온실가스 배출거래제 시행 2040년 이후 건물 간 에너지 거래시장 활성화	
- 신도시 설계 및 신규 건축물 설계 시 건물일체형재생에너지(풍력 및 태양광 등) 의무 설치제도 시행 - 신규 건축물 건설 시 스마트미터 의무설치 및 BEMS 도입 의무화 - 지자체 단위 에너지사용 및 온실가스 배출 모니터링 시스템 구축	
- 건물 용도별 에너지 및 온실가스 배출거래제 시행 - 건물 간 에너지(전력·열·가스) 거래 및 사업 시행 2040년 이후 건물 간 에너지 거래시장 활성화 - 모든 건물의 넷제로화 인증 제도 시행 - 모든 건물의 지능화 인증 제도 시행 - 신도시 건설 시, 태양일사량, 풍향·풍속·풍향 등을 고려하여 건물 간 거리 및 건물의 높이 등을 고려하여 설계하여 하며, 차량의 이동동선을 최소화하여 에너지사용 및 온실가스 배출을 최소화하도록 도시 설계 계획 인증 도입	

건물 용도 비주거용 건물 / 개선 분야 기술 혁신	
기존 건물	신축 건물
단기(~2022) 및 중기(~2030)	단기(~2022) 및 중기(~2030)
• 상업용 건물에 최적화된 도시형 소형풍력 및 대형풍력 기술 개발 및 시범사업 시행 • 모든 건물의 BEMS 의무화 설치 • 스마트미터기 보급을 통한 건물에너지데이터 분석 • 사람 및 물류 이동 동선을 최소화하고 에너지사용을 최소화하는 건물 설계 및 디지털 기술 개발 및 시범사업 시행(공공건물부터 시작, 민간기업의 경우 세제 혜택 부여) • 노후화된 대형 상업용 건물에 적용 가능한 에너지효율 기술 및 온실가스 감축 기술 개발	• 도시형 소형풍력 및 건물일체형태양광, 지붕형태양광 설치 • 건물에 적용 가능한 바이오(미세조류 등) 기술 등 차세대기술 개발
장기(2030 이후)	장기(2030 이후)
• 재생에너지 설치 (옥상, 근거리, 지붕, 별면 등) • 냉·난방용 가스를 전기로 전환 (용도별) • 고효율기기로 교체 • 노후화된 건물에 적용 가능한 에너지효율 및 온실가스 감축 신기술 적용	• 에너지네트워크(전력·가스·열)의 물리적 인프라 건설 시, 에너지효율 최적화 달성을 고려한 설계 • 냉·난방·취사용 가스를 전기로 공급 (용도별) • 재생에너지활용, 미열 활용, 에너지저장을 통해 일부 건물의 마이크로발전소화 • 모든 건물의 지능화 (AI 모니터링으로 에너지사용 최적화)

건물 용도 비주거용 건물 / 개선 분야 사회 혁신	
기존 건물	신축 건물
단기(~2022) 및 중기(~2030)	단기(~2022) 및 중기(~2030)
• 건물은 발전이나 수송과는 달리 시군구별 고정되어 있는 에너지사용 및 온실가스 배출 주체로 지자체별 온실가스 감축 목표와 방향설정이 가능 • 지자체별 탄소중립을 향한 방향을 설정하고 주민들의 사회적 합의를 도출 • 전자기기 사용 및 전기화로 인한 전력사용 증가량의 일정부분은 에너지사용 절감이라는 개개인의 행동변화와 에너지절약을 생활화하는 사회적 합의, 사회적 통념 및 문화를 변화시켜 나아가야 함 • 사회적 캠페인, 공익광고, 경제계, 지자체 주민센터, 초·중·고 교육 캠페인, 온라인 및 SNS 캠페인 등 국가적 캠페인을 통해 에너지절약 국가운동 실행	
장기(2030 이후)	장기(2030 이후)
• 건축주로서 건물 설계 또는 구입 시 에너지효율 및 온실가스 배출 인식이 가장 중요한 기준으로 자리매김 • 에너지절약이 자산이 되고 수익창출의 일원이 될 수 있다는 사회적 통념이 자리매김 • 에너지절약이 사회적 매너와 교양인과 지식인의 기본자세라는 인식이 정착됨	

참고문헌

<국내 문헌>

2050 저탄소 사회 비전 포럼 (2020), 2050 장기 저탄소 발전전략

에너지통계연보 2019, <http://www.keei.re.kr/keei/download/YES2019.pdf>

이창훈, 김태현, 박현주, 김태현, 김남일, 박명덕, 이민찬 (2019), 지속가능발전과 에너지산업전환:

기후변화 정책목표 1.5°C 대응을 중심으로, 경제·인문사회연구회협동연구총서

홍종호 외 (2017), 지속가능한 미래를 위한 대한민국 2050 에너지 전략, WWF

이상엽, 전호철, 김이진 (2017), 신기후체제 대응을 위한 2050 저탄소 발전전략 연구, 환경정책평

가연구원/환경부

정영선, 김태형 (2019), 국가 에너지통계에 따른 건물부문 온실가스 배출량 추계 및 특성, 대한건축

학회 논문집 35(7)

에너지전환포럼 (2018), 기후변화 대응 기본계획 수립을 위한 건물에너지 수요관리 정책수단 연구

이정찬 (2019), 뉴욕시 그린뉴딜 정책 및 시사점, 국토연구원

<해외 문헌>

Energy Transitions Commission (2018), Mission Possible: Reaching Net-zero Carbon

Emissions from Harder-to-abate Sectors by Mid-Century

IEA, Energy Technology Perspectives 2017

IEA, World energy valances 2019

IRENA, 2020, Global Renewable Outlook

IPCC (2014), Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change, Working Group III

Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change

Canadian Energy Research Institute (2017), Greenhouse gas emissions reductions in

Canada through electrification of energy services

The Official Website of the City of New York (2019), Action on Global Warming: NYC's Green

New Deal, [https://www1.nyc.gov/office-of-the-mayor/news/209-19/action-global-](https://www1.nyc.gov/office-of-the-mayor/news/209-19/action-global-warming-nyc-s-green-new-deal#/0)

warming-nyc-s-green-new-deal#/0

대한민국 2050 탄소중립 달성을 위한 부문별 전략 및 정책개발 연구

5

수송부문

5.1 수송부문 에너지 소비량 및 온실가스 배출현황과 특징

5.2 교통, 수송부문 온실가스 배출량 전망과 실적

5.3 우리나라 및 주요국의 교통, 수송부문 저탄소발전전략 시나리오

5.4 수송부문 정책 제언



5.1 수송부문 에너지 소비량 및 온실가스 배출현황과 특징

5.1.1 수송부문 에너지 소비 현황

1) 우리나라 에너지 소비 현황

- 우리나라의 에너지 소비는 '90년 75,106 천TOE에서 '16년 225,681 천TOE로 3배 증가하였으며, 2016년에 전체 에너지의 61.4%가 산업 부문에서 소비
 - 전체 에너지소비는 1990년 이후 약 4.3%의 연평균 증가율로 증가 2016년 기준 전체 에너지소비의 18.9%가 교통, 수송부문이 차지

[표 5-1] 우리나라 에너지소비 현황 (단위 : 1,000TOE)

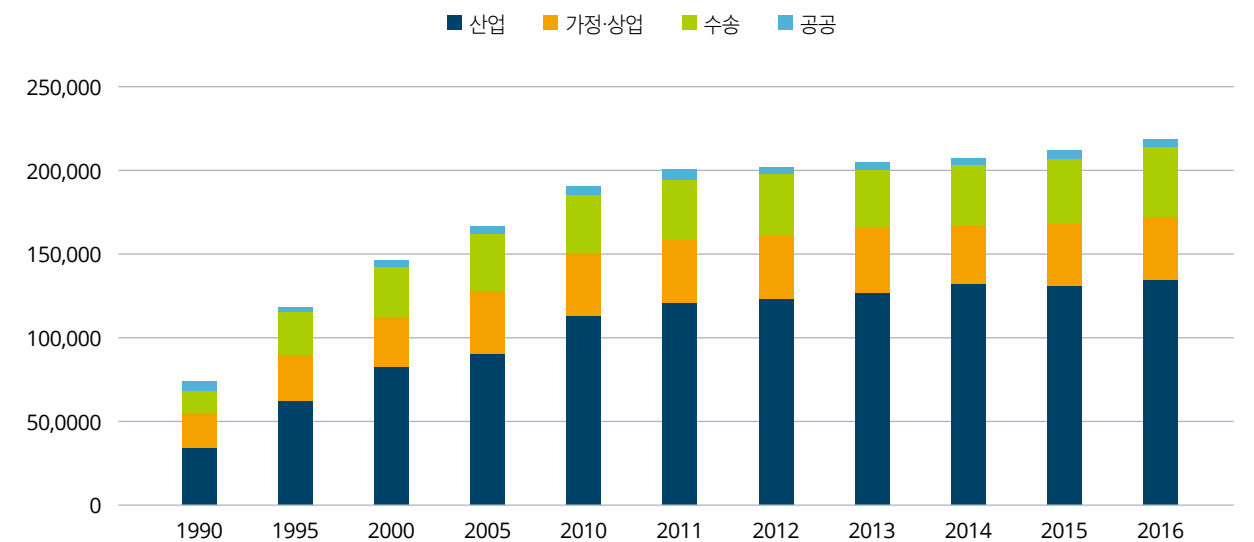
분야	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
산업	36,150	62,946	83,912	94,366	117,046	127,005	128,451	130,379	135,331	135,713	138,469
	48.1%	51.6%	56.0%	55.2%	59.8%	61.7%	61.7%	62.0%	63.3%	62.2%	61.4%
가정 상업	21,971	29,451	32,370	36,861	37,256	37,542	37,884	37,408	35,539	36,603	38,261
	29.3%	24.1%	21.6%	21.6%	19.0%	18.2%	18.2%	17.8%	16.6%	16.8%	17.0%
수송	14,173	27,148	30,945	35,559	36,938	36,875	37,143	37,330	37,636	40,292	42,714
	18.9%	22.3%	20.7%	20.8%	18.9%	17.9%	17.8%	17.8%	17.6%	18.5%	18.9%
공공 기타	2,812	2,416	2,625	4,068	4,483	4,560	4,769	5,178	5,336	5,753	6,237
	3.7%	2.0%	1.8%	2.4%	2.3%	2.2%	2.3%	2.5%	2.5%	2.6%	2.8%
합계	75,106	121,961	149,852	170,854	195,723	205,982	208,247	210,295	213,842	218,361	225,681
증가율	-	62.39%	22.87%	14.02%	14.56%	5.24%	1.10%	0.98%	1.69%	2.11%	3.35%

출처 : 에너지통계연보 2017. 에너지경제연구원

2) 수송부문 에너지 소비 현황

- 교통, 수송부문 에너지 소비량은 '16년 42,714천TOE로 국가 에너지 소비량 225,681천TOE의 18.9% 차지하며, 2016년 수송부문 에너지소비량의 80.5%가 도로부분에서 소비
 - 교통, 수송부문 연평균증가율 '90~'00년 : 7.2%, '00~'10년 : 2.7%, '10~'16년 : 2.4%
 - 15년 하반기 이후 전 세계적인 저유가 현상으로 에너지소비 증가율이 크게 상승함. 2016년 기준 도로 부문이 80.5%로 가장 높고, 항공 10.9%, 해운 7.8%, 철도 0.8% 순

<그림 5-1> 우리나라 에너지소비 현황



출처 : 에너지통계연보 2017. 에너지경제연구원

[표 5-2] 수송부문 에너지소비 현황 (단위 : 1,000TOE)

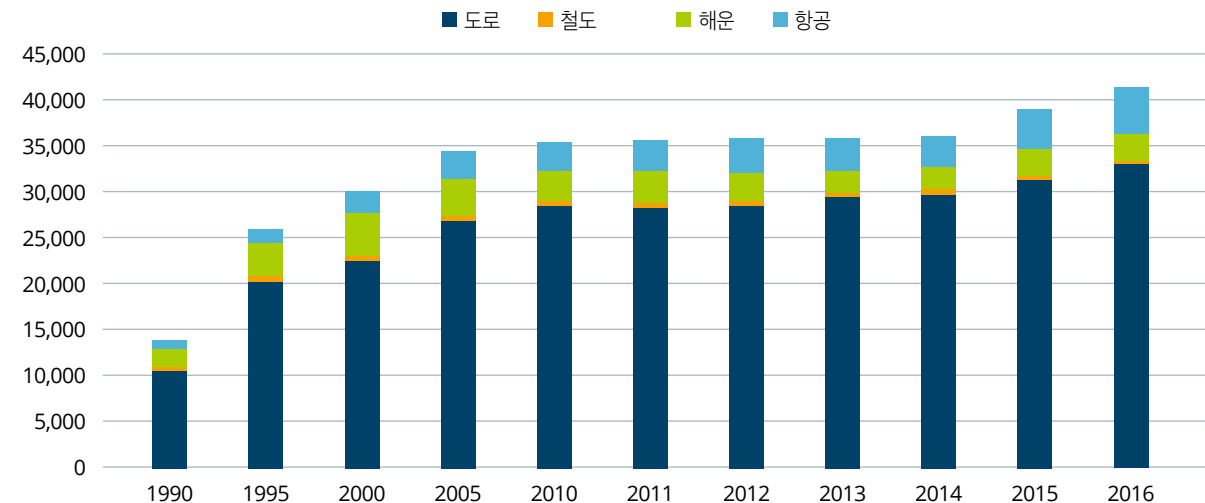
구분	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
도로	11,205	21,218	23,554	28,144	29,820	29,672	29,886	30,813	31,045	32,768	34,369
(비중)	79.1%	78.2%	76.1%	79.1%	80.7%	80.5%	80.5%	82.5%	82.5%	81.3%	80.5%
철도	392	464	513	505	383	371	370	342	302	309	335
(비중)	2.8%	1.7%	1.7%	1.4%	1.0%	1.0%	1.0%	0.9%	0.8%	0.8%	0.8%
해운	1,669	3,618	4,705	4,092	3,282	3,366	3,154	2,433	2,319	2,946	3,351
(비중)	11.8%	13.3%	15.2%	11.5%	8.9%	9.1%	8.5%	6.5%	6.2%	7.3%	7.8%
항공	908	1,849	2,174	2,819	3,453	3,467	3,733	3,742	3,971	4,269	4,659
(비중)	6.4%	6.8%	7.0%	7.9%	9.3%	9.4%	10.1%	10.0%	10.6%	10.6%	10.9%
합계	14,174	27,148	30,945	35,559	36,938	36,875	37,143	37,330	37,636	40,292	42,714
증가율	-	91.5%	14.0%	14.9%	3.9%	-0.2%	0.7%	0.5%	0.8%	7.1%	6.0%

출처 : 에너지통계연보 2017. 에너지경제연구원

5.1.2 수송부문 온실가스 배출 현황

1) 수송부문 온실가스 배출량 추이

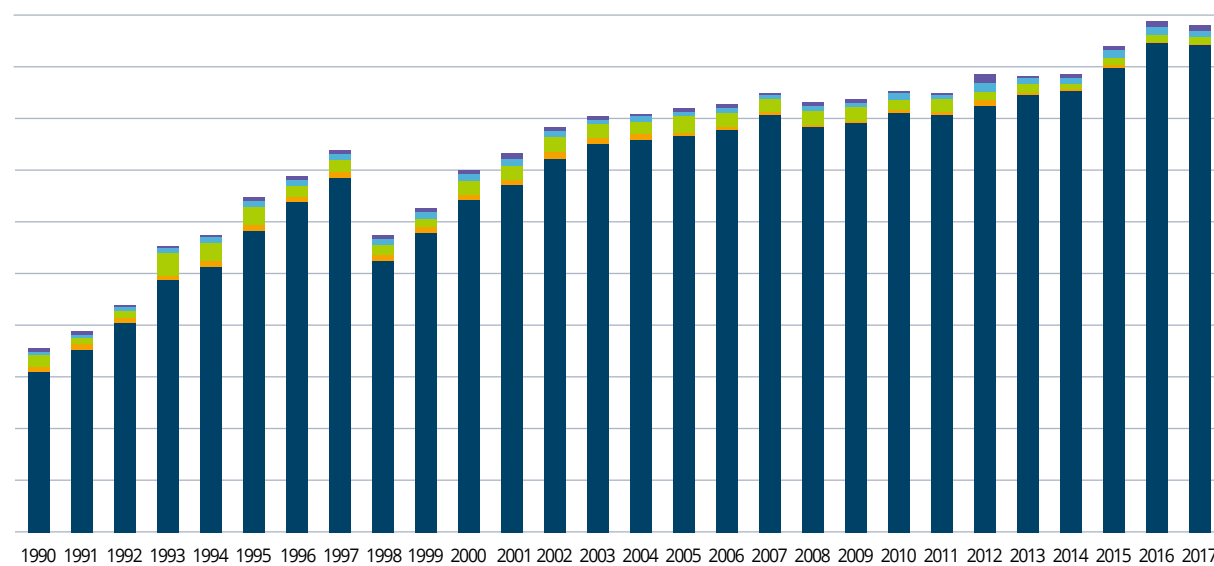
<그림 5-2> 교통, 수송부문 에너지소비 현황



출처 : 에너지통계연보 2017. 에너지경제연구원

- 1998년 외환위기 및 2008년 세계경제 금융위기를 제외하면 지속적 증가 추세
- 최근 증가율은 2000년 이전에 비해 증가율이 둔화됨

<그림 5-3> 교통, 수송부문 배출량 변화 추이 (단위 : 천톤 CO2 eq.)



도로수송 철도 해운 민간항공 기타수송

출처 : 국가온실가스인벤토리(1990~2016)

- 1990년 대비 2017년 수송부문 온실가스 배출량 62.8백만톤 증가 (276.9%증가)
- 타 부문에 비해 도로수송이 63.4백만톤 증가 (305.1%증가)
- 2017년의 경우 2016년에 비해 50만톤 감소 (도로수송 부문 30만톤 감소) → 정책적 효과라기 보다는 국제유가 변화가 상승기조 전환에 따른 연료 소비량 감소효과로 추정

[표 5-3] 교통, 수송부문 온실가스 배출량 추이 (단위 : 백만톤 CO2 eq.)

구분	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017
수송	35.5	64.7	69.9	81.8	85.4	94.2	98.8	98.3
민간항공	0.8	1.3	1.4	1.0	1.1	1.5	1.7	1.7
도로수송	30.9	58.5	64.5	76.9	81.1	90.1	94.6	94.3
철도	0.9	0.9	1.0	0.8	0.6	0.3	0.3	0.3
해운	2.4	3.6	2.8	2.8	2.3	1.6	1.4	1.3
기타수송	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.8	0.8

출처 : 국가온실가스인벤토리(1990~2017)

5.1.3 수송부문 온실가스 배출 특징

- 도로수송이 전체 배출량의 94.3%를 차지하고 있으며 1990년 대비 63.4백만톤 증가(305.1%증가)로 국내 온실가스 배출량 증가를 주도
- 클린디젤 정책 등으로 인하여 경유차 소비는 급격하게 증가하였으나 중, 대형차 중심의 불합리한 자동차 소비 문화로 인하여 자동차 연비는 지속적으로 악화되고 있는 추세
- 교통수요관리 정책의 부재 및 승용차 중심의 교통정책으로 인하여 대중교통 및 자전거와 같은 녹색교통수단 활성화는 여전히 미흡

[표 5-4] 국내 신규 자동차 연비 및 온실가스 평균배출량 목표

	구분	'15년	'16년	'17년	'18년	'19년	'20년
신규자동차 평균연비 기준	평균연비 (km/L)	17	18.6	19.2	19.6	21.4	24.3
	온실가스배출 (g/km)	140	127	123	120	110	97

출처 : 환경부

[표 5-5] 국내 승용차 판매량 추이 (단위 : 대, %)					
구분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
경형	202,844 (17.3%)	182,021 (16.0%)	186,702 (15.4%)	173,418 (13.1%)	173,008 (12.9%)
소형	247,632 (21.1%)	237,512 (20.9%)	255,055 (21.0%)	298,160 (22.5%)	331,167 (24.7%)
	SUV	6,661	11,998	32,932	86,233
	CDV	-	-	-	2,956
중형	500,914 (42.6%)	497,135 (43.7%)	506,653 (41.7%)	539,073 (40.6%)	479,135 (35.7%)
	SUV	219,515	246,988	264,537	302,086
	CDV	21,854	35,419	32,860	24,323
중대형	182,667 (15.5%)	186,308 (16.4%)	211,482 (17.4%)	259,478 (19.6%)	269,502 (20.1%)
	SUV	30,674	34,509	40,285	63,881
	CDV	30,448	30,442	41,629	68,266
대형	41,834 (3.6%)	34,051 (3.0%)	54,051 (4.5%)	56,647 (4.3%)	90,567 (6.7%)
	SUV	73	11	1	-
	CDV	269	144	14	1,030
합 계	1,175,891 (100.0%)	1,137,027 (100.0%)	1,213,943 (100.0%)	1,326,776 (100.0%)	1,343,379 (100.0%)

출처 : 한국자동차산업협회

※ 주) SUV(Sports Utility Vehicle), CDV(Car Derived Van)

- 경유차 판매 확대에도 불구하고 중, 대형차 중심의 판매 증가로 인하여 평균 공차중량과 평균 온실가스배출량이 증가하는 추세
- 차량 평균연비 기준강화, 친환경차 보급 확대 등의 에너지 전환 정책을 추진하고 있으나 불합리한 자동차 소비구조가 지속되고 고착화

[표 5-6] 주요 자동차 생산국의 (신규)승용차 등록추이(%)				
구 분	프랑스	이탈리아	일본	한국
SMALL	52.2	62.2	37.1	12.9
LOWER MEDIUM	27.7	19.0	25.0	24.7
UPPER MEDIUM	13.1	12.3	21.9	35.7
EXECUTIVE	6.9	6.5	15.9	26.8
합계	100.0	100.0	100.0	100.0

출처 : Association Auxiliaire de l'Automobile (AAA), JAMA(Japan Automobile Manufacturers Association), 한국자동차산업협회

※ 주) 프랑스와 이탈리아는 2016년 신규 등록대수 기준
일본은 2015년 누적등록대수 기준, 한국은 2016년 누적등록대수 기준
일본 분류기준 : Small(660cc미만), Lower medium(660~1,500cc미만),
Upper medium(1,500~2,000cc미만), Executive(2,000cc초과)
한국 분류기준 : Small(1,000cc미만), Lower medium(1,000~1,600cc미만),
Upper medium(1,600~2,000cc미만), Executive(2,000cc초과)

[표 5-7] 국내 승용차 누적 등록대수 변화 추이 (단위 : 대, %)					
구분	경형	소형	중형	대형	합계
2014년	1,608,004 (10.2%)	3,446,486 (21.9%)	6,582,922 (41.8%)	4,108,048 (26.1%)	15,747,162 (100.0%)
2015년	1,711,674 (10.3%)	3,544,547 (21.4%)	6,883,857 (41.6%)	4,417,823 (26.7%)	16,561,665 (100.0%)
2016년	1,798,962 (10.4%)	3,671,554 (21.2%)	7,154,802 (41.3%)	4,707,737 (27.2%)	17,338,151 (100.0%)

출처 : 한국자동차산업협회

- 국내 자동차 산업의 중요도를 감안하더라도 다른 선진 자동차 생산국의 자동차 소비행태와는 확연히 다른 실태를 보이고 있음

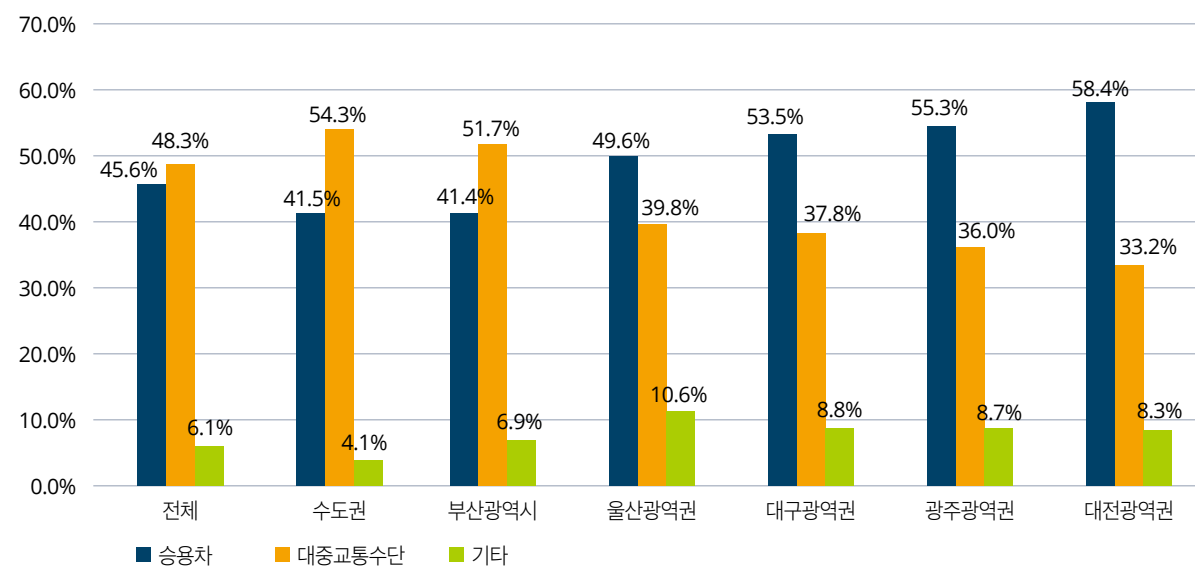
[표 5-8] 국내 신규 자동차 온실가스 평균배출량 변화 추이 (단위: g/km)

구분	2013년		2014년		2015년		2016년		2017년	
	도심	복합	도심	복합	도심	복합	도심	복합	도심	복합
승용차 계	164.9	140.8	165.1	141.5	166.8	143.4	166.3	143.7	165.8	143.9
(일반형)	160.6	136.6	160.7	137.1	161.4	137.7	162.8	139.1	162.9	140.2
(다목적형)	177.0	153.8	174.6	151.3	175.4	153.0	173.1	152.2	177.4	155.8
(기타형)	-	-	206.8	179.4	194.9	169.5	171.4	151.0	170.1	150.4
승합차	221.9	191.5	232.0	200.4	230.4	199.9	225.0	196.3	231.5	201.6
화물차	212.8	197.3	224.9	206.0	220.4	203.2	222.6	205.9	224.5	207.6
전체	172.7	149.4	173.3	150.0	173.9	150.9	173.1	150.9	172.0	151.4

출처 : 한국에너지공단

- 2015년 이후 지속적으로 평균배출량 증가, '20년 97 g/Km (승용차) 달성 미지수
- 중, 대형 승합 및 화물차에 대한 평균배출량 목표 제시 및 관리 정책 필수
 - 외국의 경우 승용차 뿐만 아니라 중대형차(승합, 화물)에 대한 연비규제를 병행하여 시행 중
 - 국내에는 중대형차에 대한 연비규제가 사실상 부재한 상황

<그림 5-4> 전국 광역권 대중교통 수송분담률 현황



출처 : 국토교통부(2010)

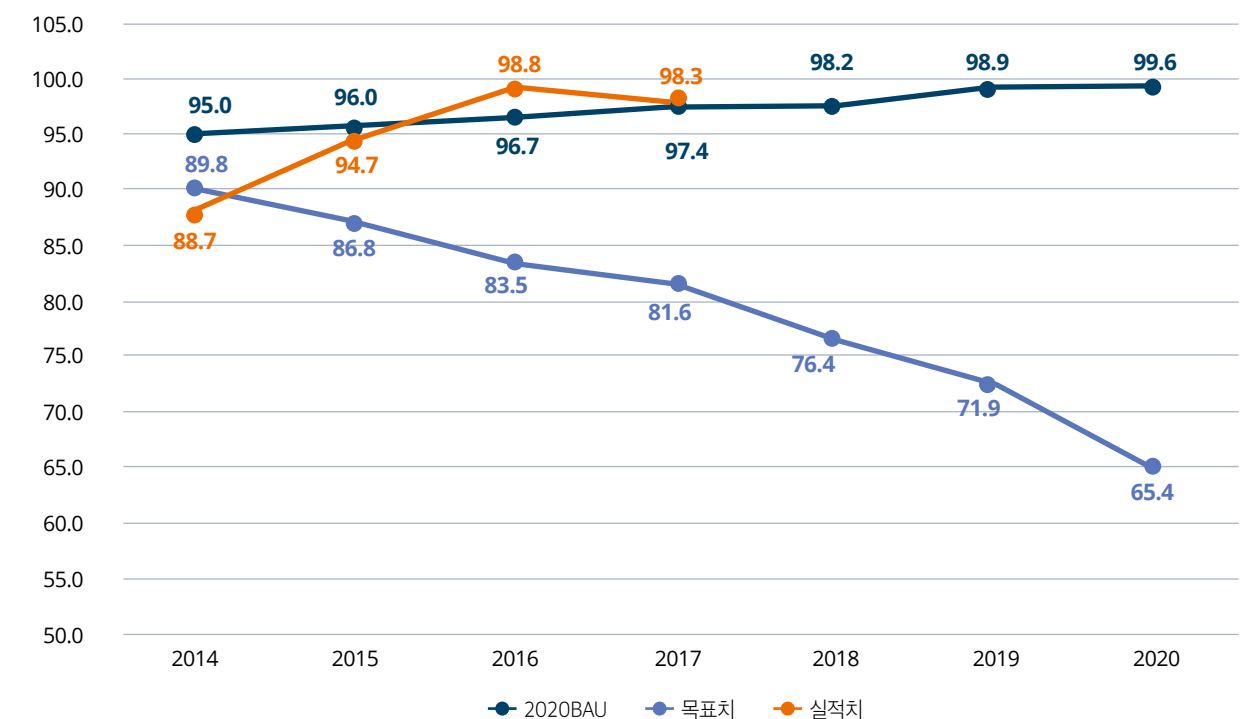
- 서울 수도권과 부산광역권을 제외하면 승용차 이용이 대중교통 이용을 압도하고 있는 상황
 - 대중교통 인프라 확충과 승용차 이용억제를 종합적으로 추진하지 않으면 개선 불가능

5.2 교통, 수송부문 온실가스 배출량 전망과 실적

5.2.1 2020 온실가스 감축로드맵과 배출량 실적치 간의 비교

- 2014년 실적치가 BAU전망과 목표치 미만이었지만 2015년 목표치를 초과하여 BAU 전망치에 근접
 - 2014년 BAU의 과다 추정 가능성은 있으나, 이후 전망치와 비교하여 실적치가 급격하게 증가하는 추세를 보임

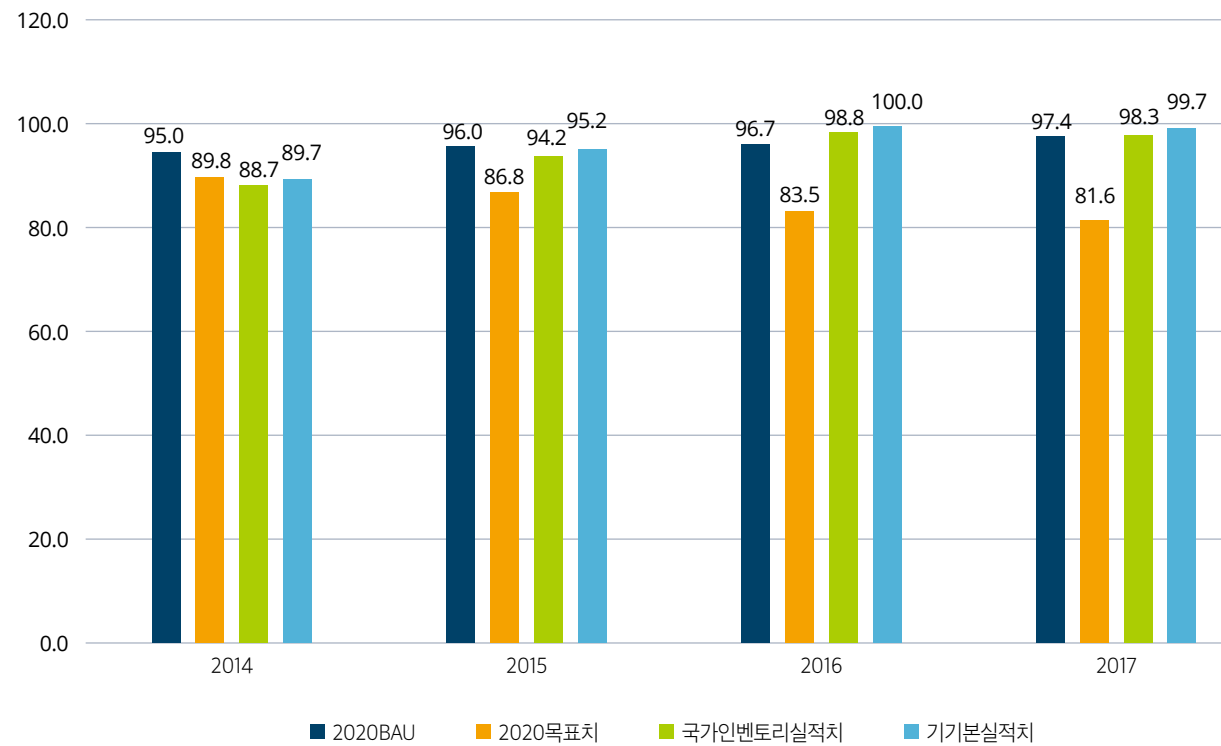
<그림 5-5> 2020 감축로드맵과 배출량 실적치 비교 (단위: 백만톤 CO₂ eq.)



자료 : 국가온실가스인벤토리(1990~2017), 2020 국가온실가스 감축로드맵

- 2016년과 2017년은 BAU 전망치를 상회하여 목표치와의 차이가 더 벌어짐(15.3백만톤→16.7백만톤)
 - 2020년 배출량 목표치 달성은 사실상 불가능

<그림 5-6> 2020 감축로드맵과 배출량 실적치 비교 (단위 : 백만톤 CO₂ eq.)



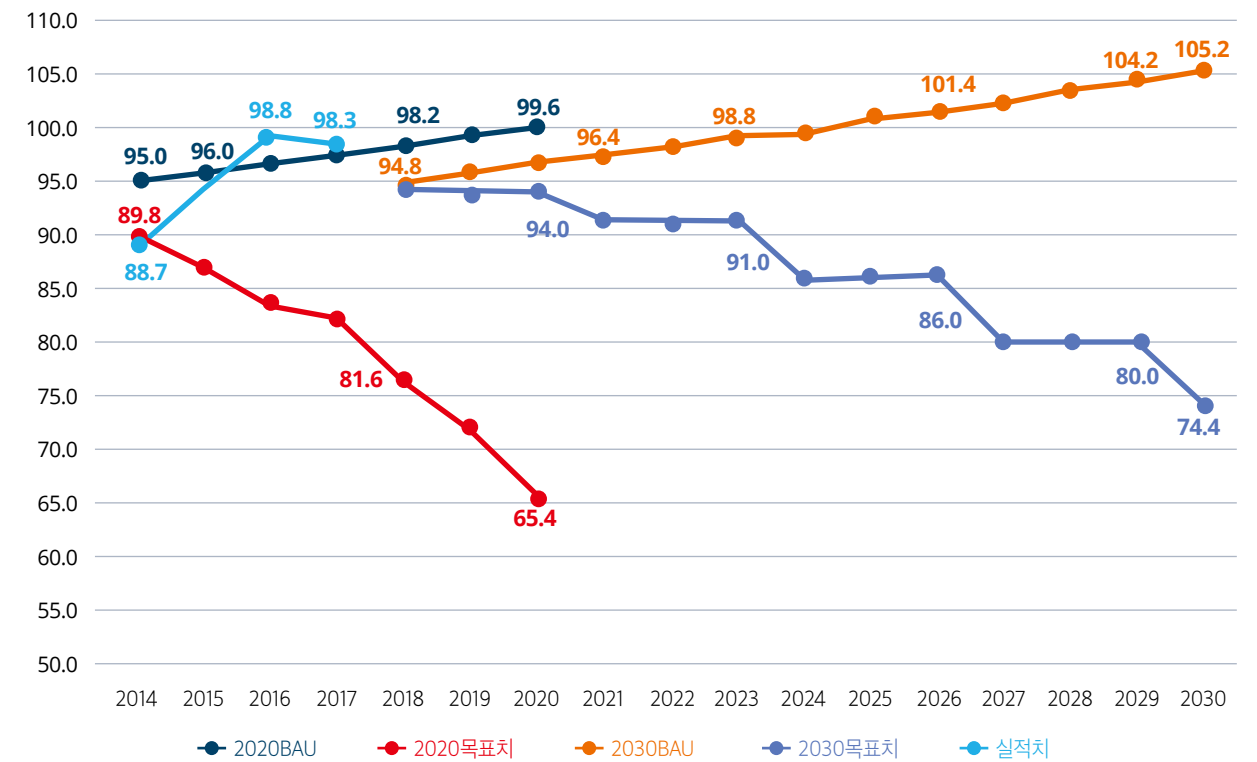
출처 : 국가온실가스인벤토리(1990~2017), 2020국가온실가스감축로드맵, 제2차기후변화대응기본계획

● 정책적 수단과 기술적 수단 등을 통하여 온실가스 감축을 추진하고 있는지 의문

- 2020 감축 로드맵에서 제시한 감축수단이 이행되었다면 배출량 실적치 증가가 아닌 목표치에 미달 하더라도 배출량 감소로 이어져야 하나 실제 배출량은 증가 추이
- 다만, 2016년 대비 2017년 배출량이 감소세로 전환된 것에 대해서는 주목할 필요
- 2016년 대비 2017년 배출량 감소가 정책적 효과인지 저유가 기조에서 유가 회복의 효과인지에 대한 검증 불분명 단, 2018년 배출량 인벤토리 도출 후 평가를 통해 감축정책의 효과인지 등에 대한 검증 필요

● 2020 감축목표 달성을 위해서는 2017년 배출량에서 3년간 32.9백만톤 감축 필요 (2020 감축목표에 육박)

<그림 5-7> 온실가스 감축 로드맵 간 비교 (2020 VS 2030) (단위:백만톤 CO₂ eq.)



출처 : 국가온실가스인벤토리(1990~2017), 2020국가온실가스감축로드맵, 제2차기후변화대응기본계획

● 2030 감축 로드맵의 시작연도인 2018년 전망치보다 2017년 실적치가 약 400만톤 초과 배출

● 단기적으로 2030 감축 로드맵 상 2020년 전망치에 근접하도록 정책목표 설정 및 이행

● 장기적으로 2030 감축 로드맵 목표 달성을 위해 2020 로드맵 감축수단 평가 및 정책 수정 필요

5.3 우리나라 및 주요국의 교통, 수송부문 저탄소발전 전략 시나리오

5.3.1 우리나라의 LEDS 시나리오

[표 5-9] 교통 수송부문 2050 LEDS 감축목표(안)

구분		'17년 현황	포럼 검토안 '50년 목표				
			1안	2안	3안	4안	5안
국가	배출량	709.1	178.9	222.0	279.5	355.9	425.9
	감축량	-	530.2	487.1	429.6	353.2	283.2
	감축률	-	75%	69%	61%	50%	40%
수송	배출량	98.3 (13.9%)	26.3 (14.7%)	28.8 (13.0%)	33.8 (12.0%)	36.0 (10.1%)	40.0 (9.4%)
	감축량	-	72.0 (13.6%)	69.5 (14.2%)	64.6 (15.0%)	62.3 (17.6%)	58.4 (20.6%)
	감축률	-	73.3%	70.7%	65.7%	63.4%	59.4%

출처 : 환경부, 저탄소사회비전포럼 검토안(2020)

* '50년 감축량 및 감축률은 '17년 대비 기준

* ()안은 국가 배출량 및 감축량 대비 비중

* 단위 : 백만톤CO₂ eq.

- 약, 중, 강 시나리오를 설정하여 분석한 후 2050 감축 목표를 5가지 안으로 제시 (1>2>3>4>5 순으로 단계적 강화)
- 1안으로 갈수록 국가 전체 배출량대비 교통, 수송부문 배출량 비중이 감소하고 감축량 비중은 증가하는 시나리오로서 교통, 수송부문의 감축잠재량이 높다는 방증

1) 약 시나리오 - 저비용, 대중수용성 높은 수단, 정부의 관련 공식 계획이 '50년까지 유지

※ (예) 바이오디젤 혼합, 친환경차 보급, 평균연비 개선, 해운·항공 효율화 등

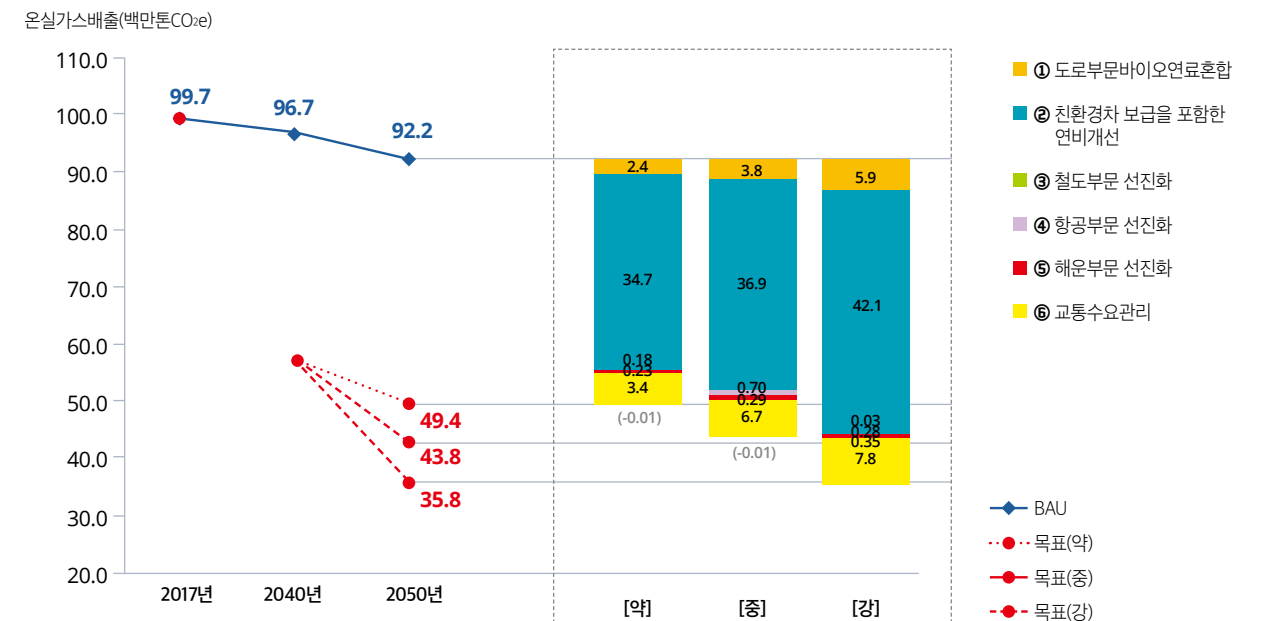
2) 중 시나리오 - 약 시나리오보다 더 높은 비용, 더 도전적인 감축수단 포함

※ (예) 약 시나리오(강화) + 바이오에탄올 혼합 + 철도 전력·수소화

3) 강 시나리오 - 중 시나리오보다 더 높은 비용, 미래 혁신기술로 야심찬 감축 수단 포함

※ (예) 중 시나리오(강화) + 기타 미래기술(국내·외 혁신기술로서 제시되는 수단)

<그림 5-8> 교통 수송부문의 2050 온실가스 감축경로



5.3.2 우리나라 LEDS의 핵심과제 및 목표

(기본방향) 친환경 교통체제 확립을 통한 저탄소 사회 실현

(핵심과제) 친환경차 운행 대중화, 내연기관차 고효율화 및 저탄소화 강화, 철도·항공·해운부문의 저탄소화 촉진, 저탄소 물류체계 구축 및 수요관리 선진화 등

1) 친환경차 운행 대중화

● 친환경차 시장 경쟁력 확보를 통한 보급 확대

- 시장 상황을 고려하여 친환경차 구매보조금 유지 및 개별소비세, 취득세 등 세제지원 연장을 통한 친환경차 보급 가속화 추진
- 그린수소 생산 방식과 지역을 고려하여 수소 가격의 하락을 유도하고 재정지원과 충전소 대폭 구축을 통해 수소차의 경제성 확보
- 국민들이 신뢰할 수 있도록 생산·저장·운송·소비 전 주기에 걸쳐 친환경차 운행의 안정성 확보

● 전기·수소 충전 인프라 확대

- (전기) 공동주택(충전기 의무구축 확대 등), 대형마트, 주유소, 휴게소 등 다중이용시설에 급속충전기 보급을 확대하여 차량 이용 편의성 증진
- (수소) 기존 LPG·CNG 충전소를 수소 충전이 가능한 융복합 충전소로 전환하고 입제 규제완화를 통해 주요 도심 거점에 인프라 구축 확대

● 친환경차 연관 산업 기술경쟁력 확보 및 지원 강화

- 온실가스 배출이 없는 그린수소 생산, 수소차·충전소 핵심부품 국산화 기술 개발연구 확대 등 수소산업 생태계 조성
- 전기차 배터리 제조기술, 전기차를 활용한 운송시장, 폐배터리 재활용 등 전기차 보급확대에 따라 파생되는 연관 산업의 발굴·육성
- 버스·택시·트럭 등 보유사업자 중심으로 수소차, 전기차 등 친환경차 수요의 발굴·확산을 지속 추진

2) 내연기관차 고효율화 및 저탄소화 강화

● 연비 개선 등 자동차 효율개선을 통한 온실가스 감축 촉진

- 국가 온실가스 감축목표, 업계 기준달성 가능성 등을 고려한 자동차(승용·승합·소형화물) 평균연비 기준(온실가스 배출허용기준)의 강화 및 중·대형차 평균연비 제도('22년부터 도입예정)의 성공적 안착 추진
※ 자동차 평균연비·온실가스 관리제도 시행('12~, 산업부·환경부)
- 엔진·부품의 경량화 등 연비 향상을 위한 기술과 하이브리드화(전동화)시스템의 효율 개선방안 지속 개발
- 핵심부품(전기동력, 자율주행차 등) 개발 등 안정적인 자동차 부품 공급기반 마련과 상용차 산업 생태계 구축을 위한 지원 확대

● 바이오연료 혼합 의무화 제도 강화

- 현행 신재생에너지 의무혼합제도*(RFS)의 바이오디젤 혼합 비율을 확대하고, 바이오에탄올을 의무 대상에 포함하는 등 장기적인 보급 목표 설정
* (RFS, Renewable fuel standard) 석유정제업자, 석유수출입업자가 기존 경유에 바이오 디젤을 일정비율 혼합하여 공급해야하는 제도('15.7 시행)
- 국내 폐자원(폐식용유 등) 재활용을 통한 바이오연료 생산·공급 등 해외 의존적인 바이오연료의 공급처 다변화로 안정적 수급 도모

3) 철도·항공·해운부문 저탄소화 촉진

● 전기·수소 등 저탄소·무배출 연료로의 전환을 지속 추진

- (철도) 디젤철도차량의 내구연한 도래 시 전기철도차량으로 교체, 수소 전지 하이브리드 기관차 상용화 연구개발 및 보급
※ 철도차량용 수소충전 인프라 시설을 구축하고 국가 계획상의 기관차 의무보유량을 수소연료전지 철도차량으로 대체하는 제도적 정비 추진
- (항공·해운) 전기항공기 도입, 수소·전기·LNG 선박 보급 등 친환경 운송수단 개발·보급 확대

● 연료효율 향상 추진 및 바이오연료 도입·확대

- 수송 수단별 특성 및 국제 기술개발 추세를 고려하여 항공기* 효율 개선 및 선박** 효율화 등 효율 향상 추진
* (항공기) 지상전원공급장치 사용 확대 및 보조동력장치 사용 억제, 항공기 상공 자체비율 최소화, 고효율 신규 항공기 확대 및 노후기종 교체, 경제비행 등
** (선박) 선체 경량화, 저마찰 도료사용, 고효율 추진기 사용 등 기술개선, 항로 최적화 및 저속운항 해역 설정 등
- 신재생에너지 의무혼합제도 대상영역 확대 등 기존 연료의 일정비율을 바이오항공유, 바이오디젤로 대체하기 위한 제도 개선 방안 검토

4) 저탄소 물류체계 구축 및 수요관리 선진화

● 철도·해운 중심의 친환경 물류체계 강화

- 도로에서 철도·해운으로 전환하는 모달시프트(Modal-shift) 확대 추진
- 철도 및 연안해운 관련 법을 기초로 친환경 물류체계 전환에 따른 인센티브 강화 등 제도개선 추진

● C-ITS 기술 고도화 및 확대·적용을 통한 선진화된 수요관리 추진

- 교통수요 예측을 기반으로 한 고속도로, 국도 등 주요 간선도로 정체 상황 및 우회도로 안내 등 실시간 모니터링 시스템 구축·운영 완비
- 여객부문에서 적용하고 있는 C-ITS* 기술을 화물분야까지 확대 도입하기 위한 법·제도적 기반 마련
* (Cooperative-Intelligent Transport Systems) 차세대 교통형 지능체제로서 차량 주행 중 운전자에게 주변 교통상황, 급정거, 낙화물 등의 위험정보를 실시간 제공

● 저탄소 교통수단 이용 활성화

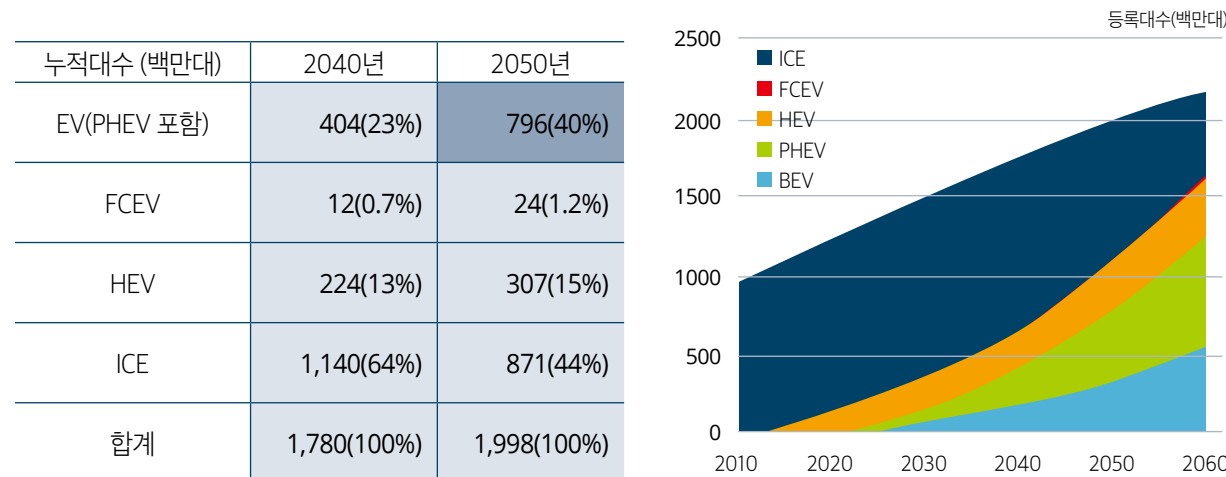
- 보행환경 개선사업 실시, 지역별 맞춤형 자전거 정책 및 안전한 자전거 이용환경 조성 지원 등 도보·자전거 이용 환경 개선
- 광역급행버스 노선 확대, 광역환승센터 구축 등 대중교통 이용 편리성 제고를 위한 네트워크 확충

5.3.3 주요국가의 LEDS 시나리오

1) 장기 저탄소 발전 전략의 국제 동향

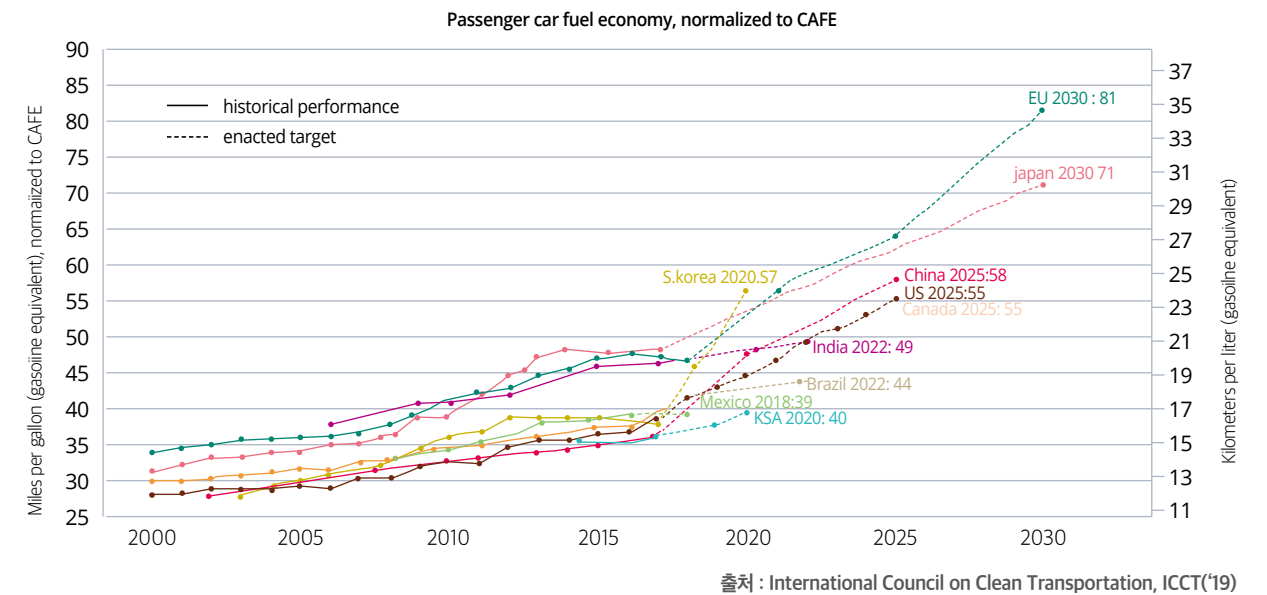
- (IEA 글로벌 목표) 2DS(2°C Scenario)에서 '50년 전 세계 승용차 판매량의 50% 이상이 전기차(플러그인 포함)

<그림 5-9> IEA 2DS 차종별 누적 등록대수

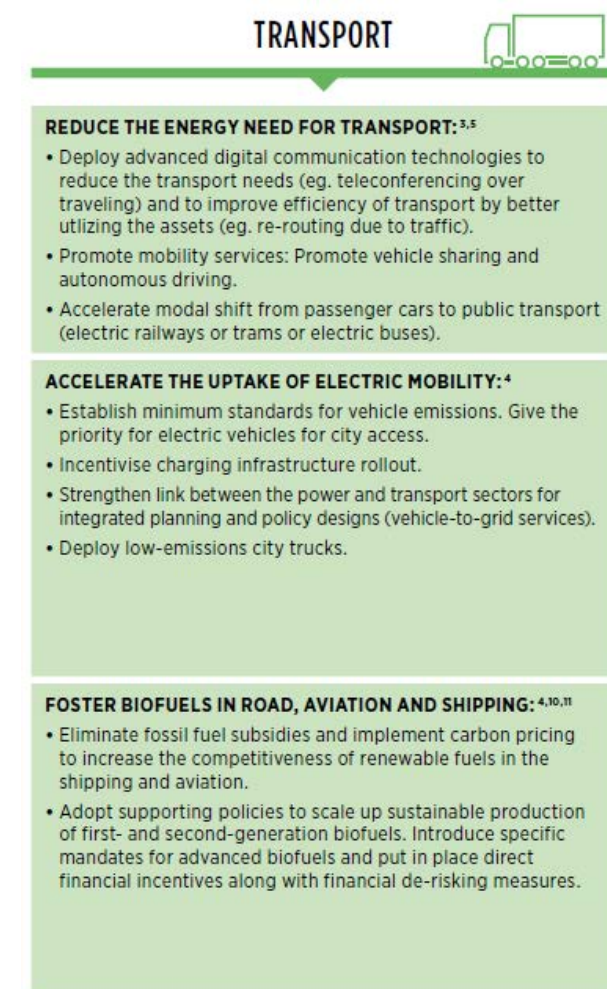


- (해외) 미국은 Phase 1('14-'17)에 이어 Phase 2('18-'27) 규제 도입, 유럽은 '19년부터 온실가스 배출량 신고제도 도입 결정
- (해외) 유럽, 승용차 '21년 대비 '30년 37.5% 개선('30년 약 35 km/L)

<그림 5-10> 승용차 연비 변화추이



<그림 5-11> 글로벌 에너지 시스템 전환을 위한 수송부문 주요 과제



출처 : IRENA (2019)

- (IRENA) 글로벌 에너지 시스템 전환을 위한 분야별 과제 중 수송부문은 에너지 효율개선, 교통수단의 전동화의 가속화, 항공/해운에 이르는 바이오연료 활성화 등을 주요과제로 제시

2) 독일의 LEDS 시나리오

● 기본현황 및 목표

- 교통수단의 에너지 효율은 지속적으로 개선되고 있으나 여객 및 화물 수요의 지속적인 증가로 인하여 온실가스 감축효과를 상쇄
- 2014년을 기준으로 1960년에 비해 수송부문 에너지 소비는 3배 증가, 국가전체 에너지 소비의 30%를 차지, 그 중 90%를 도로수송이 차지하고 있음
- 다만, 1990년 163 Mton CO₂ eq.에서 2014년 160 Mton CO₂ eq.로 온실가스 배출량은 감소추세에 있음 (국가 전체배출량의 18%)
- 2050년 1990년 대비 수송부문 온실가스 배출을 80~95%까지 줄이는 것을 목표로 하고 있으며, 이를 위하여 2030년 95 ~98 Mton CO₂ eq.(40~42% 감축)를 감축하는 것을 목표로 하고 있음

[표 5-10] 독일의 2030년 부문별 온실가스 감축 목표

부문	1990년 배출량 (백만 톤 CO ₂ eq)	2014년 배출량 (백만 톤 CO ₂ eq)	2030년 배출량 (백만 톤 CO ₂ eq)	2030년 배출량 (백만 톤 CO ₂ eq)
에너지	466	358	175-183	62-61%
건물	209	119	70-72	67-66%
수송	163	160	95-98	42-40%
산업	283	181	140-143	51-49%
농업	88	72	58-61	34-31%
소계	1,209	890	538-557	56-54%
기타	39	12	5	87%
총계	1,248	902	543-562	56-55%

출처 : 독일 연방정부 2050 기후행동계획(Climate Action Plan 2050)

● 주요 전략

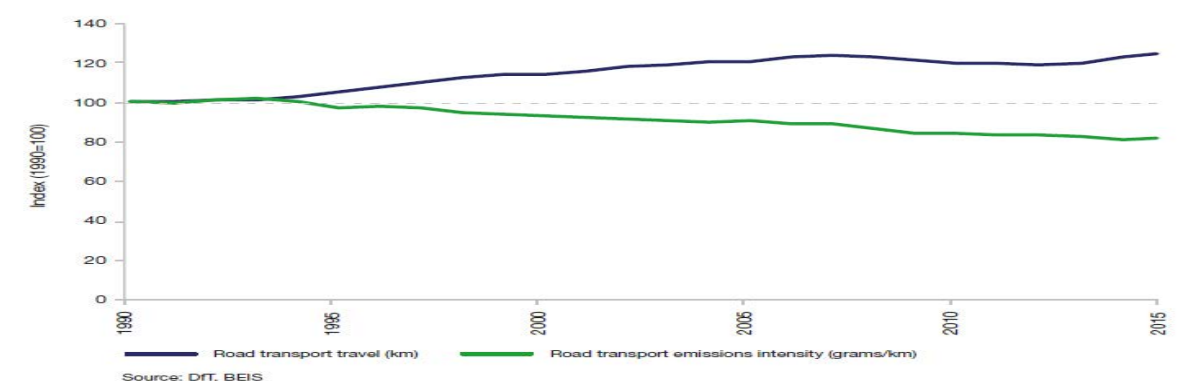
- 전동화 교통수단을 위한 펀딩 : 전동화 교통수단 실현을 위한 일정수준 이상의 기술이 발전하고 적용될 때까지의 재정지원 수단을 제공
- 전동화 기술 확대를 위한 세제 혜택 : 특히, 재생가능에너지로 생산된 전기 등을 이용하는 교통수단에 대한 세제 혜택 제공
- 수단전환을 촉진하는 정책 추진 : 기존 도로이동에서 철도 및 내륙 주운으로 전환시키기 위한 가장 강력한 정책수단 추진
- 철도 활성화를 위한 제도 추진 : 개인교통수단 연계 및 이동을 대체할 수 있는 광역철도 및 도시철도 활성화를 위한 정책과 인프라 확대
- 보행과 자전거 활성화 전략 업데이트 : 기존 National Cycle Paths Plan (NRVP)을 2020년 이후 확대 발전시키고 민간차원의 자전거 활성화 및 성과 측정 프로그램을 지원 할 수 있는 법적 제도적 지원을 확대 하며, 궁극적으로 보행활성화를 위한 프로그램과도 연계 추진
- 항공 및 해운부문의 대체연료 활성화 : 항공 및 해운 분야의 전기화 촉진프로그램 개발 및 기존 바이오 연료 활성화 지속 추진
- 디지털화 촉진 및 분야간 협업체계 구축 : 수송분야의 디지털화를 가속하기 위한 관련 기술분야와의 협업을 확대하고 상호협력 증진

3) 영국의 LEDS 시나리오

● 기본현황 및 목표

- 영국은 2015년 기준 국가전체 온실가스 배출량을 1990년 대비 42% 저감, 수송부문은 국가전체 배출량의 약 24%를 차지하고 있음

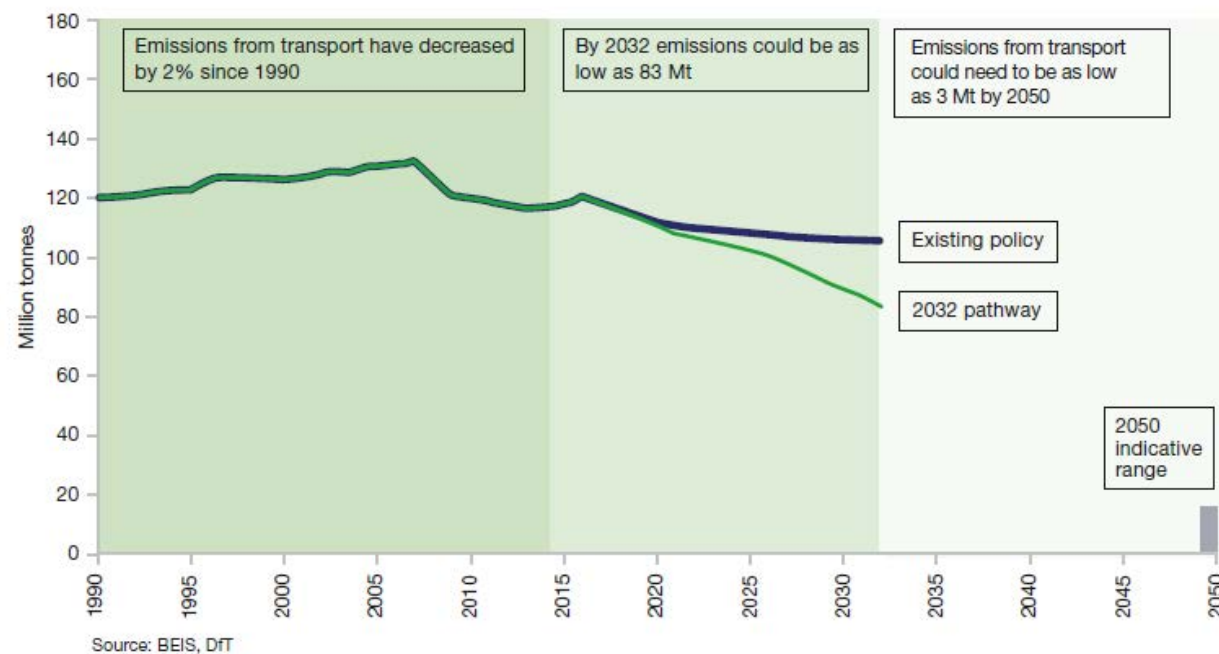
<그림 5-12> 1990-2015년 도로수송차량 배출량 (승용차, 밴, 화물차량)



출처 : 영국 청정성장전략 Clean Growth Strategy

- 1990년에 비해 수송수요는 2015년 기준으로 9% 증가하였으나, 온실가스 배출량은 2% 감소하였고 2000년에 비해 에너지 효율은 16% 개선되었음
- 2015년 현재 ULEV(Ultra Low Emission Vehicle) 차량이 115,000대 이상 보급되어 있고 수송부문 바이오연료 사용량은 약 3% 수준이며 이중 50% 이상은 폐기물로부터 공급되고 있음
- 2015년 기준 1990년 대비 2%의 온실가스가 감축되었고 2032년 85 Mton CO₂ eq. 이하로 배출량을 감축하는 목표를 가지고 있으며, 2050년에는 3 Mton CO₂ eq. 이하로 감축하는 것을 목표로 하고 있음

<그림 5-13> 영국 수송부문 배출량 추이 및 청정성장전략(Clean Growth Pathway) 하의 배출량 예상



출처 : 영국 청정성장전략 Clean Growth Strategy

● 주요 전략

- 내연기관차 판매금지 : 2040년부터 휘발유와 경유를 사용하는 승용차와 소형트럭(VAN) 판매 금지
- 친환경차에 대한 재정지원 : 전기차를 포함한 ULEV 자동차에 대한 10억 파운드 규모의 재정지원
- 세계 최고수준의 전기차 충전망 구축 : 고속충전망 확대 및 수요자가 쉽게 충전할 수 있는 충전망 확대를 위해 8천만 파운드 추가 재정 투자
- 친환경 버스 및 택시 확대를 위한 지원 : 플러그인 택시 지원 및 10개 이상의 지역 충전소 설치와 친환경 버스 교체를 위해 5천만 파운드 지원

- 친환경차 산업 종사자 지원 : 친환경 교통 산업 종사자 확대를 위한 지원 추진
- 공공부문 친환경차 확대 정책 발표 : 친환경차 보급 확대를 선도하기 위한 공공부문 친환경차 확대정책 발표
- 보행 자전거와 같은 친환경 근거리 통행 확대 : 보행 및 자전거와 같은 친환경교통수단을 근거리에서 쉽게 이용할 수 있도록 12억 파운드 재정 투자
- 도시지역 철도 화물 전환 지원책 마련 : 도시지역에서 철도 화물전환을 위한 비용 효과적인 방안 마련
- 친환경 교통 전환연구사업 활성화 : 산업과 연계한 비내연기관 기술개발 확대를 위한 투자 및 연구개발 촉진을 위한 2천 5백만 파운드의 투자
- 친환경 물류 투자혁신 현실화 : 친환경 물류계획 및 친환경 물류체계 현실화를 위한 Faraday Challenge 등을 통한 투자혁신

4) 프랑스의 LEDS 시나리오

● 기본현황 및 목표

- 2013년 기준 1990년 대비 1인당 온실가스 감축량 11%를 이후 지속적으로 유지하고 있음
- 2020년 이후 국가온실가스 감축목표는 2030년 기준 1990년 대비 40% 감축, 2050년 기준 1990년 대비 75% 감축을 목표로 하고 있음
- 이러한 목표 달성을 위해 2005년부터 2013년까지는 연평균 8 Mton CO₂ eq. 감축을 추진했으며 이후 2050년까지 35년 동안은 연평균 9~10 Mton CO₂ eq. 의 감축을 목표로 하고 있음
- 현재 전체 온실가스 배출량의 28%를 차지하고 있는 수송부문 온실가스 배출을 2028년까지 2013년 대비 29%까지 줄이고 2050년까지 2/3(60%)이하 수준으로 감축

● 주요 전략

- 자동차 연비 수준의 획기적 개선 : 2030년까지 2L/100km(우리의 평가기준50Km/L) 달성 및 충전소 확대
- 에너지 효율 향상의 가속화 : 온실가스 배출량 저감을 위해 버스를 포함한 대중교통 수단의 저탄소화 촉진과 전기차 충전 시설 확충 (충전터미널 등)
- 교통수요 관리 : 도시계획, 원격근무, 카풀 등을 통한 교통수요 억제
- 개인 승용차의 대체 교통수단 이용 활성화 : 자전거 이용에 대한 세제 혜택과 대중교통 활성화
- 수단 전환 촉진 : 철도 및 배로의 화물 물류 전환

5.4 수송부문 정책 제언

5.4.1 국내외 LEDS 시나리오 비교 및 시사점

1) 국내외 LEDS 시나리오 비교

[표 5-11] 국내외 수송부문 LEDS 감축목표 및 감축수단 비교

구분	수송부문 감축목표	기술적 수단	정책적 수단
한국	17년 대비 73.3% 감축	- 친환경차 운행 대중화 - 내연기관차 고효율화 - 철도·항공·해운부문의 저탄소화	- 저탄소 물류체계 구축 - 수요관리 선진화
독일	90년 대비 80~95% 감축	- 수송부문 전동화 촉진 - 항공 및 해운 대체연료 활성화 - 디지털화 촉진	- 수단전환 촉진 - 철도 활성화 - 보행 자전거 활성화 - 분야 간 협업체계 구축
영국	90년 대비 95% 이상 감축	- 친환경차 보급 확대 - 버스, 택시의 친환경화 - 친환경차 충전망 확대	- 내연기관차 판매금지 - 친환경차 보급을 위한 재정투자 - 친환경차 산업 및 종사자 지원 - 보행 자전거 활성화 - 도시지역 철도 화물 전환 - 친환경 물류 투자 혁신
프랑스	90년 대비 60% 이상 감축	- 혁신적 자동차 연비 개선 - 친환경차 충전망 확대 - 수송부문 에너지 효율 개선	- 교통수요 관리 - 승용차 대체 교통수단 활성화 - 철도 선박 물류로의 전환 촉진

출처 : 녹색교통운동

- 국내외 LEDS 시나리오를 비교해보면 감축목표에 있어서 한국의 경우 기준년도를 2017년으로 제시하고 있으며, 감축목표도 5가지 안으로 제시하고 있음 다만 본 연구에서는 이 중 가장 강한 시나리오를 바탕으로 비교 분석하였음
- 현재까지 LEDS보고서를 공식 제출한 국가 중 OECD회원국의 대표적 국가인 독일, 영국, 프랑스 사례를 분석한 결과 독일, 영국, 프랑스는 1990년 배출량을 기준으로 60~95%의 온실가스를 2050년까지 감축하는 것을 목표로 제시하고 있음 감축목표에 있어서는 국가별 특성이 반영된 결과로 다소 상이한 목표를 제시하고 있으나 목표달성을 위한 감축수단은 한국과 크게 다르지 않은 상황임

- 주요 감축수단에 있어서는 대부분 자동차 연비개선 및 친환경차 보급 확대를 주요 수단으로 제시하고 있고 친환경차 충전 인프라 구축 등도 병행 추진하는 것으로 나타남
- 또한, 수송수단의 에너지효율개선 방안으로 바이오연료, 가스 등 대체연료 보급 확대를 공히 감축수단으로 제시하고 있음
- 이러한 기술적 수단 외에 정책수단에 있어서는 내연기관 판매 금지와 같은 강력한 정책을 제시하고 있는 경우도 있으나 수단전환 및 교통수요관리, 자전거 및 보행 활성화, 친환경 물류체계 구축은 대부분의 나라에서 제시하고 있는 방안임
- 다만, 온실가스 감축목표 달성을 위해 제시한 정책의 세부내용에서는 영국의 경우처럼 각 감축정책 추진을 위한 재정 투자 및 조달계획까지 구체적으로 제시한 사례도 있으나 대부분 구체적인 재정계획은 제시되지 않은 상황임

2) 국내외 LEDS 시나리오 비교를 통해 본 시사점

- 국내 LEDS 시나리오와 해외 주요국가의 LEDS 시나리오의 가장 큰 차이점은 독일, 영국, 프랑스의 경우 2050년 감축목표 달성을 위해 2030년 감축목표를 중간 목표로 설정하고 기 추진하고 있는 여러 감축정책의 추진 상황을 평가하고 추가 감축을 위한 이행수단을 제시하고 있다는 점이 가장 큰 차이라고 볼 수 있음
- 독일, 영국, 프랑스의 경우 자동차 연비개선과 같은 기 추진하고 있는 정책에 더해 친환경차 보급 확대와 같은 보다 도전적 과제를 제시하고 있으며, 특히 유럽의 주요국가가 시행하고 있는 신규 자동차에 대한 온실가스 평균배출량 규제 (2020년 95g/Km)로 인하여 최근 친환경차 판매가 증가하고 있는 상황임
- 또한, 유럽의 대부분의 국가들은 온실가스 배출량에 따른 자동차세제가 이미 보편적인 수송부문 온실가스 감축정책으로 자리 잡고 있으며 온실가스 배출량에 따라 부담금을 부과하거나 지원금을 지급하는 프랑스의 보너스-말러스가 대표적인 정책이라고 할 수 있음
- 한국과 다른 3개 국가(독일, 영국, 프랑스)의 교통 수요관리 및 수단전환 정책에 있어서는의 가장 큰 차이점은 ‘실질적인 정책과 제도가 시행되고 있느냐?’ 에서 큰 차이를 보이고 있음
- 한국의 경우 이미 2020 온실가스 감축로드맵과 2030 온실가스 감축로드맵에서 유사한 교통 수요관리 및 수단전환 정책을 제시하는 하였으나 실제 집행된 사례는 찾아보기 어렵고 사실상 정책수단만 제시한 수준이어서 정책 집행을 결과를 평가할 수 없으나 다른 나라의 경우 LEZ(오염물질 과다배출차량 운행제한)가 보편적인 정책으로 이미 자리잡고 있으며 영국 런던의 혼잡통행료 정책은 이미 세계적으로 알려진 대표적인 교통 수요관리 정책임
- 자전거 및 보행 활성화와 같은 승용차 수요대체 정책도 이미 3개 국가에서는 보편적인 정책일 뿐만 아니라 향후 이를 더 활성화하기 위한 보행자 전용지구 확대 자전거 도로망 확충과 같은 정책을 제시하고 있다는 점에서 시사하는 바가 크다고 할 수 있음

5.4.2 국내외 LEDS 시나리오 비교 및 시사점

- 국내 LEDS 시나리오를 바탕으로 독일, 영국, 프랑스와 유사한 수준의 온실가스 감축과 순배출 제로(Net-Zero) 달성을 위한 수송부문 과제를 추가적으로 검토하여 보았음
- 미래 자동차 보급전략 및 차종별 등록대수 추정 등을 통한 세밀한 시나리오 분석이 필요하나 이를 위해서는 다양하고 면밀한 분석이 필요하나 본 연구에서는 대략적 추정과 방향 제시를 과제목표로 하였음
- 여러 가지 현실적 한계는 존재하지만 국내 순배출제로 달성을 위한 전략과제 중심으로 정리해보았다는 것에 나름 의미가 있을 수도 있을 것이나 향후 보다 구체적인 분석이 필요할 것으로 보임
- 수송부문 과제 제시를 위한 전제 조건으로는 현재까지 제시된 LEDS 시나리오 상의 주요 감축수단을 바탕으로 향후 추가적인 감축을 위한 감축방안을 검토하고 기존 LEDS 상의 감축비율을 적용하여 감축량을 산정하여 보았음

[표 5-12] 감축목표에 따른 감축수단별 감축량 추정치 (단위 : 백만톤CO₂ eq.)

구분		'17년 현황	감축시나리오 비교		
			기존 LEDS	85% 감축안	95% 감축안
배출량 및 감축목표	배출량	98.3	26.3	14.7	4.9
	감축량	-	72.0	83.6	93.4
	감축률	-	73.3%	85%	95%
수단별 감축량	도로부문 바이오연료 확대		5.9	6.9	7.7
	친환경차 보급 및 연비개선		42.1	48.9	54.6
	철도부문 선진화		0.03	0.03	0.04
	항공부문 선진화		0.24	0.28	0.31
	해운부문 선진화		0.35	0.41	0.45
	교통수요 관리		7.8	9.1	10.1

※ 주) 85% 및 95% 감축안에 제시된 감축수단별 감축량은 기존 LEDS 시나리오에서 제시된 감축수단 내의 감축 비율을 동일하게 적용했을 경우의 감축량임
예) 기존 LEDS 상의 친환경차 보급 및 연비개선을 통한 감축비율은 전체 감축량의 58.5%이므로
85% 감축안의 58.5%에 해당하는 감축량은 48.9백만톤
95% 감축안의 58.5%에 해당하는 감축량은 54.6백만톤

출처 : 녹색교통운동

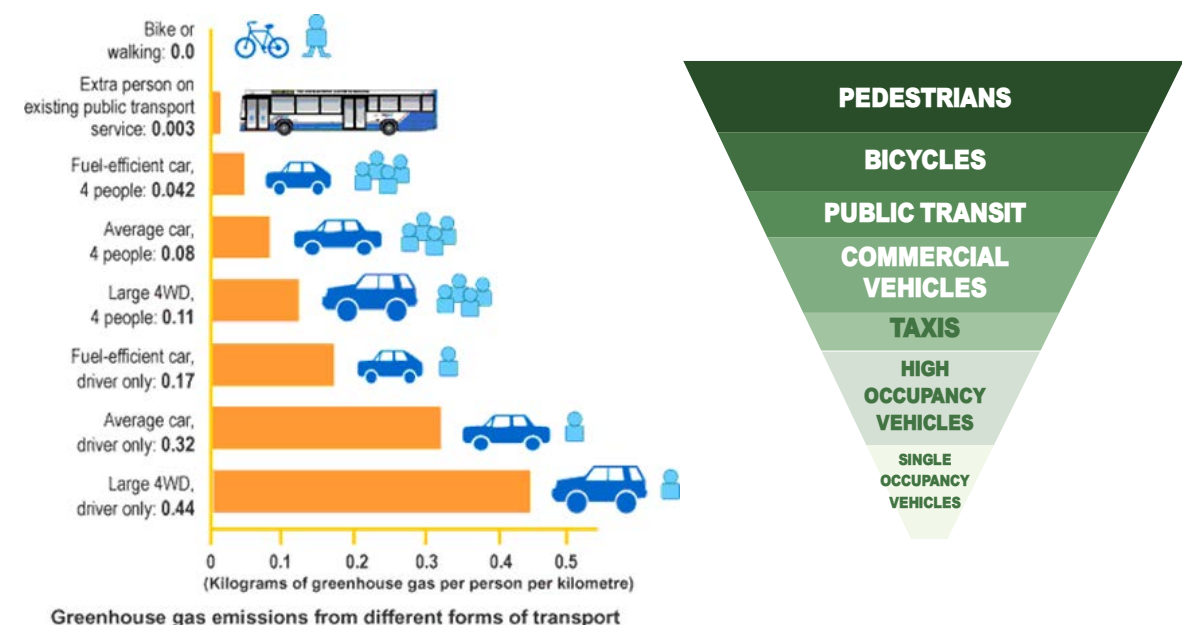
- 위 표에서 제시된 감축수단별 감축량은 기존 LEDS의 경우 시나리오 분석 및 시뮬레이션에 따른 결과이므로 어느 정도 객관성을 가지고 있다고 볼 수 있으나 추가된 감축목표별 감축량은 기술발전 수준이나 실제 정책효과를 감안하지 않고 추가적인 감축목표를 제시했을 경우 동일한 기존 LEDS 시나리오 상의 감축율을 그대로 적용한 수치이므로 객관적이라고 보기 어려움

- 감축목표 상향에 따라 각 감축수단에서 얼마만큼의 추가적인 감축이 이루어져야 하는지를 추정한 것이므로 향후 각 감축수단별 정책 추진 상황에 따라 수치적으로는 다소간의 차이를 보일 수 있을 것임
- 가장 높은 감축비율을 보이고 있는 친환경차 보급 및 연비개선의 경우 기존 LEDS 상에서 전체 자동차의 93%가 전동화(전기차 및 수소차)되었을 때를 가정한 경우로 이미 상당히 높은 수준의 전동화가 반영된 것이어서 추가적인 전동화를 통하여 감축할 수 있는 잠재적 감축량이 높지 않을 것으로 분석됨
- 따라서, 가장 높은 감축 잠재량을 가지고 있는 교통 수요관리 정책을 통하여 추가적인 감축을 목표로 하는 것이 보다 현실적인 방안이라고 볼 수 있을 것임 이 경우 단순히 전기 - 수소 승용차의 보급 목표를 상향하는 것이 아닌 기존 전철 및 트램이나 전기버스 등과 같은 전동화된 신규 대중교통 수단이용을 보다 활성화하고 자전거나 보행으로의 교통수단 전환을 목표로 하는 것이 필요할 것임
- 또한, 전기-수소 승용차 보급에 있어서도 단순한 개인 교통수단의 제공이 아닌 공유 전기-수소차로의 전환을 함께 모색하는 것이 바람직한 방안이 될 수 있을 것임 이를 위하여 기본적으로 기존 LEZ 제도를 활용하여 도심 내 전기-수소 공유차량에 인센티브 추진 및 친환경차협력금 제도와 같은 온실가스 배출량 기준 자동차세 제를 도입 하는 것도 주요한 정책 방안이 될 수 있음

5.4.3 수송부문 정책제언

1) 교통 수송정책의 패러다임 전환

<그림 5-14> 교통수단간 온실가스 배출량 비교 및 교통정책 우선순위



출처 : WCTR, World Bank

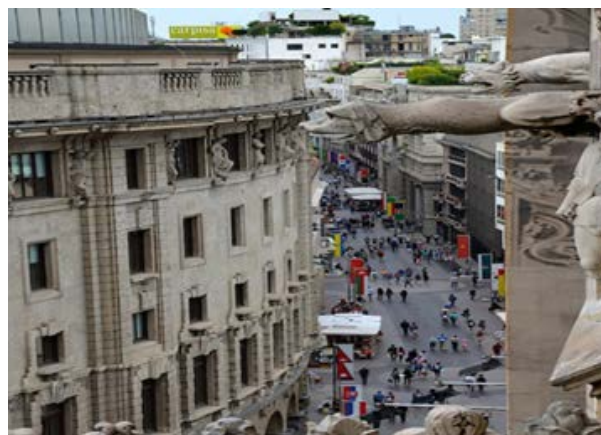
- 승용차 중심, 시설공급 및 속도향상 중심에서 보행 및 녹색교통 활성화 중심으로 패러다임 전환
- 수요관리, 대중교통, 보행, 자전거 등 파편화 되어있던 정책에서 유기적이고 종합적인 대책으로 전환



● 런던도심 자동차 보행자 공유도로



● 뉴욕 타임스퀘어 광장의 변화



● 밀라노 도심 보행자 전용거리



● 칠리히 대중교통 전용지구

2) 교통부문 온실가스-미세먼지 정책에 대한 재정비

- 미세먼지 대책과 온실가스 대책 간의 조화 필요
 - 2030 온실가스 감축로드맵 설정 이후 정권교체에 따라 미세먼지 대책 중심
- 규제는 없고 인센티브(보조금)에 의존한 정책 추진의 분명한 한계
 - 통행량 억제 및 수요관리는 미세먼지-온실가스 문제의 공통분모
- 미래자동차 시장구조 등을 고려한 친환경차 대책 및 내연기관차 감축 로드맵
 - 미래자동차 시장구조 고려와 내연기관차 감축과 같은 장기적인 로드맵 필요
 - 고성능 전기차, 수소차 중심의 보급의 한계 존재

미래 자동차 시장 구조



출처 : 민경덕(서울대), 미래 자동차 시장구조 예측

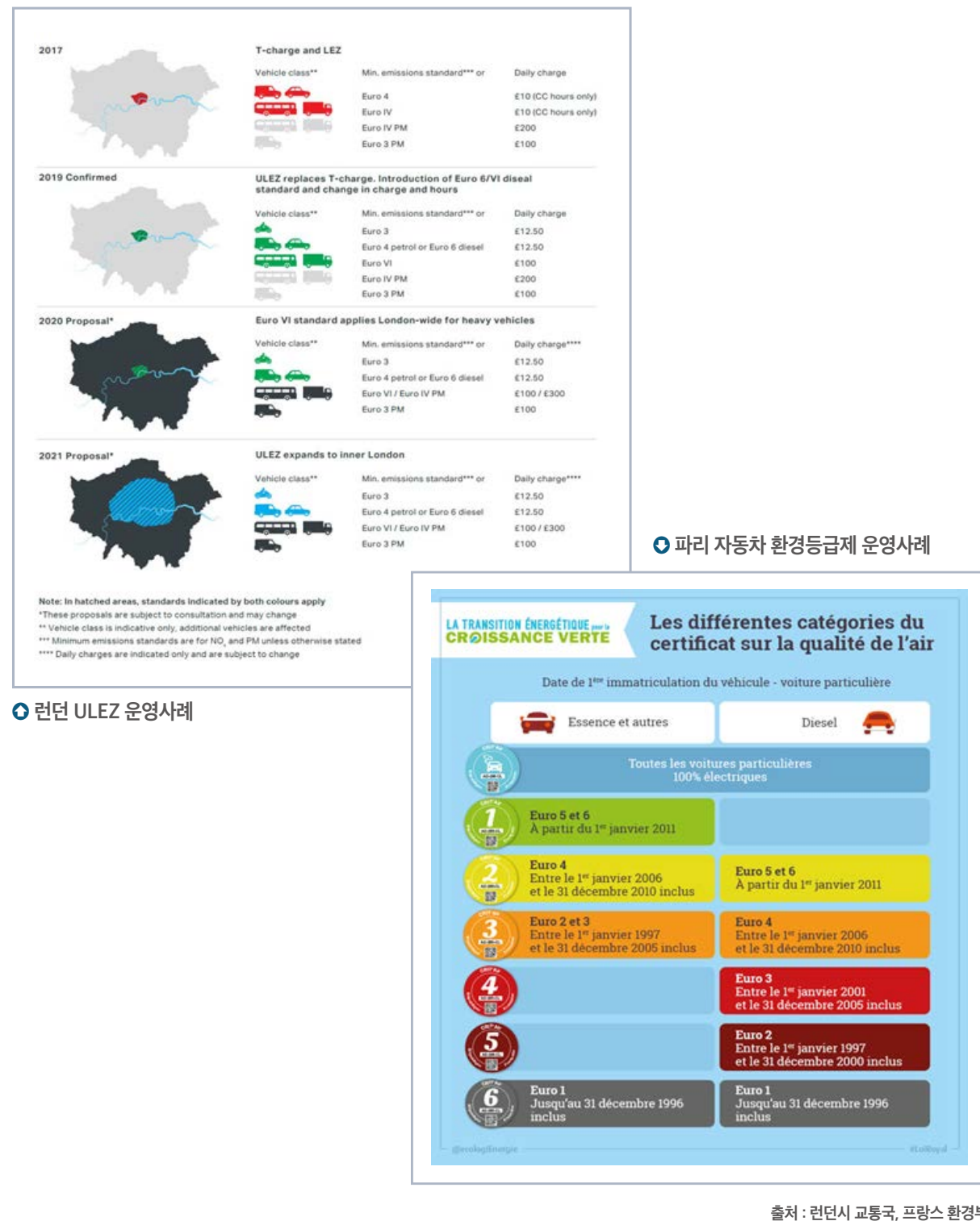
[표 5-13] 해외의 주요 내연기관 규제 및 친환경차 보급 정책

주요 정책		적용 국가
내 연 기 관 차 규 제	내연기관차 판매 중단 등	• (EU) 노르웨이(25) 덴마크네덜란드스웨덴 독일 영국(35)스페인프랑스(40) • (그 외) 인도(30), 중국(시행 미정), 대만(40), 일본(50년, 100% 전동화)
	노후경유차 운행제한 (LEZ)	• (EU) 노후경유차 도심 진입 제한(런던, 파리 등) • (중국)베이징 주변 순환도로는 Euro3 이하 노후차량 운행제한
	번호판발· 등록 제한	• (중국) 베이징, 상해 등 8개 주요 도시 전기차에 번호판 우선 배정 • (아이슬란드) '30년 등록제한
	배출가스 허용기준 강화	• (미국) 경유차와 휘발유차에 동일한 배출가스 기준을 적용 • (일본) 7년이상 경유차 배출가스기준 미충족시 운행금지, 위반시 벌금 • (EU) 실도로 배출기준 도입 실내인증방식 강화 차기규제(Euro7) 도입 검토
	배출가스 등급제	• (독일) 4등급 분류, 운행제한에 활용 • (미국) 10등급 분류, 친환경차 안내 및 구매유도에 활용
친 환 경 차 보 급	친환경차 의무판매제	• (미국) 캘리포니아 등 13개주 무공해차 의무판매제 도입(05~) • (그 외) 캐나다(18), 중국(19), 스페인(40, 100% 선언만)
	저공해차 의무구매	• (일본) 사업자 대상 '저공해 고연비차 제도 시행(11~) • '21년까지 저공해고연비 차량 비율을 15%로 늘리도록 의무화
	친환경차 협력 금지	• (EU) 프랑스(08~), 벨기에(08~) 스웨덴(18~) • (그 외) 싱가포르(13~)

출처 : 국가기후환경회의

- 자동차 환경등급에 따른 운행제한 제도 등 미세먼지 대책을 통해서도 온실가스 감축이라는 효과 발생
 - 국민적 동의를 구하기는 현재 온실가스 보다는 미세먼지 문제가 보다 용이
 - 향후 미세먼지와 온실가스를 연계한 정책으로 정착 필요

<그림 5-15> 런던과 파리의 환경등급제 운영사례



출처 : 런던시 교통국, 프랑스 환경부

<그림 5-16> 서울시 녹색교통지역 운영계획('19년 12월~)



출처 : 서울시 교통정책과

3) 시민 참여형 정책 추진을 위한 지속적인 노력 및 고민 필요

- 교통 수송부문 온실가스 및 미세먼지 대책의 대부분은 시민참여가 관건
- 시민참여를 유도할 수 있는 규제와 인센티브 고민 필요
 - 국가기후환경회의의 국민정책참여단 논의와 같은 시민소통 프로그램 확대
- 시민 참여형 정책 개선과제 도출 및 사업 확대
 - 서울시 보행워크숍 및 보행환경 시민공모전 (보행환경에 대한 관심 유발, 일반 시민들이 개선 이슈에 참여)



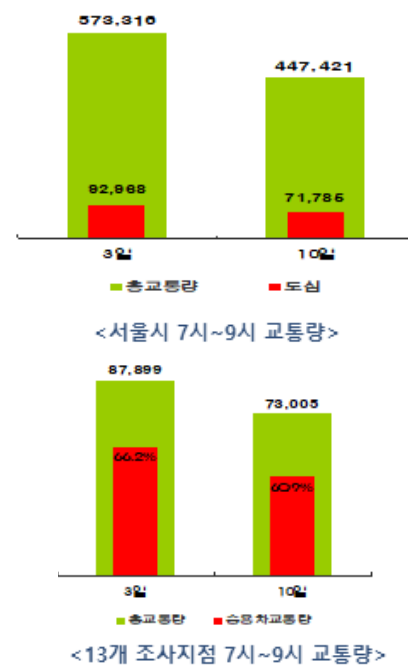
- 자전거 에코마일리지 (자전거 이용자에게 대한 인센티브, 자전거 이용을 통한 온실가스 감축 실적, 자전거-대중교통 환승 마일리지 지급 등)



- 서울 차없는 날 (시민 참여를 통한 승용차 교통억제 캠페인, 도심 차 없는 거리 체험을 통해 승용차 이용 억제의 긍정적 효과 구현 등)

☞ 서울 차없는 날 2007 개요

- 종로 차 없는 거리 조성
9월 10일(월) 04~18시,
광화문 ~ 동대문(2.84km)
버스를 제외한 모든 차량 통제
임시 버스 중앙차로 설치



☞ 이산화탄소 배출량 8~10%감소 효과

- 이산화탄소 배출량 연간 452,767톤 감소
- 일일 1,240톤 감소, 연간 452,767톤 감소 효과
- 승용차에서 배출되는 이산화탄소의 8~10%수준

☞ 연료소비 연간 약 2천7백억원 감소 효과

- 휘발유 142,286kl/년, 경유 40,202kl/년 감소
- 2007년 8월 판매유가로 환산하면 연간 2천7백억원

참고문헌

- 2020 국가온실가스 감축로드맵 (정부합동, 2014. 1)
- 2030 국가온실가스 감축로드맵 수정안 (정부합동, 2018. 9)
- 수송부문 온실가스 감축이행 모니터링 연구, 한국교통연구원, 2018. 8
- 온실가스 감축로드맵 수립을 위한 교통부문 기초조사 분석, 한국교통연구원, (2013. 11)
- 2018 자동차 에너지소비효율 분석집, 한국에너지공단
- 2018 국가온실가스인벤토리 보고서, 온실가스정보센터

2050 탄소중립을 위한 정책과제

- 6.1 화석연료 감축을 위한 정책 과제
- 6.2 재생에너지 확대를 위한 정책 과제
- 6.3 시장 개선을 위한 정책 과제
- 6.4 이번 연구를 마치며



본 연구는 2050년 탄소중립을 위한 정책과제를 전력, 산업, 건물, 수송의 네 분야에서 정리하였으며 각 분야 별 정책과제는 각 장에서 제시하고 있으므로 여기서 다시 정리하지는 않고, 부문별 정책과제를 실현시키기 위해 국가적으로 추진해야 하는 기술적·제도적 과제를 총론적인 시각에서 제시함.

제한된 시간과 연구진의 한계로 여러 가지 부족한 점이 있으나, 한국사회에서 2050년 탄소중립 정책과제를 연구했다는 자체에 의미를 부여할 수 있으며, 동 연구 이후에 각 분야의 정책과제 별로 보다 많은 실천적 연구가 뒤따르기를 바람.

6.1 화석연료 감축을 위한 정책 과제

가 화석연료 보조금 전면 재검토

- 지금까지 확대일변도였던 화석연료 공급 인프라 확대 사업(석유 저장시설, 송유관, 가스저장시설 등)도 석탄, 가스, 석유의 사용량이 급속히 감소될 것이고, 최소한 확대되지는 않을 상황임. 이제는 기존 사업방식의 근본적 전환, 화석에너지 인프라 투자사업의 수요관리정책으로의 전환 선언이 있어야 함.
- CCS 자체의 기술개발은 BECCS 등을 위해 필요하지만 예산을 키우는 수단인 동해가스전 활용, 석탄발전 연소 후 공정 등등은 자제되어야 함. 보령화력과 하동화력에 설치된 CCS의 연간 실적(배출량 대비 포집량, 설치 및 운전 비용), 포집된 이산화탄소의 량과 그 사용 및 보관이 어떻게 되고 있는지 세밀하게 검토해야 함
- 그린수소의 생산 기술, 이용기술은 개발해야 하지만 LNG 소비를 늘리는 RPS의 연료전지 지원은 재검토해야 함
- 국가에너지기본계획, 에너지이용합리화계획, 석유수급계획, 가스공급계획, 석탄계획, 해외자원개발계획, 전력수급계획, 신재생에너지계획 등이 통합적인 측면에서 재검토되어야 함

나 석탄금융 중지 및 녹색금융 촉진

2050 탄소 중립을 위해 금융의 역할 매우 중요하며 특히 석탄금융을 지양하고 녹색금융을 촉진시킬 수 있는 제도 기반 마련 필요함.

① 석탄화력발전소 사업에 대한 금융지원 회수나 중지 촉진 제도 마련 필요

- 노후 석탄화력발전 사업은 빠른 시일내 폐쇄하고, 신규 석탄화력발전 사업 추진도 중단되어야 할 상황임.
 - 석탄금융 현황을 분석하고 국내 금융기관의 리스크 노출 평가를 통해, 노후 발전사업의 조기 폐쇄를 유도하고 신규 발전사업에 대한 투자 철회나 회수 등을 유도 할 수 있는 정보 필요
 - 국내 금융기관의 석탄화력발전사업 금융지원 현황에 대한 전수 조사
 - 석탄화력발전사업 금융지원을 자발적으로 철회할 수 있는 다양한 법제도 마련 필요 등
- (※ 더불어민주당 김성환, 우원식, 민형배, 이소영 의원은 국내 공공금융기관이 해외 석탄발전사업 금융지원을 금지시키는 ‘해외석탄발전금지 4법’발의)

참고 : 국내 금융기관의 석탄화력발전사업 금융지원 현황

한국사회책임투자포럼, 양이원영 의원실, 그린피스가 최근 162개 국내 공공·민간 금융기관을 대상으로 조사한 연구결과에 따르면, 국내 금융기관은 지난 12년간 약 60조원을 PF, 채권인수, 무보 형태로 국내 외 석탄화력발전사업에 투자한 것으로 나타남. 총 석탄금융액 중 75%인 45조원이 국내 석탄화력발전 사업에 조달되었는데, 대부분 국내 민간금융기관이 지원한 것으로 나타남. 특히, 국민 노후보장 성격이 강하고 장기적으로 안전한 자산에 투자해야 할 국민연금이 약 10조원, 안전사고나 국민 생명과 보건 상의 피해를 보상해야 할 책임이 있는 손해보험과 생명보험사에서 국내 석탄금융의 거의 대부분을 투자하는 상황임(아래 그림).

<그림> 국내 금융기관의 국내외 석탄금융 현황(2009-2020년 6월 누적액)

해외 석탄금융 순위 (단위: 억원)			국내 석탄금융 순위 (단위: 억원)		
순위	기관명	금액	순위	기관명	금액
1	수출입은행	48,585	1	국민연금	98,339
2	무역보험공사	46,680	2	삼성화재	77,073
3	삼성생명	4,249	3	삼성생명	67,116
4	산업은행	2,696	4	KB손해보험	54,723
5	서울보증보험	1,832	5	현대해상	21,538

출처 : 한국사회책임투자포럼, 양이원영의원실, 그린피스. 2020 한국 석탄금융 백서, 6쪽

② 녹색금융 촉진 제도 마련

- 재생에너지, 전기차, 에너지효율, 분산형 전력망 구축 등 저탄소산업으로의 투자 촉진을 유도할 수 있는 제도 마련 필요

- 녹색금융분류체계, 녹색채권가이드라인 등 녹색산업이나 제품에 대한 투자를 유도 및 촉진할 수 있는 명확한 지침 제공 필요
(※ 현재 환경부에서 준비 작업 중으로 올해 말까지 나올 예정)
- 유럽연합의 비재무정보공시지침(Non-Financial Reporting Directive)과 같이 기업 및 금융기관의 기후 변화 리스크 노출과 사업 성과 등을 정량화하여 재무보고서 등에 공개토록 하는 제도를 시급하게 마련할 필요
(※ 제3차 녹색성장5개년 계획에 따라, 금융위원회와 환경부가 주도적으로 추진 필요)
- 국내 녹색금융 전문가 양성도 시급히 해결해야 할 과제임. 해외 금융기관에 비해 국내 금융기관의 해외 인프라 투자 경험이나 역량이 부족한 실정이며, 이를 보완하기 위한 전문 인력 양성 필요. 올해부터 녹색금융 전문인력 양성을 위한 특성화 대학원을 시범 운영(환경부의 녹색 융합기술 인재 양성 특성화 대학원)할 계획인데, 예산 낭비성 사업이 아닌 본래 목표에 부합하는 녹색금융 인재 양성 성과를 낼 수 있도록 제도 설계, 감독, 지원 필요

6.2 재생에너지 확대를 위한 정책 과제

- 2050 탄소배출제로는 화석연료 사용 제로를 의미하여 화석연료 사용을 줄인다 하더라도 재생에너지가 그만큼 공급되지 못하면 탄소배출제로 의미가 희석되어 재생에너지의 과감한 공급이 탄소중립 달성에 성패를 좌우함
- 재생에너지는 최소 400GW 태양광, 100GW 풍력, 50GW 양수력, 여기에 에너지 변환-저장-재사용 등을 고려하여 추가적으로 20%이상의 재생에너지가 30년 안에 공급되어야 함.
- 부지공급, 송전선로 건설, 인허가가 재생에너지 공급 확대에 관건으로 공공에서 이를 담당하고, 발전소 건설과 판매는 민간 시장에서 경쟁을 유도하도록 정책을 설계해야 함
- 민간의 발전과 판매를 위한 비즈니스 모델만 만들어지면 투자는 활성화되므로 오히려 정의로운 전환을 위한 시민의 참여를 활성화하기 위한 방안이 모색되어야 할 상황임.
- 결국 부지공급, 송전선로 건설, 인허가 담당을 위한 공공의 역할을 담당하는 각각의 조직이 필요하고 현재의 전력시장 구조의 근본적 변화가 불가피함. 따라서 전력산업구조개편 방향은 보다 많은 국민이 재생에너지에 투자하고 이를 통해 수익을 창출하고 직업을 가질 수 있는 기회를 확대하는 방향으로 발전해 나가야 함.
- 정부에서는 부지제공, 송전선로 투자, 인허가 전담기구를 통해 민간의 발전소 건설 비용을 절감함으로써 재생에너지의 경제성을 높이고, 발전부문의 민간의 활발한 투자 및 경쟁을 유도할 수 있어야 함.
- 재생에너지의 프로슈머가 활성화되기 위해서는 판매의 민간 개방이 불가피한데, 한전의 발전과 판매는 시장에 맡기고, 송배전 투자를 확대하여 발전사업자, 판매사업자, 중간사업자가 자유로운 사업을 할 수 있는 플랫폼 제공 사업자로 자리매김 되어야 함. 한전의 발전과 판매 부문은 분사하거나 민간에 매각하는 방향으로 진행되어야 함
- 에너지는 단지 에너지 뿐 아니라 산업에 지대한 영향을 미치는 공공재적 성격을 가지므로 금융통화위원회처럼 중립적인 기구가 에너지(전기, 가스, 열) 관련 룰메이커로 역할을 해야 함 (미국의 FERC, 영국의 OFGEM 참조)
- 기술적으로는 HVDC, MVDC 등 직류 송배전망 기술, 인버터-컨버터 등 전력전자 기술에 대대적으로 투자해야 함

6.3 시장 개선을 위한 정책 과제

- 전력거래소는 유럽의 거래소나 주식거래소처럼 집행단위로, 우리나라도 전력시장이 개방되면 자유로운 거래가 발생할 것임. 전력시장도 연간 계약, 계절 계약, 월 계약, 주간계약, 하루 전 계약 시장 등으로 세분화 될 수 있음
- 실시간 전력시장도 용량시장에서부터 밸런싱 시장으로 주파수/전압 보상 시장, 30초 안에 전력공급이 가능한 1차 밸런싱 전력시장, 15분~30분에 기동하는 2차 밸런싱 전력시장, 1~2시간 안에 기동하는 3차 밸런싱 시장으로 세분화 될 수 있음. 또한 전력의 거래 단위도 현재의 1시간 단위가 15분, 5분 단위로 세분화 될 것임
- 전력거래소는 전력시장이 개편되고, 자유화되면 발전사업자와 도소매판매사업자 등이 거래할 수 있는 시장의 역할을 하는 곳으로 그 역할은 강화될 것임
- 전력 뿐 아니라 열/수소를 실시간으로 거래하고, 에너지네트워크 거래 및 실시간 가격 책정, 기상예측 및 재생에너지 발전 예측, 전력/열 발생량과 수요량 예측을 통합적으로 관리하는 등 전력거래소는 에너지네트워크 플랫폼으로 진화해 나갈 것임

2050 탄소중립을 위한 문재인 대통령의 국무회의 말씀

(2020년 11월 3일)

🔍 2050년 탄소중립은 피할 수 없는 선택이나, 우리 산업에는 큰 도전과제

- 기후위기 극복이라는 전 세계 공동의 목표를 향해 나아가는 중으로, 이는 기술·산업구조 혁신을 통한 신성장동력 및 일자리 창출 기회

* EU는 2050년, 미국은 2050년, 중국은 2060년, 일본은 2050년을 각각 탄소중립 목표로 선언

- 2050년 탄소중립의 실현은 산업구조 상 결코 쉽지 않은 도전이나, 대한민국 미래를 위해 전방위적 저탄소 사회로의 이행 가속화 필요

* (장애평면) 제조업 중심 산업구조, 대체에너지 높은 비용, 화석연료 의존성

🔍 에너지전환 로드맵 등 국가 계획 재점검 및 강력한 추진 기반 마련 필요

- 화석연료 중심의 에너지를 친환경 재생에너지로 전환하는 에너지 전환 로드맵과 온실가스 감축 계획 재점검 필요

* 탈탄소 그린수소경제 활성화, 재생에너지 비중 확대, 녹색 산업 생태계 구축

- 산업계의 혁신적 탈탄소 신기술 및 대체연료 개발 가속화
 - 건물·수송 저탄소화, 순환경제(에너지투입 최소화, 재활용·재사용)로의 대전환 및 이에 따른 기업·노동자 보호대책 필요

- 탄소중립 목표 달성이 가능하도록 강력한 추진체계 구축
 - 스스로 탄소중립 목표를 세워 앞서가고 있는 서울, 광주, 충남, 제주 등 노력을 모은 지자체로 확산, 민간 참여·협력 유도
 - 구체적인 방안 마련을 통해 국민 공감대를 형성하는 노력과 함께 산업계와의 소통 노력도 더욱 강화 필요
 - 여야 합의로 '2050 탄소중립'을 목표로 한 '기후위기 대응 비상 결의안'을 의결한 바, 국회의 적극적 협조 및 정부 노력 필요

6.4 이번 연구를 마치며

- 본 연구는 유럽연합의 지원으로 한국사회에서 기후위기를 극복하고자 하는 실천적 노력의 한 과정으로 수행되었음. 기후위기의 심각성을 한국사회에 알리고, 그 해결방안으로 2050년 탄소중립 가능성을 연구하고자 했으며, 유럽 등 해외사례를 기반으로 전력, 산업, 건물, 수송 등 4개 핵심분야의 탈탄소화 정책과제를 도출하고자 함. 본 연구는, 짧은 시간과 제한된 예산이라는 한계를 안고 진행되었으며, 학문적 연구라기보다는 사회운동 차원에서 2050 탄소중립을 한국사회의 주요 의제로 만들기 위한 실천적 노력의 과정으로 이해되어야 함을 밝힘.
- 본 연구는 2050년 탄소중립을 고민하던 에너지전환포럼의 제안으로 한-EU기후행동과의 협력사업으로 2020년 초 시작되었음. 에너지전환포럼 내부에서도 한국사회에 2050년 탄소배출제로를 제안하는 것은 무모하다는 주장이 우세했지만, 유엔이 요구하는 1.5℃ 시나리오에 따라 한국사회가 나아가야 할 방향을 제시할 필요가 있다는 강한 문제의식으로 연구를 진행하기로 함.
- 에너지전환포럼은 기후위기와 에너지전환에 관한 문제의식을 한국사회와 공유하고자 2018년 4월 창립된 지식 및 정보공유 플랫폼으로, 세미나, 보도자료, 뉴스레터 등의 다각적인 방법으로 기후위기의 심각성, 에너지전환의 필요성과 방법에 관한 이슈들을 지속적으로 제기해 왔음. 한-EU기후행동은 유럽연합 파트너십 기후후원사업으로, 한국과 유럽연합 간의 네트워크와 협력을 증진하고, 국내 다양한 이해주체들의 기후행동을 강화하기 위한 활동을 지원하고 있음.
- 2020년 코로나19로 야기된 일상의 멈춤은 역설적으로 기후위기의 실상을 들여다보는 계기가 되었고, 한국사회에서도 기후위기의 심각성에 대한 인식이 확산되고 있음. 2020년 총선을 통해 기후위기를 해결하고자 하는 국회의원들이 국회에 진출함으로써 기후위기가 한국 정치의 주요 의제로 자리 잡음. 지난 6월 5일 전국 228개 지자체 중 단체장이 공석인 2곳을 제외한 226개 지자체가 참여하는 ‘기후위기비상 선언식’이 있었으며, 9월 24일 국회에서는 ‘기후위기비상대응 결의안’이 채택되었음. 또한 10월 28일 문재인 대통령은 국회 시정연설에서 ‘2050년 탄소배출중립 목표’를 선언하고, 이후 국무회의에서 ‘2050년 탄소중립의 방향과 과제’를 구체적으로 제시함으로써, ‘2050년 탄소중립’은 이제 범정부적 목표가 됨.

- 본 연구는 에너지전환포럼 내 전문가들로 구성된 연구진들의 주도로 진행되어 기존 시나리오 분석, 부문별 감축목표와 감축방안 제시 및 정책제안 등의 내용으로 구성되었으며, 유럽과 국내 에너지전환 전문가들의 의견을 듣고 토론한 내용이 반영되었음. 에너지전환포럼 내에서도 2050년 탄소중립을 어떻게 정의하고 달성할 것인지에 대한 다양한 주장과 논점이 존재하고, 2050년이라는 미래를 예측하는 일이 쉽지 않다는 점 등은 연구의 걸림돌이 되기도 했음. 그럼에도 미래에 대한 모든 가능성은 열려있으며, 독일, 영국, 프랑스 등 유럽국가들의 2050년 탄소중립 계획도 탄소중립을 달성하겠다는 사회적 의지에 기초했다는 점 등은 연구진들이 본 연구를 추진하게 한 동력이 되었음.
- 2050년 탄소중립 목표 선언 등 기후위기에 대한 한국사회의 인식이 빠르게 변화하고 있는 지금, 본 연구가 기후위기 대응 및 탄소중립 달성을 위해 나아가는 한국사회의 여정에 디딤돌이 되기를 바라며, 앞으로 2050년 탄소중립을 현실화하기 위한 각 분야별 과제와 이를 달성하기 위한 방법들이 보다 구체적으로 연구되고 논의되기를 바람.



사람 환경 미래

서울시 종로구 통인동 136번지 4층

발행처 사단법인 에너지 전환포럼

발행인 홍종호

TEL 02-318-1418

E-mail admin@energytransitionkorea.org

www.energytransitionkorea.org

ISBN 979-11-974099-0-5

이 연구내용은 집필자의 개인 의견이며

사단법인 에너지 전환포럼의 공식견해와는 무관합니다.

이 연구 내용을 보도하거나 인용할 경우 집필자명을

반드시 명시해 주시기 바랍니다.

무단전재와 복제를 금합니다.

대한민국 2050 탄소중립 달성을 위한 부문별 전략 및 정책개발 연구

2020. 11. 10

