

www.keei.re.kr

KEEI 2022 장기 에너지 전망

2022 Long-Term Energy Outlook



KEEI 2022 장기 에너지 전망

에너지경제연구원


에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

44543 울산광역시 중구 중가로 405-11(성안동, 에너지경제연구원)
TEL: 052-714-2114 FAX: 052-714-2028 E-mail: EnergyOutlook@keei.re.kr
www.keei.re.kr


9 772234 712004 05
ISSN 2234-7127


에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

KEEI 2022 장기 에너지 전망

2022 Long-Term Energy Outlook



『KEEI 2022 장기 에너지 전망』은 에너지경제연구원의 에너지·온실가스 전망 시스템(KEEI-EGMS, Energy Greenhouse-gas Modelling System)을 이용하여 국내 및 국제 에너지 수급 동향을 분석하고 2050년까지의 우리나라 에너지 수급을 전망한 보고서이다. 2022년 전망은 최근의 에너지 수급 변화를 심도 있게 분석하여 각종 에너지 수급 지표를 전망함으로써 국가 에너지 수급 정책 방향 설정 및 조정에 기여하고자 진행되었다.

『KEEI 2022 장기 에너지 전망』의 기준 시나리오는 우리나라 인구·경제·사회의 변화에 대한 기본 전제를 바탕으로, 현행 정책, 지침 및 규제만이 아니라 시행이 예정된 정책 수단이 도입되고 이를 반영하여 에너지 기술과 소비 행태의 변화가 더욱 강화된다는 가정 하에 에너지 수급 경로를 도출한다. 또한, ‘2030 국가 온실가스 감축목표(NDC)’와 ‘2050 탄소중립’을 달성하기 위한 다양한 경로를 분석하는 시나리오를 제공한다. 한편, 2022년 보고서에서는 처음으로 개편된 에너지밸런스를 채용하여 에너지 통계를 변경하였다.

보고서 작성을 위해 사용된 에너지·온실가스 전망 시스템은 현실의 복잡한 에너지 수급 구조를 단순화한 전망 시스템으로, 전망 결과는 시스템에 사용하고 있는 자료, 방법론, 모형 구조, 전망 전제 등에 따라 민감하게 변할 수 있다. 에너지경제연구원은 보다 객관적이고 신뢰성 있는 전망 결과를 제공하고자 자료와 시스템을 지속적으로 보완·개선하고 다양한 시나리오를 분석하고 있으나, 전망 결과가 미래에 대한 완전한 정보를 제공하는 것은 아니므로 보고서가 제공하는 수치 및 내용은 관련 정책 수립 및 의사결정을 위한 참고 자료로 한정해서 사용할 필요가 있다.

본 보고서는 에너지경제연구원 에너지수급통계연구팀 및 다른 정책 연구 부서와 협력하여 에너지수급 전망연구팀에서 작성한다. 김수일 선임연구위원(발전/열생산, 전기)이 작성 총괄을 담당하고, 김지효 연구위원(산업, 석탄), 김성균 연구위원(수송, 석유), 추다해 부연구위원(가정, 경제), 허윤지 부연구위원(서비스, 가스)이 분석을 담당했으며, 변정현 전문원이 연구를 지원하였다. 또한 다수의 관련 전문가들이 연구 결과를 검토하고 자문하여 연구의 수준을 높이는데 기여하였다.

제목 차례

주요 내용 요약	1
제1장 2022 장기 에너지 전망의 배경	9
1. 탄소중립을 향한 국내외 상황.....	11
2. 시나리오 정의	15
3. ‘2022 장기 에너지 전망’의 주요 전제.....	22
제2장 기준 시나리오 전망 결과.....	29
1. 기준 시나리오(REF)의 주요 결과.....	31
2. 산업 부문	39
3. 수송 부문	47
4. 가정 부문	54
5. 서비스 부문	61
6. 발전/열생산 부문	70
7. 주요 연료의 수급 현황 및 전망	80
제3장 2030 NDC와 2050 탄소중립.....	93
1. 효율강화 시나리오(Energy Efficiency Improvement Scenario)와 전기화 시나리오(Electrification of End-Use Scenario)	95
2. 목표 시나리오의 에너지 수요와 온실가스 배출	98
3. 산업 부문	114
4. 수송 부문	124
5. 가정 부문	132
6. 서비스 부문	141
7. 발전/열생산 부문	151

부록167
1. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 – 기준 시나리오	169
2. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 – 효율강화 시나리오.....	184
3. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 – 전기화 시나리오	199
 참고문헌	215

표 차례

표 1.1	2030년과 2050년의 목표 배출량 (단위: 백만톤).....	16
표 3.1	탄소중립을 위한 주요 정책 수단과 기술	96
표 3.2	주요 국가의 내연기관 자동차 판매 중단 계획	126
표 3.3	주요 자동차 제조사의 전기 승용차 판매 목표	126
표 3.4	국내 건물부문 에너지 효율 개선 정책.....	142

그림 차례

그림 1.1	산업 부문 직접가열용 신규 설비의 시나리오별 에너지 효율 예시	18
그림 1.2	기준 시나리오와 목표 시나리오의 산업 부문 신규/교체 설비 규모 비교.....	20
그림 1.3	인구 구조 및 고령인구 비율 변화	22
그림 1.4	가구 구조 및 1인 가구 비율 변화.....	23
그림 1.5	국내총생산 및 경제성장률 추이	24
그림 1.6	주요 업종별 부가가치 증가율 및 비중 변화(2021~2050).....	25
그림 1.7	기준 시나리오 원유, 천연가스, 석탄 도입 가격 전망.....	26
그림 1.8	목표 시나리오 원유, 천연가스, 석탄 도입 가격 전망.....	27
그림 1.9	시나리오별 연평균 기온과 10년 구간 평균 냉·난방도일	28
그림 2.1	기존 에너지밸런스와 개정 에너지밸런스의 2020년 비교 (단위: %)	32
그림 2.2	총에너지 소비 및 에너지 부문 온실가스 배출 전망 비교.....	33
그림 2.3	기준 시나리오(REF)의 최종 소비와 온실가스 배출	34
그림 2.4	기준 시나리오(REF)에서 최종소비 부문의 에너지원단위 개선 추이	35
그림 2.5	기준 시나리오(REF)의 최종소비 에너지상품별 비중	36
그림 2.6	기준 시나리오(REF)의 발전/열생산 부문 에너지 수요와 온실가스 배출 변화	38
그림 2.7	2001~2021년 GDP, 산업 부문 부가가치, 산업 부문 에너지 소비 증가율.....	39
그림 2.8	2000~2021년 업종별 부가가치(좌) 및 에너지 소비(우) 추이.....	40
그림 2.9	원료용을 포함한 경우(좌)와 제외한 경우(우) 산업 부문 에너지상품별 소비 비중	41
그림 2.10	개정 에너지밸런스와 기존 에너지밸런스의 산업 부문 소비 실적 비교	42
그림 2.11	기준 시나리오(REF)의 산업 부문 에너지 수요와 온실가스 직접 배출 전망	43
그림 2.12	2021~2050년 산업 부문 용도별·업종별 에너지 수요 변화 (REF)	45
그림 2.13	2050년 산업 부문 에너지상품별 수요 (REF)	46
그림 2.14	수송 부문 에너지 소비 및 자동차 대수 증가율과 국제유가 추이.....	47
그림 2.15	개정 에너지밸런스와 기존 에너지밸런스의 수송 부문 소비 실적 비교	48
그림 2.16	수송 부문 에너지 수요와 증가율 추이 (REF)	49
그림 2.17	기술별 자동차 보급과 증가율 추이 (REF).....	50
그림 2.18	여객과 화물 수요 전망	51
그림 2.19	기준 시나리오(REF)의 연료별 비중 및 수요.....	52

그림 2.20	기준 시나리오(REF)의 수송 부문별 연료별 온실가스 배출 전망	53
그림 2.21	냉·난방도일과 가정 부문 가스 및 전기 소비의 연간 변화율 (%)	54
그림 2.22	가정 부문 에너지 소비의 에너지상품별 비중 변화 (2018년과 2021년)	55
그림 2.23	개정 에너지밸런스와 기존 에너지밸런스의 가정 부문 소비 실적 비교	56
그림 2.24	기준 시나리오(REF)의 가정 부문 에너지 수요, 가구당 수요, 일인당 수요	57
그림 2.25	가정 부문 에너지상품별 수요와 온실가스 전망 (REF)	58
그림 2.26	기준 시나리오(REF)의 가정 부문 에너지상품별 수요 비중	59
그림 2.27	가정 부문 용도별 에너지 수요 변화 (REF)	60
그림 2.28	서비스 부문 에너지 수요 및 산출액 증가율 추이	61
그림 2.29	개정 에너지밸런스와 기존 에너지밸런스의 서비스 부문 소비 실적 비교	62
그림 2.30	기준 시나리오(REF)의 서비스 부문 에너지 수요 및 산출액 추이	64
그림 2.31	2021~2050년 업종별 산출액과 에너지 수요의 연평균 증가율	66
그림 2.32	기준 시나리오(REF)의 서비스 부문 에너지상품별 수요 추이 및 전망	67
그림 2.33	자가 발전 비중 추이와 전망 (REF)	71
그림 2.34	기준 시나리오(REF) 전기 수요 및 자가발전 전망	73
그림 2.35	2050년 전기 소비 상위 10개 지역의 전기 수요 변화 (단위: TWh)	74
그림 2.36	기준 시나리오(REF)의 발전원별 발전설비 및 발전량 전망	78
그림 2.37	발전/열생산 부문 에너지 투입과 온실가스 배출 전망 (REF)	79
그림 2.38	2000~2021년 용도별 석탄 소비 추이	80
그림 2.39	기준 시나리오(REF)의 석탄 수요 전망	82
그림 2.40	기준 시나리오(REF)의 산업 부문 석탄 수요 전망	83
그림 2.41	석유정제 설비 용량, 원유 수입, 석유제품 생산 추이	84
그림 2.42	기준 시나리오(REF)의 석유제품 수요 및 증가율 추이	85
그림 2.43	국제 에너지 가격 및 주요 천연가스 가격 동향	88
그림 2.44	기준 시나리오(REF)의 용도별 천연가스 소비 및 비중 전망	90
그림 2.45	기준 시나리오(REF)의 주요 발전 설비 용량 및 발전용 가스 수요 전망	91
그림 2.46	기준 시나리오(REF)에서 산업 부문 주요 업종별 가스 수요 전망	92
그림 3.1	시나리오별 총에너지 수요와 온실가스 배출 경로 비교	98
그림 3.2	시나리오별 최종소비 부문 에너지상품 수요와 온실가스 배출 경로 비교	99
그림 3.3	부문별 온실가스 직접 배출의 경로 비교	100
그림 3.4	부문별 온실가스 총배출(직접+간접)의 경로 비교	101

그림 3.5	시나리오별 최종소비 부문의 에너지원단위 개선 비교.....	102
그림 3.6	시나리오별 최종소비 에너지상품 구성 비교 (2021, 2030, 2050년).....	104
그림 3.7	시나리오별 전기 및 수소 수요 전망.....	106
그림 3.8	발전원별 2050년 발전량 비중 비교.....	107
그림 3.9	시나리오별 발전/열생산 부문 에너지 수요 및 온실가스 배출 경로.....	109
그림 3.10	시나리오별 총자본형성과 자본스톡 비교.....	111
그림 3.11	EEI와 EOE에서 기간별 정부투자자와 민간투자 규모.....	112
그림 3.12	산업 부문 주요 감축 수단 적용의 이정표.....	115
그림 3.13	산업 부문 시나리오별 신규 및 교체설비 규모와 에너지원단위 변화.....	117
그림 3.14	산업 부문 시나리오별 에너지 수요 및 온실가스 배출량 비교.....	118
그림 3.15	2050년 산업 부문 요인별 전기 수요 변화.....	119
그림 3.16	산업 부문 에너지상품별 수요 전망 비교.....	120
그림 3.17	업종별 에너지 수요 및 온실가스 배출 변화.....	122
그림 3.18	산업 부문 難감축업종의 에너지상품 비중 변화(EEI).....	123
그림 3.19	산업 부문 難감축업종의 에너지상품 비중 변화(EOE).....	123
그림 3.20	시나리오별 전기 자동차 판매 비중.....	124
그림 3.21	수송 부문 시나리오별 에너지 수요와 온실가스 배출 경로 비교.....	127
그림 3.22	2050년 수송수단별 연료 사용 비중.....	128
그림 3.23	수송 부문별 2050년 온실가스 배출 비중 비교 (단위: %).....	129
그림 3.24	수송 부문 에너지상품별 수요.....	130
그림 3.25	2050년 REF 대비 수송 부문의 요인별 전기 소비 변화 비교.....	131
그림 3.26	가정 부문 주요 감축 수단 적용의 이정표.....	133
그림 3.27	가정 부문 시나리오별 에너지 수요 및 온실가스 배출량.....	135
그림 3.28	보일러 기술별 비중 변화.....	136
그림 3.29	가정 부문 2050년 주택형태 및 에너지 용도별 에너지 수요 비중 비교.....	138
그림 3.30	2030년과 2050년 시나리오별 가정 부문 에너지상품 수요.....	139
그림 3.31	2050년 요인별 가정 부문 전기 수요의 변화.....	140
그림 3.32	서비스 부문 시나리오별 신규/교체 건물 규모 및 에너지원단위 비교.....	145
그림 3.33	서비스 부문 시나리오별 에너지 수요 및 온실가스 배출량 비교.....	146
그림 3.34	주요 업종별 에너지 최종소비 연평균 증가율 비교.....	147
그림 3.35	2030년과 2050년 용도별 최종소비 비중 비교.....	148
그림 3.36	서비스 부문 시나리오별 에너지상품 수요 비중 변화.....	149

그림 3.37	서비스 부문 요인별 전기수요 변화.....	150
그림 3.38	시나리오별 수소 수요 전망.....	152
그림 3.39	시나리오별 수소 공급 (백만톤-H ₂).....	153
그림 3.40	시나리오별 전기 판매 전망 비교.....	154
그림 3.41	지역별 전기 판매 전망 비교 (단위: TWh).....	158
그림 3.42	요인별 전기 판매 변화 비교 (단위: TWh).....	158
그림 3.43	발전/열생산 부문 주요 감축 수단 적용의 이정표.....	160
그림 3.44	시나리오별 발전설비와 최대부하 전망.....	161
그림 3.45	설비별 발전량 전망.....	162
그림 3.46	시나리오별 시스템 부하 전망 비교 (2050년 4월).....	164
그림 3.47	발전/열생산 부문 에너지 수요와 온실가스 배출 전망.....	165

글상자 차례

글상자 2.1	에너지밸런스 개편으로 인한 총에너지 소비의 변화.....	31
글상자 2.2	에너지밸런스 개편으로 인한 산업 부문 에너지 소비의 변화.....	42
글상자 2.3	에너지밸런스 개편으로 인한 수송 부문 에너지 소비의 변화.....	48
글상자 2.4	에너지밸런스 개편으로 인한 가정 부문 에너지 소비의 변화.....	55
글상자 2.5	에너지밸런스 개편으로 인한 서비스 부문 에너지 소비의 변화	62
글상자 2.6	에너지밸런스 개편으로 인한 전기 및 열 소비 통계의 변화	71
글상자 2.7	유럽의 對러시아 가스의존도 감축 정책과 세계 가스 가격 동향.....	87
글상자 3.1	전기 자동차 전환과 관련된 세계 주요 국가들의 정책 동향	125
글상자 3.2	히트펌프를 통한 건물 부문의 전기화.....	134
글상자 3.3	우리나라 건물 부문 에너지 효율 개선 정책.....	142
글상자 3.4	‘제10차 전력수급기본계획’의 전기 수요 전망.....	155

주요 내용 요약

- 2022년 에너지 및 경제 위기 속에서도 ‘2050 탄소중립’을 위한 전 세계적 노력이 강화하고 있는 상황에서, 우리나라의 탄소중립을 위한 시나리오 분석을 시도

2022년은 코로나19에서의 회복, 러시아-우크라이나의 본격적 전쟁 촉발 등으로 경제와 에너지 시장에서 변화와 위기가 뒤섞인 혼돈의 시기였으나, 세계 주요 국가들은 이를 딛고 오히려 탄소중립의 노력을 강화하고 있다. 유럽은 기존의 탄소중립 노력에 추가하여 러-우 전쟁을 통해 에너지 안보 강화의 노력 일환으로 탄소중립을 적극적으로 추진하고 있다. 미국도 탄소중립을 공식적으로 선언하고, 일련의 법적, 정책적 수단을 마련하는 가운데 2022년에는 「인플레이션 감축법」을 통해 향후 10년 간 에너지 안보와 기후변화 대응에 총 3,750억 달러를 투자할 계획이다. 탄소 배출을 감축하려는 노력에는 최대 배출국인 중국을 비롯하여 인도와 같은 경제 발전에 우선 순위를 두고 있는 국가들의 참여도 늘어나고 있다. 우리나라도 2020년 10월 대통령의 국회 시정연설에서 2050 탄소중립을 선언한 이래, 동년 9월에는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법」을 제정함으로써 탄소중립의 법적 기반을 마련하였다. 2021년 12월에는 유엔당사국총회에 2030년까지 2018년 대비 40% 온실가스 배출을 감축하는 정부 계획 (Republic of Korea, 2021)을 공식적으로 제출하였다. 현재는 「탄소중립 기본법」에 근거하여 국가 장기 비전과 전략을 준비하고 있다.

‘2022 장기 에너지 전망’은 2030 온실가스 감축 목표와 2050 탄소중립 달성을 향한 길을 찾는 노력을 지원하기 위한 목적을 가지고 진행되었다. 이를 위해 ‘2022 장기 에너지 전망’에서는 기준 시나리오(REF)와 함께 ‘2030 NDC’ 및 ‘2050 탄소중립’에 도달하는 목표 시나리오를 소개한다. 목표 시나리오는 기술개발 상황에 따라 정책 조합이 달라지며, 이를 효율강화 시나리오(EI, Energy Efficiency Improvement scenario)와 전기화 시나리오(EOE, Electrification of End-Use scenario)로 구분한다. 두 시나리오 모두 ‘에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, 2021)’을 비롯하여 그 동안 정부 및 민간에서 발표된 세부 정책이나 기술들을 감축 수단으로 포함하고 있다.

모든 시나리오는 인구와 경제 성장을 비롯하여 다양한 전제를 동일하게 사용한다. 우선, 우리나라 인구는 2020년에 5,184만 명으로 정점을 기록한 이후 지속적으로 감소하여 2050년에 4,736만 명까지 축소될 전망이다 (통계청, 2021b). 출산율 저하와 기대수명 증가로 생산가능인구는 빠르게 감소하는 반면 고령인구가 빠르게 증가한다. 인구 감소와 생산성 하락으로 우리나라의 국내총생산(GDP)은 성장률이 크게 둔화되면서 2021~2050년의 경제성장률은 연

평균 1.2%에 그칠 전망이다. 생산 부문은 보건·사회복지, 정보·통신 등을 중심으로 서비스 부문이 빠르게 성장하며, 제조업 내에서는 전통 화학제품 및 수소 수요의 증가로 석유화학이 빠르게 성장한다. 반도체, 디스플레이 등을 포함하고 있는 기계류도 제조업의 성장에 기여한다. 에너지 도입가격은 IEA ‘World Energy Outlook 2022 (IEA, 2022b)’의 국제 에너지 가격 전망에 따라 최근의 단기적 충격에서 빠르게 장기 추세로 복귀하여 하향 안정화될 전망이다. 한편, 우리나라의 장기 기온 추세는 IPCC (2021)에서 발표된 SSP(Shared Socioeconomic Pathways) 시나리오의 SSP2-4.5와 SSP1-2.6에 따라 변하는 것을 가정하고 있다.

□ ‘2030 국가 온실가스 감축’과 ‘2050 탄소중립’으로 가기 위한 출발선

현재 정책을 유지하면서 도입이 예정된 정책들이 시행되는 수준으로 에너지 정책이 강화될 경우(기준 시나리오, REF), 2021년에서 2050년까지 우리나라 국내총생산이 41.2% 증가하는 동안 총에너지 수요는 3.1% 증가한다. 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출은 2021년 575.5백만톤-CO₂eq에서 2050년 410백만톤-CO₂eq로 감소한다. 온실가스 배출 감소는 총에너지 수요 증가의 둔화, 재생에너지 보급 확대 그리고 석탄 기력 발전 감소의 영향이 크다. 최종소비 부문의 에너지 수요는 2021년 224.5백만toe에서 2030년대 중반 약 236백만toe 수준으로 정점을 기록한 후 점차 감소하여 2050년 224.2백만toe로 현재와 거의 같은 수준을 유지한다. 생산 활동과 소득 증가에도 불구하고 에너지 효율이 꾸준히 개선되면서 최종소비자의 에너지 소비 증가는 상당히 억제될 전망이다. 수송 부문은 내연기관 자동차가 전기 자동차로 상당부분 대체되면서 에너지 소비가 크게 감소한다.

그 동안의 온실가스 배출 감축 노력으로 인해 경제 성장, 에너지 수요, 온실가스 배출의 탈동조화는 이전 시기보다 빠르게 진행된다. 에너지 효율 개선을 통해 에너지 사용을 줄이는 것이 자원 고갈과 기후 변화에 대응하기 위한 기본적인 정책 수단이기 때문에 국내총생산과 총에너지 수요의 탈동조화가 발생한다. 에너지 수요와 온실가스 배출의 탈동조화는 온실가스 발생의 주 원인인 석탄 화력을 빠르게 감소시키고 탄소배출이 없는 원자력 및 재생에너지가 이를 대체하면서 발생한다. ‘제9차 전기본’에 이어 ‘제10차 전기본’에서도 수명 30년이 넘는 석탄 화력발전소에 대해서 연료를 전환하거나 폐지하는 원칙을 유지하기 때문이다.

REF의 온실가스 배출이 지속적으로 감소하지만, ‘2030 NDC’나 ‘2050 탄소중립’의 목표에는 크게 미치지 못할 전망이다. 특히, 산업 부문과 서비스 부문을 중심으로 한 단기적인 에너지 수요의 급증은 2030 NDC 감축 목표 달성을 어렵게 한다. 또한, 생산 부문이 갖는 구조적인 제약으로 인해 탄소중립을 위해 필요한 추가 감축 경로는 목표에서 설정한 부문별 감축이나 정책에 비례하지 않게 된다.

□ 탄소중립을 향한 두 가지 시나리오

IEA는 'WEO 2022'에서 탄소중립의 달성은 청정 에너지 보급과 에너지 수요의 억제에 달려있다고 분석했다. 에너지 수요 증가를 억제하는 핵심 수단은 에너지 효율, 전기화 그리고 회피수요(Avoided demand) 및 행동 변화(Behavioral change)로 구분하고 있다. 본 전망은 에너지 효율과 전기화에 시나리오 분석의 초점을 맞추고 있다. 에너지 효율 개선을 위해서는 기술 개발 투자가 필요하다. EEI에서는 기술개발 투자의 성과가 즉각적으로 나타나면서 2050년까지 목표로 하고 있는 에너지 효율 개선의 약 50% 수준을 2030년까지 달성하며 2040년에 약 95%까지 도달하는 것을 가정하는 반면, EOE에서는 기술개발 투자의 성과가 더디게 나타나면서 2030년까지는 REF와 거의 비슷하게 에너지 효율이 개선되다가 이후 에너지 효율이 빠르게 개선되는 것을 가정하고 있다. 기술개발이 더딜 경우 2030년 감축 목표 달성을 위해서는 전기화가 가장 유력한 수단이 된다. EEI에서도 빠른 효율 개선과 함께 전기화가 동반되며, EOE에서는 효율 개선이 더딘 만큼 초기 전기화가 강력하게 추진되는 것을 가정하고 있다. 하지만, EEI와 EOE의 에너지 효율 개선 수준과 전기화 정도는 2050년에 도달하면 유사한 수준이 된다. 시나리오의 차이를 쉽게 설명하자면, 초기 기존 연료의 고효율 설비를 도입하여 온실가스 배출을 줄이고 후기에 고효율 전기화를 통해 탄소중립에 도달하는지, 아니면 초기 기존 설비의 전기화로 2030 NDC 목표를 달성하고 후기에 전기 설비의 고효율화를 통해 탄소중립에 도달하는지의 차이라고 할 수 있다.

2030 NDC와 2050 탄소중립을 목표로 하기 때문에 EEI와 EOE의 총에너지 온실가스 배출은 그다지 큰 차이를 보이지 않지만 목표에 도달하기까지 전반적으로 EEI가 높은 수준의 배출 경로를 보인다. EEI의 경우 온실가스 배출은 2030년 467.6백만톤-CO₂eq, 2050년은 36.6백만톤-CO₂eq로 감소한다. EOE에서는 2030년 436.5백만톤-CO₂eq, 2050년 36.7백만톤-CO₂eq를 배출할 것으로 전망된다. EEI와 EOE의 온실가스 배출이 비교적 유사한 경로를 따르는데 반해 총에너지 수요는 큰 차이를 보여주고 있다. EEI의 총에너지 수요는 2025년 302백만toe를 정점으로 이후 빠르게 감소하여 2050년 256백만toe 수준으로 하락한다. 반면 EOE의 총에너지 수요는 2035년 326백만toe까지 증가한 후 2040년대 들어서 빠르게 감소하여 2050년은 282백만toe 수준이 될 것으로 예상된다.

적극적인 기술개발 투자와 설비 투자를 통해 2050년 에너지원단위는 2021년 대비 50~55% 개선된다. 하지만, 에너지원단위의 개선은 2030년 이후 가속화되며, EEI와 EOE는 기술개발 속도가 다름에도 불구하고 2030년 에너지원단위는 그다지 차이를 보이지 않는다. 2030년까지 대대적인 설비 교체가 진행되더라도 전체 설비에서 교체되는 설비의 비중은 여전히 그다지 크

지 않기 때문이다. 2050년의 기술 수준에 도달했을 때 REF 대비 추가 효율 개선은 27~35% 수준이다. 에너지원단위는 REF에서도 2030년 11%, 2050년에는 30% 이상 개선된다.

정책 추진 초반부터 강조되는 전기화에 힘입어 EOE에서 전기의 비중이 2030년에 34.1%로 확대된다. EEI에서는 전기의 비중이 2030년 이후 크게 증가할 전망이다. 2050년에는 두 시나리오 모두 전기가 45% 이상을 차지한다. 수소는 수소환원제철을 중심으로 2040년 이후 대규모 설비의 단계적 교체를 통해 석탄을 대체하며 증가할 전망이다. 전기와 수소의 수요 증가로 발전/열생산 부문이 온실가스 배출 감축에 기여해야 하는 역할은 더욱 커진다. EEI는 효율 개선 효과로 전기 수요가 2030년 672 TWh, 2050년 1,001 TWh로 증가하지만, EOE의 경우 전기화 역할이 큰 탓에 2030년 903 TWh, 2050년 1,085 TWh까지 증가할 전망이다. 수소 수요는 EEI에서 2030년 0.9백만톤-H₂, 2050년 14.1백만톤-H₂ 증가할 전망이다. 한편 EOE에서는 2030년 1.0백만톤-H₂, 2050년 13.6백만톤-H₂로 증가한다. 수소 수요는 2030년까지는 수송 부문, 2040년까지는 발전/열생산 부문, 그 이후는 산업 부문이 수요의 증가를 주도한다.

EEI에서는 재생에너지 발전이 2021년 33.5 TWh(5.8%)에서 2030년 143 TWh(21.2%), 2050년에는 사업자 총발전의 54.6%인 약 533 TWh 수준까지 증가한다. EOE에서는 재생에너지 발전량이 2030년 280 TWh(30.9%), 2050년은 638 TWh(61.0%)로 증가해야 한다. '제10차 전기본'은 2030년 재생에너지 발전을 134.1 TWh로 계획하고 있어, 탄소중립을 위해 필요한 재생에너지 발전량이 전력수급기본계획보다 매우 높은 것을 알 수 있다. IEA는 재생에너지가 총발전에서 차지하는 비중이 2030년 61%, 2050년은 88%까지 확대될 것으로 전망하고 있어, 본 보고서의 분석보다 높은 수준을 제안하고 있다. 가스 발전의 수소 혼소는 2030년대 중반부터 확대되어, 2050년 가스 발전량의 40% 이상을 차지할 것으로 전망된다. 수소 터빈은 2040년대 본격적으로 진입하여 2050년 발전량이 약 77 TWh 규모가 될 것으로 예상된다.

온실가스 배출 전망은 산업 부문과 발전/열생산 부문에서 EEI와 EOE의 결과 차이가 뚜렷하게 나타난다. 에너지 효율 개선에 집중할 경우 산업 부문의 직접 배출이 더디게 감소하고 발전/열생산 부문의 배출이 빠르게 감소하는 반면, 전기화 방식에 의존할 경우 산업 부문의 배출이 초기에 빠르게 감소하고 대신 발전/열생산의 배출이 상대적으로 높은 수준을 유지한다. EEI의 2030년 산업 부문과 발전/열생산 부문 온실가스 배출은 각각 189.6백만톤-CO₂eq와 166.4백만톤-CO₂eq이고, EOE의 2030년 온실가스 배출은 산업 부문이 143.9백만톤-CO₂eq, 발전/열생산 부문이 191.5백만톤-CO₂eq로 전망된다. 발전/열생산 부문의 온실가스 배출은 EEI와 EOE 모두 2050년 약 3백만톤-CO₂eq로 감소한다. 직접 배출량 기준으로는 발전/열생산과 산업 부문에 이어서 수송 부문의 직접 배출이 많고 배출 감소도 빠르게 진행된다. 건물 부문에서는 주

저용 주택이 일반 건물에 비해 온실가스 직접 배출이 조금 더 많다. 에너지 소비는 서비스 부문이 조금 더 많지만 상업용 건물의 전기화가 이미 더 많이 진행되었기 때문이다.

□ 탄소중립 추진의 어려움과 정책 제언

REF는 현재 수준의 노력을 지속할 경우 예상되는 에너지 수요와 온실가스 배출의 경로를 보여준다. 반면, EEI와 EOE는 예상되는 미래가 아니라 우리가 만들어가야 하는 길을 의미한다. IEA에서도 탄소중립 시나리오를 규범적인(normative) 시나리오라고 규정하고 있다. 에너지 효율 개선에 집중할 경우 산업 부문의 직접 배출이 더디게 감소하고 발전/열생산 부문의 배출이 빠르게 감소하는 반면, 전기화 방식에 의존할 경우 산업 부문의 배출이 초기에 빠르게 감소하고 대신 발전/열생산의 배출이 상대적으로 높은 수준을 유지한다. 배출량의 크기를 고려할 때, 결국 온실가스 배출 감축 목표 달성의 핵심은 산업 부문과 발전/열생산 부문의 적절한 역할 배분에 달려있다. 시나리오 분석 결과는 국가 온실가스 배출 총량의 관점에서 부문별 배출 목표를 합리적으로 설정하는 것이 필요하다는 것을 보여주고 있다. 또한 합리적인 목표 수준은 기술적, 정책적 상황에 따라 변경될 수 있다.

온실가스 감축 목표 달성을 위해서는 최종소비 부문의 전기화가 필수적이며, 발전 부문의 온실가스 감축 부담 완화와 에너지 안보를 위해서는 최종소비 부문의 에너지 수요 증가 억제가 반드시 필요하다. 본 시나리오 분석에서는 정부에서 제시한 에너지원단위 개선보다 더 높은 수준의 개선이 이루어져야 탄소중립에 도달할 수 있는 것으로 분석하고 있다. 더구나 IEA는 ‘넷제로 로드맵 2050’과 ‘WEO 2022’에서 2050년까지 현재 수준의 에너지원단위보다 대략 60% 가까이 개선해야 한다고 분석하였다. 그럼에도 불구하고 에너지원단위 개선으로 인한 온실가스 배출의 추가 감축은 그다지 크지 않다. 하지만, 에너지원단위 개선의 어려움과 온실가스 배출 추가 감소 효과가 작다는 것이 효율 개선에 대한 추가적인 투자가 불필요하다는 것은 아니다. 앞서 언급한 것처럼, 발전 부문의 온실가스 감축 부담 완화와 에너지 안보를 위해서는 최종소비 부문의 에너지 수요 증가 억제가 반드시 필요하다. 또한 최종소비 부문의 전기화가 진행되면서 최종소비 전기의 자가 공급이 중요한 역할을 할 전망이다. 이와 관련된 요금 및 세제 정책과 전력시장 제도가 올바르게 진행되는 것이 필요하다.

발전 부문 탄소 감축 수단의 핵심은 재생에너지 발전의 확대와 함께 석탄 및 가스 발전을 수소와 같은 무탄소 발전으로 대체하는 것이다. 가스나 석탄 발전의 설비 폐쇄는, IEA의 지적처럼 재생에너지 기술 수준과 화석연료에 대한 수요에 따라 안정적으로 이루어져야 한다. 수소 및 암모니아 혼소는 석탄과 가스 발전 설비의 재사용 및 용도변경의 유력한 수단이며, 에너지 전환의 가교 역할을 할 것이다. 또한, 목표 시점까지 남은 기간과 전기 수요의 증가를 고려

할 때 2030 감축 목표 달성을 위해서는 원자력이 어느 정도 역할을 담당할 필요가 있다. 장기적으로도 전력 시스템의 안정성을 확보하고 좌초자산 최소화로 경제 비용을 줄이기 위해 설비의 안전성을 전제로 개별 원자력 발전 설비에 따라 역할이 남을 수 있다.

에너지 공급 안정성은 두 가지 측면에서 대비할 필요가 있다. 하나는 기존 화석연료와 관련된 전통적 공급 안보의 문제이다. 이와 관련해서는, 공급량 확보 자체보다는 화석연료의 감소에 대비하여 기존 생산설비나 저장설비의 역할 전환과 고용 인력의 재교육 및 일자리 전환이 필요하다. IEA에서는 석유 및 가스 회사의 기술과 전문성에 적합한 저배출 기술에 대한 투자를 통한 에너지 사업의 다각화를 제안하고 있다. 민간의 사업 다각화를 위해서는 정부가 정책 방향을 명확하게 제시해야 한다. 또한, 수소 및 암모니아 등 새로운 에너지상품의 안정적 확보 문제에 대비해야 한다. 2050년 수소 수입은 수입 에너지상품 중에서는 가장 비중이 크다. 해외 생산 청정 수소 확보와 함께 국내 청정 수소 생산을 위한 기술 확보에 보다 많은 투자가 필요할 것이다.

두 번째는 에너지시스템 안보를 위해 전력의 공급 측면과 소비 측면에서 안정성을 확보하는 노력을 진행해야 한다. 수요 측면에서는 수요반응을 비롯하여 부하를 이동시킬 수 있는 수단과 제도를 준비해야 한다. 에너지 효율 개선은 수요 측면의 안보 대응을 강화하는데 필수적이다. 이와 별도로 각 최종소비 부문별로 전력 시스템에 연계되지 않는 비상 수단을 확보하는 것도 필요하다. 공급 측면에서, 단주기 속응성 자원을 비롯하여 중·장주기 에너지저장장치 확보라는 기술적 대응과 이를 위한 시장 제도의 변화가 필요하다. 전력 계통의 보강도 시급한 문제이다. 가격 및 전력시장 제도 개선, 장주기 대용량 배터리 기술개발 등의 계획을 보다 구체적으로 강화하고, 생산의 분산화, 계통 보강, 통합 관제에 보다 관심을 기울일 필요가 있다.

한편, 탄소중립을 달성하기 위해서는 대규모의 투자가 필요하다. IEA도 세계 GDP 대비 에너지 투자는 현재 2.5% 수준에서 2030년 4.5%까지 상승하고, 청정 에너지에 대한 투자는 현재 연평균 1조 2천억 달러에서 2030년까지 3배로 늘어날 것으로 분석하고 있다. 투자 확대는 민간 자원으로 이루어져야 하고, 공공 정책은 민간 자원을 동원하기 위한 인센티브, 적정 규제 그리고 에너지 세제 개편을 추진할 것을 권고하고 있다. 본 보고서의 분석 결과에 따르면, 탄소중립을 위해 우리나라의 연간 신규 투자가 2021년 576.6조원에서 2050년 1천 조원 이상으로 증가할 전망이다. 이는 GDP 대비 투자율이 2021년 약 30.1%에서 2050년 약 40%까지 증가해야 하는 것이다. 기업 투자를 촉진하기 위해 기술 투자나 탄소저감 시설 투자에 대한 세액 공제나 인센티브를 강화하고, 화석연료에서 발생하는 초과 이윤을 청정 에너지에 투자할 수 있도록 세제를 개혁하는 것이 필요하다. 여기에 더해서, 자본 누출이 발생하지 않고 국내 투자로 이어지도록 유도해야 에너지 전환 성과가 국민경제의 성과로 나타날 것이다.

탄소중립을 향한 경로는 감축 수단들에 대한 우선 순위와 적용 정도에 따라 다양한 경로가 발생한다. 이 과정에서 정도와 시기의 차이는 있지만 공통적인 어려움과 도전이 발생한다. 발전 부문은 수소 기술의 개발, 전력 계통의 안정성 확보가 과제로 남을 것이다. 건물 부문은 단열을 포함한 건축 기술과 건축 관련 규제도 강화해야 하지만, 우리나라 고유 난방방식에 적합한 히트펌프 기술 적용이 필요하다. 수송 부문은 항공과 해운의 탄소중립이 기술적 난제로 남는다. 또한, 기술 상황에 따라 탄소 포집의 역할이 커질 수도 있다. 어려움과 도전은 한 부문에서만 발생하는 것이 아니라 모든 부문이 각자의 특성에 따라 가지고 있는 문제이다. 따라서 산업, 수송, 건물, 발전/열생산 등 모든 부문은 공평한(fair) 감축 의무를 수행해야 한다.

시나리오 분석은 에너지 사용 기기의 효율이 얼마나 향상되어야 하는지 그리고 어느 시점에 얼마나 기존 기기 및 설비를 대체해야 하는지를 보여준다. 하지만, 이러한 경로에서 어느 것이 효과적이고, 시장과 소비자가 정부의 정책 의도대로 반응할지는 알 수 없다. 정부는 정책의 효율성과 형평성, 정책 비용, 온실가스 배출 경로에 따른 사회경제적 파급 효과 등을 비교하여 정책을 결정해야 할 것이다. 탄소중립의 길은 대단한 변화를 요구하기 때문에 실현 가능한 수단만 찾는 것이 아니라 가능하게 만드는 방법을 모색하는 것도 필요하다. 한편, 시나리오 분석은 전환 과정이 최적 경로에서 벗어나는, 즉 경제적 손해를 감수해야만 하는 길이 아닐 수도 있다는 것을 보여준다. 앞서 요약한 투자의 증가는 경제 시스템으로 환원되어 경제 성장을 이끄는 요인으로 작용할 것으로 기대된다. 다만, 탄소중립에 따른 경제 성장과 경제 구조의 변화, 그리고 그 과정에서 발생할 수 있는 탄소중립 성과의 집중화 문제에 대해서 정부 차원의 사전 분석과 대응이 필요할 것이다.

제1장 2022 장기 에너지 전망의 배경

1. 탄소중립을 향한 국내외 상황

□ 코로나19와 러-우 전쟁으로 인한 에너지 위기 속에 탄소중립을 향한 국제사회의 움직임

2022년은 러시아-우크라이나 전쟁(러-우 전쟁)으로 인한 에너지 가격의 폭등과 유럽의 에너지 위기가 기록된 한 해이다. 오랜 내전 속에서 2022년 2월 러시아가 우크라이나에 대한 본격적인 군사작전을 시작하면서 러-우 전쟁이 촉발되었다. 러-우 전쟁으로 러시아의 석탄, 원유, 천연가스에 대한 미국과 유럽의 제재가 단행되고, 이에 맞서 러시아가 대유럽 천연가스 공급을 제한하면서 천연가스 가격이 폭등하였다. 유럽 천연가스 가격 지표로 사용되는 Dutch TTF 선물 가격은 2022년 8월 26일 €339/MWh로 최고치를 경신했다.¹ 천연가스 공급 압박과 더불어 가뭄과 폭염으로 독일 기저부하 전기 가격도 2022년 8월 11일 €455/MWh로 최고치를 기록했다.² 유럽의 에너지 시장 위기는 전 세계로 퍼져 나가며, 전 세계를 휩쓴 코로나19(COVID-19)에서 회복의 기미를 보이던 세계 경제는 다시 경기침체의 위기에 노출되었다.

일반적으로 경제위기는 탄소배출을 줄이려는 노력을 약화시킨다. 하지만 2022년의 에너지 위기는 오히려 전 세계의 탄소중립 노력을 더욱 가속화한 측면도 있다. 러시아 생산 에너지에 의존하던 유럽은 에너지 위기를 겪으면서 에너지 자립도를 높이고 탄소배출을 줄이기 위해 재생에너지에 대한 투자를 더욱 확대하고 있다. EU는 이미 2019년에 2050년 탄소중립을 위한 ‘유럽 그린딜(European Green Deal)’을 발표하였다. 2021년에는 「유럽 기후법(European Climate Law)」을 통과시킴으로써 기존 1990년 대비 40% 감축이었던 2030년 중기 목표를 55% 감축으로 확대하였고, 이어서 온실가스 배출 감축을 위한 정책 수단인 입법 패키지 ‘Fit for 55’를 발표하였다. 러-우 전쟁 발발 직후인 2022년 5월에 발표한 ‘REPowerEU’은 러시아 산 천연가스 수입을 2030년까지 전량 대체하며, 재생에너지 발전 비중을 기존 32%에서 45%로 확대하고 이를 위해 3,000억 유로를 투자하는 내용을 담고 있다. 영국은 그 동안 2050 탄소중립을 위해 ‘10대 중점 계획(The 10 Points for a Green Industrial Revolution)’, ‘에너지백서 2020(Energy White Paper)’, ‘넷제로 전략(Net Zero Strategy)’ 등 단계별 전략을 차례로 발표하였다. 최근에는 코로나19 회복이나 러-우 전쟁과 같은 에너지 시장의 불확실성에 대응하기 위한 ‘에너지안보전략(British Energy Security Strategy)’을 수립하고 2035년까지 전력 부문을 완전히 탈탄소화 하는 목표를 설정하였다. 영국의 ‘에너지안보전략’은 풍력과 태양광 중심의 재생에너지 증진, 원자력의 확대, 수소 개발 지원 등을 담고 있다. 한편, 독일은 2022년 4월 광범

¹ Financial Times, "Europe gas prices hit record as crisis threatens to trigger recession," Aug 27 2022.

² Financial Times, "European electricity prices hit new highs amid power market disruption," Aug 12 2022.

위한 법률 패키지인 ‘부활절 패키지(Osterpaket)’를 발표하였다. 독일의 부활절 패키지는 2030년까지 재생에너지 발전 비중을 80%로 확대하고 2035년에는 100% 재생에너지로 전환한다는 목표를 포함하고 있다.

전 세계는 탄소배출 누적으로 인한 기후 위기가 심각한 문제라는 인식을 공유하고 속속 탄소중립이나 급격한 탄소 배출 감축 목표를 선언하면서 기후변화 대응의 노력을 늦추지 않고 있다. 미국은 2021년에 ‘장기 전략 보고서(The Long-Term Strategy of the United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050)’를 발간하며 2035년까지 100% 무탄소 전력 공급과 2050 탄소중립 달성을 목표로 수립하였다. 같은 해 11월에는 ‘초당적 인프라 법(Bipartisan Infrastructure Law)’이라 알려진 「인프라 투자 및 일자리 법(Infrastructure Investment and Jobs Act)」을 통해 물적 인프라 정비에 5,500억 달러의 자금을 투입하기로 했는데, 여기에는 청정 및 재생에너지 자원에 900억 달러를 투자하는 것이 포함되어 있다. 또한 미국의 노후화된 도로, 철도, 항구, 공항의 정비에 2,600억 달러를 투자하는데, 이러한 인프라 정비는 수송 부문의 에너지 효율을 개선하는데 기여할 것이다. 2022년에는 재정수입보다 재정지출을 줄여 인플레이션을 완화시키는 목적의 「인플레이션 감축법(Inflation Reduction Act of 2022, Public Law No. 117-169)」을 승인하였다. 「인플레이션 감축법」은 중국 의존도 완화를 통해 미국의 에너지 안보를 강화하고 기후변화 대응을 위해 투자하는 것이 핵심 내용을 구성하고 있다. 「인플레이션 감축법」은 미국이나 북미에서 최종 조립된 전기차에만 세액 공제를 제공하는 것과 함께 미국 내 재생에너지 설비 생산과 수소 생산에 세액 공제를 규정하는 등, 향후 10년 간 에너지 안보와 기후변화 대응에 총 3,750억 달러를 투자할 예정이다. 투자 재원은 15%의 최저법인세와 자사주 매입에 대한 1% 개별소비세, 처방 의약품 가격 개혁으로 조달한다. 최근에는 2021년 발표한 ‘장기 전략 보고서’를 바탕으로 미국 에너지부(DOE, Department of Energy)에서 산업 부문의 탈탄소를 지원하기 위한 ‘산업 탈탄소 로드맵(Industrial Decarbonization Roadmap)’ 보고서를 발표하였다. ‘산업 탈탄소 로드맵’은 철강, 화학, 식음료, 석유정제, 시멘트 등 5개 업종을 탈탄소가 어려운 업종으로 선정하고, 에너지 효율, 전기화, 저탄소 연료·원료·에너지원, 탄소포집·활용·저장을 핵심으로 2050년까지의 탄소중립 방법을 제시하고 있다.

탄소 배출 감축 노력에는 선진국만이 아니라 중국이나 인도와 같은 온실가스 배출의 핵심적인 발전국가들의 참여도 확대되고 있다. 중국은 2020년 9월 시진핑(Xi Jinping) 주석의 UN 연설에서 2030 탄소피크와 2060 탄소중립을 국가 목표로 공식 선언하였다. 이후 2021년에는 탄소중립 마스터플랜 성격인 「탄소 배출 정점 및 탄소중립 달성 업무 의견(关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见)」을 국무원 이름으로 발표하였으며, 「2030 이전

탄소배출 정점 행동방안(关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知)」등 실행 계획과 조치들을 연달아 발표하였다. 2022년 6월에는 중국 수소연맹의 이름으로 ‘중국의 2030년 그린수소 100 발전 로드맵(開啓綠色氫能新時代之匙：中國 2030年“可再生氫100”發展路線圖)’을 발표하였다. 중국의 ‘그린수소 로드맵’에서는 2030년까지 그린수소 설비용량을 100 GW까지 늘려, 에너지 최종 소비에서 수소의 비중을 15~20%까지 확대할 계획이다. 인도는 2021년 제26차 유엔기후변화 당사국총회(COP26)에서 나렌드라 모디(Narendra Modi) 총리의 연설을 통해 2070년까지 탄소중립을 달성하겠다고 밝혔다. 비록 탄소중립 목표에 대해 인도 연방정부 차원의 공식적인 발표는 없지만, 2030년까지 2005년 대비 45% 감축이라는, 기존 발표보다 10% 포인트 강화한 새로운 탄소 배출 목표를 2022년 8월에 발표하였다.

국제에너지기구(IEA, International Energy Agency)는 2021년 5월 발간한 ‘넷제로 2050(Net Zero By 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector)’ 보고서에서 지구 평균 온도 상승을 1.5°C로 제한하기 위해 2050년까지 전세계의 에너지부문 순배출량 제로를 달성하는 원칙과 방안을 제시하였다. IEA는 보고서에서 2030년까지 세계 에너지 소비의 7% 감축이 필요하다고 보았으며, 2030년까지의 감축 목표 달성을 위한 기술은 이미 존재하기 때문에 기술 보급 및 실현을 위한 정책 추진이 필요하다고 권고하였다. 2022년 11월에 공개한 ‘World Energy Outlook 2022(이하 WEO 2022)’에서는 그 동안의 탄소 배출 감축 노력을 평가한 장기 에너지 및 온실가스 배출 시나리오 분석 결과를 발표하였다. ‘WEO 2022’에서는 현재까지 전세계에서 발표된 탄소중립 및 탄소배출 감축 선언이 일정대로 모두 달성된다면 할 경우 2050년 온실가스 배출이 약 12.4 Gt 규모로 줄어들 것으로 예상하고 있다.³ 이는 기온 상승폭 1.5°C 억제를 달성하기에 부족한 것으로, 향후 에너지 수요가 급격하게 증가할 것으로 예상되는 신흥 및 개발도상국의 청정에너지 투자가 필요하다고 분석하였다. IEA는 2050 탄소중립을 달성하기 위해서는 에너지 투자가 대폭 확대되어야 하는 것으로 보고 있다. 기준 시나리오(STEPS)에서 2030년까지 2조 달러로 증가가 예상되는 청정에너지에 대한 투자를 탄소중립 목표 달성을 위해서 4조 달러로 증가시켜야 하며, 이를 위해 정부는 전략적 방향을 명확하게 설정하고 민간 투자를 이끌기 위한 인센티브를 제공해야 한다고 권고했다.

□ 2050 탄소중립 선언과 탄소중립을 위한 국내 노력

탄소중립을 위한 세계적인 흐름에 맞춰 우리나라도 이미 2020년 10월 문재인 대통령의 국회시정연설에서 탄소중립을 선언한 이후 (문재인, 2020), 2021년 9월에는 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 탄소중립기본법)」을 제정하여 탄소중립을 법제화하였

³ ‘WEO 2022’에서 제시한 세 가지 시나리오 중 APS 시나리오의 결과

다.⁴ 「탄소중립기본법」은 제8조에서 2030년 국가 온실가스 배출량을 2018년 대비 35% 이상 줄이는 것을 명문화하였으며, 이를 근거로 시행령에서는 국가 감축 목표를 40%로 설정하였다. 2021년 10월에는 「탄소중립기본법」에 의거하여 ‘2050 탄소중립위원회’가 출범하였다.⁵ 탄소중립위원회는 범부처 공동작업을 통해 2021년 10월 2030년 국가 온실가스 감축목표를 강화하는 제안서인 ‘2030 국가온실가스 감축목표(NDC) 상향안’과 2050년 탄소중립을 달성하는 시나리오 ‘2050 탄소중립 시나리오안’을 발표하였다 (2050 탄소중립위원회, 2021a; 2050 탄소중립위원회, 2021b). 이후 2021년 12월에는 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오안’에서 제시한 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 에너지 부문 전략인 ‘에너지 탄소중립 혁신 전략(관계부처 합동, 2021)’이 발표되었다. 외교부와 환경부는 2021년 12월 상향된 ‘2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC)’ (Republic of Korea, 2021)를 공식적으로 유엔기후변화협약에 제출하였다.

2022년 초 정권이 교체된 이후 정부는 2022년 7월 ‘새정부 에너지 정책 방향’을 제시하고, 2023년 1월 새로운 정책 기조를 반영한 「제10차 전력수급기본계획(이하 제10차 전기본)」을 확정하였다.⁶ 「제10차 전기본」은 정권 교체와 함께 바뀐 에너지 정책 방향을 반영하여 운영하기 위한 종료를 앞둔 원자력 발전 설비의 운영 연장을 계획에 담았다. 뒤에서 다시 살펴보겠지만, 「제10차 전기본」은 정부에서 목표로 설정한 전기 수요를 전제로 2030년 발전부문의 감축 목표를 달성하는 발전 설비 구성과 발전량을 제시하고 있다. 우리나라의 에너지 시장과 온실가스 정책 구조 상 「전력수급기본계획」은 실질적으로 에너지 수요 및 에너지부문 온실가스 배출 감축 정책의 중추적인 역할을 한다. 한편, 2022년 3월 시행된 「탄소중립기본법」은 법 시행 후 1년 이내에 「국가 탄소중립 녹색성장 전략」과 「국가 탄소중립 녹색성장 기본계획」을 수립하도록 규정하고 있다. 정부에서는 2022년 10월 「탄소중립녹색성장 추진전략」과 「탄소중립녹색성장 기술혁신 전략」을 발표하고 이를 기반으로 「온실가스 감축 이행 로드맵」과 「탄소중립 기본계획」을 수립할 계획이라고 밝혔다.

이러한 국내외 상황 속에서 ‘2022 장기 에너지 전망’은 2030년 온실가스 감축 목표와 2050년 탄소중립을 달성을 위한 경로를 다시 한번 자세히 분석하고자 하였다. 시나리오는 2030년 온실가스 배출을 2018년 대비 40% 감축하는 것과 2050년 탄소중립을 달성하는 것을 목표로

⁴ 「탄소중립기본법」은 2022년 3월 시행되었다.

⁵ 2021년 10월 출범한 ‘탄소중립 위원회’는 대통령령인 「2050 탄소중립위원회의 설치 및 운영에 관한 규정」에 따라 설치되었으며, 2022년 3월 「탄소중립 기본법」이 시행됨에 따라 2022년 10월 기존 ‘녹색성장 위원회’와 통합하여 ‘2050 탄소중립녹색성장 위원회’로 바뀌었다.

⁶ ‘2022 장기 에너지 전망’을 위한 모형 분석 시점에는 「제10차 전기본」 수립을 위한 분과별 작업이 진행 중이었으며, 보고서 작성 중인 2023년 1월 12일 전력정책심의위를 거쳐 확정되었다.

설정하고 있다. 본 분석에서는 핵심 감축 수단의 상황에 따라 감축 수단들의 조합을 달리하는 시나리오를 비교함으로써 탄소중립에 도달하는 다양한 경로를 살펴보고 있다. 물론 기존 ‘탄소중립위원회’가 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오안’을 통해 목표 달성을 위한 방법과 경로를 제시한 바 있다. 기존 정부 보고서에 탄소중립의 경로가 제시되어 있음에도 불구하고 새롭게 시나리오 분석을 하는 이유는 그 동안 제시된 정부의 전략은 비전의 성격을 갖고 있으며 구체적인 이행 계획은 아직 분석 단계에 있기 때문이다. 본 전망 보고서는 정부 이행 계획을 배제한 새로운 목표 달성 경로를 제시하는 것이 아니라, 보다 구체적이고 합리적 이행 계획 수립을 위해 다양한 정보를 제공하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 본 보고서에서 설계한 시나리오와 분석 방법을 다음 절에서 자세히 설명한다.

2. 시나리오 정의

□ 시나리오는 정책 및 기술에 대한 가정에 따라 예상되는 미래의 에너지 소비 및 공급 구조를 묘사

‘2022 장기 에너지 전망’에서 설정한 시나리오를 설명하기에 앞서 시나리오의 의미를 다시 살펴본다. 시나리오는 미래에 벌어질 일을 정확히 맞추기 위한 예측(forecast 또는 prediction)이 아니라 정책과 기술에 대한 가정에 따라 달라질 미래의 모습을 묘사하는 전망이다(outlook 또는 projection). 즉, 시나리오는 정부가 어떤 정책을 선택할 지 예측하는 것이 아니라 정부의 선택의 결과로 인해 예상되는 미래의 모습을 보여준다. 장기 에너지 전망에서 시나리오를 구분하는 핵심 요소는 기술 발전과 정책에 대한 가정이다. 정책이나 기술에 대한 선택 옵션을 다양하게 만들수록 다양한 결과를 얻을 수 있고, 이를 통해 정부를 비롯한 경제주체는 급변하는 미래에 대응하여 다양한 수단을 준비할 수 있다.

‘2022 장기 에너지 전망’은 기준 시나리오(REF, REference scenario), 효율강화 시나리오(EEI, Energy Efficiency Improvement scenario), 전기화 시나리오(EOE, Electrification Of End-use scenario)를 분석하고 있다. REF는 우리나라의 인구, 경제 성장, 산업 구조, 기온, 그리고 에너지 가격에 대한 기본 전제와 에너지 기술이 과거와 비슷한 수준으로 꾸준히 발전한다는 가정 하에 현재 시행하고 있거나 시행이 예정되어 있는 정책 및 규제 등으로 인해 예상되는 에너지 소비 및 공급의 장기적인 변화 경로를 전망한다. 기존 기준 시나리오에 비해 ‘2022 장기 에너지 전망’의 REF는 시행 예정인 정책까지 정책 수용의 범위를 넓혔다. 이는 IEA의 ‘World Energy Outlook’에서 채택한 기준 시나리오인 STEPS(Stated Policy Scenario)와 비슷한 개념이다. ‘2022 장기 에너지 전망’의 REF는 2022년 말 현재 시행되고 있거나 시행이 확정된 정책들을 ‘현재 정책’으로 가정하고 있다. 특히, 2022년 12월 초안이 공개된 ‘제10차 전기본’의 설비

계획을 반영하여 발전 설비를 전망한다. 하지만 ‘2030 국가 온실가스 감축 목표’와 같이 선언적인 목표는 REF에 포함하지 않는다. 장기 국가 목표에서 채택한 감축 수단들은 새로운 정책을 도입할 것이라는 계획과 아직은 상용화되지 않은 미래 기술들을 포함하고 있다. 이러한 정책 수단들의 효과는 대부분 목표 시나리오에 반영된다. REF의 목적은 주요 정책 수단의 변화가 발생할 때 에너지 수급 및 온실가스 배출의 변화 방향과 크기를 가늠하기 위해서 정책 변화 이전의 가상의 기준선을 긋는 것이다. 즉, REF는 탄소중립을 비롯하여 분석 필요에 따라 생성하는 다양한 시나리오들의 효과를 측정하는 출발선으로 사용된다. 하지만 REF는 추가적인 노력이 없을 경우 당연히 발생할 미래를 의미하지 않는다. 본 전망에서 사용하는 REF는 아직 시행되지 않았지만 구체적인 수단이 마련된 정책까지 포함하고 있으며, 이는 REF에서도 장기적으로 에너지 수요와 온실가스 배출 감축을 위한 상당한 노력이 진행된다는 것을 의미한다.

□ 2030 국가 온실가스 감축 목표와 2050 탄소중립을 위한 목표 배출

‘2022 장기 에너지 전망’은 두 개의 목표 시나리오를 설계하였다. 목표 시나리오는 감축 목표를 달성하기 위해 사용하는 여러 정책들의 조합에 따른 에너지 수급 및 온실가스 배출 경로를 보여준다. 목표 시나리오의 정책이나 기술은 확정된 것이 아니라 탄소중립에 근접하기 위해 필요한 범위와 수준을 보여준다. 하지만 목표 시나리오는 미래 기술의 현실화 가능성이나 정책 도입 가능성을 의미하지 않는다. 또한 목표 시나리오는 2030 NDC와 2050 탄소중립 달성을 위한 유일한 경로를 의미하지 않는다. 본 연구에서도 두 가지의 목표 달성 경로를 비교하고 있으며, 정책 및 기술의 조합에 따라 또 다른 무수한 경로가 존재할 수 있다.

표 1.1 2030년과 2050년의 목표 배출량 (단위: 백만톤)

	2018	2030 (감축률)	2050 (감축률)
에너지 부문(총에너지)	628.8	423.5 (-32.6%)	4.6 (-99.3%)
발전/열	270.8	150.6 (-44.4%)	0.0 (-100.0%)
최종소비	358.0	277.7 (-22.4%)	52.4 (-85.4%)
산업	207.2	177.0 (-14.5%)	40.6 (-80.4%)
수송	99.1	61.6 (-37.8%)	2.8 (-97.1%)
가정	31.1	20.9 (-32.8%)	3.7 (-88.1%)
서비스	20.7	13.9 (-32.8%)	2.5 (-88.1%)

주 1: 최종소비 및 산업은 석유정제를 포함. 산업은 산업공정을 제외한 에너지 연소의 온실가스 배출

주 2: 가정과 서비스는 건물의 감축률을 적용

주 2: 부문별 감축률을 적용하여 목표 배출량을 계산하였기 때문에 부문의 목표 배출량 합계와 목표 총량은 다를 수 있음

시나리오에 사용하는 배출 목표는 정부 목표에서 사용한 온실가스 통계와 장기 에너지 전망 모형에서 사용하는 온실가스 통계의 차이 때문에 목표 감축률을 이용하여 다시 산출하였다. 즉, '2022 장기 에너지 전망'은 '2030 NDC 상향안'과 '2050 탄소중립 시나리오안'에서 제시한 에너지 부문 국가 배출 감축률을 이용하여 2030년과 2050년의 목표 배출량을 계산한다. '2030 NDC 상향안'과 '2050 탄소중립 시나리오안'은 각각 2030년과 2050년의 총에너지, 산업 부문, 수송 부문, 건물부문의 온실가스 감축량과 감축률을 제시하고 있다. 시나리오 분석에 사용된 모형은 국가 에너지밸런스에 IPCC 96 가이드라인에 따른 국가 고유배출계수를 적용하여 배출량을 계산한다.

□ 에너지 효율 기술 개발의 차이에 따른 시나리오 설계

목표 시나리오는 위의 표 1.1에 계산된 온실가스 배출량 목표를 달성하기 위한 부문별 노력을 분석한다. 감축 수단의 차이점은 효율개선과 전기화의 강도이다. 효율개선과 전기화를 시나리오로 비교하는 이유는 다음과 같다. IEA는 'WEO 2022'에서 탄소중립의 달성은 청정 에너지 보급과 에너지 수요의 억제에 달려있다고 본다. 청정에너지 보급은 태양광 및 풍력, 바이오에너지, 수소 및 수소기반 연료 등을 포함한다. 하지만 청정에너지 보급만으로는 빠르게 증가하는 에너지 수요로 인한 배출 증가를 상쇄하고 탄소중립으로 갈 수 없다. IEA는 에너지 수요 증가를 억제하는 핵심 수단을 에너지 효율, 전기화 그리고 회피수요(Avoided demand) 및 행동 변화로(Behavioral change) 구분하고 있다.⁷

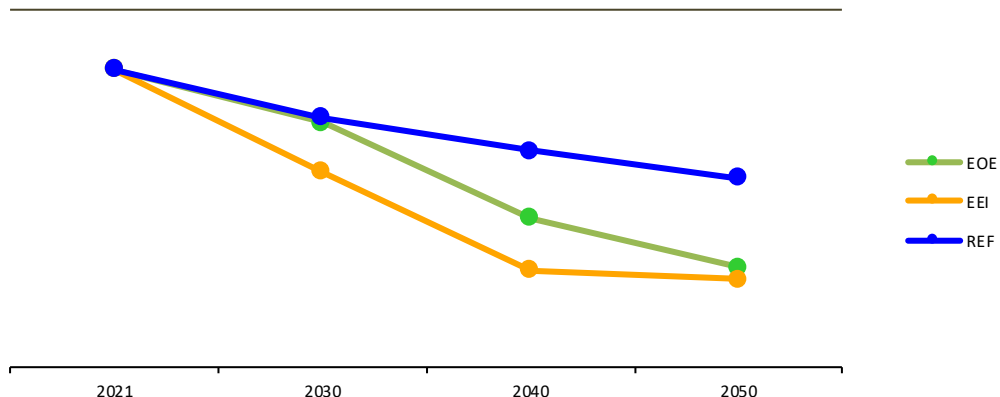
본 전망은 기술적 핵심 수단인 에너지 효율과 전기화에 분석의 초점을 맞추고 있다. 에너지 효율은 기존 기술의 효율 개선을 의미한다. 기존 기술이란 연료 대체 없이 기존 연료를 사용하는 기기/설비를 말한다. 예를 들어, 가스를 사용하는 직접가열용 설비나 전기를 사용하는 모터의 효율을 개선하는 것이다. 산업 부문의 에너지 효율 개선을 위한 기술개발은 주요 공통 기기의 효율 개선을 의미한다. 건물 부문의 에너지 효율 개선은 기존 보일러의 성능과 건물 단열 기술의 개선이다. 현재 상황에서도 에너지 소비자가 보편적으로 사용하는 기술보다 효율이 높은 기술들을 시장에서 찾을 수 있다. 한편, 현재 기술 수준으로는 당장 전기화가 어려운 기술도 있다. IEA도 에너지 집약 산업에서 사용하는 에너지의 절반 정도는 400°C 이상의 공정열에 사용되며, 현재 상업화 기술로는 전기화하기 어려운 것으로 보고 있다 (IEA, 2022b). 따라서 기존 연료를 사용하는 기술들은 여전히 효율 개선 투자의 대상이 된다.

⁷ 한편, 회피수요나 행동 변화는 경제 전체에 반응하는 수요함수 또는 생산함수에 반영되기 때문에 따로 구분하지 않았다. 하지만 행동 변화의 경우 정부의 인센티브 및 홍보 활동 때로는 규제로 인해 정책 효과를 얻을 수 있는 부분이 여전히 남아있다.

에너지 효율 개선은 기술개발과 설비 보급을 통해 이루어진다. 따라서 에너지 효율을 대폭적으로 개선하기 위해서는 두 가지의 투자가 필요하다. 하나는 효율이 개선된 기기나 설비를 현장에 도입하기 위한 설비 투자와 건설 투자이다. 물론 소비자의 전기차 구입과 같은 가계 소비지출도 있다. 시나리오 설계와 관련된 설비 및 건설 투자는 뒤에서 다시 설명하도록 한다. 다른 하나의 투자는 효율을 개선하기 위한 기술개발 투자이다. 설비를 생산하는 기업이 시장 경쟁에서 생존하기 위해 스스로 기술개발 투자를 해야 하지만, 일부 기술들에 대해서는 민간 투자를 촉진하기 위한 정부의 유도가 필요하고 어떤 경우는 정부의 직접 투자가 필요하기도 하다.

시나리오 설계에서 주목하는 것은 기술개발 투자가 대규모로 진행된다고 하더라도 기술개발의 성과가 즉각 나타나지 않을 수 있다는 점이다. 개발 자체에 시간이 걸리기도 하고 개발된 기술을 상용화하거나 널리 확산하는데 시간이 걸리기 때문이다. 다음 그림 1.1은 산업 부문의 직접가열용 첨단 설비의 에너지 효율을 사례로 시나리오를 구별하는 에너지 효율 개선의 차이를 비교해서 보여주고 있다. EEI에서는 기술개발 투자의 성과가 즉각적으로 나타나면서 2050년까지 목표로 하고 있는 에너지 효율 개선의 약 50% 수준을 2030년까지 달성하며 2040년에 약 95%까지 도달한다. 반면 EOE에서는 기술개발 투자의 성과가 더디게 나타나면서 2030년까지는 REF와 거의 비슷하게 에너지 효율이 개선되다가 이후 에너지 효율이 빠르게 개선되는 것을 가정하고 있다.

그림 1.1 산업 부문 직접가열용 신규 설비의 시나리오별 에너지 효율 예시



기술개발이 더딜 경우, 특히 기한이 얼마 남지 않은 2030년 감축 목표 달성을 위해서는 배출 감축을 위한 다른 수단들을 동원해야 한다. 목표 달성을 위해 동원할 수 있는 수단은 전기화가 가장 유력하다. 산업이나 건물 부문의 전기화는 열 공급 연료의 대체를 의미하며, 시나리오

에서 가정하는 전기화는 히트펌프의 보급이 주를 이루고 있다. 수송 부문의 경우 효율 개선과 전기화가 동시에 발생한다. 시나리오 분석에서는 내연기관 자동차의 연비 개선을 효율 개선, 전기 자동차로의 대체를 전기화로 구분하고 있다. 즉, 수송 부문의 전기화는 배터리나 연료전지 전기차라는 현재 시장에 존재하는 기술의 경쟁력을 의미하며, 내연기관 자동차의 판매 금지 시점을 설정하는 것으로 전기화의 속도를 분석한다. 짐작할 수 있듯이, 기술개발 및 보급 성과에 따라 감축 목표 달성에 필요한 전기화의 수준이 달라진다. 즉, EEI에서도 빠른 효율 개선과 함께 전기화가 동반되며, EOE에서는 효율 개선이 더딘 만큼 초기 전기화가 강력하게 추진되어야 한다.

최종 목표 시점으로 설정된 2050년에는 두 시나리오 모두 첨단 기술의 에너지 효율이 비슷한 수준으로 개선되며 목표 달성을 위해 필요한 전기화의 수준도 유사하다. 이는 탄소중립에 필요한 기술개발과 전기화 수준이 비슷하다는 것을 의미하는 것으로, 수소를 비롯한 미래 기술을 목표 시나리오에 동일하게 적용한 것도 영향을 미친다.⁸

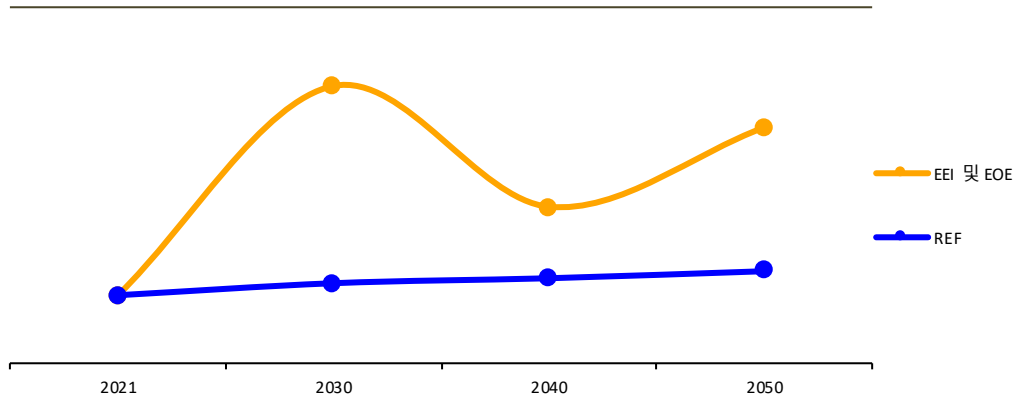
물론 기술개발이 빠르게 이루어지고 전기화도 대폭 진행할 수 있다. 하지만 여기에는 경제의 자원이 한정되어 있다는 제약이 있다. 신규 설비의 도입이나 기존 설비의 교체는 설비투자를 통해 이루어진다. 건물의 교체를 위해서는 건설투자가 필요하다. 분석 결과, 특히 2030 감축 목표를 달성하기 위해서는 2030년까지 REF 대비 세 배 이상의 설비를 교체해야 하는 것으로 나타났다. 효율 개선과 전기화는 2050 탄소중립을 위해 2040년대 또다시 대규모로 진행되어야 한다. 2040년 이후 교체 설비의 증가는 2030년 이전 도입된 설비의 수명 문제도 있지만 2030년 이후에도 지속되는 에너지 기술개발의 성과를 현장에 도입하기 위해서 필요하기도 하다. 시나리오의 차이를 쉽게 설명하자면, 초기 기존 연료의 고효율 설비를 도입하여 온실가스 배출을 줄이고 후기에 고효율 전기화를 통해 탄소중립에 도달하는지, 아니면 초기 기존 설비의 전기화로 2030 NDC 목표를 달성하고 후기에 전기 설비의 고효율화를 통해 탄소중립에 도달하는지의 차이라고 할 수 있다. 이러한 신규 및 교체 설비 규모는 다음 그림 1.2에서 보여주고 있다. 본 전망에서는 EEI와 EOE에서 고효율 기기나 전기화 기기가 적용되는 설비의 규모는 동일한 것으로 가정하고 있다.

경제 전체 또는 특정 부문의 에너지 효율은 그림 1.1의 신규 기기의 기술 수준과 그림 1.2의 도입 대상 설비 규모에 의해 결정된다. 기술 개발 속도가 빠를수록 그리고 첨단 기술의 도입이 광범위할수록 에너지 소비의 증가를 억제하고 온실가스 배출을 빠르게 감축할 수 있다. 하지

⁸ 기술개발의 성과가 불확실하다는 것을 바탕으로 시나리오를 설계한 것처럼, 2050 탄소중립 상태에서의 기술 수준과 전기화 수준이 크게 다를 수 있다는 것을 비교할 수도 있다. 여기서는 최대의 기술 개발 노력을 기반으로 전기화를 병행하여 온실가스 감축을 추구하고, 잔존 배출원에 대해서는 CCUS를 보급하는 것으로 가정하고 있다.

만 기술 개발 속도에 불확실성이 있고 기술 보급 규모에도 제약이 존재한다. 이러한 제약은 경제 변수의 상호 작용 결과이며, 에너지 및 온실가스 감축 정책은 다시 경제 전체에 영향을 미쳐 전체에서 설정한 것과는 다른 상황으로 귀결될 것이다. ‘2022 장기 에너지 전망’은 이러한 제약 상황에서 2030 NDC 목표와 2050 탄소중립 목표를 달성하는 경로를 비교 분석한다.

그림 1.2 기준 시나리오와 목표 시나리오의 산업 부문 신규/교체 설비 규모 비교



시나리오 결과를 설명하기에 앞서 강조하는 부분이 있다. 시나리오 결과는 시나리오 설계에 사용된 수단과 기술들이 예상된 시점에 실제 도입된다는 것을 의미하지 않는다. 또한 기술들이 실현된다는 것은 상용화 단계로 들어선다는 것을 가정할 뿐 개발된 기술들이 기존 기술 대비 경제적 경쟁력을 갖는다고 보장하지 않는다. 미래 기술이 시장에서 경쟁력을 갖기 위해서는 시나리오 설계에 포함되지 않은 많은 정책적 지원이 필요할 것이다. 시나리오의 결과는 2030 온실가스 감축 목표와 2050 탄소중립을 위해 해당 수단과 기술들이 어느 시점까지 도입되어야 하는지를 보여주고 있으며, 감축 목표 달성을 위해 정책적 대응의 가변성과 다양화를 촉구하는 정책 제언을 의미한다.

□ 기존 시나리오와의 차이점

‘2022 장기 에너지 전망’의 목표 시나리오는 이전의 목표 시나리오나 다른 보고서에서 제시하는 시나리오와는 다소 차이가 있다. 우선, ‘2021 장기 에너지 전망’에서는 정책의 구체화 수준에 따라 정책계획 시나리오(APS, Announced Plan Scenario)와 탄소중립 시나리오(NZE, Net Zero Emission scenario)를 분석하였다. APS는 발표된 계획들 중에서 수단과 일정이 명확하게 제시된 경우에 한해 정책 및 기술 수단들이 계획대로 도입되었을 때 예상되는 에너지 수

급 및 온실가스 배출 경로를 그리고 있다. 반면, NZE는 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오안’의 온실가스 배출 감축 목표를 달성하는 경로를 묘사한다.

IEA에서는 목표선언 시나리오(APS, Announced Pledge Scenario)와 탄소중립 시나리오(NZE, Net Zero Emission Scenario)를 분석하고 있다. IEA의 APS는 여러 국가들이 선언한 2030 감축 목표나 탄소중립 목표가 일정대로 차질없이 달성된다는 가정 하에 온실가스 배출 경로를 그리고 있다. 또한 IEA의 NZE는 2050 탄소중립을 위해 필요한 전 세계의 노력을 설명하고 있다. 이들 시나리오는 핵심적인 정책 및 기술에 대해 고정된 가정을 사용하고 있다. 비록 IEA 보고서가 미래 기술의 불확실성을 언급하고 있기는 하지만 이는 전망의 불확실성을 의미하는 것 인 반면, 본 보고서는 정책 및 기술의 불확실성과 가변성 자체를 시나리오로 설정하였다.

한편, ‘2050 탄소중립 시나리오안’은 CCUS 기술의 포함 여부에 따라 두 가지 시나리오를 분석하고, 그 중에서 CCUS를 포함하지 않은 시나리오를 목표로 제시하였다. CCUS 외에도 내연기관의 대체연료 허용 여부, 국내 수소생산의 일부를 부생·추출 수소로 공급하는 방안 등도 시나리오를 구분하는 기술 선택 사항으로 사용하고 있다. 이는 중요 감축 기술을 감축 수단으로 반영할 지 여부에 따른 시나리오 비교이며 감축 수단의 불확실성과는 차이가 있다.

□ 에너지밸런스의 변경

‘2022 장기 에너지 전망’은 개편된 국가 에너지통계를 처음으로 사용하고 있다. 국가 에너지 수급 통계를 작성하는 에너지경제연구원에서는 기존 에너지밸런스의 문제점을 단순히 수치를 수정하는 차원이 아니라 에너지밸런스의 체계를 국제적인 흐름에 맞게 새롭게 개편한 새로운 에너지밸런스를 2022년부터 발표하고 있다. 본 전망은 전망 시스템 내에 있는 에너지 통계 DB를 전면 교체하고, 전망 결과를 새롭게 바뀐 에너지밸런스에 맞게 도출하였다.

변경된 에너지밸런스는 두 가지 기준의 에너지 소비가 있다. 하나는 소비 부문에서 실제로 사용한 최종소비이고, 다른 하나는 소비 부문이 구입 또는 획득한 에너지상품 수요이다. 최종소비와 에너지상품 수요를 구분하는 핵심 요소는 자가발전으로, 최종소비는 자가발전으로 생산한 전기를 소비로 집계하는 반면, 에너지상품 수요는 자가발전을 위해 투입한 연료를 소비로 집계한다. 또한 철강의 코크스로와 고로의 석탄 투입과 산출은 에너지 전환으로 취급하기 때문에 최종소비에 포함하지 않는다. 대신 석탄 부생가스의 연료 사용과 자가발전이 최종 소비에 포함된다. 본 전망에서는 각 부문의 에너지 소비를 분석할 때 최종소비를 사용하며, 부문별 에너지 소비량을 표시할 때 에너지상품 수요를 사용한다. 온실가스 배출은 에너지상품 수요를 기반으로 계산한다.

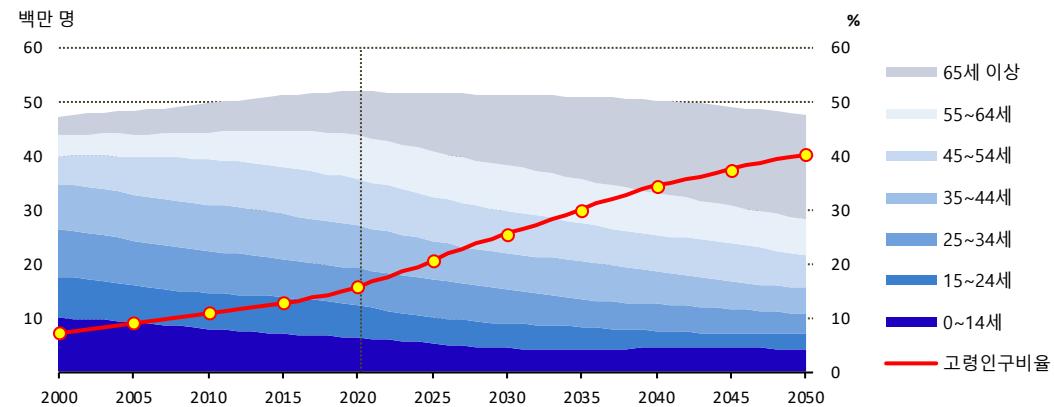
3. '2022 장기 에너지 전망'의 주요 전제

3.1. 인구 및 가구

□ 총인구는 2020년 이후 지속적으로 감소하여 2050년에는 4,736만 명까지 감소 전망

우리나라 인구는 2020년 첫 감소 이후 감소세가 유지되어 2021년에 5,163만 명을 기록하였으며, 2050년에는 4,736만 명까지 감소할 전망이다 (통계청, 2021b)⁹. 우리나라 첫 인구 감소는 당초 2029년으로 예상되었으나 (통계청, 2019), 코로나19으로 인한 사망자 수 증가 및 국내 거주 외국인 수 감소와 합계출산율의 가파른 하락으로 인구 감소가 빠르게 진행되고 있다. 통계청 (2022a)에 따르면 2021년 한국의 합계출산율¹⁰은 전 세계에서 가장 낮은 수준인 0.81명을 기록하였다. 2021년 총 출생아 수는 25만 명으로 지난 해보다 1.2만 명 감소하였으며, 총 사망자 수는 코로나19 여파로 인해 2020년에 비해 1.3만 명 증가한 31.8만명을 기록하였다. 인구가 연평균 -0.3% 수준으로 감소하면서 2050년 최종 4,736만명 수준으로 전망되었다.

그림 1.3 인구 구조 및 고령인구 비율 변화



자료: 장래인구특별추계 (통계청, 2021b)

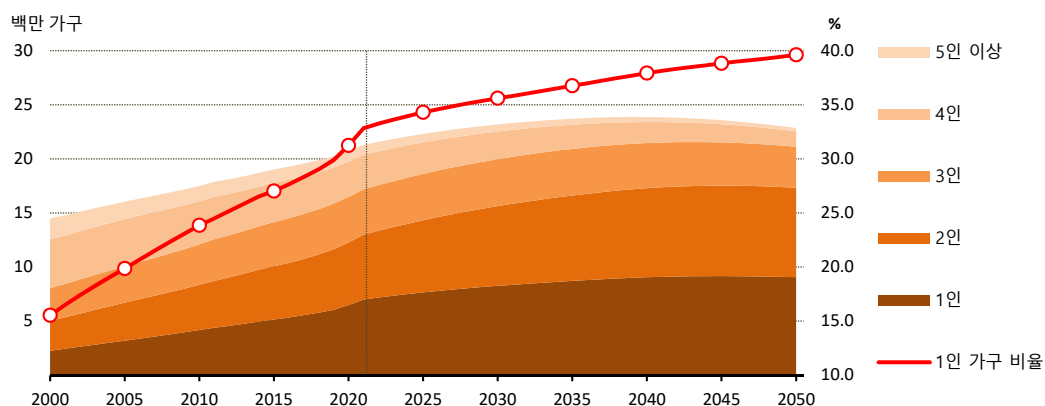
우리나라 인구 구조 변화의 두드러진 특징은 65세 이상의 고령인구 비율의 급격한 증가와 합계출산율의 가파른 하락이다. 1990년대 이후 지속된 낮은 합계출산율로 인해, 전망 기간인

⁹ 2021년 12월 발표된 장래인구추계는 통계청에서 5년마다 작성하고 있다. 기준 전망에서는 기본 추계인 중위 추계 전망을 사용하였다.

¹⁰ 합계출산율은 한 여성의 가임기간(15~49세) 사이에 출산할 것으로 기대하는 평균 출생아 수를 의미하며, 자연출산만으로 인구규모가 유지될 수 있는 합계출산율은 약 2.1명이다.

2050년까지 0~14세 유소년층 인구나 15~64세 생산가능인구 비중이 빠르게 감소할 것으로 보인다. 다만 기대수명의 증가가 해당 연령층 감소 효과를 소폭 상쇄하여, 총인구 감소는 유소년 인구나 15~64세 생산가능인구 하락세에 비해 더디게 진행될 것으로 전망된다. 2050년 기준 고령인구 비중은 40%에 이르러, 2021년 고령인구 비중인 16%에 비해 24%포인트 이상 크게 증가할 것으로 보인다. 반면, 생산가능인구 비중은 2021년 71.6%에서 2050년 47.3%로, 동기간 유소년인구 비중은 11.9%에서 8.8%로 하락할 전망이다.

그림 1.4 가구 구조 및 1인 가구 비율 변화



자료: 장래가구추계 (통계청, 2022b)

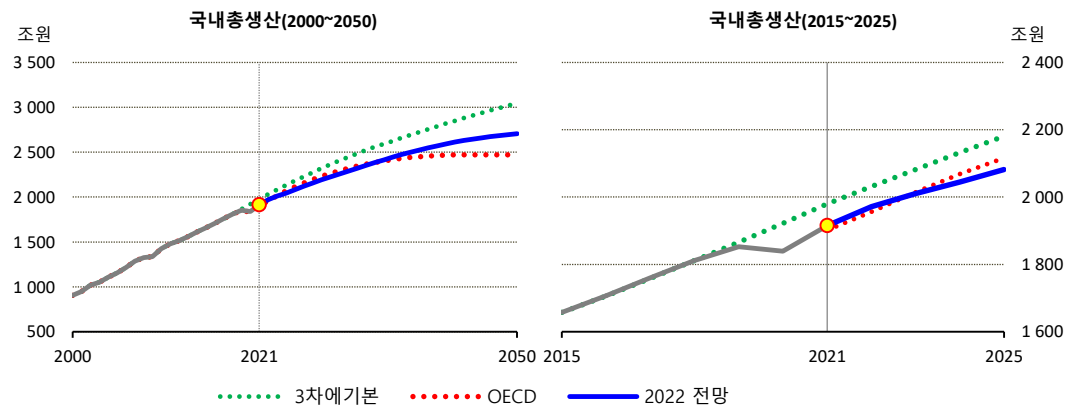
장래가구추계는 통계청의 장래인구추계 전망 2021~2050년 수치를 사용하였다 (통계청, 2019b). 2021년 7.8% 증가에 이르는 1인 가구의 빠른 증가세로 인해, 인구 감소에도 불구하고 가구수는 전망기간동안 큰 변동은 없는 것으로 예측된다. 2021년부터 2039년까지 1인가구와 2인가구 비중이 크게 증가하여 각각 1.4%와 1.7%의 증가율을 보이는 반면, 동기간 4인가구 이상의 비중은 감소해 전체 가수수는 연평균 0.6%로 완만하게 증가할 것으로 보인다. 2039년 2,387만 가구를 정점으로, 연평균 0.4%으로 하락해 2050년 2,285만 가구로 감소할 전망이다. 이러한 추세로 인해, 1인가구는 전체 가구 대비 2021년 32.8%에서 2050년 39.6%까지 상승하여, 기존에 전망되었던 37.7%보다 더 높아져 1인가구 증가가 더욱 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있다 (통계청, 2021a). 이러한 1인가구의 빠른 증가는 혼인 감소와 인구 고령화에 추세에 따른 것으로, 2015~2021년 기간 동안 혼인율은 연평균 7.1% 감소하였으며 65세 고령 1인가구는 6.5% 증가하였다. 우리나라의 가구구성 변화 속도는 최근 들어 더욱 빠르게 진행되어 2019~2021년 기간 동안 혼인율은 연평균 10.1% 감소하였고 고령 1인가구는 8.3% 증가하였다. 가구원 수가 적을수록 1인당 평균 에너지 소비가 증가하는 경향이 있기 때문에, 가구 구성의 변화는 1인당 에너지 소비량을 증가시키는 요인으로 작용할 것으로 보인다.

3.2. 경제 및 산업구조

□ 코로나19 이후로부터 빠른 회복, 그러나 전망 기간 성장률은 지속적으로 둔화

코로나19로 인한 역성장 여파로부터 빠르게 회복하여 우리나라 경제는 2021년 4.15%의 높은 경제성장률을 기록하였다. 2021년은 코로나19로 인한 불확실성 상존에도 불구하고, 대내외 경제활동 재개로 인해 빠른 경제 회복세가 이어졌다. 국제적인 반도체 업황 호조 등으로 인해 수출 증가가 견조한 흐름을 유지하였다. 소비 부분에 있어서는 반복된 코로나19 확산과 백신 접종률 확대, 낮은 치명률 등으로 경제주체들이 적응 행태를 보였으며, 온라인 소비 확산이 오프라인 소비 위축을 보완한 것으로 보인다(기획재정부, 2021).

그림 1.5 국내총생산 및 경제성장률 추이



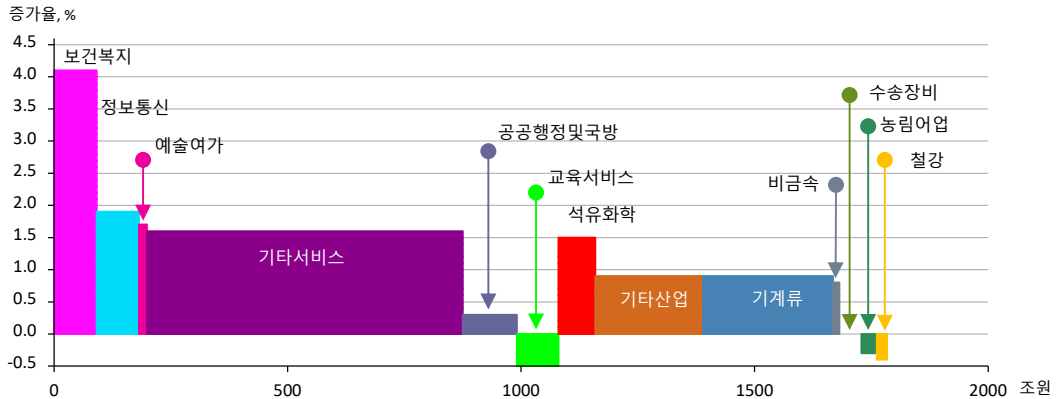
자료: OECD, 2021, 'THE LONG GAME: FISCAL OUTLOOKS TO 2060 UNDERLINE NEED FOR STRUCTURAL REFORM'

‘2022 장기 에너지 전망’은 KDI의 장기 잠재성장률 (KDI, 2022)을 경제 전제로 사용한다. 우리나라의 국내총생산(GDP)은 2000년 이후 연평균 성장률이 5%를 하회하는 저성장 기조로 전환되었다. 2008년 금융위기 이후 총요소생산성 증가율 둔화와 자본 투자의 부진(석병훈, 이남강, 2021) 그리고 인구 감소의 영향으로 경제성장률의 둔화 추세가 심화되면서 ‘2022 장기 에너지 전망’의 경제성장률은 ‘제3차 에너지기본계획’에 비해 낮아진다. ‘제3차 에너지기본계획’에서는 2021~2050년 경제성장률이 1.5%에 이를 것으로 예상되었으나, 본 전망의 경제성장률은 1.2%에 그칠 것으로 예상된다. 2050년 GDP는 ‘제3차 에너지기본계획’ 대비 11.2% 감소한 2,704조원 규모일 것으로 분석된다. 다만, 이는 생산가능인구의 급격한 감소로 인한 경제 둔화를 예상한 OECD의 ‘2060년까지 장기 재정 전망 보고서 (2021.10)’의 전망 결과 대비 약 9.5% 높은 수준이다.

□ 서비스업이 경제 성장을 주도하며, 제조업은 완만하게 성장

2021~2050년 경제 성장을 주도하는 업종은 서비스업으로, 서비스업은 제조업 대비 상대적으로 높은 연평균 1.5%의 성장률을 보이며 향후 서비스 성장 위주의 경제구조가 형성된다. 서비스업 내에서 성장을 견인하는 세부 업종은 보건/사회복지로, 인구 고령화로 인한 의료 및 복지 부문 수요 증가로 보건/사회복지는 연평균 4.1%로 성장할 것으로 전망된다. 정보통신업은 인공지능과 빅데이터 관련 산업의 발전과 지속적인 온라인 기반 경제 확대로 1.9% 성장률을 보인다. 소득 증가에 따른 삶의 질 추구로 인해 여가서비스 역시 연평균 1.7%의 높은 성장세를 보일 것으로 전망된다. 그러나 출생률 급감으로 인한 인구구조의 변화는 학령연령층 인구 비중을 크게 감소시켜 교육서비스는 연평균 0.5% 감소할 전망이다.

그림 1.6 주요 업종별 부가가치 증가율 및 비중 변화(2021~2050)



주: 건설업의 부가가치는 soc를 포함

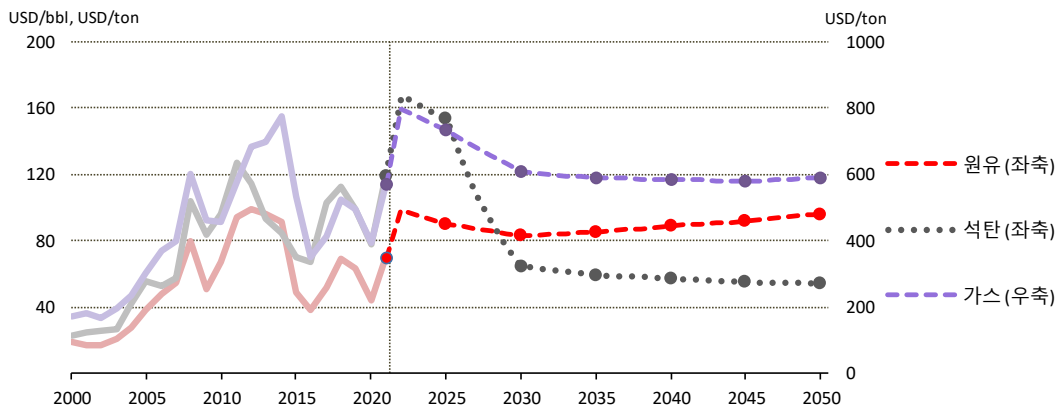
제조업은 2021~2050년 연평균 0.8% 상승에 그칠 것으로 분석된다. 제조업 내에서는 석유화학 산업이 연평균 1.5%로 높은 성장세를 보이는데, 전통 화학제품 및 수소 수요의 증가가 이러한 성장을 이끌 것으로 보인다. 2030년까지 기존 전방산업과 기타화학제품 성장이 이러한 성장을 견인하며, 장기적으로는 탄소중립의 영향으로 고부가제품 및 친환경제품에 대한 수요가 석유화학 성장을 이끌 전망이다. 정보통신 기술의 발전은 반도체, 디스플레이, 정보통신기기 등을 포함하는 기계류 산업의 성장을 견인하여, 기계류는 연평균 0.9% 성장할 전망이다. 환경규제 확대에 따른 불확실성 증가로 해운 시황 약세가 예상되는 가운데, 친환경 수송장비 수요 증가로 수송장비는 전망 기간 동안 현 수준을 유지할 것으로 보인다. 온실가스 배출이 높은 철강업은 탈탄소 소재로의 전환 및 탄소중립을 위한 규제 강화 등 요인으로 인해 일정 기간 정체 후 2030년부터 연평균 0.4% 감소할 전망이다.

3.3. 에너지 가격

□ 기준 시나리오의 원유 가격은 상승하지만 천연가스 가격은 2030년 이후 정체

‘2022 장기 에너지 전망’의 에너지 도입가격은 ‘WEO 2022’의 국제 에너지 가격 전망을 기반으로 작성되었다. REF의 가격 전제는 STEPS 가격 전망을 사용하였으며 목표 시나리오인 EEI와 EOE에서는 NZE의 가격 전망을 반영하였다.

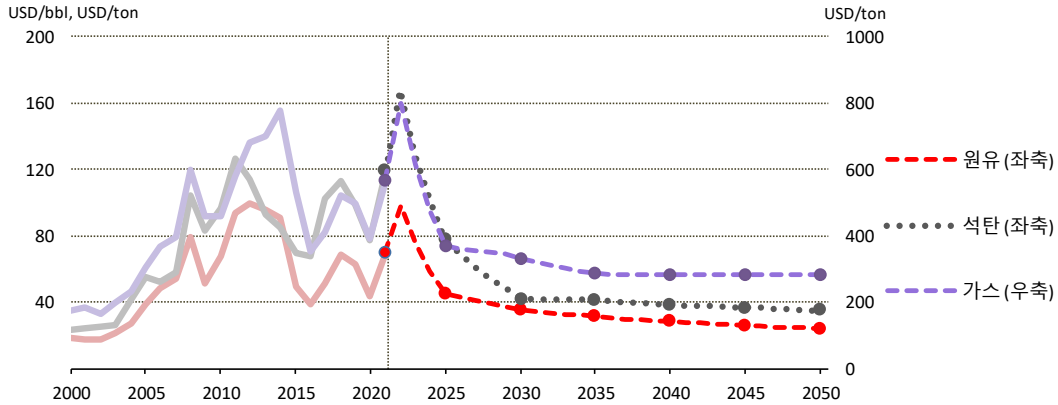
그림 1.7 기준 시나리오 원유, 천연가스, 석탄 도입 가격 전망



자료: IEA (2020), '2022 World Energy Outlook'

원유 도입 가격은 2020년에 코로나19의 여파로 급락하였으나, 이후 2021~2022년 기간 동안 코로나19 여파로부터의 회복과 최근 러-우 전쟁으로 인해 가격 상승이 두드러졌다. 국제 분쟁이 지속되며 원유시장 불확실성이 여전히 상존하나, 미국과 중동을 중심으로 산유국들이 공급 확대 움직임을 보이며 현 국제 유가상승은 단기적인 충격에 그칠 것으로 보인다. 이러한 일시적 가격 급등의 여파는 2020년대 중반에 이르러 소멸되며 기존 장기 가격 추세로 복귀할 것이 예상된다. REF 하에서 원유 가격은 2030년 배럴당 80달러 초반까지 하락할 것으로 보인다. 장기적으로는 전세계적으로 투자 전망 불확실성과 더불어 대형 석유 및 가스회사의 탈탄 화수소화(dehydrocarbonization)로 인해 원유 가격은 꾸준히 상승하여 2050년 90달러 수준에 도달할 전망이다 (IEA, 2020). 천연가스는 인도, 중국, EU의 수요 증가와 원유 가격 상승(석유 연동 공급 계약)이 가격 상승 압력으로 작용하나, 신규 생산 용량 증가로 인해 2030년 이후 가격은 정체할 전망이다. 석탄은 2022년 상반기 톤당 167달러 수준을 기록하였는데, 원유 및 천연가스 가격 상승으로 인한 석탄 수요 증가로 가격이 급등한 것으로 보인다. 그러나, 이러한 단기 가격 충격은 원유와 마찬가지로 2030년 장기추세로 복귀하여 하향 안정화될 것으로 전망된다.

그림 1.8 목표 시나리오 원유, 천연가스, 석탄 도입 가격 전망



자료: IEA (2020), '2022 World Energy Outlook'

EEI와 EOE는 원유와 천연가스 가격에서 REF와 차이가 두드러진다. 목표 시나리오에서는 각국의 탄소중립 실현을 위한 노력이 크게 고려되면서, 전통적인 화석연료 수요의 정점 시기가 앞당겨진다. 러시아 공급을 대체하기 위한 지속적인 투자와 더불어 수요 감소를 위한 강도 높은 노력이 진행되면서 현재 원유 시장경색이 빠르게 회복된다. 또한, 탄소중립을 달성하기 위한 강도 높은 정책으로 원유 가격은 2050년까지 지속적으로 하락하여 배럴당 24달러에 이를 것으로 보인다. 천연가스와 석탄 수요 역시 급감하여 향후 10년 내 천연가스는 생산 한계비용인 톤당 300달러, 석탄은 톤당 40달러 수준으로 하락한 뒤 완만한 하향세를 보일 전망이다.

3.4. 기온 및 냉·난방도일

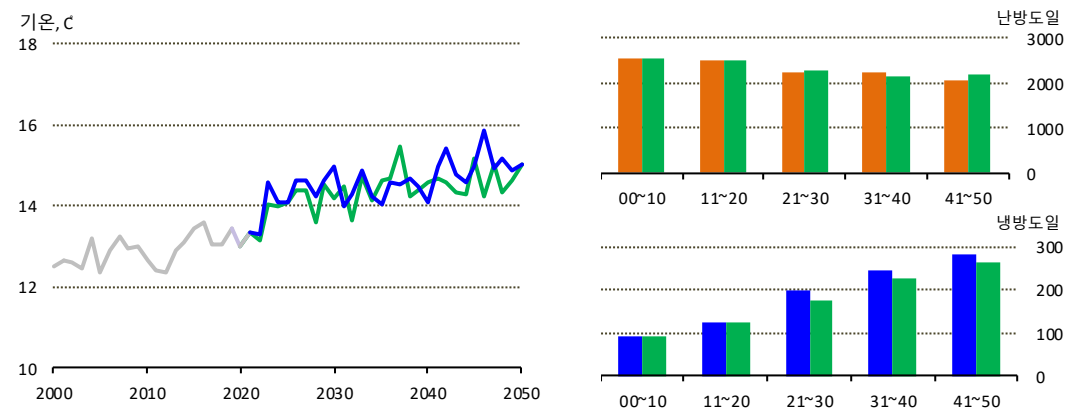
□ 전망 기간 난방도일은 점차 감소하고 냉방도일은 증가하는 온난화 현상이 발생

‘2022 장기 에너지 전망’은 기상청이 IPCC 6차 평가보고서의 SSP(Shared Socioeconomic Pathways)를 기반으로 우리나라 내 59개 관측소 기준으로 기후변화 시나리오의 편차를 보정한 전국 평균기온 변화 시나리오를 전제로 활용한다. SSP는 기후변화 적응 노력과 더불어 온실가스 감축 여부에 따라 인구, 경제, 토지이용, 에너지 사용 등 미래 사회경제 발전상을 반영한 IPCC의 시나리오이며, 가장 많이 인용되는 시나리오는 SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5의 표준 경로이다 (O'Neil, et al., 2014). SSP1-2.6은 사회 불균형의 감소와 친환경 기술의 빠른 발달로 기후변화가 완화된 저배출 경로이며, SSP3-7.0은 사회경제 발전의 불균형과 제도적 제한으로 인해 기후변화에 취약한 상황에 놓이는 사회경제 구조 시나리오를 의미한다. SSP2-4.5는 기후변화 완화 및 사회경제 발전정도가 중간단계인 경우를 의미한다 (국립기상과학원,

2020). ‘2022 장기 에너지 전망’에서는 REF의 전제로 SSP2-4.5 시나리오를 사용하며, EEI와 EOE의 평균기온은 SSP1-2.6을 사용한다. SSP 기온 시나리오를 사용함으로써 국제적 정책 환경 변화로 인한 전 지구적 환경 변화를 전망에 반영하였다.

REF에서 2011~2020년 평균 기온은 13°C였으나, 2021~2030년 14.3°C, 2031~2040년 14.4°C로 상승하며 2041~2050년에는 평균 15.1°C에 이를 것으로 보인다. 이처럼 평균 기온이 점차 상승하면서 난방도일이 점차 감소하는 반면 냉방도일은 크게 증가한다. 2011~2020년 동안 평균 냉방도일은 124.7도일에 불과했으나 2021~2030년 198.6도일, 2041~2050년에는 282.8도일까지 상승하여 2010년 대비 126.7% 증가할 것으로 보인다. 지구 온난화의 영향으로 난방도일은 감소해 2021~2030년 2215도일에서 2041~2050년 2062.1도일 수준으로 2010년 대비 18% 줄어든 것으로 전망된다.

그림 1.9 시나리오별 연평균 기온과 10년 구간 평균 냉·난방도일



주: 파란색은 SSP2-4.5 시나리오를 사용한 기온 전제(난방도일은 주황색)이며, 초록색은 SSP1-2.6 시나리오를 사용한 기온 전제

목표 시나리오의 기온 전제에서도 평균 기온의 상승, 난방도일의 감소, 냉방도일의 증가라는 전체적인 추세는 REF와 유사하다. 하지만, 기후변화 적응 노력에 의한 결과가 축적되어, 2040년대 이후 평균 기온은 14.6°C로 REF에 비해 0.4°C 더 낮은 수치를 보인다. 냉방도일 역시 2041~2050년 261.6도일로 REF 대비 21도일 낮고, 난방도일은 2185.3도일로 123.2도일 높은 것으로 전망된다. 기후 변화에 대한 노력이 축적된 2040년대를 보면, 냉방도일의 표준편차는 REF와 목표 시나리오에서 모두 44도일 수준으로 나타나지만, 난방도일의 표준편차는 REF에서 131도일이고 목표 시나리오에서는 97.1도일로 큰 차이를 보인다. 이러한 표준편차 차이는 REF에서 점차 기후 편차가 크게 확대될 가능성을 의미한다.

제2장 기준 시나리오 전망 결과

1. 기준 시나리오(REF)의 주요 결과

□ 코로나19 침체에서의 회복과 온실가스 배출 감축을 향한 발걸음

코로나19가 처음 확산되기 시작한 2020년에는 다양한 수준의 방역 대책으로 경제 충격이 상당하여 전세계적으로 경제 활동과 에너지 소비가 감소하였다. 우리나라는 세계 주요 국가들 중에서는 감염 피해로 인한 경제 충격을 작게 입었음에도 불구하고 국내총생산이 전년 대비 0.7%,¹¹ 에너지 소비는 3.4% 감소¹² 경험하였다. 에너지상품 측면에서는 수송 연료와 산업용 원료의 감소로 석유 소비가 가장 크게 줄어들었으며, 전기 소비는 2019년에 이어 두 해 연속으로 감소를 기록하였다. 코로나19 피해의 세계적인 확산 속에서도 성공적인 방역을 바탕으로 경제가 회복되면서 2021년에는 국내총생산이 2010년 이후 가장 높은 4.1% 성장을 기록하였고 (한국은행, 2022), 에너지 소비도 전년 대비 4.7% 증가하였다 (에너지경제연구원, 2022a).

글상자 2.1 에너지밸런스 개편으로 인한 총에너지 소비의 변화

장기 에너지 전망의 결과를 설명하기에 앞서 이번 장기 전망에 처음 반영된 개정 에너지밸런스의 변화를 간단히 소개한다. 개정 에너지밸런스의 가장 큰 변화는 에너지전환공정이 다양해지고 에너지상품이 세세하게 분류되었다는 점이다. 우리나라의 연간 에너지 흐름을 상세하게 파악하는 확장 에너지밸런스에서는 기존의 발전 및 지역난방 부문을 발전전용, 열병합, 열전용 등 생산 기술에 따라 재분류하였으며, 이 외에도 석유정제, 철강의 코크스 및 고로 공정 등 에너지의 전환이 발생하는 모든 부문을 에너지전환공정에서 집계한다. 특히 석유정제는 화학공정에서 정제공정으로 환류되는 리턴납사를 반영하기 때문에 기존 에너지밸런스의 통계 중복 문제를 해결하고 있다. 한편, 확장 에너지밸런스에서는 IEA 통계와 동일하게 자가발전을 전환공정으로 취급하며, 간이 에너지밸런스에서는 자가발전을 최종소비로 취급한다. 따라서 두 에너지밸런스를 비교함으로써 자가발전 투입과 전기 생산을 파악할 수 있다. 에너지상품 측면에서는 석탄제품과 재생에너지가 상세하게 구분되었다.

에너지전환공정의 다양화와 함께 기존 에너지밸런스의 에너지전환 자체소비 항목도 에너지산업 자체소비로 확대되었다. 특히, 석유정제가 에너지산업에 포함되면서 기존 밸런스에 누락되었던 정유산업의 에너지 소비가 포함되었다. 반면, 최종소비 부문인 수송 부문에서는 국제기준에 따라 국제 해운 및 항공을 노선 기준으로 변경함에 따라 기존 자국적 항공기 및 선박의 연료 소비가 국제병커링으로 변경되었다.

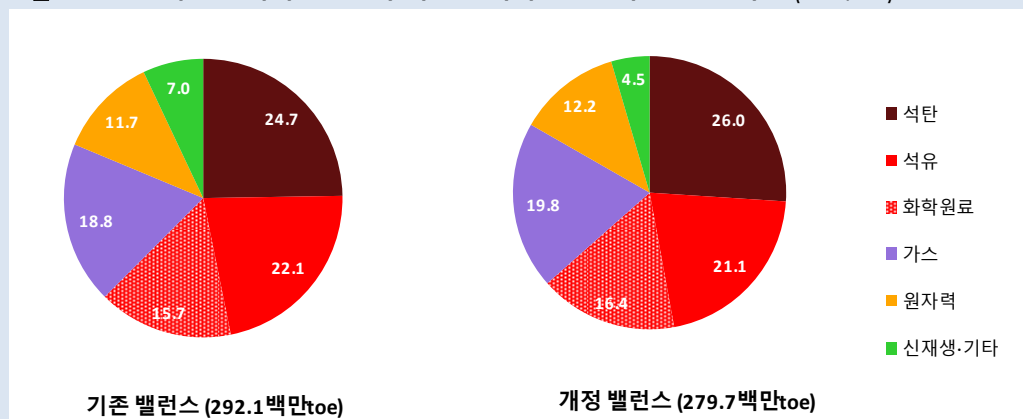
변경된 에너지밸런스에 따르면 우리나라 총에너지소비는 2000년 189.1백만toe에서 연평균 2.0% 증가하여 2020년 279.7백만toe를 기록하였다. 기존 에너지밸런스에서는 같은 기간 193.2백만toe에서 292.1백만toe로 증가한다. 통계 차이가 가장 큰 에너지상품은 재생에너지이며, 이어서 석유 소비의 차이가 큰 것

¹¹ e-나라지표, 국내총생산 및 경제성장률(https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2736)

¹² 에너지밸런스의 일차 에너지 소비가 아니라 석유정제 전환공정을 제외한 총에너지 소비로 계산한다. 총에너지 소비는 기존 에너지밸런스의 일차 에너지 소비와 동일한 개념이다.

으로 나타난다. 재생에너지의 차이는 화석연료와 중복되는 신에너지가 제외된 것과 바이오·폐기물의 조정 때문인 것으로 파악된다. 석유는 리턴납사의 중복이 제거되지만 그동안 누락되었던 석유정제업의 석유소비량이 추가되면서 소비 총량의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 개정 에너지밸런스에 의하면 2020년 우리나라 총에너지소비에서 수력을 포함한 재생에너지가 차지하는 비중은 4.5%에 불과한 것으로 계산된다. 반면 기존 에너지밸런스에서는 재생에너지 비중이 7.0%인 것으로 나타난다. 개정 에너지밸런스의 경우 총발전에서 재생에너지 발전이 차지하는 비중은 2020년 6.8%이다. 이는 상용자가를 포함한 총발전에서 재생에너지 비중을 의미한다. 사업자 발전에서 재생에너지 발전의 비중은 7.8%로 계산된다. 총발전의 재생에너지 비중이 낮은 이유는 산업 부문의 부생가스 및 기타 발전량이 큰 것이 원인이다.

그림 2.1 기존 에너지밸런스와 개정 에너지밸런스의 2020년 비교 (단위: %)



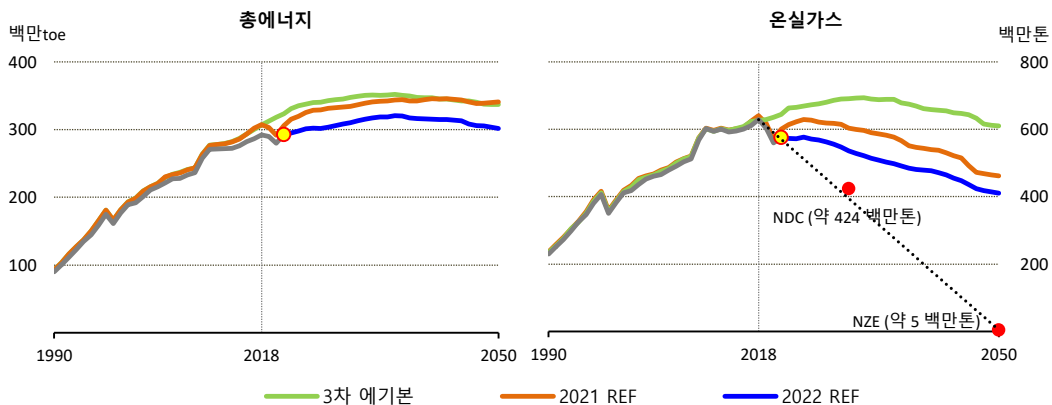
최종 에너지상품 소비는 202.7백만toe로 기존 에너지밸런스 222.6백만toe에 비해 19.9백만toe 적은 것으로 나타났다. 부문별로는 산업과 수송 부문의 소비 차이가 크다. 산업 부문의 차이는 리턴납사에서 발생하며, 수송 부문의 차이는 국제벙커링의 변경으로 발생한다. 전망의 산업구조 전제에서 석유화학의 생산 증가가 빠르다는 점과 항공과 해운에서 국제 부문이 차지하는 비중이 크다는 점은 다른 상황이 동일할 때 개정 에너지밸런스로 바뀌면서 에너지 수요 전망이 더 낮아지는 효과를 발생시킨다.

‘2022 장기 에너지 전망’의 기준 시나리오(REF)에서는 우리나라 총에너지 수요가 2021년 292.8백만toe에서 연평균 0.1% 증가하여 2050년에는 302백만toe에 도달하는 것으로 전망된다. 이는 국내총생산이 2021년에서 2050년까지 41.2% 증가하는 동안 총에너지 수요는 3.1% 증가하는 것을 의미한다. 그 동안의 온실가스 및 미세먼지 저감 노력이 향후에도 유지되면서 에너지부문 온실가스 배출은 2021년 575.5백만톤-CO₂eq에서 2050년 410백만톤-CO₂eq로 감소한다. 온실가스 배출 감소는 총에너지 수요 증가의 둔화, 재생에너지 보급 확대 그리고 석탄 기력 발전 감소의 영향이 크다.

□ 총에너지 수요 증가의 둔화와 온실가스 배출 감소

경제 성장, 에너지 수요, 온실가스 배출의 탈동조화는 이전 시기보다 빠르게 진행된다. 에너지 효율 개선을 통해 에너지 사용을 줄이는 것이 자원 고갈과 기후 변화에 대응하기 위한 기본적인 정책 수단이기 때문에 GDP와 총에너지 수요의 탈동조화가 발생한다. 하지만, REF의 온실가스 배출은 '2030 NDC 상향안'이나 '2050 탄소중립 시나리오안'에서 설정한 2030년과 2050년의 온실가스 배출 목표에 비하면 여전히 높은 배출 수준을 보이고 있다. 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서는 REF보다 2030년까지 연간 배출량 약 112백만톤-CO₂eq, 2050년까지는 연간 배출량 405백만톤-CO₂eq를 추가적으로 줄여야 한다.

그림 2.2 총에너지 소비 및 에너지 부문 온실가스 배출 전망 비교



주: NDC 및 NZE 목표 배출량은 '2030 NDC 상향안'과 '2050 탄소중립 시나리오'의 목표 감축률을 이용하여 재계산. 총에너지 온실가스 감축 목표는 CCUS를 포함

기존 전망과 비교하면, 총에너지 수요와 온실가스 배출이 대폭 감소한 것으로 나타난다. 하지만 전망의 감소는 에너지 소비 절감이나 효율 개선보다는 에너지밸런스의 개편과 경제성장의 둔화가 더 큰 요인이다. GDP에 대한 에너지원단위를 비교하면 '제3차 에너지기본계획(이하 제3차 예기본)'이나 '2021 장기 에너지 전망' 그리고 '2022 장기 에너지 전망'의 차이가 크지 않은 것으로 분석된다. 특히, 2021년 전망과 이번 전망의 에너지원단위는 2021년에서 2050년 사이 각각 27.7%와 27.0% 개선되는 것으로 유사하게 전망된다.

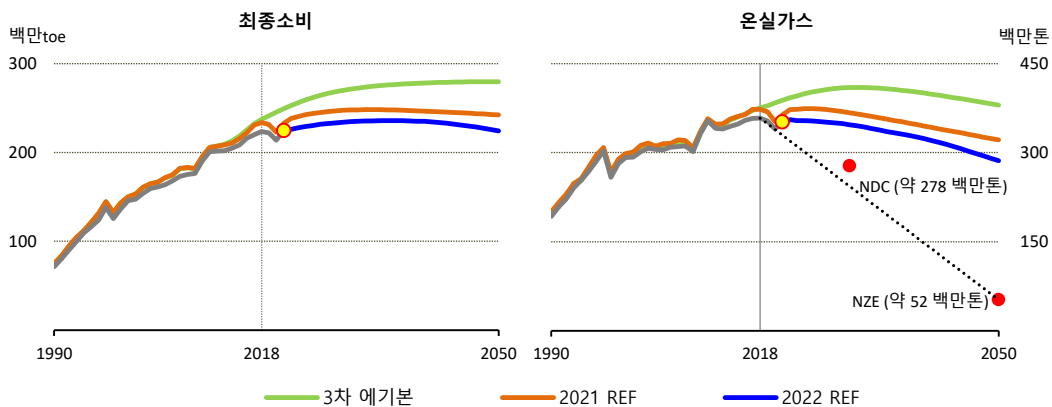
반면 '제3차 예기본'에 비해서 온실가스 배출은 크게 감소한다. 이는 '제9차 전력수급기본계획(이하 제9차 전기본)'의 석탄 발전 연료 대체 및 폐지 기조가 '제10차 전력수급기본계획(이하 제10차 전기본)'에서도 유지되는 것이 큰 영향을 미친다. '제9차 전력수급기본계획'은 운영 기간이 30년을 넘는 석탄 화력발전기를 모두 폐지하거나 연료전환하기로 하였다. '장기 에너지

지 전망'에서는 전력의 계획기간 이후에도 정책 기조가 계속 유지된다는 가정 하에 석탄 화력 발전기의 폐지 일정을 계산하였다. REF에서 GDP 대비 온실가스 배출 원단위는 2021년에서 2050년 사이 49.5%가 개선될 것으로 전망된다. 온실가스 배출이 지속적으로 감소하지만, '2030 NDC 상향안'이나 '2050 탄소중립 시나리오안'의 목표에는 크게 미치지 못할 전망이다. 특히, 산업 부문과 서비스 부문을 중심으로 한 단기적인 에너지 수요의 급증은 2030 NDC 감축 목표 달성을 어렵게 한다.

□ 최종소비 부문의 에너지 효율 개선과 온실가스 배출

최종소비 부문의 에너지상품 수요는¹³ 2021년 224.5백만toe에서 2050년 224.2백만toe로 현재와 거의 같은 수준을 유지할 전망이다. 최종소비 부문의 에너지 수요는 2030년대 중반 약 236백만toe 수준에서 정점을 기록한 후 점차 감소한다. 최종소비의 증가는 대부분 산업과 서비스에서 발생한다. 하지만, 산업의 생산활동과 소득 증가에도 불구하고 에너지 효율이 꾸준히 개선되면서 최종소비자의 에너지 소비 증가는 상당히 억제될 전망이다. 수송 부문은 내연 기관 자동차가 전기 자동차로 상당부분 대체되면서 에너지 소비가 크게 감소한다. 최종소비 부문의 에너지 수요가 현재와 비슷한 수준을 유지하는 가운데, 최종소비 부문의 온실가스 직접배출은 꾸준히 감소한다. 최종소비 부문의 온실가스 배출은 2021년 351.5백만톤-CO₂eq에서 2050년 286백만톤-CO₂eq으로 줄어든 전망이다.¹⁴

그림 2.3 기준 시나리오(REF)의 최종 소비와 온실가스 배출



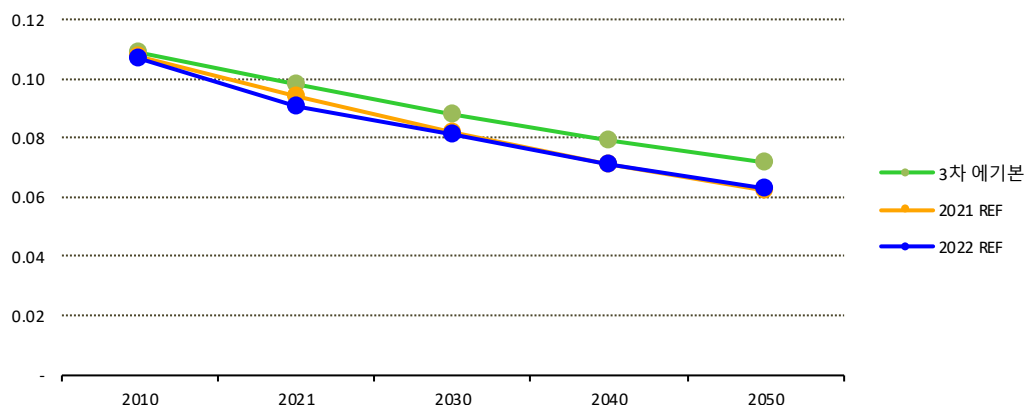
주: NDC 및 NZE 목표 배출량은 '2030 NDC 상향안'과 '2050 탄소중립 시나리오'의 목표 감축률을 이용하여 재계산

¹³ 에너지밸런스는 석유정제를 에너지산업 자체소비로 분류하지만, 여기서는 석유정제를 산업 부문에 포함하였다. 에너지상품 수요는 자가 생산의 투입을 집계하는 간접 에너지밸런스 기준의 에너지 수요를 의미한다.

¹⁴ 2022년 355.2백만톤-CO₂eq로 증가한 이후 지속적으로 감소한다.

GDP와 에너지 수요의 탈동조화 현상은 대부분 최종소비 부문의 에너지 효율 개선에서 비롯한다. 화학의 원료용 에너지상품 소비를 제외한 최종소비 부문의 에너지원단위는 2021년에서 2050년 사이 약 30.7% 개선될 것으로 예상된다. 에너지원단위 개선은 전기자동차로의 대체가 활발히 진행되는 수송 부문이 주도할 전망이다. 전기자동차로의 전환은 전기화이기도 하면서 에너지 효율의 대폭적 개선을 동시에 보여준다. 한편, 산업 부문은 동력이나 전기화학 등 전기 설비 중심으로 효율 개선이 빠르게 진행된다. 이는 산업 구조 변화와 더불어 산업의 에너지원단위 개선을 이끄는 기술적 요인이다. 가정 부문은 아파트로 주거 형태가 바뀌는 것이 주로 영향을 미치면서 전망 초기에 에너지원단위의 감소가 빠르게 나타난다. 서비스 건물은 기기 및 설비의 효율 개선이 더 큰 영향을 미치면서 전망 후반기에 에너지원단위 개선이 빠르게 진행된다.

그림 2.4 기준 시나리오(REF)에서 최종소비 부문의 에너지원단위 개선 추이



주: 화학업종의 원료용 에너지 수요를 제외

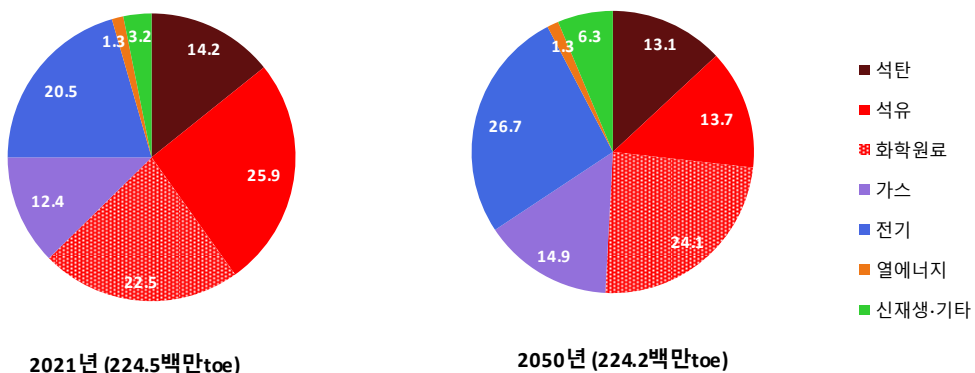
그림 2.4는 석유화학의 원료용 소비를 제외한 최종소비 부문의 에너지원단위를 비교하고 있다. 원료용 소비를 제외하였기 때문에 기존 전망과의 통계상 차이는 어느 정도 제거된 결과를 보여주고 있다. ‘제3차 예기본’과 비교할 때, ‘2022 장기 에너지 전망’의 최종소비 부문 에너지원단위는 보다 빠르게 개선될 것으로 전망된다. 이는 ‘제3차 예기본’ 이후 국가 온실가스 감축 목표의 강화와 탄소중립 노력이 반영된 결과이다. 하지만, 앞서 총에너지 수요처럼 최종소비 에너지원단위는 ‘2021 장기 에너지 전망’과 매우 유사한 결과를 보여주고 있다.

2021년 정부에서 발표한 ‘에너지 탄소중립 혁신전략’에 따르면 정부 목표는 2018년 대비 2030년까지 최종소비 부문의 에너지 효율을 30% 이상 개선하고 2050년까지는 40% 이상 개선하는 것이다. 이와 비교하여 REF의 에너지 효율이 2021년에서 2050년 사이 30% 이상 개선된

다는 것은 에너지 효율 개선을 통한 온실가스의 '추가' 감축 여지가 크지 않다는 것을 의미하기도 한다. 이는 두 가지 의미를 담고 있다. 하나는 REF가 과거의 기준 시나리오와 달리 미래의 감축 노력을 일부 포함하고 있다는 점이다. 다른 하나는 온실가스 감축 목표 달성은 결국 무배출 에너지상품으로의 연료 전환이 필요하고, 효율 개선은 무배출 에너지상품을 생산하는 부문의 배출 부담을 최소화하기 위해 필수적이라는 점이다.

한편, 최종소비 부문의 온실가스 배출이 에너지 수요 추세보다 더 빠르게 감소하는 것은 에너지상품의 구성이 전기와 신재생에너지 등 무배출 에너지상품으로 바뀌기 때문이다. 2021년 최종소비 부문 에너지 소비의 절반 가량을 차지하는 석유가 2050년에는 37.8%로 감소하고 석탄은 14.2%에서 13.1%로 축소된다. 이는 지난 전망에 비해 감소폭이 더 확대된 것으로 최종소비 부문의 온실가스 감축 노력이 점증적으로 확대되는 것이 반영된 결과이다. 석유 소비의 감소는 전기와 가스로 이동하여, 2050년 전기는 26.7%, 가스는 14.9%로 확대된다. 2050년에는 최종소비 부문의 에너지 소비에서 전기가 가장 큰 비중을 차지할 전망이다.¹⁵ 한편, 신재생에너지가 6.3%로 확대되는데, 이는 재생에너지 기반 자가발전이 증가하는 영향이 크다. 즉, 재생에너지의 증가 또한 전기화의 산물이라고 할 수 있다. 에너지 효율 개선과 함께 에너지상품의 구성이 화석연료에서 전기로 대체되면서 최종소비 부문의 직접배출은 지속적으로 감소한다. 하지만 최종소비 부문의 온실가스 배출이 여전히 목표와 크게 차이나는 이유는 산업 부문의 석탄 소비가 감소하지 않기 때문이다. 석탄 소비는 대부분 철강에서 사용되며, REF는 수소 환원제철 공법 등 석탄 소비를 대폭 대체할 수 있는 기술을 REF에서는 반영하지 않았다.

그림 2.5 기준 시나리오(REF)의 최종소비 에너지상품별 비중



¹⁵ '2021 장기 에너지 전망'의 REF에서는 화학원료용 석유의 비중이 가장 크고 그 뒤를 전기가 차지하는 것으로 분석되었다. 본 결과는 전기화가 더욱 확대되는 것도 있지만 에너지밸런스가 개편되면서 원료용 석유에서 리턴납사가 제거되면서 비중이 감소한 측면도 있다.

□ 전력수급기본계획으로 인한 에너지 소비와 온실가스 배출의 탈동조화

에너지 수요와 온실가스 배출의 탈동조화는 온실가스 발생의 주 원인인 석탄 발전을 빠르게 감소시키고 탄소 배출이 적은 가스 발전과 배출이 없는 원자력 및 재생에너지가 이를 대체하면서 발생한다. 이미 ‘제9차 전기본’에서 수명 30년이 넘는 석탄 화력발전에 대해서 연료를 전환하거나 폐지하는 원칙을 도입했으며, 이는 2023년 초 확정된 ‘제10차 전기본’에서도 유지된다. ‘2022 장기 에너지 전망’에서는 ‘제10차 전기본’에 따라 2022년에서 2036년까지 총 26기, 13.7 GW의 유연탄 발전 설비를 폐지하거나 연료를 전환하고, 2036년 이후에도 2050년까지 26기 18.6 GW의 유연탄 기력 설비가 폐지되거나 연료를 전환할 것으로 가정하고 있다.¹⁶ 신규 유연탄 기력 설비는 강릉안인1, 2호기와 삼척화력1, 2호기 등 4.2 GW 규모가 계통에 진입한다. 2024년 4월에 삼척화력2호기를 마지막으로 더 이상의 신규 유연탄 기력 설비는 없을 예정이다.

신재생에너지, 특히 변동성 재생에너지¹⁷ 발전 설비는 정격용량 기준으로 2021년 20.5 GW에서 2036년 100 GW로 증가하고, 2050년에는 153 GW 수준이 될 것으로 예상된다.¹⁸ 사업자 발전량에서 변동성 재생에너지 발전량이 차지하는 비중은 2021년 4.4%에서 2036년 19.2%, 2050년에는 27.1%까지 늘어나는 것이다. 한편, 계속운전과 신규 건설을 반영한 원자력의 발전량 비중은 2021년 27.4%에서 2036년 28.4%로 확대되지만, 계속 운전을 모든 설비에 대해 10년 1회 연장만 가정하고 있기 때문에 2050년에는 18.6%로 감소한다. ‘제10차 전기본’과 거의 유사한 설비 규모를 가정하고 있지만 전기 수요에 대한 전망 차이로 인해 재생에너지와 원자력의 발전 비중은 ‘제10차 전기본’과 크게 다르다. 또한 ‘제10차 전기본’의 발전량 전망과의 차이는 대부분 가스 발전이 흡수하고 있다. 가스 발전의 비중은 2021년 29.4%에서 2050년 41.8%로 늘어날 전망이다.

발전량의 증가는 발전 투입 연료의 증가를 가져온다. 하지만, 발전 투입의 증가에도 불구하고 발전원의 구성 변화로 발전 부문 온실가스 배출은 꾸준히 감소한다. 2021년에서 2050년 사이 발전/열생산 부문의 에너지 수요는 114.5백만toe에서 약 20% 증가하여 2050년 134백만toe가 되지만, 온실가스 배출은 같은 기간 224.1백만톤-CO₂eq에서 124백만톤-CO₂eq로 약 45%

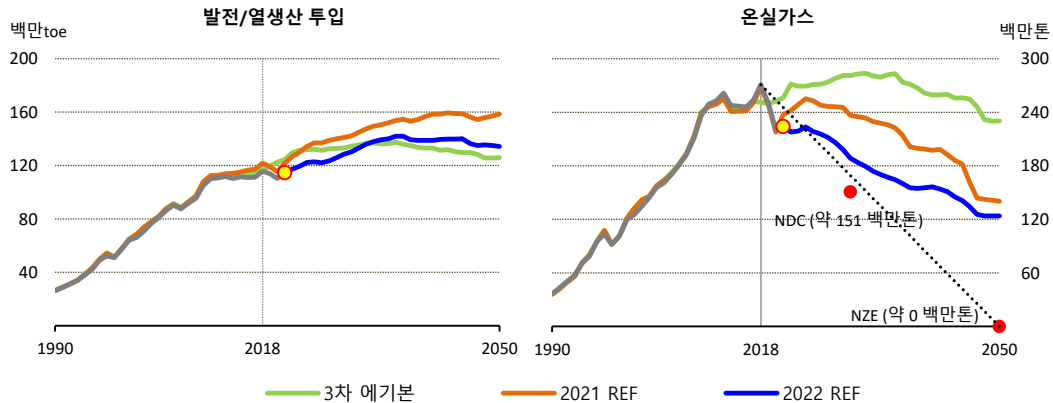
¹⁶ ‘2022 장기 에너지 전망’의 모형 작업 중에는 정확한 연도별 설비 계획이 공개되지 않았다. 따라서 이전과 마찬가지로 운영기간 30년을 적용하여 모형의 설비 일정을 설정했기 때문에 ‘제10차 전기본’의 확정된 설비 일정과는 차이가 있을 수 있다. 한편, 2050년 이후 생존하는 유연탄 기력 설비에 대한 조기 폐쇄 외에는 유연탄과 원자력 설비에 대한 가정은 목표 시나리오에도 동일하게 적용된다.

¹⁷ 변동성 재생에너지는 태양광, 풍력, 해양 에너지를 의미한다.

¹⁸ 변동성 재생에너지 설비는 ‘제9차 전기본’에 비해 2030년 기준 약 14 GW 정도가 증가한 것이다.

가 감소한다. 발전/열생산 부문의 온실가스 배출 감소는 석탄 발전설비의 폐지 및 전환으로 인한 감소가 부문 전체의 감소를 상회할 것으로 분석된다.

그림 2.6 기준 시나리오(REF)의 발전/열생산 부문 에너지 수요와 온실가스 배출 변화



주: 발전과 지역난방의 합계

앞의 그림 2.3에서 보았듯이 2030 NDC 목표를 달성하기 위해서 최종소비 부문은 69백만톤- CO_2eq 를 추가 감축해야 한다. 반면, 그 동안의 온실가스 감축 노력이 주로 발전/열생산 부문에 집중되면서 발전/열생산 부문의 온실가스 배출은 빠르게 감소하여 2030년 추가로 감축해야 하는 온실가스 배출이 약 38백만톤- CO_2eq 수준인 것으로 분석된다. ‘제10차 전기본’은 석탄 설비의 연료전환과 폐지 그리고 발전량 제약을 통해서 2030년 배출량을 144.9백만톤- CO_2eq 으로 억제할 계획이다. 이 때 예상하는 발전량은 약 621.8 TWh 수준으로, 이는 ‘제10차 전기본’에서 설정한 목표 발전량에 해당한다. ‘2022 장기 에너지 전망’의 REF는 2030년 발전량을 732 TWh 수준으로 전망하고 있다. 최종소비 부문의 온실가스 목표 달성을 위해 에너지 효율 강화와 전기화가 전기 수요 및 발전량에 얼마나 영향을 미칠지는 다음 ‘제3장 2030 NDC와 2050 탄소중립’에서 알아본다. 여기서는 산업 부문을 시작으로 각 부문의 REF 전망 결과를 자세히 소개한다.

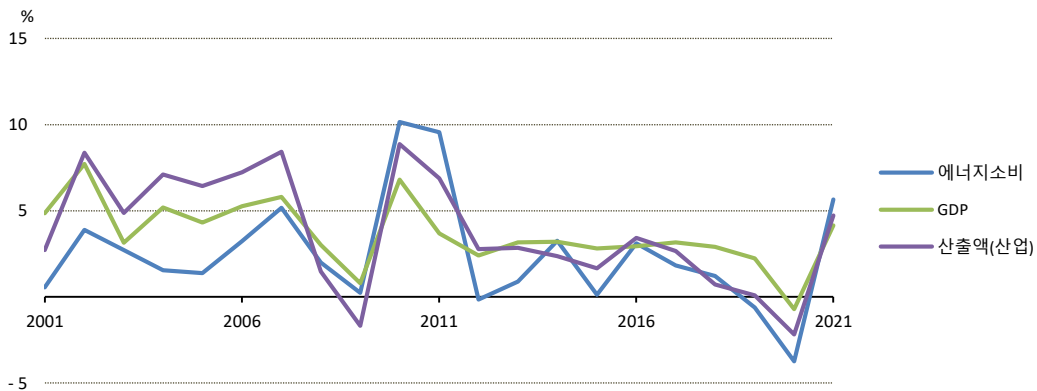
2. 산업 부문¹⁹

2.1. 산업 부문의 에너지 소비 추이 및 현황

□ 2000~2021년 기간 산업 부문 에너지 소비는 연평균 2.4% 성장하여 141.8백만 toe에 도달

2000년부터 2021년까지 우리나라 국내총생산(GDP)은 연평균 3.6%, 산업 부문의 부가가치는 연평균 3.4% 증가하였다. 경제가 성장하면서 산업 부문 에너지 소비는 85.7백만 toe에서 연평균 2.4% 증가하여 2021년 141.8백만 toe까지 도달하였다. 산업 부문 에너지 소비는 경제 성장과 더불어 증가해왔으나 그 증가 속도는 점차 둔화되고 있다. 경제성장률은 2000년대, 2010년대 각각 연평균 4.7%, 2.7%로 둔화되었으나, 산업 부문 에너지 소비 증가율은 각각 연평균 3.1%, 1.9%로 하락했다.

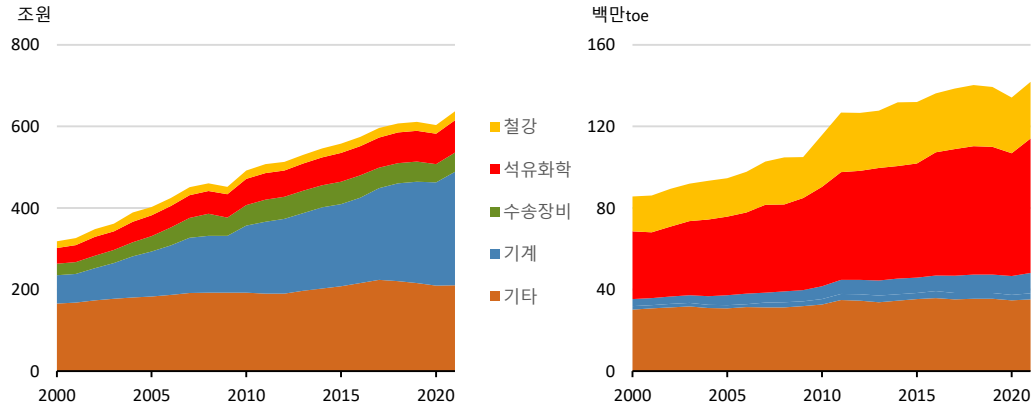
그림 2.7 2001~2021년 GDP, 산업 부문 부가가치, 산업 부문 에너지 소비 증가율



산업 부문 에너지 소비 증가율의 둔화 원인은 산업 구조 변화와 산업 부문의 에너지 효율 개선으로 구분할 수 있다. GDP에서 서비스업의 비중이 확대되며 제조업의 비중이 축소되고, 제조업 내에서도 대표적 에너지 다소비 업종인 철강이나 석유화학의 부가가치 비중은 감소하거나 정체인 반면, 상대적으로 에너지 소비 집약도가 낮은 기계류의 부가가치 비중이 2000년 21.9%에서 2021년 43.6%까지 증가하였다.

¹⁹ 에너지밸런스의 최종 소비는 에너지산업인 석유정제의 자체소비를 제외하지만, 여기서는 석유정제를 산업 부문에 포함하였다. 이하 산업 부문의 에너지 소비는 석유정제의 자체소비를 포함하여 분석한다.

그림 2.8 2000~2021 년 업종별 부가가치(좌) 및 에너지 소비(우) 추이



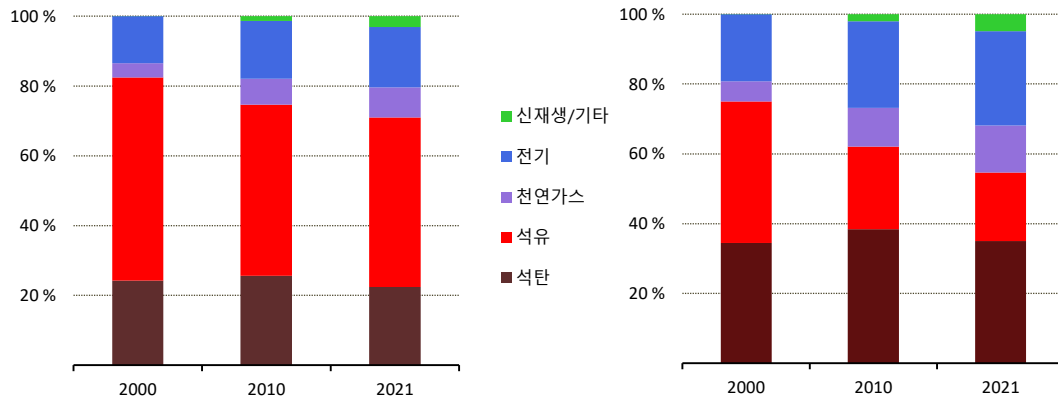
주: 기타는 철강, 석유화학, 수송장비, 기계를 제외한 나머지 업종의 합

기계류의 에너지 소비는 반도체, 디스플레이 등 전기전자 산업군의 빠른 확대에 힘입어 2000년 3.3백만 toe에서 2021년 10.0백만 toe로 연평균 5.4% 증가하였다. 그러나 그림 2.8에서 볼 수 있듯이 기계류가 산업 부문 에너지 소비에서 차지하는 비중은 2021년 7.0%에 불과하다. 기계류에 비해 에너지 소비 비중이 큰 철강과 석유화학이 2010년 이후 산업 부문 에너지 소비 증가를 주도했다. 2010~2021년 철강의 에너지 소비는 연평균 2.3%로 증가했다. 철강업 에너지 소비 증가는 2010년부터 2013년에 걸친 현대제철의 설비 신설(고로 3기)로 인해 원료탄 소비가 연평균 10.5% 증가한 것이 원인이다. 석유화학은 2014년부터 시작된 국제 유가 급락으로 호황을 누리며 설비 투자가 빠르게 확대되고 에너지 소비 증가세도 가속화되었다.

한편, 산업 부문의 에너지 효율 지표로 사용할 수 있는 산출액 당 에너지원단위는 2000년 0.087toe/백만원에서 2021년 0.066toe/백만원으로 연평균 1.3% 개선된 것으로 분석된다. 산업 부문의 에너지원단위는 주로 2000년대 개선 속도가 빨랐으나, 현대제철 당진 일관제철소가동 및 포스코 설비 용량 확대가 진행된 2010년대 초반은 에너지원단위가 악화되기도 했다. 그림 2.7은 2015년 이후 산업 부문 산출액과 에너지소비 증가율이 거의 동일하게 움직이고 있어 2015년 이후 에너지원단위의 개선이 이루어지지 않고 있는 것을 보여준다. 최근의 산업 부문 에너지원단위 개선 둔화는 석유화학 호황으로 인한 원료용 소비가 증가한 탓도 있으며, 코로나19로 인한 경제 충격도 개선 노력을 지체시킨 것으로 판단된다.²⁰ 석유화학 원료를 제외하면 에너지원단위는 2000~2021년 기간 연평균 1.7%로 좀더 빠르게 개선된 것으로 나타난다.

²⁰ 2021년은 에너지원단위 악화를 기록하였는데, 코로나19에서의 경기회복으로 석유화학 원료 수요가 전년 대비 10.2% 증가한 것이 주요 원인이다.

그림 2.9 원료용을 포함한 경우(좌)와 제외한 경우(우) 산업 부문 에너지상품별 소비 비중



주: 원료용은 개정 에너지밸런스의 석유화학 원료를 의미

산업 부문 에너지 소비를 에너지상품별로 살펴보면 그림 2.9와 같다. 소비 비중이 가장 높은 에너지상품은 석유이다. 다만 석유의 소비 비중은 2000년 58.2%에서 2021년 48.5%로 감소하는 추세를 보여주고 있다. 석유의 비중이 높은 이유는 석유화학 원료가 포함되었기 때문이다. 석유화학 원료를 제외하고 산업 부문 에너지상품별 소비 비중 변화를 살펴보면 석유의 감소세는 상당히 뚜렷하다. 2000년 40.5%에 달했던 석유의 비중이 2010년 23.6%로 줄었고, 2021년에는 19.6%까지 축소되었다. 이는 연료용 석유제품 중 중유가 상당 부분을 차지하고 있었는데, 환경적인 이유와 설비 관리 문제²¹ 등으로 최근 중유 소비가 급속히 줄었기 때문이다.

그림 2.9의 오른쪽 그래프를 보면 석유를 대체한 것은 전기와 천연가스, 신재생으로 나타난다. 전기, 천연가스, 신재생의 소비 비중은 2000년 각각 19.2%, 5.8%, 0.0%에서 2021년에는 각각 26.9%, 13.5%, 4.8%까지 확대되었다. 산업 전반적으로 꾸준히 전기화가 진행되는 가운데, 우리나라의 수출 주력 업종인 반도체, 통신장비 등 기계류와 수송장비 업종이 빠르게 성장하며 전기 소비 비중이 높아졌다. 또한, 가스가 석유제품 대비 청정 에너지원으로 각광받으며 가스 소비가 확대되었으며, 신재생에너지 비중도 정부의 보급정책에 힘입어 상승했다. 오른쪽 그래프에서 석탄의 소비 비중은 2000년 34.5%, 2010년 38.4%, 2021년 35.0%로 횡보하였다. 산업 부문 내 석탄 소비 비중이 빠르게 줄어들지 않는 이유는 2021년 기준 산업 부문 석탄 소비의 54%를 차지하는 철강업의 원료탄²² 때문이다.

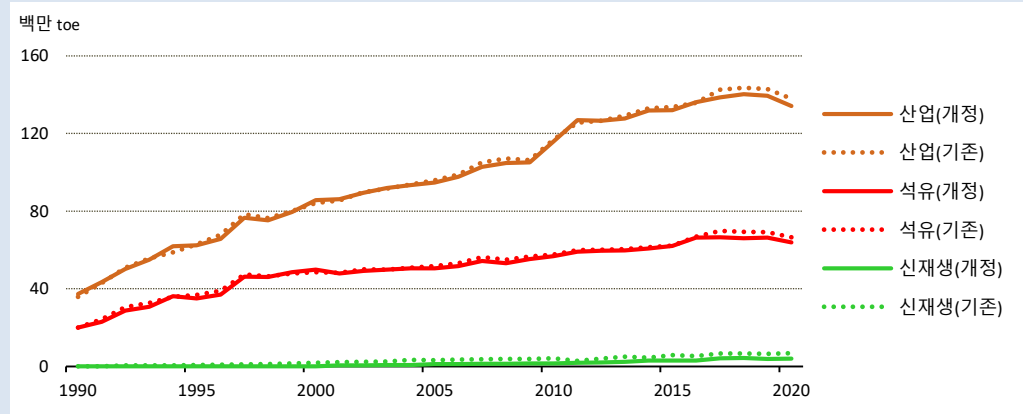
²¹ 중유는 저급 석유제품으로 연소시 황산화물, 질소산화물, 미세먼지 등 다량의 대기오염물질을 배출하며, 설비 측면에서도 연료의 응고 방지를 위한 추가적 설비가 필요하고, 연소 장치에 그을음을 제거하기 위한 추가적 장치가 필요하다는 단점이 있다.

²² 철강의 원료용 유연탄의 경우 코크스 제조에 사용되지만, 코크스 제조 및 사용 과정에서 발생하는 부생가스를 회수하여 연료로 사용하고 또한 자체가 일부 열원으로 이용되기 때문에 에너지 사용으로 취급한다.

글상자 2.2 에너지밸런스 개편으로 인한 산업 부문 에너지 소비의 변화

에너지밸런스가 개편되면서 1990~2000년 산업 부문 소비 실적은 미세하게 하향 조정되었다. 예를 들어, 2020년 산업 부문 에너지 소비는 기존 에너지밸런스에서는 138.0백만toe인 반면, 개정 에너지밸런스에서는 134.2백만toe로 나타난다. 이러한 차이는 주로 석유와 신재생에너지의 통계 작성 방식 차이에서 비롯된다.

그림 2.10 개정 에너지밸런스와 기존 에너지밸런스의 산업 부문 소비 실적 비교



주: 석유정제업의 자체 소비를 포함한 수치

기존 에너지밸런스의 석유 소비는 정제 공정으로 환류된 납사와 이를 이용하여 생산한 석유제품 소비가 중복되어 있다. 화학 공정에서 생산된 중간 화학제품(기초유분) 외 부산물은 정제 공정으로 다시 돌려보내거나 연료로 사용하는데, 정제 공정으로 다시 보낸 것을 ‘환류(backflow)’라고 한다. 기존 에너지밸런스는 화학공정 투입 납사의 총량을 집계한데 반해, 개정 에너지밸런스에서는 환류된 석유제품을 파악함으로써 중복을 제거하였다. 한편, 기존 에너지밸런스는 석유정제공정을 에너지밸런스 시스템에서 제외했기 때문에 석유정제 공정의 에너지 전환 과정과 석유정제업의 에너지 소비를 제대로 반영하지 못하였다. 개정 에너지밸런스에서는 석유정제를 에너지전환공정의 한 구성 요소로 다루면서, 석유정제 과정에서 사용되는 에너지상품의 소비가 포함되었다. 이러한 요인이 복합적으로 작용하여, 개정 에너지밸런스의 산업 부문 석유 소비 실적은 기존 에너지밸런스 대비 소폭 감소하였다. 개정 에너지밸런스의 2020년 산업 부문 석유 소비는 기존 에너지밸런스의 66.5백만toe에서 3.9% 하락한 63.9백만toe이다.

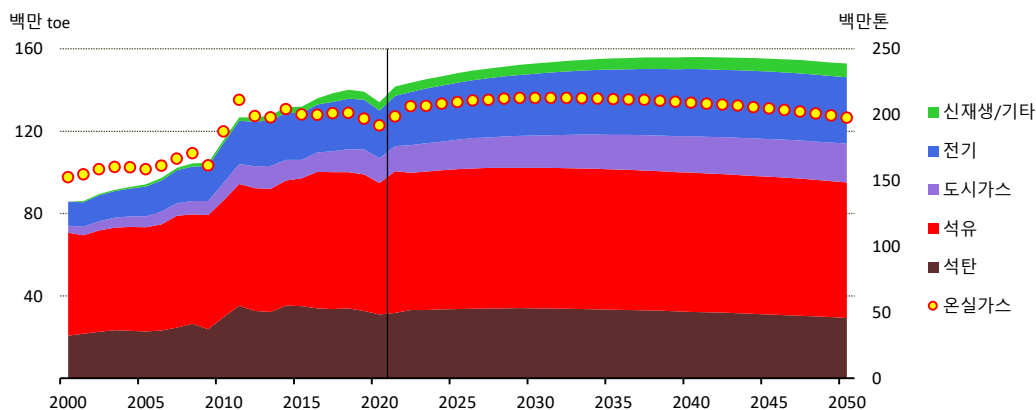
기존 에너지밸런스의 신재생에너지 소비는 한국에너지공단 ‘신재생에너지 보급통계’에서 발전사업자의 생산량을 제외하고 이외 업종에서 생산한 신재생에너지를 바로 소비한 것으로 간주하여 산정했다. 그러나 개정 에너지밸런스는 모든 신재생에너지 생산자의 전기와 판매열 생산을 모두 전환공정에 집계하면서 신재생에너지 소비는 기존 에너지밸런스 대비 감소하였다. 2020년 기존 에너지밸런스의 신재생에너지 소비는 6.7백만toe인 반면, 개정 에너지밸런스의 신재생에너지 소비는 약 60% 수준인 4.0백만toe로 조정되었다. 하지만 이는 신재생에너지의 소비가 전기 및 열 소비로 집계되는 것일 뿐 소비량이 감소하는 것은 아니다.

2.2. 산업 부문의 에너지 수요 전망

□ 산업 부문 에너지 수요는 전망 기간 연평균 0.3% 증가하여 2050년에는 153.0백만toe 도달

REF에서 산업 부문의 에너지 수요는 증가세가 점차 둔화되다가 2040년대 초반 정점을 기록한 후 완만한 하락세로 전환되면서 2050년 153.0백만toe에 도달할 것으로 전망된다. 산업 부문 에너지 수요의 증가세 둔화 및 하락세 전환의 원인은 경제의 저성장 기조 속에서 제조업 생산 활동 증가 속도가 과거에 비해 크게 둔화되기 때문이다. 산업의 산출액은 2021년 2,137조원에 2050년 2,816조원으로 연평균 1.0% 성장할 전망인데, 전 세계적인 온실가스 감축 기조, 공정 부문의 에너지 효율 개선, 고부가가치화²³, 에너지 저소비형 업종 중심으로의 산업 구조 변화 등으로 인해 같은 기간 산업 부문 에너지 수요 증가율은 산출액 연평균 증가율보다 낮은 0.3%에 그칠 것으로 예상된다. 전망 기간 산출액 기준 에너지원단위의 감소세는 실적 기간 대비 둔화되어 연평균 0.6% 개선된다. 산업 부문 에너지 소비의 약 40%를 차지하는 석유화학 원료를 제외할 경우, 에너지 수요는 2021년 79.8백만toe에서 2050년 89.5백만toe로 연평균 0.4% 증가한다. 원료를 제외한 산업 부문의 에너지원단위는 지속적으로 개선되지만 그 속도는 전망 기간 연평균 0.7%로 과거에 비해 다소 둔화될 전망이다.

그림 2.11 기준 시나리오(REF)의 산업 부문 에너지 수요와 온실가스 직접 배출 전망



주: 온실가스 직접배출량은 에너지밸런스의 산업 부문 에너지 소비 실적 및 수요 전망치에 근거하여 자체적으로 산출되었다. 따라서 온실가스 직접배출량의 실적은 국가 온실가스 인벤토리와 상이할 수 있다.

²³ 고부가가치화는 업종에 따라 에너지 수요 증가에 다른 영향을 미칠 수 있다. 철강의 고부가가치화는 전기로강에 비해 에너지 소비량 비중이 압도적으로 높은 전로강 비중을 확대하는 방향으로 진행된다. 자동차제조업의 경우, 전기 자동차 등 친환경 자동차를 중심으로 생산이 재편됨에 따라 부가가치는 크게 증가할 것으로 기대되는 반면, 엔진 및 변속기 제조 공정이 대폭 축소되어 에너지 수요 증가세는 부가가치 증가세보다 훨씬 낮을 것으로 예상된다.

산업 부문의 온실가스 직접배출량은 2000~2021년 연평균 1.2% 증가하였으나, 2021~2050년은 연평균 0.05% 감소할 것으로 예상된다. 전망 기간 에너지 수요 대비 온실가스 직접배출의 증가율이 둔화되는 이유는 에너지상품별 비중이 변화하기 때문이다. 에너지 수요에서 전기, 도시가스, 재생에너지의 비중이 확대됨에 따라 산업 부문의 온실가스 직접배출량은 2021년 204.6백만톤-CO₂eq에서 2030년까지 증가하다가 이후 감소세로 전환되어 2050년 201.7백만톤-CO₂eq까지 하락한다. 2018년 산업 부문 직접배출량 207.2백만톤-CO₂eq 대비 2030년과 2050년의 배출량은 각각 5.7% 증가, 2.6% 감소할 전망이다.²⁴

□ 기계류의 에너지 수요가 가장 빠르게 증가하나 증가 기여도가 가장 큰 것은 석유화학 업종

에너지 수요가 가장 빠르게 증가하는 업종은 기계류이다. 기계류 업종은 AI, IoT, 자율주행 자동차 등 신산업과 플랫폼 산업의 발달, 전기차용 이차전지와 ESS 수요 증가에 따른 전기·전자 산업을 중심으로 산출액이 전망 기간 연평균 1.1% 증가하고 에너지 수요도 2021년 10.0백만toe에서 2050년 11.8백만toe로 연평균 0.6% 증가할 전망이다. 석유화학 업종은 2030년까지 국내 유화사 및 정유사들의 신·증설과 국내·외 수요의 지속적인 확대에 빠르게 성장하며, 이후에는 수소경제 활성화에 따라 수소의 생산과 활용에 관련된 화학 산업의 산출액이 증가할 것으로 예상된다.²⁵ 이에 따라 석유화학 업종의 에너지 소비는 2021년 66.0백만toe에서 2050년 75.5백만toe로 연평균 0.5% 증가한다.

철강 업종의 경우, 온실가스 감축, 디지털 전환 등의 메가 트렌드로 인해 주요 수요산업의 제품구조 및 소재 수요구조가 변화하여 철강 수요가 향후 정체 또는 감소하면서 전망 기간 산출액이 연평균 0.1% 감소할 전망이다. 이에 따라 철강 업종의 에너지 소비는 2021년 27.7백만toe에서 2050년 26.1백만toe로 연평균 0.2% 감소한다. 수송장비 업종은 기존 내연기관 자동차 생산에서 전기 자동차 등 친환경차 생산으로 전환되면서 생산 공정의 에너지 소비가 대폭 축소될 전망이다. 자동차 산업의 구조 변화로 인해 수송장비 업종은 전망 기간 산출액 증가(연평균 0.3%)에 비해 에너지 소비가 연평균 0.6%로 빠르게 감소한다.

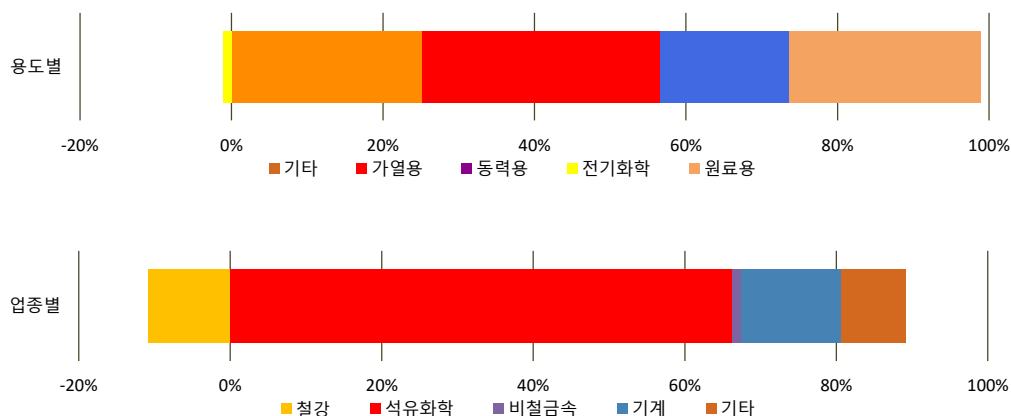
전망 기간 산업 부문 에너지 소비 증가 11.2백만toe에 가장 기여도가 큰 업종은 석유화학이다. 에너지 소비 증가에 있어 석유화학 업종의 기여도는 84.5%로, 전망 기간 연평균 에너지 소비 증가율은 기계 업종에 비해 낮지만 기저효과로 인해 가장 높은 기여도를 보인다. 전망 기

²⁴ '2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안'(관계부처 합동, 2021)과 '2050 탄소중립 시나리오안'(관계부처 합동, 2021)은 산업 부문 온실가스 직접배출량을 2018년 대비 2030년까지 14.5%, 2050년까지 80.4% 감축하겠다는 목표를 제시하였다.

²⁵ 전망 기간 석유화학 업종의 산출액은 연평균 2.3% 성장하여 산업 부문 내에서 가장 빠르게 성장할 것으로 예상되나, 여기에는 수소 관련 산출액 성장이 포함되어 있다. 따라서 석유화학 업종의 에너지 소비는 이보다 더디게 증가할 것으로 전망된다.

간 산업 부문 에너지 소비 증가에 대한 기계 업종과 비금속 업종의 기여도는 각각 16.8%, 3.4%이다. 반면 대표적 에너지 다소비 업종인 철강 업종은 산업 부문의 에너지 소비의 가장 큰 감소 요인으로 작용하며, 수송장비 업종도 감소 요인으로 작용한다.

그림 2.12 2021~2050년 산업 부문 용도별·업종별 에너지 수요 변화 (REF)



업종별 에너지 수요 증가는 용도별 에너지 수요 증가에 영향을 미친다. 산업 부문 에너지 수요 증가의 절반은 공정용 에너지 수요가 차지하고 나머지는 원료용과 기타가 비슷한 수준으로 증가한다. 대부분의 업종은 가열용 에너지가 가장 비중이 크기 때문에 직접가열과 간접가열용 에너지 수요 증가가 공정용 에너지 수요 증가의 2/3를 차지할 전망이다. 원료용 수요를 제외하면 산업 부문의 화석연료 소비는 대부분 가열용으로 사용된다. 따라서 산업 부문의 온실가스 감축 목표 달성은 가열용 에너지의 효율 개선과 무탄소 연료원으로의 대체가 핵심이라고 할 수 있다. 한편 모터를 중심으로 동력용 에너지 수요가 공정용 에너지 수요 증가의 나머지를 차지한다. 동력용 에너지 수요는 산업 부문 전기 소비를 주도하기 때문에, 산업 부문의 에너지 저감을 위해 IEA에서도 효율 개선을 강조하는 부분이다. 전기화학용은 미약하게 감소하는데, 전기화학용 에너지 소비가 많은 철강에서의 감소가 결정적인 영향을 미칠 전망이다.

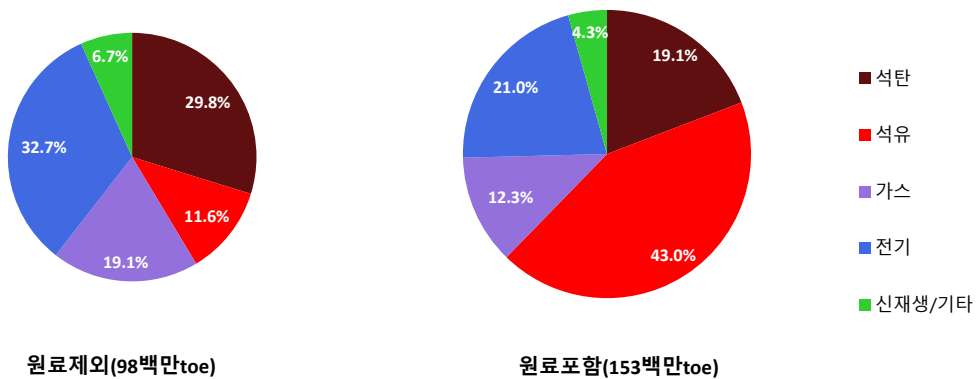
□ 에너지상품별로는 전기와 석유가 산업 부문 에너지 수요 증가를 주도

산업 부문 에너지 소비 증가에 대한 기여도가 가장 높은 에너지상품은 전기로, 전기 수요는 2021년 24.5백만toe에서 연평균 1.0% 증가하여 2050년 32.2백만toe에 도달한다. 기계류 업종의 전기 소비는 산업 부문 전기 소비의 30% 이상을 차지하는데, 기계류 업종의 전기 소비가 전망 기간 연평균 0.7% 증가하면서 산업 부문 전기 소비의 증가를 견인한다. 온실가스 감축 노력의 일환으로 스마트 공장이나 FEMS의 확산이 가속화되는 것도 전기 소비 증가 요인으로

작용한다. 이로 인해 전기가 2050년 산업 부문 에너지 수요에서 차지하는 비중은 원료 제외 시 32.7%, 원료 포함 시 21.0%까지 확대될 것으로 예상된다.

산업 부문 에너지 소비 증가에 대한 기여도가 두 번째로 높은 에너지상품은 가스로 분석된다. 가스 수요는 오염물질 저배출 연료라는 장점 등에 힘입어 석탄과 석유를 대체하면서 전망 기간 연평균 1.5% 증가하여 2050년에는 18.8백만toe에 도달할 전망이다. 2050년 산업 부문 에너지 수요에서 가스가 차지하는 비중은 원료 제외 시 19.1%, 원료 포함 시 12.3%까지 확대될 것으로 보인다.

그림 2.13 2050년 산업 부문 에너지상품별 수요 (REF)



석유 수요는 2021년 68.8백만 toe에서 전망 기간 소폭 감소하여 2050년 65.9백만toe까지 하락한다. 석유화학 원료의 수요는 2021년 51.0백만toe에서 2050년 54.5백만toe로 연평균 0.2% 증가하나, 연료용 석유제품 소비가 전기, 가스, 재생에너지 등 다른 에너지상품으로 꾸준히 대체되면서 석유 수요는 보합세를 보일 전망이다. 석탄 수요는 철강업의 수요가 정체됨에 따라 원료탄과 연료탄의 수요가 모두 감소하여 전망 기간 연평균 0.3% 하락한다.

재생에너지 수요는 열원으로서의 폐기물과 전력원으로서의 태양광을 중심으로 전망 기간 연평균 1.4% 증가하여 2050년에는 6.6백만toe에 도달한다. 2050년 산업 부문 에너지 수요에서 재생에너지가 차지하는 비중은 원료 제외 시 6.7%, 원료 포함 시 4.3%까지 확대될 전망이다.

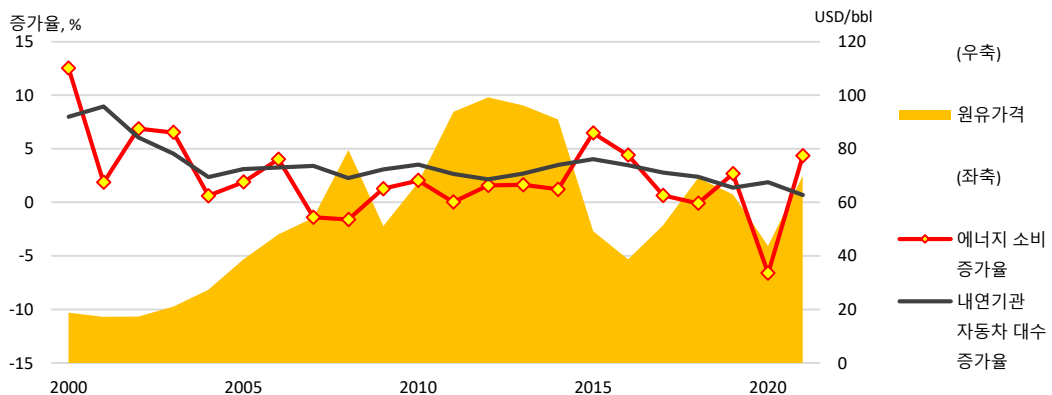
3. 수송 부문

3.1. 수송 부문 에너지 소비 동향

□ 수송 부문 소비는 2000년 이후 연평균 1.8% 증가했지만 2019년 이후 코로나19로 증감 반복

수송 부문 에너지 소비는 2000년 25.9백만toe에서 2021년 36.2백만toe까지 연평균 1.8% 증가하였다. 1990년대에는 경제가 급속히 성장하면서 물동량도 크게 증가하였고, 고속도로와 같은 교통 인프라의 확대와 자가용 보급 증가 등의 요인으로 연평균 7% 가량 빠르게 증가했다. 그러나 2000년대에 들어서서 증가세가 크게 둔화되고 국제유가의 등락에 따라 변동하는 모습을 보였다. 수송 부문 에너지 소비는 도로 수송이 대부분을 차지하기 때문에 자동차 보급과 밀접한 관련이 있다.²⁶ 2000년 이후로 수송 부문 에너지 소비의 증가율은 장기적인 추세는 자동차 대수 증가율을 따르는 한편 변동성은 유가와 반대로 움직이는 모습을 보이고 있다.

그림 2.14 수송 부문 에너지 소비 및 자동차 대수 증가율과 국제유가 추이



코로나19 대유행은 수송 부문의 에너지 소비에 특히 큰 영향을 미쳤다. 코로나19 방역을 위해 사회적 거리두기를 시행하면서 이동 수요가 크게 감소하여 수송 부문 에너지 소비는 2020년 34.7백만toe로 6.6% 감소하였다. 특히 2020년 항공 부문 에너지 소비는 2019년 수준의 절반 이상 급감하였고, 해운 부문 에너지 소비도 15% 이상 감소하였다. 도로 부문의 소비는 이동 수요 감소로 인해 전년 대비 4.6% 감소하였다. 2021년에는 코로나19 방역 상황이 개선되면서 수송 부문 에너지 소비는 전년 대비 4.4% 증가하였다. 도로 부문의 소비는 전년 대비 1.5% 증

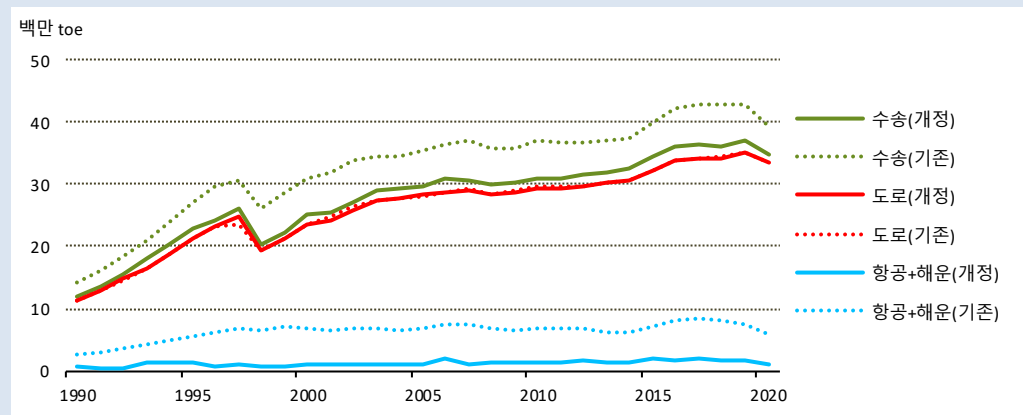
²⁶ 국내 항공과 해운 부문은 에너지밸런스가 개편되면서 에너지 소비가 크게 감소하였다. 이에 대해서는 글상자 2.3에서 설명한다.

가하였고, 해운 부문 소비는 14% 증가하였다. 수요가 절반 가량 급감했던 항공 부문 소비는 160% 가량 증가하면서 코로나19 발생 이전인 2019년의 수준을 바로 회복하였다. 입국 규제로 해외 여행의 기회가 차단된 상황에서 국내, 특히 제주 여행에 수요가 몰린 것으로 해석된다. 2021년 도로와 해운 부문의 에너지 소비는 2019년의 소비 수준을 회복하지 못하였다.

붙임자 2.3 에너지밸런스 개편으로 인한 수송 부문 에너지 소비의 변화

에너지밸런스에서 수송용 에너지 소비는 화물 및 여객을 이동시키는 목적으로 도로, 철도, 하늘 및 수송에서 사용하는 에너지 소비를 의미한다. 따라서 건설 기계나 농업용 기계 등은 산업의 에너지 소비로 취급하며 수송 부문에서 집계하지 않는다. 이렇게 수송 부문에 포함되지 않는 것으로는 공장 내부에서만 사용하는 화물 운송 기계, 어업용 선박, 레저스포츠용 경비행기나 보트 등이 있다. 위성을 궤도에 올리기 위한 로켓의 연료 소비도 수송 부문에 포함되지 않는다. 또한 군사용 화물차나 무기의 연료 소비도 공공 부문에서 집계한다. 현재는 통계 작성의 기준은 비교적 명확하지만, 조사의 정확성에 따라 통계 수준이 달라지는 상황이다. 하지만 미래의 운송수단 기술 발전은 수송 부문 에너지 소비 기준을 불명확하게 만들 수 있다.

그림 2.15 개정 에너지밸런스와 기존 에너지밸런스의 수송 부문 소비 실적 비교



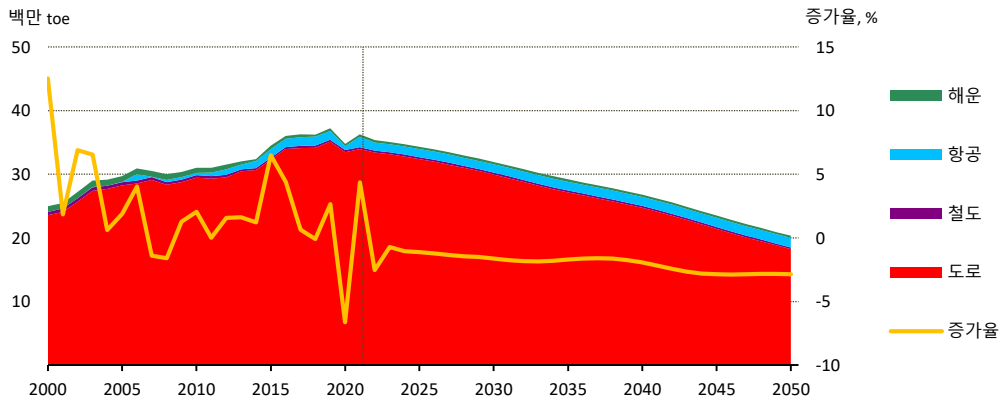
개정 에너지밸런스에서 수송과 관련된 흐름 항목은 공급 부문의 국제번거림과 최종소비의 수송 부문으로 구성되어 있다. 기존 에너지밸런스는 국제번거림을 외국적 항공기나 선박의 에너지 소비로 정의하고 수송 부문을 자국적 항공기나 선박의 에너지 소비로 구분하였다. 하지만 개정 에너지밸런스는 이동 노선을 기준으로 국내 이동을 국내수송, 국제 이동을 국제번거림으로 구분한다. 이에 따라 기존 해운과 항공 부문 에너지 소비의 상당량이 국제번거림으로 이동하면서 개정 에너지밸런스의 1990~2021년 수송 부문 에너지 소비 실적은 감소하고 국제번거림은 증가하였다. 예를 들어, 2020년 항공과 해운 부문의 에너지 소비는 기존 에너지밸런스 대비 각각 76%, 89% 감소하였다. 연료별로 보면 항공 부문과 해운 부문에서 주로 소비하는 항공유와 중유의 소비량이 특히 많이 감소하였다. 항공과 해운의 에너지 소비는 국제 이동이 대부분을 차지하기 때문에, 항공과 해운의 에너지 수요 전망은 이전에 비해 크게 축소되며 증가율도 낮아지는 경향이 있다.

3.2. 수송 부문 에너지 수요 전망

□ 수송 부문 에너지 수요는 전망 기간 연평균 2.0% 감소하여 2050년에는 20.3백만toe에 도달

기준시나리오(REF)의 수송 부문 에너지 수요는 2021년 36.2백만toe에서 연평균 2.0%로 지속적으로 감소하여 2050년에는 20.3백만toe 수준으로 하락할 전망이다. 코로나19 종식으로 이동 수요가 증가하여 수송 부문 에너지 수요가 일시적으로 증가할 가능성은 있으나 친환경 자동차 보급이 빠르게 확대되면서 2019년 정점 이후 에너지 수요가 지속적으로 감소할 것으로 보인다²⁷.

그림 2.16 수송 부문 에너지 수요와 증가율 추이 (REF)



도로 부문은 전기 자동차 등의 친환경 자동차가 기존의 내연기관 자동차를 빠르게 대체하면서 석유 수요가 18백만toe 이상 감소하는 반면, 고효율의 전기 자동차 확대에 의한 전기 수요는 1백만toe 정도 증가에 그쳐 전체 에너지 수요가 감소하는 효과가 나타난다. 정부가 에너지 전환과 2050 탄소중립을 목표로 수립하고 적극적인 친환경 자동차 보급 정책을 추진하면서, 친환경 자동차가 내연기관 자동차를 대체하는 속도가 이전에 예상해왔던 것보다 더욱 빨라질 전망이다. 전기 자동차는 내연기관 자동차 대비 연료 효율이 높기 때문에 전기 자동차의 보급 확대는 전체 수송용 에너지 수요의 감소 요인으로 작용할 것이다.

철도와 해운의 에너지 수요는 전망 기간 동안 지속적으로 감소하여 수송 부문 에너지 수요에서 차지하는 비중이 줄어든다. 철도 부문은 신규 고속철도 노선 확대 등에도 인구 감소 및

²⁷ 수송 부문에서 도로 부문이 차지하는 비중이 가장 크기 때문에 도로 부문의 수요 감소는 전체 수요의 감소로 연결된다. 여기에 더해 개정 에너지밸런스에서 항공과 해운 부문의 국내 소비에 국적 항공사와 해운사의 소비량을 제외하면서 항공과 해운이 수송 부문에서 차지하는 비중이 더 작아졌기 때문에 도로 부문의 중요성이 더욱 커졌다.

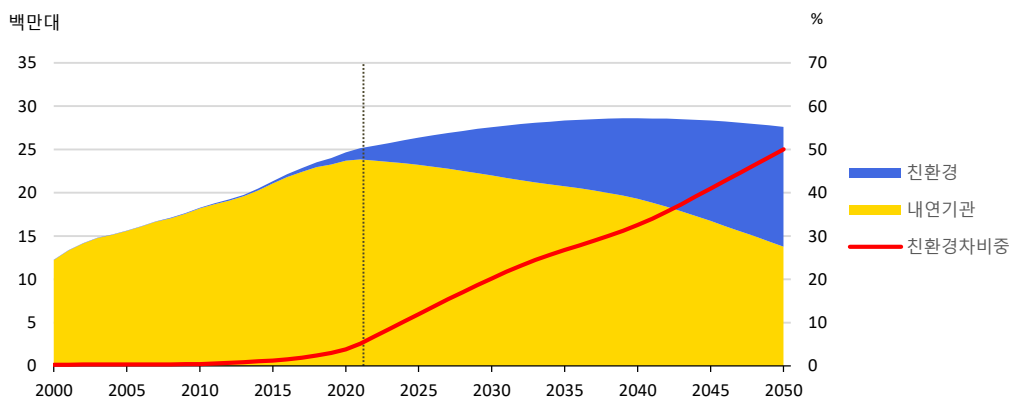
철도 화물 수송의 경쟁력 약화, 전동차의 효율 개선 등으로 에너지 수요가 감소한다. 해운 부분의 에너지 수요는 인구 감소, LNG와 LPG 사용 선박의 도입, 선박 운행 효율 개선, 기술적 연비 향상 등으로 감소를 지속할 것으로 예상된다.

수송 부문 에너지 수요에 큰 영향을 미치는 국제유가는 코로나19로 2020년 크게 하락하였으나, 2021년 하반기부터 세계 경제의 회복, 석유 상류 부문의 투자 지연 등으로 급등하고 러-우 전쟁과 서방의 러시아산 석유 수출규제로 인해 2022년 상반기에는 \$100/bbl을 넘어서며 높은 변동성을 보였다. 2023년 이후 지정학적 위험이 진정되고 수급이 안정되며 기존의 장기 가격 전망 추세로 복귀하겠지만, 최근 10년보다 높아진 유가 상황은 수송 부문의 석유 수요 증가를 제한하고 전기자동차로 전환을 가속화하는 요인으로 작용할 것으로 보인다.

□ 친환경차 보급 확대로 도로 부문 에너지 수요가 감소하면서 수송 부문 수요도 감소할 전망

도로 부문은 친환경 자동차의 보급 속도가 에너지 수요를 결정하는 핵심 요인이다. 배터리 전기차나 연료전지 전기차와 같은 친환경 자동차 보급 확대는 경유 승용차를 중심으로 한 내연기관 자동차를 감소시킨다. 여기에 자동차 엔진과 모터의 효율 향상이 에너지 수요의 감소의 또다른 요인으로 작용한다.

그림 2.17 기술별 자동차 보급과 증가율 추이 (REF)



주: 친환경 자동차는 전기, 수소 및 하이브리드 자동차를 의미

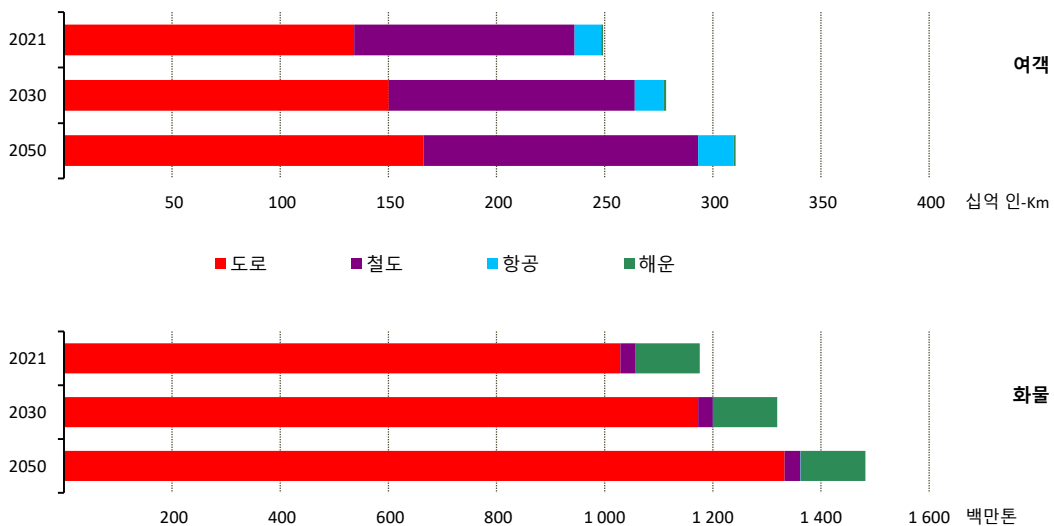
자동차 보급이 이미 포화 수준에 근접하고 있고 인구가 감소하면서 전망 기간 자동차 보급이 연평균 0.3% 증가에 그칠 것으로 예상된다. 내연기관 자동차는 미세먼지 저감을 위한 저등급 경유 자동차 운행 규제 및 퇴출 유도 정책 강화, 평균에너지소비효율제도 등에 따른 생산 제약 등으로 전기 자동차에게 시장을 내주면서 2020년대 초 정점 이후 보급 대수가 꾸준히 감

소할 전망이다. 하이브리드까지 포함하는 친환경 자동차는 자동차 제조사들이 경쟁적으로 새로운 모델을 출시하고, 적극적인 친환경 자동차 보급 확대 지원 정책에 힘입어 전망 기간 연평균 27% 이상 증가하는데, 특히 전기 자동차는 정부의 적극적인 보급 확대 정책에 힘입어 2020년 25.4만 대에서 연평균 33% 이상 빠르게 증가하며 내연기관 자동차를 대체할 전망이다.²⁸

□ 여객과 화물 수송 수요는 전망 기간 동안 꾸준히 증가하지만 인구 감소로 증가세는 둔화

비사업용 도로 수송을 제외한 나머지 수송 부문 에너지 수요는 사업용 여객과 화물의 수송 수요에 의해 결정된다. 사업용 여객 수요는 대중 교통 수단의 확충, 교통 인프라의 확장, 소득 수준 상승에 따른 여행 수요 증가 등으로 꾸준히 증가하지만 과거에 비해 증가 속도는 크게 둔화되어 연평균 1% 수준으로 증가할 전망이다. 이는 전망 기간 동안의 인구 감소도 큰 영향을 미치는 것으로 분석된다. 그 가운데 국내항공 여객은 가덕도 신공항, 제주 제2공항 건설 등 인프라 확장과 국내 여행 수요 증가 등으로 다른 수송 수단보다는 수송 수요가 조금 빠르게 증가할 전망이다. 전체 여객 수요는 2021년 2,504억PgKm (Passenger-km)에서 2050년 3,110억PgKm로 연평균 0.7% 증가할 전망이다.

그림 2.18 여객과 화물 수요 전망



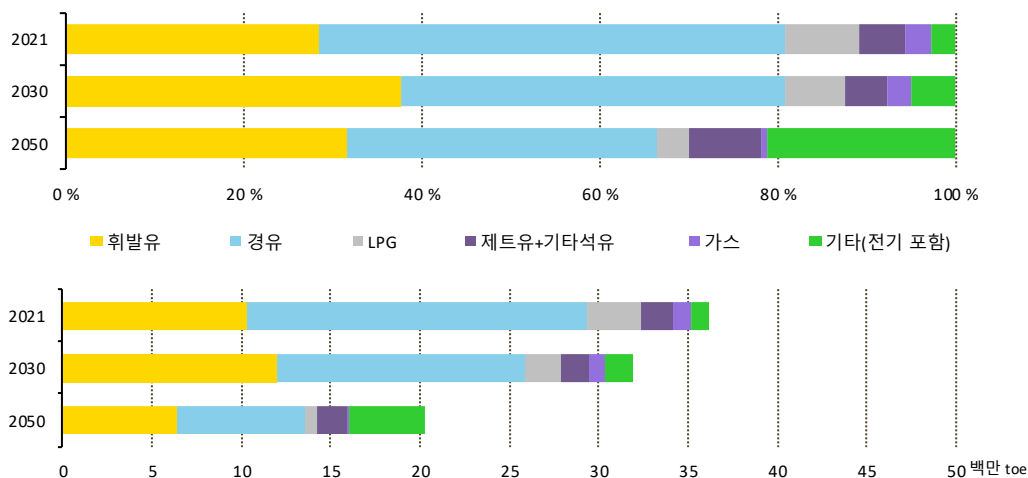
²⁸ 2021년 12월 21일 정부중앙청사에서 열린 “혁신성장 BIG3 추진회의”에서 기획재정부는 2022년 친환경차 등록대수 50만 대를 목표로 승용차 16만 5천대, 버스, 택시, 화물차 등 사업용 자동차 9만대, 총 25만5천 대에 친환경차 보조금 2조 4천억원을 지급하겠다고 밝혔다.

화물 수송 수요는 2021년 12억톤에서 연평균 0.8% 증가하여 2050년 15억톤에 도달할 전망이다. 국내화물 수송 수요의 대부분을 차지하는 도로화물 수요는 물동량 증가와 비대면 배달 서비스 성장에 따른 택배 물량 증가 등 요인으로 증가할 전망이다. 한편 그동안 빠르게 감소 하던 철도화물 수송 수요는 장대 철도 개통 등으로 감소를 멈추고 회복을 하다 차츰 증가할 것으로 예상된다.

□ 친환경차 보급 확대로 수송 부문 에너지 소비에서 석유가 차지하는 비중은 지속적으로 감소

친환경 자동차의 증가, 자동차 연비 개선, 내연기관 자동차 보급 감소 등으로 인해 수송 부문 석유제품 수요는 꾸준히 감소할 전망이다. 수송 연료 가운데 가장 큰 비중을 차지하는 경유는 전망 기간에 경유 자동차의 판매가 감소하면서 수요가 연평균 3% 이상 감소한다. 휘발유도 친환경 자동차가 휘발유 사용 내연기관 자동차를 대체해가면서 수요가 연평균 1.5% 이상 감소할 전망이다. 항공유는 항공 인프라 증가 등에 따른 항공 이용 증가에도 운항 효율 개선으로 전망 기간 연평균 0.3% 정도 수요가 감소할 전망이다. 반면에 다양한 전기 자동차의 출시, 구매 보조금 지급, 충전 인프라 확대, 충전 기술의 발전 등으로 전기 자동차 보급 대수가 급속히 증가하면서 전기 수요가 연평균 5.5% 수준으로 빠르게 증가할 전망이다.

그림 2.19 기준 시나리오(REF)의 연료별 비중 및 수요



□ 수송 부문 온실가스 배출량은 전망 기간 동안 지속 감소하여 2050년 46백만톤-CO₂eq로 축소

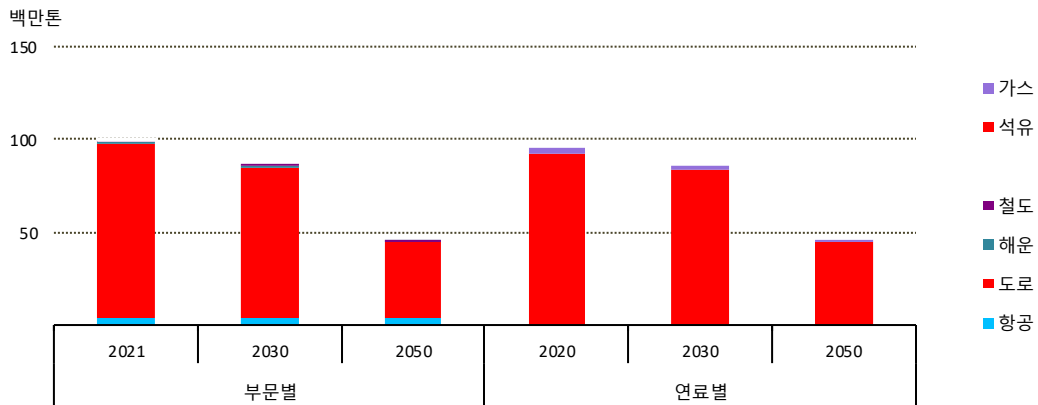
수송 부문의 온실가스 배출은 2021년 99백만톤-CO₂eq의 배출을 기록한 후 2050년까지 연평균 2.7% 감소한다. 수송 부문의 적극적인 온실가스 감축 정책 시행의 영향으로 배출량은 반등없이 지속적으로 감소할 전망이다. 도로 부문의 전기 자동차 보급 확대가 수송 부문 온실가

스 배출량 감소의 주요 동인이다. 수송 부문의 온실가스 배출에서 가장 비중이 큰 도로 부문의 온실가스 배출량은 2021년 93.4백만톤-CO₂eq에서 연평균 1.6% 감소하여 2030년 81백만톤-CO₂eq로 하락하고, 2050년에는 40백만톤-CO₂eq으로 감소한다.²⁹

항공 부문은 2021년 4.6백만톤-CO₂eq에서 효율 개선을 통해 조금씩 감소하여 2050년 4백만톤-CO₂eq으로 감소한다. 항공 부문은 2021년 전체 수송 부문 배출량의 약 5% 비중을 차지하는데 온실가스 감축 수단의 부재로 현재의 온실가스 배출 수준이 유지되며 2050년에는 전체 배출량의 9%를 차지할 정도로 비중이 커진다.

해운과 철도 부문의 배출량은 연료 대체와 효율 개선으로 점차 줄어들 것으로 보이나 수송 부문 온실가스 배출량에서 차지하는 비중이 1% 수준에 불과해 감축량은 크지 않다. 해운 부문은 LNG와 하이브리드선 도입을 논의하고 있고 철도 부문에서는 추가적인 전철화와 디젤 기관차의 수소 기관차 대체 등이 감축 수단으로 검토되고 있으나 배출 감축의 여지는 크지 않을 것으로 예상된다. 2050년 해운과 철도 부문의 배출량은 전체 배출량의 2% 수준으로 비중이 증가한다.

그림 2.20 기준 시나리오(REF)의 수송 부문별 연료별 온실가스 배출 전망



²⁹ 개정 에너지밸런스에서는 국적 항공기와 선박의 외항이 모두 국제빙커링으로 분류되면서 도로 부문의 비중이 더 커졌다.

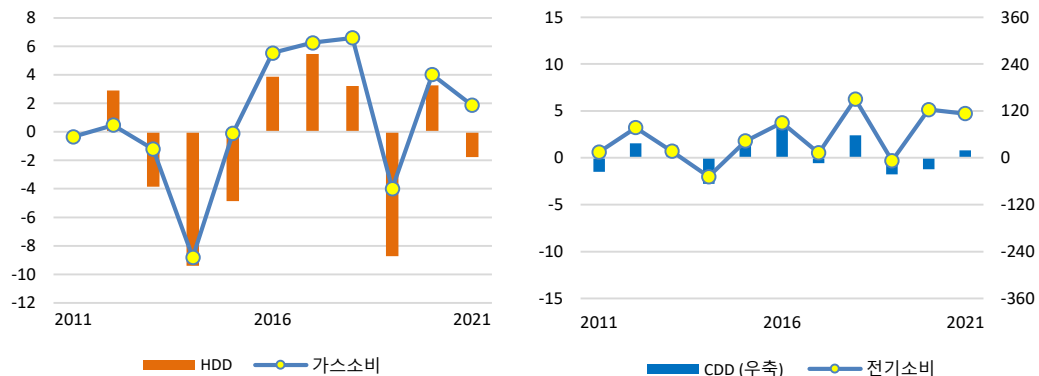
4. 가정 부문

4.1. 가정 부문 에너지 소비 추이 및 현황

□ 2021년 가정 부문 에너지 소비는 전년 대비 2.2% 증가하여 22.8백만toe 정점을 기록

2000~2021년 동안 가정 부문 에너지 소비는 연평균 1.6%로 완만하게 증가하여 2021년 22.8백만toe를 기록하였다. 동 기간 인구수, 주택수, 일인당 소득 등 가정 내 에너지 소비에 영향을 미치는 요인의 증가율이 둔화되면서, 가정 부문의 에너지 소비는 날씨의 변화와 동조하는 경향을 보였다. 시기를 세분하여 살펴보면, 2000~2013년 기간 동안 총인구, 가구수, 주택수, 소득 증가율 둔화와 더불어 가전기기 효율이 개선되면서, 가정 부문 에너지 소비는 연평균 1.7% 수준의 완만하게 성장하였다. 2014년~2021년 기간은 냉난방도일로 대변되는 날씨의 변화가 가정 부문 에너지 소비의 변화를 이끄는 주요 동인으로 작용하였다. 2014년 가정 부문의 에너지 소비는 냉난방도일로의 급격한 하락으로 전년 대비 6.4% 감소한 20.2백만toe를 기록하였다. 이후, 냉난방도일 상승세로 인해 가정 부문 에너지 소비는 연평균 2.7%로 전 기간 대비 다소 높게 증가하였다.

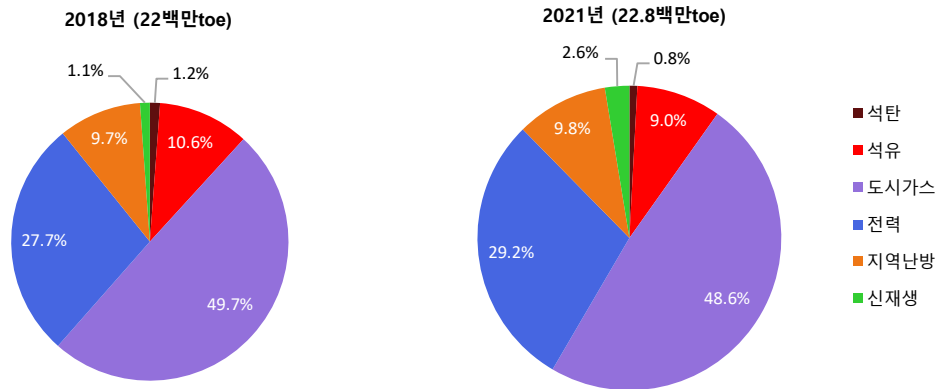
그림 2.21 냉·난방도일과 가정 부문 가스 및 전기 소비의 연간 변화율 (%)



2021년 가정 부문은 난방도일이 1.8% 소폭 감소하였으나, 냉방도일이 18.9% 증가하여 전체 에너지 소비는 역대 가장 높은 수준을 기록하였다. 2021년은 난방도일 소폭 하락함에도 불구하고 가스 소비는 전년 대비 1.9% 증가하여, 전년보다는 소폭 낮은 수준의 증가율을 보였다. 냉방도일은 2020년 29.2% 감소, 2021년 18.9% 증가하여 연도별로 상이하였으나, 전기 소비는 같은 기간 약 5% 수준으로 증가하였다. 2020년 이후 냉난방도일과 무관하게 가정 부문에서 가

스 및 전기 소비가 증가하였는데, 이와 같은 탈동조 현상은 일시적인 것으로 사회적 거리두기 해제에 따라 코로나19 이전 기존 소비 추세를 회복한 것으로 보인다.

그림 2.22 가정 부문 에너지 소비의 에너지상품별 비중 변화 (2018년과 2021년)



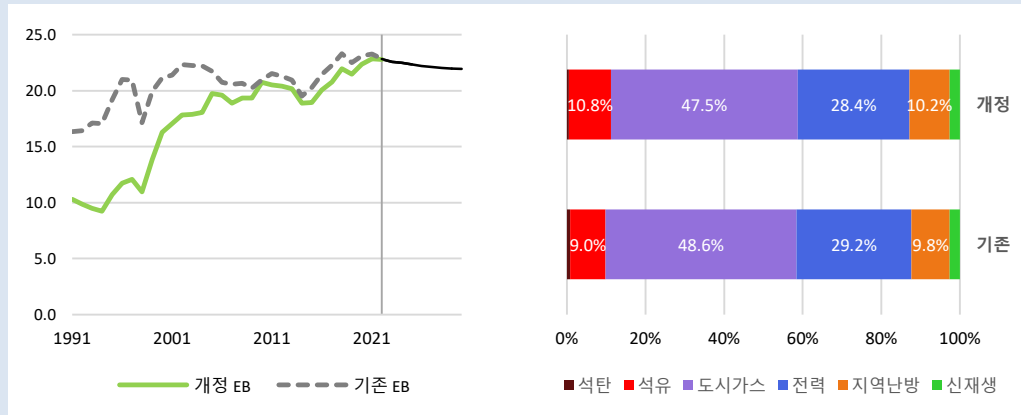
2021년 기준, 도시가스는 가정 부문 에너지 소비의 약 48.6%를 차지하였고, 그 다음으로 전기 29.2%, 지역난방 9.8%, 석유 9%가 그 뒤를 따른다. 석탄의 비중은 0.9%로 신재생에너지 비중 2.8%보다 낮아, 가정 부문에서 석탄의 사용 비중이 가장 낮은 것으로 나타났다. 우리나라 NDC 상향안의 기준연도인 2018년 가정 부문 에너지상품 비중 구성과 비교하면, 지난 3년간 가정 부문의 에너지 소비 구조가 점진적으로 변화하였음을 알 수 있다. 동 기간, 석유를 제치고 지역난방이 세 번째로 큰 비중을 차지하였고, 석탄 비중은 1.2%에서 0.8%로 감소하여 화석연료 사용 비중 감소하였다. 한편, 제로에너지건축물 제도 도입으로 인해 건물 부문에서의 신재생에너지의 확대 현상이 두드러졌다. 2018년 1.1% 수준에 불과하던 신재생에너지 사용 비중이 2021년 2.6%으로 두 배 이상 증가하였다.

글상자 2.4 에너지밸런스 개편으로 인한 가정 부문 에너지 소비의 변화

2021년 개정 에너지밸런스가 도입되면서 가정 부문의 에너지 실적 수치가 변경되었다. 에너지밸런스 개정에 따라 가정 부문에 나타난 주요 변화는 주로 석유 상품 분류 체계 변동으로부터 발생한다. 기존 에너지밸런스는 석유공사 시스템에서 사용하는 건물 부문의 통계 작성 방법을 준용하여, 전체 건물 부문 석유 소비 항목 중에서 가정 부문으로 분류된 항목을 집계하였다. 기존 에너지밸런스에서는 증기및온수공급업, 아파트임대및운영(주택포함), 집단공급(LPG), 캐비닛히트(부탄), 가사서비스업, 기타개인서비스업에 해당하는 항목을 가정 부문으로 분류하였다. 반면 개정된 에너지밸런스는 기존 항목 중에서 실제 가정 부문에서 사용된 항목만을 대상으로 한정하였다. 현행 에너지밸런스에서 가정 부문으로 분류된 항목은 아파트임대및운영

과 집단공급(LPG)이며, 증기및온수공급업은 열전용 사업자로 이전되었으며 이외의 항목은 서비스로 재분류되었다.

그림 2.23 개정 에너지밸런스와 기존 에너지밸런스의 가정 부문 소비 실적 비교



주: 우측 그래프는 개정 에너지 밸런스 및 기존 에너지 밸런스 체계에서 2021년 가정 부문 에너지 소비 실적을 나타냄

에너지밸런스 변경에 따른 실적 차이는 과거로 갈수록 더 큰 차이를 보인다. 현행 에너지밸런스와 기존 에너지밸런스의 가장 큰 차이는 석유제품 분류이므로, 가정 내 석유제품 소비 비중이 컸던 시기에 실적 차이가 두드러진다. 2001년 기준, 현행 에너지밸런스 가정 부문 총 에너지소비는 17.1백만toe인 반면 기존 에너지밸런스 가정 부문 총 에너지소비는 21.4백만toe으로 집계되었다. 같은 연도 석유제품 소비 실적이 현행 에너지밸런스 기준 4.7백만toe이며 기존 에너지밸런스 기준 8.7백만toe임을 감안할 때, 가정 부문 에너지밸런스 차이의 대부분이 석유제품 분류 차이에 따른 것임을 확인할 수 있다.

에너지밸런스 개정에 따라 2021년도 실적 순위에도 변동이 발생하였다. 2021년 가장 많은 소비를 보인 에너지상품은 도시가스와 전기 순으로 동일하였으나, 세 번째로 비중이 높은 에너지상품이 지역난방에서 현행 에너지밸런스에서는 석유로 바뀌었다. 기존 에너지밸런스에서 석유제품 소비가 2.5백만toe에서 현행 에너지밸런스 석유 소비가 2.1백만toe으로 하향 조정된 데 따른 것이다.

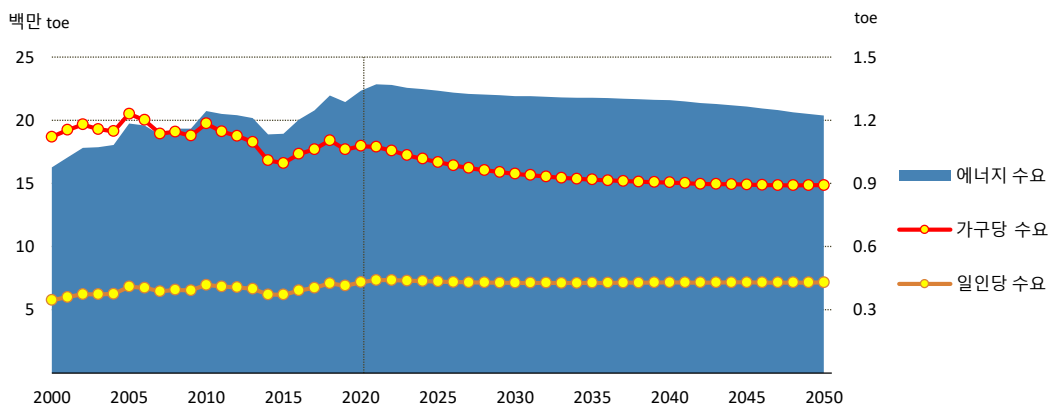
그러나 에너지밸런스 개정이 장기 에너지 전망에 미치는 영향은 다소 한정적일 것으로 보인다. 제로에너지건축물 제도 등 도입으로 인해 건물 부문에서 자연적으로 석유 소비 비중이 감소하고 있기 때문이다. 다만, 지난 실적 기간 동안 석유 제품 효율 향상으로 에너지원단위 개선이 대폭 향상된 데 따른 에너지원단위 전망 차이는 존재한다. 가정 부문 에너지 소비에서 석유제품의 비중이 높았던 지난 에너지밸런스에서는, 석유제품 에너지 효율 향상이 전망 시기에서도 영향을 미쳐 에너지원단위 개선이 더 빠르게 이루어질 것으로 전망되었다. 현행 에너지밸런스의 상품 분류 체계 변동으로 기존보다 에너지원단위가 완만하게 개선되는 것으로 추정되어 이로 인해 미래 에너지원단위 역시 개선 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 결과는 에너지밸런스 반영에 따른 개선 속도 차이는 석유제품의 비중차이에 기인한 것일 뿐, 실질적인 에너지원단위 차이가 있었다고 해석하기 어렵다.

4.2. 가정 부문 에너지 수요 전망

□ 기준 시나리오(REF)에서 가정 부문 에너지 수요는 2050년 20.4백만toe까지 하락

가정 부문 에너지 소비는 코로나19 여파에도 불구하고 2년 연속 증가하였으나, 전망 기간에는 꾸준히 감소하면서 2050년 20.4백만toe까지 하락할 전망이다. 이미 시작된 인구 감소가 지속되면서 인구는 2021~2050년 연평균 0.3% 감소한다. 이로 인해 가구수와 주택수의 증가세 역시 둔화되어 동 기간 가구수는 0.2%, 주택수는 0.5% 증가에 그칠 것으로 전망된다. 반면, 경제가 꾸준히 성장하면서 일인당 소득은 1.2% 증가한다. 이러한 인구학적 요인들로 인한 자연적인 에너지 소비 감소와 더불어 지속적인 에너지 효율 개선 노력으로 에너지 수요는 전망 기간 동안 연평균 0.4% 감소할 것으로 분석된다.

그림 2.24 기준 시나리오(REF)의 가정 부문 에너지 수요, 가구당 수요, 일인당 수요



총인구의 감소에도 불구하고 혼인율 감소와 독거노인 비율의 증가로 1인가구의 비중이 높아져, 가구당 에너지 수요는 연평균 0.6% 하락할 전망이다. 반면, 1인가구 증가에 따른 기본적인 에너지 수요 증가와 가전기기 다양화 및 보급 증가로 인해 1인당 에너지 수요는 연평균 0.1% 하락에 그칠 것으로 보인다. 제로에너지건축물과 같은 정부의 에너지 효율 개선 정책 및 시장의 에너지 효율 향상 노력으로 건물 에너지 성능 및 가전기기의 효율이 향상되고, 건물 에너지 성능이 우수한 공동주택 비중이 확대되고 성능이 낮은 단독주택 비중이 하락하면서, 호당 에너지 수요는 연평균 0.9% 하락할 것으로 보인다. 한편, 경제성장에도 불구하고 가정 부문 에너지 수요가 감소하면서 GDP당 에너지 수요는 연평균 1.6%로 빠르게 하락할 것으로 분석된다.

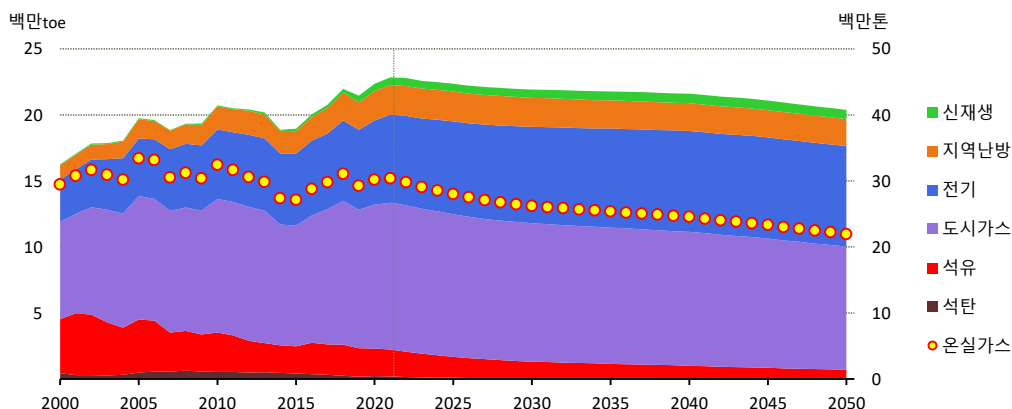
가정 부문 온실가스 배출량은 2000년 이후 2021년까지 증감을 반복하며 연평균 0.1% 완만하게 증가하여 2021년 30.4백만톤-CO₂e에 도달하였다. 동 기간 가정 부문 에너지 소비가

연평균 1.6% 증가하였음에도 불구하고 온실가스 배출량이 감소한 이유는 석탄, 석유의 소비가 도시가스, 지역난방으로 대체되면서 온실가스 다배출 에너지상품 수요가 빠르게 감소한 데 따른 것이다. 가정 부문의 직접배출은 2021년 이후, 지속적인 온실가스 감축 노력으로 연평균 1.1% 감소하여 2030년 26.2백만톤-CO₂eq, 2050년에는 21.9백만톤-CO₂eq으로 하락한다.

□ 전기와 재생에너지 증가, 도시시가스와 지역난방은 현 수준 유지, 석유와 석탄 수요 감소

2000년 이후 아파트 거주 형태가 빠르게 확대되면서 도시가스와 지역난방 에너지 수요가 빠르게 증가하여, 2000~2021년 도시가스와 지역난방 소비는 각각 연평균 2%, 3.4% 증가하였다. 2025년부터 신축되는 공동주택의 제로에너지건축물 인증이 의무화되면서 주택의 에너지 성능 및 효율 향상은 가정 부문의 전반적인 에너지 수요 감소를 이끌 것으로 보인다. 더불어, 2021~2050년까지 총인구 및 가구 수 감소와 건물 에너지 성능 개선에 따라, 도시가스와 지역난방 에너지 수요는 연평균 0.6%와 0.3% 수준으로 전체 에너지 수요 감소 추세와 동조하여 완만하게 감소할 전망이다.

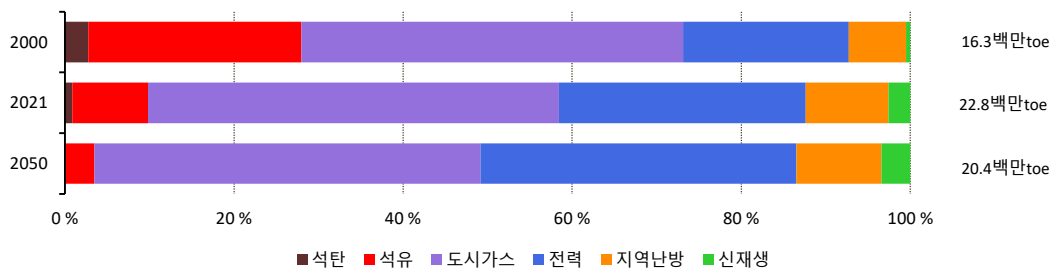
그림 2.25 가정 부문 에너지상품별 수요 와 온실가스 전망 (REF)



2000~2021년 기간 동안 가장 큰 감소를 보이는 에너지상품은 석탄과 석유로 각각 연평균 3.9%, 3.2% 감소하였다. 2021년 이후 신규 주택 건설 및 기존 주택 노후 보일러 교체에 의해 도시가스와 지역난방으로 대체가 지속되면서, 2050년 석탄 수요는 사라지고 석유는 0.7백만toe까지 감소할 전망이다. 「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법 (환경부, 2021)」 시행에 따라 석탄을 사용하는 온실가스 다배출 보일러 설치가 제한되어 난방/온수용 에너지상품의 대체 추세가 더욱 빨라질 것으로 전망된다.

태양광 보조사업과 같은 정부 재생에너지 확대 정책으로 가정 부문 신재생에너지 사용은 연평균 10.1%의 성장하였고 전기 수요는 연평균 3.6% 성장하였다. 2021년 이후, 냉방 수요 증가 및 다양한 가전기기의 보급 확대로 전기 수요는 증가하나 2021~2050년 연평균 0.5% 성장하여 성장세는 둔화될 것으로 보인다. 1인가구 증가로 개별 가구 당 기존 가전기기 수요가 지속되고 공기청정기, 건조기 등 기기가 다양화되는 것은 전기 수요를 증가시키는 요인으로 작용하나, 가전기기의 효율이 상승하고 심야전기보일러 보급 중단, 주택용 태양광 보급 확대로 전기 수요는 과거 대비 둔화된다. 재생에너지는 20%이상의 에너지 자립율을 의무화하는 제로 에너지건축물 의무화제도 시행과 재생에너지 보급 확대 움직임에 따라, 2021~2050년 전체 에너지 수요의 완만한 감소에도 불구하고 신재생에너지 보급은 연평균 0.5% 증가할 전망이다. 재생에너지 보급은 설치 여건, 설비 특성 및 잠재량을 고려할 때 태양광 및 연료전지를 중심으로 확대되어 열보다는 주로 전기 수요를 대체할 것으로 분석된다.

그림 2.26 기준 시나리오(REF)의 가정 부문 에너지상품별 수요 비중

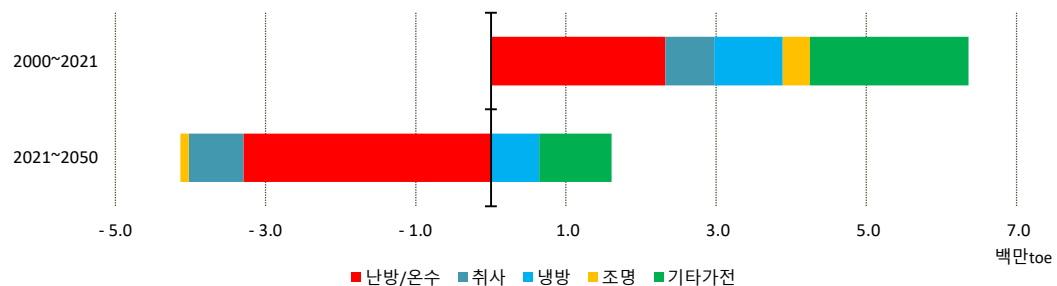


전망 기간 가정 부문 에너지 수요가 감소하는 가운데 전기 및 재생에너지 수요는 증가하고 지역난방 수요는 보합세를 유지함에 따라 전기, 지역난방, 재생에너지의 비중이 확대된다. 석탄과 석유 수요가 지속적으로 감소하면서 2050년까지 석탄의 소비는 사라지고 석유는 2021년 9%에서 3.5%까지 감소하는 것으로 분석된다. 지역난방은 2020년 이후 석유 수요를 앞지르면서 2021년 가정 부문 전체 에너지 수요의 9.8%를 차지하며, 이러한 기조가 2050년까지 유지되어 비중은 10%로 확대될 전망이다. 2021~2050년 기간 동안 도시가스는 가정 부문 에너지 수요에서 가장 큰 비중을 차지하는 에너지상품 위치를 유지하지만, 그 비중은 점차 감소하여 2050년 45.7%로 2021년 비해 2.9%포인트 하락할 전망이다. 재생에너지 수요의 증가 속도는 기저효과로 인해 과거보다 낮은 연평균 0.5% 수준에 그치지만, 2050년에는 석유 수요에 근접하면서 비중이 3.4%까지 증가할 전망이다.

□ 냉방 및 가전기기용 전기 수요는 증가하지만 난방/온수, 취사용 및 조명용 에너지 수요는 감소

가정 부문 에너지 수요에서 가장 큰 비중을 하는 용도는 난방/온수용으로, 총인구 및 가구 수 증가와 함께 난방/온수용 에너지는 2000년 12.3백만toe에서 2021년 14.6백만toe로 증가하였다. 이후 전망 기간 동안 아파트 보급 확대 등 주거 형태 변화, 주택 단열 및 난방 기술의 발전과 인구 감소 등의 요인으로, 난방/온수용 에너지 수요는 연평균 0.9% 감소할 것으로 전망된다. 난방/온수용 에너지의 비중을 살펴보면, 2000년 75.4%에서 2021년 64.5%로 10.9%포인트 감소하였으며, 이후 2050년까지는 56.2%로 지속적으로 감소할 것으로 분석된다. 취사용 에너지 수요는 2000~2021년 기간 동안 0.6백만toe 증가하여 연평균 0.8% 증가 속도를 기록하였으나, 인구 감소와 1인가구 증가에 따른 외식문화 활성화로 전망 기간 연평균 2.6% 감소한다. 용도별 비중도 2021년 8.5%에서 2050년 6%까지 감소할 전망이다.

그림 2.27 가정 부문 용도별 에너지 수요 변화 (REF)



냉방용 및 기타 가전기기용 전기 수요는 2000년 가정 부문 에너지 소비의 16.7%였으나, 2021년에는 27%까지 증가하였다. 냉방용 전기 수요는 여름 평균 기온 상승과 냉방기기 설치의 확산으로, 전망 기간 동안 연평균 1.8%로 가장 높은 증가세를 보이며 2021년 4.1%에서 2050년 7.9%까지 비중이 확대될 것으로 분석된다. 기타 가전기기용 전기 수요는 다양한 가전기기의 보급 확대 및 전기화 현상에 힘입어 전망 기간 연평균 0.7% 증가하고, 그 비중도 2021년 19.3%에서 2050년 26.5% 이상까지 증가한다. 반면, 조명용 전기 수요는 고효율 조명기기로의 대체가 가속화되지만, 난방/온수용의 감소가 더 빠르기 때문에 가정 부문 에너지 수요에서 차지하는 비중은 2021년 3.5%에서 2050년 3.4%로 크게 달라지지 않을 것으로 보인다.

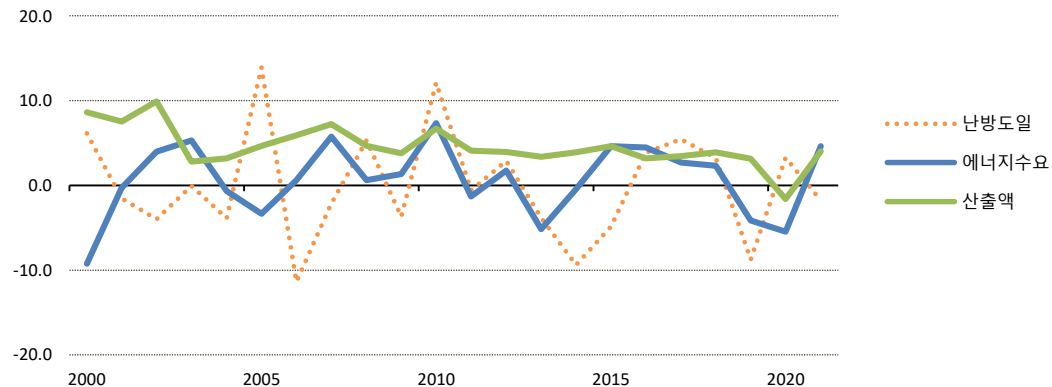
5. 서비스 부문³⁰

5.1. 서비스 부문 에너지 소비 동향

□ 2010년 이후 서비스업 트렌드 변화로 증가세 둔화, 코로나19로 크게 감소 후 최근 회복세

서비스 부문 에너지 소비는 2000년대 들어 주5일제 근무 본격화로 도소매와 음식숙박을 중심으로 성장세를 보이며 연평균 2.0% 증가해왔으나, 2011~2018년에는 산출액 증가세 둔화와 가구 구조 및 소비 트렌드 변화 등으로 연평균 증가율이 0.6%포인트 하락한 1.4%로 나타났다. 2010년 이후 1인가구의 증가로 소비 문화 및 회식 문화의 변화를 가져왔고, 이는 도소매와 음식숙박의 에너지 소비 추세에도 영향을 주었다. 한편, 고령화에 따른 보건사회복지, 인공지능, 빅데이터, ICT 분야 성장에 따른 정보통신, 온라인 쇼핑 확대 및 물류 시스템 고도화 따른 운수·보관의 에너지 소비가 빠르게 증가하였다. 코로나19 확산의 직접적인 타격을 입은 2020년에는 에너지 소비가 연평균 5.5% 감소하였다. 2020년 코로나19에 대응한 사회적 거리두기 강화는 특히 대면 서비스 유형이 대부분이었던 도소매, 음식숙박, 예술스포츠여가, 교육 업종의 생산 활동을 감소시켰고, 이러한 흐름은 에너지 소비 감소로 이어졌다. 2020년에는 난방도일이 3.3% 증가했음에도 불구하고 에너지 소비가 전년 대비 5.5% 감소하였다. 이후 단계적 일상회복 노력과 비대면 서비스 확대 등에 힘입어 더디지만 회복세가 나타나는 중이다. 2021년에는 단계적 일상회복 노력에 힘입어 산출액이 전년 대비 4.0%, 에너지 소비는 전년 대비 4.6% 증가하며 회복세를 보였다.

그림 2.28 서비스 부문 에너지 수요 및 산출액 증가율 추이

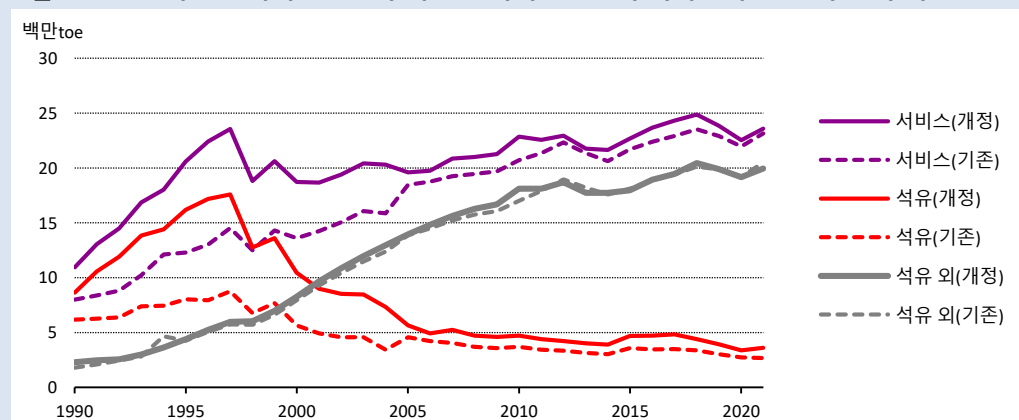


³⁰ 서비스 부문은 민간서비스와 공공서비스를 모두 포함하며, 에너지밸런스의 상업 부문과 공공 부문을 의미한다.

붙임 2.5 에너지밸런스 개편으로 인한 서비스 부문 에너지 소비의 변화

개정 에너지밸런스(개정 밸런스)의 1990년 이후 서비스 부문 에너지 소비 실적은 기존 에너지밸런스(기존 밸런스) 대비 전반적으로 상향 조정되었다. 특히 1990년대 및 2000년대 초반까지 크게 상향 조정되었는데, 1996년 서비스 부문 에너지 소비는 기존 밸런스 기준으로는 13.0백만toe이지만 개정 밸런스에서는 22.4백만toe로 9.4백만toe 증가하였다. 이러한 밸런스 간 차이의 주된 원인은 석유 소비의 통계 작성 방식 변화이다. 기존 밸런스는 서비스 부문 석유 소비 일부를 가정용으로 분류하였다. 이는 석유공사에서 사용하는 건물 부문 통계 작성 방법을 따른 것이었으나, 실제 서비스 부문과 가정 부문이 사용한 석유 소비 실적을 파악하는데 한계가 있었다. 개정 밸런스에서는 가정 부문의 석유 수요에 아파트임대및운영, 집단공급(LPG)만 포함하고, 그 외 캐비닛히트(부탄), 가사서비스업, 기타개인서비스업 등을 서비스로 분류하며 이러한 오류를 보정하였다.³¹

그림 2.29 개정 에너지밸런스와 기존 에너지밸런스의 서비스 부문 소비 실적 비교



석유는 1990년대 서비스 부문의 주력 에너지원이었으나, 이후 가스 및 전기로 대체되며 서비스 부문 전체 에너지 소비에서 석유의 비중이 감소하였다. 기존 밸런스는 이러한 석유 소비 감소를 충분히 반영하지 못한 채, 석유 외 에너지 소비의 증가세를 반영하여 서비스 부문의 에너지 소비가 가파른 증가세를 보이는 것으로 분석하였다. 개정 밸런스는 타 에너지원 소비 추세는 기존 밸런스와 유사한 상태에서 석유 소비를 보정함으로써, 1990년 이후 서비스 부문의 에너지 소비가 하락과 횡보 또는 소폭 상승해왔음을 보여준다. 개정 밸런스 기준으로 1990~2021년 서비스 부문의 에너지 소비는 10.9백만toe에서 23.6백만toe로 연평균 2.5% 증가하였다. 기존 밸런스 기준으로는 동일 기간 8.0백만toe에서 23.2백만toe로 늘어 연평균 8.8% 증가한 것으로 나타났었다. 다만, 이러한 차이가 2021~2050년 에너지 소비 전망에 미친 영향은 제한적이다. 이는 서비스 부문 에너지 소비 실적의 기존 밸런스와 개정 밸런스 간 주된 차이가 석유에서 발생하였는데, 이미 서비스 부문의 석유 소비가 상당 부분 감소하여 그 비중이 크지 않기 때문이다.

³¹ 개정 밸런스는 건물 부문 내 석유 소비 실적을 서비스 및 가정 부문에 재분류하였기에, 서비스 부문과 가정 부문을 합한 건물 부문의 총 에너지소비 실적은 기존 밸런스의 실적과 유사하다.

한편, 서비스 부문의 성장세가 둔화되면서 서비스 부문 에너지 소비 변화에 산출액의 변화가 미치는 영향은 줄어든 반면, 급격한 기온 변화가 미치는 영향은 높아지는 경향이 나타났다. 2000년대에는 기온의 영향에도 불구하고 견고한 산출액 증가에 힘입어 에너지 소비가 증가세를 보였다. 일례로, 2006년에 난방도일이 11.3% 급감하였으나 에너지 소비는 0.6% 증가하였다. 그러나 2014년에는 전년 대비 산출액이 3.9% 증가하였지만 냉방도일과 난방도일이 각각 66.7%, 9.4% 감소함에 따른 영향으로 에너지 소비는 0.5% 감소하였다. 2019년에는 산출액이 3.2% 증가하였지만, 겨울철 온화한 날씨로 난방도일이 8.7% 감소하고 극심한 폭염을 겪었던 2018년에 대한 기저효과로 냉방도일이 42.4% 급감하면서 에너지 소비는 4.2% 감소하였다. 다만, 2020년에는 코로나19라는 특수한 상황이 서비스 부문에 직접적인 타격을 입히면서, 난방도일이 3.3% 증가하였으나 에너지 소비는 전년 대비 5.5% 감소하였다.

5.2. 서비스 부문 에너지 수요 전망

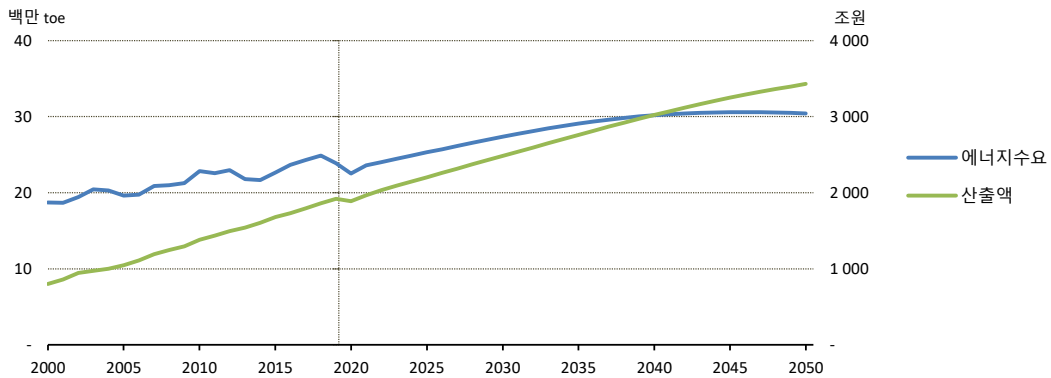
□ 에너지 수요는 2021~2050년에 연평균 0.9% 증가로 2050년에 30.4백만toe에 이를 전망

서비스 부문 에너지 수요는 2020년에 22.5백만toe로 낮아졌다가 2021년에는 23.6백만toe로 회복되었다. 이후로는 에너지 수요 증가세가 크게 줄어들어 산출액 성장 대비 에너지 수요 증가세가 크게 둔화될 전망이다. 전망 기간 서비스업의 산출액은 연평균 1.9% 성장하지만 에너지 수요는 연평균 0.9% 증가에 그치면서 서비스 부문의 에너지원단위가 연평균 1.0% 개선되는 것으로 나타난다. 이는 서비스 부문에서의 성장이 주로 에너지원단위가 상대적으로 낮은 보건사회복지서비스업과 정보통신업 등에 집중되고, 에너지원단위가 높았던 서비스 업종에서도 에너지원단위 개선이 빠르게 이루어지기 때문이다. 특히 정보통신업에서 에너지 소비량이 많은 데이터센터 등을 중심으로 비용 절감 및 온실가스 저감을 위한 에너지효율 극대화 기술이 발전하면서 에너지 소비 증가세는 지속 둔화될 전망이다. 한편, 1인가구 증가 및 인구 고령화와 더불어 결혼과 출산 감소에 따른 인구 감소와 학령인구 감소 등으로 소비자의 구성이 바뀌면서 소비 트렌드에도 장기적으로 많은 변화가 예상된다. 특히 코로나19 대유행을 거치며 등장한 비대면이 보편화되며 코로나19 회복 이후에도 에너지 소비 패턴에도 지속적인 변화가 나타날 것으로 전망된다.

1인가구의 증가와 코로나19의 경험은 외식 및 음주 문화에 많은 변화를 주었다. 과거에는 음식점에 모여 식사하는 것이 주를 이루었다면, 코로나19를 겪은 뒤에는 가정간편식(HMR)을 이용하거나 음식을 포장하거나 배달을 통해서 간편하게 집에서 식사를 즐기는 것이 보다 일상화되었다. 외식 문화의 변화는 음주 문화에도 변화를 주었다. 음식점이나 주점에서 함께 술을

마시는 모습이 일상이었다면, 최근에는 집에서 홀로 술을 마시는 경우가 빠르게 늘고 있다. 이러한 새로운 소비 트렌드는 상업 시설 내 소비자들이 머무는 시간을 줄어들게 하고, 산출액 증가 대비 에너지 소비 증가가 둔화되는 결과로 이어진다. 이에 더하여 식료품을 온라인으로 구매하는 방식이 보편화되면서 에너지 소비량이 많은 대형마트 등의 오프라인 매장이 앞으로 감소할 것으로 전망된다.

그림 2.30 기준 시나리오(REF)의 서비스 부문 에너지 수요 및 산출액 추이



인구 구조 변화 및 인구 감소도 서비스 부문 에너지 소비 변화에 주된 요인으로 작용할 전망이다. 인구 고령화는 보건사회복지 업종의 부가가치 및 에너지 소비를 증가시키고, 결혼 및 출산 감소에 따른 학령인구 감소와 코로나19 이후 가속화된 교육 서비스의 온라인화는 교육 업종의 에너지 소비를 둔화시킬 전망이다. 한편, 인공지능, 빅데이터, 첨단 로봇 기술의 발달과 코로나19 여파로 인한 비대면 서비스 문화가 보편화되고 로봇과 인공지능이 인력을 대체하는 경우가 늘며 설비/기기의 에너지 소비가 증가할 전망이다. 특히 도소매, 음식숙박, 보건사회복지, 운수보관 등의 업종에서 운송, 접대 서비스, 의료 서비스 로봇에 대한 기술이 빠르게 발전하고 그 수요가 높아지면서 관련 설비/기기의 전기 소비가 꾸준히 증가할 전망이다.

□ 도소매와 음식숙박이 에너지 수요를 견인하나 보건사회복지와 정보통신이 가장 빠르게 증가

서비스 부문은 다양한 업종으로 구성되어 있으며, 각 업종의 개별적인 특성으로 인해 에너지 수요 변화도 업종별로 다르게 나타난다. 전망 기간에는 앞서 언급한 대로 인구 및 가구 구조의 변화, 코로나19 이후의 소비 트렌드 변화, 무인화·자동화 등으로 인해 업종별로 에너지 수요 패턴이 다르게 나타날 것으로 분석된다. REF에서는 서비스 부문에서 에너지 소비 비중이 큰 도소매와 음식숙박에서 증가세가 둔화되기는 하나, 에너지 소비 증가의 기여도는 여전히 클 것으로 전망된다. 그러나 전망 기간 높은 성장세를 보인 정보통신과 보건사회복지를 비롯

하여, 업무 자동화를 기반으로 에너지의존도가 높아질 운수보관 업종에서의 에너지 수요가 빠르게 증가할 전망이다. 특히, 전망 기간에너지 소비 증가의 기여도가 가장 큰 업종은 보건사회복지로 예상된다.

서비스업에서 생산과 고용 모두 비중이 가장 높은 도소매업은 최근 코로나19의 재확산과 그에 따른 사회적 거리두기 강화의 영향으로 더딘 회복세를 지속하고 있다. 도소매에 속한 대부분 업종들이 전통적인 대면 서비스 유형에 해당함에 따라 코로나19 확산 이후 산출액이 감소하였고 사회적 거리두기 해제에 따라 일부 회복하고 있는 상황이다. 또한, 특정 상품 또는 서비스에 대한 온라인 서비스 제공 방식의 확대로 인해 대면 서비스 부문에서의 감소세를 비대면 서비스 부문의 성장세가 일부 상쇄하고 있다. 코로나19 이전부터 1인가구 증가 및 인구 고령화로 인해 오프라인 유통은 소규모 특화 상품 전문점이 견인하고 있는 반면, 백화점, 대형마트 등의 대규모 유통업의 성장은 둔화 추세이다. 도소매 업종은 ICT 기술의 발달, 인구 및 가구 구조의 변화 등의 영향으로 시장 구조의 다양한 변화가 예상되지만 성숙기에 접어든 시장 상황을 감안할 때 저성장 기조를 유지할 것으로 전망된다. 이에 따라 도소매의 에너지 소비는 완만하게 증가할 전망이다.

음식숙박업은 대표적인 대면 서비스업으로 방역 정책의 완화로 일시적인 회복세를 보인 바 있지만, 최근 다시 코로나19의 확산세가 커짐에 따라 여전히 대부분의 세부 업종의 침체는 지속되고 있다. 이는 영업시간 및 인원 제한 등 방역 정책에 따른 서비스 공급의 제한뿐만 아니라 수요자의 심리적 위축으로 인한 수요 감소에도 큰 영향을 받는 업종 특성과 관련된 것으로 보인다. 단기적으로는 코로나19 이후 억제된 수요의 활성화로 회복세를 보일 것이나, 내국인의 해외여행 수요가 완전 회복될 경우 단기적 상승세는 둔화될 것으로 예상된다. 중장기적으로도 외식 및 내외국인의 관광수요가 정체되는 추세로, 전체 시장의 성장보다는 전통적 서비스와 에어비앤비(Airbnb)로 대표되는 공유숙박 등 새로운 비즈니스 모델 간의 대체 가속화가 예상되어 업종의 성장세는 둔화될 전망이다. 한편, 코로나19와 1인가구 증가 등으로 식당에서의 식사 수요가 감소하여, 식당 내 조명과 냉난방을 위한 에너지 수요가 점차 둔화될 전망이다. 반면, 키오스크를 통한 음식 주문이나 로봇을 이용한 음식 서빙을 넘어 로봇을 이용한 음식 조리까지 발전하면서 요식업에서의 로봇 활용 및 그에 따른 전기 수요는 증가할 전망이다. 이에 따라 음식숙박업의 에너지 소비도 완만한 증가세로 전망된다.

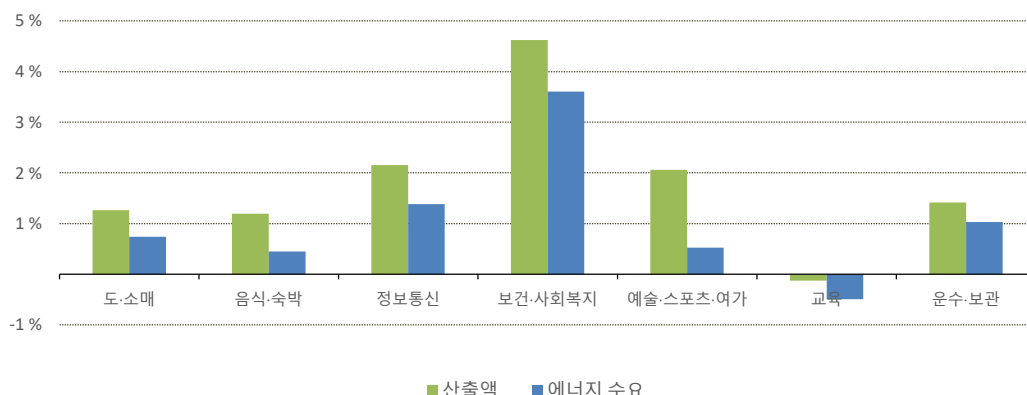
정보통신업은 모든 서비스 업종에서 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능, 로봇, 가상현실 등 다양한 첨단기술이 적용되면서 데이터센터 확대 및 데이터 수집 및 이용을 위한 기계 설비가 빠르게 늘어날 전망이다. 또한, 일부 세부 업종이 대면 서비스의 성격을 지니고 있지만 전체적으로 비대면 서비스 특성이 강하여 코로나19가 새로운 시장 창출의 요인으로 작용하기도 하였다. 특히 단기적으로 코로나19로 인해 새롭게 형성된 비대면 서비스에 대한 수요가 지속될

것으로 예상되어 성장세가 유지될 것으로 보인다. 중장기적으로는 오프라인 서비스에 대한 수요가 온라인 서비스를 보완할 뿐만 아니라 대체하는 성격도 있으므로, 오프라인 서비스 수요가 회복되는 단계에는 성장세가 보다 완만해질 것으로 예상된다. 정보통신업은 산출액이 전망 기간인 2021~2050년간 연평균 2.2% 증가로 빠르게 증가할 전망이며, 높은 에너지의존도로 인해 에너지 수요 증가율도 연평균 1.4% 증가할 전망이다.

보건사회복지업은 인구 고령화에 따른 의료 및 복지 수요 급증으로 서비스 부문 내에서 산출액이 연평균 4.6%로 가장 빠르게 증가하고 이에 맞춰 에너지 수요도 연평균 3.6%의 증가가 전망되어, 에너지 수요가 가장 빠르게 증가할 업종으로 나타났다. 에너지 수요 증가세가 산출액 증가세보다 낮은 이유는 에너지원단위가 높지 않은 업종의 특성과 연관된다. 또한, 의료용 로봇이나 헬스케어 로봇이 새롭게 등장하면서 다른 업종과 마찬가지로 기기에 대한 전기 소비가 지속적으로 증가할 전망이다.

운수보관업은 온라인 쇼핑의 보편화로 인해 온라인 도소매업이 발달하고 물류센터 등이 확대되면서 에너지 소비가 증가하고 있다. 미래에는 물류 시스템의 무인 자동화로 로봇이 인력을 대체하며 기기 중심으로 에너지 수요가 증가할 전망이다. 전망 기간 운수보관업의 에너지 수요는 연평균 1.0% 증가할 것으로 예상된다. 교육서비스에서는 학령인구(6~21세)가 1980년 1,440만 명을 정점으로 2020년에 789만 명으로 빠르게 감소하였고, 최근 코로나19의 영향 등으로 결혼 및 출생 건수도 현저하게 줄어들고 있어 전망 기간에도 빠른 감소세를 보일 전망이다. 장래인구추계(통계청, 2022a)에 따르면 2050년에는 481만 명으로 2020년 대비 약 60% 수준으로 감소할 전망인데, 특히 대학 인구(18~21세)가 2020년 대비 50%대 수준으로 감소할 전망이다. 그러나 디지털 교육 장비 보급 확대 등으로 인해 학생 1인당 에너지 수요가 늘면서 전망 기간 에너지 수요 감소세는 연평균 0.5%로 소폭 감소할 전망이다.

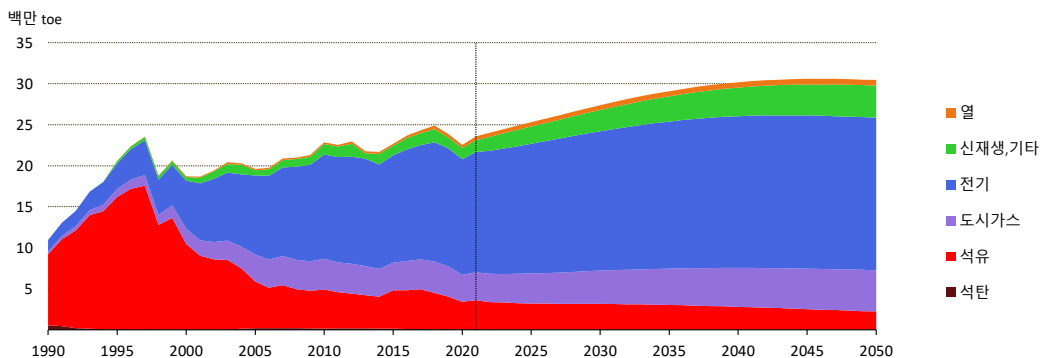
그림 2.31 2021~2050년 업종별 산출액과 에너지 수요의 연평균 증가율



□ 전기와 신재생에너지가 빠르게 증가하고 가스도 소폭 증가하는 반면 석유는 지속 감소 전망

전기 수요는 전망 기간 연평균 0.8% 증가하면서 2050년 약 3.9백만toe 증가한 30.4백만 toe로 전망된다. 전기 수요 증가분은 서비스 부문 전체 에너지 수요 증가의 56.9% 정도를 차지하고, 전기의 서비스 부문 에너지 수요 내 비중은 2021년 62.3%에서 2050년 61.1%로 비슷한 수준을 유지할 전망이다. 전기가 주로 사용되던 냉방과 기기 용도 외에 난방/온수, 취사에서도 일부 전기화가 계속 진행되면서 연료 대체에 의한 수요가 증가할 전망이다. 건물 난방에서 전열기구를 사용하거나 전기를 이용한 공조시스템이 보편화되고 음식점에서도 인덕션을 사용하는 경우가 늘면서 기존의 냉방과 기기에서 난방/온수와 취사 용도에까지 전기 사용량이 증가하는 추세를 보이고 있다. 또한, 정보통신 및 인공지능 기술 발전과 서비스 로봇 보급의 확대로 서비스 건물의 첨단화, 무인화 및 자동화가 이루어지고 인력을 대체하는 서비스 로봇이 확산되면서 전기 소비가 더욱 빠르게 증가할 전망이다. 이러한 추세는 전망 기간 동안 이어질 것이며, 특히 탄소중립 목표 달성을 위해 건물 부문의 전기화가 빨라질 전망이다. 한편, 기기/설비의 에너지효율 증대, 건물에너지관리시스템(BEMS)³²의 보급 확대 등에 따른 에너지 효율 향상, 신재생에너지 보급 확대가 전기 소비를 대체하면서 전기 수요 증가세는 지속적으로 둔화될 전망이다.

그림 2.32 기준 시나리오(REF)의 서비스 부문 에너지상품별 수요 추이 및 전망



가스 수요는 석유 수요를 일부 대체하면서 2050년 5.0백만toe로 2021년의 3.4백만 toe에 비하여 1.6백만toe 증가, 또는 2021~2050년 사이 연평균 1.4% 증가할 전망이다. 서비스 부문에서 가스 소비는 고유가 시기인 2012년에 석유 대비 높은 가격 경쟁력과 친환경성으로 처음

³² 건물에너지관리시스템(Building Energy Management System, BEMS)은 건설, ICT, 에너지 기술을 융합 활용하여 건물에 대한 각종 정보를 수집, 분석하여 에너지를 효율적으로 관리하여 주는 시스템으로, 2017년부터 건축허가를 신청하는 연면적 1만m² 이상의 공공기관 건축물은 BEMS를 의무적으로 설치해야 한다.

석유를 제치고 전기에 이어 두 번째로 큰 비중을 차지하게 되었다. 추가적으로 2017년 11월 미 수급 회수를 완료함으로 인해 도시가스 요금이 대대적으로 인하되었고, 그에 따른 영향으로 가스 수요가 빠르게 증가하였다. 최근 러-우 전쟁으로 인하여 가스 가격이 빠르게 상승하였으나, 장기적으로는 대규모 투자를 통한 생산 증대 및 셰일가스 도입 비중 증가로 가격이 하향안정세에 들어서면서 수요 증가를 일부 견인할 전망이다. 여기에 대형건물을 중심으로 가스를 이용한 GHP나 흡수식 냉온수기 등의 냉·난방 수요가 증가하면서 서비스 부문 에너지 수요에서 가스가 차지하는 비중은 2021년 14.3%에서 2050년 16.5%로 소폭 상승할 전망이다.

신재생에너지는 정부의 신재생에너지 보급 확대 정책에 힘입어 연평균 3.6%로 에너지원 중 가장 빠르게 증가하여 서비스 부문에서 차지하는 비중이 2050년에 12.9% 수준에 이를 전망이다. 서비스 부문의 신재생에너지는 주로 정부의 신재생에너지 확대 정책에 힘입어 공공 부문을 중심으로 빠르게 증가해왔다. 건물 지원, 지역 지원 사업이 추진되고 공공기관 신재생에너지 설치 의무화 제도가³³ 시행되고 의무 대상과 공급 의무 비율이 확대됨에 따라 2010년대 이후로 빠르게 확산되었다. 2000년까지 서비스 부문 에너지 수요 내 비중이 2.3%에 불과하던 신재생에너지는 2021년에 6.0%에 이르게 된다. 전망 기간에도 신재생에너지 수요가 가장 빠르게 증가할 전망인데, 이는 공공 부문이 정부의 신재생에너지 보급 정책을 적용하기 수월한 데다, 정책의 적용 범위가 공공 부문에서 민간 부문까지 확대될 예정이기 때문이다. 또한, 히트펌프 보급 확대, 제로에너지건축물 의무화 제도³⁴, 그린 리모델링 지원 사업³⁵ 등의 제도가 지속 확대될 예정인데, 이를 실현하는 과정에서 서비스 부문의 신재생에너지 보급이 빠르게 증가할 전망이다.

과거 주요 난방 에너지로 사용되던 석유는 가스나 전기로 빠르게 대체되었으며, 전망 기간에도 연평균 -1.7%로 지속적인 감소세를 보일 전망이다. 석유는 1990년대 서비스 부문의 주력 에너지원이었으나 gas와 전기 같은 네트워크 에너지의 보급 확대로 에너지 소비 비중이 2004년부터 전기보다 낮아졌고, 2012년에는 고유가시기를 겪으며 가스의 비중이 높아짐에 따

³³ 공공기관이 신축·증축 또는 개축하는 연면적 1,000㎡ 이상의 건축물에 대하여 예상 에너지 사용량의 공급 의무비율 이상 (2017년에 21%, 이후 2020년까지 매년 3%p 상승)을 신재생에너지로 공급하도록 의무화한다.

³⁴ 제로에너지 건축물은 단열성능 극대화를 통해 필요한 에너지부하를 최소화하고 신재생에너지를 활용하여 에너지 소비를 최소화하는 녹색건축물을 의미하며, 인증 기준은 에너지효율 등급이 1++ 이상, 에너지자립률 20%(5등급) 이상인면서 건물에너지관리시스템 (BEMS) 또는 원격검침 전자식 계량기 설치임. 2017년 1월 20일부터 제로에너지건축물 인증제를 시행하였고, 2020년에는 1,000㎡ 이상 공공 건축물을 대상으로 의무화하기 시작함. 이후 2023년에 500㎡ 이상 공공 건축물, 2025년에 1,000㎡ 이상 민간건축물과 30세대 이상의 공동주택, 2030년에 500㎡ 이상 민간 건축물에 의무화를 적용할 예정이다 (국토교통부, 2021).

³⁵ 그린리모델링 지원사업은 쾌적하고 건강한 거주환경을 제공하기 위해 에너지 효율을 높이고, 온실가스 배출을 낮추어 기존 노후 건축물의 가치를 향상시키기 위한 정책 사업이다.

라 석유 비중이 감소하였다. 2014년 말 유가 급락으로 인해 2015년에 소비량이 증가하기는 했으나 최근에 다시 감소 기조로 전환되어 2021년에는 석유 비중이 15.3% 수준으로 하락하였다. 전망 기간에도 장기적으로는 가스 대비 가격경쟁력이 낮고, 온실가스 배출 저감 노력에 따른 화석연료 대체 움직임 속에서 석탄과 함께 빠른 감소세를 이어갈 전망이다. 이로 인해 석유 소비 비중은 2050년 7.3%까지 낮아질 전망이다.

□ 에너지 수요는 증가하지만 화석연료 감소로 서비스 부문 온실가스 배출³⁶은 현재 수준을 유지

서비스 부문은 2000년대 이후부터 전기화가 지속적으로 이루어졌기에 온실가스 직접배출량은 꾸준히 감소해왔으며, 배출량도 다른 부문에 대비 적은 것으로 나타난다. 서비스 부문 온실가스는 석유 소비가 주를 이루던 1990년대 평균 40.5백만톤-CO₂eq까지 배출되었다가 연료 대체로 인해 2000년대부터 빠르게 감소하였다. 최근에는 기온 효과와 코로나19의 영향으로 2019~2020년에 걸쳐 빠르게 감소하는 모습을 보였다. 전망 기간에는 에너지 수요 증가에도 불구하고 전기화로 인해 화석연료 수요가 지속적으로 줄어들면서 온실가스 배출은 비슷한 수준을 유지할 것으로 전망된다. 2020년 16.3백만톤-CO₂eq에서 코로나19의 기저효과로 에너지 수요가 빠르게 늘면서 배출량도 잠시 늘어나며 2021년 17.1백만톤-CO₂eq로 나타났다. 이후에는 에너지 수요 소폭 증가에도 불구하고 온실가스 배출량은 비슷한 수준을 유지하며, 2050년 배출량은 17.0백만톤-CO₂eq로 전망된다.

³⁶ 본 보고서의 온실가스 배출은 직접배출을 기준으로 서술하였다.

6. 발전/열생산 부문

6.1. 전기, 열, 수소 수요

□ 에너지 통계의 변화와 전기 및 열 소비 실적

2019년은 경제성장률의 하락과 냉·난방도일이 감소하면서 전기 소비가 전년 대비 1.0% 감소하였고, 2020년은 코로나 팬데믹으로 인한 경제활동 후퇴로 전년 대비 1.4% 감소하면서 처음으로 2년 연속 전기 소비가 감소하였다.³⁷ 전기 소비의 감소와 더불어 자가발전 비중이 확대되면서 전기 판매는 2019년 -1.1%, 2020년은 -2.0%로 더욱 큰 감소율을 기록하였다. 코로나19는 부문별로 상이한 영향을 미쳤는데, 산업 부문에서 3.9%, 서비스 부문에서 2.2% 전기 판매가 감소한 반면, 재택 근무와 이동 제약으로 주택 거주 시간이 늘어나면서 가정 부문 전기 판매는 전년 대비 5.1% 증가했다. 코로나19로 2년 연속 감소했던 전기 소비는 2021년 전년 대비 4.6% 증가한 569 TWh를 기록하였으며, 전기 판매 또한 4.9% 증가하였다. 전기 소비와 전기 판매의 증가는 코로나19로 인한 침체에서 벗어나면서 국내총생산이 4.1% 반등한 것과 냉방도일이 전년 대비 18.9% 증가한 영향이 컸다. 전기 판매의 증가는 부문별로 고루 높은 증가율을 보였지만, 소비 비중이 높은 산업 부문이 평균보다 높은 5.4% 증가하면서 전기 판매에서 산업이 차지하는 비중이 더욱 커졌다.

열 소비는 건물 난방에 사용하는 지역난방과 산업단지에서 판매하는 열에너지를 의미한다. 에너지상품의 최종소비 목적은 열과 전기이다. 전기를 제외한 에너지상품 중에서 자가발전에 사용되는 화석연료와 발전 목적 재생에너지를 제외하면 모두 열에너지로 사용된다고 할 수 있다. 산업단지 열에너지의 경우 개별 기업이 직접 열을 생산하는 것이 아니라 특정 지역 내에 있는 기업들이 공동으로 열을 생산하는 것이다. 따라서, 에너지 소비 특성의 측면에서는 산업단지의 열에너지나 개별 기업들의 전기 제외 에너지상품 소비가 동일한 것이지만, 에너지 및 온실가스 정책 측면에서는 사용하는 수단이 다를 수 있기 때문에 열 소비를 파악할 필요가 있다. 전기 소비와는 달리 열 소비는 2018년 이후에도 꾸준히 증가하고 있다. 열 소비는 2018년 6.0백만toe에서 2021년 약 6.9백만toe로 증가하였다. 난방도일의 영향을 받는 지역난방은 2019년 감소 이후 증가하였지만, 산업단지의 열 판매가 꾸준히 증가한 탓이다. 지역난방 소비는 2018년 2.5백만toe에서 2021년 2.7백만toe로 증가하였다.

³⁷ 전기 소비는 자가발전을 포함한 전기의 최종소비를 의미하며, 전기 판매는 한국전력의 전기 판매량을 의미한다. 전기 소비 통계는 에너지 경제연구원의 개정 에너지밸런스를 사용한다.

2020년 코로나19 여파에도 불구하고 산업단지 열 판매가 증가한 것은 산업단지 업종 특성도 있고 산업단지 지정이 확대되는 영향도 있다. 즉, 산업의 전반적인 에너지 소비는 줄어도 산업단지 지정이 증가하거나 산업단지 내로 이동하는 기업이 증가하면 열 소비는 생산활동과 무관하게 증가할 수 있다. 따라서 산업단지 열 소비 전망은 경제 변수와 더불어 정책 계획 측면이나 전문가의 판단이 중요하다.

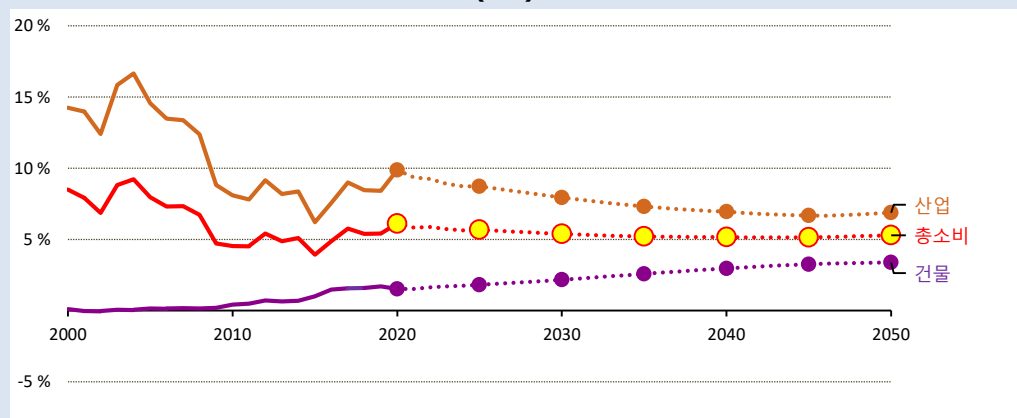
글상자 2.6 에너지밸런스 개편으로 인한 전기 및 열 소비 통계의 변화

기존 에너지밸런스는 한국전력의 전기 판매를 전기 소비로 작성하였다. 우리나라의 독점 전기 판매 사업자인 한국전력은 전기 사업자의 발전과 상용자가 발전의 일부를 구입하여 소비자에게 판매한다. 판매량은 소비처에 위치한 계량기를 통해 집계된다. 자가 태양광 설비나 대규모 사업장의 자가발전 설비가 늘어나면서 실제 전기 소비와 전기 판매 사이의 괴리가 커진다. 따라서, 에너지밸런스는 에너지공단에서 조사하는 신재생에너지 통계와 집단에너지 통계 그리고 전력거래소의 상용자가통계를 이용하여 자가발전량을 추정하고, 이를 전기 판매와 합산하여 전기 소비를 추정한다.

우리나라 자가발전 규모는 2010년 20.6 TWh에서 2021년에는 33.2 TWh로 증가하였다. 2010년 이후 전기 총소비에서 자가발전이 차지하는 비중은 약 5% 내외를 유지하고 있다. 자가발전 규모는 전기소비 순위와 비례하며 산업 부문이 88% 이상을 차지한다. 전기 소비가 빠르게 증가하면 자가발전 비율이 감소하는 경향이 있다. 이는 전기 소비의 대부분을 차지하는 산업 부문의 자가발전 비중 추세에 의해 결정된다.

재생에너지 중심의 분산전원에 대한 정책적 지원과 전기 요금 상승 전망 등으로 산업 부문의 자가발전이 늘어나지만, 산업 부문 전체의 전기 소비가 더 빠르게 증가하면서 산업 부문의 자가발전 비중은 다소 하락할 전망이다. 반면, 건물 부문은 제로에너지 빌딩 및 그린 리모델링이 확대되면서 자가발전 비중이 늘어날 전망이다.

그림 2.33 자가 발전 비중 추이와 전망 (REF)



주: 총소비는 전기판매와 자가발전을 합한 양으로, 총발전에서 발전소 소내소비, 양수투입 그리고 송배전손실을 제외
자료: 에너지경제연구원

개정 에너지밸런스는 IEA의 작성 기준에 따라 열 소비를 판매된 온수 및 스팀으로 집계한다. 온수는 건물 난방에 사용되는 지역난방이며 스팀은 산업단지에서 공급하는 산업 공정용 고온 열을 의미한다. 개정 에너지밸런스 중에서 간이 밸런스는 월간 통계가 입수가 가능한 지역난방만 열에너지 통계로 집계한다. 2021년 기준 총 열소비는 6.9백만toe이며, 이중에서 지역난방 소비는 2.7백만toe로 집계되었다. 지역난방이나 산업단지는 개별 소비자가 선택할 수 있는 사항이 아니라 정부 계획에 따라 집단적으로 진행된다. 지역난방의 경우 주로 아파트를 중심으로 일괄 공급 방식의 형태이며, 산업단지는 단지 내 입주하는 개별 기업의 선택이지만 단지 밖에 산재한 공장에 개별적으로 공급할 수는 없다. 따라서 기온이나 생산활동에 따라 열 수요가 변하지만, 도시계획과 산업계획에 따라 수요가 계단식으로 바뀔 수 있다.

전기와 열 공급 측면에서 기존 에너지밸런스는 발전과 지역난방으로 구분하여 연료의 투입과 전기 및 열 생산을 보여주었다. 이는 생산물과 사업자에 따른 구분으로, 발전사업자의 열생산과 지역난방 사업자의 전기 생산을 구분할 수 없다. 더 큰 문제는 연료 투입과 생산물의 관계가 일치하지 않는다는 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 개정 에너지밸런스에서는 생산방식에 따라 발전전용, 열병합, 열전용으로 구분하고 있다. 조사 및 보고 통계의 기초 오류를 제외하면 생산물과 투입 연료의 일관성을 유지한다. 또한 전망 과정에서 열제약 발전의 특성을 고려할 수 있게 된다. 열병합은 지역난방과 산업단지 등 집단에너지 사업자가 대부분 보유하고 있으며, 열병합의 발전량은 지역난방 수요와 산업용 스팀 수요에 의해 제약을 받는다. 따라서 최종소비 부문의 열 수요에 대한 정책은 발전 부문에 간접적으로 영향을 미치게 된다.

수소는 아직 에너지밸런스에서 에너지상품으로 취급하지 않고 있다. 현재, 에너지경제연구원에서 수소를 에너지 통계에 포함시키기 위한 연구가 진행되고 있는 상황이다. 미리 가능하자면, 수소와 암모니아가 새로운 에너지상품으로 추가되며, 에너지전환공정과 에너지산업 자체소비에 수소 생산이 추가될 예정이다. 에너지밸런스에 추가되는 수소와 암모니아의 범위에 따라 기존의 통계가 크게 달라질 수 있다.

□ 기준 시나리오(REF)의 전기와 열 수요

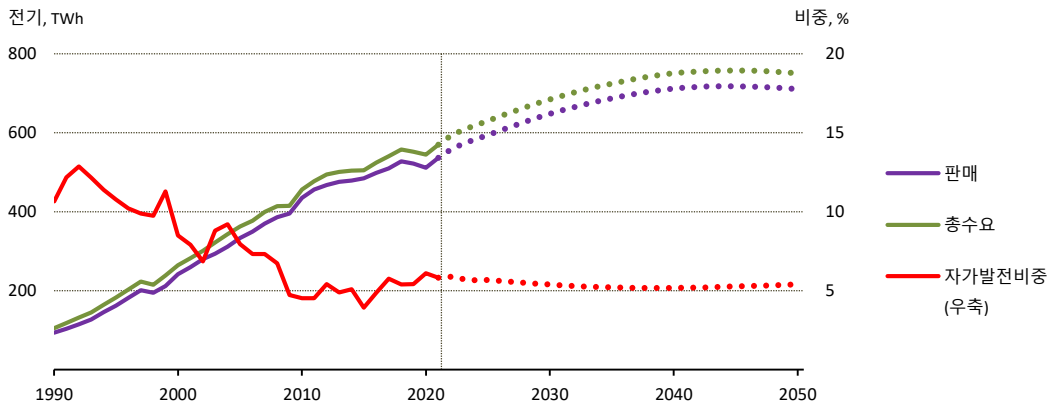
REF에서 우리나라 전기 수요는 2021년 569.9 TWh에서 약 181 TWh가 증가하여 2050년에는 751 TWh가 될 전망이다. 전기 소비의 증가는 산업 부문이 주도할 전망이다. 산업 부문은 전기 소비 증가의 50%에 해당하는 약 90 TWh가 증가할 것으로 예상된다.³⁸ 하지만 전기 소비가 가장 빠르게 증가하는 부문은 수송 부문이다. 수송 부문은 전기차 판매 확대에 힘입어 전망기간 연평균 5.5%의 속도로 증가하여, 2021년 3.3 TWh에서 2050년에는 16 TWh 수준이 될 것이다. 서비스 부문은 산업 부문에 이어 두 번째로 전기 수요 증가가 클 것으로 예상되는데, 전망기간 서비스 부문의 전기 수요 증가는 약 52 TWh 수준이다. 가정 부문은 코로나19 확산에도 불구하고 전기 소비가 감소하지 않았고 향후에도 가전기기의 종류와 사용이 늘어나면서 전기 수요가 지속적으로 증가할 것으로 전망되지만, 인구의 감소로 인하여 전기 수요 증가는 11

³⁸ 산업 부문은 에너지밸런스에서 에너지전환산업으로 분류하는 석유정제를 포함하고 있다. 수소 생산으로 인한 전기 수요의 증가는 뒤에서 다시 설명한다.

TWh에 그칠 것으로 예상된다. 전기 판매는 2021년 536.7 TWh에서 2050년 710 TWh로 증가한다. 가정용 태양광을 비롯해서 자가발전 설비도 빠르게 확대되지만 전기 수요가 더 빠르게 증가하면서 전기 판매가 자가발전 증가 속도보다 높을 것으로 예상하고 있다.

이번 전기 수요 전망은, 첫 번째 ‘2021 장기 에너지 전망’의 2030년 676 TWh 전망에 비해 다소 증가한 것, 두 번째 2040년대 중반 이후 전기 수요가 감소하는 것이 특징이다. 경제성장률의 하락을 고려하면 2030년의 전기 수요는 더 크게 증가한 것인데, 이는 크게 두 가지 요인이 있다. 하나는 최종소비 부문에서 탄소 배출 감축 노력이 진행되면서 이전에 비해 전기화가 더 빠르게 진행되는 것이다. 다른 하나는 이전 2021년 REF에 반영되지 않은 수소 생산이 2022년 전망에는 REF에 일부 반영되었다는 점이다. 2021년 전망보다 수송용 연료전지의 수소 수요가 증가하고, 수소 혼소용 수소 수요가 추가되었다. 이에 따라 수소 생산을 위한 전기 수요가 증가한다.³⁹ 두 번째 전기 수요 전망의 특징으로, 경제성장률 하락과 에너지 효율 향상 속도의 증가가 겹치면서 전기 수요는 2045년 758 TWh의 정점에 도달한 후 감소하는데, 2050년은 751 TWh로 753 TWh의 ‘2021 장기 전망’에 비해 미세하게 낮아진다.

그림 2.34 기준 시나리오(REF) 전기 수요 및 자가발전 전망



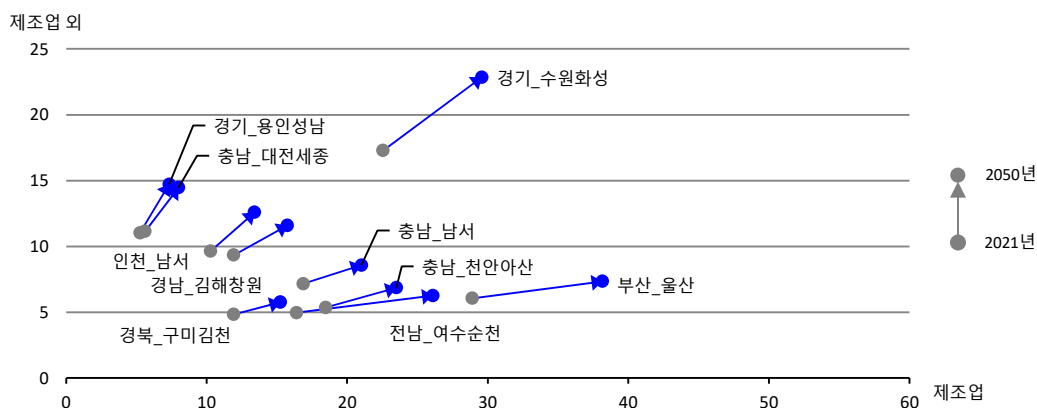
모든 부문의 전기 수요가 증가하면서 주요 지역별 전기 수요도 골고루 증가한다. 하지만 지역 특성에 따라 증가하는 모습은 다른 성향을 보여준다. 그림 2.35는 2050년 전기 소비량이 상위 10개에 해당하는 지역의 2021년 대비 2050년 전기 수요의 변화 모습을 보여주고 있다.⁴⁰

³⁹ REF의 수소 국내 생산은 수출 수소 방식이 주류인 것으로 가정하고 있으며, 에너지용 수소 수요를 위한 생산하기 위한 추가 전기 수요만을 계산한다. 에너지용 수소 생산은 발전/열생산 부문과 독립적인 부문으로 취급하기 때문에 발전사가 자체적으로 생산하더라도 전기 수요에 포함한다.

⁴⁰ 전국을 소비 및 지역 특성에 따라 41개 지역으로 구분하여 분석하였다.

전기 소비의 상위 10개 지역은 산업 부문의 소비가 많은 지역이다. 전기 수요 증가의 절반 이상이 산업 부문에서 발생하며 그 중에서도 화학과 기계류의 성장이 빠르기 때문에, 수원화성, 여수순천, 울산 등의 전기 수요가 오른쪽으로 크게 이동한다. 한편, 인구가 많고 서비스가 발달한 지역은 제조업 외 전기 수요도 크게 증가하지만, 인구가 적은 지역은 그 수요 증가폭이 그다지 크지 않다.

그림 2.35 2050년 전기 소비 상위 10개 지역의 전기 수요 변화 (단위: TWh)



열 수요는 2021년 6.9백만toe에서 2050년 6.8백만toe로 현재와 비슷한 수준을 유지한다. 소비 구성은 서비스 부문이 약간 상승하고 다른 부문은 다소 감소의 경향이 있지만, 역시 현재와 비슷한 수준이다. REF에서는 도시계획이나 산업계획에 대한 특별한 가정을 설정하지 않고 있으며, 수요 증가 추세를 상쇄하는 효율 개선이 진행되면서 열 수요가 현재와 비슷한 수준을 유지하는 결과가 도출되었다.

□ 수소 수요와 공급

REF는 2021년 이후 추가되는 연료전지를 수소 기반 연료전지로 가정하고 있다. 연료전지 외의 수소 수요는 주로 수송 부문에서 발생한다. 또한 ‘제10차 전기본’에 포함된 수소 및 암모니아 실증 계획과 혼소 계획을 반영하고 있다. REF에서는 수소 수요가 2050년까지 약 2.4백만 톤-H₂가 늘어난다.⁴¹ 수소 수요 증가의 66.7%는 발전 부문에서 증가할 전망이다. 수소를 연료

⁴¹ 수소는 석유 정제의 탈황 공정이나 철강의 냉연 공정, 반도체용 불화수소 등 다양한 용도로 산업 생산 공정에 사용되고 있다. 이는 에너지 상품의 소비가 아니기 때문에 기존 에너지 체계는 이런 수소 사용을 별도로 파악하지 않는다. 다만, 제품의 고부가가치화를 위한 추가 공정 성격이 많아서 수소 사용의 증가는 관련 공정의 에너지 소비 증가로 이어진다. 수소 수요 전망은 수소 기반 연료전지를 비롯하여 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출을 줄이기 위해 도입되는 새로운 수소 수요만을 대상으로 한다.

로 직접 사용하거나 공정에서 사용하는 기술은 미래 기술로 취급하기 때문에 나머지는 수송 부문에서 증가한다.

발전 부문은 수소 및 암모니아 혼소 보급 일정과 가스 및 석탄의 발전량 전망에 따라 수소 수요가 크게 달라진다. 수소는 2023년 80 MW 그리고 2031년 150 MW 설비에 50% 혼소를 실증할 계획이다. 암모니아는 2022년에 1기, 2027년에 4기를 실증하는 계획을 가정하였다. REF에서는 2035년 이후 한국전력 계획보다 작은 18기에 암모니아 혼소가 적용된다고 가정하고 있다. 이에 따라 수소 수요는 2030년까지 0.4백만톤-H₂로 증가하고, 2050년까지는 1.6백만톤-H₂로 증가한다. 암모니아 수요는 2030년 1.0백만toe, 2040년 2.3백만toe로 증가한 후 2050년은 1.3백만toe로 감소한다. 수송 부문은 기존 전망보다 확대된 수소 연료전지 자동차의 보급 증가로 2030년까지 0.1백만톤-H₂, 2050년까지 0.8백만톤-H₂로 증가할 전망이다.

REF에서는 신규 수소 수요를 2050년까지 수입으로 18%를 공급하며 대부분은 국내 생산으로 공급한다. 수소의 국내생산은 기존의 부생수소나 추출수소 생산 설비를 활용하고,⁴² 필요한 추가 설비는 추출수소 방식으로 대응하는 것을 가정하고 있다. 부생수소의 경우 추가적인 에너지 투입이 발생하지 않지만, 추출수소는 원료용 gas와 설비 가동용 전기 수요가 발생한다. 에너지용 수소 공급을 위한 추가 전기 수요는 2030년 6.0 TWh, 2050년은 약 15.5 TWh인 것으로 분석된다.⁴³

6.2. 발전/열생산

□ 제10차 전력수급기본계획의 발전 설비

‘2022 장기 에너지 전망’은 이전과 달리 ‘제10차 전기본’의 내용을 전망에 반영하고 있다. ‘제10차 전기본’ 반영의 핵심은 석탄과 원자력 그리고 재생에너지 발전 설비의 운영 계획이다. ‘2022 장기 에너지 전망’은 자체적으로 전기 수요를 전망하기 때문에 ‘제10차 전기본’과 다른 발전량 차이를 가스 복합화력발전에서 흡수한다. 따라서 석탄과 원자력 발전설비가 전력수급 기본계획을 반영한 설비라면 가스 복합화력발전은 필요한 설비 규모를 의미한다. 물론 전망

⁴² 포스코나 현대제철에 설치된 수소공장의 가동률은 50% 미만인 것으로 알려져 있다 (포스코, 2021; 월간수소경제, 2020). 현대제철의 경우 생산된 수소의 52%는 자체 공정에 사용하고 48%는 외부에 공급했다 (월간수소경제, 2020).

⁴³ 추가 전기 수요는 추출수소 생산에서 발생하는 수요이다. 기존의 수소 추출은 대부분 화학업종에서 담당하기 때문에 화학업종의 전기 수요에 추가할 수도 있으나, 에너지 분석 측면에서는 에너지전환으로 분류하는 것이 바람직하다. 미래에는 전기나 gas와 마찬가지로 수소 생산을 목적으로 한 기업과 업종이 출현할 수 있다. 여기서는 수소 제조용 전기 수요를 발전/열생산이나 최종소비 산업과는 별도로 취급한다.

모형 작업 및 보고서 작성 도중에는 ‘제10차 전기본’이 확정되지 않아 정보 확보의 어려움이 있었으며, 이로 인해 ‘제10차 전기본’의 구체적인 수치와는 다른 부분도 있다. 여기서는 가용한 최대의 정보를 이용하여 전망을 수행하였다. ‘제10차 전기본’의 주요 내용은 다음과 같다.

‘제10차 전기본’은 경제성 및 환경성, 중장기 전력수급 안정성, 전원별 건설기간, 전력계통 및 기술개발을 고려하여 신규 설비와 전원을 구성하였다고 밝히고 있다. ‘제10차 전기본’에서 밝히고 있는 발전원별 정책 방향은 다음과 같다. 원자력은 신규 원전의 준공과 기존 원전의 계속 운전 추진이다. 이에 따라 신한울 3, 4호기의 건설을 재개하여 각각 2032년과 2033년에 계통에 진입할 예정이다. ‘제10차 전기본’ 계획 기간에 신규 진입하는 원자력은 신한울 1, 2호기, 신고리 5, 6호기 등 총 6기, 8.4 GW로 예상된다. 또한 사업자 의향을 반영하여 가동중인 원전의 계속 운전을 추진한다.⁴⁴ 사업자 의향과 안전성 점검, 주민 의향을 반영한다고는 하나 실질적으로는 가압중수를 포함하여 운영허가 만료 대상인 원자력 설비 전체의 계속 운전을 계획하고 있다. 전기(목표) 수요 전망과 기준 설비 예비율을 바탕으로 2030년과 2036년 각각 132.3 GW와 143.9 GW의 발전 설비가 필요한 것으로 분석하고 있다. 이에 따라 발전 설비는 2036년(실효 용량 기준) 가스가 44%로 가장 많고 이어서 원자력이 21.9%, 석탄 18.5%를 차지하는 구성을 계획하였다. 신재생 설비는 실효용량 기준 10.0%를 차지한다.

재생에너지는 실현가능한 수준에서 계통 및 주민 수용성에 기반하여 확대한다. 합리성의 근거를 밝히고 있지는 않지만, 결과적으로 2036년까지 재생에너지 신규 설비용량을 80 GW로 계획하고 있다. 다만, 기존에 태양광에 집중되었던 보급 확대를 다변화하여 태양광과 풍력의 발전량 비중 목표를 60대 40으로 조정하였다. 재생에너지의 변동성을 보완하기 위해서는 단주기 및 장주기 백업설비와 관성 자원을 확대하고 디지털 운영시스템 및 재생에너지 예측시스템을 구축할 계획이다.

한편, ‘제10차 전기본’에서는 기존 화력 발전설비의 온실가스 배출 감축 방안으로 수소나 암모니아를 혼소하는 계획을 구체화하였다. 가스 발전은 연료에 수소를 50% 혼소하고 유연탄 기력발전은 암모니아를 20% 혼소하는 것이 목표이며, 이를 위해 각각의 실증 계획 일정을 이전보다 앞당기고 상용화의 조기 달성을 추진한다. ‘제10차 전기본’에서 예상하는 수소 발전량은 2030년 6.1 TWh, 2036년 26.5 TWh이며, 암모니아 발전량은 각각 6.9 TWh와 20.9 TWh이다. 수소와 암모니아 발전량은 기술 개발 상황 따라 불확실한 측면이 있으며, 특히 수소 발전량은 재생에너지 보급 상황에도 크게 영향을 받는다.

⁴⁴ 다만, 30년 이전에 운영이 만료되는 설비를 가동 연장하기 위해서는 설비별로 필요한 준비기간이 있으며, 이 기간 동안은 설비가 계통에서 탈락하였다가 다시 진입하는 것으로 분석한다.

노후 석탄 화력발전은 지속적으로 폐지 또는 연료전환을 하지만, 휴지보전 등을 통해 안보 자원 확보와 좌초자산 최소화를 추진한다. 석탄 발전설비는 2036년까지 28기 14.4 GW가 폐지되고, 4기 4.2 GW가 추가된다.⁴⁵ 설비 조정만으로 부족한 온실가스 배출 감축은 석탄발전 상한제나 환경급전을 통해 가동률을 연평균 40% 수준으로 억제하여, 온실가스 배출 목표를 달성할 계획이다.

□ 발전 설비와 발전량⁴⁶

‘2022 장기 에너지 전망’은 ‘제10차 전기본’의 발전 설비 건설 계획의 기초가 2036년 이후에도 지속된다고 가정한다. 이에 따라 노후 석탄화력 발전 설비는 지속적으로 폐지되며, 원자력 발전 설비는 현재 계획 외의 신규 설비는 없지만 모든 설비에 대해 1회 10년의 계속 운전을 허용한다. 한편, 변동성 재생에너지 발전 설비는 2036년까지 계획의 설비를 반영하며, 이후에는 증가 추세를 고려하여 발전량과 설비 규모를 전망한다.

전기를 공급하기 위한 생산 설비는, 석탄의 경우 ‘제10차 전기본’의 폐지 계획에 따라 2030년 32.4 GW, 2050년에는 8.8 GW로 감소한다. 원자력 발전설비는 2021년 23.3 GW에서 2030년 27.5 GW로 증가하지만, 10년 계속 운전이 끝나는 발전기들이 나타나면서 2050년에는 19.2 GW로 축소된다. 태양광과 풍력 등 변동성 재생에너지 발전 설비는 2021년 20.5 GW에서 2030년 66 GW를 거쳐 2050년에는 153 GW로 빠르게 증가할 전망이다. 한편, 가스 설비는 노후 석탄 설비가 대거 가스로 연료를 대체함에 따라 2021년 41.4 GW에서 2030년 58.5 GW, 2050년은 79.0 GW로 증가한다. 정격용량 기준으로는 전망기간 재생에너지 발전 설비의 증가가 가장 크지만, 실효용량 기준으로는 재생에너지 발전 설비의 증가가 15.2 GW에 불과해 실질적으로는 가스 발전 설비의 증가가 가장 크다.

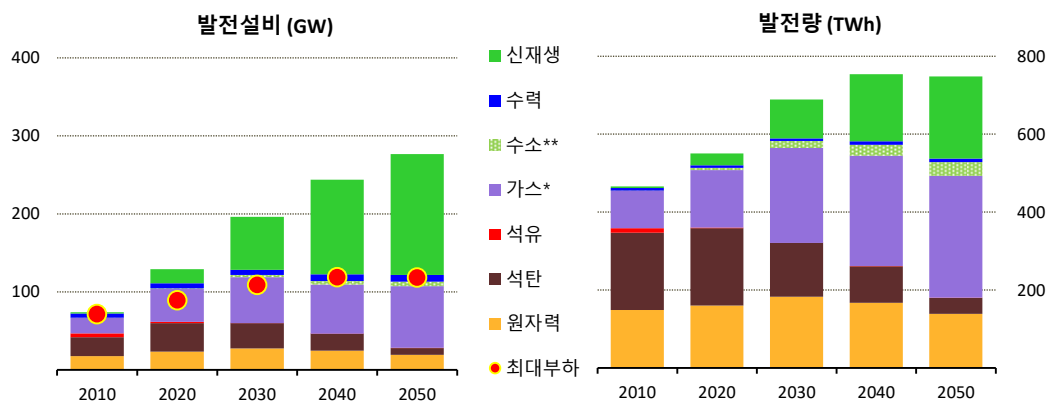
REF에서는 전기 판매가 2021년 536.7 TWh에서 2050년 710 TWh로 약 32% 가량 증가하면서 사업자 발전량도 575.8 TWh에서 30% 증가한 748 TWh로 증가한다. 설비 계획에 따라 전원 구성이 변하면서 석탄 발전량 비중은 큰 폭으로 축소되고 가스와 재생에너지 발전량 비중이 빠르게 확대된다. 석탄은 설비 감소 외에도 온실가스 감축을 위해 발전제약이 추가되면서 발전량은 2021년 199.4 TWh에서 2030년 137.8 TWh, 2050년은 40.3 TWh로 감소한다. 원자력 발

⁴⁵ ‘제10차 전기본’이 확정된 후 비교한 결과, 동해 1, 2호기의 폐지 일정이 앞당겨지면서 본 전망과는 2036년 기준 0.4 GW 규모의 석탄 설비가 차이가 있는 것으로 파악되었다. 또한 석탄 설비의 기존 폐지 일정이 조정되면서 계획 기간 내의 연도별 설비 규모는 전망과 다소 차이가 있을 수 있다.

⁴⁶ 열 생산 설비는 가스 열병합 설비가 대부분이며 산업단지에 일부 석탄 열병합 설비가 존재한다. 전력수급기본계획에 포함된 집단에너지 설비는 전망에 반영하며, 추가 설비가 필요할 경우 가스 설비가 증가하는 것으로 가정한다. 열 생산 설비에 대해 별도 분석을 하지 않는다. 다만, 열 수요에 따라 집단에너지의 발전량이 제약된다.

전량은 2030년 182.8 TWh로 증가했다가 2050년에는 139.0 TWh로 감소한다. 수력을 포함한 재생에너지의 경우 2030년 124.6 TWh, 2050년 255.9 TWh로 꾸준히 증가한다. 전기의 안정적 공급과 전력 시스템의 유지를 위해 가스 발전의 역할이 더욱 중요해진다. 가스 발전량은 2021년 169.1 TWh에서 2050년 312.6 TWh로 증가한다. 전망 기간 발전량의 순증가는 172.5 TWh이지만 석탄과 원자력의 발전량 감소를 고려하면 나머지 발전원이 충당해야 하는 발전량은 총 350.6 TWh에 이른다. 이중에서 40% 가량을 가스가 담당하는 것이다.

그림 2.36 기준 시나리오(REF)의 발전원별 발전설비 및 발전량 전망



주: 신재생에너지 발전 설비는 정격 설비 용량

* 가스 발전 및 기타 합계, ** 수소, 연료전지, IGCC 합계

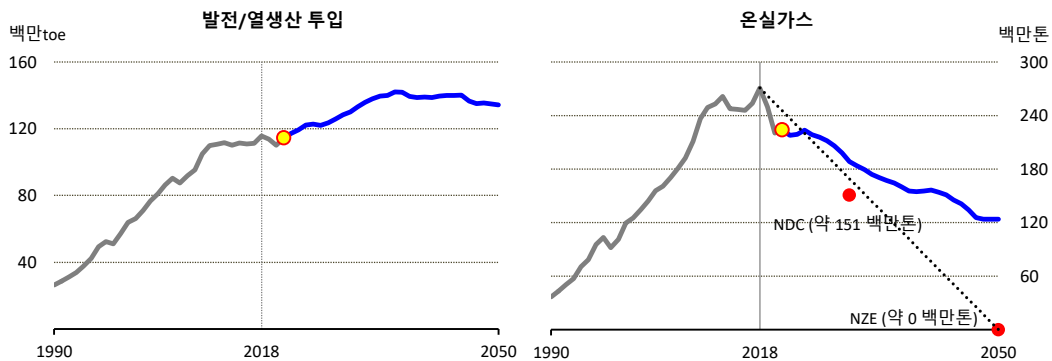
발전량 비중을 보면, 석탄 발전이 2021년 34.6%로 가장 큰 비중을 차지하다가 2030년 20.0%, 2050년 5.4%로 비중이 급격하게 감소한다. 원자력 발전은 발전량 증가에도 불구하고 2021년 27.4%에서 2030년 26.5%로 감소하고 2050년에는 18.6%로 축소된다. 가스 발전은 2021년 29.4%로 석탄에 이어 두 번째로 큰 발전원에서 2030년에는 35.3%, 2050년에는 41.8%로 향후 가장 큰 전력 공급원의 역할을 할 것으로 예상된다. 가스의 역할 확대가 용이한 것은 신규 발전소를 건설하는 것이 아니라 기존의 석탄 발전소가 가스로 연료대체를 대규모로 진행하기 때문이다. 재생에너지는 2021년 8.2%에서 2030년 18.1%, 2050년 34.2%로 빠르게 비중이 확대된다. 재생에너지 발전의 비중이 확대되는 속도는 빠르지만, 2050년에도 34.2%에 불과하여 탄소중립 경로를 분석한 기존의 모든 연구에서 제시하는 재생에너지의 역할에 비해서는 매우 낮은 것으로 분석된다.

□ 발전/열생산 부문 에너지 수요와 온실가스 배출⁴⁷

설비별 발전량의 변화는 발전/열생산 부문의 연료 수요 변화를 의미한다. REF에서는 발전/열생산의 연료 투입이 2021년 114.5백만toe에서 17.3% 증가하여 2050년 134.4백만toe에 도달한다. 사업자 발전량이 같은 기간 30.0% 증가하는데 반해 연료 투입의 증가가 작은 것은 발전효율이 낮은 석탄과 원자력이 감소하고 고효율의 가스 발전이 증가하기 때문이다. 투입 에너지는 증가하는 경로를 보이지만 온실가스 배출 경로는 빠르게 감소한다. 다음 그림 2.37은 앞에서 설명한 그림 2.6에서 '2022 장기 에너지 전망'의 결과만 뽑아서 보여주고 있다.

발전/열생산 부문 온실가스 배출은 2021년 224.1백만톤-CO₂eq에서 2030년 188.6백만톤-CO₂eq, 2050년 123.7백만톤-CO₂eq로 감소할 전망이다. REF의 발전/열생산 부문 온실가스 배출 감축은 주로 석탄에서 발생한다. 원자력이나 재생에너지 발전의 증가가 늘어나는 전기 수요 대비 온실가스 배출 증가를 억제하는데 큰 역할을 하지만, REF에서 발전/열생산 부문 온실가스 배출이 감소하는 것은 석탄 발전설비가 대규모로 가스 발전설비로 전환되기 때문이다.

그림 2.37 발전/열생산 부문 에너지 투입과 온실가스 배출 전망 (REF)



한편, 2030년 감축 목표와의 차이는 전기 판매 전망의 증가 외에도 열생산 부문의 배출이 그다지 감소하지 않기 때문인 것으로 분석된다.⁴⁸ 열생산 부문은 가스 설비가 대부분인 상황이라 설비 교체가 발생하지 않기 때문에 연료 수요와 온실가스 배출이 현재와 비슷한 40백만톤-CO₂eq 수준을 유지한다. 따라서, 발전 부문의 온실가스 감축 노력에 추가하여 열생산 부문의 온실가스 배출을 줄이기 위한 추가적인 노력이 필요한 상황이다.

⁴⁷ 앞의 설비 설명은 발전 사업자의 설비만 분석하지만, 에너지 수요와 온실가스 배출은 열생산(지역난방) 사업자를 포함한다.

⁴⁸ '2030 NDC 상황안'의 전환부문 2030년 감축 목표는 2018년 269.9백만톤-CO₂eq에서 44.4%를 감축한 149.9백만톤-CO₂eq이다.

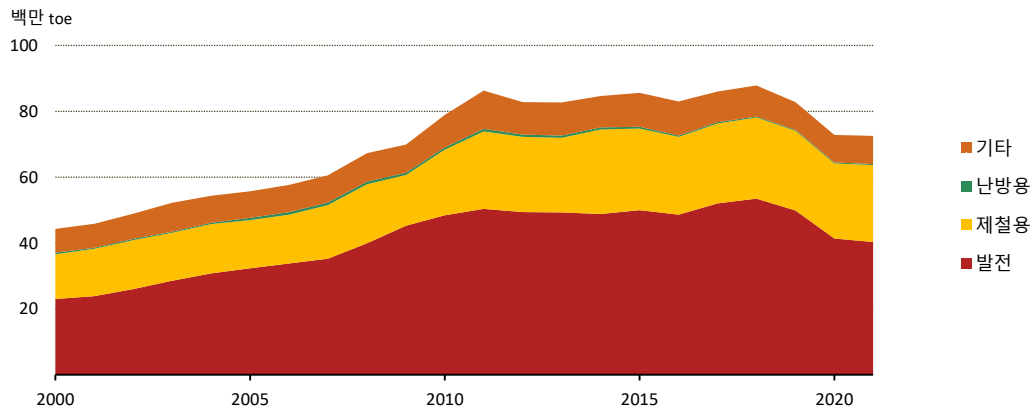
7. 주요 연료의 수급 현황 및 전망

7.1. 석탄 및 석탄제품

□ 2021년 석탄 소비는 미세먼지 문제 및 경기 회복 둔화로 인해 전년 대비 하락

우리나라 석탄 소비는 2000~2011년 석탄화력 발전 설비 확대와 고로 증설에 따른 유연탄 소비 증가에 힘입어 연평균 6.3%의 빠른 속도로 증가하였다. 그러나 석탄 발전 신규 진입 설비의 정체, 미세먼지 저감 정책 등에 따른 석탄화력 발전 설비 가동률 하락, 철강 경기 둔화 및 중국 저가 철강과의 경쟁 심화에 따른 제철용 석탄 소비의 정체로 인해 2011~2018년 석탄 소비의 증가율은 연평균 0.2%로 대폭 둔화되었다. 석탄 소비는 2018년 87.8백만toe로 정점을 기록한 후 2019년과 2020년에는 전년 대비 각각 5.7%, 12.1%로 가파르게 감소하여 2021년에는 72.5백만toe까지 감소하였다. 주요인은 발전용 소비로, 2019년부터 시작된 미세먼지 계절 관리제⁴⁹가 시작됨에 따라 과거 80~90%에 달하던 석탄 발전 가동률은 70% 내외로 하락하고 발전용 석탄 소비는 2019년과 2020년에 각각 6.8%, 17.1% 감소했다. 2020년에는 코로나19로 인해 경기가 침체되면서 철강업 생산활동이 감소하여 제철용 석탄 소비도 전년 대비 5.7% 감소하였다.

그림 2.38 2000~2021년 용도별 석탄 소비 추이



⁴⁹ 미세먼지 고농도 시기인 12월부터 이듬해 3월까지 평상시보다 강화된 미세먼지 저감 관리 정책을 시행하는 것을 말한다. 정부는 2019년부터 계절관리제 기간 동안 석탄발전 가동을 중단하고 출력 상한을 제한하고 있다. 2021년부터는 4~11월간 발전공기업(전체 석탄발전의 92%) 대상으로 자발적 석탄발전 상한제를 실시하고 있다.

2021년 석탄 소비는 감소세가 둔화되면서 전년 대비 0.4% 하락한 72.5백만toe를 기록하였다. 발전용 석탄 소비는 전년 대비 2.6% 감소하였으나, 감소세는 전년의 급감(-17.1%) 대비 큰 폭으로 완화하였다. 기존의 미세먼지 계절관리제에 발전 공기업들의 자발적 석탄발전 상한제가 추가되는 등 미세먼지 저감 정책의 기조는 강화되었다. 그러나 팬데믹 사태 이후의 경기 회복 흐름 속에서 국제 천연가스 가격 급등에 따른 가스 발전의 감소를 석탄 발전이 일부 대체하고 석탄화력 발전 설비(신서천, 1,018MW)가 신규 진입하면서 발전용 석탄 소비의 감소세가 둔화되었다. 반면, 산업용 석탄 소비는 팬데믹 사태 이후 국내·외 경제가 회복됨에 따라 전년 대비 2.7% 증가하였다. 산업용 소비에서 가장 큰 비중을 차지하는 제철용 석탄 소비는 주요 철강 수요 산업이 회복하는 가운데 환경규제에 따른 중국의 철강 생산이 감소하면서 전년 대비 2.7% 증가하였다 (에너지경제연구원, 2022d).

유연탄 공급은 발전용 및 제철용 석탄 소비 추세와 연동되어 2011년까지 빠르게 증가하다가 이후 증가세가 둔화되어 2018년에 정점을 기록하고 하락세로 전환되었다. 무연탄 공급도 모든 용도의 소비가 감소하면서 2011년 정점을 기록한 후 하락세를 유지하며 횡보하였다. 우리나라 석탄 공급은 일부 무연탄 생산을 제외하고는 전량 수입에 의존한다. 우리나라 석탄 수입은 2021년 126.1백만톤으로, 전체 공급의 98.7%에 달한다. 2021년 석탄 수입을 지역별로 살펴보면 호주로부터의 수입 비중이 49.8%, 그 다음이 유럽 17.9%, 아시아 16.1%, 북미 10.5%, 기타 5.7% 순이다.⁵⁰ 2010년대 중반 이후 미세먼지 문제가 심각해지면서 상대적으로 미세먼지 배출량이 적은 고열량탄의 비중이 커짐에 따라, 고열량탄에 속하는 호주산의 수입이 증가하고 저열량탄에 속하는 인도네시아산의 수입이 감소하였다.

□ 기준 시나리오(REF)의 석탄 수요는 발전용 석탄 수요로 인해 전망 기간 2.5% 감소

석탄 수요는 전환공정에서의 전기와 열 생산과 최종소비 부문에서 산업의 공정 및 건물 부문의 난방에서 발생한다. 2021년 기준 발전/열생산, 산업, 건물의 석탄 수요가 전체 석탄 수요에서 차지하는 비중은 각각 56.0%, 43.8%, 0.3%로, 석탄 수요의 대부분은 발전/열생산용과 산업용이 차지한다.

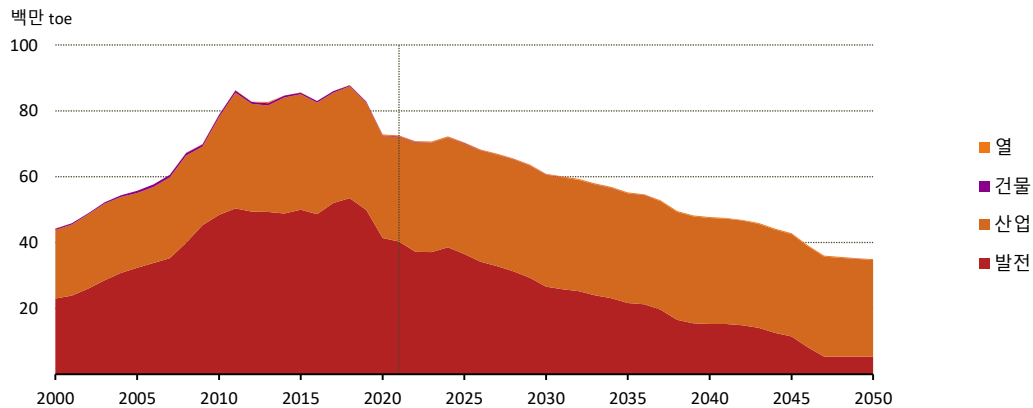
전망 기간 초기에는 국내·외 여러 요인이 복합적으로 작용하면서 석탄 수요가 보합세를 유지할 것으로 예상된다. 2020년 코로나19의 영향으로 석탄 수요가 큰 폭으로 감소한 데 따르는 기저효과, 2021년부터의 국내·외 경기 회복, 대용량 석탄화력 발전 설비의 신규 진입⁵¹ 등은 석

⁵⁰ 호주, 러시아, 인도네시아, 캐나다가 각각 대양주, 유럽, 아시아, 북미의 대부분을 차지한다.

⁵¹ 2022년 11월 강릉안인 1호기(1040MW)가 상업운전을 시작하였으며, 2024년까지 강릉안인 2호기(1040MW), 삼척화력 1·2호기(각 1050MW)가 신규 진입할 예정이다.

탄 수요의 증가 요인으로 작용한다. 그러나 온실가스 감축 및 미세먼지 저감을 위한 탈석탄 정책 기조와 2022년 9월 발생한 태풍 힌남노 피해에 따른 철강 생산설비 가동 중단⁵², 석탄 발전 연료비 단가 상승⁵³ 등은 석탄 수요의 감소 요인으로 작용한다. 이에 따라 석탄 수요는 2024년까지는 회복하여 72.2백만toe 수준에 머무르다 이후 지속적으로 감소하여 2050년에는 2021년 수요의 절반 이하인 34.9백만toe까지 하락할 전망이다.

그림 2.39 기준 시나리오(REF)의 석탄 수요 전망



전망 기간 전체에 걸쳐 석탄 수요의 감소를 견인하는 요인은 발전용 수요의 감소이다. 발전용 석탄 수요는 2021년 40.3백만toe에서 전망 기간 연평균 6.7% 감소하여 2050년에는 5.3백만toe까지 하락할 전망이다. ‘제10차 전기본’에 따르면 석탄화력 발전 설비 용량은 2023년 40.2 GW에서 2036년 27.1 GW까지 축소될 예정으로, ‘제9차 전기본’ 대비 노후 4기(동해 1·2, 당진 5·6, 총 1.4 GW)가 추가 폐지된다. 이후 석탄 발전기의 신규 진입 없이 기존 석탄 발전기가 수명 30년 경과 후 퇴출된다고 가정할 경우 석탄 수요에서 발전용이 차지하는 비중은 2050년 15.3%까지 축소될 전망이다. 지역난방의 석탄 수요는 2050년까지 현 수준을 유지하는 반면, 건물의 석탄 수요는 난방/온수용 소비가 전망 기간 꾸준히 타 연료로 대체되면서 연평균 9.5% 감소하여 2050년에는 거의 0에 수렴할 것으로 전망된다.

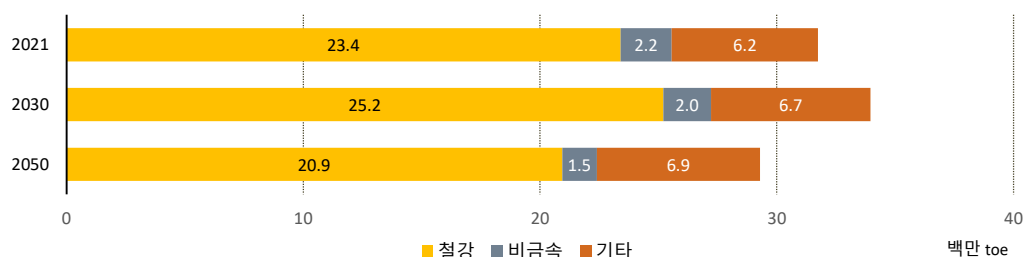
⁵² 2022년 9월 발생한 제11호 태풍 힌남노로 인한 포항 지역 수해로 포스코 제2열연공장을 비롯한 주요 생산설비의 가동이 중지되었다. 그 영향으로 2022년 9월 원료탄 소비는 전년 동월 대비 20% 감소하였다(에너지경제연구원, 2022). 가동 중지된 철강 생산설비는 2022년 12월~2023년 1월 내 재가동될 것으로 예상된다(산업부, 2022). 철강 설비의 재가동은 일시적으로 제철용 유연탄 소비의 급등으로 나타날 것이다.

⁵³ 2022년 2월 러시아의 우크라이나 침공에 따라 천연가스의 연료대체 수요가 발생하고 주요국의 전력난이 지속되면서 국제 석탄 가격이 전년 대비 2배 이상 높은 수준을 유지하였다. 이에 따라 국내 석탄 발전 연료비 단가도 유연탄 기준 2021년 13만9천원/톤에서 2022년 26만3천원/톤으로 약 2배 가량 상승하였다(EPSIS, 2022)

□ 산업 부문 석탄 수요는 전망 기간 연평균 0.3% 감소하여 2050년에는 29.3백만 toe 도달

REF의 산업 부문 석탄 수요는 2021년 31.7백만toe에서 2030년 34.0백만toe까지 증가 후 하락세로 전환되어 2050년 29.3백만toe로 감소할 전망이다. 하지만, 전망 기간 동안 발전/열 생산용 석탄 수요가 큰 폭으로 감소함에 따라 산업 부문이 석탄 수요에서 차지하는 비중은 2021년 43.8%에서 2050년 84.0%로 대폭 확대된다.

그림 2.40 기준 시나리오(REF)의 산업 부문 석탄 수요 전망



2021년 산업 부문 석탄 수요의 73.7%를 차지하는 것은 철강업이다. 철강업의 석탄 수요는 크게 원료탄과 연료탄으로 구분되는데, 2021년 기준 철강업 석탄 수요에서 원료탄의 비중은 73.8%, 연료탄의 비중은 23.0%이다. 전망 기간 철강업 산출액이 연평균 0.1% 감소하는 등 철강 경기가 부진할 것으로 전제됨에 따라 제철용 석탄 소비도 정체될 것으로 보인다. 또한, 전 세계적인 온실가스 감축 기조 속에서 생산과정에서 이산화탄소 배출이 많은 전로강의 비중 확대도 어려울 것으로 예상된다. 이러한 여건 하에서 2021년 기준 23.4백만toe 수준인 철강업의 석탄 수요는 2020년대 후반 25.3백만toe로 정점에 도달한 이후 하락세로 전환되어 2050년 20.9백만toe까지 감소할 전망이다.⁵⁴ 2050년 철강업의 석탄 수요에서 원료탄과 연료탄의 비중은 각각 75.9%, 21.2%를 차지한다. 산업 부문에서 철강업 다음으로 소비 비중이 높은 업종은 시멘트 제조를 포함하는 비금속 업종이다. 시멘트 제조에서 석탄은 클링커를 생산하는 소성 공정에서 열원으로 다량 사용되며, 현재 소성 공정의 열원에서 석탄의 비중은 약 80%, 폐기물 연료의 비중이 약 20% 수준이다. 전망 기간 동안 온실가스 배출 저감을 위해 석탄의 비중을 줄이고 폐기물 연료의 비중을 늘리는 변화가 예상되는데, REF에서는 석탄의 비중이 2050년 약 70%까지 축소되는 것으로 가정하였다. 이에 따라 비금속 업종의 석탄 소비는 2021년 2.2백만 toe에서 2050년 1.5백만toe까지 감소할 전망이다.

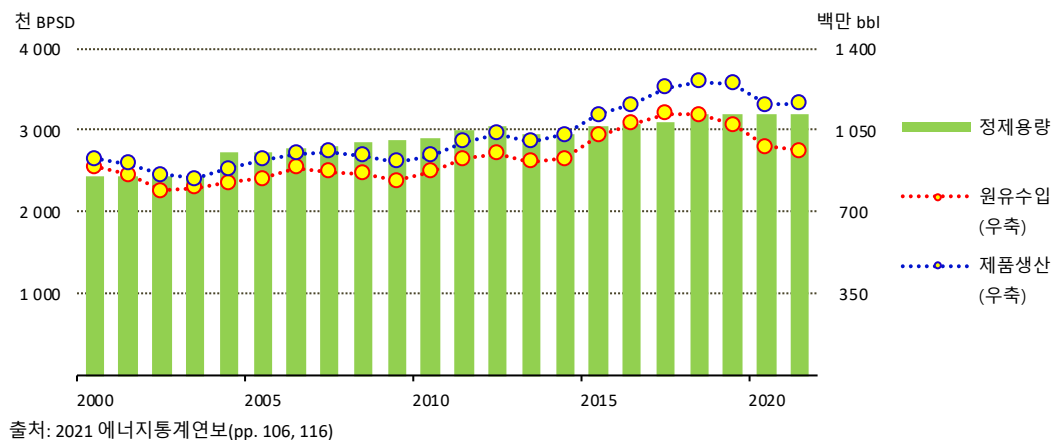
⁵⁴ REF에는 철강업의 탄소중립 전략으로 제시된 전기로강 비중 확대, 철스크랩 비중 확대, 수소환원제철로의 전환 등의 변화는 반영되지 않았다. 이러한 변화는 목표 시나리오(EEI, EOE)에 반영되었으며, 자세한 내용은 제3장에서 설명한다.

7.2. 원유 및 석유제품

□ 2010년대 중반 저유가 속에서 빠르게 증가한 원유 수입과 석유제품 생산은 코로나19로 급락

생산한 석유제품의 약 40% 가량을 수출하는 정유업체는 세계 시장 확보를 위한 지속적인 설비 확장으로 2018년 말 3.2백만BPSD(barrel per stream day)까지 국내 정제 설비 용량을 증가시켰다. 하지만 코로나19 이후 국내 수요를 비롯한 전 세계적인 석유 수요 감소로 설비 확장 투자가 이루어지지 않으면서 국내 정제 설비 용량은 2018년 수준을 유지하고 있다. 정제 설비를 통한 석유제품 생산은 2014년 하반기 국제 유가가 급락하면서 수송용 소비가 급증하고 석유화학 설비 신증설로 석유화학 원료용 소비가 증가하면서 2000~2021년 연평균 1.1% 증가하였지만, 2019년을 기점으로 가동률이 하락하는 상황이다. 2021년에는 2019년 대비 6.9% 감소한 11.6억bbl을 생산하고 그 중 38.4%에 해당하는 4.4억bbl을 수출하였다. 석유제품 생산량 증가에 따라 원유 수입량도 2017년 11.2억bbl까지 빠르게 증가했다. 그러나 코로나19 대유행으로 원유 수입은 2021년 9.6억bbl까지 감소하였다.

그림 2.41 석유정제 설비 용량, 원유 수입, 석유제품 생산 추이



□ 국내 석유제품 소비는 2010년대 중반 이후 국제 유가가 급락하면서 빠르게 증가

국내 석유 소비는 2000~2014년 기간 연평균 0.7% 증가에 그쳤으나, 2014년 이후 국제 유가 급락과 석유화학 설비 신증설 등의 증가요인으로 2015년에는 전년 대비 6.1%, 2016년에는 8.1% 증가하는 등 급증하였다. 2014년 상반기까지 \$100/bbl을 상회하던 국제 유가는 2014년 하반기 이후 미국의 셰일혁명으로 원유 공급이 증가하고, 세계 경기 회복이 지연됨에 따라 석유 수요가 정체되면서 급락을 시작하여 2016년 초에는 월 평균 가격이 \$20/bbl 수준까지 폭락

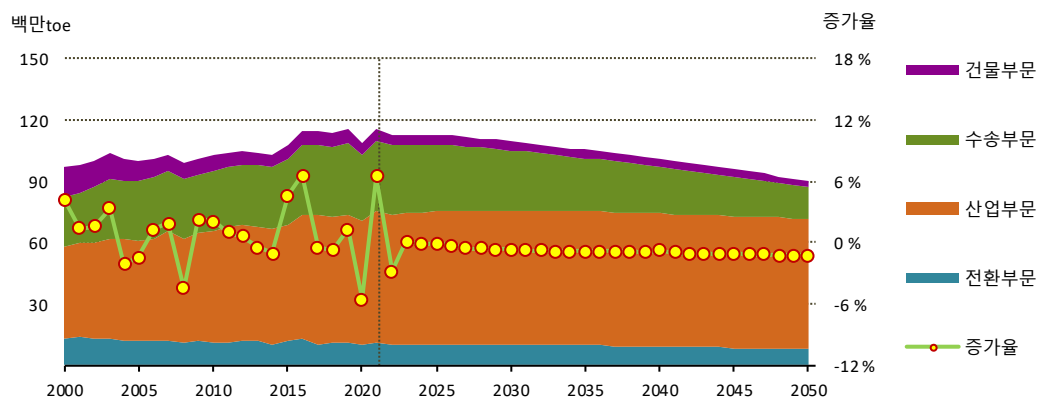
하였다. 석유제품 가격 하락으로 수송 부문의 경유와 휘발유 소비가 빠르게 증가하고, 2014년부터 시작된 석유화학 설비 신증설로 석유화학 원료로 쓰이는 납사와 LPG의 소비가 급증하였다. 그러나 이후 국제 유가가 산유국들의 감산 합의 등 공급측 감소 요인으로 국제 유가가 상승세로 반전하면서 석유 소비 증가율이 전년 대비 대폭 낮아졌다.

□ 전망기간 석유제품 수요는 수송 부문을 중심으로 감소하여 2050년에는 91백만toe까지 하락

REF에서 석유제품 수요는 2021년 120.8백만toe 수준에서 지속적으로 감소할 전망이다. 석유화학 설비 신증설 등의 증가 요인이 있으나 국제 유가가 높게 유지되고 친환경 자동차 보급이 빨라지면서 석유제품 수요는 2021년부터 2050년까지 연평균 1.0% 감소하는 것으로 분석된다.

수송 부문 석유제품 수요는 친환경 자동차 보급이 가속화되며 2050년까지 지속적으로 감소할 전망이다. 우리나라 자동차 대수는 2030년대 후반까지 증가하지만 그 이후 인구 감소의 영향이 본격화되면서 서서히 감소할 것으로 예상된다. 전기 자동차의 보급이 본격적으로 확대되면서 전체 자동차 가운데 내연기관 자동차 등록대수는 빠르게 감소한다. 코로나19에서 회복하면서 이동 수요가 증가하는 것은 단기적으로 수송 부문 석유제품 수요 증가 요인으로 작용하겠지만, 전기 자동차 보급 확대와 더불어 인구 감소 등으로 이동 수요 증가세도 둔화되면서 수송 부문 석유제품 수요는 감소세가 지속될 전망이다.

그림 2.42 기준 시나리오(REF)의 석유제품 수요 및 증가율 추이



주: 전환 부문은 에너지산업 자체 소비 포함

산업 부문 석유제품 수요는 약 0.5백만toe 감소할 전망이다. 산업 부문의 석유 제품 수요 전망이 감소한 것은 처음으로, 연료용 석유제품 수요가 지속적으로 감소하는 가운데 원료용

수요 증가가 예전보다 둔화될 것으로 예상되기 때문이다. 석유화학은 화학제품 수요가 빠르게 증가할 것으로 예상되면서 NCC(Naphtha Cracking Center)나 PDH(Propane De-Hydrogenation), MFC(Mixed Feed Cracker)⁵⁵ 등의 설비를 꾸준히 확장할 전망이다. 납사와 원료용 LPG 수요는 지속적으로 증가한다. 하지만, 석유화학업종의 원료용 수요의 증가세는 중국의 석유화학 제품 자급률 상승, 에틸렌 시장 경쟁 심화 등으로 지속적으로 둔화될 것이다. 산업 부문에서 연료용으로 사용되는 석유 제품은 온실가스와 대기오염물질 배출 규제, 타 에너지상품에 비해 높은 석유 가격 등으로 가스나 전기로 대체되며 빠르게 감소할 전망이다. 한편 석유제품 수요 감소에 따른 정유업의 생산 감소는 연료용 석유제품 수요 감소의 또다른 요인으로 작용한다.

건물 부문의 석유제품 수요는 도시가스나 전기 등 다른 에너지원으로 꾸준히 대체되며 최근의 감소세가 지속될 전망이다. 건물 부문에서 주로 소비해온 등유와 LPG는 그동안 도시가스와 지역난방 등 네트워크 에너지의 보급 확대 등으로 인해 감소하였으며, 전망 기간에도 고유가, 꾸준한 에너지 대체, 건물 단열 및 기기 효율 개선 등으로 수요가 빠르게 감소한다.

□ 석유제품 가운데 석유화학 원료용으로 쓰이는 납사만 유일하게 수요가 증가할 전망

납사는 석유화학 제품 수요의 증가에 따른 기초유분 생산 증가로 유일하게 수요가 증가할 전망이다. 기초유분 생산에는 납사 외에도 LPG가 사용되며 LPG의 비중이 증가할 예정이지만 수송 부문의 LPG 자동차 감소와 건물 부문의 난방 및 취사용 LPG가 다른 연료로 대체되면서 LPG 총수요는 감소한다. 납사를 제외한 모든 석유제품 수요가 감소하면서 납사가 석유제품 총수요에서 차지하는 비중은 2021년 41.7%에서 2050년에는 57.1%까지 확대된다.

경유와 등유는 연평균 3% 이상 감소하여 감소 속도가 가장 빠를 전망이다. 경유는 친환경 자동차 보급이 빠르게 확대되는 가운데 노후 경유차 조기 폐차 등 정부의 강력한 미세먼지 저감 대책으로 인해 수요 감소 속도가 빠르다. 하지만 대형 화물차와 승합차 위주로 보급되어 있는 경유 자동차를 대체하기 쉽지 않기 때문에 2050년에도 상당량의 경유 수요가 남을 전망이다. 휘발유 역시 내연기관 자동차의 보급 감소와 더불어 자동차 연비 개선, 주행거리 감소로 연평균 1.6% 감소한다. 항공유는 2021~2050년 전망 기간 동안 연평균 0.4% 감소하는데 다른 석유 제품과 비교하여 감소 속도가 가장 느리다. 항공 수요 증가에도 불구하고 항공기의 연료 효율 개선과 비행 노선 및 공항의 운영 효율 개선으로 수요가 감소한다. 중유도 국내 해운 수송 수요가 정체 및 감소하는 가운데 효율이 점차 개선되면서 전망 기간 동안 연평균 1.1% 감소할 전망이다.

⁵⁵ NCC, PDH, MFC 설비는 모두 에틸렌, 프로필렌 같은 기초유분을 생산하는 설비로, NCC는 납사를 열분해, PDH는 프로판으로부터 수소를 분리, MFC는 NCC와 같은 원리를 이용하나 원료로 납사와 프로판, 중유 등을 혼용하여 사용하는 설비이다.

7.3. 천연가스 및 도시가스

□ 가스 수입 물량 최고치 경신과 수입선의 다변화

우리나라 천연가스 수입은 1986년 초도 물량이 들어온 이래로 빠르게 증가했으나, 2014년부터는 유가 변동 및 가스 발전 설비 이용률에 따라 감소와 증가를 반복하였다. 2019년의 냉난방도일 감소 및 2020년의 코로나19 영향 등으로 인해 2020년 가스 수입량이 40.0백만톤까지 하락하였지만, 코로나19 영향 해소에 따른 경기 회복 속에 2021년 가스 수입량은 45.9백만톤으로 약 14.9% 증가하며 2018년 44.0백만톤을 넘어 역대 최고 물량 기록을 경신하였다.

2000년대 초반까지는 인도네시아의 수입 비중이 가장 높았으나 2001년부터 카타르가 이를 제치고 2020년까지 국내 가스 최대 수출국을 유지하고 있다. 최근에는 호주, 미국, 오만, 동남아시아 등 수입선을 다변화하고 있다. 카타르산 수입 비중은 2020년 22.7%로 2019년 대비 19.7% 감소하였으나, 2021년 다시 10.1% 증가하여 25%로 나타났다. 2021년 수입 비중 2위는 호주산으로 전체 수입량의 20.6%로 나타났다. 이어서 미국(18.5%), 오만(9.6%), 말레이시아(8.5%), 러시아(6.2%), 인도네시아(5.2%) 순으로 나타났으며, 페루, 나이지리아, UAE, 브루나이, 이집트, 파푸아뉴기니 등에서도 LNG를 수입하였다 (투데이에너지, 2022).

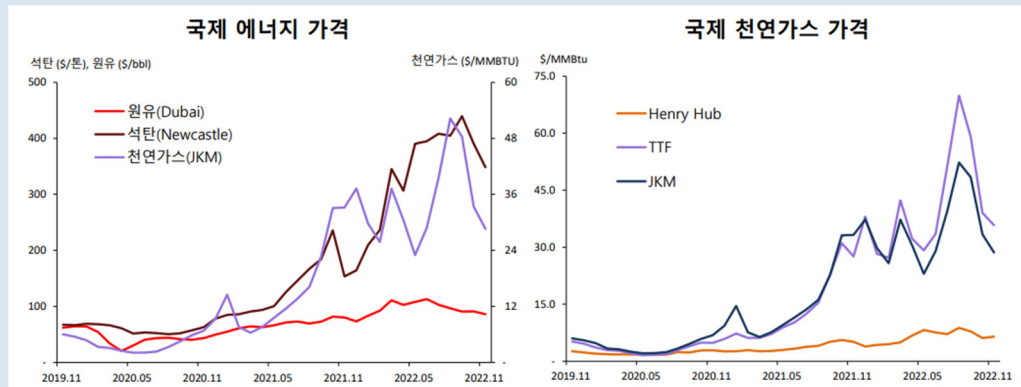
글상자 2.7 유럽의 對러시아 가스의존도 감축 정책과 세계 가스 가격 동향

2022년 2월 러-우 전쟁 발발 이후 미국과 EU를 중심으로 러시아에 대한 에너지의존도 감축을 포함한 러 제재가 시행되었다. 이에 반발하여 러시아도 유럽으로의 가스 공급을 통제함에 따라 세계 가스시장의 불확실성이 심화되고 세계 주요 천연가스 가격이 급등하였다. 유럽의 천연가스 벤치마크 가격인 TTF 가격은 2022년 잇달아 사상 최고치를 갱신하였다.

2분기에는 LNG 수입과 가스 소비 감소로 1분기보다 가격이 하락하였으나 여전히 평균 \$30/MMBtu를 초과하여 지난 5년 동기간 평균 가격의 5배 이상을 기록하였다. 6월에는 러시아의 노드스트림1 수송 물량 감축과 미국의 Freeport LNG 수출 터미널 화재가 TTF 가격 상승의 요인으로 작용하였다 (에너지경제연구원, 2022e). 10월 말 이후에는 유럽과 아시아의 높은 가스 재고 수준과 견고한 글로벌 공급의 영향으로 수급 불안이 일부 해소됨에 따라 천연가스 가격은 크게 하락하였다 (에너지경제연구원, 2022c).

아시아 LNG 현물 가격인 JKM 가격도 유럽 TTF 가격과 동조되어, 2022년 1분기 평균 \$31/MMBtu에서 2분기 \$28/MMBtu로 소폭 하락하였으나 이는 역대 2분기 최고가였다 (에너지경제연구원, 2022f). 중국의 광범위한 봉쇄와 최종소비 부문의 가스 수요 감소는 아시아 LNG 가스 가격에 하방 압력을 가한 반면, 유럽과 마찬가지로 노드스트림1 수송 물량 감축과 Freeport LNG 가동 중단이 상방 압력을 가했다. 8월 말 러시아의 노드스트림1 공급 중단이 발표되었을 때에는 \$60/MMBtu 이상으로 급등하였으며, 이후 \$40/MMBtu 내외 수준으로 하락하였으나 여전히 높은 가격 수준과 변동성을 보였다.

그림 2.43 국제 에너지 가격 및 주요 천연가스 가격 동향



자료: 에너지경제연구원 (2022c, p. 6)

한편, 러시아의 가스 공급 제한과 가스 가격 폭등은 유럽의 對러시아 가스의존도 감축 노력을 강화시켰다. 특히 EU는 REPowerEU를 발표하며 전체 가스 수입량의 45% 이상인 러시아產 가스 수입을 2030년까지 단계적으로 감축하겠다는 목표를 제시하였다. 또한, 2022년 말까지 PNG 수입처 다변화, LNG 도입 확대, 가스 수요 감축, 대체 에너지원 개발 등을 통하여 러시아產 가스 수입량을 기존의 1/3 수준으로 감축할 계획이다. 그 결과, 2022년 8월 기준 러시아產 PNG 수입 비중은 10.9%로 전년 동월의 40.6% 대비 29.7% 포인트 감소하였다. 반면 동기간 LNG 수입 비중은 15.1%에서 2.5배 이상 증가한 39.9%로 나타났다 (도현재, 허윤지, 2022).

이러한 유럽의 LNG 수요 급증으로 신규 액화플랜트 투자가 앞당겨지는 사례가 많아졌지만 건설에 최소 2~3년이 소요되는 신규 액화플랜트의 가동은 2026년 이후에나 가능할 전망이다. 따라서 EU의 LNG 수요 증가분은 현재 가동 중인 액화설비에 의존해야 하는 상황이기때 신규설비 가동 시점까지는 세계 LNG 수급은 타이트할 전망이다. EIA도 국제 천연가스 가격이 미국, 카타르 등의 공급 능력이 대규모로 확충되는 2026년 이후에 \$15/MMBtu 수준으로 하향 안정화될 것으로 전망하였다 (에너지경제연구원, 2022b).

□ 가스 소비는 변동성을 보이거나, 경기 회복과 전기 소비 증가로 2021년 전년 대비 9.1% 증가

가스 소비는 2000년 18.9백만toe에서 2013년까지 연평균 8.2% 증가하여 재생에너지를 제외한 모든 에너지원 중에서 가장 빠른 성장세를 보이면서 2013년 52.4백만toe의 소비량을 기록하였다. 국제 유가 변동, 2014년 말 신규 석탄 화력 발전소 진입 및 원자력 설비 재가동, 전기 소비 증가 둔화, 난방도일 등 여러 가지 요인이 복합적인 영향을 미치면서 증가와 감소를 반복하던 가스 총소비는 2021년 냉방도일 증가에 따른 발전용 소비 증가와 더불어 산업 및 건물 부문 소비 증가로 전년 대비 9.1% 증가한 60.5백만toe를 기록하며 역대 최고치를 경신하였다.

발전용 가스 소비는 전기 소비 증가와 신규 설비 확대에 빠르게 증가하다가 2013년 이후에는 증감이 반복되는 패턴을 보이고 있다. 2013~2015년에는 발전용 가스 소비가 연평균 28.2% 감소하여 60%를 상회했던 LNG 복합화력 설비 가동률도 40%대까지 하락하였다. 2016~2018년 발전용 가스 소비의 반등은 기록적인 폭염으로 인한 냉방도일 증가와 경주 지진 후 월성1~4호기의 안전검사(2016.9~12) 및 안전규제 강화로 인한 원자력 발전량 감소가 원인이다. 2019년에는 냉방도일 감소와 신재생에너지 발전 증가로 발전용 가스 소비도 전년 대비 8.2% 감소하였다. 2020년에는 석탄 발전량 감소와 정부의 개별요금제 승인에 따른 직도입 물량 증가가 발전용 가스 소비 증가를 이끌어 전년 대비 12.2% 증가하였다. 코로나19 회복에 따라 전기 수요가 증가한 가운데, 기저 발전인 원자력과 석탄 발전이 감소하며 2021년에도 발전용 가스 소비가 전년 대비 17.3% 증가하였다 (에너지경제연구원, 2022d).

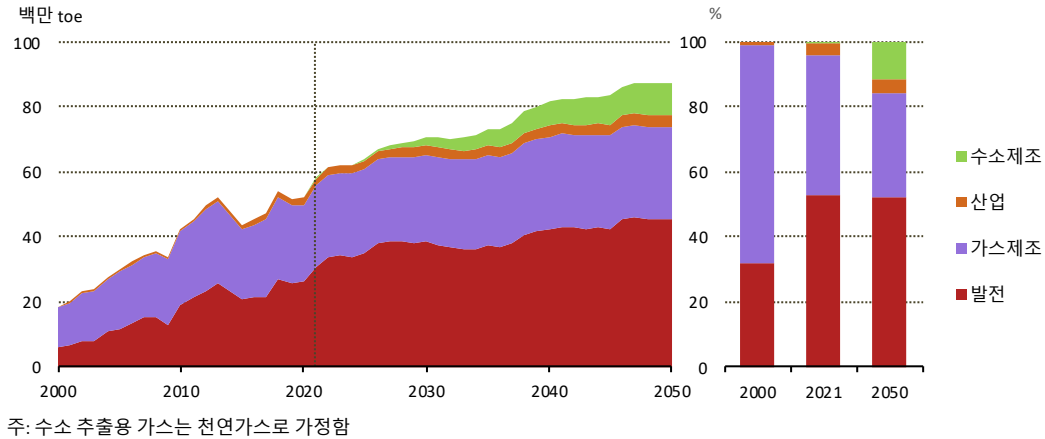
한편, 2000~2013년에 연평균 8.2%의 빠른 성장세를 이어온 최종소비 부문 가스 소비도 이후로는 발전용 가스 소비와 유사한 증감을 반복하고 있다. 부문별 소비를 구체적으로 살펴보면, 산업용 가스 소비는 2013~2016년에 국제 유가 급락과 도시가스 미수금 회수 등으로 타 연료 대비 가격경쟁력이 낮아지면서 연평균 5.9% 감소했으나, 2016~2019년에는 미수금 회수 완료에 따른 요금 하락으로 가격경쟁력이 상승하면서 소비가 연평균 1.3% 증가했다. 그러나 2020년과 2021년은 코로나19의 영향으로 큰 폭의 증가와 감소를 반복했다. 2020년까지 빠르게 증가했던 산업용 LNG 직도입 물량은 2021년 천연가스 가격 상승으로 감소로 전환되었다.

건물 부문은 1990년대 도시가스 배관망 확대에 난방 및 취사용 소비가 빠르게 증가하였으나, 2000년대 도시가스 보급이 성숙기에 들어서며 급증세가 다소 둔화되었다. 건물용 도시가스 소비는 2012년 이후 하계 및 동계 기온 변동에 따라 크게 변동하는 현상을 보이고 있다. 2020년에는 가정 부문 소비는 난방도일 상승과 코로나19에 따른 재택시간 증가로 전년 대비 4.0% 증가한 반면, 서비스 부문 소비는 코로나19에 따른 경기 악화로 전년 대비 11.3% 감소하였다. 2021년 코로나19에서의 회복은 서비스 부문 소비를 전년 대비 1.9% 증가로 반전시켰으나, 가정 부문은 주택 거주 시간 감소로 오히려 전년 대비 증가세가 둔화되었다.

□ 천연가스 수요는 발전용 및 수소제조용 수요가 확대됨에 따라 전망 기간 연평균 1.4% 증가

REF의 천연가스 수요는 발전/열생산용 및 수소제조용 수요가 증가하면서 2021~2050년 전망 기간 동안 연평균 1.4% 증가하여 2050년 90.6백만toe에 도달할 것으로 전망된다. 발전/열생산용 천연가스 수요는 신규 석탄 화력 및 원자력 발전 설비의 진입이 증가 억제 요인으로 작용하지만, 2020년대 중반 이후 노후 석탄 발전기가 차례로 가스로 연료를 전환함에 따라 꾸준히 증가할 전망이다. 발전/열생산용 천연가스 수요는 뒤에서 다시 자세히 살펴본다.

그림 2.44 기준 시나리오(REF)의 용도별 천연가스 소비 및 비중 전망



도시가스제조용 천연가스 수요의 증가세는 둔화되고 비중도 축소될 전망이다. 장기적으로 산업 부문의 직수입 물량이 증가하고 인구 감소하면서 도시가스 수요의 증가세가 둔화되는 것이 주요 원인이다. 1990년대 주택용 도시가스 보급의 폭발적 성장 속에 도시가스제조용 가스 비중은 2000년에 67% 이상을 차지했다. 하지만, 전망 기간 인구 감소 등의 영향으로 도시가스 수요의 둔화세가 지속되고 산업 부문에서의 천연가스 직수입 물량 증가로 산업용 도시가스 수요가 줄며 전망 기간 연평균 0.4% 증가할 전망이다. 도시가스제조용 천연가스 비중은 2050년 32.2%까지 하락할 것으로 분석된다.

한편, REF에서는 수소 기반 연료전지의 급증과 수소자동차 보급 확대로 수소 수요가 증가할 것으로 예상하고 있다. 본 전망에서 분석한 수소는 신규 수소 수요이며 기존 산업 공정에서 사용하는 수소는 가스 수요 속에 포함된 것으로 취급한다. 수소는 수입과 천연가스 개질(SMR, Steam Methane Reforming) 방식의 추출수소를 통해 주로 공급될 것으로 예상된다. REF는 2050년 기준 추출수소 80%, 부생수소 2%, 수입 18%를 가정하고 있다. 수전해 제조 공정의 경우는 미래 기술로 고려하여 정책 시나리오에서 고려한다. 부생수소는 철강, 정유, 화학 등의 부생가스를 활용하므로 에너지 투입이 추가로 발생하지 않는다. 하지만 추출수소 공급의 증가는 개질에 필요한 천연가스 수요를 증가시킨다. 수소제조용 천연가스 수요는 2050년 10.0백만 toe로 가스 수요의 11.5%를 차지할 것으로 분석된다.

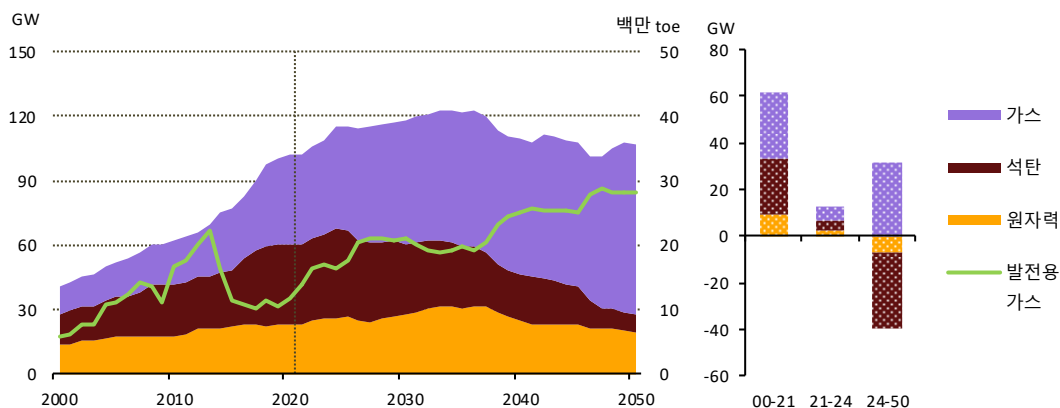
□ 발전/열생산용 수요는 탄소중립 정책에 따라 전망 기간 연평균 2.5% 증가

REF 시나리오에서 발전/열생산용 가스 수요는 전망 초기 유례없이 높은 국제 천연가스 가격과 함께 석탄 화력발전소와 원자력 발전소 등 기저발전설비의 증설로 증가세가 둔화될 것으

로 전망된다.⁵⁶ 앞서 **글상자 2.7**에서 살펴본 바와 같이 세계 천연가스 가격이 2025년까지 높게 형성되고 변동폭도 클 것으로 예상되는데 이는 전망 초기 가스 발전량 저조의 주요 원인으로 작용할 것으로 전망된다. 추가로 1~1.4 GW 규모의 신규 석탄 및 원자력 발전소가 2022~2024년에 집중적으로 진입함에 따라 첨두부하를 담당하는 발전용 가스 수요는 감소할 것으로 예상된다(에너지경제연구원, 2022e).

그러나 2025년부터 ‘제10차 전기본’에 따라 노후 석탄 발전 설비가 천연가스로 연료 전환을 하면서 가스 발전설비는 전망 기간 연평균 2.2% 증가할 것으로 예상된다. 가스 설비 용량은 2023년에 43.5 GW에서 2036년에 64.6 GW로 증가할 전망이다(산업통상자원부, 2022). 재생 에너지 발전의 증가에도 불구하고 2030년대 후반부터는 석탄과 원자력 발전 설비가 감소하면서 가스 발전량이 증가할 전망이다. REF에서는 수소 혼소가 실증 계획 수준만 적용되기 때문에 발전/열생산용 천연가스 수요가 빠르게 증가한다.

그림 2.45 기준 시나리오(REF)의 주요 발전 설비 용량 및 발전용 가스 수요 전망



□ 최종소비 부문의 가스 수요는 산업과 서비스 부문을 중심으로 전망 기간 연평균 0.7% 증가

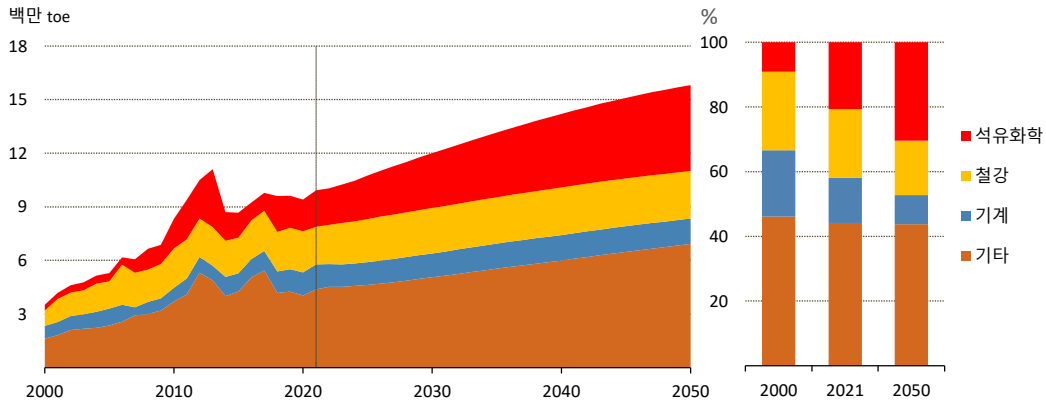
REF에서 최종소비 부문의 가스 수요는 전망 기간 연평균 0.7% 증가하여 2050년 30.3백만 toe에 이를 것으로 전망된다.⁵⁷ 가스는 가격경쟁력 확보와 온실가스 및 대기오염물질 배출 감축 정책의 영향으로 연료용 석유와 석탄을 대체하면서 양호한 증가세를 보일 전망이다. 특히, 온실가스 감축 목표 달성을 위해 연료 전환이 시급한 산업 부문이 2050년 최종소비 부문의 가스 소비 중에서 약 52.2%를 차지할 전망이다. 서비스 부문도 건물 에너지 효율이 개선될 것으

⁵⁶ 열생산에 사용되는 소량의 도시가스를 포함한 가스 총수요를 의미한다.

⁵⁷ 최종소비 부문 가스 소비는 산업용 천연가스 직수입을 포함한 수치이다.

로 예상되지만, 대형 건물 등에서 냉난방을 위한 GHP나 흡수식 냉온수기 등의 보급이 확대되면서 서비스 부문의 가스 소비는 전망 기간 동안 연평균 1.4% 증가할 것으로 보인다. 가정 부문의 가스 소비는 신규 주택 공급 증가에도 불구하고 인구 감소, 가구 구조 변화, 에너지 효율 개선 등으로 전망 기간 연평균 0.6% 감소할 전망이다.

그림 2.46 기준 시나리오(REF)에서 산업 부문 주요 업종별 가스 수요 전망



산업 부문의 가스는 타 화석연료를 지속적으로 대체하며 수요가 증가할 전망이다. 이는 장기적으로 LNG 도입 계약 구조의 유연화, 직수입 물량 확대, 미국산 셰일가스 도입 확대 등으로 가스 도입가격이 안정화되면서 가격경쟁력이 확대되고, 석탄과 석유 대비 미세먼지와 온실가스 배출이 적은 가스에 대한 선호가 높기 때문이다. 특히 석유화학업종에서 듀얼보일러의 보급 확대로 가열용 연료 대체가 수월해지고, 고부가가치 제품 생산을 위해 황이나 질소 등 불순물 제거하는 수소 사용이 늘면서 가스 사용이 증가할 것으로 예상된다.⁵⁸ 철강업은 2000년 기준 산업 부문 내에서 가스 수요 비중이 24.3%로 단일 업종으로 가장 컸으나, 2021년 21.2%로 감소하고 2050년에는 16.8%로 감소할 전망이다. 기계류 역시 2000년 20.5%의 비중에서 점차 감소하여 2050년에는 전체 산업 부문 가스 수요의 9.0%로 감소할 것으로 보인다. 반면, 석유화학업이 산업 부문 내에서 차지하는 가스 수요 비중은 2000년 기준 9.1%에서 2021년 20.7%로 증가하였으며 2050년에는 30.4%까지 확대될 것으로 분석된다.

⁵⁸ 이는 제품 고도화를 위해 공정에서 사용되는 수소로 철강에서는 부생수소, 화학에서는 추출수소를 주로 사용하고 있다. 온실가스 감축 정책에 따른 수소 수요가 아니므로 수소 수요에 포함되지 않는다.

제3장 2030 NDC와 2050 탄소중립

1. 효율강화 시나리오(Energy Efficiency Improvement Scenario)와 전기화 시나리오(Electrification of End-Use Scenario)

□ 탄소중립을 위한 효율강화와 전기화의 의미

정부가 유엔 기후변화당사국 총회에 제출한 2030년 우리나라 온실가스 감축 목표는 배출 정점인 2018년 대비 40% 수준이다. ‘2030 NDC 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)’에서는 국가 전체의 온실가스 배출을 40% 감축하기 위해 에너지 부문에서 약 33%를 줄이는 것을 제시하고 있다.⁵⁹ 또한 ‘2050 탄소중립 시나리오안 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’에서는 2050년 탄소중립을 달성하기 위해 에너지 부문에서 2050년까지 2018년 대비 99%를 감축하는 것을 목표로 설정하였다.

2030 국가 온실가스 감축 목표와 2050 탄소중립을 달성하기 위해서는 현존 기술의 효율 개선과 대폭적인 보급, 화석 연료의 전기화, 미래 기술의 조기 개발과 보급, 수소경제 활성화, CCUS 도입 등이 주요 수단으로 꼽히고 있다. ‘2050 에너지 탄소중립 혁신전략’, ‘2030 NDC 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)’, ‘2050 탄소중립 시나리오안 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’, ‘탄소중립 산업·에너지 R&D 전략 (산업통상자원부, 2021)’, ‘국토교통 탄소중립 로드맵 (국토교통부, 2021)’ 등 다수의 기존 정부 계획들은 이미 이러한 수단들을 포함하고 있다.

IEA는 2022년 전망 보고서에서 전기화, 효율 개선, 행태 변화를 통해 2030년까지 에너지 공급이 10% 감소하고, 에너지 부문의 온실가스 배출은 1/3이 줄어들 것으로 보고 있다. 전체적으로는 발전 부문의 배출 감소가 가장 크지만, 최종소비 부문의 직접 배출의 45%를 차지하는 산업 부문도 원료 및 연료 효율과 연료대체를 통해 2030년까지 배출의 1/4을 줄일 수 있을 것으로 분석하고 있다. IEA도 보고서에서 지적하였듯이, 산업 부문의 탄소중립 어려움은 주요 저감 기술들이 시제품 내지는 실증 단계에 있으며, 주요 제품에 대한 국제 경쟁으로 인해 이윤 폭이 작아 기업들이 새로운 기술을 도입하기 어렵고, 생산설비의 수명이 길며 자본집약적이기 때문이다. 미국 DOE(Department of Energy)가 발표한 ‘산업 탈탄소 로드맵 (Department of Energy, 2022)’에서는 산업 부문의 탈탄소화를 위한 4개 핵심 축으로 에너지 효율, 전기화, 저탄소 연료·원료·에너지원, 그리고 탄소 포집·활용·저장을 제시하고 있다. 제조업의 온실가스 배출은 직간접 가열 설비에서 발생하고 있으며 이중 5% 미만이 전기화 되어 있어, 열에너지의 전

⁵⁹ 여기서는 국가 전체의 온실가스 배출이 아니라 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출만을 대상으로 한다. 에너지 부문의 감축량은 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오안’의 전환, 산업, 건물, 수송, 수소 부문의 2018년 대비 감축률을 이용하여 계산하였다. 산업공정과 산업 에너지 사용은 동일한 감축률을 적용하였다. ‘제1장 2022 장기 에너지 전망의 배경’ 참조.

기화로 산업의 온실가스 배출을 크게 줄일 수 있다. 산업공정의 전기화 기술은 공정용 수소 생산의 전기화를 비롯하여 히트펌프를 제시하고 있으며, 히트펌프는 다양한 산업의 중·저온 열 수요를 충족할 수 있는 것으로 분석하고 있다.

본 시나리오는 산업 부문의 효율 개선을 위한 기술개발을 중심으로 기술개발의 성과에 따라 탄소 감축 목표를 효과적으로 달성하기 위한 정책 조합을 분석한다. 각 시나리오에서 채택한 부문별 정책 수단들을 간단히 정리하면 다음과 같다. 표 3.1은 정부 및 민간 경제주체들이 제시한 온실가스 배출 감축 수단을 모두 포함하지는 않지만, 모형 작업에 적용되는 대표적인 수단들을 정리하고 있다. 여기서는 시나리오 분석을 위해 추진과제나 제시된 목표를 모형에 적용하기에 적합한 체계로 다시 분류하였다.

표 3.1 탄소중립을 위한 주요 정책 수단과 기술

분류	주요 내용
효율 개선을 위한 기술 혁신과 제도	보일러, 로, 모터 등 산업 공통기기의 효율 향상 철강 전기로 효율 향상 산업공정효율 향상을 위한 스마트 그린 기기·공정·공장 고도화 기술개발 철스크랩 및 폐플라스틱 활용을 통한 원료 대체 폐합성수지, 바이오매스 등을 활용한 연료 대체 고효율 태양전지와 장수명 풍력발전기 자동차 평균연비 강화 및 전비 등급제 제로에너지 건물 기준 상향 및 에너지 효율 평가체계 개편 에너지 효율관리제도 개편을 통한 저효율기기 단계적 퇴출
배출 감축을 위한 전기화	전기 자동차 보급 확대 석유화학공정 전기화 산업용 중·저온 히트펌프 개발
미래 기술의 개발	석탄 및 가스 발전 혼소 수소터빈 수전해 수소 생산 수소환원제철 수소 연료 사용 바이오 납사 및 합성납사 산업용 고온(400℃) 히트펌프 개발
기타 보급, 규제 및 가격	석탄발전 폐지 및 연료 전환 석탄발전 상한제 및 환경급전 강화 대중교통 인프라 확대, 교통관리를 통해 대중교통 확대, 통행량 감축 탄소세 부과 및 배출권거래제 강화를 통한 탄소가격 반영

주 1: ‘에너지 탄소중립 혁신전략’, ‘2030 NDC 상황안’, ‘2050 탄소중립 시나리오안’, ‘탄소중립 산업·에너지 R&D 전략’, ‘국토교통 탄소중립 로드맵’ 외 다수의 자료를 이용하여 시나리오 분석을 위해 대표적인 수단들을 재분류

주 2: 기술 정의와 특성만을 인용하며, 기술의 적용 시기와 강도는 시나리오에서 분석

‘효율 개선을 위한 기술 혁신과 제도’는 기존 기술의 에너지 효율을 연료 대체없이 혁신적으로 높이는 수단을 의미한다. 여기에는 연료 효율만이 아니라 원료 대체까지 포함하고 있다. 산업 공통 기기의 에너지 효율 향상이나 일관제철 공정에 철스크랩의 비중을 증가시키기 위한 기술개발 등이 여기에 해당한다. 시나리오 정의에서 설명한 것처럼 공통 기기의 기술개발 속도에 따라 시나리오를 구분한다.

‘배출 감축을 위한 전기화’는 화석 연료를 사용하던 기술의 연료를 저배출 또는 무배출 에너지원으로 전환하는 기술을 의미한다. 내연기관 자동차를 전기 자동차로 대체하는 것이 대표적이다. 건물 부문은 화석연료 보일러를 전기 히트펌프로 교체하는 것을 정책 수단으로 상정하고 있다. 물론 전기화도 자체의 효율 개선을 포함한다. ‘효율 개선’이나 ‘전기화’ 수단들은 단기 내지는 중기에 도입될 수 있는 기술들로 분류한다. 이는 단기 내지 중기에 도입되는 것으로 온실가스 배출 감축의 역할이 끝나는 것을 의미하지 않는다. 앞서 시나리오 정의에서 설명한 것처럼, 탄소중립이라는 목표에 도달하기까지 에너지 효율은 꾸준히 개선된다. 따라서 가까운 미래에 교체된 전기화 설비는 장기적으로 여전히 효율 개선의 대상이 된다.

장기적인 감축 수단에 해당하는 ‘미래 기술의 개발’은 수소터빈의 개발이나 수소 생산을 위한 수전해 공정 개발, 철강의 수소환원제철 등 기존에 존재하지 않았던(혹은 실험 단계의) 새로운 기술들을 의미한다. 석탄 및 가스 발전에 암모니아나 수소를 혼소하는 기술도 여기에 포함하였다. 암모니아 및 수소 혼소는 현재 실증 계획 일정이 잡혀 있고, 성과 여부에 따라 빠른 시기에 도입될 수 있다. 하지만 대부분의 미래 기술은 2040년 전후 도입을 가정하고 있다. 또한 미래 기술은 EEI와 EOE에 동일한 수준으로 적용된다.

‘기타 보급, 규제 및 가격’은 정부의 직접적인 규제나 보급 목표를 비롯하여 탄소세 부과, 에너지 가격체계 개선 등 다수의 정책 수단들을 포함한다. 수용성 제고를 위한 제도 개선, 보급 확산을 위한 지원책, 소비행태 변화 유도를 위한 유인체계, 기반 조성 및 시장 활성화를 위한 제도 개선 등 다양한 보조 정책 수단들이 ‘기타 보급, 규제 및 가격’에 포함될 수 있다. 시나리오 분석에서는 이러한 정책 수단들이 목표 달성을 위해 최적으로 설계되어 시행된다고 가정한다.

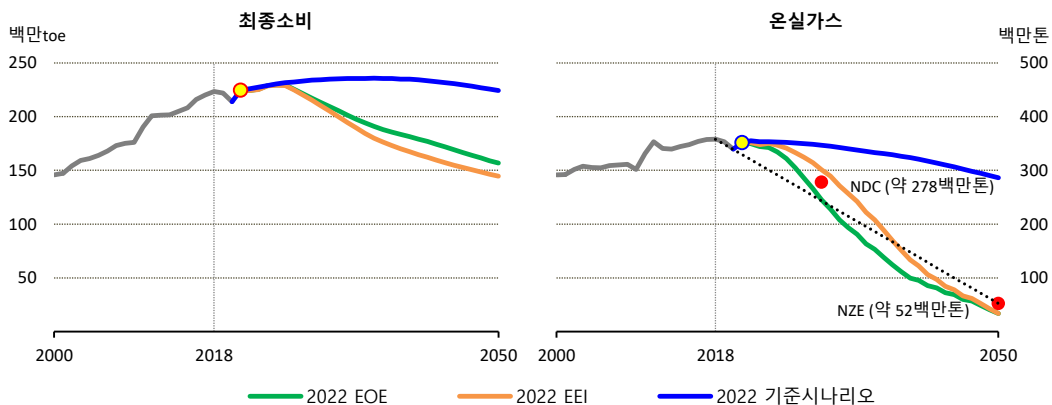
제3장에서는 정책 수단들의 조합에 따른 에너지 수요와 온실가스 배출의 차이를 비교한다. 정책 수단들의 조합은 서로 다른 기술과 수단을 사용하는 것이 아니라, 시나리오 정의에서 설명한 것처럼 주요 공통 기술의 효율 개선 투자의 성과 속도와 전기화의 정도에서 차이가 난다. 즉, 두 시나리오 모두 동일한 감축 수단을 사용하지만, 사용할 수 있는 감축 수단의 수준이 시기에 따라 다르다. 이는 출발에서 다른 방향을 선택하는 것이 아니라 기술개발이라는 정책 수단의 불확실한 성과에 따라 다르게 나타나는 상황에 대한 대응의 결과이다.

한 에너지 소비 감소를 상쇄하고 총에너지 수요 측면에서 REF 수준 이상으로 증가한다. EOE의 전기화는 에너지 수요 억제보다 온실가스 감축 효과가 더 크다. 이는 전기화로 인한 최종소비 부문의 직접 배출 감소가 발전/열생산 부문을 거친 간접배출 증가보다 크다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 발전/열생산 부문의 강력한 온실가스 배출 감축을 전제로 하고 있으며, 최종소비 부문의 전기 비중에 따라 전기화의 효과가 달라질 수 있다.

총에너지에 비해 최종소비 부문은 에너지 수요와 온실가스 배출이 크게 동반 감소한다. 최종소비 부문의 에너지 수요 감소는 고효율 기술개발 및 보급에 따른 에너지원단위 개선의 영향도 있지만 철스크랩이나 폐플라스틱 활용 확대를 통한 원료 효율 개선의 효과가 크게 작용한다. 특히, 철강업의 전로강 생산 비중 축소와 전로의 철스크랩 투입 비중 확대는 석탄 소비 감소를 통해 온실가스 배출 감소에 큰 영향을 미친다. 장기적으로는 수소환원제철 공법을 중심으로 한 미래 기술의 상용화와 고효율 전기화 기술의 빠른 보급이 에너지 수요와 온실가스 배출의 동반 감소를 촉진한다.

REF와 비교할 때 EEI와 EOE의 최종소비는 2030년 각각 24백만toe(약 10%)와 21백만toe(9%), 2050년은 80백만toe(약 36%)와 67백만toe(30%)가 감소한다.⁶⁰ EEI가 EOE보다 전반적으로 에너지 소비가 더 빠르게 감소하지만, EOE는 전기와 재생에너지가 화석연료를 대체하는 부분이 크기 때문에 EOE의 온실가스 배출 감소가 더 빠르게 진행된다. EEI와 EOE의 총에너지 온실가스 배출이 유사하다는 점을 고려하면, 두 시나리오의 최종소비 부문 온실가스 배출 차이는 결국 발전/열생산 부문의 온실가스 배출 차이와 역의 관계가 있다는 것을 의미한다.

그림 3.2 시나리오별 최종소비 부문 에너지상품 수요와 온실가스 배출 경로 비교



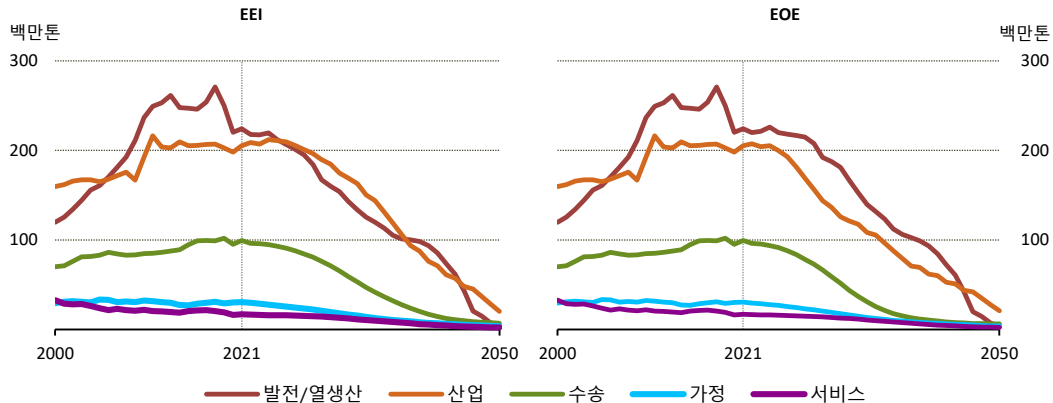
주: NDC 및 NZE 목표 배출량은 '2030 NDC 상향안'과 '2050 탄소중립 시나리오안'의 목표 감축률을 이용하여 재계산

⁶⁰ 제2장과 동일하게 에너지산업 자체소비에 해당하는 석유정제를 산업 부문에 포함하여 설명한다.

□ 정책 조합에 따른 부문별 온실가스 배출의 차이

전기화를 통한 최종소비 부문의 직접 배출 감소는 발전/열생산 부문의 배출을 증가시킨다. 이는 최종소비 부문의 전기화 정도에 따라 부문간 감축 수준과 감축 목표가 달라질 수 있다는 것을 의미한다. EEI와 EOE의 각 부문별 온실가스 배출 추이는 그림 3.3에서 보여주고 있다. 수송 부문이나 건물 부문의 배출 추이도 두 시나리오의 차이가 있지만, 산업 부문과 발전/열생산 부문에서 EEI와 EOE의 결과 차이가 뚜렷하게 나타난다. 에너지 효율 개선에 집중할 경우 산업 부문의 직접 배출이 더디게 감소하고 발전/열생산 부문의 배출이 빠르게 감소하는 반면, 전기화 방식에 의존할 경우 산업 부문의 배출이 초기에 빠르게 감소하고 대신 발전/열생산의 배출이 상대적으로 높은 수준을 유지한다. 배출량의 크기를 고려할 때, 결국 온실가스 배출 감축 목표 달성의 핵심은 산업 부문과 발전/열생산 부문의 적절한 역할 배분에 달려있다. EEI의 2030년 산업 부문과 발전/열생산 부문 온실가스 배출은 각각 189.6백만톤-CO₂eq와 166.4백만톤-CO₂eq이고, EOE의 2030년 온실가스 배출은 산업 부문이 143.9백만톤-CO₂eq, 발전/열생산 부문이 191.5백만톤-CO₂eq로 전망된다. 하지만 총 배출은 앞서 살펴본 것처럼 EOE가 조금 더 낮은 수준을 유지할 것으로 보인다.

그림 3.3 부문별 온실가스 직접 배출의 경로 비교

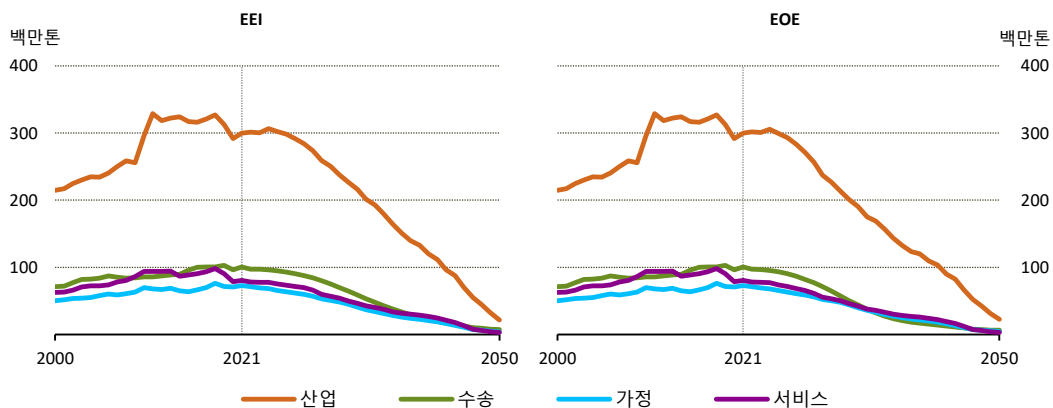


부문별 배출을 조금 더 자세히 보면, 산업 부문의 직접 배출 비중은 2021년 35.6% 수준에서 2050년 56% 수준으로 늘어난다. 건물 부문이 직접 배출에서 차지하는 비중은 가정과 서비스가 각각 5%와 3% 수준을 유지하다 2050년에는 가정 부문 10~11%와 서비스 부문 6~7% 수준으로 증가한다. 건물이나 산업 부문의 직접 배출 비중이 증가하는 것은 발전/열생산 부문의 직접 배출 감소가 그만큼 빠르게 진행되기 때문이다. 직접 배출량 기준으로는 발전/열생산과 산업 부문에 이어서 수송 부문의 직접 배출이 많고 배출 감소도 빠르게 진행된다. 수송 부문은

EEI와 EOE가 각각 2030년과 2035년을 내연기관 자동차의 판매 금지 시점으로 설정하고 있다. 내연기관의 효율 개선보다는 전기 자동차로의 이동이 온실가스 배출 감소에 더 큰 영향을 미치기 때문에 EOE의 온실가스 배출이 더 빠르게 감소한다. 건물 부문에서는 주거용 주택이 일반 건물에 비해 온실가스 직접 배출이 조금 더 많은 것으로 나타난다. 에너지 소비는 서비스 부문이 조금 더 많지만 상업용 건물의 전기화가 이미 더 많이 진행되었기 때문이다.

앞의 그림 3.1과 함께 살펴보면, EOE가 2030 NDC와 2050 탄소중립에 보다 근접하고, 이를 위해서는 산업 부문의 탄소 배출 감축이 매우 중요하다는 것을 알 수 있다. 기술개발 성과가 빨리 나타나는 EEI는 오히려 산업 부문의 배출 감축이 전망 후반에 빨라진다. 발전 부문이 초기 감축의 부담을 담당하지만, 에너지 부문의 총배출은 EOE보다 높은 수준을 유지하는 것으로 전망된다. 이는 '2021 장기 에너지 전망'의 ALT(ALTERNative scenario)와 유사한 측면이 있다. 하지만 ALT에서는 산업 부문의 대규모 민간 투자를 동원하는 어려움 때문에 초기에 온실가스 배출을 감축하는 것이 매우 어려울 것으로 판단하였다. EEI에서는 기술투자의 성과를 최대한 활용하기 위해 전기화가 늦게 진행되는 것이 원인이다. 어느 쪽이든, 초기 온실가스 배출 감축이 작은 것에 상응하여 후기 온실가스 감축의 가속화에 대한 정책 강화와 경제주체의 노력이 필요한 것은 동일하다.

그림 3.4 부문별 온실가스 총배출(직접+간접)의 경로 비교



주: 발전/열생산 부문의 자체소비로 인한 간접 배출은 제외

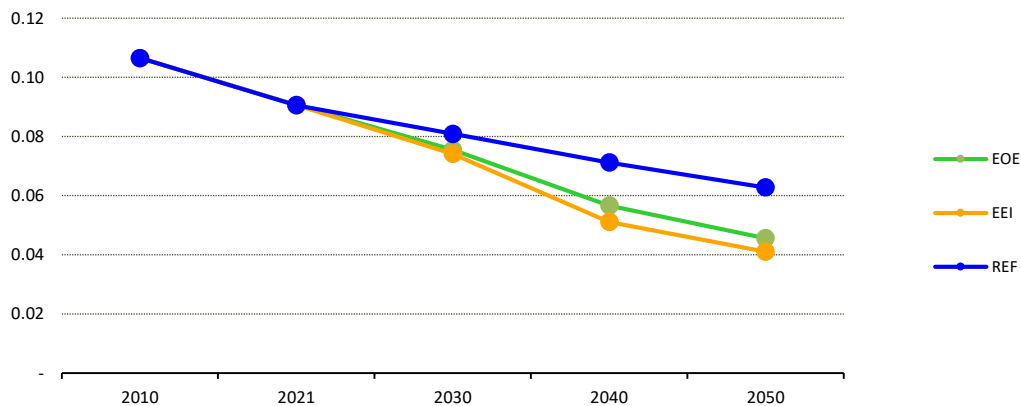
간접 배출을 포함하면 산업 부문의 배출량이 가장 크게 증가한다. 간접 배출을 포함한 산업 부문의 총배출 기여도는 2021년 50% 수준에서 2050년 60% 수준으로 확대된다. 이는 산업 부문의 전기 소비가 가장 크게 증가하는 것이 이유이며, 수소환원제철 공정을 비롯한 수소 수

요의 증가에 따른 간접 배출 증가도 영향을 미친다.⁶¹ 한편, 전기 외에도 지역난방 열에너지를 이용하는 주택이나 일반 건물의 배출 비중은 수송 부문과 거의 비슷한 수준까지 증가한다. 간접 배출을 포함하면 에너지 소비가 더 많은 일반 건물의 배출 기여도가 주택의 배출 기여도보다 높아진다. 건물 부문의 특징은 산업이나 수송 부문에 비해 에너지 수요의 감소가 크지 않다는 점이다. 서비스 건물의 경우 에너지 수요가 오히려 증가한다. 하지만, 전기(히트펌프 포함) 및 열에너지로의 전환이 건물 부문의 온실가스 배출을 감소시키며, 재생에너지 자가발전의 확대가 건물의 배출 기여도를 낮추는 역할을 한다.

□ 에너지 효율 개선을 통한 에너지 수요의 감축

앞서 '제2장 기준 시나리오 전망 결과'에서 살펴본 것처럼, REF에서도 에너지 효율 개선이 빠른 속도로 진행된다. REF에서 최종소비 부문의 에너지원단위는 2021년에서 2050년 사이 약 31%가 개선된다. EEI와 EOE는 적극적인 기술개발 투자와 설비 투자를 통해 2050년 에너지원단위가 REF 대비 약 27~35%가 개선된다. 이는 2021년 기준으로는 에너지원단위가 50~55% 개선되는 것이고, 탄소중립 목표 설정의 기준년도인 2018년 기준으로는 57~52% 개선되는 것이다. 에너지원단위의 개선은 두 시나리오 모두 2030년 이후 가속화되는 것으로 나타난다.

그림 3.5 시나리오별 최종소비 부문의 에너지원단위 개선 비교



주: 화학원료용 수요는 제외, 석유정제는 최종소비에 포함

⁶¹ 간접 배출은 전기나 열에너지를 구입함으로써 인해 해당 에너지상품의 생산(전환) 부문에서 배출이 증가하는 것을 말한다. 간접 배출을 정확히 계산하려면 수전해 수소 생산으로 인한 전기 소비 증가를 수소 수요에 따라 다시 배분해야 한다. 이 경우 발전 부문의 수소 수요는 발전 부문의 배출로 취급할 수 있으며, 발전 부문의 배출은 다시 최종소비 부문의 전기 소비 비중에 따라 배분해야 한다(발전 부문의 자체 전기 소비로 인한 간접 배출과는 다르다. 자체 소비로 인한 배출은 발전 부문의 간접 배출로 남겨둔다). 여기서는 계산 편의를 위해 수소 생산용 전기 수요의 간접 배출량을 최종소비 부문의 수소 수요에 따라 할당하였다.

‘에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, 2021)’에 따르면 최종소비 부문의 에너지원단위를 2030년까지 2018년 대비 30% 이상, 2050년까지는 40% 이상 개선하는 것이 정부 목표이다. IEA는 2021년 ‘넷제로 로드맵 2050’ 보고서와 ‘WEO 2022’에서 탄소중립 달성을 위해 에너지원단위가 2030년까지 연평균 4% 이상, 2030년 이후 2050년까지는 연평균 2.7% 개선되어야 한다고 분석하였다.⁶² 이는 2050년까지 현재 수준의 에너지원단위보다 대략 60% 가까이 개선해야 한다는 것을 의미한다. 본 시나리오 분석에서는 정부에서 제시한 에너지원단위 개선보다 더 높은 수준의 개선이 이루어져야 탄소중립에 도달할 수 있으며, IEA에서 제시한 에너지원단위 개선에 근접한 결과를 보여주고 있다. 하지만 IEA의 분석과는 차이가 있다. 본 시나리오 분석에서는 기술개발 속도와 설비투자의 한계로 인해 에너지원단위의 개선은 2030년대 이후 가속화될 것으로 나타났다. 이는 에너지원단위 개선이 효율 개선의 누적 효과로 나타나기 때문이다. 기술개발 및 설비투자와 관련된 분석은 뒤에서 다시 설명하기로 한다.

에너지원단위로 표현된 에너지 소비는 크게 두 가지 특징이 나타난다. 첫 번째는 시나리오 설계처럼 EEI와 EOE는 기술개발 속도가 다르지만 2030년 에너지원단위는 그다지 차이를 보이지 않는다는 점이다. 이는 에너지원단위가 기술개발 성과와 설비 교체 규모의 결합으로 나타나기 때문이다. 2030년까지 대대적인 설비 교체가 진행되어야 하지만, 전체 설비에서 교체되는 설비의 비중은 여전히 그다지 크지 않다. 두 번째는 2050년의 기술 수준에 도달했을 때 효율 개선은 2021년 대비 50~55%이지만, REF 대비 추가 개선은 27~35% 수준이다. 에너지원단위로 나타난 에너지 효율은 REF에서도 이미 2021년 대비 2030년 11%, 2050년에는 30% 이상 개선되는 것으로 전망된다.

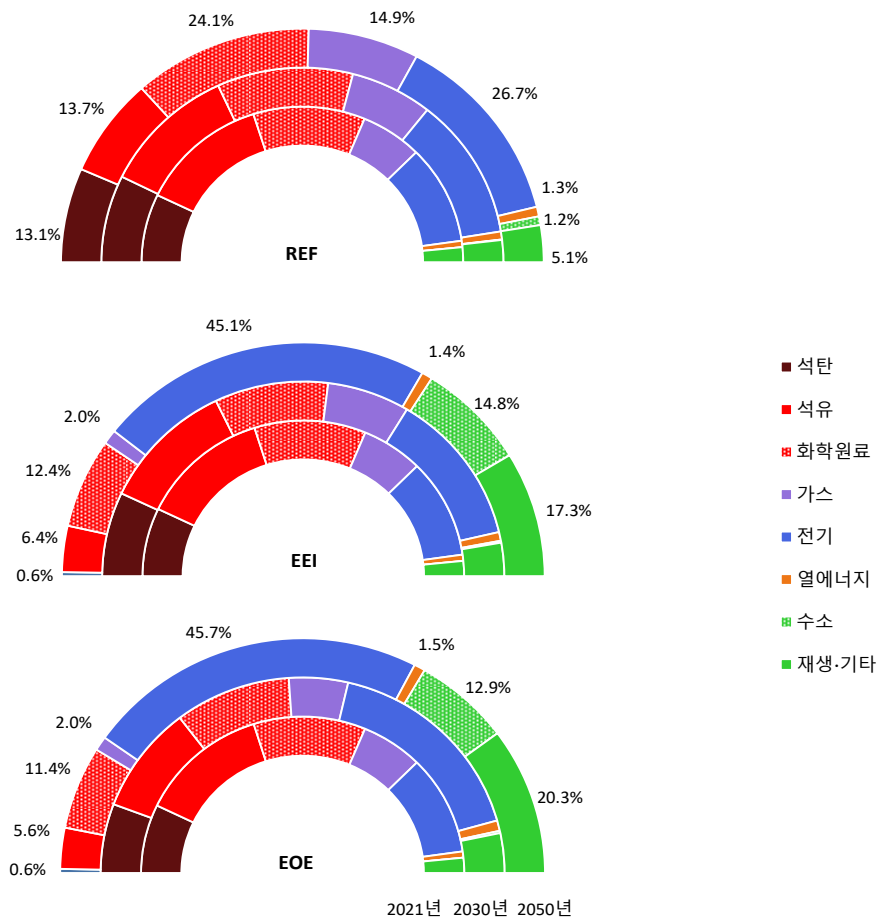
에너지원단위 개선의 어려움과 온실가스 배출 추가 감소 효과가 작다는 것이 효율 개선에 대한 추가적인 투자가 불필요하다는 것은 아니다. 온실가스 감축 목표 달성을 위해서는 전기화가 필수적이며 발전 부문의 온실가스 감축 부담 완화와 에너지 안보를 위해서는 최종소비 부문의 에너지 수요 증가 억제가 반드시 필요하다. 산업 부문이 핵심적인 역할을 하지만 건물 부문 난방 설비에 대한 전기화 기술 투자와 시장에서의 선택을 유도하는 규제 및 지원을 강화하는 것도 필요하다. 또한 최종소비 부문의 재생에너지 보급을 더욱 확대하는 것이 필요하다.

⁶² IEA는 총에너지(Total Energy Supply)를 기준으로 에너지원단위 개선을 제시하였다. IEA 분석에서 전기화가 에너지 효율을 향상시키는 이유는 전기가 에너지상품 소비량 대비 제공하는 유효 에너지 소비량이 크기 때문이다. 하지만, IEA와 우리나라의 통계 작성 원칙의 차이도 총에너지 기준 에너지원단위의 개선에 영향을 미친다. 즉, IEA 통계 기준으로는 재생에너지 발전이 확대되면 최종소비 부문의 전기화는 총에너지 수요에 거의 영향을 미치지 않으면서 연료 전환이 된다. 우리나라 에너지 통계의 경우 부분대체법을 사용하기 때문에 재생에너지 발전이 확대되더라도 전기화는 전환손실을 발생시키고, 그만큼 총에너지 수요의 증가를 초래한다. 2030년 이후 에너지원단위 개선 속도가 둔화되는 것은 2030년 이전 에너지 효율 향상의 극대화로 인한 이후 가용 수단의 제약, 합성 연료나 수소 등 새로운 연료 생산과 CCUS에 투입되는 에너지의 증가 때문인 것으로 설명하고 있다.

□ 탄소 배출 감축을 위한 에너지상품 구성의 변화

온실가스 배출 감축 목표로 인해 최종소비 부문의 에너지상품 구성은 시기별로 그리고 시나리오에 따라 변화의 모습이 다르게 나타난다. 다음 그림 3.6은 최종소비 부문의 에너지상품 구성 변화를 시나리오별로 비교하여 보여준다. 극적인 변화를 보이는 것은 전기와 재생에너지이다. 단기적으로는 정책 추진 초반부터 강조되는 전기화에 힘입어 EOE에서 전기의 비중이 34.1%로 확대된다. EEI에서는 전기의 비중이 2030년 이후 크게 증가할 전망이다. 2050년에는 두 시나리오 모두 전기가 45% 이상을 차지하며 최종소비에서 가장 큰 비중을 차지하는 에너지상품으로 성장한다. IEA도 탄소중립의 경로에서 2050년에는 전기가 최종소비의 50%를 차지할 것으로 전망하고 있다.

그림 3.6 시나리오별 최종소비 에너지상품 구성 비교 (2021, 2030, 2050년)



수소를 제외한 최종소비 부문의 재생에너지는 두 시나리오에서 비중이 증가하는 속도가 비슷하다. 재생에너지는 열 중심의 바이오/폐기물에서 전기 중심의 태양광과 히트펌프의 지열이나 수열로 이동한다. 그 외에도 화학원료용 탄화수소를 대체하는 바이오도 크게 증가할 전망이다. 2050년에 이르면 수소 제외 재생에너지는 전기에 이어 두 번째로 큰 최종소비 에너지 공급원이 될 전망이다.

석탄과 수소는 상호 대체 관계가 있으며, 장기적으로 변화가 나타난다. 온실가스 배출 저감을 위한 철강업의 노력으로 제철 공정에 투입되던 유연탄이 수소로 대체되면서 2050년 최종소비에서 석탄이 차지하는 비중은 0.6%로 급감하게 된다. 수소는 수소환원제철을 중심으로 2040년 이후에나 본격적으로 도입되지만, 대규모 설비의 단계적 교체를 통해 이루어지기 때문에 2040년대 석탄과 수소의 대체는 엄청난 규모로 진행될 전망이다. 도로 수송의 전기화 및 수소화로 인해 연료용 석유 소비는 급감한다. 하지만 대체가 어려운 항공이나 해운 부문의 석유 수요와 화학업종의 원료용 수요가 여전히 존재하기 때문에 석유 전체는 2050년에도 최종소비의 16~19% 수준을 차지할 것으로 예상된다.

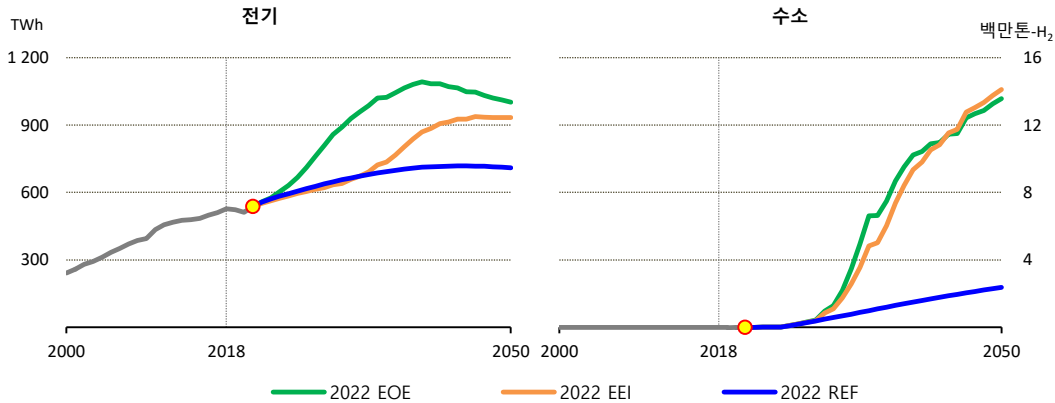
□ 무배출 에너지상품의 수요 증가와 발전/열생산의 온실가스 배출

직접배출이 없는 에너지상품인 전기와 수소의 수요 증가로 발전/열생산 부문이 온실가스 배출 감축에 기여해야 하는 역할은 더욱 커진다. 전기 수요는⁶³ REF에서 2021년 569.9 TWh에서 2030년 685 TWh, 2050년은 751 TWh로 증가할 전망이다. EEI는 효율 개선을 통해 전기화로 인한 수요 증가를 최대한 억제하면서 전기 수요가 2030년 672 TWh, 2050년 1,001 TWh로 증가한다. EOE의 경우 전기화 역할이 큰 탓에 2030년 903 TWh, 2050년 1,085 TWh까지 증가할 전망이다. 전기화의 경로가 크게 영향을 미치면서 EEI와 EOE의 2030년의 전기 수요는 큰 차이를 보이지만, 2050년으로 다가갈수록 그 차이는 줄어든다. 2050년 전기수요는 2021년 대비 약 75~90% 가량 증가한다.

최종소비 부문의 전기화가 진행되면서 최종소비 전기의 자가 공급이 중요한 역할을 할 전망이다. 제로에너지건물의 확대는 건물의 에너지 소비에서 자체 공급하는 에너지의 비중을 증가시킨다. 산업 부문에서도 재생에너지 자가 발전의 확대가 에너지 비용을 줄일 수 있다. 이와 관련된 요금 및 세제 정책과 전력시장 제도가 올바르게 진행되는 것이 필요하다. 최종소비 부문의 자가 발전 확대로 전력 계통을 통해 구입하는 전기 구매는 EEI의 경우 2030년 634 TWh, 2050년에는 933 TWh로 증가한다. EOE는 2030년 858 TWh, 2050년 1,002 TWh로 전망하고 있다.

⁶³ 전기 수요는 자가 발전 수요를 합한 총 전기수요를 의미하며, 수소생산을 위한 전환공정 투입과 발전/열생산을 제외한 에너지산업 자체소비의 전기 수요를 합산한 수요이다.

그림 3.7 시나리오별 전기 및 수소 수요 전망



주: 전기는 전력계통을 통해 구매한 전기 수요, 수소는 공정에서 사용하는 수소를 제외한 에너지 목적의 수소 수요를 의미

수소 수요는 EEI에서 2030년 0.9백만톤-H₂, 2040년 9.3백만톤-H₂, 2050년 14.1백만톤-H₂ 증가할 전망이다. 한편 EOE에서는 수소 수요가 2030년 1.0백만톤-H₂, 2040년 10.2백만톤-H₂, 2050년 13.6백만톤-H₂로 증가한다. 수소는 2030년까지는 수송 부문, 2040년까지는 발전/열생산 부문, 그 이후는 산업 부문이 수요의 증가를 주도한다. 발전/열생산 부문에서는 가스와 수소를 50% 혼소하는 기술을 2028년까지 실증을 마치고 35년부터는 전체 가스 설비를 대상으로 적용할 예정이다. 이와 더불어 석탄에 암모니아를 20% 혼소하는 기술이 2020년대 중반부터 도입되어 2030년에는 24기의 석탄 발전에 적용될 예정이다. 산업 부문은 2040년부터 철강업에 수소환원제철 설비가 차례로 도입되면서 2050년까지 설비 교체가 완료된다.

수소 수요의 증가는 최종소비 부문의 전기 수요 증가를 억제하는 역할을 하지만, 수소 공급 방식에 따라 에너지전환 부문의 전기 수요를 증가시킨다. 수소 공급은 '2050 탄소중립 시나리오안'의 공급 비중에 따라 2050년에 수입이 80%를 차지하며 수전해 국내 생산이 20%인 2.7~2.8백만톤-H₂를 차지한다. 국내 생산 수소를 100% 청정수소로 전환할 경우 수전해 수소 생산을 위한 재생에너지 발전은 2050년 약 168~175 TWh가 필요한 것으로 계산된다.⁶⁴

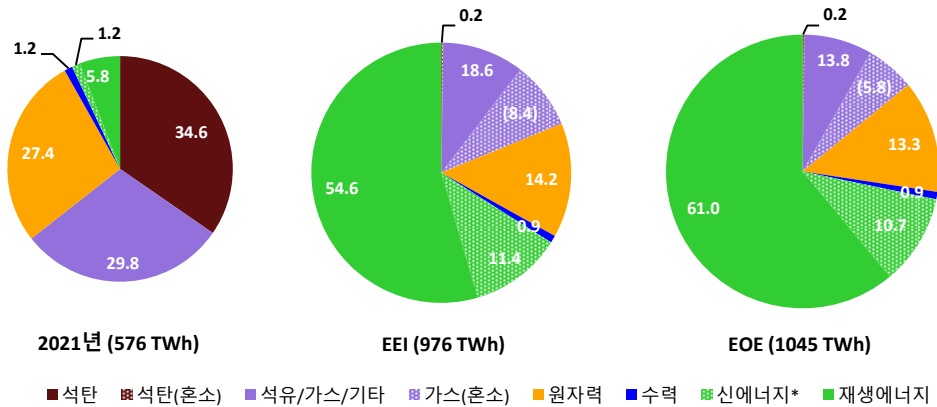
발전 부문 탄소 감축 수단의 핵심은 재생에너지 발전의 확대와 함께 석탄 및 가스 발전을 수소와 같은 무탄소 발전으로 대체하는 것이다. 뒤에서 자세히 설명하겠지만, EEI나 EOE의 석탄과 원자력 발전 설비는 '제10차 전기본'의 계획을 반영하고 있으며, 재생에너지 발전량은 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해 필요한 최소 수준을 계산한다. 재생에너지 발전의 확대는

⁶⁴ 수소 생산에 필요한 전기 수요는 수전해 공정에 투입되는 전기와 수소 역화에 필요한 전기의 합계로 계산한다. '2050 탄소중립 시나리오안'에서는 3.0백만톤-H₂ 생산을 위해 129.0 TWh가 필요한 것으로(B안) 계산하였다.

탄소배출 감축이라는 직접적인 목적 외에도 그린수소 생산과 최종소비 부문의 RE100 달성을 위한 기반이 된다. IEA는 ‘넷제로 2050’ 보고서와 ‘WEO 2022’에서 2050년까지 재생에너지가 전 세계 에너지 총공급의 2/3를 차지하고, 청정에너지와 인프라에 대한 투자 증가가 글로벌 GDP의 증가를 이끌 것이라고 강조하고 있다. IEA는 2020년대를 대규모 청정 에너지 확대 시기로 만들 것을 제안하고 있다.

EEI에서는 2030 NDC와 2050 탄소중립 달성을 위해서 바이오를 포함한 재생에너지 발전이 2021년 33.5 TWh에서 2030년 143 TWh, 2050년에는 사업자 총발전의 54.6%인 약 533 TWh 수준까지 증가한다. 재생에너지 발전의 증가는 태양광과 풍력이 주도할 전망이다. 이를 위해서 태양광, 풍력, 해양에너지의 설비가 2021년 20.5 GW에서 2030년 104 GW, 2050년에는 408 GW로 늘어나야 한다.⁶⁵ EOE에서는 재생에너지 발전량의 비중이 2030년 30.9%(280 TWh), 2050년은 61.0%(638 TWh)로 증가하고, 설비는 211 GW를 거쳐 2050년 498 GW로 증가한다. IEA는 재생에너지가 총발전에서 차지하는 비중이 2030년 61%, 2050년은 88%까지 확대될 것으로 전망하고 있다. 전 세계 평균치이긴 하지만, 본 보고서에서 분석하는 것보다는 매우 높은 수준이다.

그림 3.8 발전원별 2050년 발전량 비중 비교



주: 석유/가스/기타는 집단에너지 발전량과 한전의 상용자가발전 구매를 포함. 신에너지는 수소 터빈, IGCC, 수소기반 연료전지의 합계, 재생에너지는 변동성 재생에너지와 바이오 및 폐기물의 합계

EEI의 변동성 재생에너지는 발전량이나 발전 비중에 있어 ‘2021 장기 에너지 전망’에서 분석한 수치보다는 감소한 반면 EOE는 매우 비슷한 수준을 보여주고 있다. ‘2021 장기 에너지 전

⁶⁵ 설비는 정격용량 기준이며, 필요 발전량을 전망한 후 이용률을 이용하여 계산하였다. 설비 효율이 향상되면 설비 규모는 감소할 수 있다.

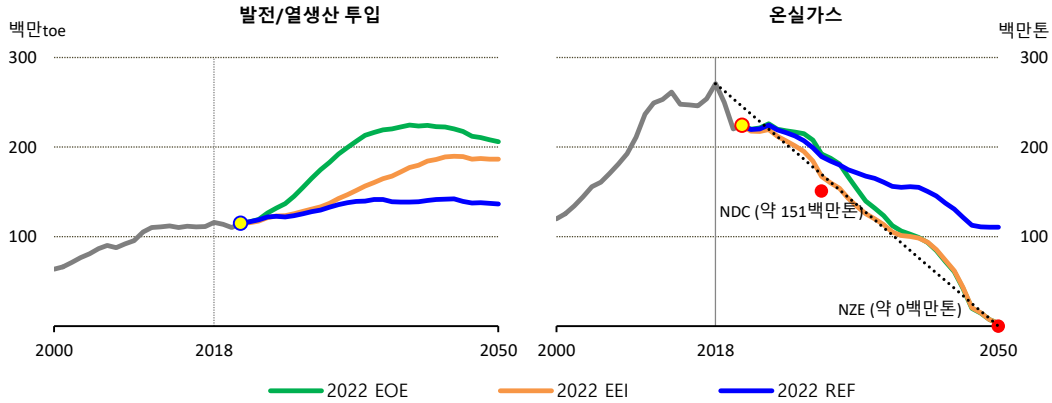
망'의 탄소중립 시나리오(NZE)에서는 재생에너지 발전 비중이 2030년 31.2%, 2050년은 68.0%로 늘어난다. 발전량도 2030년 246 TWh, 2050년 659 TWh 수준이다. 반면 '제10차 전기본'과 비교하면, 탄소중립을 위해 필요한 재생에너지 발전량이 전력수급기본계획보다 매우 높은 것을 알 수 있다. '제10차 전기본'은 2030년 재생에너지 발전을 134.1 TWh로 계획하고 있다. 이러한 차이는 기본적으로 전기 수요에 대한 전망 차이에서 비롯한다. 또한 '제9차 전기본' 대비 설비 규모가 증가한 원자력이 미친 영향도 크다.

지난 전망과 현 전망을 비교하면, '2021 장기 에너지 전망'의 NZE에서는 무배출 발전원인 재생에너지와 원자력 발전량이 2050년 740 TWh이지만 '2022 장기 에너지 전망'의 EOE는 768 TWh 수준으로 늘어난다. 이 중에서 원자력 발전량은 48 TWh 증가한 반면 재생에너지 발전량은 19 TWh가 감소한다. 물론, 목표 시점까지 남은 기간과 전기 수요의 증가를 고려할 때 2030 감축 목표 달성을 위해서는 원자력이 어느정도 역할을 담당할 필요가 있다. 장기적으로도 전력 시스템의 안정성을 확보하고 좌초자산 최소화로 경제 비용을 줄이기 위해 설비의 안전성을 전제로 개별 원자력 설비에 따라 역할이 있을 것이다. IEA에서도 수력과 원자력을 에너지 전환에 필수적인 기반을 제공할 것으로 평가하고 있다. 한편, IEA에서는 NZE 시나리오에서 향후 30년간 전 세계 원자로의 연평균 해체 건수가 지난 10년에 비해 60% 더 높을 것으로 보고 있으며, 여기에는 막대한 시간과 비용이 들 것으로 분석하고 있다.

가스나 석탄 발전의 설비 폐쇄는, IEA의 지적처럼 재생에너지 기술 수준과 화석연료에 대한 수요에 따라 안정적으로 이루어져야 한다. 수소 및 암모니아 혼소는 석탄과 가스 발전 설비의 재사용 및 용도변경의 유력한 수단이며, 에너지 전환의 가교 역할을 할 것이다. 가스 발전의 수소 혼소는 2030년대 중반부터 가스 복합발전 및 가스 기반 집단에너지 설비에 확대되어, 2050년 가스 발전량의 40% 이상은 수소가 차지할 것으로 전망된다. 또다른 무배출 발전원이며 미래 기술로 가정하고 있는 수소 터빈은 2040년대 본격적으로 진입하여 2050년 발전량이 약 77 TWh 규모가 될 것으로 예상된다. 수소 기반 연료전지도 설비 보급이 빠르게 증가한다.

발전원이 무배출 또는 저배출 발전으로 바뀌면서 발전/열생산 부문의 온실가스 배출은 EEI와 EOE 모두 2021년 224.1백만톤-CO₂eq에서 2050년 약 3백만톤-CO₂eq로 대폭 감소한다. 두 시나리오의 발전/열생산 부문 온실가스 배출은 2040년 이후에는 거의 동일한 경로를 따르지만 2040년까지는 차이를 보인다. 특히 그림 3.9에서 볼 수 있듯이, EOE의 온실가스 배출 경로는 2030 NDC의 목표와 상당한 차이가 있다. 2040년 이전 온실가스 배출의 차이는 재생에너지 발전 설비의 확대보다 전기 수요가 빠르게 증가하는 것이 원인이다. 재생에너지, 원자력, 신에너지 등 무배출 발전 설비 규모를 초과하는 발전량은 주로 가스가 담당하면서 EOE의 배출이 증가한다.

그림 3.9 시나리오별 발전/열생산 부문 에너지 수요 및 온실가스 배출 경로



주: NDC 및 NZE 목표 배출량은 '2030 NDC 상향안'과 '2050 탄소중립 시나리오안'의 목표 감축률을 이용하여 재계산

그림 3.2의 최종소비 부문 온실가스 배출과 연결해서 살펴보면, EOE는 전기화를 통해 최종 소비 부문의 온실가스 감축 목표를 초과 달성하고 발전/열생산 부문은 목표 이상을 배출하게 된다. 이런 조합을 통해 에너지 부문 온실가스 총 배출량은 2030 NDC 목표에 도달한다. 반면 EEI는 EOE 대비 낮은 전기 수요로 인해 초기부터 온실가스 배출이 빠르게 감소한다. 하지만 최종소비 부문의 초과 배출로 인해 온실가스 총 배출은 EOE보다 많을 것으로 분석된다. 따라서 국가 온실가스 배출 총량의 관점에서 부문별 배출 목표를 합리적으로 설정하는 것이 필요하지만, 최종소비 부문의 정책과 상관없이 발전/열생산 부문의 온실가스 배출을 줄이기 위해 최대한의 노력을 투자해야 한다. 지난 '2021 장기 에너지 전망'에서는 발전연료에 탄소세 부과나 배출권 총량 감축 및 유상 할당 등의 강력한 경제적인 수단을 동원할 것을 제안한 바 있다.

□ 에너지 안보와 에너지시스템의 안보

탄소중립을 위해서는 전기화와 재생에너지 중심의 무배출 발전의 급속한 확대가 필요하다. 또한 배출 감축 의무의 이전으로 인한 부담을 완화하기 위해 에너지 효율 향상을 통한 에너지 수요 감축이 동반되어야 한다. 이 과정에서 최종소비 부문과 발전/열생산 부문 모두 화석 연료에 대한 수요의 감소와 재생에너지 보급의 확대가 이루어진다. 이는 전통적 에너지 안보의 개념인 에너지 공급 안정성과 새로운 개념의 에너지시스템 안보에 대한 관심을 요구한다. IEA도 전통적인 공급 안보, 광물자원, 전력의 유연성을 에너지 안보의 문제로 제시하고 있다.

탄소중립은 우리나라의 대외 에너지의존도를 획기적으로 낮춘다. 에너지의 수입 의존도는 2021년 95.1%에서 2050년에는 40%대 수준으로 하락한다. 이러한 상황에 따라, 에너지 공급 안정성은 두 가지 측면에서 대비할 필요가 있다. 하나는 기존 화석연료와 관련된 것으로, 공

급량 확보보다는 화석연료 공급사 및 제조사의 안정적 전환이 문제이다. 2050년 화석연료 수요는 47~49백만toe 수준으로 줄어들 전망이다. 이는 2021년 244.7백만toe에서 80% 가량 줄어드는 것이다. 그 중에서 석유는 29백만toe, 석탄이 1백만toe이고 나머지는 가스로 예상된다. 가스공사와 정유사들이 관련 기업들로, 화석연료의 감소에 대비하여 기존 생산 및 저장 설비의 역할 전환과 고용 인력의 재교육 및 일자리 전환이 필요하다. IEA에서는 석유 및 가스 회사의 기술과 전문성에 적합한 저배출 기술에 대한 투자를 통한 에너지 사업의 다각화를 제안하고 있다. 민간의 사업 다각화를 위해서는 정부가 정책 방향을 명확하게 제시해야 한다. 두 번째는 수소 및 암모니아 등 새로운 에너지상품의 안정적 확보 문제이다. 2050년 수소 수입은 약 37백만toe 이상이 될 전망이다. 수입 에너지상품 중에서는 가장 비중이 크다. 현재에도 오스트레일리아나 중동 지역을 대상으로 수소를 확보하기 위한 노력이 진행되고 있지만, 해외 청정수소를 확보와 국내 청정수소 생산을 위한 기술 확보에 보다 많은 투자가 필요할 것이다.

에너지시스템 안보는 변동성 재생에너지 발전의 급격한 확대에 인한 계통 안정성과, 계통 안정성에서 확장된 에너지시스템의 문제이다. 기존에는 출력제한을 중심으로 변동성 재생에너지 발전에 대응한 계통 운영 방안 마련이 중심이었다. 하지만, 변동성 재생에너지 발전의 확대가 전대미문의 수준이라는 점, 탄소중립은 전력을 중심으로 한 에너지 수급 체계로의 전환이라는 점, 에너지 수급 체계는 섹터 커플링이라는 에너지 통합 시스템으로 진화한다는 점 등은 계통 안정성을 넘어서는 시스템 안보의 문제를 부각한다. 전력을 중심으로 한 네트워크 시스템으로 변경은 에너지 시스템에 대한 사이버 위협에 국가 에너지시스템을 노출시키는 요인이기도 하다. 이에 더해 우리나라가 단일 고립 계통망이라는 제약은 에너지시스템 안보에 보다 광범위한 대응을 요구한다.

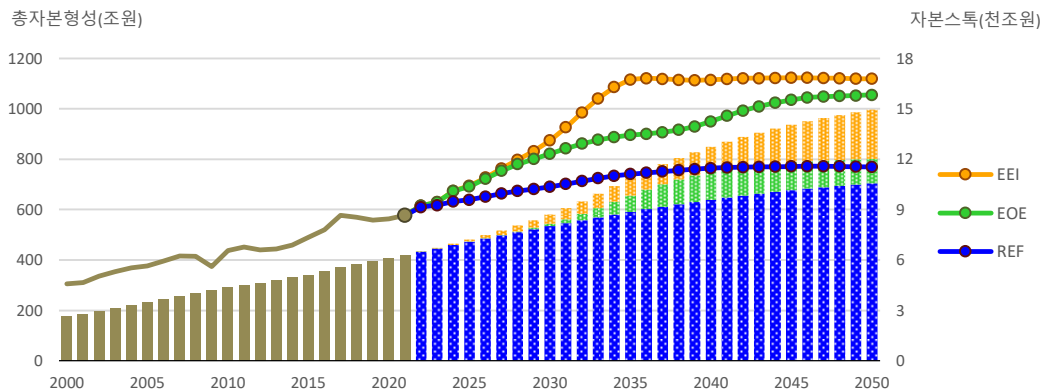
에너지시스템 안보를 위해서는 전력의 공급 측면과 소비 측면에서 안정성을 확보하는 노력을 진행해야 한다. 수요 측면에서는 수요반응을 비롯하여 부하를 이동시킬 수 있는 수단을 준비해야 한다. 자가발전 확대를 위한 지원도 필수이다. 에너지 효율 개선은 수요 측면의 안보 대응을 강화한다. 또한 최종소비 부문별로 전력 시스템에 연계되지 않는 비상 수단을 확보하는 것도 필요할 것이다. 공급 측면에서, 변동성 재생에너지 발전이 낮을 때는 일시적으로 출력 제한을 하거나 부하관리 및 터빈 발전기의 급전 변경을 통해 대응할 수 있다. 하지만 변동성 재생에너지 발전의 비중이 높아질 경우 이러한 방식으로는 시스템의 안정성을 확보하기 어렵다. EOE의 경우 태양광과 풍력 발전의 시간당 평균 발전의 최대는 2030년 71 GW, 2050년은 155 GW에 도달하며, 수요를 초과하는 시간당 발전은 2050년 최대 25 GW까지 증가한다. 단주기 속응성 자원을 비롯하여 중·장주기 에너지저장장치 확보라는 기술적 대응과 이를 위한 시장 제도의 변화가 필요하다. 전력 계통의 보강도 시급한 문제이다. 기존 계획에서 고려하고 있는

가격 및 전력시장 제도 개선, 장주기 대용량 배터리 기술개발 등의 계획을 보다 구체적으로 강화하고, 생산의 분산화, 계통 보강, 통합 관제에 보다 관심을 기울일 필요가 있다.

□ 2030 NDC와 2050 탄소중립 달성을 위한 투자의 증가

탄소중립은, 앞서 시나리오 분석에서 본 것처럼, 대규모의 투자가 필요하다. IEA에서도 세계 GDP 대비 에너지 투자는 현재 2.5% 수준에서 2030년 4.5%까지 상승하고, 2050년까지는 다시 2.5%로 하락하는 것으로 전망한다 (IEA, 2021). 청정 에너지에 대한 투자는 현재 연평균 1조 2천억 달러에서 2030년까지 3배로 늘어나야 하고, 원자력에 대한 투자도 전 세계적으로는 2050년까지 두 배 이상 증가할 것으로 분석하고 있다. 투자 확대는 민간 자원으로 이루어져야 하고, 공공 정책은 민간 자원을 동원하기 위한 인센티브, 적정 규제 그리고 에너지 세제 개편을 추진할 것을 권고하고 있다. 또한 신규 프로젝트 개발과 기술 혁신 가속화를 위한 정부의 직접 투자가 필요한 것으로 정리하고 있다.

그림 3.10 시나리오별 총자본형성과 자본스톡 비교



주 1: 거시계량모형을 이용하여 각 시나리오에서 전망한 설비 교체 및 기술개발 규모에 상응하는 국민계정의 총자본형성을 추정

주 2: 자본스톡은 1971년 GDP를 초기 자본스톡으로 가정하고 영구재고법을 이용하여 계산

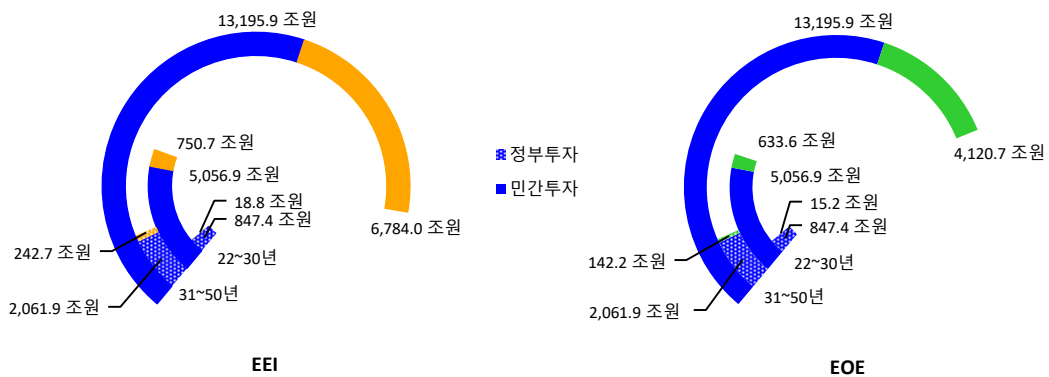
본 보고서에서는 에너지 투자를 명확히 구분하지는 않지만, 탄소중립을 위한 산업 부문의 설비 교체 및 증설, 건물 부문의 개보수 및 신규 난방 기술 도입, 그리고 기술개발에 따른 국민계정의 설비 투자, 건설 투자, 기술개발 투자 변화를 거시계량적 방법을 이용하여 분석하였다.⁶⁶ 좁은 의미로 효율 개선이나 전기화를 목적으로 한 에너지전환 투자를 구분할 수도 있겠지만, 설비와 건물을 신설 또는 교체하는 것은 어떤 목적이던 강화된 에너지 규제와 사용가능

⁶⁶ 분석 방법에 대해서는 '에너지 정책이 국민 삶의 질에 미치는 영향과 대응전략 연구(2/3) (김수일, 2022)'를 참조

한 기술 상황의 영향을 받을 것이기 때문에 에너지전환 투자를 명확히 구분하는 것은 어렵다. 분석 결과에 따르면 총자본형성, 즉 연간 신규 투자가 2021년 576.6조원에서 2050년 1천 조원 이상으로 증가할 전망이다. 2021년 기준 총투자가 국내 GDP에서 차지하는 비중은 약 30.1%이다. 2050년 GDP 대비 투자율이 약 40%까지 증가해야 하는 것이다.⁶⁷

총투자의 경로는 시나리오에 따라 상이한 모습을 보인다(그림 3.10). 초기 개설향과 설비 투자를 빠르게 진행해야 하는 EEI는 2030년대 중반에 이미 1천 조원 이상의 투자 규모로 증가해야 한다. 반면 기술개발이 지연되고 따라서 개선된 기술이 늦게 적용되는 EOE의 경우 2040년대에 총투자가 빠르게 증가한다. 하지만 두 시나리오 모두 REF에 비해서는 투자를 초기부터 급격하게 확대해야 한다. 총투자의 경로가 다르면서 자본스톡의 규모도 달라진다. 2050년 자본스톡의 규모는 EEI의 경우 REF 대비 42%, EOE는 28% 더 클 것으로 분석된다. 자본스톡의 크기가 커지는 것은 다른 조건이 일정할 때 잠재 GDP의 성장률 상승을 이끌 수 있다.

그림 3.11 EEI와 EOE에서 기간별 정부투자과 민간투자 규모



주 1: 거시계량모형을 이용하여 각 시나리오에서 전망한 설비 교체 및 기술개발 규모에 상응하는 국민계정의 총자본형성을 추정
주 2: 파란색은 REF의 기간별 누적 투자규모, 주황색과 녹색은 각각 EEI와 EOE에서 REF 대비 추가되는 투자 규모

2021~2030년 사이 누적 투자는 REF에서 약 5천9백 조원, 2030년 이후 2050년까지는 약 1만5천 조원이다. EEI의 경로를 만들기 위해서는 투자가 2030년 이전까지 약 770조원이 더 증가해야 한다. 2030년 이후에는 총 7천 조원의 추가 투자가 필요하다. 투자의 증가는 IEA의 분석처럼 민간자본이 주도한다. 정부는 기간시설 투자와 기술개발 촉진을 위한 초기 투자를 담당하지만, 결국 에너지를 소비하는 설비를 소유하고 있는 민간의 자본이 들어가야 한다. 누적

⁶⁷ 투자율은 기준 전제의 GDP를 이용하여 계산하였다. 하지만, 총자본형성의 변화가 경제 각 부문에 미치는 영향으로 GDP가 변경될 수 있다.

투자에서 민간이 차지하는 비중은 87%에서 90%까지 이른다. 민간 투자는 예상 이윤이 크거나 손실이 최소화되어야 증가할 것이다. ‘탄소중립 기술혁신 추진전략’에서도 민간이 주체가 되는 기술혁신과 기술혁신 지속을 위한 연구역량·기반 강화를 강조하고 있다. 이를 위해 기업 투자를 촉진하기 위한 세액 공제와 인센티브 그리고 ‘기후대응기금’을 신설하기로 했다.

기존 정부 투자 항목에서 에너지전환에 대한 투자를 증가시켜야 하지만, 이 외에도 IEA가 투자를 촉진하기 위해 정책담당자에게 권고하는 방안은 여러가지가 있다. 예를 들어, 석유나 가스에서 발생하는 초과 이윤을 청정 에너지에 투자할 수 있도록 직접 또는 간접적인 세제 개혁이 필요하다. 기존 화석연료를 사용하거나 생산할 때보다 낮아질 것으로 예상되는 운영비가 투자로 전환될 수 있도록 지원하는 것도 방법이다. 예측 가능한 정책적 금융지원을 보장하는 것이 민간 투자를 유도할 수 있다. 특히, 정책 방향과 기술 성과에 대한 예측 가능성은 시장이 지속적이고 안정적으로 변화하는데 매우 중요하다. 여기에 더해서, 자본 누출이 발생하지 않고 국내 투자로 이어지도록 유도해야 에너지전환 성과가 국민경제의 성과로 나타날 것이다.

□ 시나리오 분석의 불확실성과 한계

모든 시나리오에서 정도와 시기의 차이는 있지만 공통적인 어려움과 도전이 발생한다. 발전 부문은 재생에너지 발전 비중의 확대, 수소 기술의 개발, 전력 계통의 안정성 확보가 과제로 남는다. 건물 부문은 단열을 포함한 건축 기술과 건축 관련 규제도 강화해야 하지만, 우리나라 고유 난방방식에 적합한 히트펌프 기술 적용이 필요하다. 수송 부문은 항공과 해운의 탄소중립이 기술적 난제로 남는다. 또한, 화석연료 기반 에너지의 대체가 기술적으로 어려운 경우 탄소 포집의 역할이 커질 수도 있다.

본 보고서의 시나리오 분석은 정책과 기술에 대한 정보를 최대한 수집하여 객관적으로 미래를 전망하고자 했다. 감축 수단들에 대한 우선 순위와 적용 정도에 따라 다양한 경로가 발생한다. 하지만, 시나리오에서 가정한 기술개발 그리고 경제 주체의 반응이 가정 범위를 벗어날 경우 분석 결과는 크게 달라질 수 있다. 시나리오 분석은 에너지 사용 기기의 효율이 얼마나 향상되어야 하는지 그리고 어느 시점에 얼마나 기존 기기 및 설비를 대체해야 하는지를 보여준다. 이 때 어느 것이 효과적이고, 시장과 소비자가 정부의 정책 의도대로 반응할지는 알 수 없다. 예를 들어, 가스 발전의 축소는 사업자들이 가스 발전의 온실가스 배출을 줄이기 위한 신규 투자를 저해하는 요인으로 작용할 수 있다. 하지만, 가스 발전의 신규 투자는 탄소중립으로 가기 위한 중간 단계에서 반드시 필요하다. 이런 투자에 대해 경제적 보상이 충분하지 않을 경우 정책의 의도와는 다른 결과에 도달할 수 있다. 정부는 정책의 실현 가능성, 정책 비용, 온실가스 배출 경로에 따른 사회경제적 파급 효과 등을 비교하여 정책을 결정해야 한다.

3. 산업 부문

3.1. 산업 부문의 2030 온실가스 감축과 2050 탄소중립 목표

□ 산업 부문의 탄소중립 목표 달성을 위한 EOE 및 EEI 시나리오 설계

‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오안’을 통해 밝힌 정부 목표는 산업 부문의 온실가스 직접 배출량을 2018년 대비 2030년까지 14.5% 감축, 2050년까지 80.4% 감축하는 것이다. 앞서 ‘제1장 2022 장기 에너지 전망의 배경’에서 설명한 것처럼, 이를 개정 에너지밸런스 기준으로 산정하면 산업 부문의 온실가스 직접 배출량은 2030년 177.0백만톤- CO_2eq , 2050년에는 40.6백만톤- CO_2eq 까지 감소해야 한다.^{68,69}

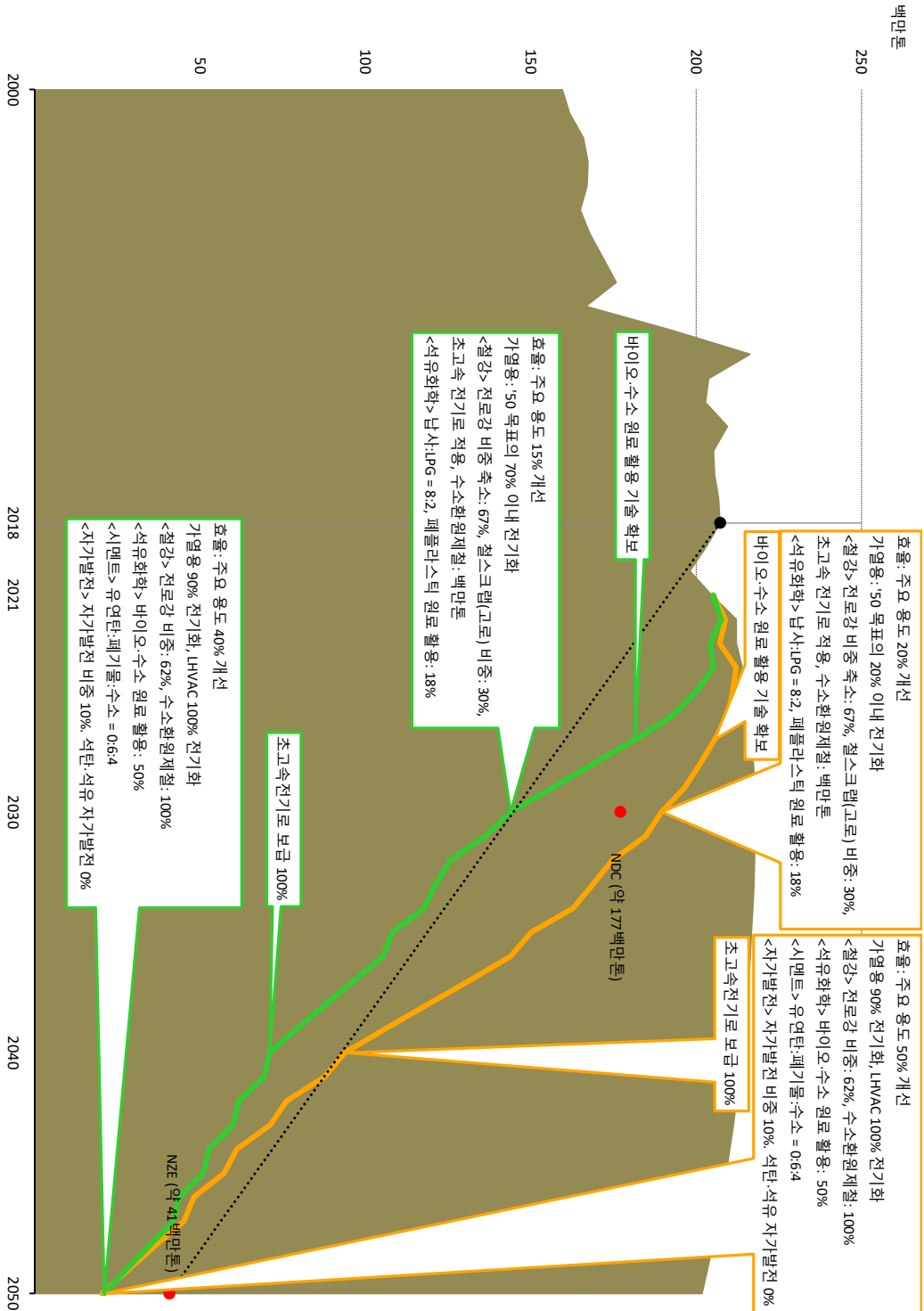
산업 부문의 EEI와 EOE는 이와 같은 2030년 및 2050년 온실가스 감축 목표를 달성하는 것을 목적으로 설정된 시나리오로, EEI는 에너지 효율이 초기에 빠르게 향상 향상되어 주요 용도의 에너지 효율이 현 수준 대비 2030년까지 20%, 2050년까지 50% 개선되는 시나리오인 반면, EOE는 에너지 효율 성과가 지연되어 2030년까지 15%, 2050년까지 40% 개선되는 시나리오이다. 철강, 석유화학, 시멘트 업종 등 난(難)감축 업종에 대해서는⁷⁰ ‘탄소중립 산업·에너지 R&D 전략’ 등 정부 계획에서 제시된 온실가스 감축기술이 모두 적기에 개발되어 도입·확산된다고 공통적으로 가정하였다. 이에 대해서는 뒤에서 다시 설명한다. 에너지 효율 개선 및 온실가스 감축기술의 도입만으로 달성하지 못하는 온실가스 배출 감소는 전기화를 통해 달성하는데, EEI와 EOE 모두 2050년까지 가열용 에너지의 90%를 전기로 소비한다고 가정하였다. 또한 신재생에너지를 이용한 열과 전기의 자가 소비가 증가한다고 상정하였다. 자가 소비의 증가는 온실가스 배출 감축 기여와 동시에 탄소중립 과정에서 전기화 등의 변화가 초래하는 에너지시스템의 부담을 경감시킨다는 의미를 갖는다. EEI와 EOE 모두 2050년까지 신재생에너지를 활용한 2050년까지 자가발전의 비중이 약 10%까지 확대된다고 가정하였다.

⁶⁸ 에너지밸런스의 최종소비는 에너지산업인 석유정제의 자체소비를 제외하지만, 여기서는 석유정제를 산업 부문에 포함하였다. 이하 산업 부문의 에너지 소비는 특별한 언급이 없는 경우 석유정제의 자체소비를 포함한 결과이다.

⁶⁹ ‘2050 탄소중립 시나리오안 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’에 따르면 산업 부문의 2050년 온실가스 배출 목표는 51.1백만톤- CO_2eq 이다. 이는 에너지 연소 외에도 각 업종의 공정 배출을 모두 포함한 수치로 본 보고서에서는 에너지밸런스 상의 에너지상품 소비에서 배출되는 양만을 집계하므로 차이가 발생한다.

⁷⁰ 난감축(HTA, Hard-To-Abate) 업종은 현행 생산공정이 기술적으로 화석연료 및 원료와 강하게 결부되어 있어 온실가스 배출이 생산과 동조화되어 있는 업종으로, 철강, 석유화학, 시멘트 업종 등이 여기에 해당된다 (이상준 & 심성희, 2021). 미국 DOE는 철강, 화학, 식음료, 석유정제, 시멘트 등 5개 업종을 탈탄소가 어려운 업종으로 선정하고, 에너지 효율, 전기화, 저탄소 연료·원료·에너지원, 탄소포집·활용·저장을 핵심으로 2050년까지의 탄소중립 방법을 제시하고 있다. (Department of Energy, 2022)

그림 3.12 산업 부문 주요 감축 수단 적용의 이정표



공통 기술의 에너지 효율과 전기화의 속도는 시나리오에 따라 다르지만 難감축 업종에 대해서는 에너지 효율과 전기화 외에도 추가적인 감축수단의 개발과 도입을 동일하게 가정하였다. 철강업의 경우, 온실가스 감축수단으로는 전기로 비중 확대, 저전력 초고속 전기로의 개발, 전로에 투입하는 철스크랩 비중의 확대, 수소환원제철을 반영하였다. 전기로는 원료탄 등 석탄을 사용하는 고로에 비해 온실가스를 덜 배출하기 때문에 전기로의 비중 확대는 온실가스 감축에 기여할 수 있다. 그러나 전기로강의 원료인 철스크랩의 공급 제약 문제와 생산 가능 강종의 제약 문제로 전기로강의 비중을 대폭 확대하기도 어려운 상황이다 (이재윤, 양진혁, 2022). 이를 고려하여 목표 시나리오에서는 조강 생산량 대비 전기로강의 비중이 현재 약 30% 수준에서 2050년까지 약 40%까지 확대된다고 가정하였다. 또한 현재 400kWh/톤 수준인 전기로의 효율을 250kWh/톤 수준으로 향상시키는 저전력 초고속 전기로가 2030년 개발되어 2040년까지 모든 전기로에 도입된다고 가정하였다. 전로에 투입하는 철스크랩 비중은 현재 15% 수준인데, 이 비중의 확대는 선철 생산량과 고로의 원료탄의 투입을 줄여 온실가스 감축에 기여할 수 있다 (강병욱, 2023). 전로에 투입하는 철스크랩 비중을 30%까지 높일 수 있는 ‘상저취전로 활용 철스크랩 다량 사용 기술’을 2030년까지 개발하겠다는 목표를 반영하여, 목표 시나리오에서는 해당 기술이 2030년 생산 현장에 구현된다고 가정하였다. 그린수소로 직접 환원철을 생산하여 전기로에서 용융하는 수소환원제철은 2030년 1백만톤 규모의 실증 플랜트 도입을 시작으로 점진적으로 확대되어 2040년부터 2050년까지는 모든 고로를 대체하는 일정을 반영하였다.

석유화학업의 온실가스 감축수단은 납사 등 석유화학 원료를 LPG, 페플라스틱, 바이오·수소 원료 등 다른 원료로 대체하는 것이 핵심이다. LPG의 납사 대체는 정부 정책에서 제시되지는 않았지만 석유화학 기업들이 자체적으로 강구하는 방안으로, 목표 시나리오에서는 2030년까지의 단기적 감축수단으로 반영하였다. 현재 석유화학 원료에서 납사 대 LPG 비율은 9:1 수준인데, 목표 시나리오에서는 이 비율이 2030년까지 8:2로 변화한다고 가정하였다. 페플라스틱 원료의 비중은 ‘페플라스틱 업사이클링 기술’ 확보를 통해 현 0%에서 2030년까지는 18%, 2050년까지는 37%로 확대된다고 상정하였다. 또한 ‘플라스틱 원료 대체 바이오·수소 원료 및 소재 제조 기술’ 등의 개발을 통해 2050년까지 바이오·수소 원료가 기존 석유화학 원료를 최대 50%까지 대체한다고 가정하였다.

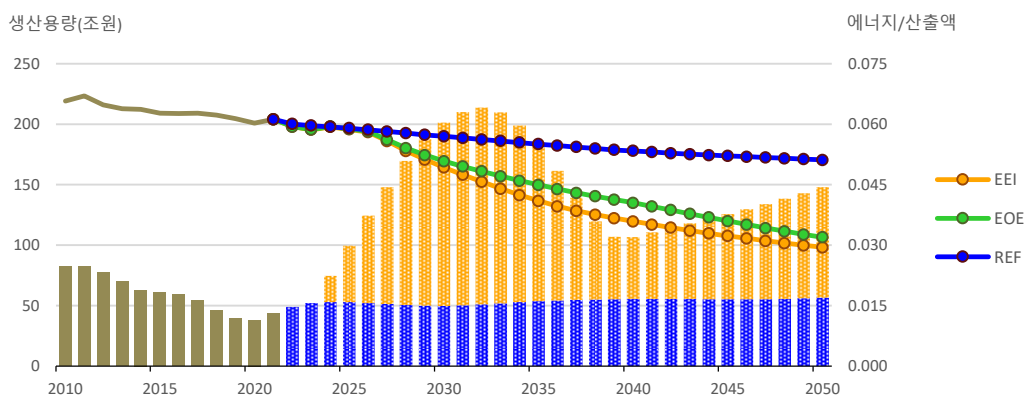
시멘트 제조의 에너지 소비에서 비롯되는 직접 배출량의 감축수단으로는 연료 대체를 반영하였다. 시멘트 제조 공정의 難감축 영역은 분쇄된 원료를 킬른(kiln)에 투입하여 고온(1,450°C)에서 소성한 후 클링커(clinker)를 생산하는 소성 공정과 석회석에 열을 가해 이루어지는 탈탄산과정(calcination)이다 (이고은, 2022). 현재 소성 공정의 에너지 소비에서 유연탄

이 70% 이상을 차지하고 나머지를 폐기물이 차지한다. 목표 시나리오에서는 소성 공정의 에너지 소비에서 유연탄의 비중을 2040년 60%, 2050년 0%까지 낮추는 대신 폐기물의 비중은 60%까지 증가하며 나머지 40%는 수소가 충당한다고 가정하였다.

□ 산업 부문의 탄소중립 목표 달성을 위해서는 2030년 이전에 대규모 설비 교체 필요

산업 부문의 2030 및 2050년 온실가스 감축목표를 달성하기 위해서는 2030년 이전에 대규모의 설비 교체가 필요하다. 산업 부문의 감축목표를 달성하려면 공정관리 등을 통해 기존 설비 이용에서의 에너지 소비를 절감하는 것도 필요하지만, 감축목표 달성을 위해서는 기술개발의 성과와 상관없이 기존 설비를 저배출 설비로 대규모로 교체해야 하며 기기 교체로 인한 효율 증가 및 배출 감소를 극대화하기 위해서는 기기가 포함된 용도별 시스템의 최적화가 필요하다. EEI와 EOE는 에너지 기술개발 성과와 전기화의 수준에 있어 차이를 보이지만, 어떠한 수단을 중심으로 하든 2030년 감축목표를 달성하기 위해서는 대대적 설비 교체는 피할 수 없을 것으로 판단된다.⁷¹ 또한 難감축업종의 감축기술의 개발과 도입이 2020년대 후반부터 시작되는 것이 온실가스 감축 목표 달성에 중요하므로, 혁신적 감축기술의 도입과 결부된 설비 교체 수요도 발생할 것으로 예상된다. IEA (2022b)도 難감축업종의 용광로, 시멘트 가마 등 배출 집약적 설비를 대상으로 현재 대규모 프로토타입 및 시연 단계에 있는 혁신적 감축 기술을 향후 10년 안에 적용하는 것이 2050년 탄소중립 달성에 중요한 역할을 한다고 논하였다.

그림 3.13 산업 부문 시나리오별 신규 및 교체설비 규모와 에너지원단위 변화



⁷¹ 화석연료를 열원으로 사용하는 가열용 설비를 예로 들 경우, 가열용 설비의 에너지 효율을 현 수준 대비 20% 향상시키려면 행태 개선만으로는 어려우며 가열용 설비 자체의 교체가 필요하다. 가열 공정 자체를 전기화하기 위해서는 전기를 열원으로 사용하는 새로운 가열용 설비로 교체하거나 보수해야 할 것이다. 어떠한 대안을 선택하든 이 가열용 설비의 교체 또는 대대적 보수에 준하는 수준의 설비 투자가 요구된다.

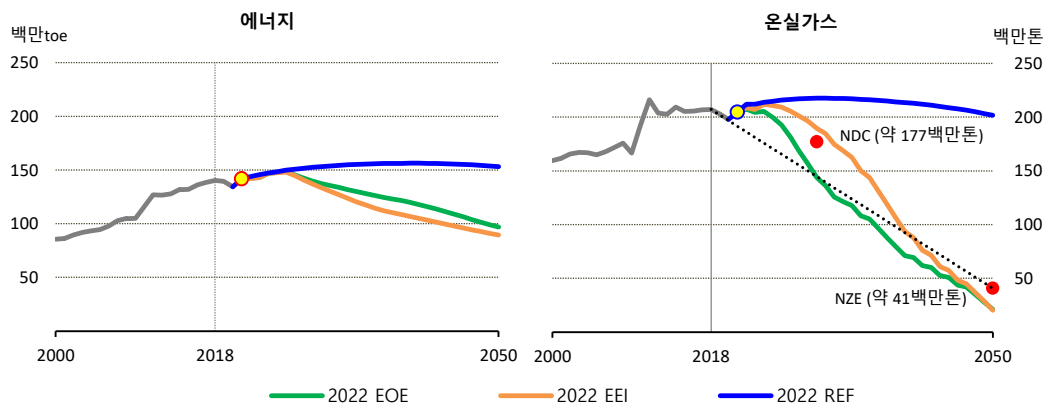
REF에서의 설비 교체는 전망 기간 동안 매년 비슷한 수준을 유지하지만, 목표 시나리오에서의 설비 교체는 2020년대 중반부터 증가하기 시작하여 2030년대 초반에는 REF 대비 3배 이상까지 증가한 이후 감소하는 것으로 분석되었다. 2030년 이전 교체 설비는 EEI의 경우 기존 연료 사용 고효율 기기, EOE의 경우 전기화 일반 효율 기기이므로 2040년대 고효율 전기설비의 교체를 위한 재투자의 물결이 필요하다. 급속한 설비 교체에도 불구하고 산업 부문 에너지지원단위의 하락은 2020년대 후반부터 나타나며 EEI와 EOE의 차이가 크지 않을 것으로 분석되었다. 에너지지원단위의 하락은 설비 교체의 누적 효과로 나타나기 때문에 전체 설비의 규모를 고려하면 초기의 평균 에너지지원단위는 시나리오 간 큰 차이를 보이지 않는다. 목표 시나리오에서 설정한 에너지 효율 향상과 전기화의 수준을 달성하기 위해서는 혁신적 고효율 기술과 더불어 산업용 직·간접 가열용 설비의 전기화를 위한 기술의 개발이 요구된다.

3.2. 산업 부문의 에너지상품 수요와 온실가스 배출

□ EOE와 EEI 시나리오에서는 2020년대 후반부터 에너지 수요가 감소세로 전환

목표 시나리오의 산업 부문 에너지 수요는 REF와 달리 2020년대 후반부터 감소세로 전환된다. EEI에서 에너지 수요는 2021년 141.8백만toe에서 2020년대 후반 정점 기록 후 하락하여 2030년 133.5백만toe, 2050년 89.4백만toe로 감소한다. EOE의 에너지 수요도 EEI와 동일한 추세를 보이지만 EEI보다 감소세가 완만하여 2030년 137.5백만toe, 2050년 97.0백만toe에 도달한다. 목표 시나리오의 산업 부문 에너지 수요가 2020년대 후반에 감소세로 전환되는 이유는 산업 부문 목표 시나리오에 반영된 難감축업종의 탈탄소화 수단 대부분의 실증과 도입이 2020년대 후반부터 시작되어 효과를 발휘하기 때문이다.

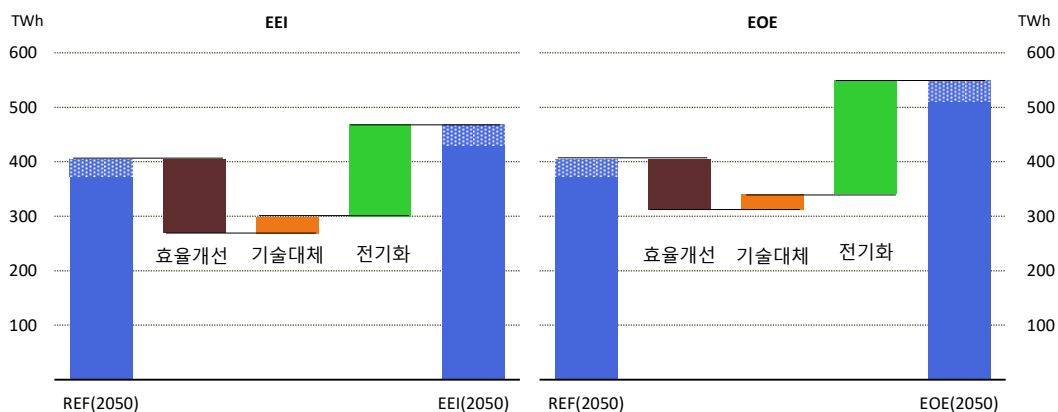
그림 3.14 산업 부문 시나리오별 에너지 수요 및 온실가스 배출량 비교



산업 부문 온실가스 직접 배출은 2021년 204.6백만톤-CO₂eq에서 EEI의 경우 2030년 189.6백만톤-CO₂eq, 2050년 20.3백만톤-CO₂eq로 감소한다. EOE에서 온실가스 직접 배출은 2030년 143.9백만톤-CO₂eq, 2050년은 21.0백만톤-CO₂eq로 감소한다. 산업 부문의 EEI와 EOE 분석 결과는 목표 시나리오에서 상정된 에너지 효율 향상, 난감축업종의 탈탄소화, 전기화 등이 계획대로 진행된다면 2050 탄소중립 목표를 달성할 수 있음을 보여준다.

EEI와 EOE는 중간 목표인 2030년 배출 수준이나 2050년에 도달하는 경로는 다소 차이를 보인다. EEI는 EOE 대비 에너지 수요는 낮은 편이나 온실가스 배출량은 높은 편으로 2030년 감축 목표를 미달한다. EOE는 EEI에 비해 에너지 수요는 높은 편이지만 2030년 감축 목표는 초과 달성한다. 이는 효율 개선을 중심으로 한 온실가스 배출 감축과 전기화를 중심으로 한 온실가스 배출 감축의 차이에서 비롯된다. EOE와 EEI의 2030년 에너지 수요 및 온실가스 배출의 차이는 EOE에서 그만큼 전기화가 더 진행되어 전기 수요가 상승한다는 것을 의미한다.

그림 3.15 2050년 산업 부문 요인별 전기 수요 변화



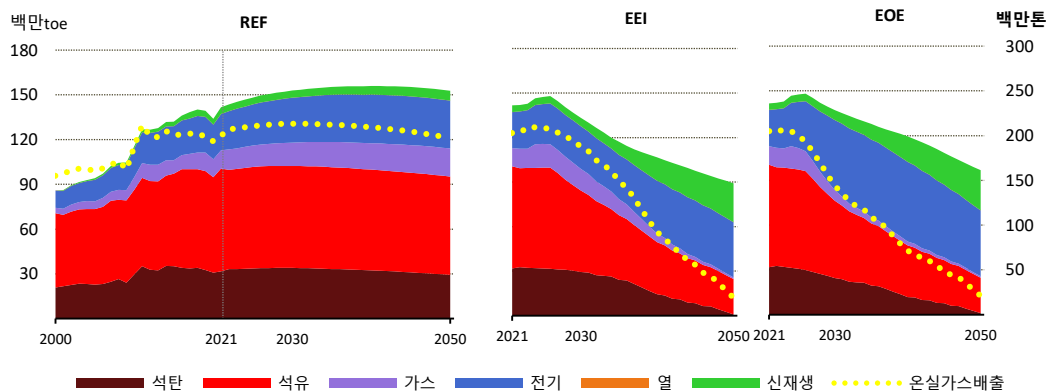
산업 부문의 전기 수요는 2050년에 REF 대비 EEI에서는 63.4 TWh, EOE에서는 145.2 TWh 만큼 증가하여, 각각 467.5 TWh와 549.4 TWh 규모가 될 전망이다. EEI의 경우, 에너지 효율 개선에 의해 2050년 전기 수요를 135.5 TWh 감소시키지만 기술 대체와 전기화로 인해 각각 30.0 TWh와 168.9 TWh가 증가한다. 에너지 효율 향상 정도가 EEI에 비해 저조한 EOE에서는 효율 개선의 수요 감소 효과는 줄어드는 반면 전기화의 수요 증가 효과는 확대된다. EOE의 에너지 효율 개선으로 인한 2050년 전기 수요 감소는 93.0 TWh로 분석되며, 기술 대체와 전기화로 인해 각각 29.1 TWh, 209.1 TWh 증가할 것으로 전망된다. 한편, EEI와 EOE에서 자가발전이 확대되면서 산업 부문의 전기 구입은 2050년 EEI와 EOE가 각각 430.7 TWh와 509.6 TWh가 될 전망이다. 이는 탄소중립 추진 과정에서 산업 부문의 충실한 에너지 효율 향상과 자가발전 확대가

담보되어야 전기 수요 증가가 에너지시스템에 미치는 부담이 최소화된다는 것을 보여준다. 또한 국가 전체의 감축 목표와 발전/열생산 부문의 감축 여력을 고려하여 산업 부문 감축수단별 적용 강도를 유기적으로 조정해야 한다는 것을 보여주는 부분이다.

□ 2050년 탄소중립 달성을 위해 산업 부문 화석에너지 비중을 30% 이하로 축소 필요

산업 부문 에너지 수요에서 화석에너지가 차지하는 비중은 2021년 79.5%에서 2030년은 EEI에서 74.0%, EOE에서 60.6%까지 축소된다. 화석에너지 비중은 2050년 EEI에서 28.8%, EOE에서 26.6%까지 축소되는데, 이때 잔존 화석에너지의 큰 부분은 석유화학 산업의 원료인 석유 제품이다. 2050년 산업 부문의 에너지 수요에서 석유화학 원료를 제외할 경우 화석에너지의 비중은 EEI에서 14.0%, EOE에서 12.5% 수준까지 감소한다. 2050년까지 철강업의 고로 공정이 수소환원제철로 100% 대체되고 시멘트 소성 공정에서의 유연탄 소비도 수소 및 폐기물로 대체되면서 석탄은 산업 부문의 에너지시스템에서 소멸된다. 석탄이나 석유에 비해 온실가스를 덜 배출하는 가스는 온실가스 감축의 가교(bridge)로 2030년대까지는 그 역할을 유지하나 탄소중립 과정에서 퇴출되어 2050년 가스 수요의 비중은 1%대에 수렴한다.

그림 3.16 산업 부문 에너지상품별 수요 전망 비교



화석연료의 빈 자리는 전기와 신재생에너지가 채울 것으로 예상된다. 산업 부문의 전기 구매는 EEI에서 2021년 24.5백만toe(284.4 TWh)에서 2030년 28.7백만toe(334.3 TWh), 2050년 37.3백만toe(433.4 TWh)로 전망 기간 약 1.5배 증가한다. 전기화의 속도와 정도가 EEI보다 빠른 EOE에서는 전기 수요가 2050년 44.1백만toe(512.4 TWh)까지 증가한다. EOE에서는 2030년까지는 전기 수요가 빠르게 증가하는 반면 2040년 이후부터는 효율 개선으로 인한 전기 소비 감소가 전기화로 인한 전기 소비 증가를 상쇄하면서 2050년에는 2030년보다 전기 수요가

다소 하락한다. 에너지 소비에서 전기의 비중은 2021년 17.3%에서 2030년 21.5~34.2%, 2050년 41.7~45.4%로 확대된다. 앞서 살펴본 것처럼, 탄소중립 추진 과정에서 효율 개선에 따른 전기 소비 감소에 비해 전기화가 수반하는 전기 소비 증가가 더 크기 때문에 EEI와 EOE 모두 2021년에 비해 전기 수요가 증가한다.

신재생에너지 수요는 2021년 4.4백만toe에서 2050년 26.3~26.9백만toe로 증가하여, 그 비중은 동 기간 3.1%에서 27.8~29.4%까지 확대된다. 신재생에너지 수요가 증가하는 첫 번째 이유는 수소 수요의 증가가 반영되었기 때문이다. 수소환원제철, 석유화학 원료 대체, 시멘트 소성 공정의 연료 대체는 모두 수소 수요의 증가로 귀결된다. 여기에서의 수소 수요는 이러한 신규 기술의 수소 수요에 대한 전망만을 반영한 것으로 기존 공정의 수소 수요를 제외한 결과이다.⁷² 신재생에너지 수요가 증가하는 두 번째 이유는 분산형 신재생에너지를 이용한 열과 전기의 자가 소비가 증가하기 때문이다. 직·간접 가열 공정에서의 신재생에너지 활용과 신재생에너지를 이용한 자가 발전이 확대되면서 산업 부문의 신재생에너지 수요가 증가할 전망이다. 만약 신재생에너지를 이용한 자가 발전이 목표 시나리오보다 축소된다면 전기 수요는 늘어났고 신재생에너지 수요는 감소하게 된다.

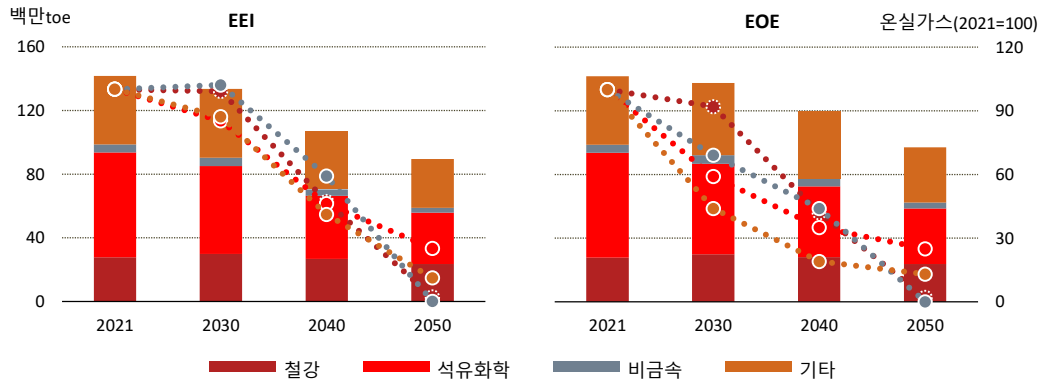
3.3. 업종별 에너지 수요와 온실가스 배출

□ 難감축업종의 온실가스 감축기술 개발이 2050 탄소중립 달성의 핵심

2021년 기준 산업 부문 에너지 수요의 약 70%, 온실가스 직접 배출량의 약 75%를 철강, 석유화학, 비금속 등 이른바 難감축업종이 차지하므로, 難감축업종의 에너지 소비에서 비롯되는 온실가스 배출을 줄이는 것이 2050년 감축목표 달성에 매우 중요하다. 목표 시나리오의 2050년 에너지 수요는 2021년에 비해 철강 84.7~85.4%, 석유화학 49.2~53.0%, 비금속 61.0~74.8%, 기타 70.6~80.2% 수준까지 하락한다. 온실가스 배출 측면에서 살펴보면, 2021년 대비 2050년까지 온실가스 직접 배출이 철강 약 2%, 석유화학 약 25%, 비금속 약 0%, 기타 약 10% 초반 수준까지 줄어든다. 이와 같은 에너지 수요 및 온실가스 배출의 감소를 달성하기 위해서는 전망 기간 에너지 효율 개선과 전기화의 노력을 병행하되, 2030년대 이후 철강업의 수소환원제철, 석유화학업의 원료 대체, 시멘트 생산에서 수소로의 연료 대체 등 難감축업종 대상 핵심 감축기술을 적기에 확보하여 도입하는 것이 중요하다. 이러한 혁신적 감축기술이 준비 또는 확산되지 않는다면 온실가스 감축목표 달성에 중대한 차질을 초래할 것이다.

⁷² 기업에서 온실가스 배출 감축을 위해 기존 수소 소비를 전량 외부 공급으로 대체할 경우 전망 결과보다 수소 수요가 증가할 수 있다.

그림 3.17 업종별 에너지 수요 및 온실가스 배출 변화



주: 기타는 산업 부문에서 철강, 석유화학, 비금속을 제외한 나머지 업종의 합계를 의미한다.

EEI와 EOE 모두 2050년의 에너지 수요 및 온실가스 배출은 유사한 수준을 보이나, 2050년 목표에 도달하는 경로는 상이하다. 특히 2030년의 경우 EEI에 비해 EOE의 온실가스 배출이 더 낮을 것으로 전망된다. 2021년 업종별 온실가스 배출을 100으로 놓고 볼 때, 2030년의 업종별 온실가스 배출은 EEI에서 철강 98.7, 석유화학 85.2, 비금속 101.7인 반면, EOE에서 철강 91.7, 석유화학 59.0, 비금속 68.6로 변화한다.⁷³ 이는 에너지 효율 개선과 전기화의 수준과 속도의 차이에서 비롯된 것으로, EOE에서는 EEI 대비 에너지 효율 개선의 속도는 저조하지만 전기화의 속도가 빨라 단기적으로 온실가스 배출이 더 빠르게 줄어든다. 難감축업종(철강, 석유화학, 비금속)의 2030년 전기 수요는 EEI에서 110.8 TWh, EOE에서 213.2 TWh로, EOE에서는 온실가스 배출이 더 빠르게 감소하는 만큼 전기 수요의 증가폭도 확대된다.

難감축업종의 에너지상품 비중 변화를 살펴보면, 단기적 변화와 장기적 변화의 양상이 다르게 나타난다. 단기적으로는 석탄, 석유의 비중을 줄이고 전기, 가스의 비중을 확대하여 온실가스 배출을 줄이지만, 장기적으로는 원료용 석유제품 등 반드시 필요한 영역을 제외하고 전기와 신재생에너지(수소 등)를 주로 사용하는 방향으로 에너지상품 구조가 변화한다. 철강업의 2050년 에너지 수요에서 신재생에너지의 비중은 60% 이상, 전기의 비중은 30% 초·중반대로 대폭 확대되는데, 이는 수소환원제철이 기존의 고로 공정을 100% 대체하면서 전기와 수소가 고로 공정의 에너지 소비를 대체하는 데에서 비롯되는 변화이다.

⁷³ 2021~2030년 비금속업의 에너지 수요는 산출액 증가(연평균 1.8%)로 인해 에너지 효율 개선 효과가 반영되었음에도 불구하고 EEI에서 연평균 0.7%, EOE에서 연평균 0.8% 증가한다. 비금속업의 온실가스 감축수단은 크게 에너지 효율 향상, 일반 공정의 전기화, 소성 공정의 연료 대체로 볼 수 있는데, 소성 공정의 연료 대체는 수소 수급 및 기술 개발 등으로 인해 2030년부터 점진적으로 시작된다고 가정하였다. 따라서 2030년에는 전기화가 진전된 EOE와 달리 EEI에서는 에너지 수요 증가로 인해 온실가스 배출이 약간 증가할 수 있다.

그림 3.18 산업 부문 難감축업종의 에너지상품 비중 변화(EEI)

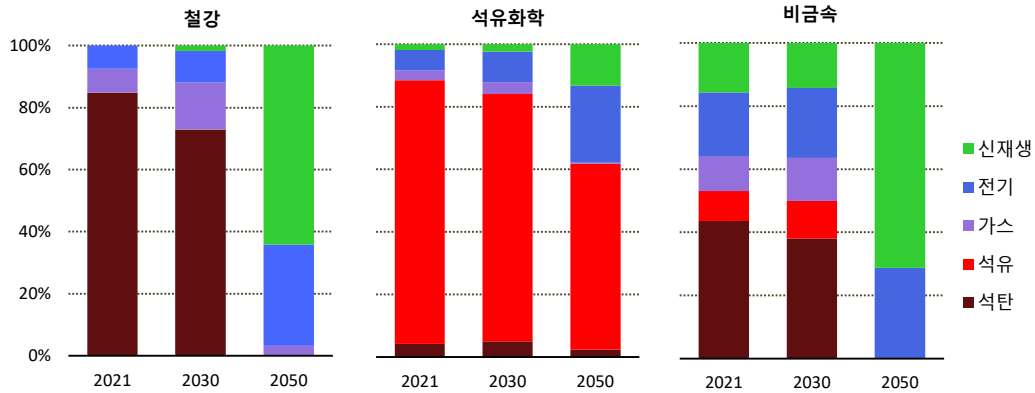
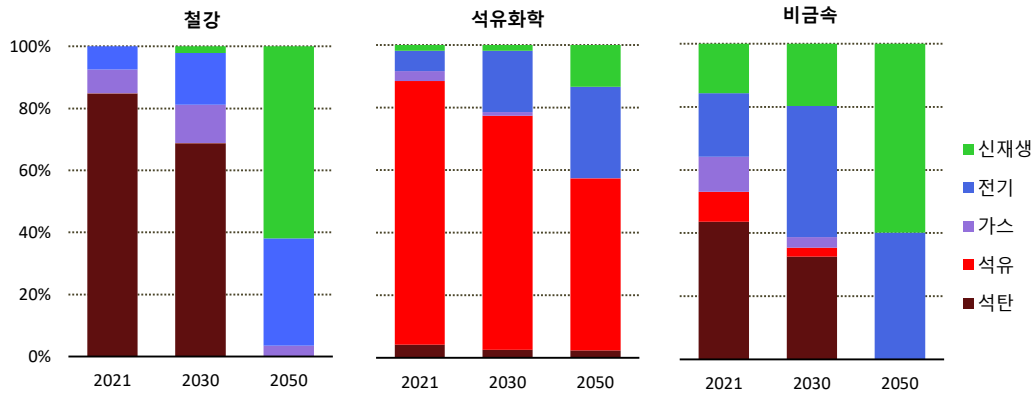


그림 3.19 산업 부문 難감축업종의 에너지상품 비중 변화(EOE)



석유화학업의 2050년 에너지 수요에서 석유의 비중은 50% 중후반대로 줄어드는 반면 전기와 신재생에너지의 비중은 각각 13%, 25% 이상으로 확대된다. 이는 기존 화석연료를 사용하던 납사 분해공정의 연료를 전기화하고, 석유화학 원료의 일부를 폐플라스틱, 바이오, 수소 등으로 대체함에 따라 비롯되는 변화이다(조용원, et al., 2021). 하지만 석유화학 원료를 완전히 대체하는 것은 기술적으로 불가능하기 때문에 석유 수요가 상당량 남을 것으로 예상된다. 시멘트 생산이 에너지 소비의 대부분을 차지하는 비금속업도 2050년까지 소성 공정의 열원이 수소와 폐기물로 전량 대체되고 그 외의 생산과정에서의 에너지 소비도 전기화를 완료하면서 현재 대비 에너지상품별 구성이 대폭 변화한다. 비금속업의 2050년 에너지 수요에서 전기의 비중은 28.5~40.4%, 신재생에너지의 비중은 59.6~71.5%까지 확대된다.

4. 수송 부문

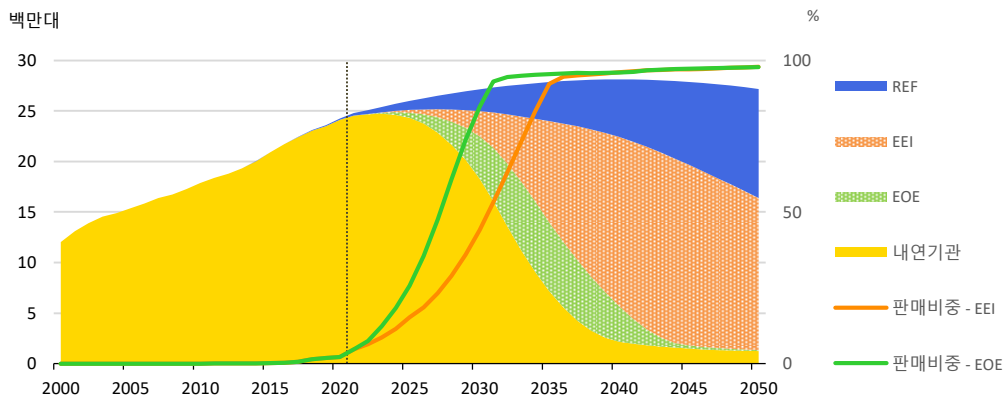
4.1. 수송 부문의 2030 온실가스 감축과 2050 탄소중립 목표

□ 수송 부문의 핵심 감축 수단은 내연기관 자동차 퇴출과 전기 자동차의 보급 확대

수송 부문 온실가스 배출량은 도로 부문의 배출이 대부분을 차지하기 때문에 내연기관 자동차의 효율 개선과 무배출 전기 자동차(배터리 전기자동차 + 연료전지 전기자동차)의 보급 확대가 수송 부문의 핵심 감축 수단이다. 따라서, 수송 부문은 자동차 효율 개선과 내연기관 자동차 판매 중단 두가지 정책 수단을 조합하여 온실가스 감축 시나리오를 설계하였다.⁷⁴

먼저 수송 부문의 EEI는 기본적인 시나리오 설계와 동일하게 신규 내연기관 자동차의 연비 개선이 빠르게 진행되는 것을 가정하고 있다. 내연기관 자동차의 연비가 좋아지고 석유제품 가격이 하향 안정화되면서 시장에서 내연기관 자동차의 경쟁력이 비교적 장기간 유지된다. 따라서 정책적으로 2035년에 신규 내연기관 자동차의 판매를 금지하는 것을 가정한다.⁷⁵ 반면, EOE는 2030년에 신규 내연기관 자동차의 판매금지를 가정하였다. 따라서 현재부터 판매금지 시점까지 전기 자동차의 판매 비중이 급속하게 확대된다. 한편, 내연기관 자동차의 조기 판매 금지는 특히 화물차의 전기화에 차이를 발생시키는 것으로 분석된다.

그림 3.20 시나리오별 전기 자동차 판매 비중



주: 파란부분은 REF의 전기 자동차 등록대수, 주황(EEI)과 초록(EOE) 패턴은 추가되는 전기 자동차 등록대수

⁷⁴ 자동차 효율 개선과 내연기관 자동차 판매 외의 감축 수단은 두 시나리오 모두 기본적으로 정부가 2021년 10월 발표한 '2030 NDC 상향안'과 12월에 발표한 '국토 교통 탄소중립 로드맵'의 정책 수단을 공통적으로 반영하였다.

⁷⁵ 판매금지는 금지 시점을 기준으로 전기 자동차의 판매가 자동차 판매의 90% 이상을 차지하는 것을 의미한다.

판매금지 시점 이후 내연기관 자동차가 도로에서 완전히 사라지는 것은 아니고 수명에 따라 상당 기간 운행할 수 있다. 그림 3.20를 보면, EEI와 EOE 모두 판매 금지 이후 대략 10년 정도가 경과한 후에 내연기관 자동차의 비중이 최저 수준에 도달하는 것을 확인할 수 있다. 잔존 내연기관 자동차는 시간이 흐르면서 점차 소멸하고, 특수한 경우와 기술적 목적으로 유지되는 상황이 될 것으로 예상된다.

다른 부문과 비교하여 전기 자동차 보급 확대는, 상대적으로 온실가스 감축 효과가 확실하고 정책 집행이 용이한 수단이다. 산업이나 건물 부문의 설비나 건물과 비교하여 자동차는 그 교체 주기가 짧고 소비자 선택이 경제적 인센티브에 민감하게 반응하기 때문이다. 이 때문에 EU를 포함한 몇몇 나라에서는 이미 내연기관 전면 판매 금지 시점을 발표하였다. 최근의 연구에 따르면, 전기 자동차의 배터리 가격이 점차 하락하면서 2025년경 내연기관 대비 일회성 비용이 같아지고, 2033년경 총 소유비용 면에서 경쟁력을 확보하며 전기 자동차 보급이 더욱 빨라질 전망이다 (김도원, 2022). 하지만, 이는 내연기관 자동차와 동등한 판매 경쟁을 한다는 의미이며 전기 자동차가 수송 부문의 온실가스 감축 목표 달성에 기여할 수 있을 정도로 시장을 장악하지는 않는다. REF에서 내연기관 자동차는 2035년 도로를 운행하는 전체 자동차 중에서 13.9%를 차지할 전망이다. 전기 자동차 판매를 획기적으로 확대하기 위해서는 다양한 정책 수단이 필요하다. 전기 자동차에 대한 보조금 지급은 여전히 전기 자동차의 전주기 소유 비용을 낮추어서 보급 확대에 기여할 수 있다. 또한 수송용 석유 제품에 대한 탄소세 부과와 오염물질 다배출 차량의 도심지 통행 제한 등도 내연기관 자동차의 교체를 촉진하는 정책 수단이다. 구매와 소유 비용의 하락 외에 전기와 수소 충전 인프라의 확충, 배터리의 효율과 안전에 대한 기술 및 기준의 강화 등의 정책 지원도 필요하다.

글상자 3.1 전기 자동차 전환과 관련된 세계 주요 국가들의 정책 동향

2022년 말 현재 미국 내 여러 주(州)를 비롯하여 전 세계 36개 국가에서 내연기관 승용차 판매를 중단하겠다는 목표를 발표한 것으로 파악되고 있다. 2025년을 금지 시점으로 선언한 노르웨이를 시작으로 2050년까지는 대부분 유럽 국가들에서 내연기관 자동차의 판매가 금지될 전망이다. EU 차원에서도 전기차 사용을 장려하기 위한 여러 조치를 취하고 있다. 미국은 캘리포니아를 비롯하여 10개의 주가 2035년까지 내연기관 자동차 판매의 단계적 중단 목표를 발표하였으며, 최근 인플레이션 감축법(IRA)이 미국 의회를 통과함으로써 전기차 등록 대수와 제조 능력이 크게 증가할 것으로 기대하고 있다. 중국은 공식적인 내연기관 판매 금지 정책 목표를 발표하지는 않았지만 전기차 부문의 글로벌 리더로서 전기차 보급 확대를 빠르게 진행하고 있다. IEA는 2022년 중국에서 판매된 신차 네 대 중 한 대는 전기차였을 것으로 추정하고 있다 (IEA, 2022b).

표 3.2 주요 국가의 내연기관 자동차 판매 중단 계획

연도	국가(주(州))	차량유형
2025	노르웨이	경량차
2030	오스트리아, 슬로베니아, 미국(워싱턴) 덴마크, 아이슬란드, 아일랜드, 네덜란드, 싱가포르	경량차 승용차
2035	EU, 카보베르데, 캐나다, 칠레, 영국, 미국(캘리포니아, 매사추세츠, 뉴욕)	경량차
2050	코스타리카, 뉴질랜드, 미국(코네티컷, 메릴랜드, 뉴저지, 오리건, 로드아일랜드, 버몬트)	승용차

주: 경량차(LDVs)는 승용차와 경량 트럭을 포함함

자료: International Energy Agency (2022), World Energy Outlook 2022, IEA, Paris

생산 측면에서는 자동차 제조사들도 내연기관 자동차 판매를 중단하고 전기차만 판매하는 계획을 발표하고 있다. 특히, 유럽에서 판매하는 자동차의 일정 비율을 전기차로 확보한다는 목표를 세우고 있다. 현대 자동차도 2035년까지 유럽에서는 전량 전기차만 판매하는 계획을 발표한 바 있다.

표 3.3 주요 자동차 제조사의 전기 승용차 판매 목표

연도	제조사	승용차 전환 목표(판매지역)
2025	재규어	100% EV 판매
2027	알파로메오	100% EV 판매
2028	오펔	100% EV 판매(유럽)
2030	벤틀리, 캐딜락, 피아트, 미니, 롤스로이스, 볼보 포드, 스텔란티스 혼다	100% EV 판매 100% EV 판매(유럽) 100% EV 판매(중국)
2033	아우디	100% EV 판매
2035	제너럴모터스, 렉서스 현대, 폭스바겐 도요타	100% EV 판매 100% EV 판매(유럽) 100% EV 판매(서유럽)

자료: International Energy Agency (2022), World Energy Outlook 2022, IEA, Paris

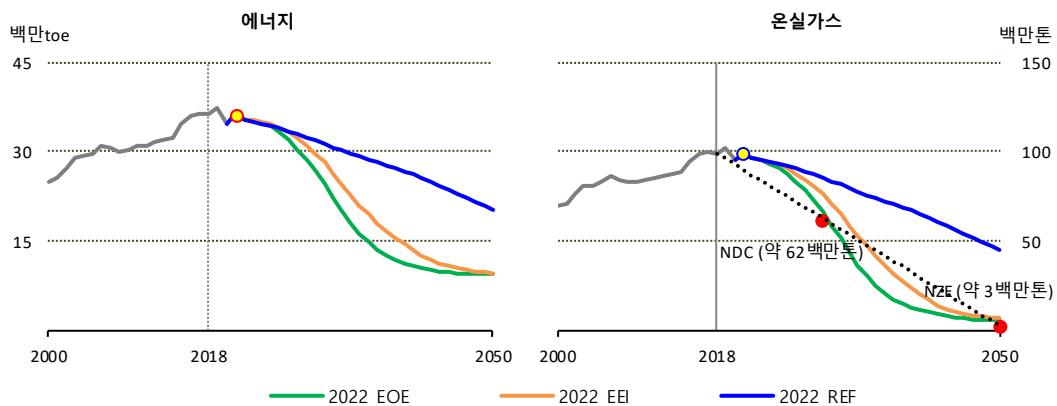
IEA(2022)는 주요 국가들이나 제조사들의 전기차 전환 목표가 달성되면 2030년까지 전기차는 총 자동차 판매의 35% 이상, 총 대형트럭 판매의 8%를 차지할 것으로 전망했다. 2030년까지 2021년 판매 수준 보다 여섯 배 많은 연간 4,000만대 이상의 전기차가 판매된다. 미국, EU, 중국에서 판매되는 자동차 두 대 중 한 대가 전기차가 될 것으로 보인다. IEA의 전기차 보급 확대 시나리오에서는 2040년까지 판매되는 모든 신차의 2/3 정도를 전기차가 차지할 것으로 예상한다. 그러나 전기차 보급 증가에도 2050년 운행 중인 승용차 중 전기차의 비중은 2/3 수준에도 도달하지 못하면서 내연기관 자동차가 지속적으로 석유를 소비하고 온실가스를 배출할 전망이다. 전기차 판매의 빠른 증가에도 불구하고, 운행 중인 내연기관 자동차는 상당 기간 동안 계속 사용되기 때문이다. 따라서 IEA는 전지구적 탄소중립 목표 달성을 위해서 늦어도 2035년까지는 신규 내연기관 자동차의 판매를 전면 중단할 필요가 있다고 분석하고 있다.

4.2. 수송 부문의 에너지상품 수요와 온실가스 배출

□ 내연기관 자동차 판매 조기 금지를 통해 수송 부문의 2030 온실가스 감축 목표 달성

개정 에너지밸런스 기준으로 환산한 수송 부문의 2030년 배출 목표는 약 62백만톤-CO₂eq으로 억제하는 것이고, 2050년에는 3백만톤-CO₂eq으로 감축하여 탄소중립을 달성하는 것이다. 다른 부문과 달리 수송 부문은 온실가스 감축 정책으로 에너지 수요와 온실가스 배출이 동반하는 움직임을 보인다.⁷⁶ 즉, 두 시나리오 모두 2030년 이후 에너지와 온실가스 감축이 빠르게 진행되며, 내연기관 자동차의 판매를 조기에 금지시키는 EOE가 내연기관의 연비를 빠르게 개선하는 EEI보다 에너지 수요와 온실가스 배출량이 모두 빠르게 감소하는 것으로 나타났다.

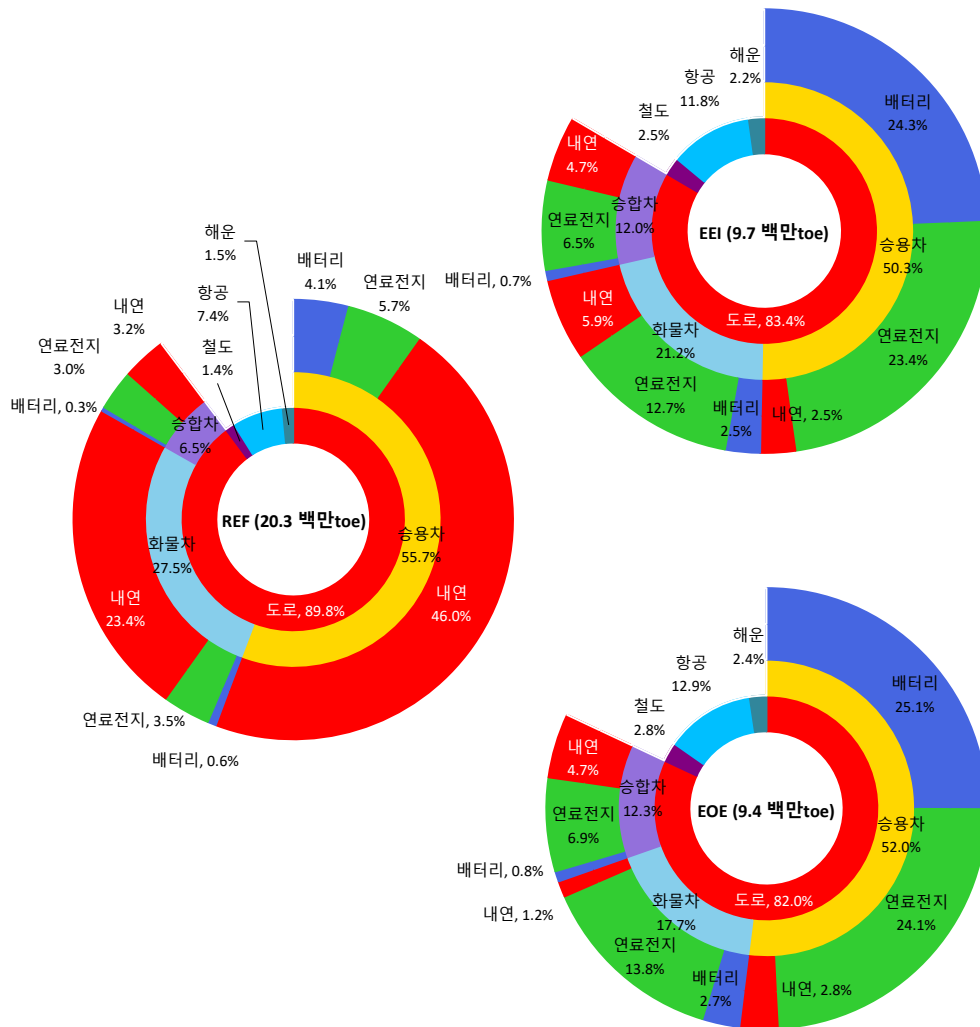
그림 3.21 수송 부문 시나리오별 에너지 수요와 온실가스 배출 경로 비교



2030년 EOE와 배출량은 66백만톤-CO₂eq으로 EEI의 배출량 76백만톤-CO₂eq보다 약 10백만톤-CO₂eq 정도가 추가 감소한다. 에너지 수요도 EOE는 2030년 26.9백만toe가 예상되어, 29.8백만toe로 예상되는 EEI보다 약 3.1백만toe가 더 감소할 것으로 분석되었다. 잔존 내연기관 자동차가 거의 대부분 소멸하는 2050년에는 EOE와 EEI의 배출량은 각각 6백만톤-CO₂eq과 7백만톤-CO₂eq 수준으로 거의 비슷해지며, 에너지 수요도 9.5백만toe 내외로 수렴한다. 이는 수송 부문의 에너지 효율 개선과 온실가스 감축 효과가 전기 자동차 보급에 비례해서 나타나기 때문이다. 전망 결과는 2035년까지 내연기관 자동차 판매를 금지한다면 수송 부문의 2050 탄소중립 목표를 달성할 수 있지만, 2030 감축 목표를 달성하기 위해서는 2030년 이전에 판매를 금지시켜야 하는 것을 보여준다.

⁷⁶ 산업이나 건물 부문은 EEI에서 에너지가 더 많이 감소하는 반면 온실가스는 EOE에서 더 감소한다.

그림 3.22 2050년 수송수단별 연료 사용 비중



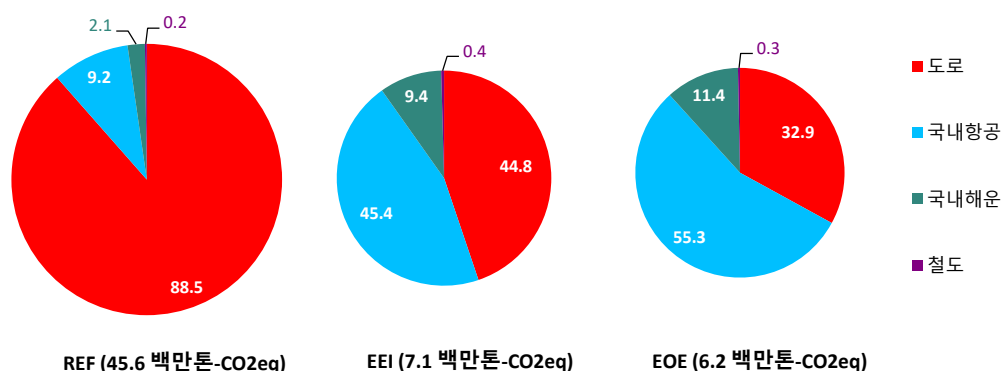
□ 석유 수요의 감소로 자동차의 연료 소비 비중은 감소하지만 2050년 여전히 80% 이상을 차지

수송 수단별로 에너지 수요의 변화를 자세히 살펴보면, 승용차가 2050년 수송 부문 에너지 수요의 절반 이상을 차지할 전망이다. EOE의 내연기관 자동차 조기 판매금지로 인해 화물차의 전기화가 추가적으로 더 진행된다. 이는 EOE의 내연기관 화물차의 연료 비중을 5.9%(EEI)에서 1.2%(EOE)로 감소시킨다. 화석연료의 비중 감소는 전체 에너지 소비의 감소와 동반하기 때문에 양적인 측면의 감소는 더 크다. 2050년의 경우 EEI에서는 화물차와 승합차의 화석연료 수요가 수송 부문 전체 에너지 소비의 10% 가량을 차지하는 반면, EOE에서는 승합차가 화석연료를 주로 소비할 것으로 예상된다. 이는 2050년 도로 부문의 온실가스 배출이 주로 승합차

에서 발생한다는 것을 의미한다. 승합차의 2050년 온실가스 배출은 거의 철도와 해운에서 발생하는 온실가스에 맞먹는 수준이다.

도로 부문이 전체 수송 부문에서 차지하는 비중이 압도적이긴 하지만, 수송 부문의 완전한 탄소 중립의 달성을 위해서는 항공과 해운 부문의 감축도 필요하다. 하지만 선박과 항공기 모두 전기화가 어려운 상황에서 획기적인 감축 수단을 발굴하기 쉽지 않다. 아직은 다양한 기술개발을 추진하고 있는 단계이다. 국내 해운의 경우 노령 선박을 개조해서 사용하는 경우가 많으므로 개조 과정에서 고효율 기기를 설치하거나 사용 연료 전환이 상대적으로 쉬울 것으로 예상된다. 항공기의 경우 효율 개선 정도가 제한적이기에 바이오 연료 등 대체 연료 사용이 필요하고 도로와 철도로 물류 수송 분담을 이전하는 방안도 고려할 필요가 있다.⁷⁷ 온실가스 배출 감축 노력으로 인해 비도로 수송의 에너지 수요는 2050년 수송 부문 에너지 수요의 17~18% 가량을 차지한다. 이는 REF의 10.2%에 비해 크게 증가하는 것이지만, 도로 부문의 에너지 수요 감소로 인한 상대적인 증가일 뿐이며, 비도로 부문의 에너지 수요는 에너지 효율 개선을 통해 REF 대비 감소할 전망이다. 기존 기술의 에너지 효율 개선과 일부 바이오연료의 활용에 힘입어 항공 부문의 온실가스 배출량은 2021년 4.6백만톤-CO₂eq에서 2050년 3.2~3.4백만톤-CO₂eq까지 꾸준히 감소한다. 해운 부문의 온실가스 배출량도 2021년 1.1백만톤-CO₂eq에서 2050년 0.7백만톤-CO₂eq 수준까지 점차 감소한다. 항공과 해운 부문은 온실가스 감축을 에너지 효율 개선에 의존하는 만큼 EEI의 온실가스 배출량이 EOE보다 더 빠르게 감소한다. 2050년 수송 부문 온실가스 배출의 55~67% 정도가 비도로 수송에서 발생한다.

그림 3.23 수송 부문별 2050년 온실가스 배출 비중 비교 (단위: %)



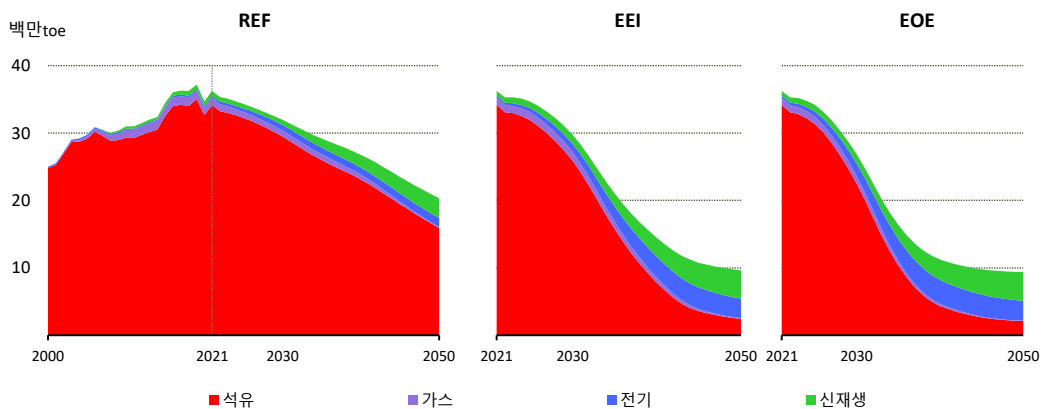
⁷⁷ 최근 철도 부문에서는 장대 철도의 시험 운행을 성공함으로써 철도의 화물 수송 분담을 확대시키려는 노력을 추진하고 있다. 하지만 항공 화물 수송 품목과 철도가 담당하는 화물의 종류가 다르기 때문에 물류 수송 분담은 제한적일 것으로 판단한다.

한편, 2050년 국내 해운과 항공이 수송 부문의 화석연료 소비 절반 이상을 차지한다는 것과 해운과 항공은 주로 국제 여객과 화물을 중심으로 성장한다는 사실을 고려하면, 수송 부문의 국내 온실가스 배출은 크게 감소하더라도 국제병커링으로 인한 온실가스 배출은 여전히 상당한 수준으로 남을 것이다. 국제병커링은 2022년 코로나19에서의 회복으로 에너지 소비가 반등하면서 온실가스 배출도 큰 폭으로 상승하고, 이후 2050년까지 연평균 0.3% 증가하여 36 백만톤-CO₂eq 수준이 될 것으로 전망된다. 온실가스 배출 증가는 대부분 항공에서 발생한다. 비록 국제병커링의 온실가스 배출은 국내 온실가스 배출로 취급하지는 않지만 글로벌 온실가스 감축 목표 달성을 위해 국제적인 협조와 분담이 필요한 부분이다.

□ 탄소중립으로 인해 전기와 수소가 수송 부문 에너지 수요의 74% 이상을 차지

수송 부문의 온실가스 감축을 위한 기술 개발과 시장 규제에 석유 제품 수요는 크게 감소하고 전기와 수소가 증가할 전망이다. 전기 자동차의 연비가 내연기관 자동차에 비해 월등하기 때문에 수송 부문의 전기화는 수송용 연료 수요를 빠르게 감소시킬 전망이다. 이로 인해 수송 부문의 석유 수요는 2021년 94.3%에서 2050년 23~25% 수준으로 감소한다. 앞서 그림 3.22에서 보았듯이, EEI와 EOE는 배터리 전기차와 연료전지 전기차가 내연기관 자동차를 대체하면서 화물차나 승합차에 일부 석유 소비가 남게 된다. 또한 국내 해운과 항공 부문의 석유 수요는 효율 개선으로 인해 증가가 억제되지만 여전히 현 수준을 유지한다.

그림 3.24 수송 부문 에너지상품별 수요



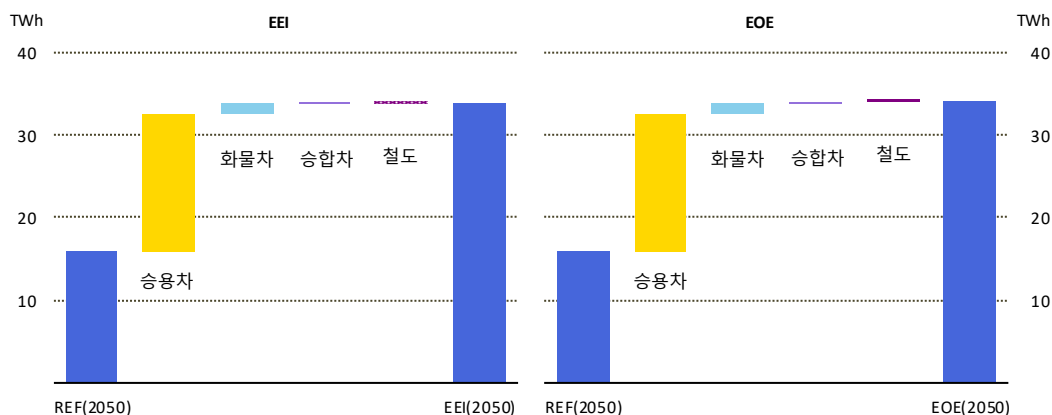
수송 부문의 재생에너지는 경유와 섞어서 사용하는 바이오디젤이기 때문에 혼유율을 높 이더라도 내연기관 자동차의 감소로 수요가 감소한다. 하지만, 기술개발에 따라 항공과 해운 부문에서는 바이오 연료의 수요가 증가할 가능성이 있다. EU와 미국에서는 바이오 연료나 폐

유를 가공하여 만드는 지속가능 항공 연료(Sustainable Aviation Fuel, SAF) 도입을 미래 감축 수단으로 적극적으로 추진하고 있다. 하지만, 항공용 바이오 연료는 높은 생산 비용에 따른 경제성 문제와 안정성 그리고 바이오 원료 사용에 따른 환경과 식량 문제 등 아직은 해결해야 할 문제가 남아 있다.

수송 부문의 탄소중립으로 인해 전기와 수소가 빠르게 증가하면서 2050년 수송 에너지 수요의 74~77%까지 차지할 전망이다. 수소와 전기는 모두 수송 부문의 전기화 산물이며, 전기 자동차에 대한 소비자 선택의 결과로 비중이 결정될 것이다. 본 전망에서는 화물차와 승합차에서 수소 선택의 비중이 높지만, 수소 수요 증가는 승용차가 주도하는 것으로 나타났다. 한편, 연료 전지의 전환 효율을 고려하면, 동일 주행거리에 동일한 전기를 소모하더라도 투입되는 수소의 열량은 전기보다 더 많다. 따라서 보급대수에 비해 상대적으로 배터리 전기차에 비해서는 연료 소비가 큰 것으로 나타난다.

배터리 전기차 보급이 급속하게 늘면서 수송 부문의 전기 수요는 2021년 3.3 TWh에서 2050년 약 34 TWh까지 증가한다. 탄소중립 정책으로 인한 수송 부문의 추가적인 전기 수요는 약 18 TWh로 추정된다. 철도의 효율화로 전기 수요가 REF 대비 미약하게 감소하긴 하지만 도로 부문의 전기화로 인한 전기 수요의 증가가 압도적이기 때문이다. 또한 수소와 마찬가지로 승용차가 전기 수요의 증가를 주도한다. 수송 부문의 전기화로 인한 발전/열생산 부문의 감축 부담을 완화하기 위해서는 모터의 효율 개선과 교통 시스템의 최적화가 반드시 필요할 것으로 보인다. 한편, 수송 부문의 전기화는 다른 부문에 비해 상대적으로 용이하기 때문에 전기 자동차 보급을 넘어 요금 체계와 충전 방식의 설계를 통한 전기 부하관리 등 에너지시스템 내에서 수송 부문의 역할을 확대할 수 있는 방안에 중점을 둔 정책을 고민할 필요가 있다.

그림 3.25 2050년 REF 대비 수송 부문의 요인별 전기 소비 변화 비교



5. 가정 부문

5.1. 가정 부문의 2030 온실가스 감축과 2050 탄소중립 목표

□ 가정 부문의 탄소중립 목표 시나리오 설계

‘2022 장기 에너지 전망’의 가정 부문에서는 탄소중립 목표 달성 경로를 위한 목표 시나리오로 효율강화 시나리오(EEI)와 전기화 시나리오(EOE)를 분석한다. 가정 부문의 온실가스 감축 목표는 ‘2030 NDC 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)’과 2050 탄소중립 시나리오안 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’에서 제시된 건물 부문의 감축률을 준용하여 직접 배출량을 설정하였다. 정부 계획에 따르면 건물 부문 목표는 직접 배출량을 기준으로 2018년 정점 대비 2030년까지 32.8%, 2050년 88.1%를 감축하는 것이며, 이를 적용하면 온실가스 배출량을 2030년까지 22.8백만톤-CO₂eq, 2050년에는 4.0백만톤-CO₂eq으로 감축하는 것과 동일하다.

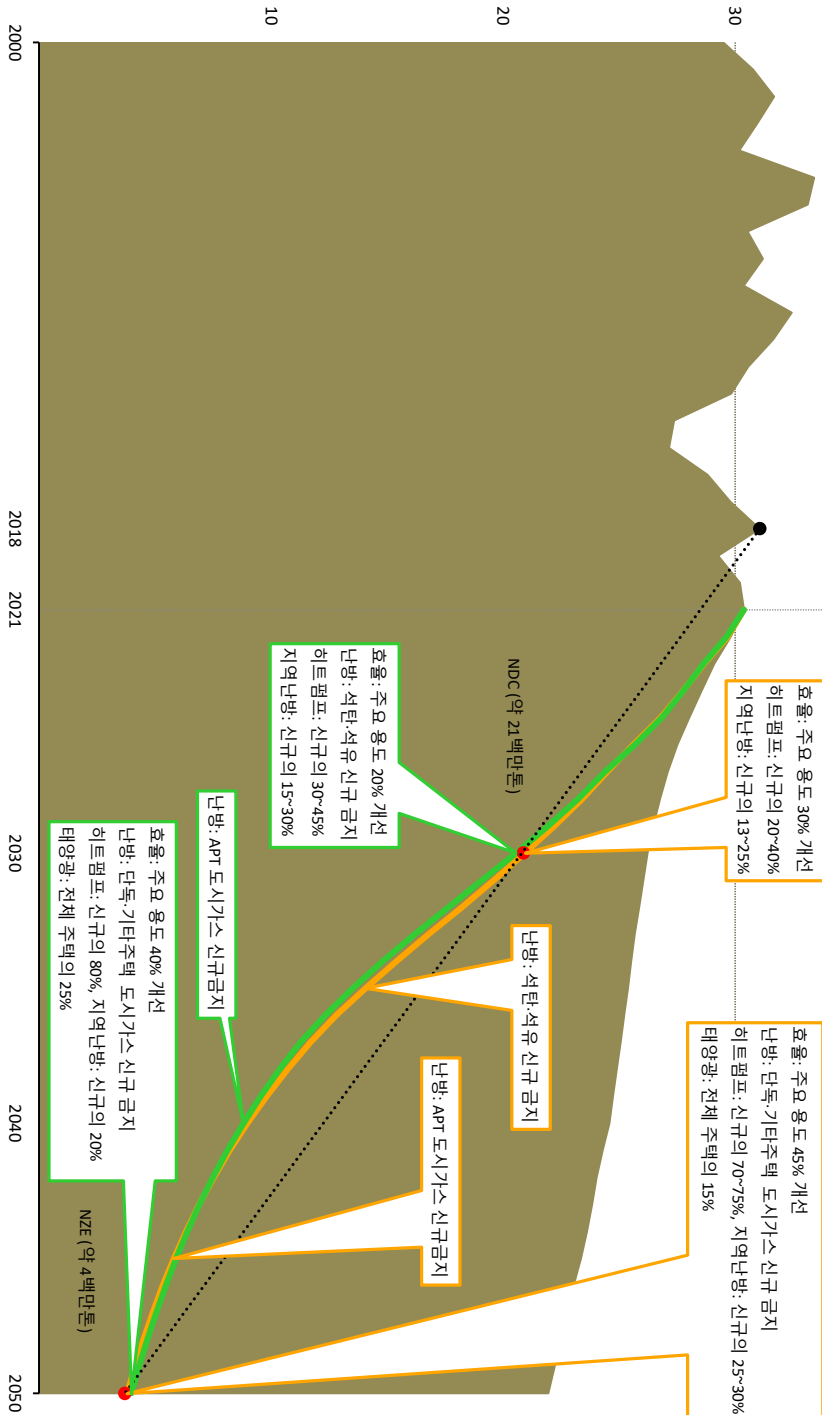
가정 부문의 온실가스 감축 수단은 ‘2030 NDC 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)’, ‘2050 탄소중립 시나리오안 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’, ‘에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, 2021)’, ‘국토교통 탄소중립 로드맵 (국토교통부, 2021)’에서 제시된 건물 부문 에너지 효율 개선 정책 수단을 바탕으로 시나리오 우선 순위별로 정책 속도에 차등을 두어 설정하였다. 여기에는 에너지 효율 향상, 고효율기기 보급, 스마트 에너지 관리 및 행태 개선 강화, 신재생에너지 보급 확대 등이 포함된다.

‘2022 장기 에너지 전망’의 시나리오와 기존 전망의 가장 두드러진 차이점은 주거 건물의 난방을 위한 히트펌프 도입이다. 가정 부문 온실가스 배출에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 난방/온수용 에너지 수요로, 해당 용도 온실가스 감축의 주요 수단으로 ‘2022 장기 에너지 전망’은 히트펌프의 적극적인 보급과 확산을 가정하고 있다. 이전 전망에서는 전기 보일러의 재허용과 효율 개선을 주요 수단으로 고려하였다. 화석연료 기반의 취사용 연료는 2050년까지 100% 전기로 전환되는 것을 가정하고 있다. 한편, 정부의 정책 검토와 가정 부문 특성을 고려한 결과 가정 부문의 직접 수소 활용은 포함하지 않았으며, 도시가스의 수소 혼합은 전환 부문 정책으로 취급하고 있다.⁷⁸

⁷⁸ 발전/열생산 부문은 ‘2022 장기 에너지 전망’에서 도시가스의 수소 혼합을 감축 수단으로 고려하지 않았다. 수소 혼합이 갖는 불확실성은 다른 미래 기술 수단도 동일하지만, 간접 배출로의 이전을 최소화하면서 건물 부문의 직접 배출을 감축시키는 시나리오 목적을 갖고 있기 때문이다. 도시가스에 수소를 혼합하는 수단이 도입되면 2050년의 배출 수준보다는 탄소중립에 도달하는 경로에 더 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 즉, 수소 혼합은 탄소중립 수단이 아니라 탄소중립에 이르는 가교로써 역할을 할 것이다.

40

그림 3.26 가정 부문 주요 감축 수단 적용의 이정표



글상자 3.2 히트펌프를 통한 건물 부문의 전기화

히트펌프는 자연의 온도차를 이용해 여름철에는 냉방기기로 활용하고 겨울철에는 난방기기로 활용하는 건물 부문의 대표적인 친환경 설비이다. 히트펌프는 자연의 온도차를 활용해 저온의 열원에서 열을 흡수하여 고온부로 열을 전달하는 방식의 기기이며, 열원으로는 공기열, 지열, 수열, 폐열 등을 이용한다. 열을 낮은 곳에서 높은 곳으로 이동시키기 때문에 히트펌프라고 부르며, 열원에 따라 공기열 히트펌프, 지열 히트펌프 등으로 구분하고, 동력 공급 방식에 따라 전기 히트펌프(EHP)와 가스 히트펌프(GHP)로 구분한다. 일반적으로 히트펌프는 팽창밸브(expansion valve), 증발기(evaporator), 응축기(condenser), 압축기(compressor) 등 네 가지로 구성되어 있으며, 냉매가 시스템을 순환하며 열을 전달하는 역할을 수행한다. 냉방용으로 활용될 때는 증발기에서 실내 열을 회수해 외부로 방출하며, 난방 및 급탕용으로 활용될 때는 응축기에서 냉매를 액화시키면서 열을 방출한다.

히트펌프의 효율을 나타내는 대표적인 지표는 성능계수(COP, Coefficient of Performance)로, 에너지 투입으로 발생하는 유용한 에너지 출력의 비율(ratio)을 의미한다. 가령 COP가 4인 경우 압축기에 1kW의 에너지를 공급하면 외부에서 3kW의 열을 흡수해 총 4kW의 열을 응축기에서 방출한다. 히트펌프의 성능을 결정짓는 주요한 요인은 히트펌프의 열원이다. 열원의 온도차가 클수록 성능이 저하된다. 즉, 높이차가 클수록 펌프로 올릴 수 있는 물의 양이 줄어드는 것처럼, 고온부와 저온부의 온도 차이가 클수록 이동시킬 수 있는 열이 줄어든다. 현재 보편적으로 사용되고 있는 공기열 방식의 히트펌프는 건물 시공 편의성이 높지만 외기 온도에 따라 효율이 크게 변한다는 단점을 갖는다. 일반적으로 겨울에는 지하나 강, 하천 등의 온도 변화가 대기 중 온도 변화보다 적기 때문에, 지열 및 수열 히트펌프가 공기열 히트펌프에 비해 더 높은 COP를 갖는 것으로 알려져 있다 (IEA, 2022b).

친환경 에너지와 연계하여 전기로 모터를 구동하는 EHP 방식은 화석연료 방식보다 에너지 효율이 2-5배 높고 탄소배출량 역시 20배 가량 적게 배출하는 것으로 평가받고 있다는 점에서 (한국에너지기술연구원, 2022) 전 세계적으로 건물 부문의 탄소중립 수단으로 각광받고 있다. 우리나라 역시 2020년 기준으로 주택 난방의 80% 이상이 화석연료를 사용하기 때문에, 히트펌프 기기를 통한 전기화가 필수적일 것으로 보인다 (김지효, 김종우, 2022).

히트펌프는 적은 동력 공급으로 큰 유효 에너지를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 하지만 이는 적은 에너지를 투입해 많은 에너지를 만드는 에너지 전환을 의미하는 것이 아니다. 히트펌프는 외부 동력원으로 모터를 돌려 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르는 열을 반대로 이동시키는 것으로, 히트펌프가 이동시킨 열을 어떻게 취급하느냐에 따라 에너지 사용량 통계가 달라질 수 있다. 현재는 공기열 히트펌프의 경우 이동시킨 열을 통계에서 제외한다. 에어컨을 이용한 에너지 사용량은 공급된 전기만을 계산하는 것과 같다. 반면 지열이나 수열의 경우 이동시킨 열을 재생에너지 공급으로 취급한다. 지열이나 수열 히트펌프는 따라서 에너지 통계에서 계산되는 히트펌프의 효율은 COP로 나타나는 성능계수와는 다르다.

구체적으로, EEI와 EOE를 구분하는 가장 큰 요인은 난방설비 및 건물 단열의 효율 개선 속도와 히트펌프의 보급 속도이다. EEI는 기술개발 속도가 빠르게 진행되면서 2030년까지 주요 용도의 효율이 30% 개선되고, 2050년까지는 45% 개선되는 것을 가정한다. 반면, EOE는 주요 용도별 에너지 효율 개선이 2030년까지 20%, 2050년까지 40%가 개선된다. 주거용 건물의 난

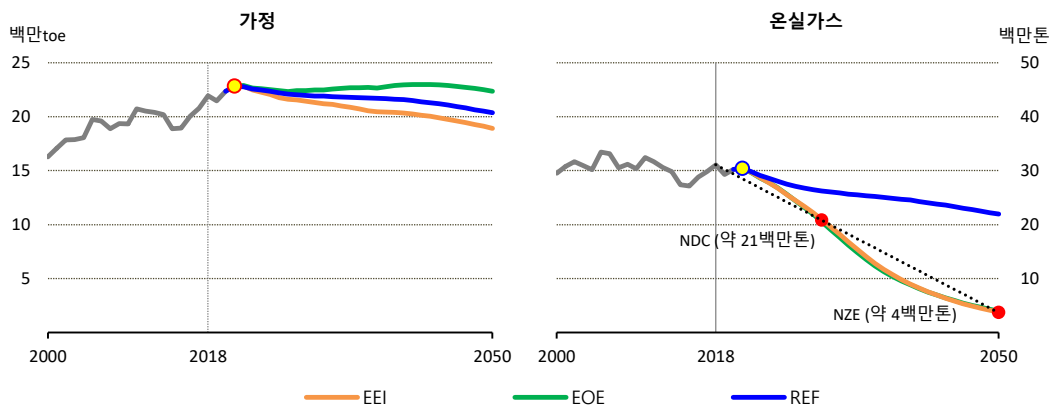
방 설비를 무배출 설비로 교체하기 위해 화석연료를 사용하는 보일러의 신규 설치가 정책적으로 금지된다. EEI에서는 2035년 석탄과 석유 보일러의 신규 설치가 금지되고 2045년에는 아파트의 도시가스 보일러 설치도 금지된다. 이로 인해, EEI에서는 주택 형태에 따라 2030년까지 신규 보일러의 20~40%가 히트펌프, 13~25%가 지역난방이 설치되며, 2050년에는 히트펌프가 신규 보일러의 70~75%를 차지하며 나머지 20~25%는 지역난방으로 대체된다. EOE는 금지 시점을 앞당겨 2030년까지 석탄과 석유 보일러 설치를 금지하고 도시가스 보일러는 2040년에 금지된다. EOE에서는 전기화가 더 폭넓게 진행되면서 2030년 신규 보일러의 30~45%가 히트펌프, 지역난방이 15~30%까지 확대된다. 2050년에는 히트펌프가 최대 80%까지 차지하고 나머지는 지역난방이 열을 공급한다. 두 시나리오 모두 전기화가 급속하게 진행되는 만큼 주택용 자가발전 보급 확대도 추진된다. 2050년 기준 전체 주택의 15%(EEI)에서 25%(EOE)까지 자가 태양광 발전설비가 보급되는 것을 목표로 설정하였다.

5.2. 가정 부문의 에너지상품 수요와 온실가스 배출

□ 온실가스 감축 정책에 따라 에너지 수요는 큰 편차가 발생하지만 온실가스 배출은 대폭 감소

가정 부문의 2030 NDC 목표와 2050 탄소중립 목표를 달성하기 위한 노력으로 온실가스 배출은 지속적으로 감소하지만, 에너지 수요는 다른 양상을 보일 전망이다. 가정 부문의 직접 배출은 2030년 21백만톤-CO₂eq, 2050년에는 4백만톤-CO₂eq으로 대폭 감소하는 매우 유사한 감축 경로를 따른다. 하지만, 에너지 수요는 EEI에서 2030년 21.3백만toe, 2050년 18.9백만toe으로 전망기간 내내 REF 대비 낮은 수준을 유지할 것으로 예상되는 반면, 전기화에 중점을 둔 EOE는 2030년 22.5백만toe, 2050년 22.4백만toe로 REF보다 증가할 것으로 분석된다.

그림 3.27 가정 부문 시나리오별 에너지 수요 및 온실가스 배출량



비슷한 온실가스 배출에도 불구하고 EEI와 EOE의 에너지 수요가 큰 차이를 보이는 것은 온실가스 감축 목표 달성을 위한 정책 우선 순위에 기인한 것이다. 앞서 설명한 것처럼, EEI는 기존 기술을 활용하되 보일러 기술, 단열 기술 등 가정 부문 에너지 수요가 큰 기술의 효율이 크게 향상된다. 이에 따라 동일한 난방 수준을 유지하기 위해서 소비되는 에너지가 감소하고, 에너지 소비가 감소하면서 온실가스 직접 배출 역시 줄어들게 된다. 반면, EOE는 동일한 목표 달성을 위해 히트펌프의 보급 확대 등 전기화를 더욱 적극적으로 추진한다. 또한 증가하는 전기 수요에 대응하여 태양광 자가발전이 빠르게 확대된다. 전기 수요의 증가와 태양광 자가발전의 확대는 가정 부문 에너지상품 수요를 더욱 크게 만드는 요인으로 작용한다. 이에 대해서는 뒤에서 다시 다루도록 한다.

□ 히트펌프를 통한 전기화는 가정 부문 탄소중립 목표 달성을 위한 핵심 열쇠

REF에서 2050년 가정 부문 온실가스 배출의 91.4%은 도시가스 사용으로 발생하기 때문에, 가정 부문의 온실가스 배출을 줄이기 위해서는 도시가스 대체를 가장 우선 순위에 두어야 한다. 2021년 기준, 전체 주거용 건물 중 아파트는 64.3%를 차지하고 있으며 (통계청, 2022c), 2050년에는 72.1%까지 증가할 것으로 예상된다. 이에 따라 2050년 아파트에서 사용하는 도시가스 소비는 REF에서 가정 부문 전체 에너지 소비의 약 22%가량을 차지할 전망이다. 따라서 가정 부문의 탄소중립을 위해서 아파트를 중심으로 무배출 연료를 사용하는 난방/온수 설비로 교체가 빠르게 이루어져야 한다.

그림 3.28 보일러 기술별 비중 변화

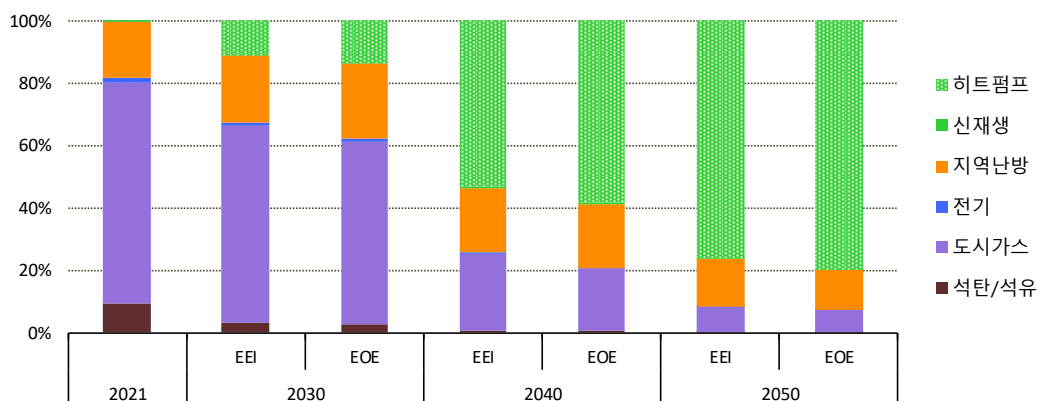


그림 3.28은 가정 부문의 보일러 보급 비중 변화를 보여준다. 2021년 가정용 보일러 중 70.7%가 도시가스를 사용하고 있으며, 지역난방이 18%, 석탄과 석유가 9.5%로 그 뒤를 잇고, 전기와

재생에너지는 2% 미만으로 집계된다. 화석연료 기반 신규 보일러 설치를 금지하는 EEI와 EOE는 2030년까지 도시가스가 58~63%, 2040년은 20~25%, 2050년은 7~8%까지 감소한다. 반면, 히트펌프 보급은 2030년 10% 이상에서 2050년 80%까지 빠르게 확대된다. 히트펌프 기술이 성숙단계에 이르는 2030년대 과감하게 히트펌프로 난방 기술을 전환하는 것이 가정 부문 탄소중립의 관건이다. 도시 단독주택의 경우 주거 밀집지역이나 소형 주택 등이 많아 히트펌프를 도입하기 어려운 경우가 많을 것으로 예상되며, 기타공동주택의 경우도 난방을 대부분 화석연료에 의존하고 있기 때문에 가정 부문 배출감축 정책의 사각지대에 남지 않도록 정책의 세밀한 설계가 필요하다.

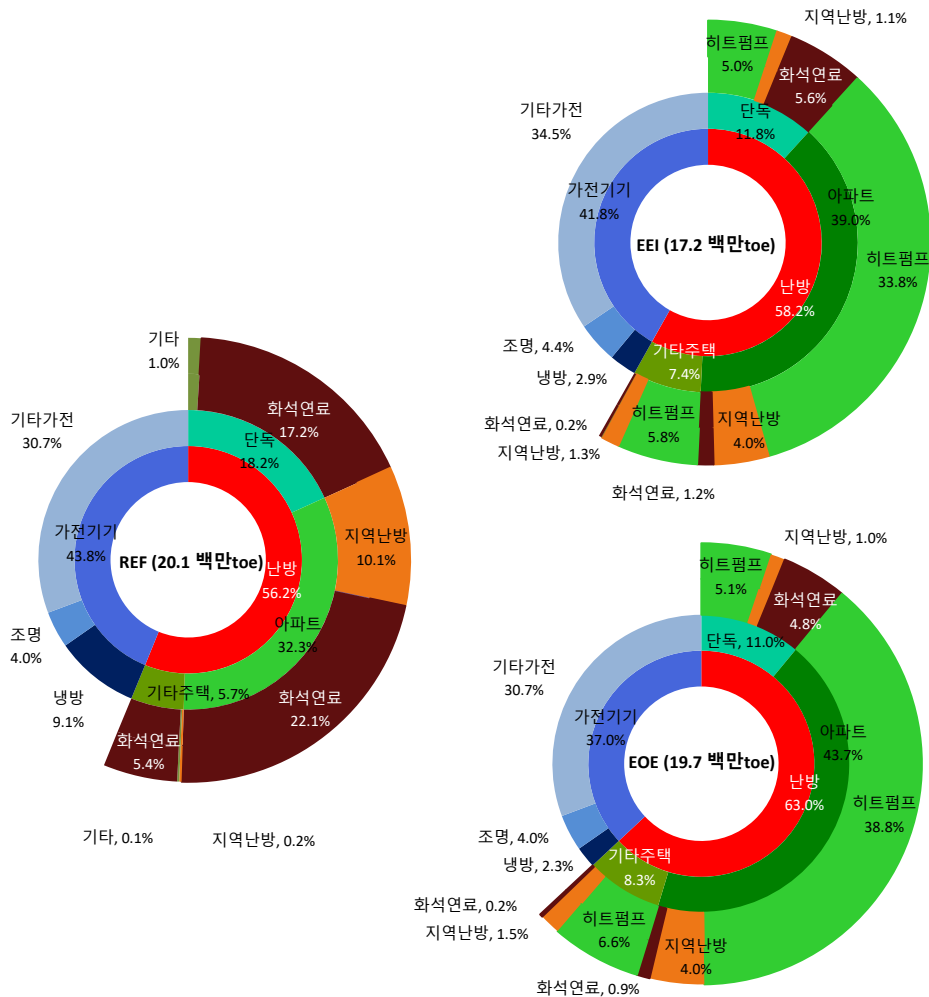
지역난방의 비중은 차츰 감소하지만 가정용 난방 설비의 일정 부분을 꾸준히 차지한다. 본 분석에서는 가정 부문의 온실가스 직접 배출을 간접 배출로 이전시키지 않는 기술을 우선 적용하였기 때문에 지역난방이 크게 확대되지 않는다. 하지만, 히트펌프의 보급이 어려움을 겪을 것으로 예상되는 가까운 미래에는 2030 NDC 목표 달성을 위해 지역난방을 확대하는 것도 가정 부문 감축 정책의 선택지가 될 수 있을 것이다.

□ 난방/온수용 에너지 수요는 증가, 나머지 용도의 에너지 수요는 감소

탄소감축 수단으로 도입되는 히트펌프는 우리나라 가정 부문의 난방 방식에 적합한 기술 개발을 전제로 하고 있다. 이를 위해 공기열보다는 지열과 수열 히트펌프가 보급되며, 동력원으로는 전기를 사용하는 전기 히트펌프가 보급될 것으로 예상하고 있다. 전기 히트펌프의 보급 확대는 재생에너지와 전기 수요를 증가시킨다.

히트펌프 확대에 의한 에너지 수요는 용도별 에너지 수요 집계에서 다른 보일러 보급과 차이가 있다는 점을 이해할 필요가 있다. 난방/온수용 에너지는 열로 전환되거나 열 자체인 에너지를 집계하기 때문에 기존의 심야전기 보일러나 가스 보일러의 경우 공급된 전기와 가스를 난방/온수용으로 취급한다. 하지만 히트펌프의 경우 열원은 지열이나 수열이지만 펌프를 가동하는 동력원으로 전기를 사용한다. 펌프의 용도가 열을 공급하기 위한 것이기 때문에 히트펌프는 재생에너지와 전기의 합계로 난방/온수용을 집계한다. 이는 앞서 설명한 것처럼 히트펌프의 효율을 나타내는 COP와 에너지 통계의 차이점이다. 한편, 본 분석에서는 히트펌프가 공급하는 난방용 에너지서비스의 양은 지역난방과 동일한 것으로 가정하였다. 따라서 동일 건물의 동일 면적에서 동일 가구가 사용하는 난방 에너지서비스는 동일하며, 히트펌프의 경우 여기에 동력용 전기 공급이 추가된다. 히트펌프의 효율 개선은 동력용 전기 수요를 감소시킬 것이다.

그림 3.29 가정 부문 2050년 주택형태 및 에너지 용도별 에너지 수요 비중 비교

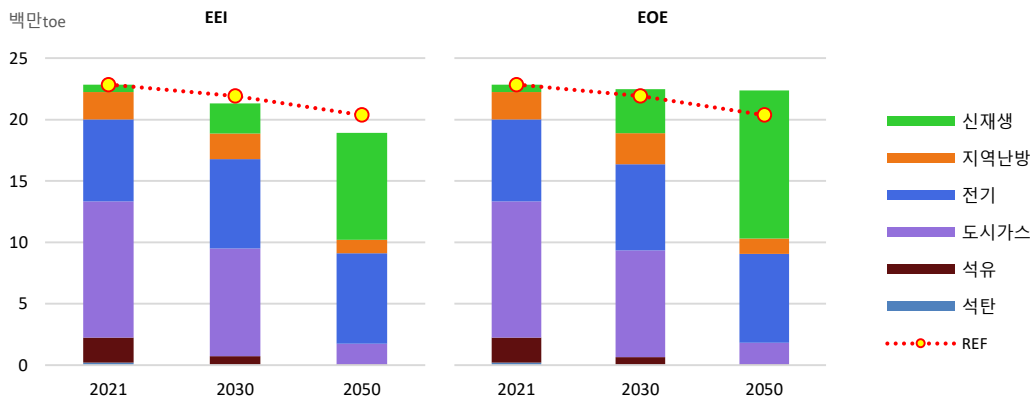


집계 방식을 반영한 결과, 탄소중립을 위한 노력으로 가정 부문의 용도별 에너지 수요는 난방/온수의 비중이 증가하고 가전기기 비중이 감소하는 것으로 나타났다. 2050년 난방/온수 용의 비중이 REF의 56.2%에서 EEI에서는 58.2%, EOE에서는 63.0%까지 확대된다. 가전기기의 비중 감소는 가전기기의 효율 개선도 영향을 미치지만, 히트펌프 보급의 확대로 인해 기존 에어컨 방식의 냉방용 전기 수요가 감소하는 것이 중요한 요인이다. 냉방용 에너지 수요 비중은 히트펌프 보급 확대로 9.1%에서 2.3~2.9% 수준으로 감소한다. 조명용과 기타가전기기용은 소비 비중이 증가하지만 소비량은 비슷하다. 기타가전기기는 효율 향상 및 에너지관리시스템 보급 확대 등 감소 요인과 기기의 대형화 및 다양화의 증가 요인이 상호 작용할 것으로 보인다.

□ 탄소중립 이행 과정에서 전기와 재생에너지 수요가 빠르게 증가

가정 부문의 에너지상품 수요는 EEI의 경우 REF보다 빠르게 감소하지만 EOE는 REF보다 증가한다. 에너지 수요의 크기는 다르지만 화석연료 수요는 두 시나리오 모두 비슷한 수준을 보인다. 이는 EEI와 EOE가 모두 2030년과 2050년의 배출 목표를 달성하기 때문이다. 하지만 총 수요의 차이로 인해 에너지상품의 비중은 다소 차이가 있다. 석탄, 석유, 도시가스 등 화석연료는 빠르게 감소하여 2021년 58.4%에서 2050년 8.2~9.2% %까지 감소한다. 화석연료의 비중 감소는 2030년 이후 가속화될 전망이다.

그림 3.30 2030년과 2050년 시나리오별 가정 부문 에너지상품 수요



반면, 전기, 지역난방, 재생에너지 등 무배출 에너지상품이 2050년 가정 부문 에너지상품 수요의 90% 이상을 차지한다. 특히, 난방/온수 및 취사용 에너지를 중심으로 히트펌프가 빠르게 보급되면서 2021~2050년 동안 재생에너지는 연평균 4.5%(EEI)에서 4.3%(EOE)까지 빠르게 증가한다. 히트펌프와 자가 태양광의 확대로 재생에너지 비중은 2050년 46.1%~53.9%까지 대폭 확대되어 가정 부문 에너지 수요의 절반 가량을 담당할 전망이다. 또한 재생에너지의 증가는 가정 부문의 에너지자립도를⁷⁹ 향상시켜 가구 소비자의 에너지 지출을 줄이는데 크게 도움이 될 것으로 예상된다.

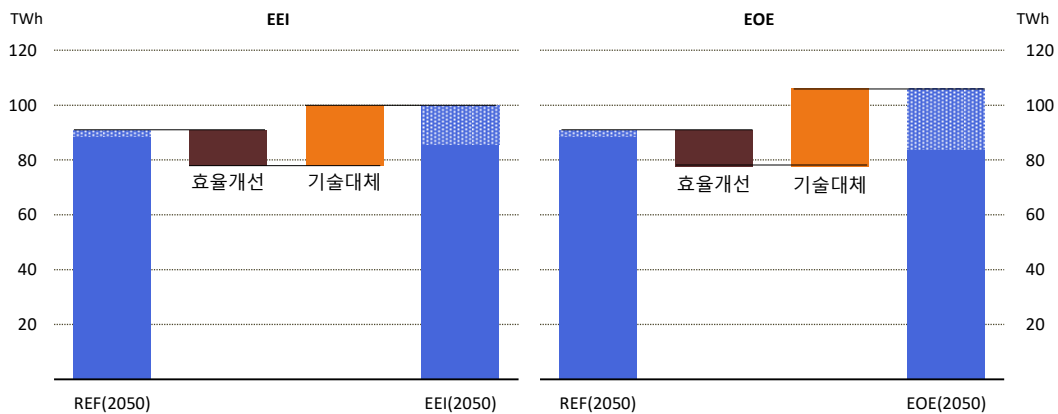
한편, 전기의 비중은 난방/온수 및 취사 연료의 급속한 전기화에도 불구하고 2021년 29.2%에서 2030년 31.3~34.2%, 2050년 32.3~38.9% 수준으로 상대적으로 비중이 크게 늘어나지 않는다. 전망 기간 전기의 최종 수요는 EEI에서 연평균 0.8%, EOE는 연평균 1.0%로 증가하여, 증가 속도가 재생에너지보다 매우 낮을 전망이다. 이는 히트펌프 가동을 위한 전기 소비 증가에

⁷⁹ 에너지자립도는 자체생산에너지/총에너지로 정의한다.

도 불구하고, 심야전기 보일러의 퇴출과 단열 기술 발전으로 인한 난방 수요 감소 그리고 가전기기 효율 개선이 전기 소비 증가를 상쇄하는 부분이 있기 때문이다.

그림 3.31은 가정 부문 탄소배출 감축 노력으로 인한 2050년 전기 수요의 변화와 이를 이끄는 요인을 분해해서 보여준다. EEI에서는 효율 개선으로 인해 REF 대비 12.9 TWh 전기 소비가 감소한다. 여기서 효율 개선은 기존 연료를 계속 사용하는 보일러 및 가전기기의 효율과 건물 단열 기술의 발전을 의미한다. 하지만 히트펌프라는 새로운 기술이 기존 보일러를 대체하면서 전기 소비가 22.0 TWh 증가하여 2050년 전기 수요는 총 99.9 TWh에 이른다. EOE에서는 효율 개선으로 인해 13.3 TWh가 감소하지만 기술대체로 28.6 TWh가 증가하여 최종적으로 106.1 TWh의 전기를 소비할 것으로 예상된다. 탄소배출 감축을 위한 전기화로 전기 수요가 증가하고, EEI와 EOE는 늘어나는 전기 수요에 대응하여 가정 부문의 태양광 자가발전을 확대를 정책적으로 지원한다. 최종소비자가 사용하는 것은 전기 서비스이지만, 자가 태양광의 보급 확대는 전기의 구매를 감소시키고 재생에너지 소비를 증가시키는 것으로 나타난다. 가정 부문의 구매 전력은 85.7 TWh~ 83.9 TWh 수준으로 감소한다.⁸⁰ 이는 가정용 태양광 보급 확대가 REF에 비해서도 전기 소비를 감소시킨다는 것을 보여준다. 또한 가정 부문 에너지자립도에서 언급한 것처럼 자가 태양광의 보급 확대는 가정 부문의 에너지 소비 지출을 줄이는 작용을 한다.

그림 3.31 2050년 요인별 가정 부문 전기 수요의 변화



⁸⁰ EOE에서 전기 수요가 더 빠르게 증가하기 때문에 EOE의 자가 태양광 보급 정책을 더 강화하는 것으로 가정하였다.

6. 서비스 부문⁸¹

6.1. 서비스 부문의 2030 온실가스 감축과 2050 탄소중립 목표

□ 서비스 부문의 탄소중립 목표 달성을 위한 EOE 및 EEI 시나리오 설계

‘2022 장기 에너지 전망’에서 서비스 부문은 에너지 효율 향상 정도와 히트펌프 및 전기화 속도 등에 따라 전기화 시나리오(EOE)와 효율 시나리오(EEI)를 구분한다. 서비스 부문의 2030년 및 2050년 온실가스 감축 목표는 직접 배출량을 기준으로 설정되었다. ‘2030 NDC 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)’, ‘2050 탄소중립 시나리오안 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’을 바탕으로 서비스 부문의 2030년 온실가스 배출 목표는 2018년 배출량 대비 32.8% 감소한 약 14백만톤-CO₂eq로 설정하였다.⁸² 2050년 탄소중립 목표는 2018년 배출량 대비 88.1% 감소한 약 2백만톤-CO₂eq로 설정하였다.

온실가스 감축 수단은 ‘2030 NDC 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)’, ‘2050 탄소중립 시나리오안 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’, ‘탄소중립 산업·에너지 R&D 전략 (산업통상자원부, 2021)’ 등을 바탕으로 배출 감축 목표 달성을 위해 정책 수준을 조정하였다. 서비스 부문에서 고려한 주요 수단은 효율향상, 히트펌프 및 전기화 등 연료대체, 자가발전이다. 특히 서비스 부문의 온실가스 감축을 위해서는 난방 및 냉방용 에너지의 탈 화석연료가 관건이며, 취사용 에너지의 대체도 필요한 상황이다. 난방/온수용 화석연료의 대체가 필요하지만 이미 전기화 수준이 매우 높다는 점이 추가적인 온실가스 감축의 난관이며, 취사의 경우 가정에 비해 화력이 높은 취사기기를 사용한다는 점과 소규모 식당이 다수 존재한다는 점이 연료 대체의 과제로 보인다. 다만, 주택에 비하여 난방/온수용 히트펌프 보급이 용이하고 단열 등 효율개선을 위한 교체의 단위 규모가 크다는 점 등은 서비스 부문의 온실가스 감축에 유리하게 작용할 것으로 예상된다. 실제로 제로에너지건축물 의무화 제도의 영향으로 2025년 이후로 민간 부문에서도 제로에너지건축이 의무가 되고(표 3.4 참조) 2030년 이후에는 적용 범위가 500m² 이상 민간건축물까지 확장되면서 에너지 수요 감축이 본격화될 전망이다. 이에 더하여 그린리모델링 사업과 건물에너지관리시스템(BEMS) 설치 의무화 등 에너지 효율 향상을 통한 에너지 수요 감축 제도들이 일정 면적 이상의 건물에 우선 도입되기에, 도입 대상 건물 상당 부분이 서비스 부문에 해당될 것으로 보인다.

⁸¹ 서비스는 민간서비스와 공공서비스를 모두 포함하며, 에너지밸런스의 상업 부문과 공공 부문의 합계를 의미한다.

⁸² 2018년 배출량은 에너지경제연구원 통계(개정 에너지밸런스)에 따라 산정된 직접 배출량으로 국가 온실가스 인벤토리와 다를 수 있다.

글상자 3.3 우리나라 건물 부문 에너지 효율 개선 정책

국내 건물부문 에너지 효율 개선을 위한 정책은 (1) 기준 및 규제, (2) 인증제도, (3) 지원제도로 구분할 수 있다 (김중우, 박상규, 2021). 기준 및 규제는 건축물의 허가 또는 승인 시 준수해야 하는 에너지절약에 대한 최소한의 기준을 마련하거나 에너지 효율 개선을 위한 의무사항을 규정한다. 국토교통부의 '건축물 에너지절약계획서', '친환경주택 성능평가', 환경부의 '건축물 온실가스·에너지 목표관리제', 산업통상 자원부의 '공공기관 에너지이용합리화', '건물에너지관리시스템(BEMS) 보급 활성화사업'이 포함된다. 인증제도는 건축물의 에너지성능이나 주거환경과 관련된 객관적인 정보를 바탕으로 건물을 평가하며, 건축물 에너지 효율등급 인증제도, 제로에너지건물 인증제도, 녹색건축 인증제도가 시행 중이다. 지원제도로는 기축 건물 대상 그린리모델링과 건물에너지 진단정보DB 구축사업이 대표적이다. 이러한 정책들은 아래 표에서도 나타나듯 공공 또는 연면적이 일정 규모 이상인 건물이 우선 대상이다.

표 3.4 국내 건물부문 에너지 효율 개선 정책

구분	정책	정책 주요 내용 및 대상
기준 및 규제	건축물 에너지절약계획서	<ul style="list-style-type: none"> 건축물의 에너지절약 설계에 대한 의무사항과 에너지 성능지표를 규정하여 건축물의 계획 및 설계 단계에서부터 원천적으로 에너지 저소비형 건축물 구축을 유도하고자 함. 2021 년 기준 적용 대상은 「녹색건축물 조성 지원법 시행령」 제 10 조(에너지절약계획서 제출 대상 등)에 따라 연면적의 합계가 500 m² 이상인 신축 건축물임.
	친환경주택 성능평가	<ul style="list-style-type: none"> 저탄소 녹색성장을 위한 친환경주택의 건설기준을 마련하고, 에너지비용 절감을 통해 국민 주거복지 향상 유도가 목적임. 평가 대상은 공동주택 30 세대 이상, 도시형 생활주택 50 세대 이상, 주상복합아파트 300 세대 이상의 건축물임.
	건축물 온실가스·에너지 목표관리제	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 배출량 및 에너지 소비량이 일정 수준 이상인 업체 및 사업장을 대상으로 온실가스 감축 및 에너지절약 목표를 설정하고 관리하는 제도임. 대상은 매년 업데이트되며, 2011 년 이후 점차 확대 중임. 2021 년 기준 관리대상은 최근 3 년간 평균 온실가스 배출량 50,000 톤 CO₂eq 및 에너지소비량이 200TJ 이상인 업체와 15,000 톤 CO₂eq 및 에너지소비량이 80TJ 이상인 사업장임.
	공공기관 에너지이용합리화	<ul style="list-style-type: none"> 국가, 지방자치단체 등 공공기관을 대상으로 에너지의 효율적 이용과 온실가스의 배출 저감을 위하여 의무 이행사항을 규정하고 실적을 관리하는 제도로써 「에너지이용합리화법」 제 8 조 및 동법 시행령 제 15 조에 근거하여 시행됨. 적용대상 건축물은 「공공기관 에너지이용합리화 추진에 관한 규정」 제 2 조에서 정한 기관으로 중앙행정기관, 지방자치단체, 시·도교육청과 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제 4 조에 따른 공공기관, 지방공사 및공단, 국립 병원 및 치과병원, 국·공립 초·중·고 및 대학교를 포함함.

	건물에너지관리시스템(BEMS)	<ul style="list-style-type: none"> • 건물에너지관리시스템(Building Energy Management System, BEMS)은 건물 내 에너지 사용내역을 실시간 모니터링하고 최적화된 에너지 관리방안을 제공하는 통합 시스템임. • 공공기관 에너지절약계획서 제출대상 중 연면적 10,000 m² 이상의 건축물을 신축 또는 증축하는 경우, BEMS 구축·운영 및 설치확인을 의무적으로 받아야 함. 단, 공동주택, 오피스텔, 공장, 자원순환 관련 시설 및 발전시설 등은 대상에서 제외될 수 있음.
인증	건축물 에너지 효율등급 인증제도	<ul style="list-style-type: none"> • 건축물 에너지 효율등급인증은 건축물의 설계와 시공단계부터 에너지 효율을 고려하고, 원천적으로 에너지를 저소비하는 에너지절약형 건물의 보급을 목적으로 도입됨. • 2001년 공동주택을 대상으로 시행 이후 업무용 건축물로 대상을 확대하고, 신축 공공주택 인증 의무화와 신축 공공기관 건축물 인증 의무 강화(연면적 3천m²→1천m²) 등 대상을 확대 중임.
	제로에너지건물 인증제도	<ul style="list-style-type: none"> • 고단열과 고기밀을 통해 건축물에 필요한 에너지 부하를 최소화하고 신재생에너지를 활용한 제로에너지건축물(Zero Energy Building, ZEB)*의 보급 활성화를 목적으로 함. • 2020년 기준 중앙행정기관, 지자체 등 공공기관의 연면적 1,000 m² 이상의 건축물이 대상이며, 2023년부터 연면적 500 m² 이상의 공공건축물, 2025년부터 연면적 1,000 m² 이상 및 공동주택 30세대 이상의 민간건축물, 2030년 이후에는 연면적 500 m² 이상인 민간건축물로 확대 예정임.
	녹색건축 인증제도	<ul style="list-style-type: none"> • 녹색건축인증은 건축의 전 생애에 걸쳐 환경에 영향을 미치는 요소를 평가하여 건축물의 환경성능을 인증함으로써 친환경 건축물의 건설 유도·촉진을 목적으로 함. • 적용대상은 「건축법」에서 정의하는 건축물로서 토지에 정착하는 공작물 중 지붕과 기둥 또는 벽이 있고 이것과 딸린 시설물, 지하나 고가의 공작물에 설치하는 사무소·공연장·점포·차고·창고, 그 밖의 대통령령으로 정하는 것을 포함함.
지원	그린리모델링 사업	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 건물의 에너지성능을 개선하고 쾌적한 실내환경을 조성하기 위해 공공 및 민간건축물을 대상으로 시행한 제도로, 녹색건축에 대한 국민적 인식 제고 및 녹색건축물 조성을 활성화하여 민간부문까지 확산을 유도하는 것이 주요 목적임. • 기존 공공건축물을 대상으로 그린리모델링에 대한 사업비를 지원하며, 지원대상 건축물에는 「그린리모델링 지원사업 운영 등에 관한 고시」 제2조 제5호의 공공건축물 중 2012년 1월 1일 이전에 준공한 어린이집, 보건소 의료시설이 해당됨.
	건물에너지 진단정보 DB 구축사업	<ul style="list-style-type: none"> • 노후건물의 에너지진단 결과를 통해 개선사항을 도출하고 건물의 에너지절감 투자를 유도하기 위해 2020년 도입되었으며, 진단결과를 DB로 구축하여 비용효과적인 절감수단을 제공함. • 지원대상은 전국의 15년 이상 노후 민간건축물 중 연면적이 1,000 m² 이상이면서 연간 에너지사용량이 2,000toe 미만이며, 건물용도가 문화 및 집회시설, 판매시설, 의료시설, 교육연구시설, 업무시설, 숙박시설, 노유자시설인 경우임.

자료: 김중우, 박상규 (2021)

한편, 지자체 차원에서도 건물부문 에너지 효율 개선 정책을 고려하고 있다. 예를 들어, 서울시는 현재 대형건물 온실가스 집중관리를 위하여 건물부문 온실가스 총량제 도입을 고려 중이다 (서울특별시, 2022). 연면적 3천㎡ 이상의 상업·공공건물은 서울시 전체 건물 60만여 동 중 1만 3천동으로 2.1%에 불과하나 건물 부문의 온실가스 중 26.5%를 배출하고 있어, 이들 중대형 건물의 온실가스 배출총량을 집중관리 및 감축하려는 것이 목적이다. 해당 제도는 연면적 1천㎡ 이상의 공공건물과 3천㎡ 이상의 상업건물을 대상으로 하며, 건물의 용도를 12개 유형으로 분류하고 각 유형별로 단위면적당 온실가스 표준배출기준을 설정한다. 감축목표는 2050년까지 표준배출기준(각 유형별 2017~19년 온실가스 배출량의 평균값) 대비 87%이며, 5년단위로 목표 부여 및 이행평가를 실시할 계획이다. 2022년 시범사업 추진으로 시작하여 연차별 확대를 통해 2026년부터는 본격 시행할 예정이다.

EEI와 EOE는 각각 에너지 효율 향상과 전기화를 핵심 감축 수단으로 우선시하는 시나리오로 설정하였다. EEI는 기본 시나리오 설계의 정의처럼 기존 기술의 효율 개선 투자 성과가 빨리 나타나면서 에너지 효율 개선을 보다 강화한 시나리오이다. 여기서 기존 기술이란 무배출 에너지로의 대체없이 기존 연료를 계속 사용하는 기술을 의미한다. 따라서 기존 기술의 효율 개선은 주로 화석연료의 수요를 감축시켜 온실가스 배출을 줄이는 작용을 한다. EEI는 주요 용도별 효율 개선을 2030년까지 30% 개선, 2050년까지 45% 개선되는 것으로 가정하였다. 연료 대체는 2030년 배출 목표와 2050 탄소중립을 위해 필요한 수준을 결정한다. 정책 수단으로는 신규 보일러의 화석연료 사용과 신규 냉방의 도시가스 사용을 금지하는 것으로, EOE에 비해 좀더 완화된 시작 연도가 설정된다.

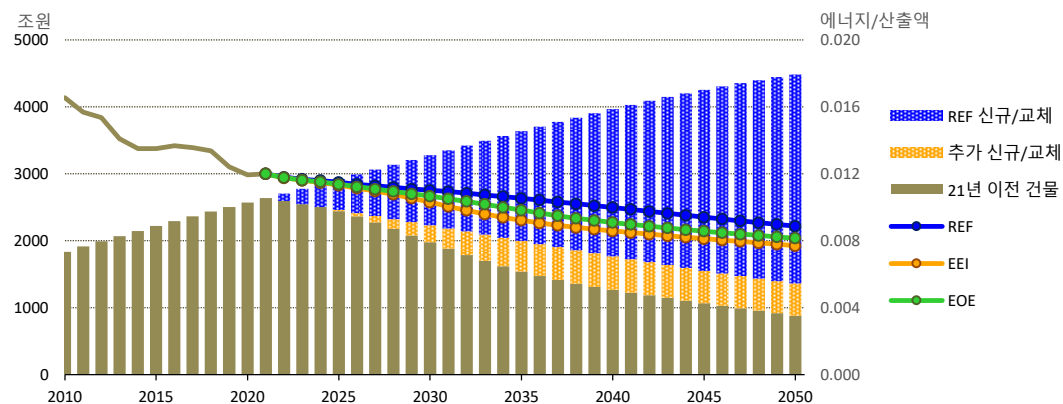
EOE는 기존 기술의 효율 개선이 더디기 때문에 연료대체 및 전기화를 상대적으로 더 주된 감축 수단으로 설정한 시나리오이다. EOE에서 주요 용도별 효율 개선은 2030년까지 20%, 2050년까지 40% 개선되는 것으로 가정하였다. 신규 보일러는 2030년부터 석탄 및 석유 사용 금지하고 2040년부터 도시가스 및 LPG 사용을 금지한다. 신규 냉방은 2045년부터 도시가스 사용이 금지된다. 냉방의 도시가스 사용 금지는 가스 히트펌프(GHP)의 신규 설치가 금지된다는 것을 의미한다.

한편, 건물의 난방이나 냉방의 연료를 대체하는 무배출 에너지원은 전기, 지역난방, 재생 에너지 등이 있으며, 서비스 부문은 히트펌프를 우선 고려하고 있다. 이를 반영하기 위하여 EOE 및 EEI 모두 2030년 신규 냉난방 설비의 10%, 2040년 20%, 2050년 30%를 히트펌프가 보급되는 것으로 설정하였다. 서비스 부문의 전기화와 더불어 건물의 자가발전도 정책적 지원에 힘입어 빠르게 확대된다. 서비스 부문의 자가발전 비중은 2030년 2%에서 2050년 10%로 증가하는 것으로 설정하였다. 본 분석은 상기 서술한 주요 정책 수단을 벤치마크로 하되 필요한 경우 각 업종이나 용도별로 소폭 조정하였다.

□ 서비스 부문의 탄소중립 목표 달성을 위해서는 2050년까지 기존 건물의 70% 교체 필요

건물의 효율 개선을 위해서는 기술의 효율 성능 개선과 더불어 기존 및 신규 건물에 개선된 기술을 적용하는 것이 필요하다. 분석 결과, 서비스 부문의 탄소중립 목표를 달성하기 위해 2021년 이전의 기존 건물 중 70%를 2050년까지 교체해야 하는 것으로 나타났다.⁸³ 현재 시행 중이거나 발표된 건물 부문 온실가스 감축 정책과 건물의 개보수 주기로는 기축건물의 50%가량이 2050년까지 단열 강화를 위한 건물 내·외장과 난방 설비를 교체할 것으로 예상된다. 따라서 서비스 부문의 탄소중립을 위해서는 기축건물의 20% 이상을 추가적으로 교체하는 정책 강화가 필요한 것으로 나타났다. 특히, 2050년 탄소중립 목표뿐만 아니라 2030년 NDC 목표 달성을 위해서는 2030년 이전에 대규모 건물 교체가 필요하다. 2030년 이전 교체 건물에 적용되는 기술은 현재 수준에서 개량된 기술이므로 2040년대의 고효율 및 신기술 적용을 위한 추가 교체가 필요할 것으로 예상된다. 따라서 교체가 지속될 수 있도록 정책이 진화할 필요가 있다.

그림 3.32 서비스 부문 시나리오별 신규/교체 건물 규모 및 에너지원단위 비교



주: 건물면적당 산출액은 동일하다는 가정 하에 건물이 생산하는 산출액으로 건물 규모를 표시

기존 건물의 개보수 확대와 신축 건물에 가장 최신 기술을 적용한다고 하더라도 REF와 비교할 때 기술 개발로 인한 에너지원단위 개선 효과가 그다지 크지 않다. 또한, 기술개발 속도가 다른 EEI와 EOE의 차이도 효율 향상에 중점을 둔 EEI에서 EOE보다 소폭 개선이 이루어지는 것으로 전망되었다. 건물의 교체 주기를 고려할 때, 이러한 결과는 냉난방 설비의 효율 개선만으로는 온실가스 감축 목표 달성이 어렵다는 것을 의미한다. 따라서 기존 설비의 효율개선과 함께 전기화를 포함한 탈탄소화 수단 강화가 필요하다.

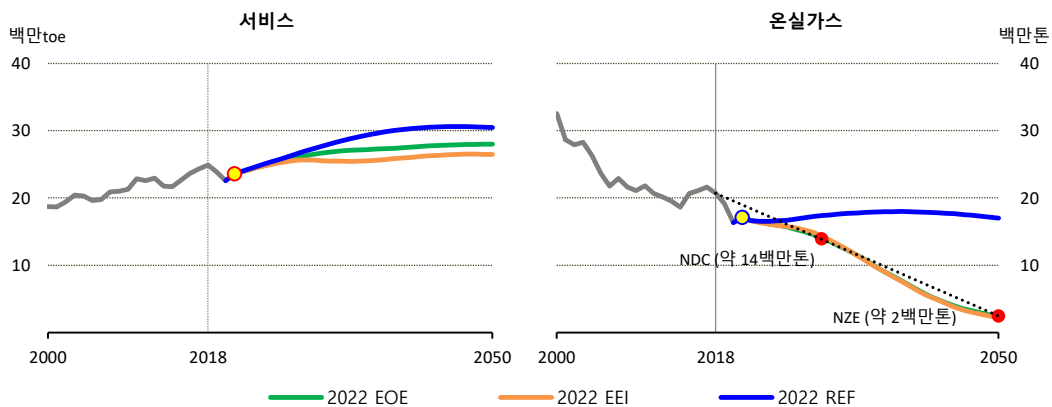
⁸³ 여기서 건물 교체는 재건축 및 재개발을 통해 신축 건물로 교체하는 것만이 아니라 건물의 성능 향상을 위한 개보수를 포함하며, 따라서 건물 교체 규모는 용도별 설비의 교체 수요를 의미한다.

6.2. 서비스 부문의 에너지 수요와 온실가스 배출

□ EEI와 EOE에서 에너지 수요는 증가세가 둔화되지만 꾸준히 증가할 전망

EOE와 EEI에서 서비스 부문 에너지상품 수요는 REF 대비 에너지 효율 개선과 단열 성능 개선을 통해 증가세가 둔화할 전망이다. REF에서는 서비스 부문 에너지상품 수요가 2021년 23.6백만toe에서 2050년 30.4백만toe로 증가하고, 이 때 연평균 증가율은 0.9%로 전망되었다. 에너지 효율 향상이 빠르게 진행되는 EEI에서는 에너지상품 수요가 연평균 0.4% 증가하여 2050년 26.5백만toe로 전망되었다. 기술 개발이 EEI보다는 늦게 진행되면서 연료대체에 방점을 둔 EOE에서는 서비스 부문에서 2050년 28.0백만toe의 에너지상품을 소비할 것으로 나타났으며, 연평균 증가율은 0.6%로 REF 대비 0.3%포인트 감소할 전망이다.

그림 3.33 서비스 부문 시나리오별 에너지 수요 및 온실가스 배출량 비교



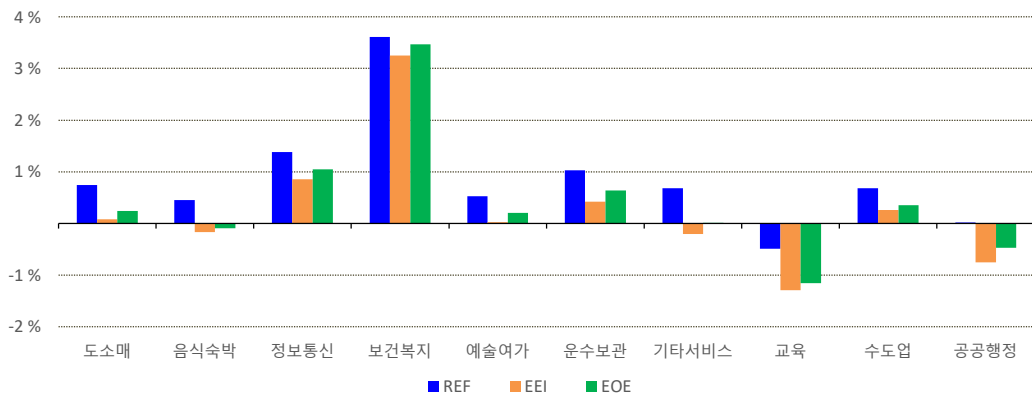
에너지상품 수요는 꾸준히 증가하지만 대폭적인 연료 대체를 통해 온실가스 배출은 크게 감소한다. REF에서는 2021년 17.1백만톤-CO₂eq에서 2050년 17.0백만톤-CO₂eq로 온실가스 배출량에 큰 변동이 없는 것으로 나타났다. REF에서도 탄소감축 노력이 꾸준히 진행되지만, 서비스 부문의 2030년 배출 목표인 14백만톤-CO₂eq와 2050년 탄소중립 목표인 2백만톤-CO₂eq에 미치지 못하는 수준이다. EOE와 EEI는 효율 개선 수준만큼 에너지 수요가 감소하여 온실가스가 감축될 뿐만 아니라 추가적으로 히트펌프 확대 및 전기화 등을 통하여 온실가스 배출 목표를 달성한다. EEI에서는 2021년 17.1백만톤-CO₂eq에서 2030년 14.3백만톤-CO₂eq, 2050년 2.2백만톤-CO₂eq로 온실가스 배출이 감소한다. EOE에서도 EEI보다 효율 개선이 더딘 만큼 전기화를 확대하여 온실가스 배출량은 2030년 14.1백만톤-CO₂eq, 2050년 2.4백만톤-CO₂eq로 EEI와 비슷한 배출 경로를 보일 것으로 전망되었다.

□ 업종별 에너지 수요와 용도별 에너지 수요

세부 업종별로 살펴보면, 온실가스 감축 정책의 적용이 업종의 에너지 수요에 미치는 영향은 서비스 전체에 미치는 영향과 큰 차이가 없다. 산업 구조 전체에 따라 2050년까지 보건복지의 에너지 수요가 가장 빠르게 성장하고 이어서 정보통신의 에너지 수요 증가가 빠르다. 교육서비스는 여전히 에너지 수요가 감소한다. 또한, 에너지 효율 개선이 상대적으로 빠르게 진행되는 EEI의 에너지 수요가 EOE보다 REF 대비 증가율의 하락이 크다. 다만, 업종별로 증가율 하락폭의 크기가 다소 차이가 난다.

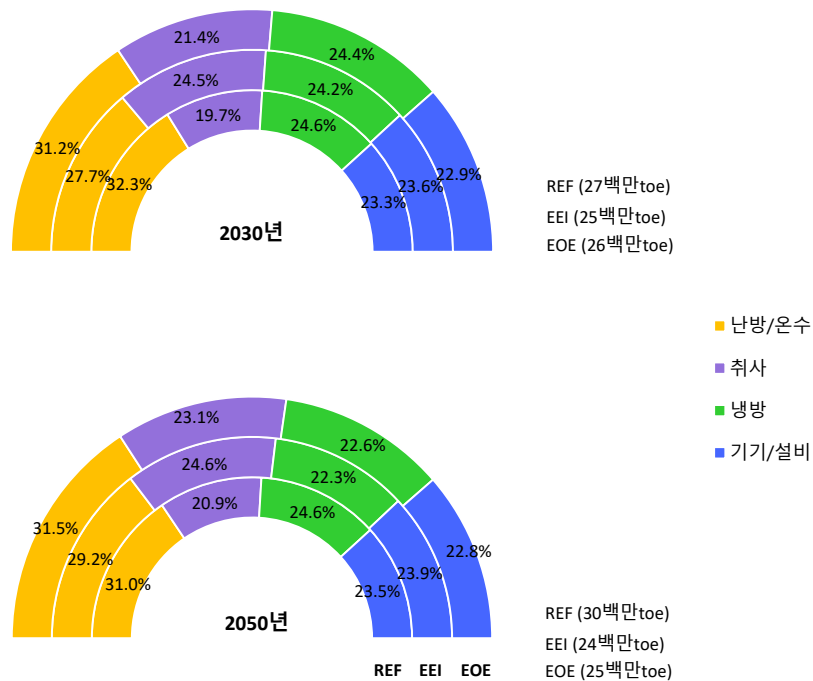
우선, 기타서비스를 제외하고 탄소중립 정책으로 가장 영향을 크게 받는 업종은 교육서비스로 나타났다. 교육서비스는 2021~2050년 연평균 에너지 수요 증가율이 EEI에서는 REF 대비 0.8%포인트 하락하며 EOE에서는 0.7%포인트 하락하여, 온실가스 정책이 학령인구 감소에 의한 에너지 수요 감소를 더욱 심화시키는 것으로 분석된다. 반대의 결과가 나타나는 업종은 보건복지이다. 보건복지는 탄소중립 정책에도 불구하고 여전히 빠르게 에너지 수요가 증가하여, REF 대비 연평균 증가율의 하락이 가장 작다. 공공 영역에 속하는 수도업과 공공행정은 정책의 효과 차이가 큰 것으로 분석된다. 수도업의 경우 연평균 증가율 하락이 작은 반면, 공공행정은 EEI에서는 교육서비스에 이어 두 번째로 크게 감소하고 EOE에서는 분석 업종에서는 중간 정도의 위치를 차지하는 것으로 나타났다. 수도와 공공행정 모두 기기/설비용 에너지 소비가 많다는 공통된 특징이 있으나, 공공행정에 포함된 가로등이 조명기기 효율 개선으로 빠르게 감소하는 것이 원인인 것으로 판단된다. 한편, 음식숙박, 기타서비스, 공공행정은 탄소중립 정책으로 인하여 에너지 수요가 증가에서 감소로 반전되는 업종으로 분석된다.

그림 3.34 주요 업종별 에너지 최종소비 연평균 증가율 비교



업종별 에너지 수요 증가가 다르지만 서비스 전체의 용도 비중은 탄소중립 정책에도 불구하고 크게 변하지 않는다. 한 가지 특징은 EEI의 난방/온수용 에너지 소비 비중이 2030년에 다른 시나리오에 비해 더 크게 감소한다는 점이다. 이는 EEI의 단일 효율이 더 빠르게 개선되는 것이 영향을 미친 것으로 파악된다. 히트펌프의 보급 확대에도 불구하고 난방/온수용 에너지 소비 비중이 크게 감소하지 않는 이유는 이미 서비스 부문 난방/온수의 전기화가 많이 진행됐다는 점과 히트펌프의 보급 방식 때문인 것으로 설명할 수 있다. 2021년 기준 서비스 부문 난방/온수용 에너지 소비에서 전기가 차지하는 비중은 42.6%에 달한다. 가스와 석유는 각각 22.4%와 22.6%를 차지한다. 가스는 직접 난방도 있지만 가스 히트펌프의 보급도 상당 부분 차지하는 것으로 파악된다. 한편, 주거용 건물과 달리 상업용 건물의 히트펌프는 공기열 히트펌프가 상당 비중을 차지할 것으로 가정하고 있다. 공기열 히트펌프의 경우 온수를 위한 에너지가 별도로 필요하긴 하지만, 설치가 쉽고 비용이 낮기 때문에 빠르게 화석연료를 대체할 수 있는 수단이 된다. 지열과 수열 히트펌프의 경우 투입 에너지만 계산하는 것이 아니라 COP를 이용하여 자연에서 이동된 열까지 에너지 소비에 포함한다. 따라서 지열이나 수열 히트펌프로 대체하는 경우에는 에너지 소비가 크게 줄어들지 않는다. 이런 점들로 인해 서비스 부문 난방/온수의 히트펌프를 이용한 전기화가 에너지 소비 비중을 크게 변동시키지 않는다.

그림 3.35 2030년과 2050년 용도별 최종소비 비중 비교



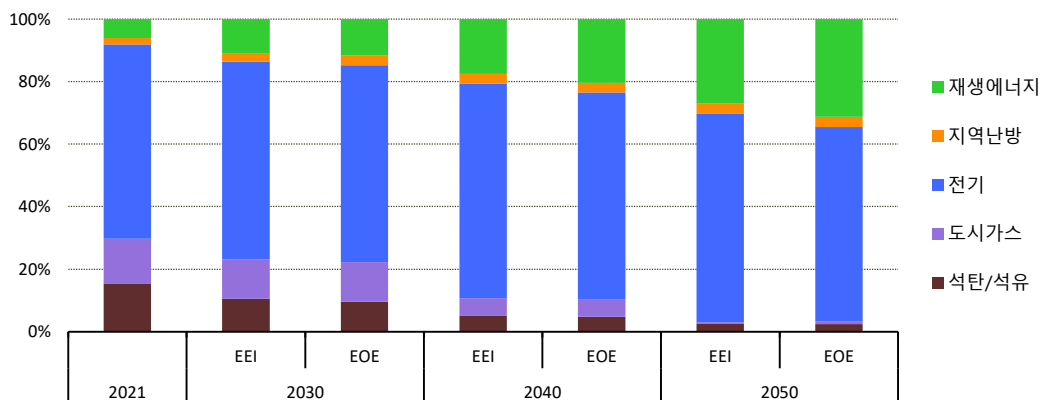
서비스 부문 에너지 소비의 용도별 구성에서 또다른 특징은 취사용 에너지 소비의 비중이 크다는 점이다. 상업용 취사 에너지는 가정용에 비해 고화력이 필요하기 때문에 가스를 주로 사용한다. 2021년 기준 가스(LPG 포함)가 취사용 에너지 소비에서 차지하는 비중은 48.3%인 것으로 분석된다. 이는 난방/온수용 가스 소비보다 많은 양이다. 따라서 서비스 부문의 탄소중립을 위해서는 취사용 연료의 전기화가 중요한 역할을 할 전망이다.

□ 서비스 부문에서 비배출 에너지상품 비중은 2050년 약 97%까지 확대될 전망

서비스 부문은 이미 전력의존도가 매우 높은 부문으로 전기화의 여지가 타 부문에 비해 크지 않으며, 히트펌프로 대체할 수 있는 난방연료도 가정 부문에 비해 상대적으로 적은 수준이다. 난방의 히트펌프 보급 확대는 가스와 석탄, 석유의 비중을 감소시킨다. 취사의 전기화는 가스의 비중을 감소시키고 전기의 비중을 확대한다. 2050년에 도달하면 EEI와 EOE 모두 화석연료의 비중이 3.1~3.2% 수준으로 대폭 축소되고, 전기와 재생에너지 등 무배출 에너지상품의 비중이 97%를 차지하게 된다.

한편, 높은 전기 소비 비중을 낮추고 온실가스의 간접 배출 이전을 억제하기 위해 자가 발전을 보급을 확대하는 정책이 서비스 부문의 재생에너지 비중을 확대한다. EEI와 EOE 사이에 전기 및 재생에너지 비중에는 소폭 차이가 나타난다. 자가발전이 보다 확대되는 EOE에서 2050년 재생에너지 비중이 31.3%로 EEI의 27.0%보다 높게 전망되며, 이에 따라 전기 수요는 EEI에서 EOE보다 높게 나타난다. 재생에너지의 확대로 서비스 부문의 에너지자립도는⁸⁴ 2021년 6%에서 2050년 30% 내외 수준으로 개선될 전망이다.

그림 3.36 서비스 부문 시나리오별 에너지상품 수요 비중 변화

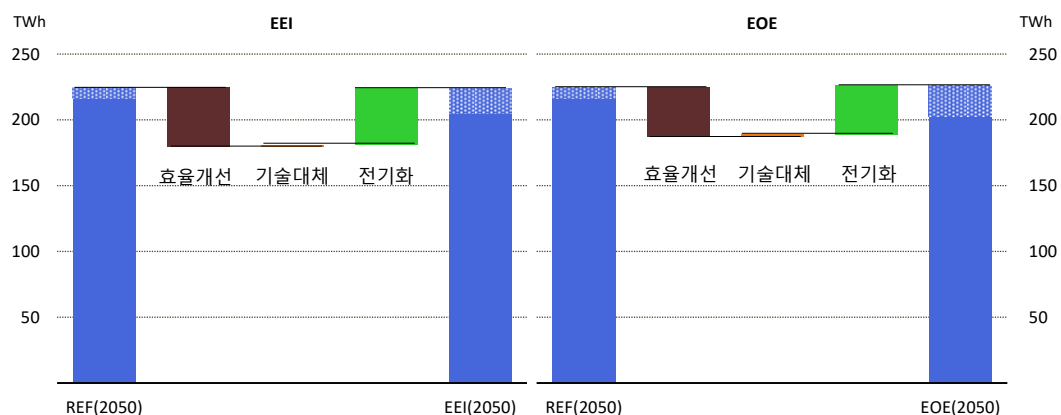


⁸⁴ 에너지자립도는 자체생산에너지/총에너지로 정의한다.

□ 자가 발전 확대로 서비스 부문의 2050년 전기 구매는 REF 대비 감소

서비스 부문의 2050년 전기 수요는 EOE에서 226.5 TWh, EEI에서 224.1 TWh로 전망되어 REF에서 224.7 TWh와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 서비스 부문이 이미 전력의존도가 높아 추가적인 전기화의 여지가 타 부문 대비 크지 않은 것과 관련이 있다. 탄소중립을 위해 정책이 강화되면서 건물 단열을 비롯하여 전기 사용 기기 및 설비의 효율 개선을 통해 전기 수요는 2050년 기준 약 38~45 TWh가 감축된다. 반면, 히트펌프를 비롯하여 기존 연료의 전기화를 통해 늘어나는 전기 수요는 약 39~45 TWh로 전망된다. 결국 탄소중립 목표 달성은 서비스 부문의 전기 수요에 큰 영향을 주지 않을 것을 예상된다.

그림 3.37 서비스 부문 요인별 전기수요 변화



주: 효율개선은 기존 기술의 효율개선, 기술대체는 히트펌프 가동을 위한 전기소비, 전기화는 기존 연료의 대체를 의미하며, 전기수요 중 패턴 부분은 자가발전을 의미

하지만, 전기의 최종 소비와 달리 서비스 부문의 전기 구매는 탄소중립 정책 추진으로 인해 감소한다. 즉, EEI와 EOE에서 자가발전 태양광 패널 보급이 확대되면서 약 19~24 TWh의 전기를 건물 자체에서 생산한다. 이는 전기화로 인한 수요 증가의 45~64% 정도를 대체할 수 있는 수준이다. 자가발전의 증가로 서비스 부문의 전기 구매는 2050년 EOE에서 202.6 TWh, EEI에서 204.8 TWh 수준이 될 전망이다.

7. 발전/열생산 부문

7.1. 수소 수요 및 공급

□ 온실가스 감축을 위한 수소 수요의 증가

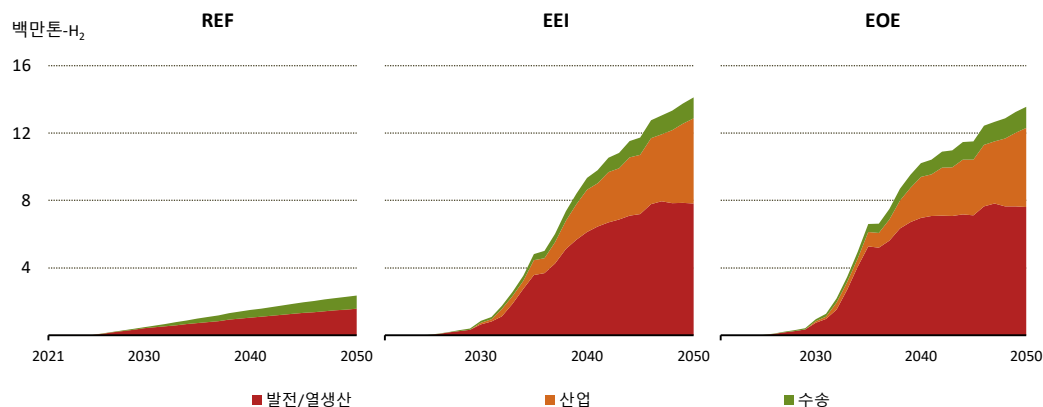
탄소중립의 경로를 달성하기 위해서는 에너지 효율 개선과 전기화, 그리고 발전/열생산 부문의 탈탄소화가 핵심적이다. 이 과정에서, 특히 2030년 이후 장기적인 미래의 탄소중립 경로에서는 수소가 중요한 역할을 할 것이며, 수소는 단순히 하나의 에너지상품이 아니라 수소 경제라는 에너지 및 경제 시스템의 변화를 가져올 것으로 예상된다.⁸⁵ 수소와 전기는 상호 전환되면서 섹터커플링이라는 에너지시스템 구현의 핵심 요소로 거론되고 있다. 최종소비 부문의 대표적인 수소 수요 기술은 수소환원제철과 수소자동차이다. 수소자동차는 이미 시장에서 판매되고 있지만, 수소환원제철은 2040년 이후 상용화를 목표로 기술 개발 투자를 하고 있다. 이 외에도 수소를 직접 연료로 사용하는 방법, 수소와 포집 탄소를 이용하여 합성 납사를 제조하는 기술 등 다양한 방안이 제시되고 있다.⁸⁶ 발전 부문에서는 수소 연료전지가 이미 사용 가능한 기술로 존재한다. 가까운 미래에 실현할 수 있는 방법으로 수소를 가스에 50%를 혼합하거나 암모니아를 석탄에 20% 혼합하는 방안이 제시되고 있다. 수소 혼소는 2030년까지 기존 150/250 MW급 발전기에 대한 실증을 마치고 2035년부터 상용화할 계획이다 (산업통상자원부, 2021). 암모니아 혼소는 2027년까지 석탄화력 발전기 4기에 대해 실증을 진행하고 2030년에는 남아있는 석탄화력 발전기 43기 중 24기에 적용할 계획이다 (관계부처 합동, 2021). 발전 부문의 미래 수소 기술로는 수소터빈 복합발전이 있다. 수소터빈 복합발전은 2040년까지 기술 개발 및 실증을 마치고 시장에 보급할 계획이다 (산업통상자원부, 2021).

REF에서는 수소 수요는 2050년까지 2.4백만톤-H₂로 증가한다. 반면, 철강업의 수소환원제철부터 발전 부문의 수소터빈에 이르기까지 미래 수소 기술이 계획된 일정대로 도입되면 수소 수요는 2050년 약 13.6~14.1백만톤-H₂까지 늘어나는 것으로 분석된다. 탄소중립 경로에서는 최종소비 부문의 수요가 수소 수요 증가의 45% 이상을 차지한다. 새로운 수소 수요는 주로 산업 부문에서 발생하며, 산업 부문은 2050년에 수소의 30% 이상인 4.3~4.5백만톤-H₂를 사용할 전망이다. 최종소비 부문의 나머지는 수송용 수요이다.

⁸⁵ 석유 정제의 탈황 공정이나 철강의 냉연 공정, 반도체용 불화수소 등 산업 생산 공정에 사용되는 수소는 에너지 또는 온실가스 감축 목적의 에너지상품이 아니기 때문에 에너지 분석에서는 제외한다. 본 전망에서의 수소 수요는 수소환원제철용 수소를 비롯하여 기존의 에너지상품을 대체하거나 온실가스 배출을 줄이기 위해 도입되는 새로운 수소 수요만을 대상으로 한다.

⁸⁶ 본 보고서에서는 도시가스에 수소를 혼합하는 방법이나 직접 연료로 사용하는 방법은 분석에서 제외하고 있다.

그림 3.38 시나리오별 수소 수요 전망



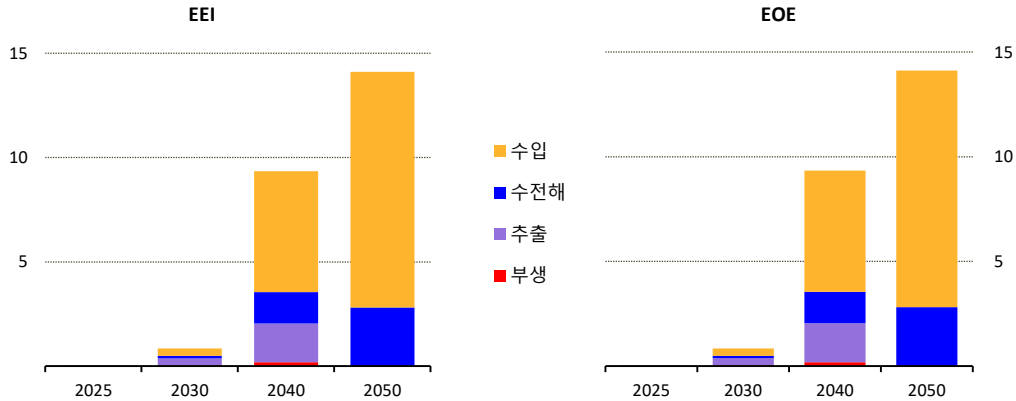
주: 암모니아 혼소 제외

최종소비 부문의 수소 수요는 EEI나 EOE에서 2050년이나 2050년에 이르는 경로의 차이가 크지 않다. 산업용의 경우 대부분 수소환원제철의 도입으로 증가한다. 그 외에는 화학업종의 합성납사 제조용 수소 수요와 시멘트의 킬른가열용 수소 수요를 가정하고 있다. 수송 부문은 연료전지 자동차의 보급이 확대되는 것으로, 주로 화물차와 승합차를 중심으로 증가한다. 하지만, 발전 부문의 수소 수요는 가스의 발전량 전망에 따라 2050년에 이르는 경로가 크게 달라진다. 가스 발전량의 전망 차이는 결국 전기 수요 전망의 차이에서 비롯한다. 그림 3.38을 보면, 2040년대 중반 이후 수소 수요는 거의 유사하지만, 2045년까지 수소 수요는 시나리오 사이에 차이가 발생하며, 대부분 혼소용 수소 수요가 다른 것을 알 수 있다. 수소 혼소는 2023년부터 실증 사업에 들어가 2035년 전체 설비에 적용하는 것을 목표로 하고 있다. 이로 인해 2035년 혼소용 수소 수요는 EEI에서 2.9백만톤-H₂까지 증가하고, EOE에서는 4.6백만톤-H₂까지 증가한다. 2040년 이후에는 수소터빈의 도입과 재생에너지 발전의 증가로 가스 발전의 수소 수요는 감소한다.

□ 수소의 수입과 국내 생산

수소는 국내 생산과 수입으로 공급한다. 수소 생산에는 기존 기술로 부생가스나 천연가스 개질(SMR, Steam Methane Reforming)을 이용한 추출과 미래 기술인 수전해를 이용한 생산이 있다. 정부는 재생에너지와 연계한 100 MW 급 그린 수소 생산 기술을 확보하고 (산업통상자원부, 2021), 2050년까지 국내 생산 수소의 100%를 그린 수소로 생산할 계획이다(관계부처 합동, 2021). 하지만, 탄소중립의 과정에서는 수소 공급의 80%를 수입으로 충당하며, 수입 수소도 국내 자본과 기술을 투자해 생산한 청정 수소를 수입할 계획이다.

그림 3.39 시나리오별 수소 공급 (백만톤-H₂)



단기적으로는 신규 수소 수요를 기존의 부생수소나 추출수소 생산 설비 가동률을 높여서 대응한다. 수전해를 이용한 상업용 수소 생산은 2030년 이후에 적용되는 것을 가정하고 있다. 2030년까지 늘어나는 수소 수요는 추출수소가 40%, 수입이 42%를 공급한다. 2030년 이후는 수소 수요의 급증을 대부분 수입으로 공급하는 가운데, 국내 생산에서는 수전해의 비중을 점차 늘리고 추출수소와 부생수소는 축소할 계획이다.⁸⁷ 이에 따라, 2040년에는 수소 수요의 62%를 수입으로 공급하고 약 2백만톤-H₂는 추출 그리고 1.5백만톤-H₂ 가량은 수전해로 생산한다. 2050년에는 80%인 약 11백만톤-H₂를 수입하고 수전해로 2.7~2.8백만톤-H₂를 생산한다. 따라서 2040년대 이전 수소 수요의 증가는 가스 수요의 증가를 초래하고, 이후의 수소 증가는 전기 수요를 증가시킨다. 수전해로 수소를 생산하기 위해서는 2050년 약 169~176 TWh의 전기가 필요한 것으로 계산된다.

7.2. 전기 수요

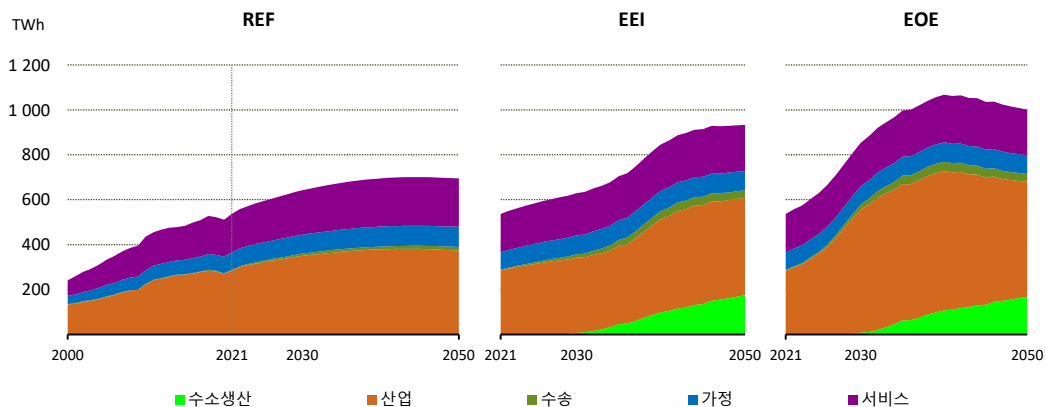
□ 탄소중립이 전기 수요에 미치는 영향

에너지 소비 측면에서 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오안’의 핵심은 최종소비 부문의 효율 향상과 전력화, 그리고 수소 경제로의 전환에 있다. 기본적인 온실가스 감축 노력과 함께 경제의 디지털화로 REF에서도 전기 수요는 빠르게 증가하지만, 온실가스 감축 정책이 본격적으로 추진되면서 전기 수요는 급격히 증가한다. EEI에서는 전기 수요가 2021년 569.9

⁸⁷ ‘에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, 2021)’은 2050년 그린수소 3백만톤-H₂, 블루수소 2백만톤-H₂를 생산하는 것을 목표로 하고 있다. ‘2022 장기 에너지 전망’은 2050년 수소 생산 전체를 그린수소로 생산하는 것으로 가정한다.

TWh에서 2030년 약 672 TWh, 2050년은 1,001 TWh로 증가한다. 한편, 최종소비 부문의 전기 화를 더욱 강화하는 EOE에서는 전기 수요가 2030년 약 903 TWh, 2050년 1,085 TWh로 늘어난다. 전기 수요의 증가와 더불어 자가발전을 확대하기 위한 노력과 지원이 계속되면서 최종소비 부문의 재생에너지 자가발전량도 빠르게 증가한다. 하지만 산업 부문의 경우 자가발전의 증가 속도가 전기 수요 증가 속도에 미치지 못하면서 자가발전 비율은 하락한다. 산업 부문의 자가 발전 증가가 더딘 것은 철강업의 부생가스 발전이 감소하는 영향이 크다. 철강은 수소환원제철로 공법을 전환하면서 기존 석탄 부생가스를 이용한 자가발전이나 열원 이용이 제약된다. 수소환원제철에 필요한 전기 및 열의 공급 방식은 발전/열생산 부문에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 계통을 통한 전기 판매는 시나리오에 따라 2030년 634~858 TWh, 2050년은 933~1,002 TWh로 증가한다.

그림 3.40 시나리오별 전기 판매 전망 비교



탄소중립 과정에서 전기 수요 증가의 1/3에서 최대 절반 가량은 산업 부문에서 증가할 것으로 분석된다. 산업구조의 변화에도 불구하고 철강업의 전기 수요가 전망기간 57 TWh로 가장 크게 증가하는데, 이는 전기로 생산 비중 증가와 함께 수소환원제철의 도입으로 전기 소비가 크게 증가하기 때문이다. 철강에 이어 화학이 48 TWh가 증가하여 두 업종의 전기 수요 증가가 산업 부문 전기 수요 증가의 절반 가량을 차지한다. 반면, 전기 소비 비중이 높은 기계류나 수송장비는 효율 개선의 효과가 크기 때문에 전기 수요가 감소할 전망이다.

국내 수소 생산이 빠르게 증가하면서 수전해 수소 생산을 위한 전기 수요도 급격하게 증가한다. 앞서 살펴본 것처럼, 수소 수요는 수송 부문의 연료전지차 보급 속도와 발전/열생산 부문의 가스 발전량에 따라 달라진다. 시나리오 간 차이는 그다지 크지 않아서 2030년 수소 생산을 위한 전기는 2030년 12~13 TWh, 2050년은 169~176 TWh가 필요할 것으로 분석된다.

수송 부문의 경우 내연기관 자동차의 판매금지를 조기에 실시하는 EOE에서 초반 전기 수요가 빠르게 증가하지만 2050년은 두 시나리오 모두 내연기관 자동차가 시장에서 퇴출되면서 전기 수요가 비슷한 수준에 도달한다. 전기 수요의 차이는 배터리 전기차와 연료전지 전기차의 비중에 따라 약간 차이가 나면서 약 34 TWh 내외의 전기가 수송 부문에서 사용될 것으로 예상된다.

건물 부문은 난방의 전기화가 핵심이다. 기존 전망과 달리 히트펌프를 주택을 비롯한 건물 부문의 온실가스 배출 주요 감축 수단으로 가정하면서 전망 결과가 다소 변경되었다. 제로 에너지건물의 기준 강화와 그린 리모델링으로 단열 수준이 향상되면서 난방용 에너지 수요의 증가는 억제되지만, 히트펌프의 도입으로 전기 수요는 크게 증가한다. 여기에 재생에너지 자가발전이 건물 부문의 최종 에너지상품 소비에 큰 영향을 미치는 것으로 분석된다. 즉, 자가 태양광 설치가 폭발적으로 늘어나면서 전기의 구매 증가를 억제하는 반면, 재생에너지 수요는 크게 증가한다. 이는 특히 EOE의 가정 부문 에너지상품 수요가 REF의 가정 부문 에너지상품 수요보다 증가하게 만드는 요인이 된다.

글상자 3.4 '제10차 전력수급기본계획'의 전기 수요 전망

‘제10차 전기본’은 전기수요 전망 대상을 기존의 ‘전력시장’에서 ‘전력계통’으로 확대하였다. 또한 기존 모형의 결과에 전기화 수요와 데이터 센터 영향을 합산하여 기준 수요라고 정의함으로써 수요관리 정책 적용 전후를 기준으로 기준 수요와 목표 수요를 구분하였다. ‘제10차 전기본’의 기준 수요는 본 전망의 REF와는 의미와 범위가 다르기 때문에 직접 비교할 수 없으며, 목표 수요와 본 전망의 EEI 또는 EOE의 비교가 타당하다. 여기서는 ‘제10차 전기본’의 보고서를 바탕으로 수요의 개념과 방법 비교를 통해 전망 결과를 간접적으로 비교한다.

‘제10차 전기본’의 모형 결과는 기존과 동일한 방법으로 도출한 전력패널모형의 결과를 의미한다. ‘제10차 전기본’은 모형 결과에 GCAM-KAIST 모형을 이용한 전기화 수요와 사업자 의향을 반영한 데이터 센터 영향을 추가하였다. 2030년 기준 전력패널모형 결과는 ‘제9차 전기본’에서는 620.2 TWh, ‘제10차 전기본’에서는 603.3 TWh가 도출되었다. 전제인 경제성장률이 연평균 2.06%(20~34년)에서 1.77%(22~36년)로 낮아진 것을 감안하면, 전력패널모형의 전기 수요 증가율도 비슷한 수준으로 하락한 것으로 판단된다. 반면, 전력패널모형 결과에 포함되지 않는 전기화, 즉 탄소감축 정책으로 인한 추가 전기 수요에 대해서는 ‘제9차 전기본’이 전기차만 별도로 추가한 것에 비해 ‘제10차 전기본’은 온실가스 배출 경로 시뮬레이션 모형인 GCAM-KAIST 모형의 결과를 반영하였다. GCAM-KAIST 모형은 IPCC 시나리오 시뮬레이션에 사용되는 모형 중의 하나인 GCAM을 우리나라에 적용할 수 있게 개선한 모형이다. GCAM 모형은 부문별 감축 기술의 비용을 이용하여 비용경쟁에 따라 기술이 도입되면서 에너지 소비와 온실가스 배출의 경로를 전망한다. ‘제10차 전기본’의 최종 기준 수요는 2030년 637.6 TWh, 2036년 703.2 TWh로 전망되었다.

‘제10차 전기본’은 수요관리를 통해 2030년 572.8 TWh, 2050년 597.4 TWh로 줄이는 것을 목표로 설정하였다. 수요관리를 통한 전기 수요 감축은, ‘제9차 전기본’이 고효율기기, 효율관리, 스마트에너지관리

를 통해 2034년 기준 96.3 TWh를 절감하는 것을 제시했으며, ‘제10차 전기본’은 여기에 행동변화 등을 더해 2036년 기준 105.7 TWh를 절감할 계획이다. 전기본의 수요관리 절감량은 누적량이기 때문에 2036년까지 연간 평균 절감량은 약 7 TWh이며, 이는 2021년 현재 수송 부문(자동차만이 아닌 철도와 지하철을 모두 포함한) 전기 소비량의 두 배를 넘는 양이다. 또한 이는 기준 수요에 포함된 효율 개선 및 행동변화를 제외한 추가적인 절감량이다.

‘제10차 전기본’의 수요 전망 방법은 감축 정책의 범위를 전반적으로 확대하여 국가 온실가스 배출 목표에 따른 전기 수요를 전망한 점에서 의의가 있다. 하지만, 수요관리 정책과의 구별이 모호하다는 점이나, 정부의 실제 계획 또는 감축 수단을 반영하지는 않는다는 점, 그리고 전망의 불확실성으로 결과의 일부만 수요에 포함시켰다는 점 등은 전망의 한계로 남는다. 수요관리에 포함되는 고효율기기 등은 온실가스 감축 수단이며 화석 연료에서 전기기기로 대체할 경우 전기화에 포함된다. 데이터센터의 영향은 산업구조 전체에 포함된 것으로 전력패널모형 결과에 반영되어야 한다. 온실가스 감축 목표로 인해 정책 및 기술의 격변기가 예상되는 만큼 전기 수요를 전망하는데 고려해야 할 점이 크게 증가하고 어려워지고 있다. 전망 방법에 따라서 전망 결과도 의미있는 수준의 차이가 발생한다. 따라서 미래를 전망하는데 있어 다양한 시각과 방법을 비교 검토함으로써 분석의 수준을 개선할 필요가 있다.

□ 부문별 전기 수요 변화에 따른 부하 패턴의 변화

부문별 전기 수요의 상이한 변화와 더불어 DR을 비롯한 수요관리 수단의 강화, 비용을 반영한 실시간 가격 제도, 재생에너지 발전의 급속한 확대 등은 전기 수요만이 아니라 실시간 전기 수요의 패턴을 변화시킨다. 사업자 재생에너지 발전 확대에 의한 시간별 부하패턴의 변화는 뒤에서 설명하기로 하고, 여기서는 소비자의 전기 구매 변화로 인한 시간별 수요패턴의 변화를 살펴본다.⁸⁸

수요패턴은 여러 요인이 복합적으로 작용하여 변한다. 전기 소비 형태의 변화를 가져오는 대표적인 요인은 전기 자동차와 건물 난방용 전기 수요이다. 전기 자동차가 전력 계통 시스템에 미치는 영향은 전기를 충전하는 패턴과 사용하는 충전기 용량에 의해 결정된다. ‘2022 장기전망’에서는 휘발유 자동차와 월별 운행 행태가 동일하다는 가정 하에 완속 충전과 고속 충전 비중을 6:4, 완속 충전 중에서 거주지와 거주지+근무지 비중을 2:8로 가정한 충전 패턴 시나리오를 설정하였다.⁸⁹ 주택 난방용 전기는 보일러 같은 난방 설비를 의미한다. 기존 난방 설비는 심야전기 보일러가 있으며, 미래 난방 설비는 전기 히트펌프를 고려한다. 히트펌프의 사용은

⁸⁸ 시간별 패턴은 계통 측면에서 고려하는 것이기 때문에 자가발전을 제외한 전기 판매량을 기준으로 분석한다.

⁸⁹ 배터리 전기차의 충전 방식은 ‘2021 장기 에너지 전망’의 가정과 동일하다. 기존 연구에는 거주지 충전, 거주지와 근무지의 결합, 재생에너지 연계 전기 요금제를 이용한 스마트 충전 방식을 분석하거나 (Boßmann & Staffell, 2015), 밤 시간 고르게 충전하는 시나리오와 저녁 시간에 집중적으로 충전하는 시나리오를 비교한 경우도 (Andersen, et al., 2019) 있다.

가정용 심야전기 소비 패턴과 동일하다고 가정하였다.⁹⁰ 한편, 재생에너지 자가발전의 보급 확대는 소비 패턴의 변화를 더욱 증폭시킨다. 특히, 태양광 자가발전의 비중이 크게 증가하는 가정 부문은 전기 소비가 적은 낮 시간대 부하를 더욱 낮추면서 일일 부하 차이를 더욱 확대시킬 것이다. 또한, 본 시나리오 분석에서는 반영하지 못했지만, 산업 부문, 특히 철강업의 전기 소비 패턴 변화가 미래 부하패턴에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 철강업은 부생가스 자가발전의 양이 크기 때문에 야간과 주간의 전기 구매 차이가 크다. 기존 수소환원제철로의 변경은 부생가스 자가발전의 감소를 의미하고, 재생에너지 자가발전을 증가시킨다 하더라도 기존 전기 구매 패턴은 바뀔 수밖에 없다.

REF에서는 계통 최대수요가 2021년 91.1 GW에서 2030년 108.8 GW, 2050년 118.4 GW로 상승한다.⁹¹ 반면, EEI에서는 2030년 106.1 GW, 2050년 148.8 GW로 증가하고, EOE는 2030년 139.3 GW 2050년에는 158.0 GW로 증가한다. 모든 시나리오에서 공통적으로 나타나는 현상은 2040년대 계통 최대수요가 정점에 도달한 후 감소하는 모습을 보인다는 것이다. 이는 제2장에서 설명했듯이, 경제성장률의 하락으로 전기 수요가 감소하기 때문이다. 하지만 효율 개선 속도와 전기화의 정도에 따라 최대수요 정점의 시기는 달라진다. REF에서는 2045년부터 전기 판매량의 감소하면서 동시에 최대수요도 하락한다. 이는 EOE에서도 동일하게 나타나며, EOE의 최대수요 하락은 2040년부터 시작한다. 반면, EEI의 경우에는 전기 판매가 2050년까지 꾸준히 증가하지만 최대수요는 2040년대 중반부터 하락하는 것으로 분석되었다. 이는 그 시기부터 산업 부문의 전기 수요가 감소하기 때문인데, 특히 철강업의 감소가 결정적인 역할을 하는 것으로 파악된다.

□ 부문별 전기 수요 변화로 인한 지역별 전기 수요의 변화

전기 수요 증가가 탄소중립 경로의 특징 중에 하나이고, 탄소중립에 대응한 전력계통의 준비와 발전 설비 입지 결정을 위해서는 지역별 전기 수요의 변화를 분석할 필요가 있다. 전기 소비 구성의 특징이 지역별로 다르기 때문에 업종별 전기 판매의 변화는 지역별 전기 판매 전망에 큰 영향을 미친다. 특히 관심을 가져야 하는 것은 탄소 감축 정책으로 인한 전기 판매량의 변화가 지역에 미치는 영향이다.

⁹⁰ 기존 심야전기 소비 패턴은 심야전기 요금제를 도입과 관련이 있다. 재생에너지 발전이 확대되고 비용 반영 실시간 요금제가 실시되면 심야요금제의 의미가 사라지고, 보일러의 전기 소비 행태는 달라질 것이다.

⁹¹ 계통 최대수요는 송전망과 배전망에 접속하는 모든 발전 설비의 최대부하를 의미한다. ‘2021 장기 전망’에서는 발전 부하로 정의하였다. 계통 최대수요는 전기 총 판매와 송배전 손실을 합한 시간별 수요의 최대이고, 공급 측면에서는 소내소비를 합한 발전설비의 최대부하이다. 판매 수요와 계통 수요의 차이는 송배전 손실 외에도 수소 생산용 전기 수요의 포함 여부가 있다. 수소 생산은 석유정제와 달리 발전 부문과 상호 영향을 미치게 된다. 수소 수요가 증가하면서 수소생산의 조정을 통한 전기의 수요관리가 중요한 부하관리 수단으로 등장한다.

그림 3.41 지역별 전기 판매 전망 비교 (단위: TWh)

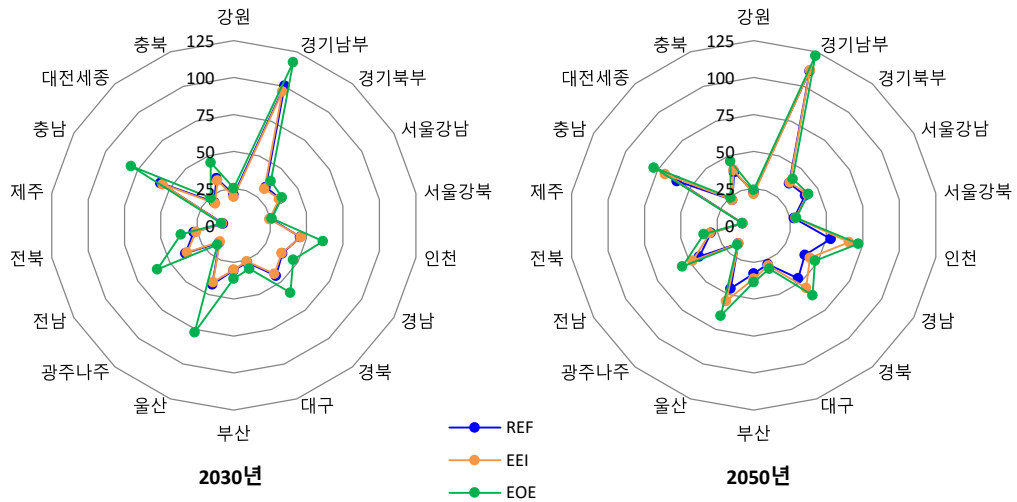


그림 3.42 요인별 전기 판매 변화 비교 (단위: TWh)

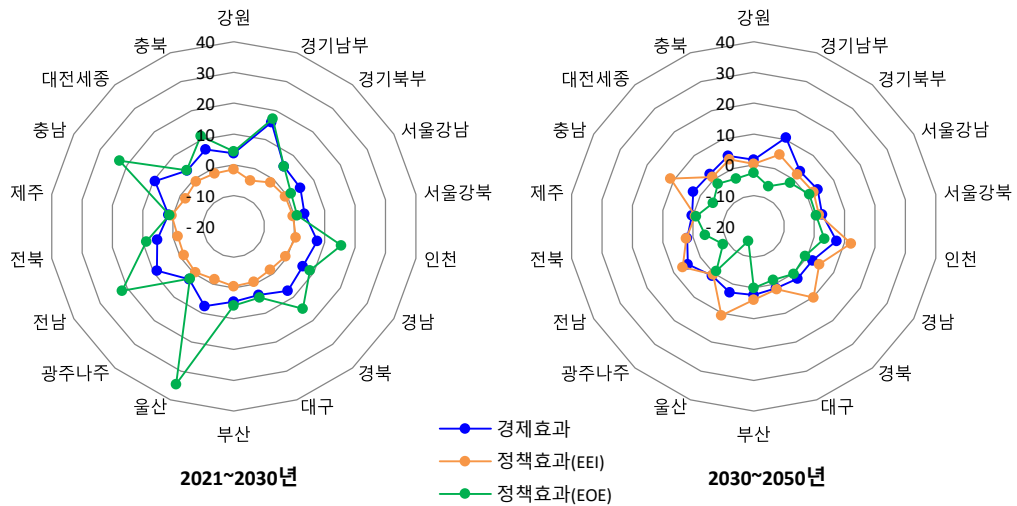


그림 3.41는 전국 18개 지역의 2030년과 2050년 전기 판매량을 보여준다.⁹² 그림 3.42는 전기 판매량의 변화를 요인별로 구분하여 보여주고 있다. 그림 3.42에서 경제효과는 전제로 인한 전기 수요의 변화, 정책 효과는 효율 개선 및 전기화로 인한 전기 수요의 변화를 의미한다.

⁹² 지역별 전기 수요는 지역 구분을 어떻게 하는가에 따라 달라진다. 세분화할수록 복잡하고 변화가 심하며 불확실성이 커진다. 여기서는 행정 구역과 한국전력의 지역 전력본부 등을 고려하여 41개 지역으로 세분화하여 분석하고, 결과는 18개 지역으로 구분하여 보여준다.

우리나라는 전통적으로 인구와 산업이 밀집한 수도권 지역의 전기 판매량이 많고 산업단지가 적은 농촌 지역의 전기 판매량이 적으며, 그 차이도 매우 크다. 이러한 경향이 미래에도 계속 유지되면서 REF에서는 경기남부, 충남, 인천, 경북, 울산, 전남의 순으로 전기 판매가 증가한다. 경기남부는 수원을 비롯하여 첨단 기계류 사업장이 많고 거주 인구도 많이 때문에 압도적으로 전기 판매량이 많은 지역이다. 경북은 포항 제철소를 비롯하여 구미공단 등의 전기 소비가 많으며, 전남은 여수 화학공단의 전기 소비가 많은 비중을 차지한다.

전기화 수단이 더 큰 영향을 미치는 EOE는 2030년까지 전기 판매량이 크게 증가하고, 특히 산업 부문의 증가는 울산, 충남, 전남의 증가를 두드러지게 만든다. 반면 EEI는 전기화로 인한 수요 증가와 효율 개선으로 인한 수요 감소가 상쇄되면서 2030년 전기 판매가 REF와 거의 동일하다. 다만, 기계류와 기타 제조업이 밀집된 경기남부의 전기 소비는 효율 개선 효과가 더 크게 나타난다. 2030년에서 2050년까지는 효율 개선이 상당히 진행되면서 EEI의 전기화 효과로 인해 전기 판매가 증가하는 것이 특징이다. 전망 전반기 EOE처럼, 울산, 충남, 전남의 전기 판매가 증가하고, 여기에 인천과 경북의 전기 판매도 빠르게 증가한다. 반면 EOE는 상당히 진행된 전기화 상태에서 효율 개선 효과가 나타나면서 전기 판매가 감소한다. EOE의 2030~2050년 정책 효과로 인한 전기 판매 감소는 울산, 전남, 경기남부가 대표적이다.

경기남부, 충남, 인천은 2021년도도 그렇고 2050년에도 여전히 전기 판매의 상위 세 개 지역 순위를 유지한다. 서울강남과 경남은 순위가 하락하며, 그 자리를 전남이 대체한다. 2050년 지역별 전기 판매 순위는 시나리오 간 변화가 크지 않다. 다소 변화가 있긴 하지만 분석 결과는 이러한 경향을 탄소중립 경로 내내 보여준다. 하지만 순위간 격차는 더욱 확대되며, 지역을 좀 더 세분화해서 보면 순위의 변화도 많이 나타난다.

7.3. 발전/열생산 부문의 에너지 수요와 온실가스 배출

□ 발전/열생산 부문의 온실가스 배출 감축 정책

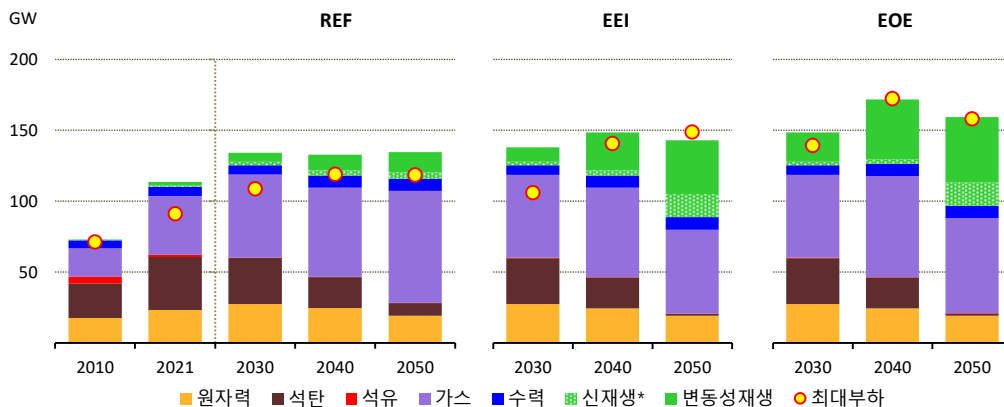
발전/열생산 부문은 REF와 마찬가지로 ‘제10차 전기본’의 석탄 발전소 폐지와 원자력의 계속 운전 허용 및 건설을 가정하고 있다. 하지만 최종소비 부문의 온실가스 배출 감축 정책으로 인해 전기 수요가 크게 달라지면서 재생에너지 발전의 확대와 수소 기반 발전의 연료 전환을 대폭 강화한다. 발전/열생산 부문의 감축 수단은 ‘2030 NDC 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)’, ‘2050 탄소중립 시나리오안 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’, ‘에너지 탄소중립 혁신 전략 (관계부처 합동, 2021)’, ‘탄소중립 산업·에너지 R&D 전략 (산업통상자원부, 2021)’ 등을 참고하였다.

EEI와 EOE는 재생에너지 발전 비중을 제외하고 동일한 적용 원칙을 가정한다. 주요 온실가스 감축 수단의 일정은 그림 3.43에서 보여준다. 재생에너지 발전 비중은 EEI의 경우 2030년 20%, 2050년 65%이며, EOE는 2030년 30%, 2050년 65%로 설정하였다. 이는 그린 수소 및 RE100 등 재생에너지 발전에 대한 수요를 고려한 하한의 성격을 갖고 있다. 예에 대해서는 뒤에서 다시 살펴본다. 한편, 석탄 발전기의 폐지와 원자력의 설비의 계속 운전 및 신규 계통 진입을 제외하면 대부분의 감축 수단이 비중으로 설정되어 있다. 따라서 동일한 감축 강도라고 하더라도 전기 수요에 따라 발전량과 온실가스 배출량이 달라진다.

□ 발전 설비⁹³와 발전량

EEI의 발전 설비는 2030년 137.9 GW, 2050년 143.0 GW 규모이며, EOE에서는 2030년 148.4 GW, 2050년 159.3 GW로 늘어난다. 설비의 증가는 계통 최대수요에 비례한다. 본 전망에서 계통 최대수요는 앞서 살펴본 것처럼 2050년 148.8 GW(EEI)에서 158.0 GW(EOE) 수준으로 전망된다. 각 시나리오에서 최대 용량은 154 GW(EEI, 2036년)과 172 GW(EOE, 2042년)이다. ‘제9차 전기본’은 2036년 목표 수요 118.0 GW에 설비 예비율을 26% 수준으로 설정하여 목표 설비 용량을 143.9 GW로 계산하였다. 그림 3.44에서 EEI나 EOE의 계통 최대부하(수요)는 설비 규모를 초과한다. 이는 설비의 과부족 현상이 아니라 변동성 재생에너지 확대와 동반하여 증가하는 에너지저장장치의 설비 규모가 제외되었기 때문이다. 에너지저장장치를 고려할 경우 발전 설비는 계통 최대부하를 충분히 감당할 수 있는 것으로 판단된다.

그림 3.44 시나리오별 발전설비와 최대부하 전망

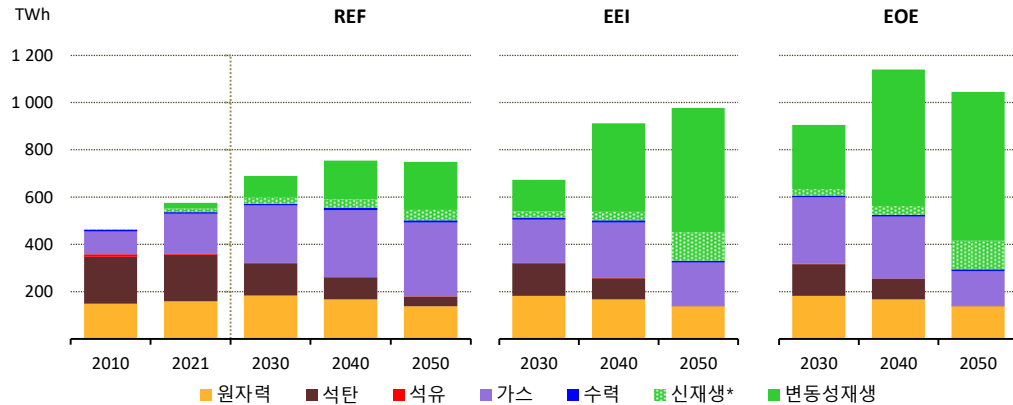


주: 신재생에너지는 실효용량 기준이며 에너지저장장치는 제외

* 수소터빈, 연료전지, IGCC 및 기타 급전가능 재생에너지 발전

⁹³ 실효용량을 기준으로 설명한다.

그림 3.45 설비별 발전량 전망



주: 수소 및 암모니아 혼소는 각각 가스와 석탄 발전량으로 분류

* 수소터빈, 연료전지, IGCC 및 기타 급전가능 재생에너지 발전

발전 설비의 변화의 특징은 석탄 설비의 비중이 큰 폭으로 축소되고 신재생에너지 설비의 비중이 빠르게 확대되는 것이다. 또한 전기의 안정적 공급과 전력 시스템의 안정성을 위해 가스 발전 설비가 상당한 수준으로 남게 된다. REF와 다른 점은 석탄 발전설비는 2050년 이후 생존 설비를 2050년 이전에 조기 폐쇄하는 가정을 하고 있다. 석탄 발전설비는 2030년 32.4 GW, 2050년 1.5 GW로 감소한다. 원자력 발전설비는 신규 건설 설비와 계속운전 허용으로 인해 2030년 23.3 GW로 증가하지만, 이후에는 1차 계속운전의 종료가 도래하면서 2050년 19.2 GW로 감소한다. 발전설비 감소와 함께 석탄과 원자력의 발전량 비중도 감소한다. 발전/열생산 부문 온실가스 배출 감축의 핵심인 석탄 발전의 폐지로 인해 석탄은 2050년 발전/열생산 부문에서 거의 제거될 예정이다. 원자력의 경우 2021년 27.4%, 2050년은 13~14%로 감소한다. 하지만 발전량의 전망 경로가 다르기 때문에 2030년은 EEI의 경우 27.1% 수준을 유지하다 그 이후 감소하며, EOE는 2030년 20.2%로 빠르게 감소한다.

가스 발전설비는 2030년 58.5 GW에서 2050년에는 EEI가 59 GW, EOE는 67.0 GW로 전망된다. 2030년의 가스 발전설비는 '제10차 전기본'의 제약을 받지만, 그 이후는 재생에너지 발전 설비의 보급과 전기 판매 전망에 따라 변하게 된다. 가스 발전은 2030년대 이전의 빠른 전기 수요 증가에 대응할 수 있는 가장 강력한 수단이고, 수소 터빈 도입 이전까지 전기 공급과 시스템 관성을 유지하는 역할을 담당해야 한다. 또한, 탄소중립의 시기에도 에너지시스템의 안보를 위한 예비 시설로써 역할을 맡을 수도 있다. 가스 발전량은 전기 수요 증가와 함께 증가하다가 2040년대 들어서 수소 터빈의 확대와 함께 발전량이 감소한다. 가스 발전은 발전량 증가에도 불구하고 수소 혼소가 확대되면서 온실가스 배출의 증가는 억제될 것이다.

목표 시나리오에서는 수소 터빈이라는 미래 기술이 도입된다.⁹⁴ 수소 터빈은 2040년 이전 실증을 마치고 2040년부터 본격적으로 운영하는 것을 가정하고 있다. EEI와 EOE에서 2050년 수소 터빈 설비 규모는 12.2 GW로 전망하고 있지만, 수소 터빈의 규모는 경제성을 제외하더라도 기술개발 여부와 가스 발전 설비의 잔존 규모에 달려있다. 수소가 적절한 가격에 원활하게 공급된다면 가스 발전 설비를 대부분 교체할 수도 있을 것이다. 이럴 경우 가스 발전에 적용하고 있는 수소 혼소와 가스발전의 CCUS는 급격히 축소된다.

태양광과 풍력 등 변동성 재생에너지 발전 설비는 정격용량 기준으로 2021년 20.5 GW에서 EEI는 2030년 104 GW 2050년 408 GW로 증가하고, EOE는 2030년 211 GW 2050년 497 GW로 급격하게 증가할 전망이다. 본 분석은 재생에너지 필요 발전량을 먼저 구한 후 재생에너지 설비 이용률을 이용하여 도출한 결과이다. 따라서 재생에너지 발전설비의 기술 개선은 필요 설비 규모를 줄이게 된다. 재생에너지 발전량은 EEI에서 2030년 161 TWh, 2050년 644 TWh로 증가한다. 사업자 총발전에서 재생에너지 발전이 차지하는 비중은 2030년 24%를 거쳐 2050년은 66%로 확대되는 것이다. EOE에서는 2030년과 2050년 각각 298 TWh와 749 TWh로 상승한다.

재생에너지 발전량은 온실가스 감축 목표 외에도 그린 수소와 RE100에 따른 필요량을 고려하여 분석하고 있다. 전력거래소 내부 자료에 따르면 2020년을 기준으로 약 230개의 기업이 RE100에 가입할 수 있는 기준에 해당한다.⁹⁵ 이들의 2020년 전기소비는 약 164 TWh로, 이는 산업과 서비스 부문 전기 소비의 약 44%에 해당한다.⁹⁶ 2020년의 비중이 그대로 유지된다 고 하면 2030년 기준 RE100 가입 잠재 대상 기업을 위한 재생에너지 발전 공급량은 약 133 TWh 수준이 되어야 한다. 2050년에는 272 TWh 규모로 증가하고, 여기에 그린 수소 생산을 위한 수요 176 TWh를 더하면 약 447 TWh의 재생에너지 발전량이 필요하다. EOE에서는 그 규모가 2030년 184 TWh, 2050년은 472 TWh로 증가한다. 이는 개별 기업의 성장으로 인한 잠재 대상 기업의 확대와 글로벌 기업의 요구를 반영하지 않은 최소 수준이라고 할 수 있다.

⁹⁴ 수소 혼소와 암모니아 혼소는 기존 가스 및 석탄 발전 설비의 연료에 혼소하는 것이므로 가스와 석탄 발전설비로 구분한다.

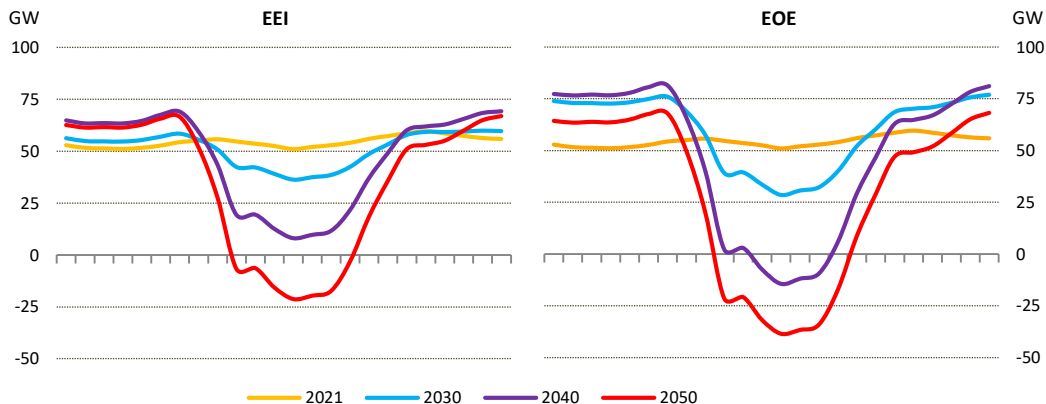
⁹⁵ RE100은 연간 전력 소비량이 0.1 TWh 이상인 주요 기업이 가입 대상이며, 사용 전력의 100%를 재생에너지로 조달하고 이를 위해 2030년 60%, 2040년 90%를 이행하는 것이 최소 요구사항이다. RE100은 바이오매스, 지열, 태양, 수력, 풍력에서 생산된 전기를 재생에너지로 인정한다. 2022년 6월 기준 전세계 378개 기업이 RE100에 가입하고 있으며, 우리나라는 삼성전자를 포함하여 27개 기업이 RE100에 가입하였다. 참여 기업의 수는 점점 증가하는 추세이다. 우리나라 기업의 RE100 달성 목표는 미래에셋이 2025년을 제시한 것이 가장 빠르며, 대부분은 2050년을 목표로 하고 있다. 또한, RE100에 추가하여 전체 공급망을 재생에너지로 100% 전환하는 목표를 가진 글로벌 기업은 해외 협력사의 RE100 달성을 요구하는 경우가 확대되고 있다. RE100에 대한 내용은 RE100협의체(<https://www.k-re100.or.kr/>) 등을 참고하기 바란다.

⁹⁶ RE100 가입 대상 기업이 제조업에 한정되는 것이 아니기 때문에 서비스 부문의 전기 소비를 같이 고려하였다. 정유, 발전, 교통, 항공, 공공 부문 등은 가입 제외 부문이다.

□ 재생에너지 발전 보급 확대에 따른 부하 패턴의 변화

재생에너지 중에서 변동성 재생에너지 발전이 총 사업자 발전에서 차지하는 비중은 2030년 EEI에서 20%, EOE는 30%이고, 2040년에는 각각 40%와 50%로 상승한다. 재생에너지 발전의 변동성을 고려하면 재생에너지 발전의 보급 확대는 2040년대부터 상시적으로 재생에너지의 초과 발전이 발생한다. 초과 발전량은 봄과 가을에 증가하고 여름과 겨울에 감소하는 특징이 있다. 다음 그림 3.46는 2050년 4월 예상되는 시스템 평균부하를 보여주고 있다. 시스템 평균부하는 시간별 평균 계통 수요에서 변동성 재생에너지의 시간별 평균 발전을 삭감한 수치로, 전력 시스템의 터빈 기반 발전기가 담당해야 하는 시간별 발전을 의미한다. 음의 시스템 평균 부하는 변동성 재생에너지의 평균 초과 발전을 나타내며, 연간 초과 발전량은 약 EEI에서 약 19 TWh로 연간 판매 전기의 933 TWh의 0.6%에 해당한다. EOE는 초과 발전량 추정치가 18.7 TWh로 연간 전기 판매의 1.9%에 이를 것으로 분석된다. 초과 발전량 추정 규모는 지난 '2021 장기 전망'에 비해 대폭 축소되었다. 이는 재생에너지 발전 비중 목표의 하향 조정으로 인한 결과이다. 실제 초과 발전량 규모는 계통 운용에서 원자력 및 필수 가동 발전기의 가동 여부 및 규모에 따라 달라질 수 있다.

그림 3.46 시나리오별 시스템 부하 전망 비교 (2050년 4월)

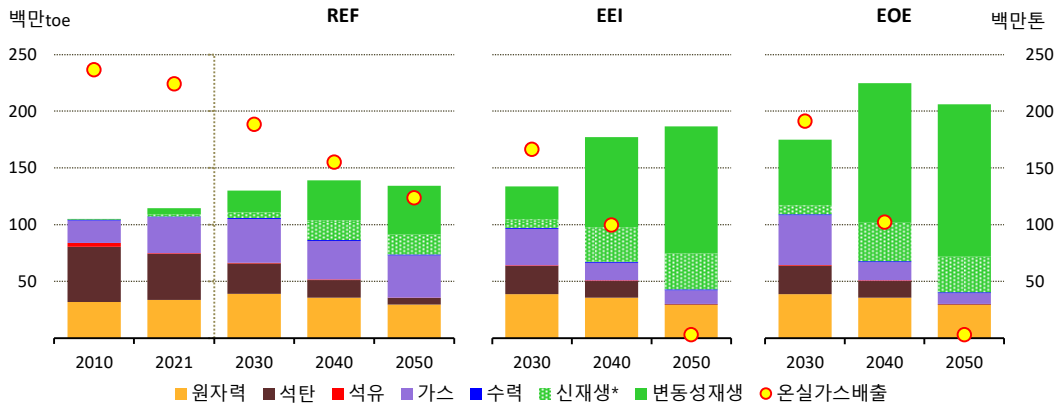


발전량 전망의 변동성 재생에너지 발전량은 출력 제한 후의 실 발전량을 의미한다. 따라서 재생에너지 발전량 목표를 달성하기 위해서는 변동성 재생에너지의 초과 발전을 저장하여 다시 전력 시스템에서 낭비없이 활용해야 한다. 이를 위해서는 수요 부문에서의 수요 부하 관리와 함께, 장주기 에너지저장장치의 확보가 필수적이다. 최소 에너지저장장치 규모는 2050년 EEI에서 최소 21.3 GW, EOE는 38.5 GW인 것으로 분석된다.

□ 발전/열생산 부문 에너지 수요와 온실가스 배출

발전/열생산 부문의 에너지상품 수요는 설비별 발전량에 의해 결정된다. REF에서는 발전/열생산 투입 에너지가 2021년에서 2050년 사이 17% 가량 증가하는데 반해, EEI는 63%, EOE는 80% 정도 증가한다. 전기 판매 증가에 비해 발전/열생산 부문의 에너지 투입의 증가가 작은 것은 열생산의 투입 에너지 감소가 원인이다. 사업자 열생산은 지역난방을 의미하며, 지역난방 수요는 히트펌프 보급 확대에 의해 감소한다. 발전 부문의 발전량 증가와 에너지 투입 증가를 비교하면 에너지 투입 증가가 더 빠르다. 이는 재생에너지 발전 비중의 확대가 영향을 미친다. 재생에너지 발전은 통계상 부분대체법을 사용하기 때문에 석탄 화력발전의 평균 전환 손실이 적용되며, 따라서 재생에너지 발전의 증가는 에너지 투입의 더 큰 증가를 의미한다.

그림 3.47 발전/열생산 부문 에너지 수요와 온실가스 배출 전망



* 수소 및 기타 급전가능 재생에너지

투입 에너지 증가에도 불구하고 발전/열생산 부문의 온실가스 배출은 급격하게 감소한다. EEI의 발전/열생산 온실가스 배출 경로가 2018년에서 2050년 탄소중립까지 선형 감축하는 경로를 따르는 반면, EOE는 그보다 많은 배출을 할 것으로 예상된다. 2030년 온실가스 배출은 EEI가 166.4백만톤-CO₂eq, EOE는 191.5백만톤-CO₂eq인 것으로 분석된다. 2030년까지 발전/열생산 부문의 온실가스 배출 감축은 전부 석탄 발전 감소에서 발생하며, 시나리오 간 배출량 차이는 가스의 배출량 차이이다. 2030년 발전/열생산 부문의 온실가스 감축 수준은 '2030 NDC' 목표에 미치지 못한다. 이는, 앞서 설명한 것처럼, 최종소비 부문의 온실가스 감축과 발전/열생산 부문의 온실가스 감축이 서로 상반된 작용을 하기 때문이다. 최종소비 부문의 온실가스 감축 목표 달성을 위해서는 효율 개선에 최대의 노력을 기울인다 하더라도 대규모의 전기화를 동시에 추진해야 한다. 2030년까지 발전/열생산 부문의 주요 감축 수단이 석탄 발전의 폐지 및

연료전환과 원자력의 활용 그리고 재생에너지 발전의 확대라는 전통적 수단만 존재하기 때문에, 전기 수요의 증가는 발전/열생산 부문의 온실가스 감축 목표를 조정할 필요가 있게 만든다. 한편, 2030년까지 전통적 감축 수단만 가능하다는 것은 최종소비 부문의 배출 감축 부담을 발전/열생산으로 이전하는데도 한계가 있다는 것을 의미한다. 즉, 발전 부문의 온실가스 배출 감축 목표 달성 여부를 단지 발전 부문만의 노력으로 한정하여 설정할 수 없으며, 국가 총 배출의 감축 목표와 수단을 고려하여 최적의 배출 감축 수단 패키지를 결정해야 한다.

2030년 이후 발전/열생산 부문의 온실가스 배출은 EEI나 EOE가 비슷한 모습을 보이고 있다. 2040년 EEI와 EOE의 온실가스 배출은 각각 99.8백만톤-CO₂eq와 102.3백만톤-CO₂eq이다. 2050년에는 두 시나리오 모두 3.1백만톤-CO₂eq를 배출한다. 2030년 이후는 가스 발전의 온실가스 배출 감축이 본격화된다. 2040년 이전에는 전체 가스 발전설비를 대상으로 한 수소 혼소가 핵심 역할을 하며, 2040년 이후에는 수소 터빈이 가스 터빈을 대체하는 것이 온실가스 배출을 감축하는 주요 수단이 된다. 수소 혼소와 수소 터빈 그리고 수소 연료전지를 통한 수소 수요는 2050년 7.6~7.8백만톤-H₂이다. 이는 발전/열생산 에너지 투입의 약 12~14%에 해당한다. 물론, 이는 재생에너지 발전의 급격한 확대를 전제로 하고 있다. 수소를 중심으로 한 신에너지와 재생에너지의 합계는 발전/열생산 부문 에너지 투입의 75~79% 수준이다.

재생에너지 발전은 발전/열생산 부문의 온실가스 배출 감축을 위한 가장 중요하고 큰 역할을 담당한다. 하지만, 본 전망의 재생에너지 발전 비중은 IEA 등을 비롯한 해외 우수 기관에서 전망하고 있는 탄소중립을 위한 재생에너지 발전 비중에 비해서는 낮은 편이다. 여기서는 수소 경제 및 RE100을 위한 최소 필요량과 전력 시스템의 안정적 전환을 고려하여 하한 성격의 재생에너지 발전 목표를 설정하였기 때문이다. 재생에너지 발전 확대는 기업들의 시장 경쟁력 확보와 유지를 위한 밑받침이 된다. 일반 기업의 RE100 참여를 보장하기 위해 국가 전력 시스템의 재생에너지화가 필요하며, 재생에너지 발전 설비를 보급하기 위한 국내 기술 확보와 생산 기업의 육성은 미래 에너지 시장에서 가장 큰 비중을 차지할 재생에너지 시장에서 우리나라가 생존하기 위해 반드시 필요하다.

부 록

1. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 – 기준 시나리오

주요 경제 지표 및 활동 수준 - 기준 시나리오(REF)

						비중 (%)		증가율 (%)	
	2000	2021	2030	2040	2050	2021	2050	00-21	21-50
인구 (백만명)	47.0	51.7	51.2	50.2	47.4	-	-	0.5	-0.3
가구 (백만가구)	14.5	21.3	23.2	23.9	22.8	-	-	1.8	0.3
국내총생산 (GDP, 조원)	904	1 916	2 258	2 548	2 705	-	-	3.6	1.2
주요 업종별 부가가치 (조원)									
농림어업	27	33	34	33	30	-	-	0.9	-0.3
광업	3	2	2	2	2	-	-	-1.9	-0.1
제조업	251	550	625	671	678	-	-	3.8	0.7
- 석유화학, 비금속, 1차철강	63	115	134	149	158	-	-	2.9	1.1
- 조립금속	98	325	372	402	405	-	-	5.9	0.8
SOC	88	131	137	136	130	-	-	1.9	0.0
서비스업	516	1 080	1 315	1 538	1 683	-	-	3.6	1.5
수입단가									
원유 (\$/bbl)	19	70	83	89	96	-	-	6.4	1.1
천연가스 (\$/톤)	174	568	607	584	589	-	-	5.8	0.1
유연탄 (\$/톤)	23	119	65	57	54	-	-	8.1	-2.7
에너지 지표									
국내생산 (백만 toe)	2	0	0	0	0	-	-	-6.2	-3.6
총에너지 수요 (백만 toe)	189	293	310	316	302	-	-	2.1	0.1
에너지원단위 (toe/백만원)	0.21	0.15	0.14	0.12	0.11	-	-	-1.5	-1.1
일인당에너지소비 (toe/인)	4.02	5.66	6.06	6.30	6.37	-	-	1.6	0.4
최종 소비 (백만 toe)	140	213	222	224	215	-	-	2.0	0.0
전기생산 (TWh)	293	615	732	800	796	-	-	3.6	0.9
일인당 전기생산 (MWh/인)	6	12	14	16	17	-	-	3.1	1.2
에너지부문 온실가스 지표									
온실가스 배출 (백만톤)	411	576	536	479	410	-	-	1.6	-1.2
배출원단위 (톤/백만원)	0.46	0.30	0.24	0.19	0.15	-	-	-2.0	-2.3
일인당 배출 (톤/인)	8.75	11.12	10.46	9.54	8.66	-	-	1.2	-0.9

주) 연쇄가중법에 의해 추계된 실질 부가가치는 비가법적 특성에 의해 총량(또는 상위부문)과 그 구성항목의 합이 일치하지 않을 수 있음.

SOC 부가가치는 전기·수도·가스 및 건설업 부가가치의 합계

서비스업 부가가치는 하위 구성항목 부가가치의 합계

에너지 수요 종합 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
총에너지	189	293	310	316	302	100	100	2.1	0.1
석탄	44	73	61	48	35	25	12	2.4	- 2.5
석유	97	112	105	97	87	38	29	0.7	- 0.9
가스	19	61	74	85	91	21	30	5.7	1.4
수력	1	1	1	1	1	0	0	- 2.0	1.0
원자력	27	34	39	36	30	12	10	1.0	- 0.4
신재생·기타	1	14	30	50	59	5	19	17.0	5.1
최종소비	140	213	222	224	215	100	100	2.0	0.0
석탄	21	32	34	32	29	15	14	2.0	- 0.3
석유	84	101	96	89	80	48	37	0.9	- 0.8
도시가스	13	25	27	30	30	12	14	3.4	0.6
전기	20	45	54	58	59	21	27	3.9	0.9
열에너지	1	3	3	3	3	1	1	3.9	0.0
신재생·기타	1	7	9	12	14	3	7	13.4	2.4
산업	80	131	141	145	144	61	67	2.4	0.3
수송	25	36	32	27	20	17	9	1.8	- 2.0
가정	16	23	22	22	20	11	9	1.6	- 0.4
서비스	19	24	27	30	30	11	14	1.1	0.9

최종소비 부문별·상품별 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
산업	80	131	141	145	144	100	100	2.4	0.3
석탄	21	32	34	32	29	24	20	2.1	-0.3
석유	44	62	62	62	61	47	43	1.6	0.0
도시가스	4	10	12	14	16	8	11	5.1	1.6
전기	11	23	29	31	31	18	22	3.6	1.0
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	0	4	5	6	7	3	5	52.6	1.4
수송	25	36	32	27	20	100	100	1.8	-2.0
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	-
석유	25	34	29	23	16	94	78	1.5	-2.6
도시가스	0	1	1	1	0	3	1	-	-6.9
전기	0	0	1	1	1	1	7	2.4	5.5
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	0	1	1	2	3	2	14	-	5.0
가정	16	23	22	22	20	100	100	1.6	-0.4
석탄	0	0	0	0	0	1	0	-3.9	-100.0
석유	4	2	1	1	1	9	3	-3.2	-3.6
도시가스	7	11	10	10	9	49	46	2.0	-0.6
전기	3	7	7	8	8	29	37	3.6	0.5
열에너지	1	2	2	2	2	10	10	3.4	-0.3
신재생·기타	0	1	1	1	1	3	3	10.1	0.6
서비스 (상업, 공공, 기타)	19	24	27	30	30	100	100	1.1	0.9
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-0.7	-1.5
석유	10	4	3	3	2	15	7	-4.9	-1.7
도시가스	2	3	4	5	5	14	17	2.9	1.4
전기	6	15	17	19	19	62	61	4.5	0.8
열에너지	0	0	1	1	1	2	2	7.0	1.2
신재생·기타	0	1	3	3	4	6	13	5.9	3.6

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 기준 시나리오(REF)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요 업종 산출액 (조원)	2000	2021	2030	2040	2050				
화학	126	288	374	471	558	-	-	4.0	2.3
비금속	19	43	51	57	59	-	-	3.9	1.1
1차철강	60	100	107	103	96	-	-	2.5	-0.1
금속, 기계, 전자, 정밀	173	729	863	969	1 002	-	-	7.1	1.1
운송장비	117	242	262	272	266	-	-	3.5	0.3
건설	167	247	267	274	271	-	-	1.9	0.3
주요 제품 생산량 (천톤)									
기초유분	16	34	35	37	38	-	-	3.6	0.3
조강	43	70	78	76	71	-	-	2.4	0.0
전로	25	48	53	52	49	-	-	3.2	0.0
전기로	18	22	24	23	22	-	-	0.9	0.0
시멘트	51	50	48	44	39	-	-	-0.1	-0.9
클링커	46	43	42	39	35	-	-	-0.2	-0.8
에너지 수요 (백만 toe)	80	131	141	145	144	100	100	2.4	0.3
석탄	21	32	34	32	29	24	20	2.1	-0.3
석유	44	62	62	62	61	47	43	1.6	0.0
도시가스	4	10	12	14	16	8	11	5.1	1.6
전기	11	23	29	31	31	18	22	3.6	1.0
열에너지	-	-	-	-	-	0	0	-	-
신재생·기타	0	4	5	6	7	3	5	52.6	1.4
주요 업종 에너지원단위									
화학	0.27	0.23	0.19	0.16	0.14	-	-	-0.7	-1.8
비금속	0.29	0.11	0.11	0.10	0.09	-	-	-4.4	-0.8
1차철강	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	-	-	-0.1	-0.1
기계류	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	-1.6	-0.5
수송장비	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	-1.0	-0.9

주) 연쇄가중법에 의해 추계된 실질 부가가치는 비가법적 특성에 의해 총량(또는 상위부문)과 그 구성항목의 합이 일치하지 않을 수 있음.

비제조업 부가가치는 농림어업, 광업, 건설업 부가가치의 합계

기초유분 생산량은 에틸렌, 부타디엔, 프로필렌, 벤젠, 톨루엔, 크실렌의 합계

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 (2) - 기준 시나리오(REF)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요 업종별 에너지 수요									
화학	33	66	70	74	75	100	100	3.3	0.5
석탄	1	3	3	3	3	4	4	3.1	0.0
석유	30	56	56	58	58	84	77	3.1	0.2
가스	0	2	3	4	5	3	6	9.3	3.0
전기	2	4	6	8	8	7	11	3.8	2.2
신재생	-	1	1	2	2	2	2	-	1.3
비금속	6	5	6	6	5	100	100	-0.6	0.3
석탄	4	2	2	2	1	44	27	-2.3	-1.3
석유	1	0	1	1	1	10	11	-4.1	0.9
가스	0	1	1	1	1	11	17	3.8	1.8
전기	1	1	1	2	2	20	31	1.3	1.7
신재생	-	1	1	1	1	16	13	-	-0.3
철강	17	28	30	28	26	100	100	2.3	-0.2
석탄	14	23	25	23	21	85	80	2.6	-0.4
석유	1	0	0	0	0	0	0	-14.0	0.9
가스	1	2	3	3	3	8	10	4.4	0.8
전기	2	2	2	3	2	8	9	0.9	0.5
신재생	-	0	0	0	0	0	0	-	1.2
기계류	3	10	11	12	12	100	100	5.4	0.6
석탄	-	0	0	0	0	1	1	-	0.3
석유	1	0	0	0	0	1	0	-8.7	-3.0
가스	1	1	1	1	1	14	12	3.1	0.1
전기	2	8	9	10	10	79	81	6.7	0.7
신재생	-	0	1	1	1	5	6	-	1.3
수송장비	2	3	3	3	3	100	100	2.5	-0.6
석탄	-	-	-	-	-	0	0	-	-
석유	1	0	0	0	0	9	8	-5.9	-1.2
가스	-	1	0	0	0	26	12	-	-3.2
전기	1	2	2	2	2	63	79	4.2	0.2
신재생	-	0	0	0	0	2	1	-	-2.9

주) 연쇄가중법에 의해 추계된 실질 부가가치는 비가법적 특성에 의해 총량(또는 상위부문)과 그 구성항목의 합이 일치하지 않을 수 있음.

비제조업 부가가치는 농림어업, 광업, 건설업 부가가치의 합계

기초유분 생산량은 에틸렌, 부타디엔, 프로필렌, 벤젠, 톨루엔, 크실렌의 합계

수송 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요지표									
자동차 형태별 (백만대)	12	25	27	28	27	100	100	3.5	0.3
승용차	8	20	23	24	23	82	86	4.5	0.5
화물차	3	4	3	3	3	15	11	1.8	-0.7
승합차	1	1	1	1	1	3	3	-3.0	-0.1
자동차 연료별 (백만대)									
휘발유	7	13	16	15	11	51	41	2.7	-0.4
경유	4	10	7	5	4	39	15	4.9	-3.1
배터리자동차	-	0	2	4	7	1	25	65.9	12.1
연료전지자동차	-	0	0	1	4	0	15	-	30.8
기타	1	2	2	2	1	9	4	2.6	-2.1
에너지 수요									
휘발유	8	10	12	10	6	28	32	1.3	-1.6
경유	13	19	14	10	7	52	35	1.9	-3.3
중유	1	0	0	0	0	1	1	-4.7	-0.7
제트유	0	2	1	1	1	4	7	28.3	-0.3
부탄	3	3	2	1	1	8	3	-0.6	-5.0
기타석유	0	0	0	0	0	0	0	5.1	-0.1
도시가스	-	1	1	1	0	3	1	-	-6.9
전기	0	0	1	1	1	1	7	2.4	5.5
신재생·기타	-	1	1	2	3	2	14	-	5.0
수송 수단별 에너지수요									
도로	24	34	30	25	18	94	90	1.8	-2.1
철도	1	0	0	0	0	1	1	-2.4	-0.3
항공	0	2	1	1	1	4	7	25.0	-0.3
해운	1	0	0	0	0	1	2	-4.1	-0.6

주) 비사업용 자동차는 자가용과 관용의 합계
항공은 자국적 항공기의 국내 및 국제 수송의 합계

가정 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요지표									
인구 (백만명)	47.0	51.7	51.2	50.2	47.4	-	-	0.5	- 0.3
가구 (백만가구)	14.5	21.3	23.2	23.9	22.8	-	-	1.8	0.3
형태별 주택(백만호)	11.0	17.4	19.7	20.7	20.1	100	100	2.2	0.5
단독	4.1	3.5	3.6	3.5	3.0	20	15	- 0.7	- 0.5
아파트	5.2	11.2	13.3	14.4	14.5	64	72	3.7	0.9
공동주택	1.7	2.7	2.9	2.8	2.6	15	13	2.3	- 0.2
평균 주거 면적(m ²)	85.5	76.0	72.6	71.7	71.4	-	-	- 0.6	- 0.2
에너지 지표									
주택당 에너지수요(toe/천원)	1.49	1.31	1.11	1.04	1.02	-	-	- 0.6	- 0.9
면적당 에너지수요(toe/100m ²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	-	-	0.0	- 0.7
가구당 에너지수요(toe/가구)	1.12	1.07	0.95	0.91	0.89	-	-	- 0.2	- 0.6
인구당 전기수요(MWh/명)	0.79	1.50	1.66	1.77	1.87	-	-	3.1	0.8
에너지 수요									
석탄	0	0	0	0	-	1	0	- 3.9	- 100.0
석유	4	2	1	1	1	9	3	- 3.2	- 3.6
도시가스	7	11	10	10	9	49	46	2.0	- 0.6
전기	3	7	7	8	8	29	37	3.6	0.5
지역난방	1	2	2	2	2	10	10	3.4	- 0.3
신재생·기타	0	1	1	1	1	3	3	10.1	0.6
용도별 에너지 수요									
난방/온수	12	15	13	13	12	65	57	0.9	- 0.8
취사	1	2	2	1	1	8	6	2.0	- 1.6
냉방	0	1	1	1	2	4	8	18.1	1.8
조명	0	1	1	1	1	3	3	3.0	- 0.5
기타 가전기기	2	4	5	5	5	19	26	3.2	0.7

주) 단독주택은 건물에 대한 소유권이 하나인 주택으로 다중주택이나 다가구주택은 여러 세대가 함께 거주하는 주택이지만 세대별로 소유권이 구분되지 않기 때문에 단독주택으로 분류. 공동주택은 집합 건물로써 세대별로 소유권 이전 등기가 가능한 주택
 소득은 가구당 소득을 의미
 용도별 에너지수요는 기본 설비와 보조 기기의 에너지수요

서비스 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요 업종별 산출액 (조원)									
도소매	134	272	318	363	392	-	-	3.4	1.3
숙박음식	61	122	147	164	172	-	-	3.4	1.2
운수보관	69	147	180	205	220	-	-	3.7	1.4
정보통신	56	161	211	261	298	-	-	5.1	2.2
공공행정및국방	73	163	189	199	194	-	-	3.9	0.6
교육서비스	65	128	134	133	124	-	-	3.3	-0.1
의료복지	41	171	288	464	634	-	-	7.0	4.6
예술,스포츠,레저	16	32	42	51	58	-	-	3.5	2.1
기타서비스	284	769	974	1 184	1 339	-	-	4.9	1.9
에너지 수요	19	24	27	30	30	100	100	1.1	0.9
석유	10	4	3	3	2	15	7	-4.9	-1.7
도시가스	2	3	4	5	5	14	17	2.9	1.4
전기	6	15	17	19	19	62	61	4.5	0.8
지역난방	0	0	1	1	1	2	2	7.0	1.2
신재생·기타	0	1	3	3	4	6	13	5.9	3.6
부문별 에너지 수요									
상업 서비스	16	18	21	23	23	78	77	0.8	0.8
공공 서비스	3	5	6	7	7	22	23	2.7	1.1

석유 공급 및 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
원유 수요*	122	141	149	130	104	-	-	0.7	-1.1
국제 병커링	13	14	18	18	17	-	-	0.2	0.8
총공급	97	112	105	97	87	100	100	0.7	-0.9
전환	6	1	1	1	1	1	1	-7.7	-1.3
에너지산업자체소비	7	9	8	8	6	8	7	1.3	-1.2
최종소비	84	101	96	89	80	91	92	0.9	-0.8
제품별 석유 수요**									
정제가스	3	9	9	8	6	8	7	4.7	-1.3
휘발유	8	11	12	10	7	9	8	1.2	-1.6
등유	10	2	2	1	1	2	1	-6.6	-3.2
경유	18	22	17	13	9	20	10	0.9	-3.1
중유	13	1	1	1	1	1	1	-10.9	-0.9
제트유	0	2	2	2	2	2	2	8.6	-0.4
프로판	4	7	7	6	6	6	6	2.3	-0.9
부탄	4	4	3	2	2	4	2	-0.1	-3.3
납사	25	46	46	48	49	41	56	3.0	0.2
기타 비에너지유	3	5	5	4	4	5	5	3.6	-1.0
용도별 석유 수요									
에너지산업	7	9	8	8	6	8	7	1.3	-1.2
산업	44	62	62	62	61	55	70	1.6	0.0
(연료)	19	11	10	9	7	10	8	-2.5	-1.5
(석유화학원료)	26	50	51	53	54	45	62	3.3	0.2
수송	25	34	29	23	16	31	18	1.5	-2.6
가정	4	2	1	1	1	2	1	-3.2	-3.6
서비스	10	4	3	3	2	3	3	-4.9	-1.7
전환	6	1	1	1	1	1	1	-7.7	-1.3

* 원유 수입 및 재고 변화를 포함한 총수요

** 에너지전환과정 제외

석탄 공급 및 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
총공급	44	73	61	48	35	100	100	2.4	- 2.5
전환부문	23	41	27	15	6	56	16	2.7	- 6.6
최종소비부문	21	32	34	32	29	44	84	2.0	- 0.3
제품별 석탄 수요									
국내탄	1	0	0	0	0	0	0	- 4.3	- 9.4
수입무연탄	1	3	4	4	4	4	11	4.4	0.9
연료용 유연탄	28	52	38	26	15	71	43	2.9	- 4.2
원료용 유연탄	14	18	20	18	16	24	46	1.1	- 0.4
용도별 석탄 수요									
발전/열생산용	23	41	27	15	6	56	16	2.7	- 6.6
코크스 제조 및 고로용	13	17	19	17	16	24	46	1.4	- 0.3
킬른가열용	4	2	2	2	1	3	4	- 2.3	- 1.3
기타 산업용	4	12	13	13	12	17	34	5.2	- 0.1
연탄용	0	0	0	0	-	0	0	- 3.9	- 100.0

가스 공급 및 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
총공급	19	61	74	85	91	95	95	5.7	1.4
전환 부문*	6	32	42	50	56	52	62	8.1	2.0
최종소비 부문	13	25	27	30	30	42	33	3.4	0.6
용도별 소비									
발전용	6	14	21	25	28	23	31	4.2	2.5
지역난방	0	18	18	18	18	29	20	20.9	0.0
수소제조	-	0	3	7	10	1	11	454.7	12.8
에너지산업	0	3	5	5	4	5	5	10.1	0.9
산업	4	10	12	14	16	16	17	5.1	1.6
수송	-	1	1	1	0	2	0	-	-6.9
가정	7	11	10	10	9	18	10	2.0	-0.6
서비스	2	3	4	5	5	6	6	2.9	1.4

* 자가소비 및 손실 포함

주) 천연가스 손실과 도시가스 손실 차로 인해 합계가 불일치할 수 있음

전기 공급 및 수요 - 기준 시나리오(REF)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
발전설비 (GW)	48	133	196	244	277	100	100	4.9	2.5
석탄	14	37	32	22	9	28	3	4.8	- 4.9
석유	5	2	0	0	0	1	0	- 5.2	- 5.9
가스	13	41	59	63	79	31	29	5.8	2.3
원자력	14	23	27	25	19	17	7	2.6	- 0.7
수력	3	7	7	9	9	5	3	3.5	1.0
신재생	-	23	71	126	161	18	58	-	6.9
- 변동성 재생에너지	-	20	66	120	153	15	55	-	7.2
- 기타 재생에너지	-	1	2	2	2	1	1	-	0.7
- 신에너지	-	1	3	5	6	1	2	-	6.0
총발전량(TWh)	293	615	732	800	796	100	100	3.6	0.9
석탄	99	199	138	94	40	32	5	3.4	- 5.4
석유	19	2	0	0	1	0	0	- 9.7	- 4.8
가스	28	169	243	283	313	28	39	8.9	2.1
원자력	109	158	183	167	139	26	17	1.8	- 0.4
수력	6	7	7	9	9	1	1	0.9	1.0
신재생	-	40	117	201	247	7	31	-	6.5
- 변동성 재생에너지	-	25	91	164	203	4	25	-	7.4
- 기타 재생에너지	-	8	8	8	8	1	1	-	0.1
- 신에너지	-	7	18	28	36	1	5	-	5.9
상용자가	31	39	43	46	48	6	6	1.1	0.7
발전용 에너지 수요 (백만toe)	62	96	111	120	116	100	100	2.1	0.7
석탄	23	40	27	15	5	42	5	2.7	- 6.7
석유	5	0	0	0	0	0	0	- 11.0	- 4.2
가스	6	14	21	25	28	14	24	4.2	2.5
수력	1	1	1	1	1	1	1	- 2.0	1.0
원자력	27	34	39	36	30	35	26	1.0	- 0.4
신재생·기타	0	7	24	43	52	8	45	46.9	7.0
(수소)	-	-	1	4	5	0	5	-	-
전기 수요(TWh)	240	535	646	710	708	100	100	3.9	1.0
수소제조	-	-	-	-	-	0	0	-	-
에너지산업자체소비	4	15	21	31	27	3	4	6.1	2.2
산업	128	269	332	362	360	50	51	3.6	1.0
수송	2	3	10	12	16	1	2	2.4	5.5
가정	37	78	85	89	89	15	13	3.6	0.5
서비스	68	171	198	215	216	32	31	4.5	0.8
기타	4	15	21	31	27	3	4	6.1	2.2

* 상용자가는 상용자가 발전량 중 한전 구입량

열에너지 공급 및 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
열생산량	1	3	3	3	3	-	-	4.8	0.0
지역난방 수요	1	3	3	3	3	100	100	3.9	0.0
가정	1	2	2	2	2	82	75	3.4	-0.3
서비스	0	0	1	1	1	18	25	7.0	1.2
지역난방용 에너지 수요	2	18	19	19	19	100	100	11.8	0.0
석탄	0	0	0	0	0	1	1	30.3	0.0
석유	1	0	0	0	0	2	2	-6.2	0.0
가스	0	18	18	18	18	96	96	20.9	0.0
신재생	-	0	0	0	0	1	1	-	0.0

신재생/기타 공급 및 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
부문별 신재생에너지 수요	1	14	30	50	59	100	100	17.0	5.1
발전/열생산	0	7	21	38	44	48	76	46.3	6.8
산업	0	4	5	6	7	32	11	52.6	1.4
수송	-	1	1	2	3	5	5	-	5.0
가정	0	1	1	1	1	4	1	10.1	0.6
서비스	0	1	3	3	4	10	7	5.9	3.6
(수소 공급)									
수입	-	-	-	0	1	0	2	-	-
생산	-	0	2	5	7	0	11	318.2	38.4
(수소 수요)									
발전	-	-	1	4	5	0	9	-	-
산업	-	-	-	-	-	0	0	-	-
수송	-	-	0	2	3	0	5	-	-

주) 수력 포함, 양수는 제외

에너지 부문 온실가스 배출 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 tCO₂eq)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요지표									
총배출	411	576	536	479	410	-	-	1.6	- 1.2
에너지당 배출(톤/toe)	2.67	2.27	2.15	2.02	1.90	-	-	- 0.8	- 0.6
GDP당 배출(톤/백만원)	0.46	0.30	0.24	0.19	0.15	-	-	- 2.0	- 2.3
인구당 배출(톤/인)	8.75	11.12	10.46	9.54	8.66	-	-	1.2	- 0.9
에너지상품별 온실가스 배출									
석탄	167	275	232	185	136	48	33	2.4	- 2.4
석유	203	172	151	129	103	30	25	- 0.8	- 1.8
천연가스	41	128	152	165	171	22	42	5.5	1.0
부문별 온실가스 직접 배출									
산업	149	194	203	199	189	34	46	1.3	- 0.1
수송	70	99	86	67	46	17	11	1.7	- 2.7
가정	29	30	26	25	22	5	5	0.1	- 1.1
서비스	33	17	17	18	17	3	4	- 3.0	0.0
에너지산업	10	11	15	14	13	2	3	0.2	0.6
발전/열생산	120	224	189	155	124	39	30	3.0	- 2.0

주) 전환부문의 온실가스 간접배출은 자가소비 및 유통손실에 의한 배출량을 의미

2. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 - 효율강화 시나리오

주요 경제 지표 및 활동 수준 - 효율강화 시나리오(EEI)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
인구 (백만명)	47.0	51.7	51.2	50.2	47.4	-	-	0.5	-0.3
가구 (백만가구)	14.5	21.3	23.2	23.9	22.8	-	-	1.8	0.2
국내총생산 (GDP, 조원)	904	1 916	2 258	2 548	2 705	-	-	3.6	1.2
주요 업종별 부가가치 (조원)									
농림어업	27	33	34	33	30	-	-	0.9	-0.3
광업	3	2	2	2	2	-	-	-1.9	-0.1
제조업	251	550	625	671	678	-	-	3.8	0.7
- 석유화학, 비금속, 1차철강	63	115	134	149	158	-	-	2.9	1.1
- 조립금속	98	325	372	402	405	-	-	5.9	0.8
SOC	88	131	137	136	130	-	-	1.9	0.0
서비스업	516	1 080	1 315	1 538	1 683	-	-	3.6	1.5
수입단가									
원유 (\$/bbl)	19	70	35	28	24	-	-	6.4	-3.6
천연가스 (\$/톤)	174	568	334	282	282	-	-	5.8	-2.4
유연탄 (\$/톤)	23	119	42	38	35	-	-	8.1	-4.1
에너지 지표									
국내생산 (백만 toe)	2	0	0	0	0	-	-	-6.2	-6.6
총에너지 수요 (백만 toe)	189	293	290	278	256	-	-	2.1	-0.5
에너지원단위 (toe/백만원)	0.21	0.15	0.13	0.11	0.10	-	-	-1.5	-1.6
일인당에너지소비 (toe/인)	4.02	5.66	5.67	5.53	5.41	-	-	1.6	-0.2
최종 소비 (백만 toe)	140	213	199	158	138	-	-	2.0	-1.5
전기생산 (TWh)	293	615	719	967	1 055	-	-	3.6	1.9
일인당 전기생산 (MWh/인)	6	12	14	19	22	-	-	3.1	2.2
에너지부문 온실가스 지표									
온실가스 배출 (백만톤)	411	576	468	233	37	-	-	1.6	-9.1
배출원단위 (톤/백만원)	0.46	0.30	0.21	0.09	0.01	-	-	-2.0	-10.1
일인당 배출 (톤/인)	8.75	11.13	9.13	4.65	0.77	-	-	1.2	-8.8

주) 연쇄가중법에 의해 추계된 실질 부가가치는 비가법적 특성에 의해 총량(또는 상위부문)과 그 구성항목의 합이 일치하지 않을 수 있음

SOC 부가가치는 전기·수도·가스 및 건설업 부가가치의 합계

서비스업 부가가치는 하위 구성항목 부가가치의 합계

에너지 수요 종합 - 효율강화 시나리오(EEI)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
총에너지	189	293	290	278	256	100	100	2.1	-0.5
석탄	44	73	54	29	1	25	1	2.4	-13.0
석유	97	112	87	47	29	38	11	0.7	-4.5
가스	19	61	64	42	19	21	7	5.7	-3.9
수력	1	1	1	1	1	0	0	-2.0	1.0
원자력	27	34	39	36	30	12	12	1.0	-0.4
신재생·기타	1	14	46	123	176	5	69	17.0	9.2
최종소비	140	213	199	158	138	100	100	2.0	-1.5
석탄	21	32	29	14	1	15	1	2.0	-11.7
석유	84	101	77	39	23	48	16	0.9	-5.1
도시가스	13	25	25	11	3	12	2	3.4	-7.2
전기	20	45	52	62	63	21	46	3.9	1.2
열에너지	1	3	3	3	2	1	1	3.9	-1.1
신재생·기타	1	7	12	30	46	3	34	13.4	6.7
산업	80	131	122	98	83	61	60	2.4	-1.6
수송	25	36	30	14	10	17	7	1.8	-4.5
가정	16	23	21	20	19	11	14	1.6	-0.7
서비스	19	24	26	26	26	11	19	1.1	0.4

최종소비 부문별·상품별 수요 - 효율강화 시나리오(EEI)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
산업	80	131	122	98	83	100	100	2.4	-1.6
석탄	21	32	29	14	1	24	1	2.0	-11.7
석유	44	62	48	30	19	47	23	1.6	-3.9
도시가스	4	10	11	5	1	8	1	5.1	-7.7
전기	11	23	27	33	35	18	43	3.6	1.5
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	0	4	6	16	26	3	32	52.6	6.4
수송	25	36	30	14	10	100	100	1.8	-4.5
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	-
석유	25	34	26	8	2	94	25	1.5	-8.7
도시가스	0	1	1	1	0	3	1	-	-8.1
전기	0	0	1	3	3	1	30	2.4	8.3
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	0	1	1	3	4	2	44	-	6.4
가정	16	23	21	20	19	100	100	1.6	-0.7
석탄	0	0	0	0	0	1	0	-3.9	-14.7
석유	4	2	1	0	0	9	0	-3.2	-11.8
도시가스	7	11	9	4	2	49	9	2.0	-6.3
전기	3	7	7	8	7	29	39	3.6	0.3
열에너지	1	2	2	2	1	10	6	3.4	-2.5
신재생·기타	0	1	2	7	9	3	46	10.1	9.7
서비스 (상업, 공공, 기타)	19	24	26	26	26	100	100	1.1	0.4
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-0.7	-5.6
석유	10	4	3	1	1	15	3	-4.9	-5.6
도시가스	2	3	3	1	0	14	0	2.9	-10.8
전기	6	15	16	18	18	62	67	4.5	0.6
열에너지	0	0	1	1	1	2	3	7.0	2.1
신재생·기타	0	1	3	5	7	6	27	5.9	5.7

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 효율강화 시나리오(EEI)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요 업종 산출액 (조원)									
화학	126	288	374	471	558	-	-	4.0	2.3
비금속	19	43	51	57	59	-	-	3.9	1.1
1차철강	60	100	107	103	96	-	-	2.5	-0.1
금속, 기계, 전자, 정밀	173	729	863	969	1 002	-	-	7.1	1.1
운송장비	117	242	262	272	266	-	-	3.5	0.3
건설	167	247	267	274	271	-	-	1.9	0.3
주요 제품 생산량 (천톤)									
기초유분	16	34	35	37	38	-	-	3.6	0.3
조강	43	70	78	76	71	-	-	2.4	0.0
전로	25	48	52	49	44	-	-	3.2	-0.3
전기로	18	22	26	27	27	-	-	0.9	0.7
시멘트	51	50	48	44	39	-	-	-0.1	-0.9
클링커	46	43	42	39	35	-	-	-0.2	-0.8
에너지 수요 (백만 toe)									
석탄	80	131	122	98	83	100	100	2.4	-1.6
석유	21	32	29	14	1	24	1	2.0	-11.7
도시가스	44	62	48	30	19	47	23	1.6	-3.9
도시가스	4	10	11	5	1	8	1	5.1	-7.7
전기	11	23	27	33	35	18	43	3.6	1.5
열에너지	-	-	-	-	-	0	0	-	-
신재생·기타	0	4	6	16	26	3	32	52.6	6.4
주요 업종 에너지원단위									
화학	0.27	0.23	0.15	0.08	0.06	-	-	-0.7	-4.6
비금속	0.29	0.11	0.10	0.07	0.05	-	-	-4.4	-2.7
1차철강	0.28	0.28	0.28	0.26	0.24	-	-	-0.1	-0.5
기계류	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	-1.6	-1.8
수송장비	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	-1.0	-2.2

주) 연쇄가중법에 의해 추계된 실질 부가가치는 비가법적 특성에 의해 총량(또는 상위부문)과 그 구성항목의 합이 일치하지 않을 수 있음

비제조업 부가가치는 농림어업, 광업, 건설업 부가가치의 합계

기초유분 생산량은 에틸렌, 부타디엔, 프로필렌, 벤젠, 톨루엔, 크실렌의 합계

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 (2) - 효율강화 시나리오(EEI)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요 업종별 에너지 수요									
화학	33	66	55	40	32	100	100	3.3	- 2.4
석탄	1	3	3	1	1	4	2	3.1	- 4.2
석유	30	56	44	27	19	84	59	3.1	- 3.6
가스	0	2	2	1	0	3	0	9.3	- 10.7
전기	2	4	5	8	8	7	25	3.8	2.1
신재생	-	1	1	2	4	2	13	-	4.5
비금속	6	5	5	4	3	100	100	- 0.6	- 1.7
석탄	4	2	2	1	-	44	0	- 2.3	- 100.0
석유	1	0	1	0	-	10	0	- 4.1	- 170.1
가스	0	1	1	0	-	11	0	3.8	- 100.0
전기	1	1	1	1	1	20	28	1.3	- 0.5
신재생	-	1	1	1	2	16	72	-	3.6
철강	17	28	30	27	23	100	100	2.3	- 0.6
석탄	14	23	22	10	-	85	0	2.6	- 81.7
석유	1	0	0	0	-	0	0	- 14.0	- 31.6
가스	1	2	5	2	1	8	3	4.4	- 3.5
전기	2	2	3	6	8	8	33	0.9	4.6
신재생	-	0	1	8	15	0	64	-	28.1
기계류	3	10	10	9	8	100	100	5.4	- 0.7
석탄	-	0	0	0	0	1	0	-	- 4.7
석유	1	0	0	0	-	1	0	- 8.7	- 100.0
가스	1	1	1	1	-	14	0	3.1	- 100.0
전기	2	8	8	8	7	79	92	6.7	- 0.2
신재생	-	0	1	1	1	5	7	-	0.7
수송장비	2	3	3	2	2	100	100	2.5	- 1.9
석탄	-	-	-	-	-	0	0	-	-
석유	1	0	0	0	-	9	0	- 5.9	- 100.0
가스	-	1	0	0	-	26	0	-	- 100.0
전기	1	2	2	2	2	63	98	4.2	- 0.4
신재생	-	0	0	0	0	2	2	-	- 1.7

주) 연쇄가중법에 의해 추계된 실질 부가가치는 비가법적 특성에 의해 총량(또는 상위부문)과 그 구성항목의 합이 일치하지 않을 수 있음

비제조업 부가가치는 농림어업, 광업, 건설업 부가가치의 합계

기초유분 생산량은 에틸렌, 부타디엔, 프로필렌, 벤젠, 톨루엔, 크실렌의 합계

수송 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 효율강화 시나리오(EEI)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요지표									
자동차 형태별 (백만대)	12	25	27	28	27	100	100	3.5	0.3
승용차	8	20	23	24	23	82	86	4.5	0.5
화물차	3	4	3	3	3	15	11	1.8	-0.7
승합차	1	1	1	1	1	3	3	-3.0	-0.1
자동차 연료별 (백만대)									
휘발유	7	13	14	3	0	51	0	2.7	-23.4
경유	4	10	6	2	0	39	2	4.9	-10.2
배터리자동차	-	0	4	18	17	1	63	65.9	15.7
연료전지자동차	-	0	0	4	9	0	32	-	34.4
기타	1	2	2	1	1	9	3	2.6	-3.0
에너지 수요									
휘발유	8	10	11	2	0	28	0	1.3	-23.2
경유	13	19	12	4	1	52	11	1.9	-9.5
중유	1	0	0	0	0	1	1	-4.7	-2.0
제트유	0	2	1	1	1	4	12	28.3	-1.2
부탄	3	3	2	0	0	8	1	-0.6	-11.3
기타석유	0	0	0	0	0	0	0	5.1	-0.1
도시가스	-	1	1	1	0	3	1	-	-8.1
전기	0	0	1	3	3	1	30	2.4	8.3
신재생·기타	-	1	1	3	4	2	44	-	6.4
수송 수단별 에너지수요									
도로	24	34	28	13	8	94	83	1.8	-4.8
철도	1	0	0	0	0	1	3	-2.4	-0.8
항공	0	2	1	1	1	4	12	25.0	-1.2
해운	1	0	0	0	0	1	2	-4.1	-1.8

주) 비사업용 자동차는 자가용과 관용의 합계
항공은 자국적 항공기의 국내 및 국제 수송의 합계

가정 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 효율개선 시나리오(EEI)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요지표									
인구 (백만명)	47.0	51.7	51.2	50.2	47.4	-	-	0.5	- 0.3
가구 (백만가구)	14.5	21.3	23.2	23.9	22.8	-	-	1.8	0.3
형태별 주택(백만호)	11.0	17.4	19.7	20.7	20.1	100	100	2.2	0.5
단독	4.1	3.5	3.6	3.5	3.0	20	15	- 0.7	- 0.5
아파트	5.2	11.2	13.3	14.5	14.5	64	72	3.7	0.9
공동주택	1.7	2.7	2.9	2.8	2.6	15	13	2.3	- 0.2
평균 주거 면적(m ²)	85.5	76.0	71.9	71.1	71.0	-	-	- 0.6	- 0.2
에너지 지표									
주택당 에너지수요(toe/천원)	1.49	1.31	1.08	0.98	0.94	-	-	- 0.6	- 1.1
면적당 에너지수요(toe/100m ²)	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	-	-	0.0	- 0.9
가구당 에너지수요(toe/가구)	1.12	1.07	0.92	0.85	0.83	-	-	- 0.2	- 0.9
인구당 전기수요(MWh/명)	0.79	1.50	1.66	1.80	1.81	-	-	3.1	0.7
에너지 수요									
석탄	0	0	0	0	0	1	0	- 3.9	- 14.7
석유	4	2	1	0	0	9	0	- 3.2	- 11.8
도시가스	7	11	9	4	2	49	9	2.0	- 6.3
전기	3	7	7	8	7	29	39	3.6	0.3
지역난방	1	2	2	2	1	10	6	3.4	- 2.5
신재생·기타	0	1	2	7	9	3	46	10.1	9.7
용도별 에너지 수요									
난방/온수	12	15	12	11	10	65	52	0.9	- 1.4
취사	1	2	2	1	1	8	4	2.0	- 3.4
냉방	0	1	1	1	0	4	2	18.1	- 2.5
조명	0	1	1	1	1	3	4	3.0	- 0.5
기타 가전기기	2	4	5	7	7	19	38	3.2	1.8

주) 단독주택은 건물에 대한 소유권이 하나인 주택으로 다중주택이나 다가구주택은 여러 세대가 함께 거주하는 주택이지만 세대별로 소유권이 구분되지 않기 때문에 단독주택으로 분류. 공동주택은 집합 건물로써 세대별로 소유권 이전 등기가 가능한 주택
 소득은 가구당 소득을 의미
 용도별 에너지수요는 기본 설비와 보조 기기의 에너지수요

서비스 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 효율강화 시나리오(EEI)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요 업종별 산출액 (조원)									
도소매	134	272	318	363	392	-	-	3.4	1.3
숙박음식	61	122	147	164	172	-	-	3.4	1.2
운수보관	69	147	180	205	220	-	-	3.7	1.4
정보통신	56	161	211	261	298	-	-	5.1	2.2
공공행정및국방	73	163	189	199	194	-	-	3.9	0.6
교육서비스	65	128	134	133	124	-	-	3.3	-0.1
의료복지	41	171	288	464	634	-	-	7.0	4.6
예술,스포츠,레저	16	32	42	51	58	-	-	3.5	2.1
기타서비스	284	769	974	1 184	1 339	-	-	4.9	1.9
에너지 수요	19	24	26	26	26	100	100	1.1	0.4
석유	10	4	3	1	1	15	3	-4.9	-5.6
도시가스	2	3	3	1	0	14	0	2.9	-10.8
전기	6	15	16	18	18	62	67	4.5	0.6
지역난방	0	0	1	1	1	2	3	7.0	2.1
신재생·기타	0	1	3	5	7	6	27	5.9	5.7
부문별 에너지 수요									
상업 서비스	16	18	19	19	19	78	73	0.8	0.2
공공 서비스	3	5	6	7	7	22	27	2.7	1.1

석유 공급 및 수요 - 효율강화 시나리오(EEI)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
원유 수요*	122	141	149	130	104	-	-	0.7	-1.1
국제 병커링	13	14	15	13	12	-	-	0.2	-0.3
총공급	97	112	87	47	29	100	100	0.7	-4.5
전환	6	1	1	1	0	1	1	-7.7	-3.6
에너지산업자체소비	7	9	8	7	6	8	21	1.3	-1.4
최종소비	84	101	77	39	23	91	78	0.9	-5.1
제품별 석유 수요**									
정제가스	3	9	9	8	6	8	21	4.7	-1.3
휘발유	8	11	11	2	0	9	0	1.2	-19.1
등유	10	2	1	0	0	2	1	-6.6	-8.2
경유	18	22	14	5	1	20	5	0.9	-9.1
중유	13	1	1	1	0	1	1	-11.0	-5.8
제트유	0	2	2	1	1	2	4	8.6	-1.7
프로판	4	7	9	5	3	6	11	2.2	-2.6
부탄	4	4	3	1	1	4	2	-0.1	-6.1
납사	25	46	30	19	14	41	49	3.0	-4.0
기타 비에너지유	3	6	5	2	0	5	1	3.7	-9.5
용도별 석유 수요									
에너지산업	7	9	8	7	6	8	21	1.3	-1.4
산업	44	62	48	30	19	55	67	1.6	-3.9
(연료)	19	11	10	5	2	10	5	-2.4	-6.6
(석유화학원료)	26	50	38	24	18	45	62	3.3	-3.5
수송	25	34	26	8	2	31	8	1.5	-8.7
가정	4	2	1	0	0	2	0	-3.2	-11.8
서비스	10	4	3	1	1	3	2	-4.9	-5.6
전환	6	1	1	1	0	1	1	-7.7	-3.6

* 원유 수입 및 재고 변화를 포함한 총수요

** 에너지전환공정 제외

석탄 공급 및 수요 - 효율강화 시나리오(EEI)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
총공급	44	73	54	29	1	100	100	2.4	-13.0
전환부문	23	41	25	15	0	56	33	2.7	-14.6
최종소비부문	21	32	29	14	1	44	67	2.0	-11.7
제품별 석탄 수요									
국내탄	1	0	0	0	0	0	0	-4.3	-11.9
수입무연탄	1	3	3	1	0	4	1	4.4	-18.7
연료용 유연탄	28	52	35	20	1	71	98	2.9	-12.0
원료용 유연탄	14	18	17	8	0	24	1	1.1	-22.0
용도별 석탄 수요									
발전/열생산용	23	41	25	15	0	56	33	2.7	-14.6
코크스 제조 및 고로용	13	17	16	8	-	24	0	1.4	-100.0
킬른가열용	4	2	2	1	-	3	0	-2.3	-100.0
기타 산업용	4	12	11	5	1	17	67	5.2	-8.8
연탄용	0	0	0	0	0	0	0	-3.9	-14.7

가스 공급 및 수요 - 효율강화 시나리오(EEI)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
총공급	19	61	64	42	19	95	96	5.7	-3.9
전환 부문*	6	32	35	30	15	52	81	8.1	-2.5
최종소비 부문	13	25	25	11	3	42	15	3.4	-7.2
용도별 소비									
발전용	6	14	15	11	9	23	45	4.2	-1.6
지역난방	0	18	18	8	6	29	34	20.9	-3.5
수소제조	-	0	2	10	0	1	2	454.7	0.0
에너지산업	0	3	4	2	1	5	4	10.1	-4.9
산업	4	10	11	5	1	16	5	5.1	-7.7
수송	-	1	1	1	0	2	0	-	-8.1
가정	7	11	9	4	2	18	9	2.0	-6.3
서비스	2	3	3	1	0	6	1	2.9	-10.8

* 자가소비 및 손실 포함

주) 천연가스 손실과 도시가스 손실 차로 인해 합계가 불일치할 수 있음

전기 공급 및 수요 - 효율강화 시나리오(EEI)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
발전설비 (GW)	48	133	234	411	516	100	100	4.9	4.8
석탄	14	37	32	22	2	28	0	4.8	- 10.4
석유	5	2	0	0	0	1	0	- 5.2	- 6.0
가스	13	41	59	63	59	31	11	5.8	1.2
원자력	14	23	27	25	19	17	4	2.6	- 0.7
수력	3	7	7	9	9	5	2	3.5	1.0
신재생	-	23	109	293	428	18	83	-	10.5
- 변동성 재생에너지	-	20	104	286	408	15	79	-	10.9
- 기타 재생에너지	-	1	2	2	2	1	0	-	0.7
- 신에너지	-	1	3	5	18	1	3	-	10.1
총발전량(TWh)	293	615	719	967	1 055	100	100	3.6	1.9
석탄	99	199	138	90	2	32	0	3.4	- 14.2
석유	19	2	1	1	1	0	0	- 9.7	- 4.7
가스	28	169	184	235	181	28	17	8.9	0.2
원자력	109	158	183	167	139	26	13	1.8	- 0.4
수력	6	7	7	9	9	1	1	0.9	1.0
신재생	-	40	161	409	644	7	61	-	10.0
- 변동성 재생에너지	-	25	135	373	524	4	50	-	11.0
- 기타 재생에너지	-	8	8	8	8	1	1	-	0.1
- 신에너지	-	7	18	28	112	1	11	-	10.2
상용자가	31	39	45	55	78	6	7	1.1	2.5
발전용 에너지 수요 (백만toe)	62	96	115	168	180	100	100	2.1	2.2
석탄	23	40	25	14	0	42	0	2.7	- 16.8
석유	5	0	0	0	0	0	0	- 11.0	- 5.1
가스	6	14	15	11	9	14	5	4.2	- 1.6
수력	1	1	1	1	1	1	0	- 2.0	1.0
원자력	27	34	39	36	30	35	16	1.0	- 0.4
신재생·기타	0	7	36	106	140	8	78	46.9	10.7
(수소)	-	-	2	21	27	0	15	-	-
전기 수요(TWh)	242	537	634	869	933	100	100	3.9	1.9
수소제조	-	-	7	99	175	0	19	-	-
에너지산업자체소비	4	15	20	48	20	3	2	6.1	1.1
산업	128	269	316	387	412	50	44	3.6	1.5
수송	2	3	15	36	34	1	4	2.4	8.3
가정	37	78	85	90	86	14	9	3.6	0.3
서비스	68	171	188	207	205	32	22	4.5	0.6
기타	6	16	30	149	197	3	21	4.6	9.0

* 상용자가는 상용자가 발전량 중 한전 구입량

열에너지 공급 및 수요 - 효율강화 시나리오(EEI)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
열생산량	1	3	3	3	2	-	-	4.8	-1.1
지역난방 수요	1	3	3	3	2	100	100	3.9	-1.1
가정	1	2	2	2	1	82	55	3.4	-2.5
서비스	0	0	1	1	1	18	45	7.0	2.1
지역난방용 에너지 수요	2	18	18	9	7	100	100	11.8	-3.3
석탄	0	0	0	0	0	1	3	30.3	-0.5
석유	1	0	0	0	0	2	4	-6.2	-1.0
가스	0	18	18	8	6	96	91	20.9	-3.5
신재생	-	0	0	0	0	1	1	-	-1.1

신재생/기타 공급 및 수요 - 효율강화 시나리오(EEI)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
부문별 신재생에너지 수요	1	14	46	123	176	100	100	17.0	9.2
발전/열생산	0	7	34	93	130	48	74	46.3	10.8
산업	0	4	6	16	26	32	15	52.6	6.4
수송	-	1	1	3	4	5	2	-	6.4
가정	0	1	2	7	9	4	5	10.1	9.7
서비스	0	1	3	5	7	10	4	5.9	5.7
(수소 공급)									
수입	-	-	1	20	38	0	22	-	-
생산	-	0	2	12	10	0	5	318.2	40.2
(수소 수요)									
발전	-	-	2	21	27	0	15	-	-
산업	-	-	0	9	17	0	10	-	-
수송	-	-	0	2	4	0	2	-	-

주) 수력 포함, 양수는 제외

에너지 부문 온실가스 배출 - 효율강화 시나리오(EEI)

(단위: 백만 tCO₂eq)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요지표									
총배출	411	576	468	233	37	-	-	1.6	-9.1
에너지당 배출(톤/toe)	2.67	2.27	2.17	1.81	0.63	-	-	-0.8	-4.3
GDP당 배출(톤/백만원)	0.46	0.30	0.21	0.09	0.01	-	-	-2.0	-10.2
인구당 배출(톤/인)	8.75	11.13	9.13	4.65	0.77	-	-	1.2	-8.8
에너지상품별 온실가스 배출									
석탄	167	275	207	111	4	48	11	2.4	-13.6
석유	203	173	130	54	23	30	64	-0.8	-6.7
천연가스	41	128	131	69	9	22	25	5.5	-8.7
부문별 온실가스 직접 배출									
산업	149	194	176	86	15	34	42	1.3	-8.4
수송	70	99	76	24	7	17	19	1.7	-8.7
가정	29	30	21	9	4	5	10	0.1	-6.9
서비스	33	17	14	7	2	3	6	-3.0	-6.8
에너지산업	10	11	14	8	5	2	14	0.4	-2.8
발전/열생산	120	224	166	100	3	39	9	3.0	-13.7

주) 전환부문의 온실가스 간접배출은 자가소비 및 유통손실에 의한 배출량을 의미

3. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 - 전기화 시나리오

주요 경제 지표 및 활동 수준 - 전기화 시나리오(EOE)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
인구 (백만명)	47.0	51.7	51.2	50.2	47.4	-	-	0.5	-0.3
가구 (백만가구)	14.5	21.3	23.2	23.9	22.8	-	-	1.8	0.3
국내총생산 (GDP, 조원)	904	1 916	2 258	2 548	2 705	-	-	3.6	1.2
주요 업종별 부가가치 (조원)									
농림어업	27	33	34	33	30	-	-	0.9	-0.3
광업	3	2	2	2	2	-	-	-1.9	-0.1
제조업	251	550	625	671	678	-	-	3.8	0.7
- 석유화학, 비금속, 1차철강	63	115	134	149	158	-	-	2.9	1.1
- 조립금속	98	325	372	402	405	-	-	5.9	0.8
SOC	88	131	137	136	130	-	-	1.9	0.0
서비스업	516	1 080	1 315	1 538	1 683	-	-	3.6	1.5
수입단가									
원유 (\$/bbl)	19	70	35	28	24	-	-	6.4	-3.6
천연가스 (\$/톤)	174	568	334	282	282	-	-	5.8	-2.4
유연탄 (\$/톤)	23	119	42	38	35	-	-	8.1	-4.1
에너지 지표									
국내생산 (백만 toe)	2	0	0	0	0	-	-	-6.2	-6.6
총에너지 수요 (백만 toe)	189	293	315	321	282	-	-	2.1	-0.1
에너지원단위 (toe/백만원)	0.21	0.15	0.14	0.13	0.10	-	-	-1.5	-1.3
일인당에너지소비 (toe/인)	4.02	5.66	6.16	6.39	5.95	-	-	1.6	0.2
최종 소비 (백만 toe)	140	213	202	172	150	-	-	2.0	-1.2
전기생산 (TWh)	293	615	959	1 213	1 140	-	-	3.6	2.2
일인당 전기생산 (MWh/인)	6	12	19	24	24	-	-	3.1	2.5
에너지부문 온실가스 지표									
온실가스 배출 (백만톤)	411	576	437	202	37	-	-	1.6	-9.1
배출원단위 (톤/백만원)	0.46	0.30	0.19	0.08	0.01	-	-	-2.0	-10.1
일인당 배출 (톤/인)	8.75	11.13	8.53	4.03	0.78	-	-	1.2	-8.8

주) 연쇄가중법에 의해 추계된 실질 부가가치는 비가법적 특성에 의해 총량(또는 상위부문)과 그 구성항목의 합이 일치하지 않을 수 있음

SOC 부가가치는 전기·수도·가스 및 건설업 부가가치의 합계

서비스업 부가가치는 하위 구성항목 부가가치의 합계

에너지 수요 종합 - 전기화 시나리오(EOE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
총에너지	189	293	315	321	282	100	100	2.1	-0.1
석탄	44	73	49	27	1	25	0	2.4	-12.8
석유	97	112	80	43	29	38	10	0.7	-4.6
가스	19	61	68	41	17	21	6	5.7	-4.3
수력	1	1	1	1	1	0	0	-2.0	1.0
원자력	27	34	39	36	30	12	11	1.0	-0.4
신재생·기타	1	14	78	174	204	5	72	17.0	9.7
최종소비	140	213	202	172	150	100	100	2.0	-1.2
석탄	21	32	24	12	1	15	1	2.0	-11.5
석유	84	101	71	35	22	48	15	0.9	-5.1
도시가스	13	25	19	8	3	12	2	3.4	-7.0
전기	20	45	69	79	69	21	46	3.9	1.5
열에너지	1	3	3	3	2	1	1	3.9	-0.8
신재생·기타	1	7	15	35	52	3	35	13.4	7.1
산업	80	131	126	110	90	61	60	2.4	-1.3
수송	25	36	27	11	9	17	6	1.8	-4.5
가정	16	23	22	23	22	11	15	1.6	-0.1
서비스	19	24	27	27	28	11	19	1.1	0.6

최종소비 부문별·상품별 수요 - 전기화 시나리오(EOE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
산업	80	131	126	110	90	100	100	2.4	-1.3
석탄	21	32	24	12	1	24	1	2.0	-11.5
석유	44	62	45	29	19	47	22	1.6	-3.9
도시가스	4	10	6	3	1	8	1	5.1	-7.5
전기	11	23	43	50	42	18	46	3.6	2.1
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	0	4	7	17	27	3	30	52.6	6.5
수송	25	36	27	11	9	100	100	1.8	-4.5
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	-
석유	25	34	22	4	2	94	23	1.5	-9.1
도시가스	0	1	1	0	0	3	0	-	-10.2
전기	0	0	2	4	3	1	31	2.4	8.4
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	0	1	1	3	4	2	46	-	6.4
가정	16	23	22	23	22	100	100	1.6	-0.1
석탄	0	0	0	0	0	1	0	-3.9	-14.5
석유	4	2	1	0	0	9	0	-3.2	-11.9
도시가스	7	11	9	4	2	49	8	2.0	-6.1
전기	3	7	7	7	7	29	32	3.6	0.3
열에너지	1	2	3	2	1	10	6	3.4	-2.0
신재생·기타	0	1	4	9	12	3	54	10.1	11.0
서비스 (상업, 공공, 기타)	19	24	27	27	28	100	100	1.1	0.6
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-0.7	-9.5
석유	10	4	3	1	1	15	2	-4.9	-5.6
도시가스	2	3	3	2	0	14	1	2.9	-9.0
전기	6	15	17	18	17	62	62	4.5	0.6
열에너지	0	0	1	1	1	2	3	7.0	2.2
신재생·기타	0	1	3	6	9	6	31	5.9	6.5

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 전기화 시나리오(EOE)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요 업종 산출액 (조원)									
화학	126	288	374	471	558	-	-	4.0	2.3
비금속	19	43	51	57	59	-	-	3.9	1.1
1차철강	60	100	107	103	96	-	-	2.5	-0.1
금속, 기계, 전자, 정밀	173	729	863	969	1 002	-	-	7.1	1.1
운송장비	117	242	262	272	266	-	-	3.5	0.3
건설	167	247	267	274	271	-	-	1.9	0.3
주요 제품 생산량 (천톤)									
기초유분	16	34	35	37	38	-	-	3.6	0.3
조강	43	70	78	76	71	-	-	2.4	0.0
전로	25	48	51	47	42	-	-	3.2	-0.5
전기로	18	22	27	29	29	-	-	0.9	0.9
시멘트	51	50	48	44	39	-	-	-0.1	-0.9
클링커	46	43	42	39	35	-	-	-0.2	-0.8
에너지 수요 (백만 toe)									
석탄	80	131	126	110	90	100	100	2.4	-1.3
석유	21	32	24	12	1	24	1	2.0	-11.5
석유	44	62	45	29	19	47	22	1.6	-3.9
도시가스	4	10	6	3	1	8	1	5.1	-7.5
전기	11	23	43	50	42	18	46	3.6	2.1
열에너지	-	-	-	-	-	0	0	-	-
신재생·기타	0	4	7	17	27	3	30	52.6	6.5
주요 업종 에너지원단위									
화학	0.27	0.23	0.15	0.09	0.06	-	-	-0.7	-4.4
비금속	0.29	0.11	0.10	0.08	0.06	-	-	-4.4	-2.0
1차철강	0.28	0.28	0.28	0.27	0.24	-	-	-0.1	-0.4
기계류	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	-1.6	-1.4
수송장비	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	-1.0	-1.8

주) 연쇄가중법에 의해 추계된 실질 부가가치는 비가법적 특성에 의해 총량(또는 상위부문)과 그 구성항목의 합이 일치하지 않을 수 있음

비제조업 부가가치는 농림어업, 광업, 건설업 부가가치의 합계

기초유분 생산량은 에틸렌, 부타디엔, 프로필렌, 벤젠, 톨루엔, 크실렌의 합계

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 (2) - 전기화 시나리오(EOE)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요 업종별 에너지 수요									
화학	33	66	57	45	35	100	100	3.3	- 2.2
석탄	1	3	1	1	1	4	2	3.1	- 4.1
석유	30	56	43	29	19	84	55	3.1	- 3.6
가스	0	2	1	0	0	3	0	9.3	- 13.0
전기	2	4	11	12	10	7	29	3.8	3.0
신재생	-	1	1	2	5	2	13	-	4.8
비금속	6	5	5	5	4	100	100	- 0.6	- 1.0
석탄	4	2	2	1	-	44	0	- 2.3	- 100.0
석유	1	0	0	-	-	10	0	- 4.1	- 172.3
가스	0	1	0	-	-	11	0	3.8	- 100.0
전기	1	1	2	2	1	20	40	1.3	1.4
신재생	-	1	1	1	2	16	60	-	3.7
철강	17	28	30	28	24	100	100	2.3	- 0.5
석탄	14	23	21	9	-	85	0	2.6	- 81.7
석유	1	0	0	-	-	0	0	- 14.0	- 31.4
가스	1	2	4	2	1	8	4	4.4	- 3.2
전기	2	2	5	9	8	8	35	0.9	4.8
신재생	-	0	1	8	15	0	62	-	28.0
기계류	3	10	10	10	9	100	100	5.4	- 0.3
석탄	-	0	0	0	0	1	0	-	- 4.1
석유	1	0	0	0	-	1	0	- 8.7	- 100.0
가스	1	1	0	0	-	14	0	3.1	- 100.0
전기	2	8	9	10	8	79	92	6.7	0.2
신재생	-	0	1	1	1	5	8	-	1.4
수송장비	2	3	3	2	2	100	100	2.5	- 1.4
석탄	-	-	-	-	-	0	0	-	-
석유	1	0	0	-	-	9	0	- 5.9	- 100.0
가스	-	1	0	-	-	26	0	-	- 100.0
전기	1	2	2	2	2	63	98	4.2	0.1
신재생	-	0	0	0	0	2	2	-	- 0.6

주) 연쇄가중법에 의해 추계된 실질 부가가치는 비가법적 특성에 의해 총량(또는 상위부문)과 그 구성항목의 합이 일치하지 않을 수 있음

비제조업 부가가치는 농림어업, 광업, 건설업 부가가치의 합계

기초유분 생산량은 에틸렌, 부타디엔, 프로필렌, 벤젠, 톨루엔, 크실렌의 합계

수송 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 전기화 시나리오(EOE)

(단위: 백만 toe)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요지표									
자동차 형태별 (백만대)	12	25	27	28	27	100	100	3.5	0.3
승용차	8	20	23	24	23	82	86	4.5	0.5
화물차	3	4	3	3	3	15	11	1.8	-0.7
승합차	1	1	1	1	1	3	3	-3.0	-0.1
자동차 연료별 (백만대)									
휘발유	7	13	11	0	0	51	0	2.7	-23.4
경유	4	10	5	1	0	39	1	4.9	-11.0
배터리자동차	-	0	8	21	17	1	63	65.9	15.7
연료전지자동차	-	0	1	5	9	0	33	-	34.4
기타	1	2	2	1	1	9	3	2.6	-3.0
에너지 수요									
휘발유	8	10	9	0	0	28	0	1.3	-23.1
경유	13	19	11	3	1	52	7	1.9	-10.8
중유	1	0	0	0	0	1	1	-4.7	-1.9
제트유	0	2	1	1	1	4	13	28.3	-1.0
부탄	3	3	1	0	0	8	1	-0.6	-11.7
기타석유	0	0	0	0	0	0	0	5.1	-0.1
도시가스	-	1	1	0	0	3	0	-	-10.2
전기	0	0	2	4	3	1	31	2.4	8.4
신재생·기타	-	1	1	3	4	2	46	-	6.4
수송 수단별 에너지수요									
도로	24	34	25	9	8	94	82	1.8	-5.0
철도	1	0	0	0	0	1	3	-2.4	-0.6
항공	0	2	1	1	1	4	13	25.0	-1.0
해운	1	0	0	0	0	1	3	-4.1	-1.6

주) 비사업용 자동차는 자가용과 관용의 합계
항공은 자국적 항공기의 국내 및 국제 수송의 합계

가정 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 전기화 시나리오(EOE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요지표									
인구 (백만명)	47.0	51.7	51.2	50.2	47.4	-	-	0.5	- 0.3
가구 (백만가구)	14.5	21.3	23.2	23.9	22.8	-	-	1.8	0.3
형태별 주택(백만호)	11.0	17.4	19.7	20.7	20.1	100	100	2.2	0.5
단독	4.1	3.5	3.6	3.5	3.0	20	15	- 0.7	- 0.5
아파트	5.2	11.2	13.3	14.5	14.5	64	72	3.7	0.9
공동주택	1.7	2.7	2.9	2.8	2.6	15	13	2.3	- 0.2
평균 주거 면적(m ²)	85.5	76.0	71.9	71.1	71.0	-	-	- 0.6	- 0.2
에너지 지표									
주택당 에너지수요(toe/천원)	1.49	1.31	1.14	1.11	1.11	-	-	- 0.6	- 0.6
면적당 에너지수요(toe/100m ²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	-	-	0.0	- 0.3
가구당 에너지수요(toe/가구)	1.12	1.07	0.97	0.96	0.98	-	-	- 0.2	- 0.3
인구당 전기수요(MWh/명)	0.79	1.50	1.60	1.72	1.77	-	-	3.1	0.6
에너지 수요									
석탄	0	0	0	0	0	1	0	- 3.9	- 14.5
석유	4	2	1	0	0	9	0	- 3.2	- 11.9
도시가스	7	11	9	4	2	49	8	2.0	- 6.1
전기	3	7	7	7	7	29	32	3.6	0.3
지역난방	1	2	3	2	1	10	6	3.4	- 2.0
신재생·기타	0	1	4	9	12	3	54	10.1	11.0
용도별 에너지 수요									
난방/온수	12	15	13	13	13	65	56	0.9	- 0.6
취사	1	2	2	1	1	8	4	2.0	- 2.9
냉방	0	1	1	1	0	4	2	18.1	- 2.9
조명	0	1	1	1	1	3	3	3.0	- 0.5
기타 가전기기	2	4	5	7	8	19	35	3.2	2.0

주) 단독주택은 건물에 대한 소유권이 하나인 주택으로 다중주택이나 다가구주택은 여러 세대가 함께 거주하는 주택이지만 세대별로 소유권이 구분되지 않기 때문에 단독주택으로 분류. 공동주택은 집합 건물로써 세대별로 소유권 이전 등기가 가능한 주택
 소득은 가구당 소득을 의미
 용도별 에너지수요는 기본 설비와 보조 기기의 에너지수요

서비스 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 전기화 시나리오(EOE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요 업종별 산출액 (조원)									
도소매	134	272	318	363	392	-	-	3.4	1.3
숙박음식	61	122	147	164	172	-	-	3.4	1.2
운수보관	69	147	180	205	220	-	-	3.7	1.4
정보통신	56	161	211	261	298	-	-	5.1	2.2
공공행정및국방	73	163	189	199	194	-	-	3.9	0.6
교육서비스	65	128	134	133	124	-	-	3.3	-0.1
의료복지	41	171	288	464	634	-	-	7.0	4.6
예술,스포츠,레저	16	32	42	51	58	-	-	3.5	2.1
기타서비스	284	769	974	1 184	1 339	-	-	4.9	1.9
에너지 수요	19	24	27	27	28	100	100	1.1	0.6
석유	10	4	3	1	1	15	2	-4.9	-5.6
도시가스	2	3	3	2	0	14	1	2.9	-9.0
전기	6	15	17	18	17	62	62	4.5	0.6
지역난방	0	0	1	1	1	2	3	7.0	2.2
신재생·기타	0	1	3	6	9	6	31	5.9	6.5
부문별 에너지 수요									
상업 서비스	16	18	20	20	20	78	71	0.8	0.3
공공 서비스	3	5	7	8	8	22	29	2.7	1.5

석유 공급 및 수요 - 전기화 시나리오(EOE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
원유 수요*	122	141	149	130	104	-	-	0.7	-1.1
국제 병커링	13	14	17	14	13	-	-	0.2	-0.3
총공급	97	112	80	43	29	100	100	0.7	-4.6
전환	6	1	1	1	0	1	2	-7.7	-3.3
에너지산업자체소비	7	9	8	7	6	8	21	1.3	-1.3
최종소비	84	101	71	35	22	91	77	0.9	-5.1
제품별 석유 수요**									
정제가스	3	9	9	8	6	8	21	4.7	-1.3
휘발유	8	11	9	0	0	9	0	1.2	-18.9
등유	10	2	1	0	0	2	1	-6.6	-8.0
경유	18	22	13	3	1	20	4	0.9	-9.9
중유	13	1	1	0	0	1	1	-11.0	-5.5
제트유	0	2	2	1	1	2	5	8.6	-1.5
프로판	4	7	9	5	3	6	12	2.2	-2.6
부탄	4	4	3	1	1	4	2	-0.1	-6.1
납사	25	46	31	21	14	41	49	3.0	-4.0
기타 비에너지유	3	6	2	0	0	5	1	3.7	-9.5
용도별 석유 수요									
에너지산업	7	9	8	7	6	8	21	1.3	-1.3
산업	44	62	45	29	19	55	67	1.6	-3.9
(연료)	19	11	6	2	1	10	5	-2.4	-6.8
(석유화학원료)	26	50	40	27	18	45	62	3.3	-3.5
수송	25	34	22	4	2	31	7	1.5	-9.1
가정	4	2	1	0	0	2	0	-3.2	-11.9
서비스	10	4	3	1	1	3	2	-4.9	-5.6
전환	6	1	1	1	0	1	2	-7.7	-3.3

* 원유 수입 및 재고 변화를 포함한 총수요

** 에너지전환공정 제외

석탄 공급 및 수요 - 전기화 시나리오(EOE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
총공급	44	73	49	27	1	100	100	2.4	- 12.8
전환부문	23	41	25	15	0	56	33	2.7	- 14.4
최종소비부문	21	32	24	12	1	44	67	2.0	- 11.5
제품별 석탄 수요									
국내탄	1	0	0	0	0	0	0	- 4.3	- 13.6
수입무연탄	1	3	1	0	0	4	1	4.4	- 17.9
연료용 유연탄	28	52	32	19	1	71	98	2.9	- 11.8
원료용 유연탄	14	18	16	7	0	24	1	1.1	- 21.7
용도별 석탄 수요									
발전/열생산용	23	41	25	15	0	56	33	2.7	- 14.4
코크스 제조 및 고로용	13	17	16	7	-	24	0	1.4	- 100.0
킬른가열용	4	2	2	1	-	3	0	- 2.3	- 100.0
기타 산업용	4	12	7	3	1	17	67	5.2	- 8.6
연탄용	0	0	0	0	0	0	0	- 3.9	- 14.5

가스 공급 및 수요 - 전기화 시나리오(EOE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
총공급	19	61	68	41	17	95	95	5.7	-4.3
전환 부문*	6	32	47	32	13	52	77	8.1	-3.0
최종소비 부문	13	25	19	8	3	42	18	3.4	-7.0
용도별 소비									
발전용	6	14	23	11	6	23	34	4.2	-3.0
지역난방	0	18	21	9	7	29	41	20.9	-3.2
수소제조	-	0	2	11	0	1	2	454.7	0.0
에너지산업	0	3	2	1	1	5	5	10.1	-4.4
산업	4	10	6	3	1	16	6	5.1	-7.5
수송	-	1	1	0	0	2	0	-	-10.2
가정	7	11	9	4	2	18	10	2.0	-6.1
서비스	2	3	3	2	0	6	1	2.9	-9.0

* 자가소비 및 손실 포함

주) 천연가스 손실과 도시가스 손실 차로 인해 합계가 불일치할 수 있음

전기 공급 및 수요 - 전기화 시나리오(EOE)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
발전설비 (GW)	48	133	341	584	614	100	100	4.9	5.4
석탄	14	37	32	22	2	28	0	4.8	- 10.4
석유	5	2	0	0	0	1	0	- 5.2	- 5.7
가스	13	41	59	71	67	31	11	5.8	1.7
원자력	14	23	27	25	19	17	3	2.6	- 0.7
수력	3	7	7	9	9	5	1	3.5	1.0
신재생	-	23	216	458	517	18	84	-	11.3
- 변동성 재생에너지	-	20	211	452	497	15	81	-	11.6
- 기타 재생에너지	-	1	2	2	2	1	0	-	0.7
- 신에너지	-	1	3	5	18	1	3	-	10.1
총발전량(TWh)	293	615	959	1 213	1 140	100	100	3.6	2.2
석탄	99	199	134	88	3	32	0	3.4	- 13.9
석유	19	2	1	1	1	0	0	- 9.7	- 4.4
가스	28	169	283	261	144	28	13	8.9	- 0.6
원자력	109	158	183	167	139	26	12	1.8	- 0.4
수력	6	7	7	9	9	1	1	0.9	1.0
신재생	-	40	298	613	749	7	66	-	10.6
- 변동성 재생에너지	-	25	271	577	629	4	55	-	11.7
- 기타 재생에너지	-	8	8	8	8	1	1	-	0.1
- 신에너지	-	7	18	28	112	1	10	-	10.2
상용자가	31	39	54	74	96	6	8	1.1	3.2
발전용 에너지 수요 (백만toe)	62	96	153	215	198	100	100	2.1	2.5
석탄	23	40	25	14	0	42	0	2.7	- 16.8
석유	5	0	0	0	0	0	0	- 11.0	- 4.9
가스	6	14	23	11	6	14	3	4.2	- 3.0
수력	1	1	1	1	1	1	0	- 2.0	1.0
원자력	27	34	39	36	30	35	15	1.0	- 0.4
신재생·기타	0	7	65	152	162	8	82	46.9	11.3
(수소)	-	-	3	24	26	0	13	-	-
전기 수요(TWh)	242	537	858	1 092	1 002	100	100	3.9	2.2
수소제조	-	-	8	108	168	0	17	-	-
에너지산업자체소비	4	15	50	65	25	3	2	6.1	1.9
산업	128	269	499	577	485	50	48	3.6	2.1
수송	2	3	22	41	34	1	3	2.4	8.4
가정	37	78	82	86	84	14	8	3.6	0.3
서비스	68	171	194	211	203	32	20	4.5	0.6
기타	6	16	61	176	196	3	20	4.6	9.0

* 상용자가는 상용자가 발전량 중 한전 구입량

열에너지 공급 및 수요 - 전기화 시나리오(EOE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
열생산량	1	3	4	3	2	-	-	4.8	-0.8
지역난방 수요	1	3	3	3	2	100	100	3.9	-0.8
가정	1	2	3	2	1	82	58	3.4	-2.0
서비스	0	0	1	1	1	18	42	7.0	2.2
지역난방용 에너지 수요	2	18	22	10	8	100	100	11.8	-3.0
석탄	0	0	0	0	0	1	3	30.3	-0.2
석유	1	0	0	0	0	2	4	-6.2	-0.6
가스	0	18	21	9	7	96	91	20.9	-3.2
신재생	-	0	0	0	0	1	1	-	-0.8

신재생/기타 공급 및 수요 - 전기화 시나리오(EOE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
부문별 신재생에너지 수요	1	14	78	174	204	100	100	17.0	9.7
발전/열생산	0	7	63	138	152	48	74	46.3	11.4
산업	0	4	7	17	27	32	13	52.6	6.5
수송	-	1	1	3	4	5	2	-	6.4
가정	0	1	4	9	12	4	6	10.1	11.0
서비스	0	1	3	6	9	10	4	5.9	6.5
(수소 공급)									
수입	-	-	1	21	37	0	18	-	-
생산	-	0	2	13	9	0	5	318.2	40.0
(수소 수요)									
발전	-	-	3	24	26	0	13	-	-
산업	-	-	0	8	16	0	8	-	-
수송	-	-	0	3	4	0	2	-	-

주) 수력 포함, 양수는 제외

에너지 부문 온실가스 배출 - 전기화 시나리오(EOE)

(단위: 백만 tCO₂eq)

	2000	2021	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2021	2050	00-21	21-50
주요지표									
총배출	411	576	437	202	37	-	-	1.6	- 9.1
에너지당 배출(톤/toe)	2.67	2.27	2.09	1.67	0.66	-	-	- 0.8	- 4.2
GDP당 배출(톤/백만원)	0.46	0.30	0.19	0.08	0.01	-	-	- 2.0	- 10.1
인구당 배출(톤/인)	8.75	11.13	8.53	4.03	0.78	-	-	1.2	- 8.8
에너지상품별 온실가스 배출									
석탄	167	275	187	101	4	48	12	2.4	- 13.4
석유	203	173	110	37	23	30	62	- 0.8	- 6.8
천연가스	41	128	140	64	10	22	26	5.5	- 8.5
부문별 온실가스 직접 배출									
산업	149	194	135	64	16	34	42	1.3	- 8.3
수송	70	99	66	13	6	17	17	1.7	- 9.1
가정	29	30	21	9	4	5	11	0.1	- 6.8
서비스	33	17	14	7	2	3	7	- 3.0	- 6.5
에너지산업	10	11	9	7	5	2	15	0.4	- 2.5
발전/열생산	120	224	192	102	3	39	8	3.0	- 13.7

주) 전환부문의 온실가스 간접배출은 자가소비 및 유통손실에 의한 배출량을 의미

참고문헌

<국내 문헌>

- 2050 탄소중립위원회, 2021a. 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안.
- 2050 탄소중립위원회, 2021b. 2050 탄소중립 시나리오안.
- KDI, 2022. 국민연금 재정추계를 위한 인구 및 성장률 전망.
- 강병욱, 2023. 탄소중립을 위한 철강 생산공정 전환 시나리오 분석 연구, 에너지경제연구원.
- 관계부처 합동, 2021. 에너지 탄소중립 혁신전략.
- 국립기상과학원, 2020. 전지구 기후변화 전망보고서: 미래 시나리오 4종에 따른 기후변화 전망.
- 국토교통부, 2019. 제로에너지 건축 단계적 의무화 로드맵.
- 국토교통부, 2021. 국토교통 탄소중립 로드맵.
- 기획재정부, 2021. 2022년 경제전망.
- 김도원, 2022. 총소유비용 비교를 통한 내연기관 대비 전기차 경쟁력 분석. *Energy Focus*, 30 4.
- 김수일, 2021. 코로나19가 한국의 전력 수급에 미친 영향 분석, 에너지경제연구원.
- 김종우, 박상규, 2021. 건물에너지 효율개선 정책패키지화를 위한 효율통계 구축방안 연구, 에너지경제연구원.
- 김지효, 김종우, 2022. 탄소중립 추진을 위한 공동주택 난방의 전력화 방안 연구, 에너지경제연구원.
- 도현재, 허윤지, 2022. EU의 탈러시아가스 정책과 세계 LNG 수급 영향, 에너지경제연구원.
- 문재인, 2020. 위기의 시대를 넘어 선도국가로- 대통령 국회 시정연설.
- 산업통상자원부, 2019. 제3차 에너지기본계획.
- 산업통상자원부, 2020. 제9차 전력수급기본계획.
- 산업통상자원부, 2021. 탄소중립 산업,에너지 R&D 전략.
- 산업통상자원부, 2022. 10차 전력수급기본계획.
- 서울특별시, 2022. 서울시, 대형건물 온실가스 집중관리를 위한 총량제 도입...25일 시민설명회.

- 석병훈, 이남강, 2021. *한국경제의 추세 성장을 하락과 원인*.
- 에너지경제연구원, 2022a. *KEEI 에너지수급동향*.
- 에너지경제연구원, 2022b. *KEEI 이슈리포트*, 에너지경제연구원.
- 에너지경제연구원, 2022c. 에너지브리프 2022년 12월호. *에너지브리프*, 12.
- 에너지경제연구원, 2022d. 에너지브리프 2022년 3월호. *에너지브리프*, 3.
- 에너지경제연구원, 2022e. 에너지브리프 2022년 7월호. *에너지브리프*, 7.
- 에너지경제연구원, 2022f. 에너지브리프 2022년 8월호. *에너지브리프*, 8.
- 월간수소경제, 2020. *부생수소에 주목한다. 2 현대제철 수소공장*.
- 이고은, 2022. 국내 시멘트산업의 탄소중립 추진전략과 정책과제. *ISSU PAPER 2022-01*.
- 이재윤, 양진혁, 2022. 철강산업의 탄소중립 추진전략과 정책과제. *ISSUE PAPER 2022-06*. 산업연구원.
- 조용원, 이상원, 김경문, 2021. 석유화학산업 탄소중립 전략과 정책적 대응방안. *ISSU PAPER 2021-19*. 산업연구원.
- 통계청, 2019. *2019년 세계와 한국의 인구현황 및 전망*.
- 통계청, 2019a. *장래인구특별추계: 2017~2067*.
- 통계청, 2019b. *장래가구특별추계: 2017~2047년*.
- 통계청, 2021a.12.8. *2021 통계로 보는 1인가구*.
- 통계청, 2021b. *장래인구추계:2020~2070*.
- 통계청, 2022a. *2021년 장래인구추계를 반영한 세계와 한국의 인구현황 및 전망*.
- 통계청, 2022b. *장래가구추계*.
- 통계청, 2022c. *주택총조사*. [온라인] Available at: https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1JU1503&conn_path=I3 [엑세스: 16 8 2022].
- 투데이에너지, 2022. *지난해 LNG 수입량, 4,594톤 기록... 15% ↑*. [온라인] Available at: <http://www.todayenergy.kr/news/articleView.html?idxno=244551> [엑세스: 26 12 2022].
- 포스코, 2021. *수소, 당신은 스틸의 동반자*.
- 한국에너지기술연구원, 2022. *글로벌 월간 동향 2022년 6월 글로벌 주요 이슈*.

한국은행, 2022. 2021년 4/4분기 및 연간 실질 국내총생산(속보).

환경부, 2021. 대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법.

<해외 문헌>

Andersen, F., Henningsen, G., Moller, N. & Larsen, H., 2019. Long-term projections of the hourly electricity consumption in Danish municipalities. *Energy*, pp. 1-14.

Department of Energy, 2022. *Industrial Decarbonization Roadmap*.

Financial Times, 2022. *Europe gas prices hit record as crisis threatens to trigger recession, Aug 27 2022*.

Financial Times, 2022. *European electricity prices hit new highs amid power market disruption, Aug 12 2022*.

IEA, 2020. *World Eenergy Outlook 2020*, Paris: IEA Publication.

IEA, 2021. *Net Zero By 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*, Paris: IEA Publications.

IEA, 2022a. *The Future of Heat Pumps*, Paris: IEA Publications.

IEA, 2022b. *World Energy Outlook 2022*, Paris: IEA Publications.

IPCC, 2021. *Climate Change 2021 The Physical Science Basis*.

OECD, 2021.10. *THE LONG GAME: FISCAL OUTLOOKS TO 2060 UNDERLINE NEED FOR STRUCTURAL REFORM*.

O'Neil, B. 외., 2014. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*.

Republic of Korea, 2021. *Submission under the Paris Agreement, The Republic of Korea's Enhanced Update of its First Nationally Determined Contribution*.

The White House, 2021.11. *The Long-Term Strategy of the United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050*.

中共中央国务院, 2021. 关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见.

中共中央国务院, 2021. 关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知.

中國氫能聯盟研究院, 2022.6. 開啓綠色氫能新時代之匙：中國2030年“可再生氫100”發展路線圖

KEEI 2022 장기 에너지 전망

2023 년 2 월 일 인쇄

2023 년 2 월 일 발행

발행인 양 의 석

발행처 에너지경제연구원

44543 울산광역시 중구 종가로 405-11

전화: (052)714-2114(代)

팩시밀리: (052)714-2026

등 록 제369-2016-000001호(2016년 1월 22일)

인 쇄 디자인매일 (051)467-3337

© 에너지경제연구원 2022
