

KEEI 2021 장기 에너지 전망

2021 Long-Term Energy Outlook

KEEI 2021 장기 에너지 전망 • 2021 Long-Term Energy Outlook

에너지경제연구원

KEEI 2021 장기 에너지 전망

2021 Long-Term Energy Outlook



에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

(44543) 울산광역시 중구 중가로 405-11(성안동) | Tel. 052)714-2114 | Fax. 052)714-2028
E-mail. EnergyOutlook@keei.re.kr | http://www.keei.re.kr



9 772234 712004 0 5
ISSN 2234-7127



에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

KEEI 2021 장기 에너지 전망

2021 Long-Term Energy Outlook



『KEEI 2021 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. 2021년 전망은 최근의 에너지 수급 변화를 심도 있게 분석하여 각종 에너지 수급 지표를 전망함으로써 국가 에너지 수급 정책 방향 설정 및 조정에 기여하고자 진행되었다.

『KEEI 2021 장기 에너지 전망』의 기준 시나리오는 우리나라 인구·경제·사회의 변화에 대한 기본 전제를 바탕으로, 현행 정책, 지침 및 규제뿐만 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) 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 우리나라 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 다양한 경로를 분석하는 시나리오를 제공한다. 이를 위해, 2021년 보고서에서는 처음으로 전망 시계를 2050년까지 연장함으로써 2050년 탄소중립 목표를 비교하고 있다.

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 에너지수급전망연구팀에서 작성한다. 김수일 선임연구위원(발전, 전기)이 작성 총괄을 담당하고, 강병욱 연구위원(산업, 석탄), 김성균 연구위원(수송, 석유), 김지효 연구위원(가정, 가스), 이성재 부연구위원(서비스, 가스)이 분석을 담당했으며, 변정현 전문원이 연구를 지원하였다. 또한 익명의 전문가들이 연구 결과를 검토하고 자문하여 연구의 수준을 높이는데 기여하였다.

보고서에 대한 의견과 질문은 EnergyOutlook@keei.re.kr(으)로 보내주시기 바랍니다.

제 목 차 례

요약 및 특징	1
제1장 2021~2050년 주요 전망 결과.....	11
1. 시나리오의 정의.....	13
2. ‘2021 장기 에너지 전망’의 주요 전제.....	17
3. 에너지 전망 주요 결과.....	27
제2장 부문별 에너지 전망.....	55
1. 산업 부문.....	57
2. 수송 부문.....	74
3. 가정 부문.....	87
4. 서비스 부문	99
5. 발전 부문.....	112
제3장 에너지 상품별 전망.....	137
1. 석탄.....	139
2. 석유.....	146
3. 가스.....	155
부 록 	165
1. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 – 기준 시나리오	167
2. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 – 고성장 시나리오	182
3. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 – 저성장 시나리오	197
4. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 – 정책계획 시나리오.....	212
5. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 – 탄소중립 시나리오.....	227
6. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 – 대안경로 시나리오.....	242
7. 참고문헌.....	257

표 차례

표 1.1	기준 시나리오(REF)의 주요 지표 전망 결과	28
표 1.2	경제 성장 시나리오별 총에너지 수요 (Mtoe)	37
표 1.3	탄소중립을 위한 주요 정책 수단과 기술	39
표 2.1	산업 부문 시나리오별 적용 기술	63
표 2.2	APS와 NZE 시나리오 비교	79
표 2.3	제로에너지 건축물 인증 기준	104
표 2.4	시나리오별 전기 수요 전망 (TWh)	115
표 2.5	정책 시나리오의 추가 온실가스 배출 감축 수단	125

그림 차례

그림 1.1	인구 구조 및 생산가능 인구 비율 변화.....	17
그림 1.2	인구 시나리오별 인구수 및 증가율 추이	18
그림 1.3	가구 구조 및 1인 가구 비율 변화.....	19
그림 1.4	시나리오별 국내총생산 및 경제성장률 추이	20
그림 1.5	2021 장기 에너지 전망 시나리오별 경제 전체와 OECD 경제 전망 비교.....	21
그림 1.6	주요 업종별 부가가치 증가율 및 비중 변화(2020~2050).....	23
그림 1.7	시나리오별 연평균 기온과 10년 구간 평균 냉·난방도일	24
그림 1.8	원유, 천연가스, 석탄 도입 가격 추이 및 시나리오별 전망.....	26
그림 1.9	에너지 상품별 총에너지 소비 및 에너지 부문 온실가스 배출 변화	29
그림 1.10	기준 시나리오(REF)의 최종소비 에너지 상품별 비중.....	30
그림 1.11	국내총생산, 총에너지 소비 및 온실가스 배출의 탈동조화(2018=100).....	31
그림 1.12	기준 시나리오(REF)에서 최종소비 부문의 에너지원단위 개선 추이(2020=100).....	32
그림 1.13	발전 부문 온실가스 배출 변화 비교, 2018~2040	33
그림 1.14	기준 시나리오(REF)의 총에너지 및 온실가스 배출 전망	34
그림 1.15	국내총생산(GDP) 변화 추이와 전망	35
그림 1.16	시나리오별 최종소비 부문 에너지 수요와 온실가스 배출 경로 비교.....	41
그림 1.17	시나리오별 최종소비 부문의 에너지원단위 개선 비교.....	42
그림 1.18	기준 시나리오(REF)와 탄소중립 시나리오(NZE)의 2050년 최종소비 구성 비교	43
그림 1.19	탄소중립 시나리오(NZE)의 수소 수요 및 생산 전망 (백만톤-H ₂)	44
그림 1.20	시나리오별 발전 부문 에너지 수요 및 온실가스 배출 경로	46
그림 1.21	기준 시나리오(REF)와 탄소중립 시나리오(NZE)의 2050년 발전량 비중 비교.....	47
그림 1.22	NDC 및 NZE를 달성하기 위한 부문별 온실가스 감축 기여.....	48
그림 1.23	대안경로 시나리오(ALT)의 에너지 수요와 온실가스 배출 전망.....	49
그림 1.24	전기 판매 부하와 재생에너지(태양광, 풍력) 발전 패턴 비교(3월)	51
그림 2.1	1991~2020년 경제성장률 및 산업 부문 에너지 소비 증가율	57
그림 2.2	1990~2020년 업종별 부가가치(좌) 및 에너지 소비(우) 추이.....	58
그림 2.3	원료용을 포함한 경우(좌)와 제외한 경우(우) 산업 부문 에너지 상품별 소비 비중	59
그림 2.4	주요 업종의 분기별 생산지수 변화 추이	60
그림 2.5	전망 기간 에너지원단위, 부가가치, 에너지 수요 변화.....	62

그림 2.6	2020~2050년 업종별 부가가치 및 에너지 수요 연평균 증가율	64
그림 2.7	석유정제 및 화학(좌)과 철강(우)의 시나리오별 에너지 수요 전망	66
그림 2.8	REF(좌)와 NZE(우)의 철강업 에너지 상품별 수요 추이 비교	67
그림 2.9	2000~2050년 산업 부문 에너지 상품별 수요 추이 및 전망	68
그림 2.10	시나리오별 2050년 산업 부문 에너지 상품 수요	69
그림 2.11	2020년과 2050년의 산업 부문 업종별/에너지 상품별 온실가스 배출량	70
그림 2.12	시나리오별 산업 부문 에너지 수요 및 온실가스 배출 비교	71
그림 2.13	시나리오별 산업 부문 전력화 추이	72
그림 2.14	산업 부문 업종별 온실가스 배출 감축 기여	73
그림 2.15	수송 부문 에너지 소비와 국제유가 추이	74
그림 2.16	수송 부문 에너지 수요와 증가율 추이	76
그림 2.17	수송 부문 에너지 소비 및 자동차 대수 증가율과 국제유가	77
그림 2.18	기술별 자동차 보급과 증가율 추이	78
그림 2.19	전망 기간 수송 수단별 에너지 수요 변화	78
그림 2.20	여객과 화물 수요 전망	81
그림 2.21	수송 연료별 비중 및 수요	82
그림 2.22	수송 부문별 연료별 온실가스 배출 전망	83
그림 2.23	수송부문 시나리오별 에너지 수요와 온실가스 배출 경로 비교	84
그림 2.24	시나리오별 부문별 온실가스 배출량 비교	85
그림 2.25	시나리오별 각 부문의 온실가스 감축 기여	86
그림 2.26	냉·난방도일과 가정 부문 가스 및 전기 소비의 연간 변화율 (%)	87
그림 2.27	가정 부문 에너지 소비의 에너지 상품별 비중 변화 (2000년과 2020년)	88
그림 2.28	기준 시나리오(REF)의 가정 부문 에너지 수요, 가구당 수요, 일인당 수요	89
그림 2.29	APS, NZE의 가정 부문 에너지 수요 변화	91
그림 2.30	가정 부문 에너지 상품별 수요 추이 및 전망 (REF)	92
그림 2.31	기준 시나리오(REF)의 가정 부문 에너지 상품별 수요 비중	93
그림 2.32	2050년 REF 대비 시나리오별 가정 부문 에너지 상품 수요 차이	94
그림 2.33	가정 부문 용도별 에너지 수요 비중 변화 (REF)	95
그림 2.34	가정 부문 2050년 용도별 에너지 수요 비중의 시나리오별 비교	96
그림 2.35	가정 부문 시나리오별 에너지 수요 및 온실가스 배출량	97
그림 2.36	서비스 부문 에너지 수요 및 산출액 추이	99
그림 2.37	업종별 부가가치 증가율 추이	100

그림 2.38	코로나19 전후의 주요 서비스 부문 건물 에너지 소비 변화.....	101
그림 2.39	전망 기간 시나리오별 에너지 수요 변화.....	102
그림 2.40	2020~2050년 업종별 산출액과 시나리오별 에너지 수요의 연평균 증가율.....	106
그림 2.41	서비스 부문 에너지 상품별 수요 추이 및 전망.....	108
그림 2.42	서비스 부문 시나리오 및 에너지 상품별 수요 전망 비교.....	109
그림 2.43	서비스 부문 시나리오별 에너지 수요 및 온실가스 배출량 비교.....	110
그림 2.44	서비스 부문 시나리오별 및 에너지 상품별 온실가스 감축 기여도.....	111
그림 2.45	기준 시나리오(REF) 전기 수요 및 자가발전 전망.....	113
그림 2.46	기준 시나리오(REF)의 부문별 자가 발전 비중 추이.....	114
그림 2.47	2020~2025년 전기 수요 증가 및 부문별 추가 전력화.....	117
그림 2.48	수소 공급 및 수요의 흐름.....	119
그림 2.49	정책계획 시나리오(APS)의 수소 수요 전망.....	121
그림 2.50	탄소중립 시나리오(NZE)의 수소 공급과 수요 (백만톤-H ₂).....	124
그림 2.51	시나리오별 8월 시간별 최대 수요 부하 변화 비교 (GW).....	126
그림 2.52	탄소중립 시나리오(NZE)의 시스템 부하 변화 (GW).....	129
그림 2.53	기준 시나리오(REF)의 발전원별 발전설비 및 발전량 전망.....	131
그림 2.54	탄소중립 시나리오(NZE)의 발전원별 발전설비 및 발전량 전망.....	132
그림 2.55	발전 부문 온실가스 배출 감축 기여 비교.....	134
그림 3.1	2000~2020년 수입국별 석탄 수입량 추이.....	139
그림 3.2	2000~2020년 용도별 석탄 소비 추이.....	140
그림 3.3	시나리오별 석탄 수요 추이.....	141
그림 3.4	2030년과 2050년 용도별/탄종별 석탄 수요 변화.....	142
그림 3.5	시나리오별 전망 기간 발전용(좌) 및 제철용(우) 석탄 수요 변화.....	143
그림 3.6	2000~2050년 용도별 석탄 수요 증감.....	144
그림 3.7	시나리오별 주요 용도별 석탄 수요 변화.....	145
그림 3.8	석유정제 설비 용량, 원유 수입, 석유제품 수출 추이.....	146
그림 3.9	석유제품 소비와 국제 원유가격(두바이) 추이.....	147
그림 3.10	석유제품 수요 및 증가율 추이.....	148
그림 3.11	기간별 부문별 석유제품 수요 변화.....	149
그림 3.12	석유제품별 소비비중 변화.....	150
그림 3.13	시나리오별 석유 수요 전망.....	151
그림 3.14	시나리오별 부문별 2050년 석유 수요 비교.....	153

그림 3.15	수송과 산업 부문의 시나리오별 석유 수요 전망 비교	154
그림 3.16	기준 시나리오(REF)의 용도별 가스 소비 및 비중 전망.....	157
그림 3.17	주요 발전 설비 용량 및 발전용 가스 수요 전망 (REF)	158
그림 3.18	기준 시나리오(REF)에서 최종소비 부문별 가스 수요 전망.....	159
그림 3.19	기준 시나리오(REF)에서 산업 부문 주요 업종별 가스 수요 전망	159
그림 3.20	시나리오별 가스 수요 전망	160
그림 3.21	2030년과 2050년 용도별 가스 수요 비교	161
그림 3.22	시나리오별 발전용 가스 수요 전망 및 2050년 주요 발전 설비 용량	162
그림 3.23	시나리오별 가스 최종소비 전망 및 2050년 부문별 비중.....	163
그림 3.24	시나리오별 산업 부문 주요 업종의 가스 수요 전망 및 2050년 비중	164

글상자 차례

글상자 1.1	인구 감소 및 고령화 가속화로 인한 경제 성장 둔화 가능성.....	21
글상자 2.1	코로나19가 산업 부문 에너지 소비에 미친 영향	60
글상자 2.2	산업 부문의 시나리오 설정	62
글상자 2.3	수송 부문의 전망 시나리오 설정	79
글상자 2.4	가정 부문 시나리오 설정.....	89
글상자 2.5	코로나19로 인한 서비스업 업종의 생산 및 에너지 소비 감소	100
글상자 2.6	서비스 부문 시나리오 설정	103
글상자 2.7	제로에너지건축물(ZEB) 제도	104
글상자 2.8	자가발전 전기 소비	114
글상자 2.9	수소 경제로 인한 전망의 불확실성과 에너지 수급 구조의 변화.....	118
글상자 2.10	‘2050 탄소중립 시나리오’와 ‘2021 장기 에너지 전망’의 수소 수요 비교.....	122
글상자 2.11	부하의 종류와 부하 도출 방법.....	128

요약 및 특징

□ ‘2050 탄소중립’을 위한 노력이 전 세계적으로 확산되는 상황에서 우리나라 탄소중립을 위한 시나리오 분석을 시도

2020년 이후 전 세계를 휘덮은 코로나19가 변이를 거듭하며 감염 확진자 및 사망자의 수가 줄어들지 않고 오히려 더 확산되고 있는 상황에서도 미국과 EU를 비롯하여 전세계 138개국이 탄소중립을 선언하거나 지지하고 있으며, 주요 국가들은 2015년 파리협정에 의거해서 설정하는 감축 목표인 2030년 NDC(Nationally Determined Contribution)를 강화하고 있다. 우리나라도 2020년 10월 대통령의 국회 시정연설에서 2050 탄소중립을 선언한 이래, 2021년 5월 대통령 직속 ‘2050 탄소중립위원회’가 출범하였고, 동년 9월에는 2050 탄소중립을 명시한 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법’을 제정함으로써 탄소중립의 법적 기반을 마련하였다. 탄소중립위원회는 최근 2030 국가 온실가스 감축 목표를 더욱 강화하는 ‘2030 NDC 상향안 (2021a)’과 2050년 탄소중립을 위한 ‘2050 탄소중립 시나리오 (2021b)’를 정부에 제출하였다. 이를 바탕으로 정부는 2021년 12월 유엔당사국총회에 2018년 대비 40% 온실가스 배출을 감축하는 정부 계획 (Republic of Korea, 2021)을 공식적으로 제출하였다.

‘2021 장기 에너지 전망’은 2030 온실가스 배출을 획기적으로 줄이고 2050 탄소중립으로 나아가기 위한 노력이 진행되고 있는 가운데 진행되었다. 이를 위해 ‘2021 장기 에너지 전망’에서는 기준 시나리오(REF) 외에도 ‘2030 NDC 상향안’ 및 ‘2050 탄소중립 시나리오’와 관련된 정책계획 시나리오(APS)와 탄소중립 시나리오(NZE)를 소개하고 있다. APS와 NZE는 모두 2030년 온실가스 감축 목표와 2050년 탄소중립을 지향하고 있으며, ‘에너지 탄소중립 혁신전략(관계부처 합동, 2021)’을 중심으로 그 동안 정부 및 민간에서 발표한 부문별 세부 정책이나 기술들을 정책 수단으로 포함하고 있다. APS는 발표된 계획들 중에서 실현가능성은 배제하고 수단과 일정이 명확하게 제시된 경우에 한해 정책 및 기술 수단들이 계획대로 도입되었을 때 예상되는 에너지 수급 및 온실가스 배출 경로를 그리는 반면, NZE는 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 부문별 온실가스 배출 감축 목표를 달성 또는 근접하는 경로를 묘사한다.

모든 시나리오는 인구와 경제 성장을 비롯하여 에너지 수급을 전망하기 위해 다양한 전제를 사용한다. 우선, 우리나라 인구는 2020년에 5,184만 명으로 정점을 기록한 이후 지속적으로 감소하여 2050년에 4,736만 명으로 2001년 수준(4,737만 명)까지 감소할 전망이다(통계청, 2021). 인구 구조 측면에서는 생산가능인구가 빠르게 감소하는 반면, 고령인구는 빠르게 증가할 전망이다. 우리나라의 국내총생산(GDP)은 2020년에 코로나19의 영향으로 IMF 이후 처음

으로 역성장을 경험하지만, 2021년에 4.0% 성장하고 2022년에는 3.0% 성장하면서 코로나19 이전에 비해 높은 성장세를 보일 것으로 예상된다. 하지만 2020년대 중반 이후로 경제성장률이 크게 둔화되면서 2% 이하의 성장세를 보이고 성장률의 감소 추세는 2050년까지 이어지면서, 2021~2050년의 경제성장률은 연평균 1.5%에 그칠 전망이다. 생산 부문은 보건·사회복지, 정보·통신 등을 중심으로 서비스 부문이 빠르게 성장하며, 제조업 내에서는 정보통신 기술 발전과 수요 증가에 힘입어 반도체, 디스플레이 등을 포함하고 있는 기계류가 빠르게 성장할 것으로 보인다. 한편, '2021 장기 에너지 전망'에서는 최근 IPCC (2021)에서 발표된 SSP(Shared Socioeconomic Pathways) 시나리오의 SSP2-4.5와 SSP1-2.6을 기온 전제로 사용하여 전망 기간의 냉방도일과 난방도일을 설정한다. 에너지 도입가격도 IEA 'World Energy Outlook 2021 (IEA, 2021)'의 STEPS(Stated Policy Scenario)와 NZE(Net Zero Emission)를 전제로 사용하고 있다.

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

현재 시행하고 있는 정책이나 도입이 확정되고 그 수단이 마련된 정책들이 향후에도 지속적으로 유지되며 추가적인 온실가스 감축 수단이 도입되지 않을 경우, 2020년부터 2050년까지 우리나라 총에너지 수요는 2020년 292.0백만toe에서 연평균 0.5% 증가하여 2050년에는 341백만toe에 도달하는 것으로 전망된다. 코로나19로 인한 침체에서 경제가 회복되면서 에너지 수요가 증가하는 가운데 탈탄소 노력으로 전기가 에너지 소비 증가를 주도하는 것이 특징이다. 총에너지 수요는 2020년에서 2025년까지 37백만toe가 증가하는 반면, 2025년 이후 25년동안 약 12백만toe가 증가하는 것으로 전망되어, 코로나19 이후 경제회복이 에너지 수요 증가 패턴에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

코로나19 확산 이전에 이미 시작된 온실가스 및 미세먼지 저감 노력의 영향은 에너지 수요와 온실가스 배출의 전망 추이 차이에서 확인할 수 있다. 에너지 수요는 2050년까지 꾸준히 증가하는 반면, 온실가스 배출은 2020년 569.9백만톤-CO₂eq에서 2050년 461.6백만톤-CO₂eq로 감소한다. 구체적으로는 온실가스 배출이 2024년까지 629.4백만톤-CO₂eq로 빠르게 증가한 후 감소하기 시작하여 2030년은 603.6백만톤-CO₂eq, 2050년은 461.6백만톤-CO₂eq으로 하락한다.

에너지 상품별 총에너지 수요의 변화를 살펴보면, 석탄, 석유, 천연가스 등 화석연료가 2020년에서 2050년 사이 6.3백만toe 감소하고 원자력은 14.7백만toe 감소하는 반면 신재생에너지 수요는 70백만toe 증가한다. 화석연료 중에서는 석탄과 석유 수요가 감소하지만, 전기 수요 증가로 인해 가스 발전이 증가하면서 천연가스 수요는 증가할 전망이다. 최종소비 부문의 에너지 수요는 2020년 222.5백만toe에서 2050년 242.0백만toe로 연평균 0.3% 증가한다. 최종

소비 부문의 에너지 수요는 코로나19의 충격에서 회복하면서 2025년까지 빠르게 증가하며, 이후에는 증가 속도가 둔화되다가 2030년대 초반 약 248백만toe 수준에서 정점을 기록한 후 점차 감소한다. 최종소비 부문의 에너지 상품 구성이 화석연료에서 전기로 대체되면서 발전투입을 고려한 총에너지 수요는 2030년 이후에도 꾸준히 증가한다. 최종소비 부문의 에너지 수요는 2020년 에너지 소비의 절반 가량을 차지하는 석유가 2050년에는 42.8%로 감소하고 대신 전기가 19.7%에서 24.9%, 신재생에너지가 4.3%에서 5.9%로 확대된다.

이번 2021 전망은 총에너지 수요의 정점은 더욱 지연되고 온실가스 배출 정점은 앞당겨진 것이 특징이다. 총에너지 수요와 온실가스 배출의 추세는 과거에는 거의 유사한 움직임을 보였지만 전망 기간에는 변화 경로가 크게 달라질 것으로 분석된다. 즉, 총에너지 수요와 에너지 부문 온실가스 배출 사이에도 탈동조화 현상이 나타나면서, 온실가스 배출이 과거 전망보다 더 빠르게 감소할 전망이다. 국내총생산과 총에너지 수요의 탈동조화 현상은 대부분 최종소비 부문의 에너지 효율 개선에 기인한다. 에너지 효율 개선은 에너지원의 대체도 영향을 미치지만 주로 기존 기술의 효율 향상과 고효율 기기의 보급으로 결정된다. 에너지 소비와 온실가스 배출의 탈동조화 현상은 재생에너지 보급 확대 및 석탄 화력발전 설비의 폐지와 밀접하게 관련이 있다. '제9차 전력수급기본계획 (산업통상자원부, 2020)'의 설비 폐지 일정에 따라 석탄 화력발전소가 수명 30년을 기준으로 연료전환을 하거나 폐지되고, 재생에너지 발전 설비가 최근의 보급 확대 속도를 더욱 확대하여 2034년 100 GW, 2050년 207 GW 수준까지 증가하면, 에너지 수요 증가에도 불구하고 온실가스 배출은 감소한다.

국내총생산과 총에너지 수요의 탈동조화와 함께 에너지 수요와 온실가스 배출의 탈동조화는 경제 성장과 온실가스 배출 감축의 두 가지 목표가 어느 한 쪽의 희생을 요구하는 상충되는 목표가 아니라는 점을 암시한다. 하지만, REF의 온실가스 배출은 '2030 NDC 상향안'이나 '2050 탄소중립 시나리오'에서 제안한 2030년과 2050년의 온실가스 배출 목표에 비하면 여전히 높은 배출 수준을 보이고 있다. 특히, 에너지 수요나 온실가스 배출이 경로 종속적이기 때문에 2025년까지 에너지 소비와 온실가스 배출이 빠르게 증가하는 것이 '2030 NDC 상향안'이나 '2050 탄소중립 시나리오'의 감축 목표 달성을 어렵게 만드는 요인이 되고 있다.

□ 온실가스 배출 감축 목표 달성의 단기적 어려움

2020년 우리는 코로나19의 영향으로 경제적 어려움과 함께 에너지 소비와 온실가스 배출의 감소를 동시에 경험하였다. 하지만, 우리나라 경제가 코로나19의 충격에서 신속하게 벗어나면서 2025년까지 에너지 수요도 급속히 증가하고 온실가스 배출도 늘어날 전망이다. 국내 총생산은 2020년에서 2025년까지 5년 사이 연평균 2.8%의 높은 성장률을 보이지만, 이후 성

장률이 급격히 하락한다. 단기적인 급속한 경제 회복으로 인해 에너지 소비는 2025년까지 빠르게 증가할 전망이다. 최종소비 부문의 에너지 소비는 2020년에서 2025년 사이 약 21.5백만 toe가 증가하여 소비 정점으로 예상되는 2045년까지 증가하는 에너지 소비의 절반 이상이 향후 5년 사이에 증가한다. 단기적인 최종 소비의 증가는 80% 이상 대부분이 산업 부문에서 발생한다.

산업 부문과 서비스 부문을 중심으로 한 단기적인 에너지 수요의 급증은 온실가스 배출의 증가를 초래하여, 외부적인 요인의 영향이 더 컸다 하더라도 2018년 이후 2년 연속 감소했던 온실가스 배출이 2024년 629.4백만톤-CO₂eq 수준에 도달할 전망이다. 이는 2018년 정점 수준인 640.7백만톤-CO₂eq에 비해서는 낮지만, 2018년을 기준으로 선형 감축 경로 방식으로 설정한 ‘2030 NDC 상향안’이나 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 목표와는 반대 방향의 변화이기 때문에 목표달성을 위해서는 추가적인 감축 노력을 요구한다. 생산 부문이 갖는 구조적인 한계로 인해 추가적인 감축 경로는 기존 목표 설정을 위한 부문별 감축이나 정책에 비례하지 않게 된다.

□ 탄소중립을 향한 두 가지 시나리오

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% 줄이기 위해서 에너지 부문에서 약 33%를 줄여야 하는 것으로 분석되었다. 또한 ‘2050 탄소중립 시나리오 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’에서는 2050년 탄소중립을 달성하기 위해 에너지 부문에서 2050년까지 2018년 대비 99%를 감축해야 한다. 본 보고서에서는 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 2030년과 2050년 온실가스 배출 목표 달성을 점검하기 위해 ‘2050 에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, 2021)’, ‘2030 NDC 상향안’, ‘2050 탄소중립 시나리오’, ‘탄소중립 산업·에너지 R&D 전략 (산업통상자원부, 2021)’, ‘국토교통 탄소중립 로드맵 (국토교통부, 2021)’ 등 다수의 자료를 이용하여 정책 수단들을 분석하였다. 주요 수단들은 산업 공통 기기의 에너지 효율 향상이나 일관제철 공정 에 철스크랩의 비중을 증가시키기 위한 기술 개발, 기존 석탄 및 가스 발전에 암모니아나 수소를 혼소하는 기술 개발, 수소터빈 개발이나 수소 생산을 위한 수전해 공정 개발, 철강의 수소환원제철 개발 등을 비롯하여 정부의 직접적인 규제나 보급 목표, 탄소세 부과, 에너지 가격체계 개선 등이 있다. 또한 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 최적으로 설계되어 동반된다고 가정한다.

‘정책계획 시나리오(APS)’는 정부 계획으로 발표한 여러 수단들 중에서 그 방법과 수준이 명확한 수단들이 계획된 일정대로 진행될 때 예상할 수 있는 에너지 수요와 온실가스 배출의 경로를 그리고 있다. 한편, ‘탄소중립 시나리오(NZE)’는 APS에서 부족한 탄소배출 감축을 위해 제시된 정책 수단들을 더 강화하고 새로운 수단들을 추가한 경우의 에너지 수요와 온실가스 배출 경로를 묘사한다. 탄소중립에 도달하는 경로는 무수히 많이 존재한다. APS나 NZE는 그러한 경로들 중의 하나이고 정책 수단들에 대한 연구자의 해석을 수치화 한 것이라고 할 수 있다. 하지만, 시나리오 결과는 시나리오 설계에 사용된 수단과 기술들이 예상된 시점에 실제 도입된다는 것을 의미하지 않는다. 또한 기술들이 실현되더라도 실험 단계에서 상용화 단계로 들어선다는 것을 가정할 뿐 기술들의 실제 경제성이 기존 기술과 비교 경쟁력을 갖는다고 보장하지 않는다. 즉, 시나리오 결과는 그 시점에 해당 수단과 기술들이 도입될 경우 변화되는 에너지 수요와 온실가스 배출을 계산한 결과일 뿐이다.

APS에서 최종소비 부문의 에너지 수요는 2024년 238.0백만toe를 정점으로 이후 빠르게 감소하여 2030년 225백만toe, 2050년 192백만toe 수준으로 하락할 것으로 전망된다. 최종소비 부문의 에너지 수요 감소는 고효율 기술 개발과 수소환원제철 공법을 중심으로 한 미래 기술의 상용화 그리고 정책 지원에 힘입은 기술의 빠른 보급으로 에너지원단위가 개선되는 것이 가장 큰 원인이다. REF와 비교할 때 2030년은 약 23백만toe(약 9%), 2050년은 50백만toe(21%)가 감소한다. 수소환원제철은 대표적인 미래 기술로 철강업종의 석탄 소비를 수소로 대체하게 된다. 이러한 에너지 대체는 에너지 효율 개선으로 인한 온실가스 감축을 가속화하여 APS의 온실가스 배출은 2022년 전년대비 2.6% 반등하지만 이후 지속적으로 감소하여 2030년 320.7백만톤-CO₂eq, 2050년에는 148.7백만톤-CO₂eq 수준으로 줄어든다.

APS의 온실가스 배출은 ‘2030 NDC 상향안’이나 ‘2050 탄소중립 시나리오’에 비해 여전히 높은 수준이다. 에너지밸런스를 이용하여 환산한 2030년과 2050년 에너지 부문 온실가스 배출 목표는 각각 289백만톤-CO₂eq과 36백만톤-CO₂eq이다. 따라서 2030년의 배출 목표량을 달성하기 위해서는 2030년까지 연간 배출량을 31백만톤-CO₂eq 추가적으로 감축해야 하며, 2050년까지는 추가 감축 요구량이 112백만톤-CO₂eq으로 늘어난다. 온실가스 배출을 추가적으로 감축하기 위해서는 산업용 생산 설비만이 아니라 건물용 난방 설비에 대한 전력화 기술 투자와 시장의 기술 선택을 유도하는 규제 및 시장 정책을 강화해야 한다. 또한, APS보다 최종소비 부문의 재생에너지 보급을 더욱 확대하는 것도 필요하다. 이를 위해서는 가격 및 시장 제도를 통한 개선을 위해 보다 정밀한 제도 설계가 필요한 것으로 분석된다. 추가적인 수단을 통한 에너지 수요 감소는 미미하지만 온실가스 배출은 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 목표에 상당히 근접하는 것으로 나타났다.

에너지 공급 구조가 NZE의 경로를 따를 경우 가장 극적인 변화를 보이는 에너지 상품은 석탄으로, 온실가스 배출 저감을 위한 철강업의 노력으로 제철 공정에 투입되던 유연탄이 수소로 대체되면서 2050년 최종소비에서 석탄이 차지하는 비중은 0.5%로 급감하게 된다. 반대 방향으로 극적인 변화를 보이는 것은 전기와 수소를 포함한 신재생에너지이다. 정책 추진 초반부터 강조되는 전력화에 힘입어 2050년에는 전기가 최종소비에서 가장 큰 비중을 차지하는 에너지 상품으로 성장한다. 수소는 수소환원제철을 중심으로 2040년 이후에나 본격적으로 도입되지만, 대규모 설비의 단계적 교체를 통해 이루어지기 때문에 보급 규모는 엄청난 크기로 진행될 전망이다.

NZE에서 수소 수요는 2030년 4.9백만톤-H₂, 2050년은 12.6백만톤-H₂ 증가할 전망이다. 수소 수요는 2040년까지는 발전 부문을 중심으로 증가하고 그 이후는 산업 부문이 수소 수요의 증가를 주도한다. 발전 부문에서는 석탄에 암모니아를 20% 혼소하는 기술이 2020년대 중반부터 도입되어 2030년에는 24기의 석탄 발전에 적용될 예정이고, 가스에 수소를 50% 혼소하는 기술은 35년부터 전체 가스 설비를 대상으로 적용할 예정이다. 하지만, 석탄 화력발전소를 중심으로 화석연료를 사용하는 발전소가 급격히 감소하면서 2040년 이후 혼소에 사용되는 암모니아와 수소의 수요는 감소할 전망이다. 대신 수소터빈의 개발과 설비 대체가 진행되면서 수소 수요를 유지한다. 산업 부문은 2040년부터 철강업에 수소환원제철 설비가 차례로 기존 설비를 대체하면서 설비 교체가 완료되는 2050년까지 수소 수요가 급격하게 증가할 전망이다. NZE의 2050년 수소 수요는 '2050 탄소중립 시나리오'의 수소 수요 전망인 27.4백만톤-H₂의 약 54% 수준에 그친다. 주요 원인은 전기 수요 전망 차이, 수소환원제철 공정 및 수전해 생산의 기술 특성 계수 차이, 수소 열량 전환 계수 차이 등이 원인인 것으로 분석된다. 수소 공급은 '2050 탄소중립 시나리오'의 공급 방식별 비중을 적용하여 2050년에 수입이 80%인 10.0백만톤-H₂, 수전해 생산이 20%인 2.5백만톤-H₂를 차지한다. 초기에는 추출 수소 방식의 국내생산의 대부분을 차지하지만, 후기에는 100% 청정 수소로 전환하며, 수소 생산에 필요한 전기 수요는 2050년 약 136 TWh 수준인 것으로 계산된다.

전기 수요의 대폭적인 증가는 총에너지 수요와 에너지 부문 온실가스 배출을 결정하는데 발전 부문의 역할이 더욱 중요해진다는 것을 의미한다. 탄소중립 정책이 APS를 따를 경우 전기 수요는 2030년 723 TWh, 2050년은 887 TWh로 예상된다. 반면 NZE에서는 2030년 749 TWh, 2050년 930 TWh까지 늘어난다. NZE의 전기 수요가 APS보다 증가하는 것은 최종소비 부문의 추가적인 전력화가 핵심적인 요인이지만, 수소 관련 정책에 따라 전기 수요의 증가 또는 감소 요인이 복합적으로 작용한다. 한편, '2030 NDC 상향안'의 2030년 예상 전기 수요가 567 TWh 인 것에 비해 NZE의 2030년 전기 수요는 30% 이상 많으며, '2050 탄소중립 시나리오'의 2050

년 예상 전기 수요 1,257.7 TWh에 비해서는 23% 가량 적은 전망 결과이다. '2030 NDC 상향안'과는 주로 초기 전력화에 대한 규모와 속도의 차이에서 전기 수요 차이가 발생하는 것으로 파악된다. '2030 탄소중립 시나리오'와는 최종소비 부문의 전기 수요 차이도 있지만, 수소 수요와 탄소포집에 대한 차이로 추가적인 전기 수요의 전망 차이가 큰 것으로 분석된다.

설비 및 연료 대체 외에도 석탄 발전 상한제나 환경 급전과 같은 운영 규제 등을 통해 온실가스 배출을 줄인 결과 발전 부문의 온실가스 배출은 2020년 211.1백만톤-CO₂eq에서 2024년 240백만톤-CO₂eq까지 증가한 후 급격하게 감소한다(APS). APS의 발전 부문 온실가스 배출은 2030년 199백만톤-CO₂eq, 2050년 20백만톤-CO₂eq 수준으로 전망된다. APS의 발전 부문 온실가스 배출 경로는 '2050 탄소중립 시나리오'의 목표에 근접하지만 '2030 NDC 상향안'의 목표와는 상당한 차이가 있다. 발전 부문의 온실가스 배출 감축 목표를 달성하기 위해서는 2024년까지 예상되는 발전 부문의 온실가스 배출 반등을 최대한 억제하는 것이 필요하다. 설비 변경의 어려움이라는 시간적 제약 속에서 이를 달성하는 방법은 석탄 화력발전 설비의 운영 변경을 통해 온실가스 배출을 줄이는 것이다. 추가적인 수단을 이용하여 석탄 화력발전 설비의 이용률을 40% 수준까지 제한할 경우 발전 부문 온실가스 배출이 2030년 171백만톤-CO₂eq, 2050년에는 12백만톤-CO₂eq 수준까지 감소하는 것으로 분석된다(NZE). 발전 부문의 온실가스 배출을 줄이는 것은 석탄 화력발전의 제약 외에도 재생에너지 발전의 보급 확대 등도 함께 이루어진다. NZE에서는 재생에너지 발전이 2020년 30.1 TWh(5.5%)에서, 2030년 246.2 TWh(31.1%) 2050년에는 총발전의 67.8%인 약 658.6 TWh 수준까지 증가한다. 이를 위해서는 태양광, 풍력, 해양에너지의 설비가 2020년 16.5 GW에서 2030년 173 GW, 2050년에는 494 GW로 늘어나야 한다. 2040년대 본격적으로 진입하는 수소터빈은 2050년 발전량이 약 83.2 TWh 규모가 될 것으로 예상된다. 한편 수소 기반 연료전지도 '제9차 전기본'에서 2034년까지 설비 보급을 급속히 증가시킬 계획이고, 정책 기조가 그 이후에도 지속되면서 2050년에는 발전량이 33.6 TWh로 늘어난다.

최종소비 부문의 온실가스 배출과 전환 부문의 온실가스 배출을 종합적으로 고려하면 APS에서 온실가스 배출은 2020년 569.7백만톤-CO₂eq에서 2030년 527백만톤-CO₂eq, 2050년 169백만톤-CO₂eq로 감소한다. REF 대비 2030년은 12.8%가 감소하며, 2050년 기준으로는 63.3%가 감소하는 수준이다. 이에 따라 2021~2050년 APS의 온실가스 누적 배출은 128억톤-CO₂eq으로 REF의 온실가스 누적 배출 169억톤-CO₂eq 대비 약 41억톤-CO₂eq, 24.1%가 감소한다. APS 온실가스 배출 감축 경로에 가장 기여가 큰 부분은 발전을 포함한 전환 부문으로 2021~2050년 17.8억톤-CO₂eq의 온실가스 배출을 감축한다. 산업 부문은 17.2억톤-CO₂eq의 온실가스 배출이 감소하여 전환 부문의 감축량과 거의 비슷한 수준이다. 하지만 온실가스 감축 목표의 기

준으로 설정한 2030년과 2050년 두 연도를 비교하면 APS는 연간 배출량을 각각 85백만톤-CO₂eq과 133백만톤-CO₂eq을 추가적으로 감축해야 한다.

발전 부문의 초기 온실가스 배출을 최대한 억제하는 NZE는 2030년 465백만톤-CO₂eq, 2050년에는 89백만톤-CO₂eq으로 온실가스 배출이 감소한다. 2050년까지의 누적 배출량으로 는 NZE는 111억톤-CO₂eq으로 APS에 비해 약 18억톤-CO₂eq의 온실가스 배출이 추가로 감축된다. 추가 감축의 기여도는 산업 부문이 5.7억톤-CO₂eq으로 가장 많으며 그 뒤를 이어 수송 부문이 5억톤-CO₂eq, 발전 부문이 4.5억톤-CO₂eq을 감축한다. 발전 부문은 2030년 이전에 추가 감축량의 77%인 3.5억톤-CO₂eq을 감축해야 탄소배출 경로가 NDC와 NZE 목표에 근접한다. NZE에서 산업 부문의 총 배출 감축은 23억톤-CO₂eq으로 약 22억톤-CO₂eq으로 예상되는 전환 부문에 비해 약간 크게 분석된다. 연간 배출량으로도 산업 부문은 2050년에 164백만톤-CO₂eq을 감축해야 하는 반면, 발전 부문은 127백만톤-CO₂eq 수준으로 분석된다. 이는 '제9차 전력수급기본계획'을 비롯하여 그 동안의 온실가스 감축 노력이 발전 부문에 집중되었고 REF에 현재 진행되고 있는 저감 정책이 이미 반영된 결과이다.

□ 탄소중립 추진 과정에서 발생할 수 있는 어려움과 정책적 시사점

탄소중립을 향한 경로에서는 전기 수요의 빠른 증가와 재생에너지의 폭발적 확대가 필요하다. 이는 에너지 안보 측면에서 두 가지 상반된 결과를 보여준다. 전통적 안보인 에너지 공급 안정성을 살펴보면, 전기 수요의 증가와 재생에너지 보급 확대는 화석연료의 수입을 감소시킴으로써 에너지의 해외 의존도를 줄이게 된다. NZE에서 2050년 총에너지 수요는 374백만toe이며, 이 중에서 에너지 수입은 146백만toe로 에너지 수입 비중은 39.1% 수준이 될 전망이다. 2020년 에너지 수입 의존도가 92.9%인 것에 비해서 탄소중립 추진으로 인한 에너지 안보는 획기적으로 강화될 것이다.

하지만, 재생에너지, 특히 변동성 재생에너지 발전의 급격한 확대는 에너지시스템의 안보라는 새로운 안보 개념을 부각시킨다. 우리나라가 국가 단일의 고립 계통망이라는 점, 변동성 재생에너지의 시간별 발전 전망이 수요 부하에 근접하는 수준이 아니라 최대 부하를 훨씬 초과하는 수준이라는 점, 재생에너지 발전 비중이라는 목표가 설정되어 있다는 점 등은 실제 전력 계통 운영에 큰 어려움을 발생시킬 것이다. NZE의 경우, 태양광, 풍력, 해양에너지를 합한 변동성 재생에너지 발전은 2020년 20.2 TWh에서 2030년 237 TWh, 2050년에는 649 TWh까지 증가한다. 변동성 재생에너지 발전이 총 발전량에서 차지하는 비중은 2030년 30%, 2050년은 67%에 이른다. 이 경우 태양광과 풍력 발전의 시간당 평균 발전의 최대는 2030년 71 GW, 2050년은 199 GW에 도달하게 된다. 2040년대 이후에는 모든 시기에 변동성 재생에너지의 초과 발

전이 발생한다. 연간 초과 발전량은 2050년 약 90 TWh로 추정되며, 이는 2050년 총 발전량 971 TWh의 약 9.3%, 변동성 재생에너지 발전량의 13.9%에 달한다. 변동성 재생에너지 발전이 낮은 수준인 경우에는 일시적으로 출력제한을 하거나 부하 관리 및 터빈 발전기의 급전 변경을 통해 대응할 수 있지만 변동성 재생에너지 발전의 비중이 높아질 경우 이러한 방식으로는 시스템의 안정성을 확보가 어려울 것으로 예상된다. 또한 변동성 재생에너지 발전의 초과 발전량을 전기 수요 충당에 활용한 경우가 '2030 NDC 상향안'이나 '2050 탄소중립 시나리오'의 재생에너지 발전 비중을 만족하기 때문에 변동성 재생에너지 발전의 확대는 초과 발전량에 대한 정확한 예측과 함께 초과 발전량을 수용하기 위한 대규모 에너지 저장장치의 확보가 필요하다.

탄소중립을 향한 경로는 수 많은 온실가스 감축 수단들의 조합으로 결정되며, 감축 수단들에 대한 우선 순위와 적용 정도에 따라 다양한 온실가스 배출 경로가 발생한다. 시나리오는 모든 수단들이 적정 시점에 기술적으로 그리고 경제적으로 사용 가능하다는 가정 하에 정해진 수준에 도달하기 위해 택할 수 있는 여러 경로 중에 하나를 설명하는 것이다. 이러한 경로는 에너지 사용 기기의 효율이 어느 정도 향상되어야 하는지 그리고 어느 시점에 설비 투자를 통해 기존 기기 및 설비를 대체해야 되는지를 보여준다. 정책 당국은 정책의 실현 가능성, 정책 비용, 온실가스 배출 경로에 따른 사회적 경제적 파급 효과 등을 비교하여 정책을 결정해야 한다.

모든 정책 시나리오에서 정도와 시기의 차이는 있지만 공통적인 어려움과 도전이 발생한다. 발전 부문은 재생에너지 발전 비중의 확대, 수소 기술의 개발, 전력 계통의 안정성 확보가 과제로 남을 것이다. 모든 시나리오에서 변동성 재생에너지 발전의 비중이 급격하게 증가하기 때문에 변동성 재생에너지 발전의 불확실성, 교류 전원 체계의 관성 유지 및 주파수 품질 관리 등의 문제에 대해 더욱 신속하게 대응해야 한다. 또한 장기적으로 변동성 재생에너지 발전을 저장할 에너지 저장장치에 대한 설비 확보가 필요하다. 건물 부문에서는 난방 연료의 감축과 대체가 필요한데, 단열을 포함한 건축 기술과 건축 관련 규제도 강화해야 하지만, 향후 전기 난방 보일러의 허용을 비롯하여 건물 난방 부분에서 수소를 활용하는 기술 개발도 필요하다. 탄소 포집, 수소 경제 그리고 재생에너지 발전은 상호 유기적인 영향을 미치기 때문에 각 부문의 정책 수단들에 대한 역할과 비중에 대한 신중한 판단이 중요하다.

한편, 시나리오 분석에 따르면 모든 부문에서 탄소중립으로 가는 중간 다리 역할을 하는 수단과 기술들이 존재한다. 예를 들어 가스 발전은 탄소중립 과정에서 전기의 안정적 공급과 시스템 유지를 위한 역할이 확대되지만 정책 방향은 탄소 배출의 원천인 가스 발전의 궁극적 폐지를 향하고 있다. 이는 현실적으로 탄소중립의 과정에서 사업자들이 가스 발전의 온실가스 배출을 줄이기 위한 신규 투자를 저해하는 요인으로 작용할 것이다. 즉, 미래 기술을 기반으로

한 최종 체계로 넘어가기 전 임시적인 중간 단계에 대한 투자에 대해 경제적 보상이 충분하지 않을 경우 탄소중립의 중간 경로는 상당한 지연될 수 있다.

본 보고서의 시나리오 분석은 정책과 기술에 대한 정보를 최대한 수집하여 객관적으로 미래를 전망하고자 했다. 장기 전망이 갖는 기본적인 불확실성 외에도 탄소중립을 위한 시나리오에는 전망의 불확실성을 증폭시키는 요인들이 존재한다. 대표적인 불확실성 요인으로 미래 기술의 기술 특성 계수와 수소 경제로 인한 에너지 시스템의 변화를 들 수 있다. 탄소중립의 경로가 의존하는 미래 기술은 투입-산출에 대한 특성이 넓은 범위를 갖고 있으며, 기술적 특성 계수의 불확실성은 결과적으로 도출되는 에너지 수요 및 온실가스 배출량의 기대치를 크게 변동시킬 수 있다. 수소 경제로의 전환은 현재 에너지 시스템을 표현하는 에너지 통계 체계의 변화를 요구한다. 이미 존재하는 에너지 상품을 이용한 수소 생산은 국가 총에너지 공급의 양을 증가시키지는 않지만 수소 수요의 증가는 기존 에너지 상품에 대한 수요를 증가시켜 총에너지 공급의 양을 증가시킨다. 수소의 수입은 직접 국가 총에너지 공급을 증가시킨다. 이런 유기적인 관계는 미래 기술의 불확실성과 결합하여 장기 에너지 수급 및 온실가스 배출의 결과에 대한 불확실성을 높이게 된다. 따라서 본 보고서의 에너지 및 온실가스 배출에 대한 수치는 크기의 정확성 보다는 추세의 방향에 중점을 두고 해석할 필요가 있다.

제1장 2021~2050년 주요 전망 결과

1. 시나리오의 정의

□ 시나리오는 정부 정책의 변화에 따라 예상되는 미래의 에너지 소비 및 공급 구조를 설명

‘2021 장기 에너지 전망’은 기존 전망 보고서에서 2045년까지 설정하였던 전망 시계를 2050년까지 연장하였다. 전망 기간을 2050년까지 연장함으로써 2030년 국가 온실가스 감축 목표(NDC)와 2040년 ‘제3차 에너지기본계획 (산업통상자원부, 2019)’의 에너지 목표를 비롯하여 2050년 탄소중립 목표 시점의 에너지 수급 상황을 살펴볼 수 있게 되었다. ‘2021 장기 에너지 전망’에서는 정책 변화로 인한 비교의 출발선이 되는 기준 시나리오(REF, REference scenario)를 비롯하여, 탄소중립의 경로를 분석하는 정책계획 시나리오(APS, Announced Plan Scenario) 및 탄소중립 시나리오(NZE, Net Zero Emission scenario)를 제공한다. 또한 탄소중립을 위한 또다른 대안 시나리오(ALT, ALTERNative scenario)도 풍부하고 다양한 정보 제공을 위해 제시하고 있다. 개별 시나리오에 대한 정의는 아래에서 자세히 설명하기로 하며, 우선 시나리오 자체는 다음과 같은 의미로 이해해야 한다고 강조한다. 시나리오는 미래에 벌어질 일을 정확히 맞추기 위한 예측(forecast 또는 prediction)이 아니다. 시나리오는 공통의 기본 전제를 바탕으로 작성되지만 정책과 기술에 대한 가정에 따라 달라질 미래의 모습을 묘사한다. 즉, 시나리오는 정부가 어떤 정책을 선택할 지 예측하는 것이 아니라 어떤 정책을 선택할 때 그로 인한 변화가 어떻게 될 지를 알려준다. 이러한 의미에서 장기 시나리오를 전망(outlook 또는 projection)이라고 부른다. 미래에 실현될 세상은, 기본 전제가 정확하다면, 여러 시나리오 사이 어디쯤이 될 것이다.

기준 시나리오(REF)는 우리나라의 인구, 경제 성장, 산업 구조, 기온, 그리고 국제 에너지 가격에 대한 기본 전제와 에너지 기술이 과거와 비슷한 수준으로 꾸준히 발전한다는 가정에 현재 시행하고 있거나 시행이 예정되어 있는 정책 및 규제 등으로 인해 예상되는 에너지 소비 및 공급의 장기적인 변화 경로를 전망한다. REF와 정책 시나리오를 구분하는 핵심 요소는 기술 발전과 정책에 대한 가정이다. ‘2021 장기 에너지 전망’의 REF는 2020년 말 현재 시행되고 있는 정책들이 향후에도 지속된다는 것을 가정하고 있다. 특히, 2020년 12월 발표된 ‘제9차 전력수급기본계획 (산업통상자원부, 2020)’의 설비 건설 및 폐지 일정을 반영하여 2034년까지 발전 설비의 종류와 규모를 계산하고, 2034년 이후는 ‘제9차 전력수급기본계획’의 기초를 연장하여 발전 설비를 전망한다. 또한 국회의 입법 절차와 정부의 시행 수단이 마련된 정책들이나 기존 정책의 강화 일정 등도 REF의 현재 정책으로 간주한다. 하지만 ‘제3차 에너지기본계획 (산업통상자원부, 2019)’이나, ‘2050 탄소중립 시나리오 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’ 등과 같이 장기적이며 선언적인 목표는 REF에 포함하지 않는다. 또한, ‘2030 국가 온실가스 감축 목

표 (Republic of Korea, 2021)'처럼 UNFCCC에 제출된 국가 의무라고 하더라도 선언적인 장기 목표의 온실가스 배출 수준이 달성되는 것을 가정하지 않는다. 장기 국가 목표에서 채택한 감축 수단들은 새로운 정책을 도입할 것이라는 계획과 아직은 상용화되지 않은 미래 기술들을 포함하고 있다. 이러한 정책 수단들의 효과는 대부분 정책 시나리오에 반영된다. '2021 장기 에너지 전망'의 REF 정의는 'World Energy Outlook 2021 (IEA, 2021)'에서 사용하는 기준 시나리오인 STEPS(Stated Policy Scenario)와 유사하다.

REF 및 정책 시나리오에 사용된 전제들을 간단히 소개하면 다음과 같으며, 자세한 내용은 "2021 장기 에너지 전망"의 주요 전제"에서 설명한다. 우선, 인구 및 가구는 통계청의 인구 및 가구 추계를 사용한다. 통계청은 인구·주택 총조사를 바탕으로 정기적으로 인구를 전망하며 필요에 따라 비정기적인 전망 결과를 제공한다. '2021 장기 에너지 전망'은 가장 최근인 2021년 12월에 나온 인구 전망을 전제로 사용하고 있다. 경제 성장과 산업 구조는 '제3차 에너지기본계획 (산업통상자원부, 2019)'에 사용된 장기 잠재 경제성장률과 산업구조 전망을 이용한다. '제3차 에너지기본계획' 수립 시기와 현재의 시차가 있기 때문에 계획 수립 이후의 경제 변화를 반영하여 전망치를 조정하였다. REF에서는 2020년에서 2050년까지 우리나라 경제가 연평균 1.6% 성장할 것으로 전망하고 있다. 이는 2020년 보고서 (에너지경제연구원, 2021)에서 예상한 것보다 코로나19(COVID-19)의 충격을 효과적으로 방어한 것을 반영한 것이며, 단기적으로 높은 성장률을 보이면서 코로나19 이전의 전망 (에너지경제연구원, 2019)에서 가정한 경제 성장에 근접할 것으로 예상하고 있다.

기온 및 국제 에너지 가격 전제는 과거 장기 에너지 전망에서 사용한 방법과 달라졌다. 이전에는 미래의 일일 평균 기온을 과거 10년의 일일 평균 기온으로 가정하고 냉방도일과 난방도일을 계산하였다. 하지만 '2021 장기 에너지 전망'에서는 IPCC 6차 평가보고서 (2021)의 SSP2-4.5와 SSP1-2.6 시나리오를 각각 기준 시나리오와 정책 시나리오의 미래 기온으로 가정하고 있다. 한편, 에너지 가격은 IEA의 국제 에너지 가격 전망 (IEA, 2021)을 이용하여 국내 도입 가격을 계산하는데, 과거에는 NPS(New Policy Scenario)의 가격 전망을 모든 시나리오에 사용한 반면, '2021 장기 에너지 전망'에서는 기준 시나리오에는 STEPS의 에너지 가격 전망, 정책 시나리오에는 NZE(Net Zero Emission Scenario)의 에너지 가격 전망을 전제로 사용하고 있다. 국내 에너지 제품 가격은 석유, 석탄, 가스의 수입 단가에 국내 조세 체계를 반영하여 작성한 물가지수를 사용한다.

에너지경제연구원의 장기 에너지 전망 보고서는 REF 외에 경제 성장의 변화를 반영한 성장 시나리오를 기본적으로 제공한다. 성장 시나리오는 우리나라 경제가 고성장 또는 저성장의 경로를 거칠 경우 예상되는 에너지 수급 경로를 설명하는 것으로, 경제 성장과 이에 따른 산업

구조의 변화만 차이가 있으며 정책에 대한 가정은 기준 시나리오와 동일하다. 성장 시나리오는 고위 및 저위 인구 전망을 기초로, 단기적으로는 코로나19로 인한 경기 침체에서의 회복 속도 여부와 장기적으로는 성장 잠재력의 회복 여부에 대한 상반된 상황을 가정하여 작성한다. 고성장 시나리오(HEG, High Economic Growth)에서는 코로나19 회복 과정에서 획득한 국제 경제에서의 우위가 단기적인 경기 회복에 그치지 않고 투자 증가 및 생산성 향상을 통해 장기적인 성장 동력으로 쌓이면서 전망 기간 경제가 연평균 1.8% 증가한다. 반면, 저성장 시나리오(LEG, Low Economic Growth)에서는 전망 기간 연평균 경제 성장률을 1.0%로 가정하고 있는데, 단기적으로는 기준 시나리오와 비슷하게 코로나19의 충격에서 벗어나지만 코로나19 영향 장기화로 인한 전 세계 경제의 둔화와 국내 노동 투입 감소 및 생산성 하락으로 2050년 경제 규모는 기준 시나리오보다 11.6% 작은 수준이 될 것으로 예상하고 있다.

□ 2050년 탄소중립을 달성하기 위한 경로

탄소중립 또는 강력한 탄소 감축을 위한 노력의 세계적인 흐름에 맞춰 우리나라도 2020년 10월 문재인 대통령의 국회시정연설에서 탄소중립을 선언한 이후 (문재인, 2020), ‘2050 탄소중립위원회’를 중심으로 2030년 국가 온실가스 감축목표를 강화하고(이하 2030 NDC 상향안) (2050 탄소중립위원회, 2021a) 2050년 탄소중립을 달성하는 시나리오를 제시하였다(이하 2050 탄소중립 시나리오) (2050 탄소중립위원회, 2021b). 이후 2021년 12월에는 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오’에서 제시한 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 에너지 부문 전략인 ‘에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, 2021)’을 발표하였다. 이를 바탕으로 문재인 대통령은 2021년 11월 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP26)에서 2030년까지 2018년 대비 40% 이상 국가 온실가스 배출을 감축하겠다는 것을 국제적으로 밝히고, 외교부와 환경부는 2021년 12월 상향된 ‘2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC)’ (Republic of Korea, 2021)를 유엔기후변화협약에 제출하였다.

‘2021 장기 에너지 전망’에서는 ‘2030 NDC 상향안’ 및 ‘2050 탄소중립 시나리오’와 관련된 두 개의 시나리오를 소개하고 있다. 하나는 정책계획 시나리오(APS)이며, 다른 하나는 탄소중립 시나리오(NZE)이다. 두 시나리오는 모두 2030년 온실가스 감축 목표와 2050년 탄소중립을 지향하고 있으며, ‘에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, 2021)’을 중심으로 그 동안 정부 및 민간에서 발표한 부문별 세부 정책이나 기술들을 정책 수단으로 포함하고 있다. 하지만, 기술들이 아직 실현되지 않은 미래의 수단들인 경우가 많고 정부 계획도 이러한 미래 기술을 개발하겠다는 목표를 제시하는 것에 그치는 경우가 많다. APS는 발표된 계획들 중에서 실현가능성은 배제하고 수단과 일정이 명확하게 제시된 경우에 한해 정책 및 기술 수단들이 계획대로

도입되었을 때 예상되는 에너지 수급 및 온실가스 배출 경로를 그리고 있다. 반면, NZE는 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 온실가스 배출 감축 목표를 달성하는 경로를 묘사한다. NZE는 APS의 감축 수단들에 대한 도입 시기와 적용 수준을 가능한 최대치로 하고 있다는 점에서 시나리오 분석의 차이가 있다. 다만, NZE는 최종소비 부문의 각 부문별 온실가스 감축 목표 달성을 우선으로 하기 때문에 발전 부문이나 총배출 목표가 ‘2030 NDC 상향안’이나 ‘2050 탄소중립 시나리오’와는 일치하지 않을 수 있다.

APS나 NZE와 같은 정책 시나리오들은 탄소중립을 출발점으로 백캐스팅(backcasting)을 통해 바람직한 경로를 만드는 것이 아니라, 현재 시점에서 출발하여 정책과 기술을 강화할 때 도달할 수 있는 가상의 미래 지점을 도출하는 방법을 사용하고 있다. 물론 최종 목적은 2050년 탄소중립의 달성으로 고정되어 있으며, 국가 목표나 전략에서 제시하는 정책 수단으로 목표 달성이 어려울 경우 목표에 도달할 때까지 사전에 정해진 순서대로 정책들을 추가적으로 강화해 나간다. 하지만, 이 과정은 미래 기술의 달성 가능성이나 정책 도입 및 강화 가능성을 의미하지는 않는다. 또한, 기술과 정책의 비용도 시나리오 분석에서는 제외된다. 정책 시나리오들은 정책적인 측면에서 새로운 정책 수단들이 도입되거나 기존 정책 수단들이 강화된다는 점, 기술적인 측면에서 혁신적인 기술 개발이 달성된다는 점이 REF와 다르며, 탄소중립에 근접하기 위해 필요한 기술 및 정책의 범위와 수준을 보여준다.

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. 다양한 시나리오는 기술 발전과 정책 수단의 변화에 대한 다양한 가정을 의미한다. 정책 시나리오는 감축 목표를 달성하기 위해 사용하는 여러 정책 조합에 따른 에너지 수급 및 온실가스 배출 경로를 보여준다. 정책 조합은 무수하게 만들 수 있기 때문에 NZE의 경우 2050 탄소중립에 도달할 수 있는 여러 경로 중의 하나이다. 앞서 언급한 것처럼, NZE가 국가 목표의 달성 가능성을 의미하는 것은 아니며 정책 채택에 대한 전망을 하는 것도 아니다. 미래 기술의 발전 정도는 누구도 확신할 수 없는 문제이기 때문에 국가 목표의 초과 달성이 불가능한 것도 아니다. 이러한 불확실성의 문제를 해결하기 위해 새로운 정보와 통계를 지속적으로 반영하여 시나리오 전망을 주기적으로 갱신할 필요가 있다.

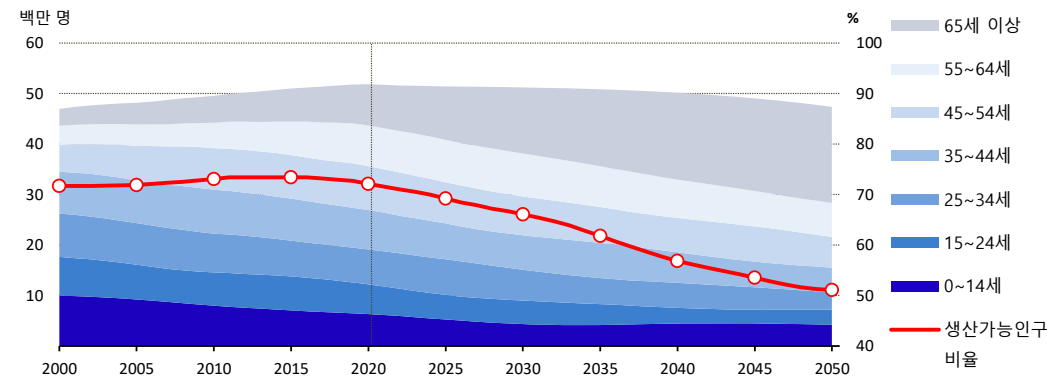
2. '2021 장기 에너지 전망'의 주요 전제

2.1. 인구 및 가구

□ 총인구는 2020년 이후 지속적으로 감소하여 2050년에는 2001년 수준까지 감소

우리나라 인구는 2020년에 5,184만 명으로 정점을 기록한 이후 지속적으로 감소하여 2050년에 4,736만 명으로 2001년 수준(4,737만 명)까지 감소할 전망이다 (통계청, 2021).¹ 인구 감소는 낮은 출산율의 결과로, 2000년대에 1명 초반으로 떨어진 합계출산율²은 2018년에 1명 미만으로 떨어진 뒤에 2020년에 0.84로 역대 최저치를 기록하였다. 행정안전부의 주민등록인구통계에 따르면 2020년 출생자 수는 27만 명 수준으로 역대 최저치를 기록했다 (행정안전부, 2021). 여기에 코로나19의 영향으로 사망자 수가 30만 명 수준으로 증가하면서 사망자 수가 출생자 수보다 많아지는 데드크로스(dead cross)가 발생하고 총인구가 사상 처음으로 감소하였다. 2021년에는 코로나19에 따른 출산율 저하가 본격화되는 시기로, 출생자 수는 263,127명으로 감소한 반면에 사망자 수는 318,423명으로 증가하여 인구 감소가 가속화되고 있다. 전망 기간 인구는 2020~2050년에 연평균 0.3% 감소하며, 2041년에 인구가 5천만 명 미만으로 줄어듦 전망이다.

그림 1.1 인구 구조 및 생산가능 인구 비율 변화



자료: 통계청 장래인구특별추계 (통계청, 2021)

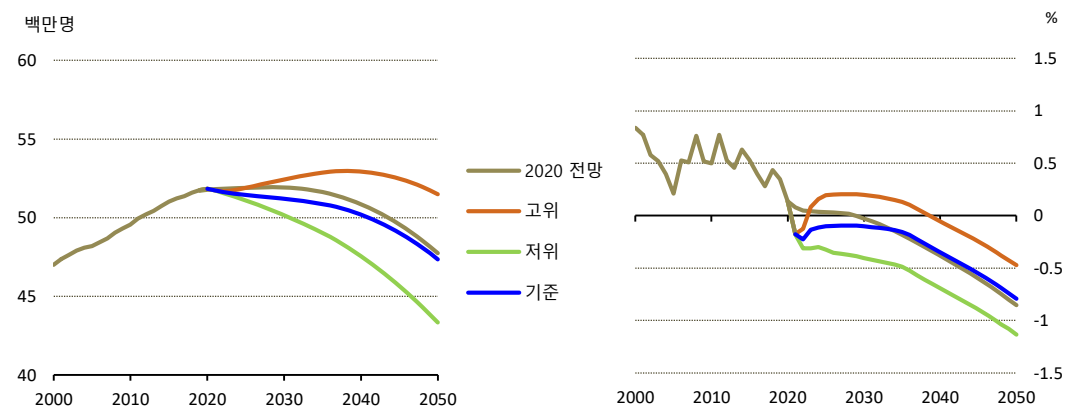
¹ 통계청에서는 5년마다 장래인구추계를 작성하고 있으며, 2020년을 기준을 바탕으로 2021년 12월에 장래인구추계를 발표하였다. 기준 전망에서는 중위 인구 추계 결과를 이용한다.

² 합계출산율은 출산력 수준 비교를 위해 사용되는 대표적 지표로서 한 여성이 평생 몇 명의 자녀를 출산하는가를 나타낸다.

인구는 지속적으로 감소하여 2050년에 2001년 수준과 비슷해지지만, 인구 구조는 과거와 완전히 다른 모습으로 바뀔 전망이다. 생산가능인구는 낮은 출산율로 빠르게 감소하는 반면, 기대수명이 높아지면서 고령인구는 빠르게 증가할 전망이다. 2020년 기준 65세 이상 고령인구 비율이 15.7%에서 2025년에 20%를 돌파하여 초고령사회로 넘어가고, 기대수명이 2020년에 83.5세에서 2050년에 88.9세로 늘면서 2050년 고령화 비중은 40%에 육박할 전망이다. 그에 반해 생산가능인구(만 15~64세)와 유소년인구(만 0~14세)는 2020년에 각각 72.1%, 6.3%에서 2050년에 각각 51.1%, 4.2%로 하락할 전망이다.

최근의 장래인구추계(통계청, 2021) 결과는 지난 장래인구특별추계(통계청, 2019a) 결과보다 인구 감소가 더 빠르게 진행되는 것으로 나타난다. 특히 코로나19의 영향이 반영되면서 인구 정점이 기존 2028년에서 2020년으로 8년이나 앞당겨졌다. 인구 감소율은 2033년까지 과거 인구추계보다 더 빠르게 나타나고 이후로는 비슷해진다. ‘2021 장기 에너지 전망’에서는 경제 성장 시나리오별로 인구 전제도 다르게 설정하였다. 고성장 시나리오(HEG)에서는 고위 인구 시나리오로 적용하고 저성장 시나리오(LEG)에서는 저위 인구 시나리오를 적용한다. 고위 인구 시나리오에서는 인구가 2022년까지는 감소하지만 이후로는 2038년까지 연평균 8만 명씩 증가할 전망이다. 하지만, 이후 인구가 감소하여 2050년에 5,150만 명으로 2018년 수준에 머물게 된다. 반면, 저위 인구 시나리오에서는 2020년 이후의 급격한 인구 감소에서 회복되지 못하고 인구 감소세가 더욱 가파르게 진행되면서, 2050년의 인구가 1990년대 초반의 인구 수와 비슷해질 전망이다.

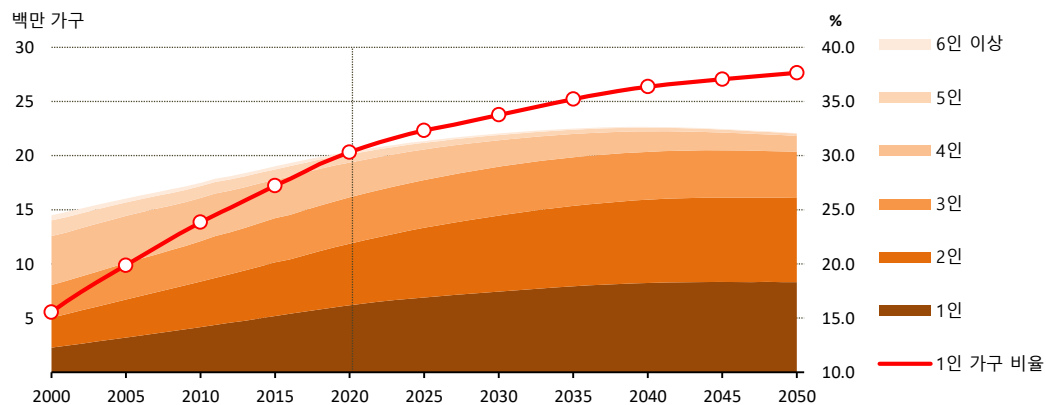
그림 1.2 인구 시나리오별 인구수 및 증가율 추이



자료: 통계청 장래인구추계 (2021)

장래가구추계는 지난 2020년도 전망과 동일한 전제를 사용하였다 (통계청, 2019b).³ 인구의 빠른 감소에도 불구하고 1인 가구가 빠르게 증가하면서 가구수 증가는 기존 전제에서 큰 변화가 없을 것으로 가정한다. 전망 기간 인구 감소에도 불구하고 1인가구의 집중화로 인해 가구수는 연평균 0.5% 증가하다가 2040년을 정점으로 이후에는 가구수도 감소할 전망이다. 혼인 건수 감소 및 인구 고령화 등으로 1인 가구는 연평균 1.0% 증가하는 반면에 4인 이상 가구는 출산율 감소 등으로 연평균 2.9% 감소할 전망이다. 이로 인해 1인 가구 비중은 2020년 30.3%에서 2050년 37.7%까지 상승할 전망이다. 그러나 최근 통계청에서 발표한 보도자료에 따르면, 2020년 1인 가구 수가 664만3천 가구(전체 가구의 31.7%)로 기존 추계 전망보다 높게 나타나 1인 가구가 더 빠르게 증가하고 있음을 알 수 있다 (통계청, 2021.12.8).⁴ 이러한 빠른 증가는 최근의 빠른 혼인 감소 추세가 영향을 끼쳤다. 2015년까지 30만 건 이상이던 혼인 건 수는 2016년부터 감소세가 빨라지면서 2015~2020년에 연평균 6.8%씩 감소하였다. 특히, 2020년에는 코로나19로 인한 사적 모임 제한 조치 등으로 전년 대비 10.7%나 감소하였다. 보통 가구원수가 적을수록 1인당 에너지 소비가 많은 것으로 나타나고 최근에는 주거 면적이 40m² 이하인 곳에서 거주하는 1인 가구의 비중이 지속적으로 줄어들고 있는 것으로 볼 때 (통계청, 2021.12.8), 1인 가구의 증가 및 1인 가구의 주거 면적 증가는 1인당 에너지 소비량을 증가시키는 요인으로 작용할 수 있다.

그림 1.3 가구 구조 및 1인 가구 비율 변화



주: 2047~2050년 자료는 과거 추세를 연장하여 추정

자료: 통계청 장래가구특별추계 (2019b)

³ 장래인구추계와 다르게 장래가구추계에서는 시나리오별 결과가 제시되어 있지 않다. 이로 인해 고성장 및 저성장 시나리오에서 동일한 가구구성 전제를 사용하였다.

⁴ 장래가구추계에서는 2020년에 1인 가구를 616만6천 가구로 추계하였고, 2023년이 되어야 663만7천 가구에 도달하므로 1인 가구수 증가가 약 3년 정도 빨라진다.

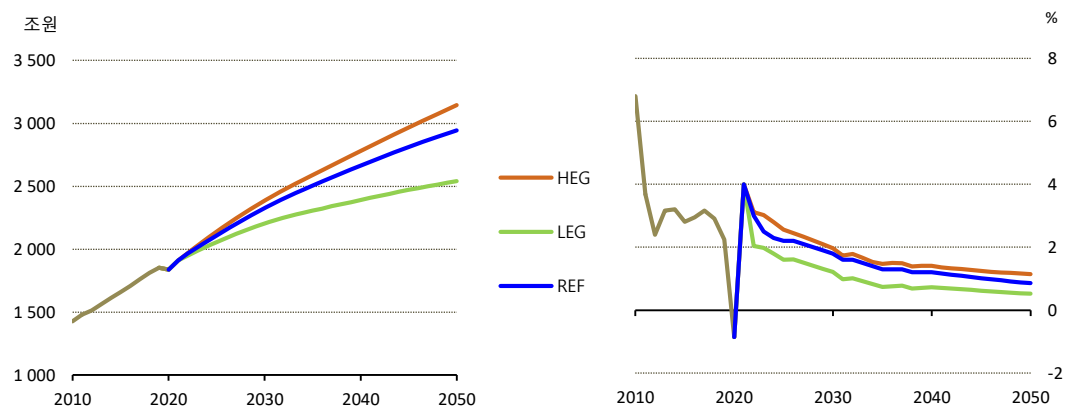
2.2. 경제 및 산업구조⁵

□ 코로나19의 영향에서 회복되지만 이후 성장률은 지속적으로 둔화

우리나라의 국내총생산(GDP)은 금융위기를 겪은 후 2010년대 총요소생산성과 자본스톡이 둔화되었고 (석병훈 & 이남강, 2021), 2020년에는 코로나19의 영향으로 IMF 이후 처음으로 역성장을 경험하면서 2010~2020년에 연평균 2.6% 성장에 그쳤다. 2017년까지는 경제성장률이 2% 중반대를 유지하였지만, 2018년에는 건설 및 설비 투자의 감소, 2019년에는 투자 감소에 민간소비 증가세 둔화가 겹치며 전년 대비 2.0% 성장에 그쳤다. 2020년에는 코로나19로 인한 사회적 거리두기의 영향으로 대면 활동과 관련한 여가·공연, 음식·숙박, 교육 등을 중심으로 민간 소비가 크게 줄어들어 전년 대비 0.9% 감소하였다.

기준 시나리오(REF)는 전망 초기에 코로나19에 대한 기저효과로 2021년에 4.0% 성장하고 2022년에는 3.0% 성장하면서 코로나19 이전에 비해 높은 성장세를 보일 것으로 예상된다. 하지만 2020년대 중반 이후로 경제성장률이 크게 둔화되면서 2% 이하의 성장세를 보이고 성장률의 감소 추세는 2050년까지 이어지면서, 2021~2050년의 경제성장률은 연평균 1.5%에 그칠 전망이다. 이러한 경제성장률 둔화는 출산율 하락에 따른 생산가능인구 감소로 노동생산성이 악화되는 것이 주된 요인이며, 여기에 인구 고령화에 따른 피부양인구 부담이 빠르게 증가하면서 소비 및 저축이 감소하고 재정 지출 부담이 증가하는 것도 중요한 요소가 될 전망이다.

그림 1.4 시나리오별 국내총생산 및 경제성장률 추이



주: REF 기준 시나리오, HEG 고성장 시나리오, LEG 저성장 시나리오

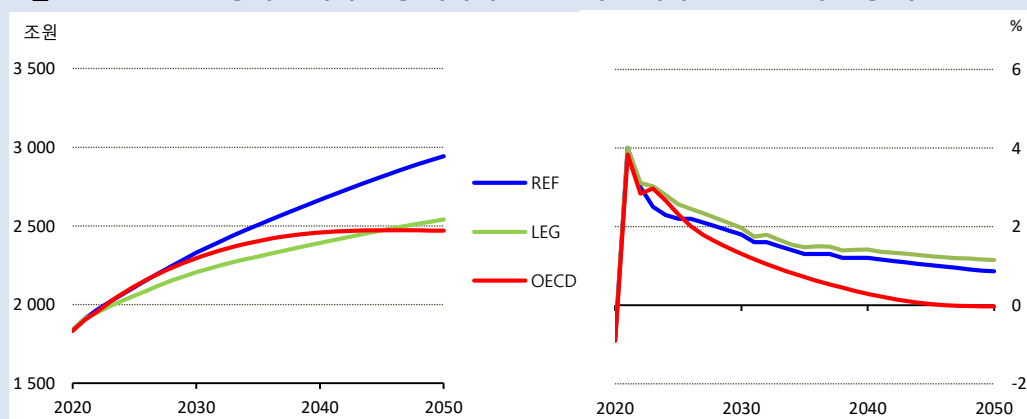
⁵ 경제성장률 전제는 기본적으로 '제3차 에너지기본계획'에 사용된 장기 잠재성장률 전제를 사용하되 2021~2023년은 한국은행 경제전망 보고서 (2021.11) 결과를, 2024~2025년은 국회예산정책처 2022년 및 중기 경제전망 (2021.9) 결과를 활용하였다.

고성장 시나리오(HEG)에서는 코로나19 이후 대내외 경제 여건이 빠르게 개선되고 인구도 일정기간 증가하는 모습을 보이면서(인구 고위 시나리오) 2021~2050년 국내총생산이 연평균 1.7% 성장하는 것으로 전망한다. HEG는 코로나19의 확산이 빠르게 감소하고 세계 경제가 빠르게 회복하는 것을 가정하고 있다. 또한, 신산업 육성 및 생산성 혁신과 함께 장기적으로 저출산 문제가 해결되면서 노동과 자본의 투입이 증가하고(인구 고위 시나리오) 잠재성장률 하락이 지연되는 것으로 전망하였다. 반면, 저성장 시나리오(LEG)는 코로나19 이후에도 경제 회복이 더디게 진행되고 인구도 빠르게 감소하면서(인구 저위 시나리오) 국내총생산이 2021~2050년 연평균 1.0% 성장에 그칠 전망이다. LEG는 코로나19로부터의 회복 지연과 코로나19로 인한 내수 침체 등 경기 하락 요인이 가중되고, 장기적으로는 저출산 가속화 등으로 노동 공급 정체, 투자 부진, 총요소생산성 하락이 심화되어 잠재성장률이 지속적으로 낮은 수준을 유지할 것으로 전망하였다.

글상자 1.1 인구 감소 및 고령화 가속화로 인한 경제 성장 둔화 가능성

우리나라는 최근 코로나19를 겪는 동안 결혼과 출산의 가파른 감소와 사망자 증가로 인구 감소가 빠르게 진행되고 있다. 이로 인해 통계청은 최근 발표한 장래인구추계에서 기존 추계 대비 인구 감소가 빠르게 진행되는 것으로 수정하였고 (통계청, 2021), 이를 ‘2021 장기 에너지 전망’의 전제로 반영하였다. 그에 반해 경제 성장에 관한 장기 추세는 장기 성장에 대한 수정 전망이 없어서 기존 전망에 사용한 ‘제3차 에너지기본계획’의 경제 전제를 활용하고 있는데, 기존 장기 경제 성장 전망은 인구 전제의 차이로 인해 향후 하향 조정될 가능성이 크다. 안병권 외 (2017.11)는 인구 고령화로 인해 경제성장률이 2026~2035년에 연평균 0.4%로 하락한다고 추정한 바 있는데, 이는 ‘제3차 에너지기본계획’의 경제 전제와 1.0%포인트 이상 차이가 있다.

그림 1.5 2021 장기 에너지 전망 시나리오별 경제 전제와 OECD 경제 전망 비교



주: REF 기준 시나리오, LEG 저성장 시나리오

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

OECD는 2060년까지의 장기 재정전망 보고서 (2021.10)에서 한국의 1인당 잠재 실질 GDP 성장률이 2030~2060년에 OECD 평균보다 낮은 0.8% 성장하며 잠재 GDP 성장률도 연평균 0.2%로 매우 낮은 모습을 보일 것으로 전망했다. 이러한 낮은 전망의 주된 요인은 생산가능인구의 하락이었다. 2030~2060년의 OECD 평균 생산가능인구 감소율은 -0.2%인 반면, 한국은 -0.7%로 OECD 국가 중에 가장 낮은 수준을 보였다. 노동생산성이나 취업률 등의 지표가 OECD와 비슷한 추세를 보이는 것과는 대조적이다. OECD의 한국 GDP 전망 결과를 '2021 장기 에너지 전망'의 전제와 비교해 보면 전망 초기에는 REF의 성장세와 비슷한 모습을 보이다가 후반부로 갈수록 성장세가 빠르게 둔화되고, 2040년대 후반에는 역성장을 거듭하며 LEG보다도 낮은 모습을 보이고 있다.

□ 서비스업이 경제 성장을 주도하고 제조업은 기계류를 중심으로 완만하게 성장⁶

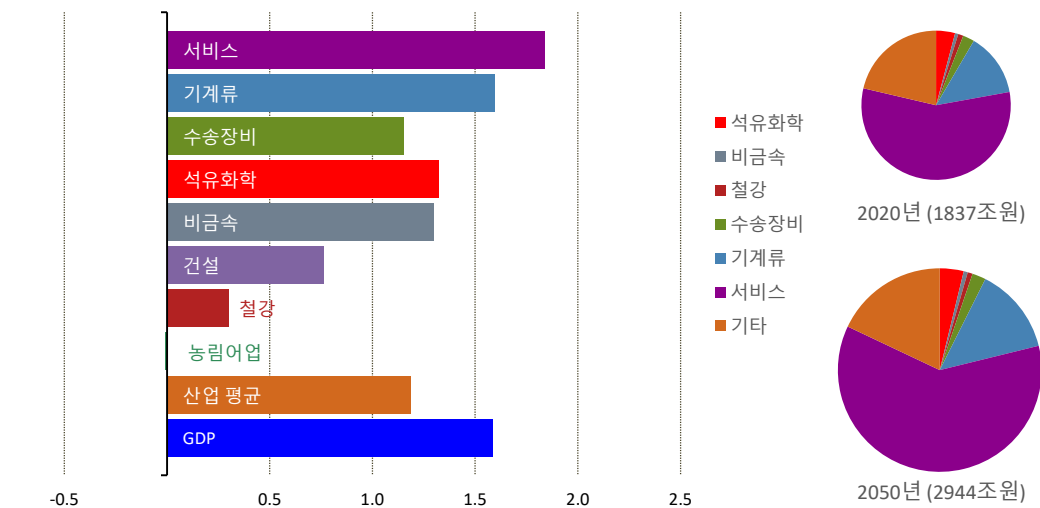
서비스업은 전망 기간 연평균 1.8%로 상대적으로 빠르게 성장할 것으로 예상되는데, 에너지 소비가 많은 도·소매와 음식·숙박에서는 성장세가 둔화되고 보건·사회복지, 정보·통신 등에서 부가가치가 빠르게 성장할 전망이다. 보건·사회복지서비스업은 인구 고령화로 인한 의료 수요 증가 및 사회복지 확대와 더불어 코로나19로 인한 질병관리시스템 확충 등으로 서비스업 중에서 가장 빠르게 증가할 것으로 예상된다. 정보통신업은 디지털 경제의 가파른 성장과 인공지능과 빅데이터 등의 발달, 정보통신기기 보급 확대 등으로 연평균 2.4% 증가할 전망이다. 여가서비스업은 2020년에 코로나19로 인한 부가가치 급감의 기저효과와 향후 여가 및 스포츠 활동에 대한 수요 증가로 양호한 증가세를 보일 전망이다. 반면, 에너지 소비 비중이 높은 도·소매업과 음식·숙박업은 온라인 유통업의 보편화로 인한 오프라인 유통업 축소, 코로나19 이후 HMR 등 간편식 발달과 인구 감소 등에 따른 외식 소비 감소 등으로 성장세가 둔화될 전망이다. 교육서비스는 합계출산율 하락으로 인해 전망 기간 학령인구가 지속적으로 감소하면서 부가가치가 연평균 0.6% 증가에 그칠 전망이다.

제조업 내에서는 정보통신 기술 발전과 수요 증가에 힘입어 기계류가 빠르게 성장할 것으로 보이며, 에너지집약도가 높고 온실가스 배출이 많은 철강은 낮은 증가율을 보일 전망이다. 기계류는 AI 보급 확대, 디지털 경제 확산 등에 따라 반도체, 디스플레이, 스마트폰 등 관련 제품 생산이 지속적으로 증가하면서 연평균 1.6%로 제조업 중 가장 빠르게 성장할 전망이다. 석유화학은 국제유가 상승과 설비 증설 및 고도화, 배터리 산업 확장 등으로 연평균 1.3% 증가할 것으로 예상되나, 석유정제는 전 세계적인 온실가스 배출 저감 노력으로 인해 전반적인 석유 제품 수요 증가세가 둔화되면서 부가가치가 현재 수준에 머무를 전망이다. 수송장비는 기존

⁶ 산업구조는 '제3차 에너지기본계획 (산업통상자원부, 2019)'에 사용된 전제를 활용하였으며, 2050년까지 추세를 연장하여 조정하였다. 여기서는 기준 시나리오(REF)의 업종별 성장률을 중심으로 설명한다.

내연기관 자동차에서 전기차로의 전환이 빨라지고 있고, 조선업도 친환경 및 고부가가치 선박을 중심으로 수주량이 증가하면서 연평균 1.2%의 성장세를 이어갈 전망이다. 철강업은 자동차, 선박 등 일부 수요 산업의 성장에도 불구하고, 탈탄소 소재로의 수요 이동과 건설업의 성장 둔화, 탄소중립을 위한 규제 강화 등으로 인해 연평균 0.3% 성장에 그칠 전망이다. 비금속은 에너지집약도가 높은 시멘트 업종보다는 유리, 도기 등의 업종 생산이 꾸준히 증가할 전망이다. 전망 기간 인구 감소 및 가구수 정체로 주택 건설 수요가 둔화되면서 건설업의 성장세가 연평균 0.8%로 정제하는 것의 영향을 받아 시멘트 업종의 부가가치 증가도 동반 정제할 것으로 예상된다.

그림 1.6 주요 업종별 부가가치 증가율 및 비중 변화(2020~2050)



주: 건설업의 부가가치는 soc를 포함

2.3. 기온 및 냉·난방도일

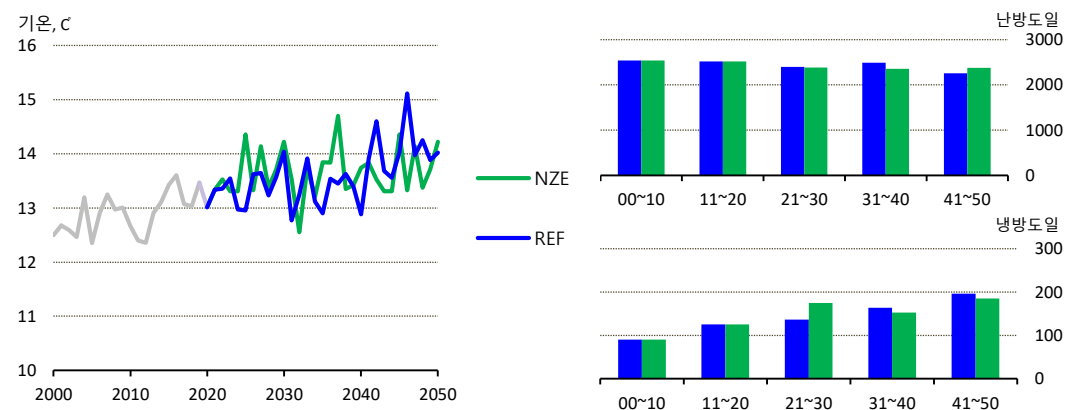
□ 전망 기간 난방도일은 점차 감소하고 냉방도일은 증가하는 온난화 현상이 발생

‘2021 장기 에너지 전망’에서는 기존 전망과 다르게 기온 전제를 변경하였다. 기존 전망에서는 기온 전제를 과거 10년 일일 평균 기온을 바탕으로 냉난방도일을 계산하였다. 이로 인해 최근 나타나고 있는 지구 온난화나 이상기온 현상 등을 반영하기 어려웠고, 전망 기간 동일한 평균 기온과 냉난방도일을 전제로 하였기 때문에, 기온이 시나리오 분석에 미치는 영향이 미미하였다. 또한 온실가스의 지속적인 배출로 인해 발생하는 기후 변화나 전 세계가 탄소중립 노력에 동참하는 탄소중립 시나리오의 기후 변화 등 전 지구적 상황 변화에 대한 시나리오를

적용하기 어려웠다. 이를 개선하기 위해 본 전망에서는 IPCC와 기상청에서 제공하는 기후변화 시나리오를 전제로 활용한다.

기후변화 시나리오는 다양하지만, ‘2021 장기 에너지 전망’에서는 최근에 발표된 SSP(Shared Socioeconomic Pathways) 시나리오의 SSP2-4.5⁷ 시나리오를 REF의 전제로, SSP1-2.6을 정책계획 시나리오(APS)와 탄소중립 시나리오(NZE)의 전제로 사용한다.⁸ SSP는 IPCC 6차 평가보고서를 위한 국제표준의 기후변화 시나리오로, 2100년 기준 복사강제력 강도와 미래 사회경제변화를 기준으로 기후변화에 대한 완화와 적응에 따라 5개의 대표 시나리오로 구성되어 있다 (IPCC, 2021). SSP1-2.6은 지속 가능한 개발이 상당히 빠른 속도로 진행되며, 불평등이 줄어들고 기술 변화가 친환경적으로 빠르게 진행되면서 저탄소 에너지로 전환되고 토지 생산성이 높게 나타나는 것을 전제로 한다. SSP3-7.0은 완만한 경제 성장과 급속한 인구 증가, 에너지 분야의 느린 기술 변화로 온실가스 배출 저감에 어려움을 겪는 시나리오이다. SSP2-4.5는 SSP1-2.6과 SSP3-7.0의 중간 단계로 기후변화 완화와 사회경제 발전 정도가 중간 정도로 가정한다 (O'Neil, et al., 2014).

그림 1.7 시나리오별 연평균 기온과 10년 구간 평균 냉·난방도일



주: REF 기준 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

⁷ SSP2-4.5에서 4.5는 2100년 기준의 복사강제력(W/m^2)을 나타내는 것으로, 정확한 표현은 SSP2-RCP4.5이다. 태양복사에너지 중 지구흡수 에너지는 약 $238 W/m^2$ 인데, CO_2 농도가 540ppm이 되면 기존의 태양에너지에서 $4.5 W/m^2$ 가 추가로 흡수되는 것을 의미하며, 이는 기존에 지구에 흡수되는 에너지의 약 1.9%에 해당한다. SSP1-2.6은 이보다 적은 1.1%가 추가로 흡수되는 시나리오이다.

⁸ IPCC의 SSP2-4.5 시나리오가 2018~2100년에 1850~1990년 대비 $2.7^\circ C$ 상승하는 것으로 전망하였는데 (IPCC, 2021), WEO 2021 (IEA, 2020)의 STEPS에서의 기온 전제도 2100년에 1850~1990년 대비 $2.6^\circ C$ 상승하는 것으로 나타나 본 장기 에너지 전망의 기온 전제는 WEO 2021의 STEPS 전제와 비슷하다고 할 수 있다. 마찬가지로 IEA의 NZE 시나리오에 따른 기온 결과는 IPCC의 SSP1-2.6과 유사한 경로를 보이기 때문에, 본 보고서의 APS와 NZE의 기온 전제는 IEA의 NZE 전제와 유사하다.

시나리오별 평균 기온은 동아시아⁹ 기준의 공간해상도에서 제주도와 울릉도 등을 제외한 내륙에서의 12.5km 격자 단위의 일별 기온을 평균하여 일별 전국 평균기온을 계산하였고, 이를 바탕으로 연간 냉·난방도일을 생성하였다. 제주도와 울릉도 등을 제외한 내륙으로 설정한 위도는 34.2~38.2도, 경도는 126~129.5도이며, 냉방도일의 기준온도는 24°C, 난방도일의 기준온도는 18°C이다. 기온 전제 작성 결과, REF의 전제인 SSP2-4.5는 전망 기간에 평균 기온이 점차 상승하면서 난방도일은 점차 줄고 냉방도일은 증가하는 모습을 볼 수 있다. 온실가스 농도의 증가가 기후변화로 이어지기까지 대략 20~30년이라는 기간이 소요되는 것을 고려할 때, 2040~2050년에 이러한 현상이 두드러진다. 난방도일은 2021~2030년 평균 2,396도일에서 2031~2040년에 2,490도일로 증가하나, 2041~2050년에는 2,257도일로 크게 감소한다. 냉방도일은 2021~2030년 평균 136.2도일에서 2031~2040년에 163.5도일로, 2041~2050년에는 196.4도일로 빠르게 증가한다. 기후변화 현상은 단순한 평균 기온의 이동만이 아니라 확률적 분포의 변화에도 영향을 미친다. 10년 단위의 기간별 연간 냉방도일과 난방도일의 표준편차를 살펴보면 2021~2030년에 냉방도일은 34.6, 난방도일은 86.5, 2031~2040년에 냉방도일과 난방도일이 각각 32.1, 118.7, 2041~2050년에는 41.4, 161.6으로 점차 증가하는데, 이는 점차 극단적 기후가 일어날 확률이 높아짐을 의미한다.

APS 및 NZE의 전제인 SSP1-2.6에서는 2021~2030년에 SSP2-4.5보다 냉방도일은 높고, 난방도일은 낮은 모습을 보이기도 하고, 평균기온의 추세가 비슷한 흐름을 보인다. 2040년 이후로는 SSP2-4.5가 SSP1-2.6 대비 더 높은 평균기온, 낮은 난방도일, 높은 냉방도일의 모습을 보이면서 온실가스 농도 및 복사열 흡수 증가에 따른 기후의 변화의 모습이 나타나기 시작한다. 하지만, 전망 기간 전체로 보면 평균기온이나 냉난방도일의 차이가 크지 않다.

2.4. 에너지 가격

□ 원유 가격은 상승하지만 천연가스 가격은 현재 수준에서 정체

기온 전제와 마찬가지로 에너지 가격 전제도 '2021 장기 에너지 전망'은 기존과 다른 방식으로 작성하였다. 기본적으로 에너지 도입가격은 IEA 'World Energy Outlook 2021 (2020)'의 국제 에너지 가격 전망을 기반으로 생성되며, 국내 에너지 가격은 도입가격을 기반으로 세급, 수입부과금 등을 반영하여 만들어진다. 기존에는 시나리오와 상관없이 IEA의 기준 시나리오

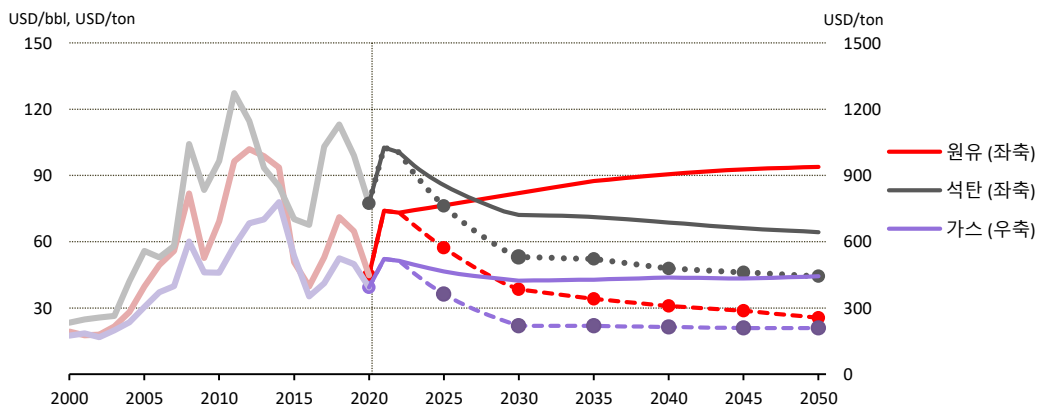
⁹ SSP2-4.5 시나리오에 대해서는 2021년 12월에 남한 상세 자료가 제공되었으나, SSP1-2.6 시나리오의 상세 자료는 아직 제공되지 않아 모든 시나리오의 전제 작성의 일관성을 위해 모두 동아시아 기준으로 우리나라의 평균 기온을 생성하였다.

가격 전망을 이용하였으나, '2021 장기 에너지 전망'은 REF의 가격 전제에 IEA의 STEPS 가격 전망을 사용했으며, APS와 NZE에는 IEA의 NZE 가격 전망을 사용하였다.

원유 도입 가격은 2020년에 코로나19의 여파로 급락하였으나, 이후 빠르게 상승하면서 코로나19 이전 수준으로 회복될 전망이다. 장기적으로는 REF의 경우 국제 가격이 배럴 당 70~90 달러 사이에서 완만하게 상승하다 하반기에 안정세를 보일 전망이다. OPEC 회원국들은 전망 기간에도 시장 변화에 따른 생산량 조정을 이어갈 전망이며, 미국을 중심으로 한 셰일 오일 생산도 기존 대비 생산량 증대가 완화된면서 유가 상승이 지속될 전망이다. 천연가스 도입 가격은 최근 코로나19로 인해 급격한 가격 상승을 보였지만 이는 수급 불균형에 의한 일시적인 현상으로 보인다. 인도와 중국을 중심으로 한 수요 증가와 원유 가격 상승으로(석유 연동 공급 계약) 가격 상승 압력으로 작용하지만, 2019년 대규모 최종투자결정(FID)에 따른 생산 증대 및 가격경쟁력이 높은 미국산 셰일가스 도입 비중 증가로 인해 장기적으로는 현재 수준에 머무를 전망이다. 석탄 도입 가격은 중국의 발전용 및 산업용 석탄 수요가 빠르게 증가한 반면 공급 측면에서 환경 규제 등으로 인한 생산 중단 등으로 수급불균형이 발생하며 2021년 빠르게 상승하였다. 그러나 장기적으로는 석탄 수요가 점차 줄어들면서 가격이 하향 안정화될 전망이다.

APS 및 NZE에서는 탄소중립 실현을 위한 전 세계적인 탈탄소화 노력으로 화석연료에 대한 수요 정점 시기가 앞당겨지고 정점 이후의 수요 감소도 빠르게 진행될 전망이다. 이로 인해 원유, 천연가스, 석탄 국제가격이 2030년까지 급격하게 하락한 후 이후로는 완만한 하락세를 보일 것으로 예상하고 있다.

그림 1.8 원유, 천연가스, 석탄 도입 가격 추이 및 시나리오별 전망



주: 실선은 REF, 점선은 APS 및 NZE의 가격 전제.

자료: IEA, 2021, '2021 World Energy Outlook'

3. 에너지 전망 주요 결과

3.1. 기준 시나리오(REF)의 총에너지 수요와 온실가스 배출

□ 코로나19에서의 탈출과 2050 탄소중립을 향한 발걸음

2020년 이후 전 세계를 휘덮은 코로나19가 2021년 말 현재 오미크론 변이까지 변화를 거듭하며 감염 확진자 및 사망자의 수가 줄어들지 않고 오히려 더 확산되고 있는 상황이다. 코로나19가 처음 확산되기 시작한 2020년에는 사회 방역에서부터 국가 봉쇄까지 다양한 수준의 방역 대책이 시행되었고 이로 인한 경제 충격이 상당하여 전 세계적인 생산 감소와 에너지 소비를 경험하였다. 우리나라도 예외는 아니어서 세계 주요 국가들 중에서는 감염 피해가 가장 적은 그룹에 포함되고 경제 충격도 작게 입었음에도 불구하고 국내총생산은 전년대비 0.9%,¹⁰ 에너지 소비는 3.5% 감소를¹¹ 경험하였다. 에너지 소비 감소는 2019년 1.2% 감소에 이어 에너지 통계 작성 이후 처음으로 두 해 연속의 감소를 기록한 것이다. 비록 코로나19의 기세가 꺾이지는 않았지만, 2020년 세계적인 피해의 확산 속에서도 성공적인 방역을 바탕으로 경제가 회복되면서 2021년에는 국내총생산이 2010년 이후 가장 높은 수치인 4% 성장한 것으로 집계되었고 (한국은행, 2022), 2021년 10월까지 집계된 에너지 소비도 전년대비 4.3% 증가하였다 (에너지경제연구원, 2022).

코로나19가 지구를 덮친 상황에서도 주요 국가들은 온실가스로 인한 기후 위기의 대응 노력을 지속하고 있다. 미국과 EU를 비롯하여 전세계 138개국이 탄소중립을 선언하거나 지지하고 있으며 제26차 유엔기후변화협약 당사국총회(COP26)에서는 저감장치 없는 석탄 화력발전소를 단계적으로 감축하고 화석연료에 대한 보조금을 폐지하기로 합의하였다. 주요 국가들은 2015년 파리협정에 의거해서 당사국이 스스로 설정하는 감축 목표인 2030년 NDC(Nationally Determined Contribution)를 자체 설정한 기준년도 대비 강화하고 있다. 우리나라도 2020년 10월 대통령의 국회 시정연설에서 2050 탄소중립을 선언한 이래, 2021년 5월 대통령 직속 ‘2050 탄소중립위원회’가 출범하였고, 동년 9월에는 2050 탄소중립을 명시한 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법’을 제정함으로써 탄소중립의 법적 기반을 마련하였다. 탄소중립위원회는 최근 2030 국가 온실가스 감축 목표를 더욱 강화하는 ‘2030 NDC 상향안(2021a)’과 2050년 탄소중립을 위한 ‘2050 탄소중립 시나리오(2021b)’를 정부에 제출하였다.

¹⁰ e-나라지표, 국내총생산 및 경제성장률(https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2736)

¹¹ e-나라지표, 에너지수급현황(https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2781)

이를 바탕으로 정부는 2021년 12월 유엔당사국총회에 2018년 대비 40% 온실가스 배출을 감축하는 정부 계획 (Republic of Korea, 2021)을 공식적으로 제출하였다.

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

‘2021 장기 에너지 전망’은 2030 온실가스 배출을 획기적으로 줄이고 2050 탄소중립으로 나아가기 위한 노력이 진행되고 있는 가운데 진행되었다. 하지만, 앞서 규정한 시나리오 정의처럼 기준 시나리오(REF)에서는 ‘2030 NDC 상향안’이나 ‘2050 탄소중립 시나리오’에서 제안한 목표 달성을 반영하지 않는다. 현재 시행하고 있거나 시행이 확정된 정책들이 향후에도 유지되지만 추가적인 온실가스 감축 수단이 도입되지 않을 경우, 2020년부터 2050년까지 우리나라 총에너지 수요는 연평균 0.5% 증가하여, 2020년 292.0백만toe에서 2050년에는 341백만toe에 도달하는 것으로 전망된다. 이는 기존 전망보고서의 총에너지 수요 증가율보다 다소 높아진 것이며, 경제 회복으로 인한 에너지 수요 증가와 탈탄소 노력으로 인한 전기 중심의 에너지 소비 증가가 주요 원인이다. 총에너지 수요는 2020년에서 2025년까지 37백만toe가 증가하는 반면, 2025년 이후 25년동안 약 12백만toe가 증가하는 것으로 전망되어, 코로나19 이후 경제회복이 에너지 수요 증가 패턴에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

표 1.1 기준 시나리오(REF)의 주요 지표 전망 결과

	2000	2020	2030	2040	2050	연평균 증가율	
						00~20	20~50
주요 경제사회 지표							
GDP (조원)	903.6	1 836.9	2 328.1	2 664.8	2 944.0	3.6%	1.6%
인구 (백만명)	47.0	51.8	51.2	50.2	47.4	0.5%	-0.3%
주요 에너지 지표							
총에너지 (백만 toe)	193.0	292.0	334.5	344.4	341.0	2.1%	0.5%
에너지원단위 (toe/백만 원)	0.21	0.16	0.14	0.13	0.12	-1.5%	-1.0%
일인당 에너지소비 (toe/인)	4.11	5.63	6.53	6.86	7.20	1.6%	0.8%
신재생 보급 비중* (%)	1.6	6.8	12.6	19.8	26.2	7.4%	4.6%
수입의존도 (%)	97.2	92.7	87.1	79.8	73.4	-0.2%	-0.8%
최종 소비 (백만 toe)	150.0	222.5	247.8	246.6	242.0	2.0%	0.3%
전기 소비 (TWh)	239.5	508.8	631.4	682.9	700.0	3.8%	1.1%
전기 소비 비중 (%)	13.7	19.7	21.9	23.8	24.9	1.8%	0.8%
주요 온실가스 지표							
온실가스 배출 (백만톤)	419.1	569.9	603.6	543.3	461.6	1.5%	-0.7%
온실가스 배출원단위 (톤/백만 원)	0.46	0.31	0.26	0.20	0.16	-2.0%	-2.2%
일인당 배출 (톤/인)	8.91	10.99	11.79	10.82	9.75	1.1%	-0.4%

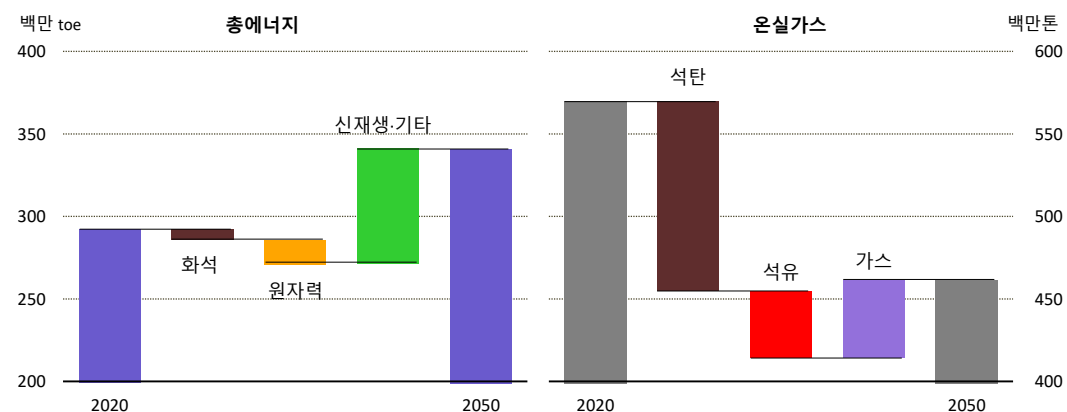
주: 온실가스 배출은 국가 온실가스 배출 계수를 이용하여 계산한 수치이며, 국가 온실가스 통계와는 다를 수 있음

* 양수를 제외한 수력 포함

코로나19 확산 이전에 이미 시작된 온실가스 및 미세먼지 저감 노력의 영향은 에너지 수요와 온실가스 배출의 전망 추이 차이에서 확인할 수 있다. 에너지 수요는 2050년까지 꾸준히 증가하는 반면, 온실가스 배출은 2020년 569.9백만톤-CO₂eq에서 2050년 461.6백만톤-CO₂eq로 감소한다. 구체적으로는 온실가스 배출이 2024년까지 629.4백만톤-CO₂eq로 빠르게 증가한 후 감소하기 시작하여 2030년은 603.6백만톤-CO₂eq, 2050년은 461.6백만톤-CO₂eq으로 하락한다. 이전 전망보고서(에너지경제연구원, 2019)에 비해 에너지 수요는 증가하지만 온실가스 배출이 감소하는 이유는 2020년 발표된 ‘제9차 전력수급기본계획(이하 제9차 전기본)’의 석탄 화력발전소 폐지 일정이 반영된 것이 가장 큰 요인으로 작용하며¹², 최근 ‘제9차 전기본’의 보급 계획을 상회하는 재생에너지 발전 설비의 빠른 보급도 차이를 만드는 요인이 되고 있다. ‘제9차 전기본’의 석탄 화력발전 설비 폐지 일정이 온실가스 배출 전망에 미치는 영향은 ‘2020 장기 에너지 전망(에너지경제연구원, 2021)’에서 이미 분석된 바 있다.

에너지 상품별 총에너지 수요의 변화를 살펴보면, 석탄, 석유, 천연가스 등 화석연료가 2020년에서 2050년 사이 6.3백만toe 감소하고 원자력은 14.7백만toe 감소하는 반면 신재생에너지 수요는 70백만toe 증가한다. 화석연료 중에서는 석탄과 석유 수요가 감소하지만, 전기 수요 증가로 인해 가스 발전이 증가하면서 천연가스 수요는 증가할 전망이다. 연간 온실가스 배출은 석탄과 석유가 각각 115.0백만톤-CO₂eq와 40.4백만톤-CO₂eq가 줄어드는 반면 가스는 47.2백만톤-CO₂eq가 증가한다.

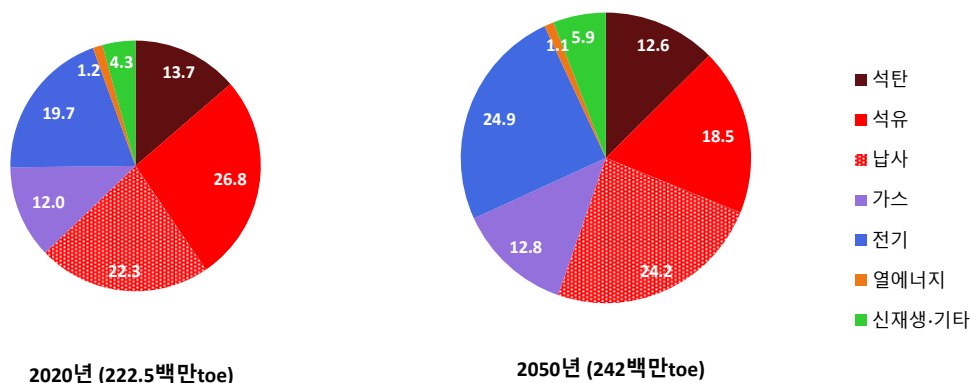
그림 1.9 에너지 상품별 총에너지 소비 및 에너지 부문 온실가스 배출 변화



¹² ‘제9차 전력수급기본계획’은 가동 후 30년 도래 석탄 화력발전기를 모두 폐지하거나 연료전환하기로 하였으며, ‘2021 장기 에너지 전망’에서는 9차 계획의 계획기간인 34년 이후에도 정책 기조가 계속 유지된다는 가정 하에 석탄 화력발전기의 폐지 일정을 계산하였다.

최종소비 부문의 에너지 수요는 2020년 222.5백만toe에서 2050년 242.0백만toe로 연평균 0.3% 증가한다. 최종소비 부문의 에너지 수요의 추이를 상세히 살펴보면, 코로나19의 충격에서 회복하면서 2025년까지 빠르게 증가하며, 이후에는 증가 속도가 둔화되다가 2030년대 초반 약 248백만toe 수준에서 정점을 기록한 후 점차 감소한다. 최종소비 부문의 에너지 소비 증가 둔화에도 불구하고 에너지 상품의 구성이 화석연료에서 전기로 대체되면서 발전투입을 고려한 총에너지 수요는 2030년 이후에도 꾸준히 증가한다. 최종소비 증가 둔화에 따른 에너지원단위의 개선 그리고 경제 성장과 에너지 및 온실가스 간의 괴리 현상인 비동조화에 대해서는 아래에서 설명하기로 하며, 우선 최종소비 부문의 에너지 상품 구성을 살펴본다. 최종소비 부문의 에너지 수요는 2020년 에너지 소비의 절반 가량을 차지하는 석유가 2050년에는 42.8%로 감소하고, 대신 전기가 19.7%에서 24.9%, 신재생에너지가 4.3%에서 5.9%로 확대된다. 결과적으로, 2050년에는 원료를 제외한 최종부문의 에너지 소비에서 전기가 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 분석된다. 전기 소비는 과거와 마찬가지로 산업 부문에서 대부분 증가할 전망이다. 산업 부문은 효율 향상의 노력으로 에너지원단위가 지속적으로 개선되지만, 생산 증가로 인한 에너지 수요 증가와 전력화로 인해 전망기간에도 전기 소비 증가의 대부분을 차지할 것으로 분석되고 있다.

그림 1.10 기준 시나리오(REF)의 최종소비 에너지 상품별 비중

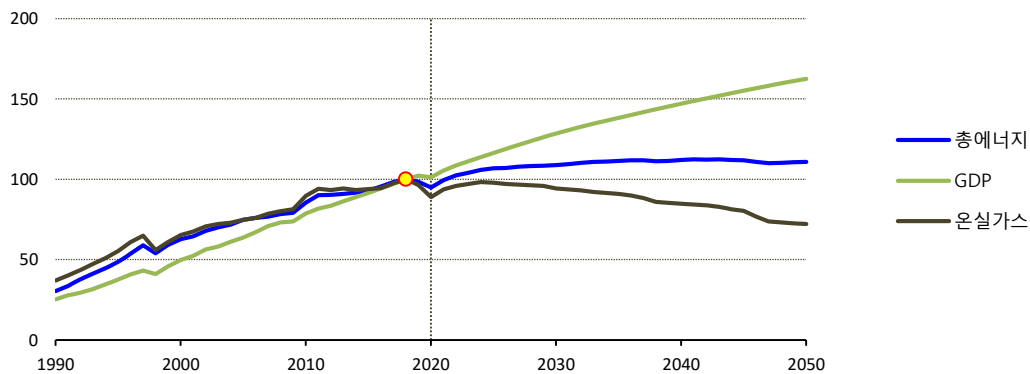


□ 경제, 에너지, 온실가스의 탈동조화(decoupling)

앞서 설명한 것처럼, 총에너지 수요는 2020~2050년 사이 연평균 0.5% 증가하여 2050년에는 약 341백만 toe 수준에 도달할 것으로 전망된다. 반면, 에너지 부문 온실가스 배출은 2020년 569.9백만톤-CO₂eq에서 연평균 0.7% 감소하여 2050년에는 461.6백만톤-CO₂eq 수준이 될 것으로 예상된다. 과거 전망에 비해 총에너지 수요의 정점은 더욱 지연되고 온실가스 배출 정

점은 앞당겨진 것이 특징이다. 총에너지 수요의 정점이 지연되기는 하지만 정점 수준은 과거에 비해 낮아지는 것으로 분석된다. 코로나19 이전에 전망된 총에너지 수요의 정점은 약 357백만 toe 수준이며 현 에너지 전망의 정점은 이보다 3.1% 적은 345백만toe 수준이다. 총에너지 수요와 온실가스 배출의 추세는 과거에는 거의 유사한 움직임을 보였지만 전망 기간에는 변화 경로가 크게 달라질 것으로 분석된다. 즉, 과거 관찰되었던 국내총생산과 온실가스 배출 또는 국내총생산과 총에너지 소비의 탈동조화 현상에서 (에너지경제연구원, 2016) 이제는 총에너지 수요와 에너지 부문 온실가스 배출 사이에도 탈동조화 현상이 나타나면서, 온실가스 배출이 과거 전망보다 더 빠르게 감소할 전망이다.

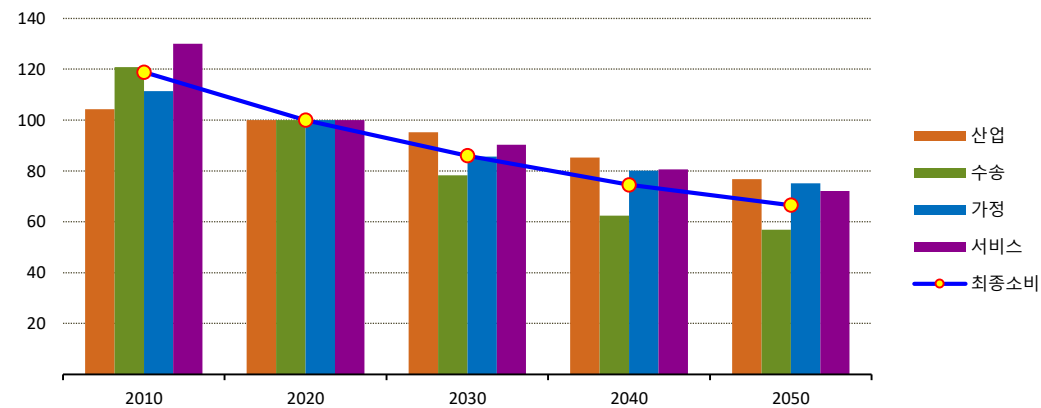
그림 1.11 국내총생산, 총에너지 소비 및 온실가스 배출의 탈동조화(2018=100)



우선, 국내총생산과 총에너지 수요의 탈동조화 현상은 대부분 최종소비 부문의 에너지 효율 개선에 기인한다. 에너지 효율 개선은 에너지원의 대체도 영향을 미치지만 주로 기존 기술의 효율 향상과 고효율 기기의 보급으로 결정된다. REF에서는 산업 및 건물 부문의 고효율 기기 보급과 수송 부문의 전기자동차 보급 확대로 최종소비 부문의 에너지원단위가 2020년에서 2050년 사이 약 33.5% 개선되는 것으로 전망된다. 최종소비 부문의 에너지원단위 개선은 수송 부문이 주도하는데, 이는 내연기관 자동차와 전기자동차의 연비 차이가 크기 때문이다. 한편, 산업 부문은 동력이나 전기화학용 등 전기를 사용하는 설비 중심으로 효율 개선이 빠르게 진행되면서 효율 개선이 나타나는 것으로 분석된다. 건물은, 주택의 경우 초기에 에너지원단위의 감소가 빠르지만 서비스 건물의 경우는 후반기에 에너지원단위 개선이 빠르게 진행된다. 주택의 경우 아파트로 주택 형태가 바뀌는 것이 주로 영향을 미치는 반면, 서비스 건물은 기기 및 설비의 효율 개선이 더 큰 영향을 미치기 때문인 것으로 분석된다. 하지만, 효율 개선으로 인한 수요 감소에도 불구하고 전력화로 인한 수요 증가가 더 크기 때문에 전기 수요는 빠르게

증가하고, 전기 수요의 증가를 재생에너지 보급 확대에 대응함에 따라 총에너지 기준 에너지 원단위는 최종소비의 원단위보다 약간 적은 30.1% 개선된다. 국내총생산이 2018년에서 2050년까지 62% 증가하는 반면 총에너지 수요는 11% 증가에 그치면서 전망 기간 경제와 에너지 수요의 탈동조화 현상은 과거보다 급격하게 진행될 것으로 전망된다.

그림 1.12 기준 시나리오(REF)에서 최종소비 부문의 에너지원단위 개선 추이(2020=100)



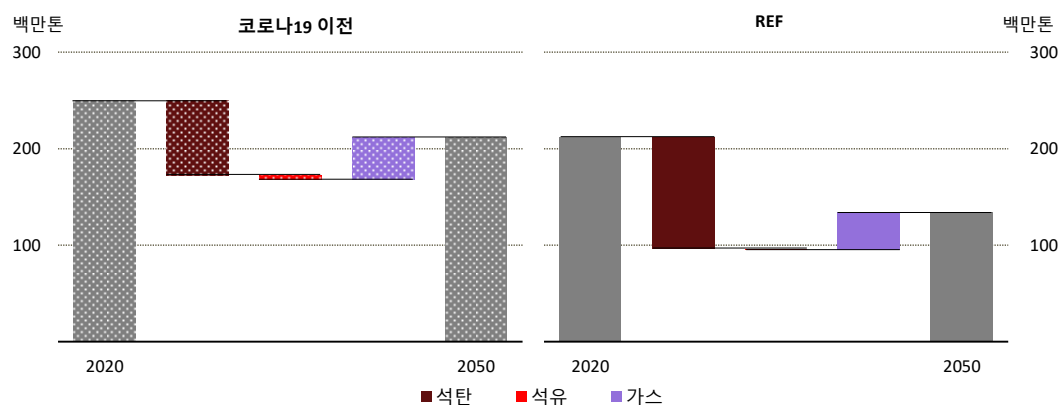
주: 최종소비는 국내총생산, 산업은 산업 부문 총산출액, 수송은 자동차 등록대수, 가정은 주택수, 서비스는 서비스 부문 총산출액 대비 에너지 수요로 에너지원단위를 계산하였으며, 2020년 100을 기준으로 지수화

에너지 소비와 온실가스 배출의 탈동조화 현상은 재생에너지 보급 확대 및 석탄 화력발전 설비의 폐지와 밀접하게 관련이 있다. ‘제9차 전기본’의 설비 폐지 일정에 따라 석탄 화력발전소가 수명 30년을 기준으로 연료전환을 하거나 폐지된다면 재생에너지와 가스 복합발전의 역할이 더욱 확대될 수밖에 없다. 최종소비 부문의 효율 개선과 함께 발전 부문의 저탄소 및 무탄소 발전원이 증가함에 따라 에너지 수요 증가에도 불구하고 온실가스 배출은 감소한다. 역시 2018년을 기준으로 볼 때, 2050년까지 총에너지 수요는 11% 증가하는 반면 온실가스 배출은 28% 감소하는 것으로 분석된다.

발전 부문의 변화는 2020년 말 발표한 ‘제9차 전기본’의 전력 시장 설비 계획이 핵심이다. 동 계획에 따르면 2020년에서 2034년까지 총 30기, 15.3 GW의 유연탄 발전 설비를 폐지하거나 연료를 전환하고, 원자력도 11기, 9.5 GW의 설비가 전기 공급에서 제외된다. 유연탄 기력 설비는 증설되는 보령3호기를 포함하여 8기 7.3 GW 규모가 계통에 신규 진입하지만, 삼척화력2호기가 2024년 4월에 마지막으로 진입한 이후 신규 설비는 없으며, 원자력의 경우 각 1.4 GW 규모의 신한울 1·2호기, 신고리 5·6호기가 2021년부터 진입하여 2024년 6월 신규 진입이 마무리된다(산업통상자원부, 2020). 2034년 이후에도 유연탄 기력의 경우 26기 19.6 GW의 설비가 2050년까지 폐지 또는 연료 전환되며, 원자력 설비는 7기 7 GW의 설비가 폐지된다. 한편,

신재생에너지, 특히 변동성 재생에너지¹³ 발전 설비는 2020년 16.5 GW에서 2034년까지 100 GW로 증가하여 '제9차 전기본'의 설비 보급 계획보다 40% 이상 확대될 것으로 전망되며, 그 이후에도 빠른 증가를 보이면서 2050년에는 207 GW 수준이 될 것으로 예상된다. 설비 보급의 증가로 인해 총발전량에서 변동성 재생에너지 발전량이 차지하는 비중은 2020년 3.7%에서 2034년 18.7%, 2050년에는 34.5%까지 늘어나는 것으로 분석된다. 가스 발전량이 2050년 270 TWh로 전망된 것을 감안하면, 2050년에 이르러 신재생에너지 발전량이 가스 발전량과 거의 비슷한 수준이 되고 두 발전원의 발전량이 전체 발전량의 71% 이상을 차지하게 된다. 이러한 발전원의 구성 변화는 발전 부문 온실가스 배출에 큰 영향을 미치게 되는데, 2020년에서 2050년 사이 석탄 발전의 연간 온실가스 배출은 115백만톤-CO₂eq 감소하고 가스 발전은 38백만톤-CO₂eq 증가하여 연간 배출이 총 77백만톤-CO₂eq이 줄어든다. 과거 전망과 비교할 때 발전 부문의 2050년 연간 온실가스 배출은 약 39백만톤-CO₂eq이 추가적으로 감소한다.¹⁴

그림 1.13 발전 부문 온실가스 배출 변화 비교, 2018~2040



주: REF는 기준 시나리오, 코로나19 이전은 '2019 장기 에너지 전망'의 기준 시나리오

국내총생산과 총에너지 수요의 탈동조화와 함께 에너지 수요와 온실가스 배출의 탈동조화는 경제 성장과 온실가스 배출 감축의 두 가지 목표가 어느 한 쪽의 희생을 요구하는 상충되는 목표가 아니라는 점을 암시한다. 물론 온실가스 배출 감축으로 인한 경제 변화에 대해 추가적인 연구가 필요하지만, 에너지 효율 개선을 통해 에너지 사용을 줄이는 것이 자원 고갈과 기후 변화에 대응하기 위한 기본적인 수단이기 때문에 국내총생산과 총에너지 수요의 탈동조화

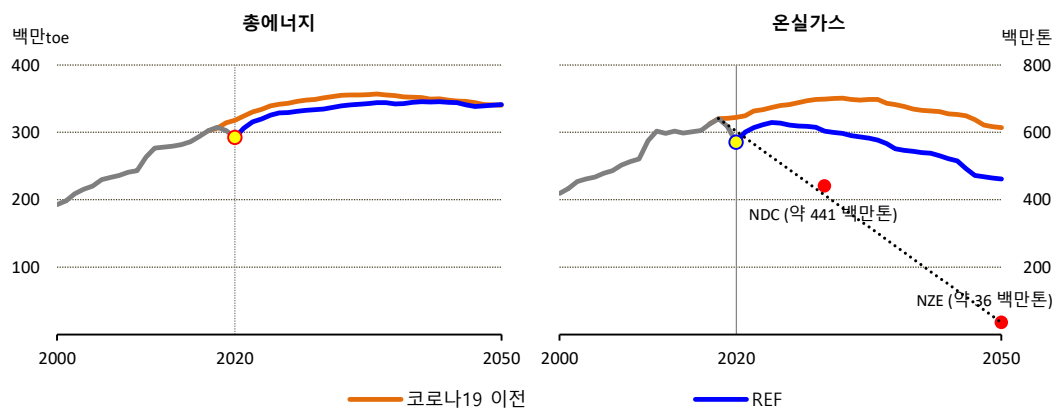
¹³ 변동성 재생에너지는 태양광, 풍력, 해양 에너지를 의미한다.

¹⁴ '2019 장기 에너지 전망'은 2045년까지 전망했으나 이를 연장하여 2050년을 추정하였다.

가 발생한다. 에너지 수요와 온실가스 배출의 탈동조화는 온실가스 발생의 주 원인인 석탄 화력을 빠르게 감소시키고 효율이 높고 온실가스 배출이 적은 가스 복합발전과 재생에너지가 이를 대체하면서 발생하는 현상이다. 특히 재생에너지 발전의 확대는 현행 에너지 통계 작성 기준에 의해 발전 투입 에너지의 양을 크게 만들고¹⁵ 온실가스 배출은 줄어들기 때문에 에너지와 온실가스의 탈동조화 현상을 더욱 크게 보이게 한다.

미세먼지 및 온실가스 감축을 위한 정책이 속속 시행되고 에너지 효율 개선 노력이 지속되면서 과거에 경험하지 못한 수준으로 경제 성장, 에너지 수요, 온실가스 배출의 탈동조화가 진행되고, 이로 인해 REF의 온실가스 배출은 과거 전망보고서에 비해 큰 폭으로 하락할 전망이다. 하지만, REF의 온실가스 배출은 '2030 NDC 상향안'이나 '2050 탄소중립 시나리오'에서 제안한 2030년과 2050년의 온실가스 배출 목표에 비하면 여전히 높은 배출 수준을 보이고 있다. 즉, 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서는 REF보다 2030년까지 연간 배출량 약 172백만톤-CO₂eq, 2050년까지는 연간 배출량 426백만톤-CO₂eq을 줄여야 하는 것으로 계산된다. 특히, 에너지 수요나 온실가스 배출이 경로 종속적이기 때문에 2025년까지 에너지 소비와 온실가스 배출이 빠르게 증가하는 것이 '2030 NDC 상향안'이나 '2050 탄소중립 시나리오'의 감축 목표 달성을 어렵게 만드는 요인이 되고 있다.

그림 1.14 기준 시나리오(REF)의 총에너지 및 온실가스 배출 전망



주1: REF는 기준 시나리오, 코로나19 이전은 '2019 장기 에너지 전망'의 기준 시나리오

주2: NDC 및 NZE 목표 배출량은 '2030 NDC 상향안'과 '2050 탄소중립 시나리오'의 목표 감축률을 이용하여 재계산, CCUS 감축은 제외

¹⁵ 현행 에너지밸런스는 부분대체법(partial substitution method)을 이용하여 재생에너지 발전의 투입 에너지량을 계산한다. 부분대체법에 대해서는 IEA의 통계 매뉴얼 (IEA, 2005)을 참고하기 바란다.

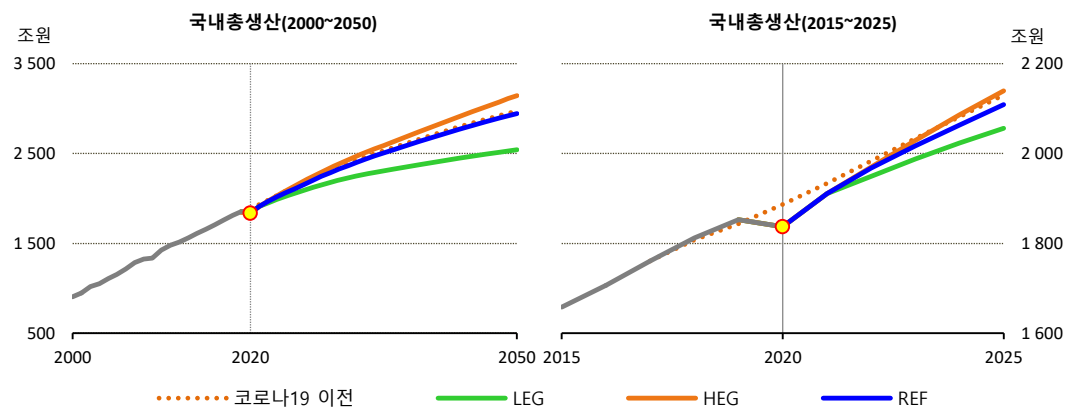
3.2. 코로나19와 경제성장의 영향

□ 코로나19에서의 회복으로 인한 에너지 수요의 단기적 반등

2020년 우리는 코로나19의 영향으로 경제적 어려움과 함께 에너지 소비와 온실가스 배출의 감소를 동시에 경험하였다. 2020년 국내총생산은 전년 대비 0.9% 감소하였으며, 이로 인해 전기 소비는 2019년에 이어 두 해 연속으로 감소를 기록하였다. 코로나19의 확산으로 사회적 거리두기가 강화되었고 생산 및 생활 활동이 제약됨에 따라 대부분의 최종소비 부문에서 에너지 소비가 감소한 가운데, 수송 부문이 전년 대비 8.2% 감소하여 전체 최종소비 감소의 40%를 차지하였다. 에너지 상품 측면에서는 수송 연료와 산업용 원료의 감소로 석유 소비가 가장 크게 줄어들었다.

하지만, 앞서 살펴본 것처럼 우리나라 경제가 코로나19의 충격에서 신속하게 벗어나면서 2025년까지 에너지 수요도 급속히 증가하고 온실가스 배출도 늘어날 전망이다. 국내총생산은 2020년에서 2025년까지 5년 사이 연평균 2.8%의 높은 성장률을 보이지만, 이후 5년인 2030년까지는 연평균 2.0%로 성장률이 급격히 하락한다. 2030년 이후 2050년까지는 국내 경제가 연평균 1.2% 성장할 전망이다. 단기적인 경제 회복은 고성장이나 저성장 시나리오 모두 동일하게 예상하고 있지만, 장기적인 경제 성장 추세에 대해서는 시나리오에 따라 다른 입장을 취하고 있다. 이에 대해서는 다음 부분에서 경제 성장 시나리오에 따른 에너지 수요 전망과 함께 설명하도록 한다.

그림 1.15 국내총생산(GDP) 변화 추이와 전망



최종소비 부문의 에너지 소비는 2020년에서 2025년 사이 약 21.5백만toe가 증가하여 소비 정점으로 예상되는 2045년까지 증가하는 에너지 소비의 절반 이상이 향후 5년 사이에 증가한다. 단기적인 최종 소비의 증가는 80% 이상 대부분이 산업 부문에서 발생한다. 다만, 부문마다 회복속도의 차이를 보이면서 산업 부문은 2021년부터 코로나19 이전의 에너지 소비 수준으로 증가하고 수송 부문은 2022년 이후에나 이전 소비 수준으로 복귀할 것으로 분석된다. 수송 부문의 에너지 소비 반등이 다른 부문에 비해 지연되는 것은 코로나19 변이 확산으로 인해 2021년에도 항공 부문이 여전히 침체되기 때문이다. 자동차용 반도체 공급 문제로 인한 자동차 보급의 정체와 지정학적 문제로 인한 국제 유가의 고공행진 등과 같은 요인도 단기적으로 수송 부문의 에너지 수요 회복에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 가정 부문은 이미 포화 수준에 도달한 것으로 분석되어 일시적인 반등 이후 꾸준히 감소할 전망이다. 가정 부문의 에너지 소비가 증가하더라도 이상 기온에 의한 냉난방 수요의 일시적 증가 정도일 것으로 예상되지만, 코로나19의 영향으로 에너지 소비 패턴이나 에너지 소비 구성이 달라진 점이 향후 가정 부문의 에너지 소비 구성과 에너지 수요 총량에 영향을 미치는 요인이 될 것으로 분석된다.

산업 부문과 서비스 부문을 중심으로 한 단기적인 에너지 수요의 급증은 온실가스 배출의 증가를 초래하고, 장기적으로 NDC 감축 목표나 탄소중립을 향한 여정을 어렵게 한다. 외부적인 요인의 영향이 더 컸다 하더라도 2018년 이후 2년 연속 감소했던 온실가스 배출이 다시 증가하여 2024년 629.4백만톤-CO₂eq 수준에 도달할 전망이다. 이는 2018년 정점 수준인 640.7백만톤-CO₂eq에 비해서는 낮지만, 2018년을 기준으로 선형 감축 경로 방식으로 설정한 '2030 NDC 상향안'이나 '2050 탄소중립 시나리오'의 목표와는 반대 방향의 변화이기 때문에 목표달성을 위해서는 추가적인 감축 노력을 요구한다. 온실가스 감축 시나리오에서 이 문제를 다시 다루겠지만, 생산 부문이 갖는 구조적인 한계로 인해 추가적인 감축 경로는 기존 목표 설정을 위한 부문별 감축이나 정책에 비례하지 않게 된다.

□ 경제 성장과 총에너지 수요 및 온실가스 배출

앞에서 살펴본 것처럼 단기적으로는 코로나19에서 경제가 빠르게 회복하지만, 코로나19의 영향이 우리나라만의 문제가 아니고 장기적으로 국내 인구 감소 및 생산성 혁신의 문제와 결합하여 국가 경제 성장의 경로가 크게 달라질 수 있다. 코로나19에 대한 성공적인 방역과 코로나19 기간 확보한 세계 경제에서의 역할, 국내 경제 및 사회의 안전성이 경제 성장으로 이어질 경우에는 총에너지 수요가 더 빠르게 증가하면서 2050년 361백만toe에 도달할 전망이다(고성장 시나리오, HEG). 반면, 코로나19의 영향이 전 세계적으로 장기화되고 인구 감소 및 생산성 하락으로 경제 성장이 둔화되면 총에너지 수요는 2025년 이후 감소하여 2050년에는 현재 수준과 비슷할 것으로 예상된다(저성장 시나리오, LEG).

표 1.2 경제 성장 시나리오별 총에너지 수요 (Mtoe)

	2020	LEG		REF		HEG	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050
총에너지	292.0	321.6	303.2	334.5	341.0	341.0	361.0
석탄	72.2	73.9	35.9	76.3	41.7	77.4	44.6
석유	110.3	110.0	91.1	115.1	104.1	117.7	111.3
천연가스	54.8	67.0	74.7	71.0	85.3	73.1	90.8
원자력	34.1	29.3	19.4	29.3	19.4	29.3	19.4
수력	1.5	1.6	1.9	1.6	1.9	1.6	1.9
신재생·기타	19.0	39.9	80.2	41.3	88.6	42.0	92.9
변동성재생에너지	4.3	19.4	49.1	20.2	54.8	20.6	57.7
화석연료 비중 (%)	81.3	78.0	66.5	78.4	67.8	78.6	68.3
온실가스 배출 (Mton)	569.9	579.7	401.6	603.6	461.6	616.1	494.1

주1: 변동성재생에너지는 태양과, 풍력, 해양에너지의 합계

주2: REF 기준 시나리오, HEG 고성장 시나리오, LEG 저성장 시나리오

LEG의 총에너지 수요는 2025년 323.5백만toe까지 증가하였다가, 2040년 317.3백만toe, 2050년에는 303.2백만toe로 감소한다. 온실가스 배출도 총에너지 수요와 동일한 방향으로 움직이면서 2025년 616백만톤-CO₂eq 수준에서 정점을 기록하고 이후 빠르게 감소하여 2040년 496.8백만톤-CO₂eq, 2050년 401.6백만톤-CO₂eq으로 떨어진다. 2050년을 기준으로 REF 대비 국내총생산의 14% 하락에 총에너지 수요는 11%가 줄어들고 온실가스 배출은 13%가 감소한다. ‘제3차 에너지기본계획’의 에너지 소비 감축 목표에 따른 온실가스 배출 추정량이 2040년 약 534백만톤-CO₂eq 수준인 것을 고려하면 (에너지경제연구원, 2019), 코로나19로 인한 세계 경제 성장의 둔화와 국내 경제의 저성장으로 인해 우리나라의 에너지 수요 및 온실가스 배출 경로는 ‘제3차 에너지기본계획’의 온실가스 배출 감축 목표보다 더 하락할 수 있다는 것을 보여준다. 하지만 ‘2030 NDC 상향안’이나 ‘2050 탄소중립 시나리오’와 비교하면 여전히 높은 배출 수준이다. 물론 이러한 경로는 에너지 절약과 온실가스 감축의 결과가 아니라 저성장으로 인한 에너지 전환 및 에너지 절약 기회의 상실이라고 할 수 있다. 즉, 코로나19로 인한 이동과 활동의 제약 그리고 생산의 감소로 인해 나타나는 결과일 뿐이고 온실가스 배출 감소를 위한 노력의 성과는 아니다.

HEG에서는 총에너지 수요가 2030년 341.7백만toe, 2050년 361백만toe로 증가한다. 온실가스 배출은 다른 시나리오들과 마찬가지로 2024년경 634.3백만톤-CO₂eq 수준에서 정점을 기록한 후 2030년 약 616백만톤-CO₂eq, 2050년 494백만톤-CO₂eq으로 전망된다. 경제 성장의 불확실성을 고려한 시나리오 분석 결과가 이전과 다른 점은 에너지 수요가 증가하더라도 온실가스 배출은 과거 2018년의 수준을 넘지 않는다는 점이다. 즉, 최근의 ‘제9차 전기본’을 비롯한

정책 변화와 최종소비 부문의 에너지 효율 개선 및 온실가스 감축 노력은 경제 성장과 온실가스 배출 감축이라는 두 가지 목표가 상반되지 않을 수 있다는 것을 의미한다. 하지만, 앞서 살펴본 것처럼 단순한 온실가스 감축이 아니라 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서는 아직 상당한 감축이 더 필요하다.

3.3. 2050 탄소 중립을 향한 경로

□ 탄소중립 시나리오의 의미

‘2050 탄소중립위원회’가 제안하고 정부가 유엔 기후변화당사국 총회에 제출한 2030년 우리나라 온실가스 감축 목표는 배출 정점인 2018년 대비 40% 수준이다(‘2030 NDC 상향안’). 2030년 감축 목표는 2050년 탄소중립을 목표로 2018년부터 선형 감축을 진행할 때 달성해야 하는 배출 수준이다. ‘2030 NDC 상향안’에서는 국가 전체의 온실가스 배출을 40% 줄이기 위해서 에너지 부문에서 약 33%를 줄여야 하는 것으로 분석되었다.¹⁶ 또한 ‘2050 탄소중립 시나리오 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’에서는 2050년 탄소중립을 달성하기 위해 에너지 부문에서 2050년까지 2018년 대비 99%를 감축해야 하는 것으로 제시되었다. 본 보고서에서는 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 2030년과 2050년 온실가스 배출 목표 달성을 점검하기 위해 ‘2050 에너지 탄소중립 혁신전략(관계부처 합동, 2021)’에서 정리한 핵심 정책 수단들을 중심으로 탄소중립에 도달하는 경로를 분석하였다. 탄소중립의 경로를 구별하는 주요 변수들은 ‘2050 에너지 탄소중립 혁신전략’에서 제시하는 주요 정책 수단들과 기술들이며, 이외에도 ‘2030 NDC 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)’, ‘2050 탄소중립 시나리오’, ‘탄소중립 산업·에너지 R&D 전략(산업통상자원부, 2021)’, ‘국토교통 탄소중립 로드맵(국토교통부, 2021)’ 등 다수의 자료를 이용하여 정책 수단들을 분석하였다. 이러한 정책 시나리오들은 무수히 많은 정책 조합들 중에서 탄소 감축 목표를 효과적으로 달성하기 위한 정책 조합을 결정하기 위해 필요한 정보를 제공하는 것이 목적이다.

앞서 시나리오 정의에서 설명한 것처럼, ‘정책계획 시나리오(APS)’는 정부 계획으로 발표한 여러 수단들 중에서 그 방법과 수준이 명확한 수단들이 계획된 일정대로 진행될 때 예상할 수 있는 에너지 수요와 온실가스 배출의 경로를 그리고 있다. 한편, ‘탄소중립 시나리오(NZE)’는 APS에서 부족한 탄소배출 감축을 위해 제시된 정책 수단들을 더 강화하고 새로운 수단들을

¹⁶ 본 보고서는 국가 전체의 탄소중립 시나리오를 분석하는 것이 아니라 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출만을 대상으로 한다. 에너지 부문의 감축률은 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 전환, 산업, 건물, 수송, 수소 부문의 2018년 대비 2050년 배출량의 감소율을 의미한다.

추가한 경우의 에너지 수요와 온실가스 배출 경로를 묘사한다. 이 때 정책 강화나 신규 수단 추가는 ‘2030 NDC 상향안’이나 ‘2050 탄소중립 시나리오’에서 제시한 각 부문별 온실가스 배출 감축 목표(감축률)를 달성하는 것을 목적으로 설계한다. 각 시나리오에서 채택한 부문별 정책 수단들은 제2장에서 자세히 설명하고 있다. 여기에서 부문별 주요 정책들을 간단히 정리하면 다음과 같다.

표 1.3 탄소중립을 위한 주요 정책 수단과 기술

분류	주요 내용
기존 기술 혁신	석탄 및 가스 발전 혼소 철강 전기로 효율 향상 철스크랩 및 폐플라스틱 활용을 통한 원료 대체 미활용 에너지 활용 고효율 태양전지 장수명 풍력발전기 전기가열로, 폐합성수지, 바이오매스 등을 활용한 연료 대체 보일러, 로, 모터 등 산업 공통기기의 효율 향상
미래 기술의 개발	수소터빈 수전해 수소 생산 수소원료제철 수소 연료 사용 바이오 납사 및 합성납사
보급, 규제 및 가격	석탄발전 폐지 및 연료 전환 석탄발전 상한제 및 환경급전 강화 재생에너지 발전 비중 목표 에너지효율관리제도 개편을 통한 저효율기기 단계적 퇴출 친환경자동차 보급 목표 자동차 평균연비 강화 및 전비 등급제 대중교통 인프라 확대, 교통관리를 통해 대중교통 확대, 통행량 감축 제로에너지 건물 기준 상향 및 에너지효율 평가체계 개편 탄소세 부과 및 배출권거래제 강화를 통한 탄소가격 반영

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

‘2050 에너지 탄소중립 혁신전략’은 에너지 부문의 탄소중립을 위해 4대 전략과 14개 추진과제를 제시하고 있다. 4대 핵심 전략은 1) 청정에너지 전환 가속화, 2) 에너지 전환 촉진 기반 구축, 3) 신성장동력 창출, 4) 탄소중립 이행체계 강화로 구분된다. 14개 추진과제는 각 핵심 전략에 맞춰 기존 정책의 강화, 기술에 대한 투자와 보급, 가격을 중심으로 한 제도 개선, 시

시스템을 중심으로 한 제도 개선 등을 망라한다. 여기서는 시나리오 분석을 위해 추진과제나 제시된 목표를 모형에 적용하기에 적합한 체계로 다시 분류하였다. 정부 및 민간 경제주체들이 제시한 온실가스 배출 감축 수단을 모두 포함하지는 않지만, 모형 작업에 적용되는 대표적인 수단들은 表 1.3에 정리되어 있다. 기존 기술의 혁신은 기존 기술의 효율을 혁신적으로 높이거나 미래 기술에 해당하는 기술을 적용하여 기존 기술을 변형하는 방식이다. 산업 공통 기기의 에너지 효율 향상이나 일관제철 공정에 철스크랩의 비중을 증가시키기 위한 기술 개발, 기존 석탄 및 가스 발전에 암모니아나 수소를 혼소하는 기술 개발 등이 여기에 해당한다. 미래 기술의 개발은 수소터빈의 개발이나 수소 생산을 위한 수전해 공정 개발, 철강의 수소환원제철 등 기존에 존재하지 않았던 새로운 기술들을 의미한다. 보급, 규제 및 가격은 정부의 직접적인 규제나 보급 목표를 비롯하여 탄소세 부과, 에너지 가격체계 개선 등 다수의 정책 수단들을 포함한다. 表 1.3에 정리된 정책 수단들은 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 수단들과 함께 진행되어야 하며, 시나리오 분석에서는 이러한 정책 수단들이 최적으로 설계되어 동반된다고 가정한다.

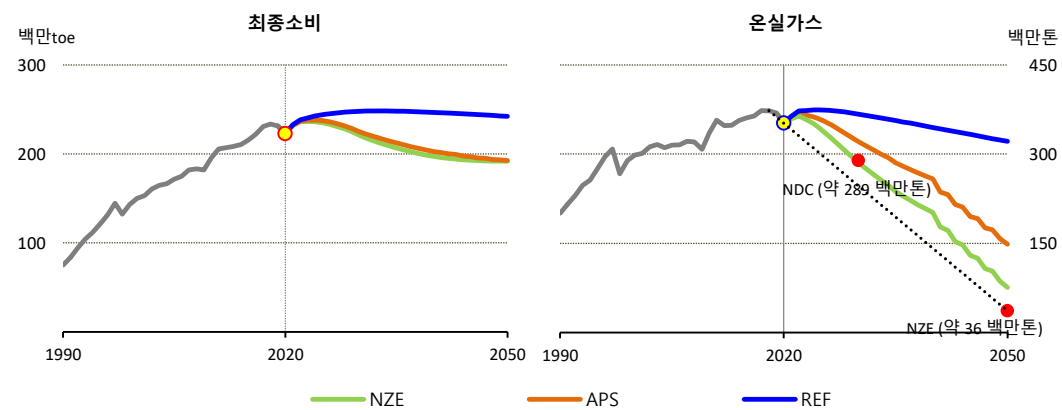
탄소중립에 도달하는 경로는 무수히 많이 존재한다. 보고서에서 정리한 정책 수단 외에도 논의되고 있는 다양한 감축 수단과 기술들이 있으며, 시나리오 분석에서 고려한 수단들만 고려하더라도 각 개별 수단들의 일정과 수준에 따라 다양한 시나리오 경로를 도출할 수 있다. APS나 NZE는 그러한 경로들 중의 하나이고 정책 수단들에 대한 연구자의 해석을 수치화한 것이라고 할 수 있다. 시나리오의 합리성을 최대한 확보하려고 노력하지만, 정책 조합의 결정을 위한 정보를 제공한다는 의미에서 여기서는 수단 및 기술들의 실현 가능성과 경제성은 고려하지 않았다. 시나리오 결과를 설명하기에 앞서 다시 한번 강조하면, 시나리오 결과는 시나리오 설계에 사용된 수단과 기술들이 예상된 시점에 실제 도입된다는 것을 의미하지 않는다. 또한 기술들이 실현되더라도 실험 단계에서 상용화 단계로 들어선다는 것을 가정할 뿐 기술들의 실제 경제성이 기존 기술과 비교 경쟁력을 갖는다고 보장하지 않는다. 미래 기술이 시장에서 경쟁력을 갖기 위해서는 시나리오 설계에 포함되지 않은 많은 정책적 지원이 필요할 것이다. 즉, 시나리오 결과는 그 시점에 해당 수단과 기술들이 도입될 경우 변화되는 에너지 수요와 온실가스 배출을 계산한 결과일 뿐이다.

□ 탄소중립을 향한 에너지 소비 감축

탄소중립 정책으로 인한 에너지 수요 및 온실가스 배출 경로를 묘사하기 위해서는 우선 에너지 사용 흐름과는 반대로 최종소비 부문의 에너지 수요 변화부터 살펴봐야 한다. APS에서 최종소비 부문의 에너지 수요는 2024년 238.0백만toe를 정점으로 이후 빠르게 감소하여 2030

년 225백만toe, 2050년 192백만toe 수준으로 하락할 것으로 전망된다. 최종소비 부문의 에너지 수요 감소는 고효율 기술 개발과 수소환원제철 공법을 중심으로 한 미래 기술의 상용화 그리고 정책 지원에 힘입은 기술의 빠른 보급으로 에너지원단위가 개선되는 것이 가장 큰 원인이다. REF와 비교할 때 2030년은 약 23백만toe(약 9%), 2050년은 50백만toe(21%)가 감소한다. 고효율 기술 개발은 산업용 고온 전기 히트펌프를 비롯하여 전기 사용 설비를 포함하기 때문에 에너지 소비 감소만이 아니라 화석연료에서 전기로 대체하는 것을 포괄한다. 수소환원제철은 대표적인 미래 기술로 철강업종의 석탄 소비를 수소로 대체하게 된다. 이러한 에너지 대체는 에너지 효율 개선으로 인한 온실가스 감축을 가속화하여 APS의 온실가스 배출이 급격히 감소하는 것으로 나타난다. 온실가스 배출은 2022년 전년대비 2.6% 반등하지만 이후 지속적으로 감소하여 2030년 320.7백만톤-CO₂eq, 2050년에는 148.7백만톤-CO₂eq 수준으로 줄어든다.

그림 1.16 시나리오별 최종소비 부문 에너지 수요와 온실가스 배출 경로 비교



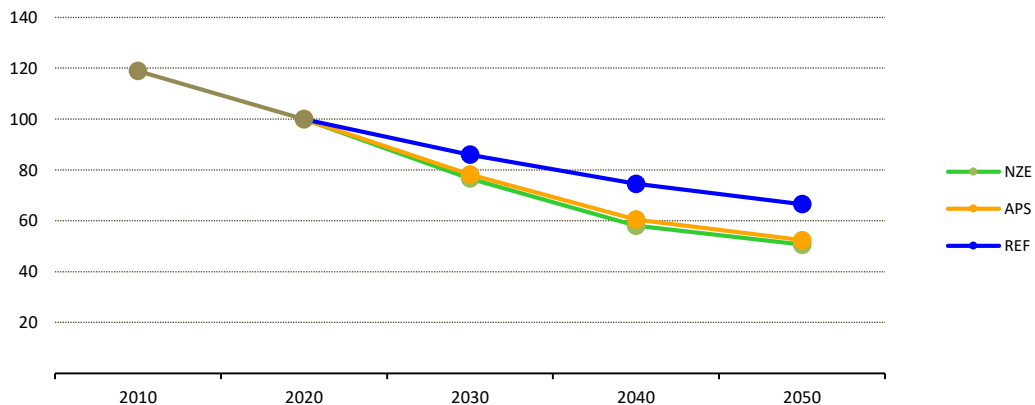
주1: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

주2: NDC 및 NZE 목표 배출량은 '2030 상향 NDC'와 '2050 탄소중립 시나리오'의 목표 감축률을 이용하여 재계산, ccus 감축은 제외

APS의 온실가스 배출은 '2030 NDC 상향안'이나 '2050 탄소중립 시나리오'에 비해 여전히 높은 수준이다. 에너지밸런스를 이용하여 환산한 2030년과 2050년 에너지 부문 온실가스 배출 목표는 각각 289백만톤-CO₂eq과 36백만톤-CO₂eq이다. 따라서 2030년의 배출 목표량을 달성하기 위해서는 2030년까지 연간 배출량을 31백만톤-CO₂eq 추가적으로 감축해야 하며, 2050년까지는 추가 감축 요구량이 112백만톤-CO₂eq으로 늘어난다. 시나리오 분석 결과 APS보다 강화된 효율 향상을 통해 에너지 소비를 추가적으로 줄여서 온실가스 배출을 감축하는 것은 매우 어려운 것으로 나타났다. 에너지원단위로 나타낸 에너지 효율은 REF에서도 이미 2020년대비 2030년 14%, 2050년에는 33% 이상 개선되는 것으로 전망된다. APS에서는 기술 개발 속도만이 아니라 경제주체가 기술을 채택하고 설비 및 기기를 교체하는 속도가 훨씬 빨라져서

2030년 22%, 2050년까지는 48%의 에너지원단위 개선이 이루어질 것으로 분석되었다. 경제 주체의 설비투자 및 연료를 포함한 기술 선택이 더 적극적으로 이루어지더라도 에너지원단위 개선과 에너지 수요 감소는 추가적으로 약 1% 정도 개선될 뿐이다.

그림 1.17 시나리오별 최종소비 부문의 에너지원단위 개선 비교



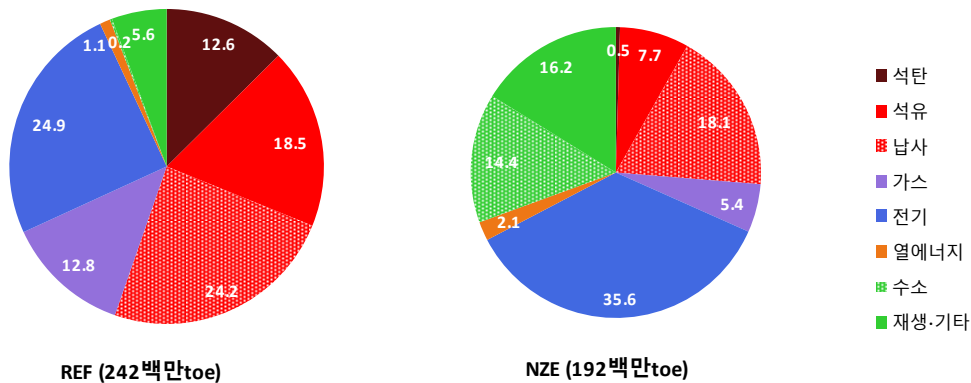
주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

하지만, 에너지원단위 개선과 에너지 수요의 추가 감소가 미미하다는 것이 온실가스 배출 감축이 불가능하거나 에너지에 대한 추가적인 투자가 불필요하다는 것은 아니다. 온실가스 배출 감축을 상위의 목표로 설정하면 크게 두 가지 방향의 추가 감축 노력이 가능할 것으로 보인다. 우선은 산업용 생산 설비만이 아니라 건물용 난방 설비에 대한 전력화 기술 투자와 시장의 기술 선택을 유도하는 규제 및 시장 정책을 강화하는 방안이다. 다른 하나는 APS보다 최종소비 부문의 재생에너지 보급을 더욱 확대하는 방안이다. 두 가지 방안이 모두 필요하며, 규제나 직접 지원을 통한 개선은 APS에 이미 충분히 고려되어 있기 때문에 가격 및 시장 제도를 통한 개선을 위해 보다 정밀한 제도 설계가 필요한 것으로 분석된다. 추가적인 수단을 통한 에너지 수요 감소는 미미하지만 온실가스 배출은 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 목표에 상당히 근접하는 것으로 나타났다. 이러한 온실가스 배출의 추가 감축 경로를 탄소중립 시나리오(NZE)가 보여준다(그림 1.16 참조).

에너지 공급 구조가 NZE의 경로를 따를 경우 2050년 최종소비는 약 192백만toe 수준이 된다. REF와 비교해서 가장 극적인 변화를 보이는 에너지 상품은 석탄으로, 온실가스 배출 저감을 위한 철강업의 노력으로 제철 공정에 투입되던 유연탄이 수소로 대체되면서 2050년 최종소비에서 석탄이 차지하는 비중은 0.5%로 급감하게 된다. 반대 방향으로 극적인 변화를 보이는 것은 전기와 수소를 포함한 신재생에너지이다. 정책 추진 초반부터 강조되는 전력화에 힘

입어 2050년에는 전기가 최종소비에서 가장 큰 비중을 차지하는 에너지 상품으로 성장한다. REF에서 전기는 2050년 최종소비 에너지의 24.9% 수준이 될 것으로 전망되는데, APS에서는 그 비중이 33.1%, NZE에서는 35.6%로 확대된다. 수소를 제외한 최종소비 부문의 재생에너지는 NZE에서 16.2%로 증가한다. 재생에너지는 열 중심의 바이오 및 폐기물에서 전기 중심의 태양광으로 이동한다. 수소는 수소환원제철을 중심으로 2040년 이후에나 본격적으로 도입되지만, 대규모 설비의 단계적 교체를 통해 이루어지기 때문에 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 원료용 납사 수요가 여전히 존재하기 때문에 석유 전체는 2050년에도 최종소비의 25.8% 수준을 차지할 것으로 예상된다.

그림 1.18 **기준 시나리오(REF)와 탄소중립 시나리오(NZE)의 2050년 최종소비 구성 비교**



주: REF 기준 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

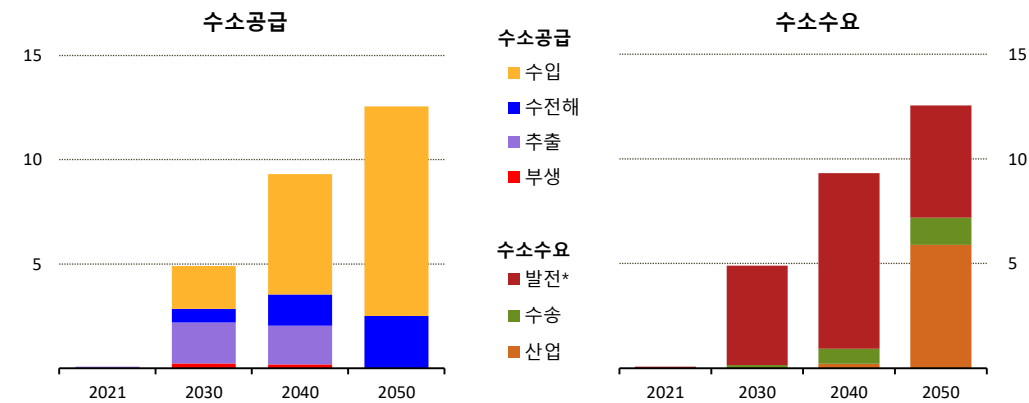
□ 전기 수요 및 발전에 영향을 미치는 요인

전기 수요의 대폭적인 증가는 총에너지 수요와 에너지 부문 온실가스 배출을 결정하는데 발전 부문의 역할이 더욱 중요해진다는 것을 의미한다. REF에서 전기 수요는 2020년 508.8 TWh에서 2030년 640 TWh, 2050년은 712 TWh로 증가할 전망이다. 탄소중립 정책이 APS를 따를 경우 전기 수요는 2030년 723 TWh, 2050년은 887 TWh로 예상된다. 반면 NZE에서는 2030년 749 TWh, 2050년 930 TWh까지 늘어난다.¹⁷ NZE의 전기 수요가 APS보다 증가하는 것은 최종소비 부문의 추가적인 전력화가 핵심적인 요인이지만, 수소 관련 정책에 따라 전기 수요의

¹⁷ 여기서 전기 수요는 총 전기 수요에서 자가 발전 수요를 뺀 전기 판매량을 의미한다. 또한 최종소비 부문의 전기 수요와 수소 생산을 위한 전환 부문의 전기 수요를 합산한 수요이다. 최종소비 부문의 전기 판매만을 고려할 경우 NZE는 2030년 683 TWh, 2050년 794 TWh 증가할 것으로 전망된다.

증가 또는 감소 요인이 복합적으로 작용한다. 한편, ‘2030 NDC 상향안’의 2030년 예상 전기 수요가 567 TWh인 것에 비해 NZE의 2030년 전기 수요는 30% 이상 많으며, ‘2050 탄소중립 시나리오’의 2050년 예상 전기 수요 1,257.7 TWh에 비해서는 23% 가량 적은 전망 결과이다. 정보 제한으로 인해 전기 수요 전망 차이의 원인을 명확히 규명할 수는 없지만, ‘2030 NDC 상향안’과는 주로 초기 전력화에 대한 규모와 속도의 차이에서 전기 수요 차이가 발생하는 것으로 파악된다. ‘2030 탄소중립 시나리오’와는 최종소비 부문의 전기 수요 차이도 있지만, 수소 수요와 탄소포집에 대한 차이로 추가적인 전기 수요의 전망 차이가 큰 것으로 분석된다.

그림 1.19 탄소중립 시나리오(NZE)의 수소 수요 및 생산 전망 (백만톤-H₂)



* 발전은 암모니아 및 수소 혼소와 수소 전소, 수소용 연료전지 수요의 합계

NZE에서 수소 수요는 2030년 4.9백만톤-H₂, 2050년은 12.6백만톤-H₂ 증가할 전망이다. 수소 수요는 2040년까지는 발전 부문을 중심으로 증가하고 그 이후는 산업 부문이 수소 수요의 증가를 주도한다. 발전 부문에서는 석탄에 암모니아를 20% 혼소하는 기술이 2020년대 중반부터 도입되어 2030년에는 24기의 석탄 발전에 적용될 예정이고, 가스에 수소를 50% 혼소하는 기술은 30년까지 실증을 마치고 35년부터는 전체 가스 설비를 대상으로 적용할 예정이다. 하지만, 석탄 화력발전소를 중심으로 화석연료를 사용하는 발전소가 급격히 감소하면서 2040년 이후 혼소에 사용되는 암모니아와 수소의 수요는 감소할 전망이다. 대신 수소터빈의 개발과 설비 대체가 진행되면서 수소 수요를 유지한다. 산업 부문은 2040년부터 철강업에 수소환원 제철 설비가 차례로 기존 설비를 대체하면서 설비 교체가 완료되는 2050년까지 수소 수요가 급격하게 증가할 전망이다. NZE의 수소 수요는 APS에서 예상하는 수요 수요보다는 적은 수준이다. 최종소비 부문의 수소 수요는 연료용 수소 수요 확대로 NZE에서 증가하지만, 발전 부문에 적용되는 다른 정책 요인에 의해 NZE의 수소 수요가 APS보다 감소한다. 수소 수요에 영향

을 미친 주요 정책은 재생에너지 발전 비중의 확대와 석탄 화력발전 설비의 이용률 억제 정책이 대표적이다.¹⁸

NZE의 수소 수요는 '2050 탄소중립 시나리오'의 2050년 수소 수요 전망인 27.4백만톤-H₂의 약 54% 수준에 그친다. 주요 원인은 전기 수요 전망 차이, 수소환원제철 공정 및 수전해 생산의 기술 특성 계수 차이, 수소 열량 전환 계수 차이 등이 원인인 것으로 분석된다(이에 대해서는 제2장에서 다시 살펴본다). 수소 공급은 '2050 탄소중립 시나리오'의 공급 방식별 비중을 적용하여 2050년에 수입이 80%인 10.0백만톤-H₂, 수전해 생산이 20%인 2.5백만톤-H₂를 차지한다. 초기에는 추출 수소 방식의 공급이 절반 이상을 차지하지만, 국내 생산 수소를 100% 청정 수소로 전환한다는 정책 의지에 따라 추출 수소는 2040년 이후 소멸할 예정이다. 재생에너지 발전을 이용한 수전해 방식의 수소 생산 증가로 인해 수소 생산에 필요한 전기 수요는 2050년 약 136 TWh 수준인 것으로 계산된다.¹⁹

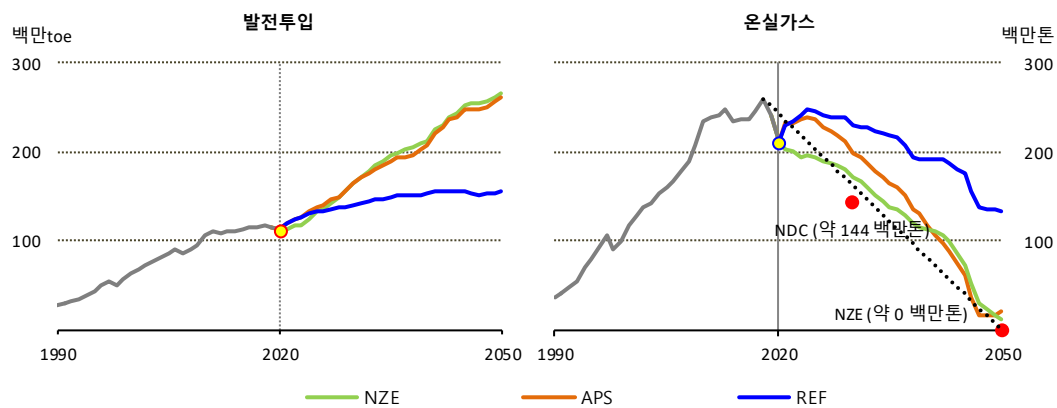
최종소비 부문의 전기 수요 증가로 최종소비 부문의 온실가스 직접 배출은 감소하지만, 최종소비 부문의 전기 수요 증가는 수소 생산을 위한 추가적인 전기 수요와 함께 발전 부문이 온실가스 배출 감축 목표 달성에 기여해야 하는 역할을 더욱 커지게 만든다. 발전 부문 탄소중립 노력의 핵심은 재생에너지 발전의 획기적인 확대와 함께 석탄 및 가스 발전을 수소와 같은 무탄소 발전으로 대체하는 것이다. 이로 인한 발전원별 발전 비중이나 발전 부문의 에너지 수요의 변화는 뒤에서 다시 살펴보기로 하고, 우선 발전 부문의 온실가스 배출에 대해서 검토해 본다. 설비 및 연료 대체 외에도 석탄 발전 상한제나 환경 급전과 같은 운영 규제 등을 통해 온실가스 배출을 줄인 결과 발전 부문의 온실가스 배출은 2020년 211.1백만톤-CO₂eq에서 2024년 240백만톤-CO₂eq까지 증가한 후 급격하게 감소한다(APS). APS의 발전 부문 온실가스 배출은 2030년 199백만톤-CO₂eq, 2050년 20백만톤-CO₂eq 수준으로 전망된다. 그림 1.20에서 볼 수 있듯이, APS의 발전 부문 온실가스 배출 경로는 '2050 탄소중립 시나리오'의 목표에 근접하지만 '2030 NDC 상향안'의 목표와는 상당한 차이가 있다. '2030 NDC 상향안'과의 차이는 초반 전기 수요의 빠른 증가와 시간적 한계로 인한 탄소 무배출 발전 설비 보급 제약에서 비롯한다. 결론적으로 발전 부문의 온실가스 배출 감축 목표, 더 나아가 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출 감축 목표를 달성하기 위해서는 2024년까지 예상되는 발전 부문의 온실가스 배출 반등을 최대한 억제하는 것이 필요하다. 설비 변경의 어려움이라는 시간적 제약 속에서 이를 달성하는

¹⁸ 재생에너지 비중 확대는 가스 발전량의 감소, 석탄발전소의 이용률 하락은 석탄 발전량 감소를 가져오며 결과적으로 수소 혼소와 암모니아 혼소 수요를 줄이게 된다. 보다 자세한 설명은 '제2장'에서 다룬다.

¹⁹ 수소 생산에 필요한 전기 수요는 수전해 공정에 투입되는 전기와 수소 액화에 필요한 전기의 합계로 계산한다. '2050 탄소중립 시나리오'에서는 3.0백만톤-H₂ 생산을 위해 129.0 TWh가 필요한 것으로(B안) 계산하였다.

방법은 석탄 화력발전 설비의 운영 변경을 통해 온실가스 배출을 줄이는 것이다. 이미 APS에서 발전 상한제나 환경 급전의 방법을 이용한 직접 제약이 반영되어 있기 때문에 추가적으로 탄소세 부과나 배출권 총량 감축 및 유상 할당 등 강력한 경제적인 수단을 동원할 필요가 있다. 추가적인 수단을 이용하여 석탄 화력발전 설비의 이용률을 40% 수준까지 제한할 경우 발전 부문 온실가스 배출이 2030년 171백만톤-CO₂eq, 2050년에는 12백만톤-CO₂eq 수준까지 감소하는 것으로 분석된다(NZE).

그림 1.20 시나리오별 발전 부문 에너지 수요 및 온실가스 배출 경로



주1: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

주2: NDC 및 NZE 목표 배출량은 '2030 상향 NDC'과 '2050 탄소중립 시나리오'의 목표 감축률을 이용하여 재계산, CCUS 감축은 제외

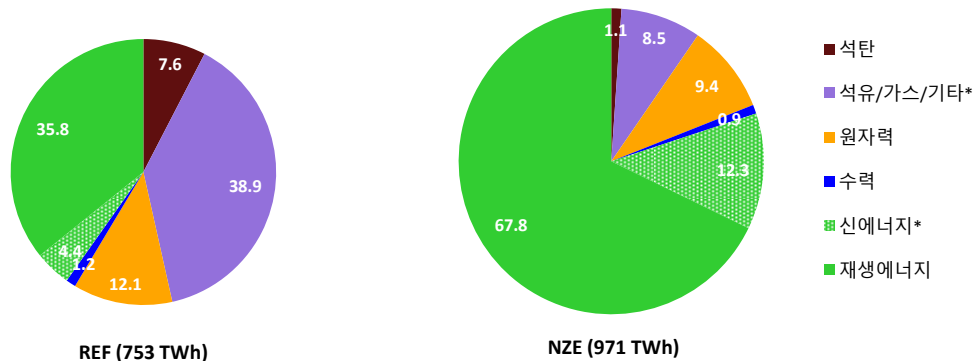
발전 부문의 온실가스 배출을 줄이는 것은 석탄 화력발전의 제약 외에도 재생에너지 발전의 보급 확대 등도 함께 이루어진다. 그림 1.20의 온실가스 배출 경로를 만들기 위해서 NZE에서는 재생에너지 발전이 2020년 30.1 TWh(5.5%)에서, 2030년 246.2 TWh(31.1%) 2050년에는 총 발전의 67.8%인 약 658.6 TWh 수준까지 증가한다.²⁰ REF와 비교할 때 NZE의 2050년 재생에너지 발전은 비중으로는 두 배에 가까운 수치이지만 발전량으로는 약 2.4배에 해당하는 양이다. 이를 위해서는 태양광, 풍력, 해양에너지의 설비가 2020년 16.5 GW에서 2030년 173 GW, 2050년에는 494 GW로 늘어나야 한다. 재생에너지 발전의 급격한 확대는 에너지 수요 측면에서 발전 부문의 투입 에너지가 REF 대비 크게 늘어나는 효과를 가져온다.

2040년대 본격적으로 진입하는 수소터빈은 2050년 발전량이 약 83.2 TWh 규모가 될 것으로 예상된다. 한편 수소 기반 연료전지도 '제9차 전기본'에서 2034년까지 설비 보급을 급속

²⁰ '재생에너지 3020 이행 계획 (2017)'에서는 2030년까지 재생에너지 발전 비중을 20%, '제3차 에너지기본계획 (산업통상자원부, 2019)'은 2040년 재생에너지 발전 비중을 30~35%의 범위로 제시하였다.

히 증가시킬 계획이고, 정책 기조가 그 이후에도 지속되면서 2050년에는 발전량이 33.6 TWh로 늘어난다. 원자력 발전 설비의 점진적 폐지와 석탄 발전 설비의 과감한 폐지, 그리고 석탄 발전 설비 이용률 하락으로 원자력과 석탄 발전이 차지하는 비중은 2020년 29.0%와 35.9%에서 2050년에는 각각 9%와 1%로 감소한다.²¹

그림 1.21 기준 시나리오(REF)와 탄소중립 시나리오(NZE)의 2050년 발전량 비중 비교



주: REF 기준 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

* 석유/가스/기타는 집단에너지 발전량과 한전의 상용자가발전 구매를 포함. 신에너지는 수소 터빈, IGCC, 수소기반 연료전지의 합계

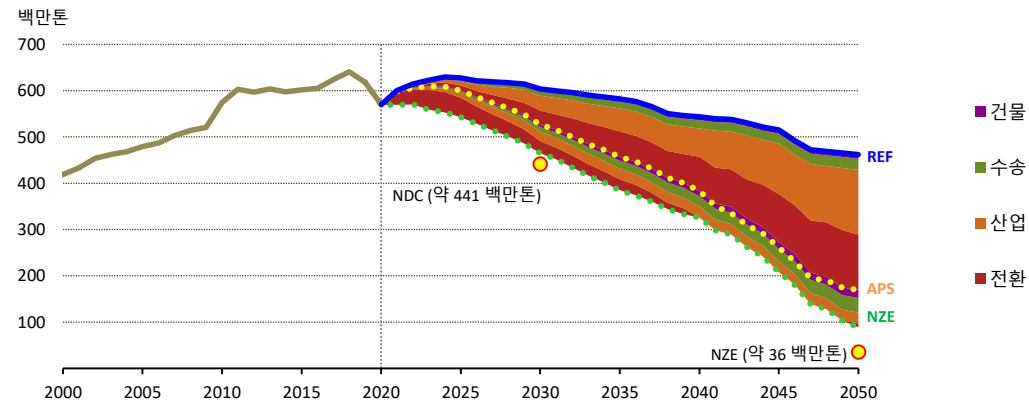
□ 시나리오에 따른 온실가스 배출 비교

최종소비 부문의 온실가스 배출과 전환 부문의 온실가스 배출을 종합적으로 고려하면 APS에서 온실가스 배출은 2020년 569.7백만톤-CO₂eq에서 2030년 527백만톤-CO₂eq, 2050년 169백만톤-CO₂eq으로 감소한다. REF 대비 2030년은 12.8%가 감소하며, 2050년 기준으로는 63.3%가 감소하는 수준이다. 이에 따라 2021~2050년 APS의 온실가스 누적 배출은 128억톤-CO₂eq으로 REF의 온실가스 누적 배출 169억톤-CO₂eq 대비 약 41억톤-CO₂eq, 24.1%가 감소한다. APS의 온실가스 누적 배출량은 2018년 기준 선형 감축 시 계산되는 누적 온실가스 배출량 93억톤-CO₂eq에 비해 아직 약 38% 많은 상황이다. APS 온실가스 배출 감축 경로에 가장 기여가 큰 부분은 발전을 포함한 전환 부문으로 2021~2050년 17.8억톤-CO₂eq의 온실가스 배출을 감축한다. 산업 부문은 17.2억톤-CO₂eq의 온실가스 배출이 감소하여 전환 부문의 감축량과 거의 비

²¹ APS와 NZE의 차이는 발전 부문의 온실가스 포집에 대한 가정에서도 발생한다. APS는 2050년에도 여전히 가동 허용 기간이 남아 있는 석탄 화력발전 설비 7기에 대해 탄소포집 설비를 설치하는 수단을 채택하였고, NZE는 이들 설비를 2050년 이전에 조기 폐쇄하는 방안을 선택하였다.

슷한 수준이다.²² 하지만 온실가스 감축 목표의 기준으로 설정한 2030년과 2050년 두 연도를 비교하면 APS는 연간 배출량을 각각 85백만톤-CO₂eq과 133백만톤-CO₂eq을 추가적으로 감축해야 한다.

그림 1.22 NDC 및 NZE를 달성하기 위한 부문별 온실가스 감축 기여



주1: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

주2: NDC 및 NZE 목표 배출량은 '2030 상향 NDC'과 '2050 탄소중립 시나리오'의 목표 감축률을 이용하여 재계산, CCUS 감축은 제외

발전 부문의 초기 온실가스 배출을 최대한 억제하는 NZE는 2030년 465백만톤-CO₂eq, 2050년에는 89백만톤-CO₂eq으로 온실가스 배출이 감소한다. 2050년까지의 누적 배출량으로 NZE는 111억톤-CO₂eq으로 APS에 비해 약 18억톤-CO₂eq의 온실가스 배출이 추가로 감축된다. 추가 감축의 기여도는 산업 부문이 5.7억톤-CO₂eq으로 가장 많으며 그 뒤를 이어 수송 부문이 5억톤-CO₂eq, 발전 부문이 4.5억톤-CO₂eq을 감축한다. 발전 부문의 감축량은 2030년 이전에 집중되며, 발전 부문은 추가 감축량의 77%인 3.5억톤-CO₂eq을 이 시기까지 감축해야 탄소배출 경로가 NDC와 NZE 목표에 근접한다. NZE에서 산업 부문의 총 배출 감축은 23억톤-CO₂eq으로 약 22억톤-CO₂eq으로 예상되는 전환 부문에 비해 약간 크게 분석된다. 연간 배출량으로도 산업 부문은 2050년에 164백만톤-CO₂eq을 감축해야 하는 반면, 발전 부문은 127백만톤-CO₂eq 수준으로 분석된다. 이는 '제9차 전기본'을 비롯하여 그 동안의 온실가스 감축 노력이 발전 부문에 집중되었고 REF에 현재 진행되고 있는 저감 정책이 이미 반영된 결과이다.

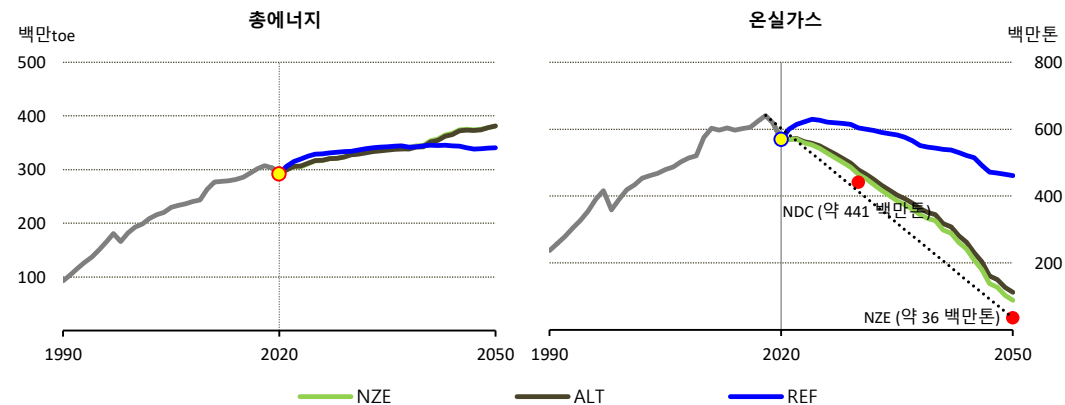
²² '2050 탄소중립 시나리오'에서는 산업 부문의 감축률을 87.5%(공정배출 제외), 전환 부문의 감축률은 100.0%로 제시하였다. 이는 2018년 기준 대비 2050년 연간 배출량의 감축률이며, 본 보고서에서 계산한 온실가스 배출 감축 기여는 기준 시나리오(REF) 대비 각 시나리오의 누적 배출 감축량으로 계산하였다.

즉, 시나리오 정의에서 규정한 것처럼, APS나 NZE는 미래의 추가적인 감축 노력으로 인한 온실가스 배출 감축량을 의미한다.

□ 탄소중립의 대안 경로

APS에서 NZE로 온실가스 배출 경로를 바꾸기 위해서는 최종소비 부문에서 2030년 이전까지 모든 부문의 전력화 수단을 최대한 동원해야 한다. 분석 결과 수송 부문의 전력화는 자동차 시장에서 충분한 가능성을 보여주고 있는 것으로 파악되지만, 온실가스 총 배출에 결정적인 영향을 미치는 산업 부문의 경우 효율 향상 기술 개발과 더불어 기존 설비를 신규 설비로 교체하는 대규모 민간 투자를 동반해야 하기 때문에 조기에 온실가스 배출을 감축하는 것이 매우 어려울 것으로 판단된다. 여기서는 앞선 시나리오 설계와 달리 ‘2030 NDC 상향안’이나 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 부문별 온실가스 감축 목표가 아니라 에너지 사용으로 인한 온실가스 총 배출량의 감축 목표를 달성하는 것을 목적으로 시나리오를 설계한다. 특히, 산업 부문이 조기 감축 보다는 감축 가속화 방식을 선택하고, 수단이 간접하고 명확한 발전 부문이 조기 감축의 부담을 담당하는 것에 중점을 두었다.²³

그림 1.23 대안경로 시나리오(ALT)의 에너지 수요와 온실가스 배출 전망



주1: REF 기준 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오, ALT 대안 시나리오

주2: NDC 및 NZE 목표 배출량은 ‘2030 상향 NDC’과 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 목표 감축률을 이용하여 재계산, CCUS 감축은 제외

대안경로 시나리오(ALT)에서 총에너지 수요는 2030년 324백만toe, 2050년에는 373백만toe로 증가하여 NZE 시나리오와 거의 비슷한 경로를 보인다. 온실가스 배출은 2030년 478백

²³ 시나리오 설계를 간단히 하기 위해 수송, 가정, 서비스 부문은 NZE, 산업 부문은 APS를 사용하고, 초기 감축이 적용되는 발전 부문은 NZE를 사용하여 시나리오 조합을 결정하였다. 각 부문의 시나리오 차이는 ‘제2장’을 참조하기 바란다.

만톤-CO₂eq, 2050년 113백만톤-CO₂eq으로 ALT가 NZE에 비해 약간 높은 것으로 분석된다. ALT의 온실가스 배출은 조기 감축을 후기 감축 가속화로 변경한 산업 부문의 온실가스 배출이 증가한 것이 원인이다. 산업 부문을 포함한 최종소비 부문의 온실가스 배출은 2030년 306백만톤-CO₂eq, 2050년 100백만톤-CO₂eq으로 2030년 285백만톤-CO₂eq, 2050년 76백만톤-CO₂eq인 NZE에 비해 약 20백만톤-CO₂eq 이상 많은 것으로 분석된다. 반면 발전 부문의 온실가스 배출은 석탄발전의 배출 억제와 함께 다소 낮은 전기 수요때문에 ALT에서 2030년 172백만톤-CO₂eq, 2050년 13백만톤-CO₂eq 수준인 것으로 전망된다. 2050년의 경우 양 시나리오 모두 발전 부문의 온실가스 배출 수단이 모두 적용되기 때문에 전기 수요와 상관없이 배출 수준이 동일한 것으로 나타난다. 다만 ALT는 시나리오 설계 목적에 따라 발전 부문의 2030년 배출이 줄어든다. 결론적으로 산업 부문의 전력화 지연을 허용함으로써 인해 2030년 온실가스 배출은 약 13백만톤-CO₂eq 증가하기 때문에, 초기 온실가스 배출 증가에 상응하여 후기 온실가스 감축의 가속화에 대한 정책적 강화와 경제주체의 노력이 필요하다.

□ 에너지 안보와 에너지시스템의 안보

앞서 APS나 NZE의 전기 수요와 발전 부문의 재생에너지 보급에서 살펴본 것처럼, 탄소중립을 향한 경로에서는 전기 수요의 빠른 증가와 재생에너지의 폭발적 확대가 필요하다. 이는 에너지 안보 측면에서 두 가지 상반된 결과를 보여준다. 전통적 에너지 안보의 개념인 에너지 공급 안정성을 살펴보면, 전기 수요의 증가와 재생에너지 보급 확대는 화석연료의 수입을 감소시킴으로써 에너지의 해외 의존도를 줄이게 된다. NZE에서 2050년 총에너지 수요는 374백만toe이며, 이 중에서 국내 생산 화석연료와 재생에너지를 제외한 에너지 수입은 146백만toe로 에너지 수입 비중은 39.1% 수준이 될 전망이다.²⁴ 2020년 에너지 수입 의존도가 92.9%인 것에 비해서 탄소중립 추진으로 인한 에너지 안보는 획기적으로 강화될 것이다.

재생에너지, 특히 변동성 재생에너지 발전의 급격한 확대는 에너지시스템의 안보라는 새로운 안보 개념을 부각시킨다. 기존에도 재생에너지 발전 확대에 의한 계통 운영의 어려움과 문제점에 대해서 다수의 연구가 국내외에서 진행되었고, 재생에너지 보급 비중이 높은 국가들은 출력제한을 중심으로 계통 안정성을 위해 변동성 재생에너지 발전에 대한 대응 방안을 마련하고 있다. 하지만, 우리나라가 국가 단일의 고립 계통망이라는 점, 변동성 재생에너지의 시간별 발전 전망이 수요 부하에 근접하는 수준이 아니라 최대 부하를 훨씬 초과하는 수준이라

²⁴ 수소 수입을 포함한 수치이다.

는 점, 재생에너지 발전 비중이라는 목표가 설정되어 있다는 점 등은 전력 계통 운영이라는 현실적 상황만이 아니라 장기 에너지 전망이라는 분석적 차원에서도 큰 어려움을 발생시킨다.

그림 1.24 전기 판매 부하와 재생에너지(태양광, 풍력) 발전 패턴 비교(3월)



전기 수요와 재생에너지 보급 확대에 의한 문제점을 조금 더 자세히 설명하면 다음과 같다. NZE의 경우 전기 판매 수요는 2020년 508.8 TWh에서 2030년 749 TWh, 2050년에는 930 TWh로 증가한다. 용도별 전기 수요 증감을 반영한 전기의 판매 부하 패턴을 분석하면, 최대 판

매부하는 2020년 87.6 GW에서 2030년 110 GW, 2050년에는 122 GW로 높아진다.²⁵ 반면 최저 판매부하는 2020년 39.5 GW에서 2030년 51 GW, 2050년에는 57 GW로 증가하여 판매 전기 기준 부하 편차는 미래로 갈수록 커질 것으로 예상된다.

NZE의 경우, 태양광, 풍력, 해양에너지를 합한 변동성 재생에너지 발전은 2020년 20.2 TWh에서 2030년 237 TWh, 2050년에는 649 TWh까지 증가한다. 변동성 재생에너지 발전이 총 발전량에서 차지하는 비중은 2030년 30%, 2050년은 67%에 이른다. 이 경우 태양광과 풍력 발전의 시간당 평균 발전의 최대는 2030년 71 GW, 2050년은 199 GW에 도달하게 된다. 특히, 3월은 태양광과 풍력 합산 최대 발전이 발생하는데 반해 전기 판매는 비교적 낮은 시기이기 때문에 변동성 재생에너지 발전의 초과 생산량이 최대를 기록할 전망이다. 2040년대 이후에는 3월만이 아니라 모든 시기에 변동성 재생에너지의 초과 발전이 발생한다. 연간 초과 발전량은 2050년 약 90 TWh로 추정되며, 이는 2050년 총 발전량 971 TWh의 약 9.3%, 변동성 재생에너지 발전량의 13.9%에 달한다.²⁶

변동성 재생에너지 발전이 낮은 수준인 경우에는 시스템 안정을 확보하기 위해 일시적으로 출력제한을 하거나 부하관리 및 터빈 발전기의 급전 변경을 통해 대응할 수 있다. 하지만 변동성 재생에너지 발전의 비중이 높아질 경우 이러한 방식으로 시스템의 안정성을 확보가 어려울 것으로 예상된다. 또한 변동성 재생에너지 발전의 초과 발전량을 전기 수요 충당에 활용한 경우가 '2030 NDC 상향안'이나 '2050 탄소중립 시나리오'의 재생에너지 발전 비중을 만족하게 된다. 따라서 변동성 재생에너지 발전의 확대는 초과 발전량에 대한 정확한 예측과 함께 초과 발전량을 수용하기 위한 대규모 에너지 저장장치의 확보가 필요하다. 물론, 기존 계획에서 고려하고 있는 가격 및 전력시장 제도 개선, 장주기 대용량 배터리 기술개발 등의 계획을 더욱 강화하고 생산의 분산화, 계통 보강, 통합 관제에 보다 관심을 기울일 필요가 있다.

□ 시나리오 분석의 의미와 한계점

탄소중립을 향한 경로는 수 많은 온실가스 감축 수단들의 조합으로 결정된다. 감축 수단들에 대한 우선 순위와 적용 정도에 따라 다양한 온실가스 배출 경로가 발생한다. 다만, 시나리오 분석은 미래 기술에 대한 현실화 가능성과 경제성을 분석하지 않는다. 정책 시나리오들은

²⁵ 판매 부하는 전력거래소의 송전단 기준 발전과 한국전력의 PPA 재생에너지 발전의 부하를 의미한다. 여기서는 자가발전을 포함한 수요 부하, 송전단 부하를 의미하는 판매 부하, 재생에너지 발전을 제외한 시스템 부하, 발전기 전체의 발전 부하를 구분하고 있다. 자세한 내용은 '제2장'을 참고하기 바란다.

²⁶ 초과 발전량은 원자력이나 필수 발전기의 발전량을 고려하지 않고 판매 부하를 초과하는 태양광 및 풍력의 발전량으로 계산했다. 따라서 실제 초과 발전량은 계산 결과보다 클 것이다.

모든 수단들이 적정 시점에 기술적으로 그리고 경제적으로 사용 가능하다는 가정 하에 정해진 수준에 도달하기 위해 택할 수 있는 여러 경로 중에 하나를 설명하는 것이다. 이러한 경로는 에너지 사용 기기의 효율이 어느 정도 향상되어야 하는지 그리고 어느 시점에 설비 투자를 통해 기존 기기 및 설비를 대체해야 되는지를 보여준다. 시나리오 분석은 정책에 대한 선호를 두지 않고 정책 중립적인 입장에서 진행되며, 정책 당국은 정책의 실현 가능성, 정책 비용, 온실가스 배출 경로에 따른 사회적 경제적 파급 효과 등을 비교하여 정책을 결정해야 한다.

모든 정책 시나리오에서 정도와 시기의 차이는 있지만 공통적인 어려움과 도전이 발생한다. 발전 부문은 재생에너지 발전 비중의 확대, 수소 기술의 개발, 전력 계통의 안정성 확보가 과제로 남을 것이다. 재생에너지 발전의 변동성으로 인한 전력 계통 안정성 문제는 이미 오래된 주제이긴 하지만, 모든 시나리오에서 변동성 재생에너지 발전의 비중이 급격하게 증가하기 때문에 변동성 재생에너지 발전의 불확실성, 교류 전원 체계의 관성 유지 및 주파수 품질 관리 등의 문제에 대해 더욱 신속하게 대응해야 한다. 또한 장기적으로 변동성 재생에너지 발전을 저장할 에너지 저장장치에 대한 설비 확보가 필요하다. 건물 부문에서 발생하는 어려움은 난방 연료의 감축과 대체이다. 기존 정책을 강화하는 수준으로는 화석 연료 중심의 난방에서 획기적으로 온실가스 배출을 감축하기 어려운 것으로 판단된다. 단열을 포함한 건축 기술과 건축 관련 규제도 강화해야 하지만, 향후 전기 난방 보일러의 허용을 비롯하여 건물 난방 부문에서 수소를 활용하는 기술 개발도 필요하다. 본 시나리오 분석에서는 탄소 포집에 대한 시나리오 오는 크게 비중을 두지 않았지만, 화석 기반 에너지의 대체가 기술적으로 어려운 경우 탄소 포집의 역할이 커질 수도 있다. 탄소 포집, 수소 경제 그리고 재생에너지 발전은 상호 유기적인 영향을 미치기 때문에 각 부문의 정책 수단들에 대한 역할과 비중에 대한 신중한 판단이 중요하다. 한편, 시나리오 분석에 따르면 모든 부문에서 탄소중립으로 가는 중간 다리 역할을 하는 수단과 기술들이 존재한다. 예를 들어 가스 발전은 탄소중립 과정에서 전기의 안정적 공급과 시스템 유지를 위한 역할이 확대되지만 정책 방향은 탄소 배출의 원천인 가스 발전의 궁극적 폐지를 향하고 있다. 이는 현실적으로 탄소중립의 과정에서 사업자들이 가스 발전의 온실가스 배출을 줄이기 위한 신규 투자를 저해하는 요인으로 작용할 것이다. 즉, 미래 기술을 기반으로 한 최종 체계로 넘어가기 전 임시적인 중간 단계에 대한 투자에 대해 경제적 보상이 충분하지 않을 경우 탄소중립의 중간 경로는 상당한 지연될 수 있다. 이는 산업이나 발전과 같은 생산 부문만이 아니라 주택의 온실가스 배출을 줄여야 하는 소비 부문에도 동일하게 적용된다.

본 보고서의 시나리오 분석은 정책과 기술에 대한 정보를 최대한 수집하여 객관적으로 미래를 전망하고자 했다. 기본적으로 과거를 기반으로 한 장기 미래 전망은 미래의 경제 주체가 정책 및 경제 환경 변화에 반응하는 탄력성을 확실히 알 수 없기 때문에 불확실하다. 하지만 장

기 전망이 갖는 기본적인 불확실성 외에도 탄소중립을 위한 시나리오에는 전망의 불확실성을 증폭시키는 요인들이 존재한다. 여러 요인 중에서 대표적인 두 가지를 거론하면, 미래 기술의 기술 특성 계수들과 수소 경제로 인한 에너지 시스템의 변화를 들 수 있다. 탄소중립의 경로는 아직 실험 내지는 이론적인 단계의 미래 기술에 상당히 의존하고 있다. 상용화를 위한 개발 단계에 있는 기술이라고 하더라도 기술의 투입-산출에 대한 특성이 넓은 범위를 갖거나 경제성을 확보하기에 미흡한 경우도 많다. 경제성을 고려하지 않는다 해도, 기술적 특성 계수의 불확실성은 결과적으로 도출되는 에너지 수요 및 온실가스 배출량의 기대치를 크게 변동시킬 수 있다. 수소 경제로의 전환은 현재 에너지 시스템을 표현하는 에너지 통계 체계의 변화를 요구한다. 아직은 국제에너지기구(IEA)를 비롯하여 어느 나라도 암모니아를 포함한 수소를 에너지 통계 체계에 포함시켜 집계하고 있지 않은 상황이다. 또한, 이미 존재하는 에너지 상품을 이용한 수소 생산은 국가 총에너지 공급의 양을 증가시키지는 않지만 수소 수요의 증가는 기존 에너지 상품에 대한 수요를 증가시켜 총에너지 공급의 양을 증가시킨다. 수소의 수입은 직접 국가 총에너지 공급을 증가시킨다. 이런 유기적인 관계는 미래 기술의 불확실성과 결합하여 장기 에너지 수급 및 온실가스 배출의 결과에 대한 불확실성을 높이게 된다. 따라서 본 보고서의 에너지 및 온실가스 배출에 대한 수치는 크기의 정확성 보다는 추세에 방향에 중점을 두고 해석할 필요가 있다.

제2장 부문별 에너지 전망

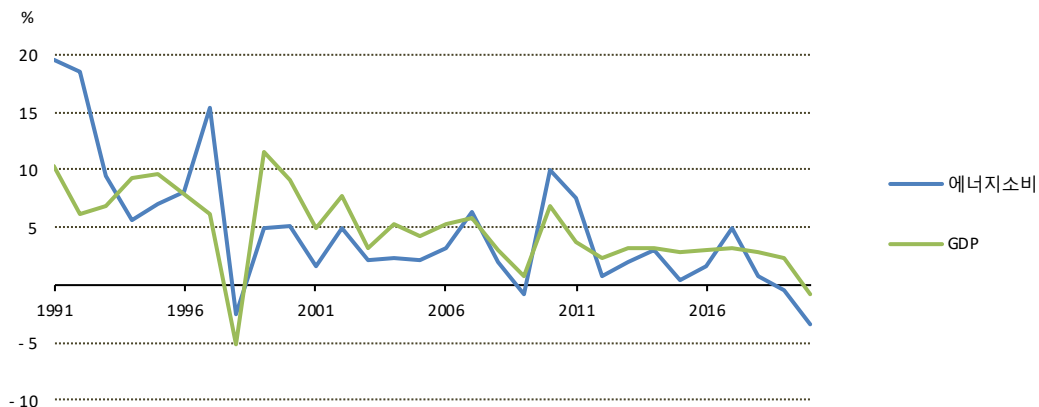
1. 산업 부문

1.1. 에너지 소비 추이 및 현황

□ 2000~2020년 기간 산업 부문 에너지 소비는 연평균 2.5% 성장하여 137.4백만toe에 도달

과거 20년 산업 부문 에너지 소비 증가의 가장 큰 동력은 경제성장이었다. 2000~2020년 기간 GDP는 연평균 3.6% 증가하였고, 제조업 부가가치는 연평균 3.3% 증가하였다. 우리 경제가 고도 성장을 하던 1990년대 7.1%의 연평균 경제성장률과 비교하면 성장 속도가 절반 수준으로 떨어졌지만 다른 선진국들과 비교할 때 2000년 이후 3% 중반의 경제성장률은 여전히 높은 수치라 할 수 있다.

그림 2.1 1991~2020년 경제성장률 및 산업 부문 에너지 소비 증가율



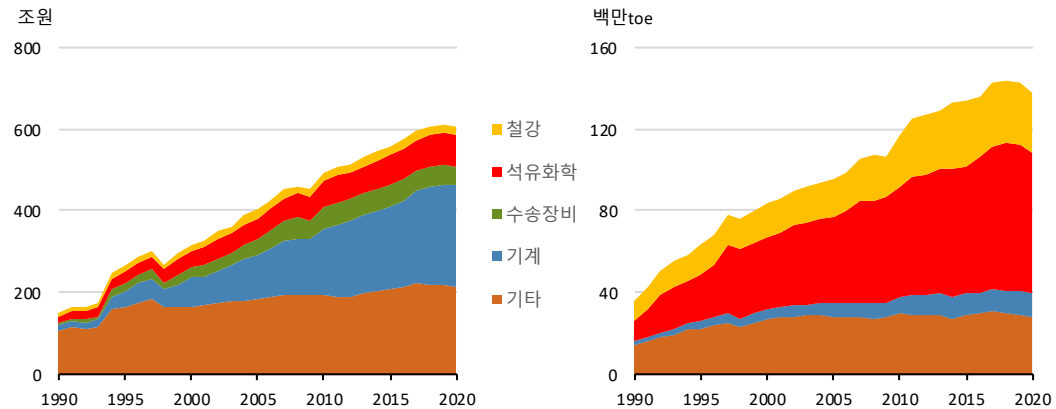
이처럼 비교적 빠른 경제성장에 힘입어 산업 부문 에너지 소비도 양호하게 증가해왔으나 그 증가 속도는 점차 둔화되고 있다. 에너지 소비 증가 속도가 둔화되는 가장 큰 원인 역시 경제성장 속도의 둔화이나, 에너지 소비 증가율은 경제성장률보다 더 빠르게 하락하고 있다. 경제성장률은 1990년대, 2000년대, 2010년대 각각 연평균 7.1%, 4.7%, 3.6%로 둔화되었으나, 산업 부문 에너지 소비 증가율은 각각 연평균 8.9%, 3.3%, 2.5%로 더 가파르게 하락했다. 눈에 띄는 점은 1990년대에는 산업 부문 에너지 소비 증가율이 GDP 증가율보다 높았으나, 2000년대 이후 증가율의 크기가 역전되었다는 점이다.

이러한 변화는 산업 구조 변화 때문이다. 우선 GDP 내에서 서비스업의 비중이 확대되며 제조업의 비중이 축소되었다. 또한, 제조업 내에서도 대표적 에너지 다소비 업종인 철강이나

석유화학과 같은 업종에 비해, 상대적으로 에너지 소비 집약도가 낮은 기계류나 수송장비의 부가가치 비중이 빠르게 확대되었다.

이러한 산업 구조 변화로 에너지 소비에 있어서도 가장 빠른 증가율을 보인 업종은 기계류와 수송장비를 포함하는 조립금속이다. 조립금속의 에너지 소비는 반도체와 영상기기, 휴대전화 제조 등의 빠른 확대에 힘입어 2000~2020년 연평균 4.1% 증가했다. 그러나 그림 2.2에서 볼 수 있듯이 조립금속이 산업 부문 에너지 소비에서 차지하는 비중은 그리 크지 않다. 반면, 조립금속에 비해 에너지 소비 증가 속도는 상대적으로 느리지만, 소비 비중이 큰 철강과 석유화학이 2000년 이후 산업 부문 에너지 소비 증가를 주도한 것을 알 수 있다. 2000~2020년 철강과 석유화학의 에너지 소비는 각각 연평균 2.9%, 3.3% 증가했다. 철강의 경우, 현대제철의 설비 증설이 주요한 에너지 소비 증가요인으로 작용했다. 전기로 업체였던 현대제철은 2010년부터 2013년에 걸쳐 연산 400만 톤 규모의 고로3기를 신규 가동했다. 이에 따라 2010년과 2011년, 2014년의 원료탄 소비가 각각 31.2%, 16.7%, 17.3% 증가하여 최근 철강업 에너지 소비 증가를 주도했다. 석유화학은 2014년부터 시작된 국제 유가 급락으로 호황을 누리며 설비 투자가 빠르게 확대되고 에너지 소비 증가세도 더욱 빨라졌다.

그림 2.2 1990~2020년 업종별 부가가치(좌) 및 에너지 소비(우) 추이



주: 우측의 에너지 소비에서 기계 업종은 수송장비 업종을 포함한다. 기타는 석유화학, 철강, 조립금속(수송장비, 기계)을 제외한 나머지 업종의 합이다.

산업 부문 에너지 소비를 에너지 상품별로 살펴보면 다음과 같다. 소비 비중이 가장 높은 에너지 상품은 석유이다. 1990년이나 2000년 기준으로는 석유의 소비 비중이 55.7%, 57.6%로 절반을 훌쩍 넘는다. 2020년 기준으로는 석유의 비중이 다소 낮아졌지만 여전히 48.3%로 절반 정도를 차지하고 있다. 이처럼 석유의 비중이 높게 나타나는 것은 석유화학의 원료용 납사가 포함되었기 때문이다. 석유화학용 납사는 에너지원으로 사용되는 것이 아니라 석유화학 제

품의 원료로 사용되는 것이기 때문에 에너지 소비의 관점에서 연료 변화를 살피기 위해서는 이를 제외하고 살펴볼 필요가 있다. 납사를 제외하고 산업 부문 에너지원별 소비 비중 변화를 살펴보면 석유의 감소세는 상당히 뚜렷하다. 1990년 46.8%에 달했던 석유의 비중이 2000년 35.2%로 줄었고, 2020년에는 19.0%까지 축소되었다. 이는 연료용 석유제품 중 B-C유가 상당 부분을 차지하고 있었는데, 환경적인 이유와 설비 관리 문제²⁷ 등으로 최근 B-C유 소비가 급속히 줄었기 때문이다.

그림 2.3 원료용을 포함한 경우(좌)와 제외한 경우(우) 산업 부문 에너지 상품별 소비 비중

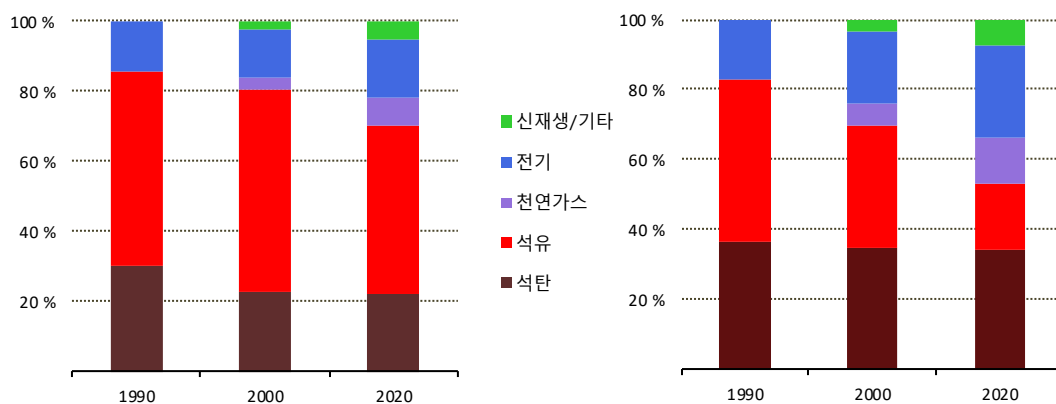


그림 2.3의 우측 그래프를 보면 석유를 대체한 것은 전기와 가스, 재생에너지로 나타난다. 전기, 천연가스, 재생에너지의 소비 비중은 1990년 각각 17.0%, 0.0%, 0.0%에서 2000년에 각각 20.6%, 6.0%, 3.5%, 2020년에는 각각 26.3%, 13.0%, 7.1%까지 확대되었다. 산업 전반적으로 꾸준히 전력화가 진행되는 가운데, 반도체, 통신장비, 조선, 자동차 등 조립금속 업종이 수출주력 업종으로 빠르게 성장하며 전기 소비 비중이 높아졌다. 또한, 가스가 석유제품 대비 청정 에너지원으로 각광받으며 가스 소비가 확대되었으며, 재생에너지 비중도 정부의 보급정책에 힘입어 상승했다. 석탄의 경우, 연료용 소비는 꾸준히 다른 에너지 상품으로 대체되고 있으나 소비 비중이 높고 대체가 어려운 철강업의 원료탄²⁸ 소비가 늘어 산업 부문 내의 석탄 소비 비중이 크게 줄어들지 않고 있다.

²⁷ B-C유는 저급 석유제품으로 연소시 황산화물, 질소산화물, 미세먼지 등 다량의 대기오염물질을 배출하며, 연료의 응고 방지와 연소 장치에 그을음을 제거하기 위한 추가적 장치가 필요하다는 단점이 있다.

²⁸ 철강의 원료용 유연탄은 코크스 제조에 사용되지만, 코크스 제조 및 사용 과정에서 발생하는 부생가스를 회수하여 연료로 사용하고 또한 자체가 일부 열원으로 이용되기 때문에 에너지 사용으로 포함한다.

최근 산업 부문 에너지 소비 동향을 서술함에 있어 빼놓을 수 없는 것은 코로나19의 영향이다. 산업 부문에서는 에너지 소비가 코로나19에 직접적으로 영향을 받은 부분보다는 코로나19로 인해 국내외 경기가 둔화되고 이로 인해 생산활동이 위축되며 에너지 소비가 줄어드는 영향이 크다. 이에 대해서는 아래 **글상자 2.1**에서 좀더 자세히 살펴본다.

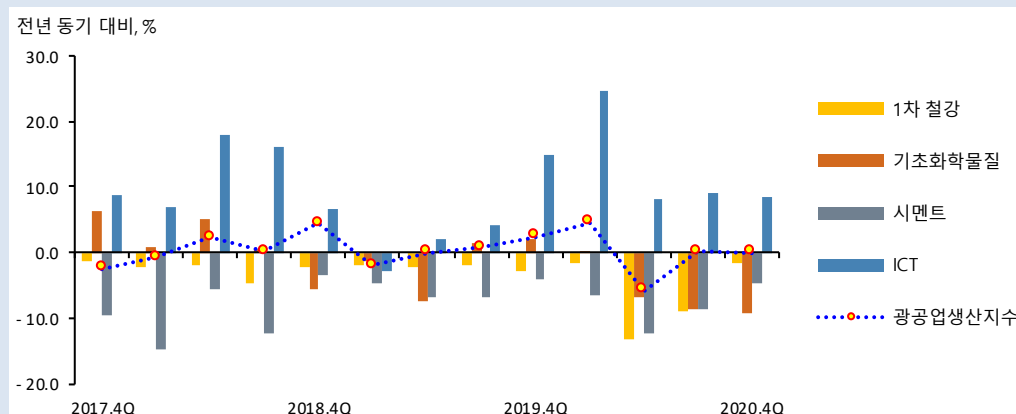
글상자 2.1 코로나19가 산업 부문 에너지 소비에 미친 영향

2019년 말 중국에서 발생해 2020년 초부터 우리나라를 비롯해 전 세계로 퍼져나간 코로나19 바이러스는 직간접적으로 2020년 산업 부문 에너지 소비에 영향을 미쳤다. 직접적 영향은 산업 현장에서 코로나19 환자 발생 등으로 생산활동이 중단되고 이로 말미암아 산업 부문 에너지 소비가 감소한 부분이다. 그러나 이러한 직접적 영향은 그리 크지 않은 것으로 판단된다. 왜냐하면 산업체에서 확진자가 발생한 경우, 공장 가동 중단 기간이 대부분 1~3일에 불과했기 때문이다.

반면 코로나19가 산업 부문 에너지 소비에 미친 영향은 간접적 영향이 더 큰 것으로 판단된다. 간접적 영향이란 전 세계적인 코로나19 확산으로 인해 국내외 경기가 둔화되고 내수 및 수출이 감소하여 국내 생산활동이 위축됨에 따라 발생하는 에너지 소비 감소 부분을 말한다. 국내에서는 2020년 2~3월 코로나19 바이러스가 확산되기 시작했고 미국과 유럽을 비롯한 전 세계적으로는 4~6월 본격적 확산이 시작되었다. 전 세계적 확산이 본격화됨에 따라 4~6월에는 수출이 각각 25.6%, 23.7%, 10.9% 감소하였고 2020년 연간으로도 수출이 5.0% 감소하는 등으로 인해 국내 생산활동은 크게 위축되었다.

주요 업종별 경기를 살펴보면 반도체 생산지수는 2020년에도 22.6%의 높은 상승률을 기록했으나, 나머지 대부분의 업종에서 생산지수가 크게 하락했으며 특히 에너지다소비 업종인 석유정제, 기초화학, 1차금속의 생산지수가 각각 6.3%, 6.0%, 6.3% 하락했다. 이에 따라 반도체 등을 포함하는 조립금속의 에너지 소비는 0.1% 감소로 전년 수준을 유지한 반면, 정유와 기초화학을 포함하는 석유화학과 1차금속의 소비는 각각 4.1% 감소했다. 특히, 단일 에너지 상품으로는 소비 비중이 가장 큰 납사와 원료탄이 각각 7.6%, 3.3% 감소하여 산업 부문 에너지 소비 감소를 주도했다.

그림 2.4 주요 업종의 분기별 생산지수 변화 추이



에너지 효율 지표로 사용되는 에너지원단위는 2000~2020년 기간 연평균 0.8% 개선되었다. 이는 산업 부문 부가가치가 같은 기간 연평균 3.3% 증가한데 반해, 에너지 소비는 연평균 2.5% 증가에 그쳤기 때문이다. 현대제철 당진 일관제철소 가동 및 포스코 설비 용량 확대가 진행된 2010년대 초반은 에너지원단위가 악화되기도 했으나, 이후 반도체 및 통신장비 등 첨단 산업이 성장을 이끌면서 에너지원단위가 지속적으로 개선되었다. 석유화학에서 원료용으로 사용되는 납사를 제외하면 2000~2020년 기간 에너지원단위는 연평균 0.9%로 좀더 빠르게 개선된 것으로 나타난다. 또한, 2019년과 2020년 GDP 대비 에너지 소비가 빠르게 감소한 것도 원단위 개선에 영향을 미쳤다. 2019년에는 산업 생산활동이 둔화되긴 했으나 GDP는 2.2% 성장한 반면 기온효과 등으로 에너지 소비는 소폭 감소했고, 2020년에는 코로나19의 영향으로 GDP는 0.9% 감소했으나 산업 부문 에너지 소비는 훨씬 더 큰 폭으로 감소하였다. 이러한 영향으로 에너지원단위가 2019년과 2020년에 각각 3% 이상 개선되었다.

1.2. 에너지 수요 전망

□ 산업 부문 에너지 수요는 연평균 0.6% 증가하여 2050년에는 162.6백만toe에 도달

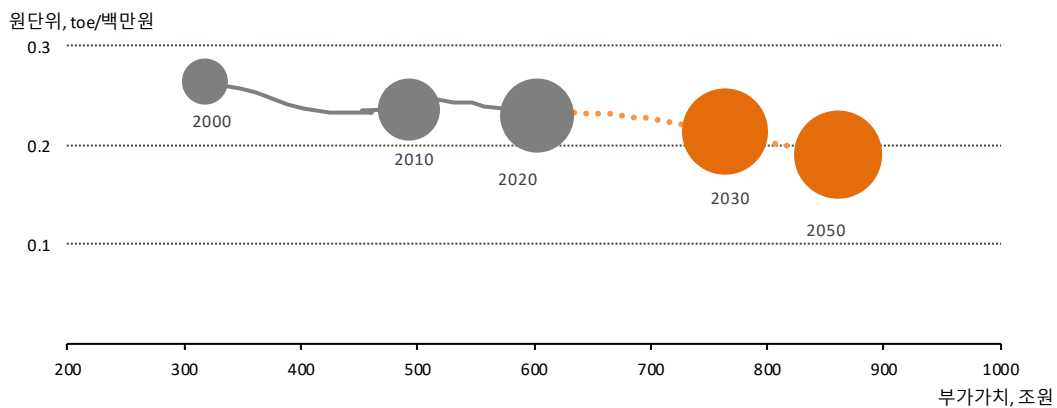
기준 시나리오(REF)에서 산업 부문 에너지 수요는 증가속도가 꾸준히 둔화되긴 하나 2040년대 중반까지는 지속적으로 성장하여 163.4백만toe까지 도달할 것으로 보인다. 이후 에너지 수요는 아주 천천히 감소하며 2050년에도 정점과 큰 차이가 없는 162.6백만toe 수준에 머무를 전망이다. 산업 부문 에너지 수요의 증가세가 둔화되는 가장 큰 원인 중의 하나는 경제 성장 속도의 둔화이다. 그러나 이 외에도 서비스업 중심의 산업구조 변화, 그리고 에너지 효율 향상 등도 주요 원인으로 작용할 것으로 보인다. 제조업의 부가가치는 2020년 605.0조 원에서 2050년 861.4조 원으로 연평균 1.2% 성장하겠으나, 제조 공정의 에너지 효율 개선과 에너지저소비 업종 중심으로의 산업 구조 전환, 각 산업 내에서 꾸준히 진행되고 있는 고부가가치화로 인해 에너지 수요 증가율은 부가가치 증가율보다 낮을 것으로 예상된다.

부가가치의 증가는 생산량의 증가를 수반하고 이에 따라 에너지 소비도 증가하지만 고부가가치화로 인한 부가가치 증가는 업종에 따라 에너지 수요 증가에 다른 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 철강업에서의 고부가가치화는 전기로강 생산이 점차 줄어들고 전로강 생산이 확대되는 방향으로 진행되며, 철강제품의 후처리 작업이 늘어나면서 에너지원단위는 악화될 수 있다.²⁹ 반면, 섬유/가죽 업종의 경우 원자재 생산 중심에서 패션 의류 생산으로 그 축이 이동하

²⁹ 고철을 재활용하는 전기로강은 불순물 함량이 높아 주로 철근, 형강 같은 부가가치가 낮은 제품을 만드는데 사용되는 반면, 철광석을 이용하여 만드는 전로강은 상대적으로 불순물 함량이 낮아 자동차나 전자제품의 외장재 등으로 사용되는 냉연강판 같은 고부가가치

고 에너지 소비가 많은 연색 업종이 인건비 및 엄격한 환경 규제 등으로 해외로 공장 이전을 많이 하면서 부가가치 증가에도 불구하고 에너지 소비는 오히려 감소하였으며, 이러한 추세는 전망 기간에도 지속될 것으로 보인다. 또한, 자동차제조업의 경우, 전기자동차 및 수소자동차 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.

그림 2.5 **전망 기간 에너지원단위, 부가가치, 에너지 수요 변화**



주: 연도별 원의 크기는 에너지 수요의 크기를 의미

정책계획 시나리오(APS)와 탄소중립 시나리오(NZE)의 2050년 에너지 수요는 각각 122백만toe와 121백만toe로, REF 대비 각각 25.0%, 25.5% 낮은 수준으로 전망된다. 이는 산업 부문 전반적으로 2050 탄소중립을 위해 에너지 효율 개선 정책이 가속화되고 철강업, 석유정제 및 화학업, 시멘트제조업 등 온실가스 다배출 업종을 중심으로 각 업종에 특화된 에너지 소비 저감 및 연료/원료 대체 기술 등이 적용되기 때문이다.

글상자 2.2 산업 부문의 시나리오 설정

산업 부문은 기준 시나리오(REF) 외에 정책계획 시나리오(APS)와 탄소중립 시나리오(NZE)를 분석한다. 산업 부문은 다른 부문에 비해 업종별 미래 기술이 다양하게 고려하고 있다. 예를 들어, 철강업에서는 2040년 이후 석탄 사용을 획기적으로 줄일 수 있는 수소환원제철 기술이 본격적으로 도입되고, 석유화학업에서는 기초유분 생산 원료로 납사 대신 폐플라스틱을 재활용하는 기술이 2030년 이후

제품을 만드는데 사용된다. 같은 양의 조강 생산을 위한 에너지 소비량을 비교하면 전로강 대 전기로강의 비율이 100 대 38 정도로 전로강의 에너지 소비량이 압도적으로 높기 때문에 (이원식, 2004) 전로강 비중의 확대는 에너지원단위 악화의 원인으로 작용한다

상용화된다고 가정한다. 이와 같이 미래 기술 적용 여부가 REF 대비 APS나 NZE의 전망 결과 차이로 직결되므로, 각 시나리오별로 어떤 미래 기술이 적용되는지에 대한 정보는 산업 부문 정책 시나리오를 이해하는데 필수적인 정보이다. 표 2.1은 산업 부문 시나리오에 적용된 주요 기술을 보여주고 있다. 또한, APS와 NZE에서는 R&D 및 설비 투자가 확대되어 기술 개발과 설비 교체 속도가 빨라져 REF 대비 효율이 더 빠르게 개선되는 것으로 가정하고 있다.

표 2.1 산업 부문 시나리오별 적용 기술

업 종	시나리오		
	REF	APS	NZE
철강	- 2050년까지 기존 석탄 기반 일관제철방식 사용 - 고로에 투입되는 철스크랩량 소폭 증가	- 2040년부터 수소환원제철 도입, 2050년에 100%* - 2030년까지 고로 투입 철스크랩량 확대* - 2030년까지 전기로 효율 250kWh/ton 으로 향상(현재 380~400kWh/ton)*	- 2040년부터 수소환원제철 도입, 2050년에 100%* - 2030년까지 고로 투입 철스크랩량 확대* - 2030년까지 전기로 효율 250kWh/ton 으로 향상(현재 380~400kWh/ton)*
석유화학	- 2050년까지 기존 석유화학 설비 사용 - 2030년 이후 폐플라스틱 원료 일부 사용	- 2020년대 중반부터 폐플라스틱 원료 확대(NDC 상향안에서는 2030년 18%, 탄소중립 전략에서는 2050년에 37% 목표)*	- 2020년대 중반부터 폐플라스틱 원료 확대(NDC 상향안에서는 2030년 18%, 탄소중립 전략에서는 2050년에 37% 목표)*
비금속	- 시멘트제조 킬른 연료에서 현 20% 수준인 폐합성수지 비율을 2050년까지 30%로 확대	- 시멘트제조 킬른 연료에서 현 20% 수준인 폐합성수지 비율을 2050년까지 60%로 확대하고 나머지는 수소연료로 충당**	- 시멘트제조 킬른 연료에서 현 20% 수준인 폐합성수지 비율을 2050년까지 60%로 확대하고 나머지는 수소연료로 충당**
산업 공통		- REF 대비 전력화 가속화 - REF 대비 R&D 투자 확대를 통해 신기술 효율 개선 속도 향상*** - REF 대비 설비투자 확대를 통해 설비교체 주기 단축으로 전반적 효율 개선***	- 전력화 속도가 2030년까지 APS 보다 더 빠르게 진행 - 전반적 효율 개선 속도 APS 대비 추가적 향상 - APS 대비 신재생에너지 비중 빠르게 확대 - 2040년부터 가열용 열원으로 수소 사용

* 탄소중립 산업-에너지 R&D 전략 (산업통상자원부, 2021), ** 2050 탄소중립 시나리오 (2050 탄소중립위원회, 2021b),

*** 에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, 2021)

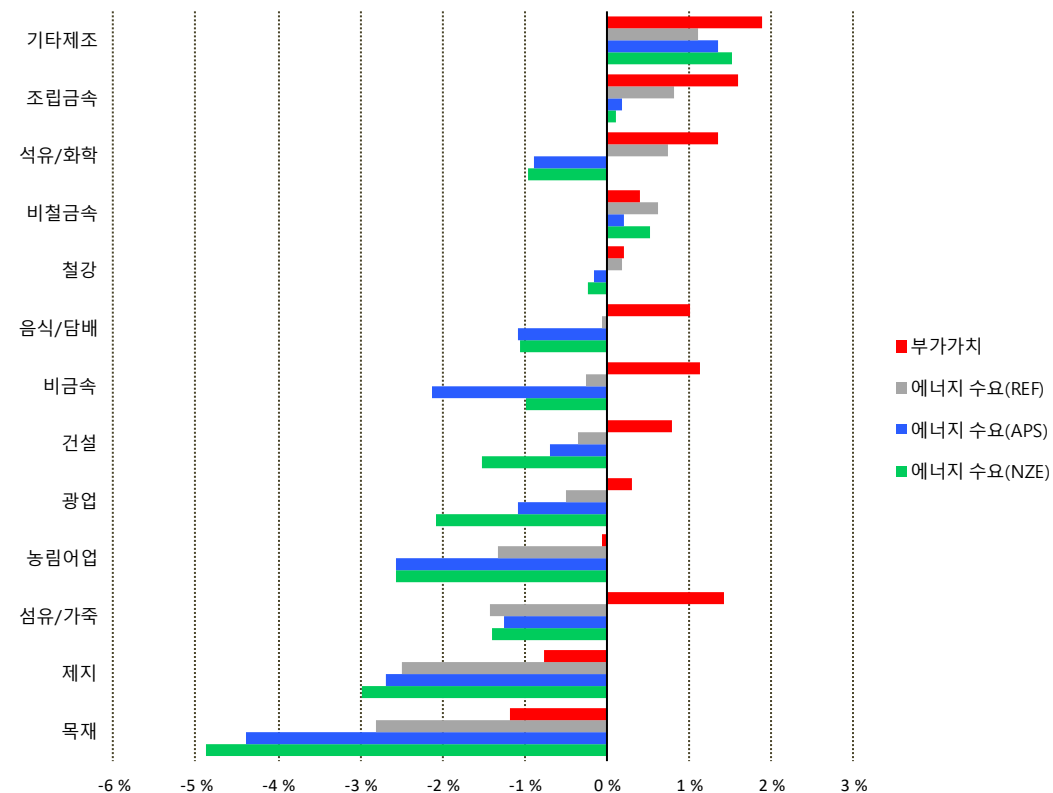
주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

한편, 전 부문에 공통적으로 적용된 정책은 탄소세이다. REF에서는 2050년까지 탄소세 부과가 없는 것으로 가정하였다. 반면, APS 2050년 기준 톤당 5만원, NZE에서는 6만원 수준으로 탄소세가 부과된다. 산업 부문에서 탄소세는 화석연료 사용 비용을 높여, 생산자의 연료 선택에 영향을 미치게 된다.

□ 조립금속의 에너지 수요가 가장 빠르게 증가하나 증가 기여도가 가장 큰 것은 석유화학 업종³⁰

업종별 전망 결과를 보면 에너지 수요가 가장 빠르게 증가하는 업종은 조립금속이다. 향후 인공지능을 활용한 생산 공정의 자동화, 자율주행 자동차, 사물인터넷, 음성인식 서비스 등 생산과 생활에서 새로운 전자기기의 수요가 커지면서 전기전자, 반도체, 통신기기 등은 빠르게 성장할 것으로 보인다. 이에 따라 이러한 업종을 모두 포괄하는 조립금속 업종의 에너지 수요도 빠르게 증가하고 산업 부문 에너지 수요 증가에 미치는 기여도는 더욱 커질 것으로 기대된다.

그림 2.6 2020~2050년 업종별 부가가치 및 에너지 수요 연평균 증가율



주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

³⁰ 여기서는 REF를 중심으로 서술한다. 시나리오 명시가 없는 경우 REF의 내용이며, 정책 시나리오의 내용에 대해서는 APS나 NZE를 명시하여 설명한다.

다만, 산업 전반의 에너지 효율 향상과 산업 구조 변화는 조립금속 업종에서도 부가가치 증가 속도 대비 에너지 수요 증가 속도 둔화에 영향을 미칠 것으로 보인다. 특히, 조립금속에서 큰 비중을 차지하는 자동차 산업의 구조 변화는 에너지 수요 측면에서 미치는 영향이 클 것으로 예상된다. 국내 자동차 업계가 기존 내연기관 자동차 생산에서 전기차와 수소차 등 친환경 자동차 생산으로 무게 중심을 옮겨갈 경우, 자동차 산업의 부가가치는 향상되나 에너지 소비는 크게 감소할 것으로 보인다. 내연기관 자동차의 경우, 자동차 생산 공정에서 엔진과 변속장치 제조 공정이 상당한 비중을 차지하며, 이 공정에서 에너지 소비 집약도 또한 높다. 그러나 전기차 및 수소차에는 엔진과 변속기가 필요 없으므로 생산 공정의 에너지 소비는 대폭 축소될 전망이다. 이와 같은 자동차 산업의 이러한 구조 변화와 이에 따른 에너지 수요 감소는 조립금속 전체의 에너지 수요 둔화에 큰 영향을 미칠 것으로 보인다.

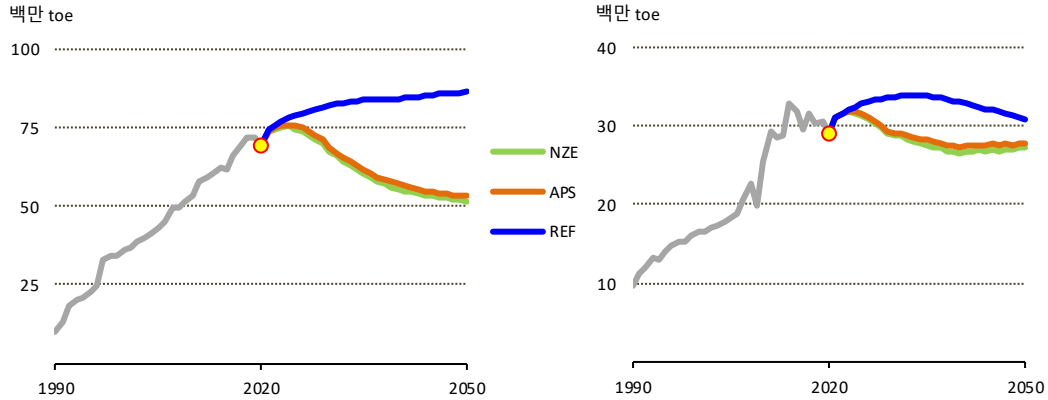
석유정제 및 화학업은 전망 기간 에너지 수요 증가율이 조립금속보다 낮지만 에너지 수요 증가 기여 측면에서는 다른 업종을 압도한다. 산업 부문 에너지 수요는 전망 기간 24.6백만toe 정도 증가할 것으로 예상되는데, 이 중 69.3%에 해당하는 17.1백만toe가 석유정제 및 화학업에서 증가할 것으로 전망된다. 특히, 석유화학 원료로 사용되는 납사가 전망 기간 8.9백만toe 증가할 것으로 예상되는데, 이는 석유정제 및 화학업 에너지 수요 증가의 52.3%, 산업 부문 전체 에너지 수요 증가의 36.2%에 해당하는 양이다. 석유정제 및 화학업에서도 고부가가치화로 인한 에너지 수요 증가세 둔화는 나타날 것으로 보인다. 최근 석유정제에서는 정제과정에서 나오는 B-C유나 잔사유 등 저품질 석유제품을 부가가치가 높은 고품질 석유제품으로 전환하거나³¹ 석유화학의 원료로 사용하는 고도화 공정(upgrading process)이 활발하게 도입되고 있다. 전망 기간에도 이러한 추세는 지속되면서 부가가치 증가율에 비해 에너지 소비 증가율은 낮은 수준에 머물 것으로 예상된다.

석유정제 및 화학업의 경우, 다른 업종에 비해 APS와 NZE의 결과가 REF와는 큰 차이를 보인다. 이는 소비 비중이 가장 큰 석유화학 원료의 변화때문인데, APS와 NZE에서는 전망 기간 온실가스 배출 저감을 위한 노력의 일환으로 폐합성수지 원료의 비중이 빠르게 확대된다. 결과적으로, APS와 NZE에서 납사 수요는 전망 기간 각각 15.0백만toe 감소하고 에너지 수요는 각각 16.0백만toe, 17.4백만toe 감소할 것으로 전망된다.³²

³¹ B-C유는 저렴한 가격과 높은 열량 때문에 산업 또는 선박 연료로 주로 사용되었으나, 최근 국내 대기오염저감 정책 강화와 IMO 2020 등 국제적인 규제 조치로 수요가 급감하면서 정유사들이 중유를 경질 석유제품 또는 석유화학 원료로 전환하는 고도화 공정 투자를 증가시키고 있다.

³² 비에너지인 납사를 대체하는 폐합성수지는 에너지 소비량에 포함시키지 않는다.

그림 2.7 석유정제 및 화학(좌)과 철강(우)의 시나리오별 에너지 수요 전망



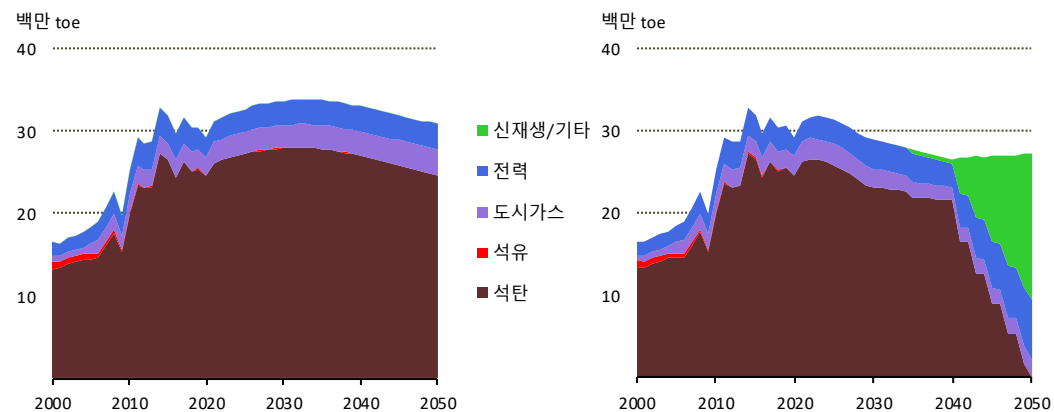
주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

철강업은 전망 기간 부가가치가 연평균 0.3% 증가에 그치고, 이에 따라 에너지 수요도 0.2% 증가로 미미할 것으로 보인다. 최근 국내 철강 경기는 세계적인 공급 과잉, 국내 철강 수요 산업의 부진, 각국의 철강 수입규제 강화 등으로 부진한 상황이다. 전망 기간에도 이러한 상황은 크게 바뀌기 힘들 것으로 보이며 이에 따라 에너지 수요 또한 정체될 것으로 보인다. 국내 철강 업계에서는 경쟁력 강화를 위해 제품의 고급화 전략으로 전로강 생산을 늘리는 반면 전기로강 생산을 꾸준히 줄여왔는데, 최근 연이어 발표되고 있는 탄소중립 정책으로 인해 생산 과정에서 이산화탄소 배출이 많은 전로강 비중을 지속적으로 높이는 것은 부담스러운 상황이다. 따라서 전망 기간 전체 조강 생산량에서 전로강이 차지하는 비중은 현재의 70% 초반 수준을 유지할 것으로 보인다.

석유정제 및 화학업과 같이 철강업의 경우도 다른 업종에 비해 APS와 NZE의 결과가 REF와 큰 차이를 보이는데, 이는 두 정책 시나리오에서 적용된 철강업 신기술의 영향이다. 철강업의 APS와 NZE에서는 대표적 신기술 세 가지가 적용된다. 첫째는, 전기로의 효율을 대폭 상승시키는 초고속 전기로 기술이며, 두 번째는 전로에 투입되는 철스크랩 비율을 높이는 상저취 전로 활용 스크랩 다량 사용 기술, 세 번째는 온실가스를 획기적으로 저감할 수 있는 수소환원 제철 기술이다. 전망 초기에 큰 영향을 미치는 것은 상저취 전로 활용 스크랩 다량 사용 기술이다. 고로(furnace)에서 생산된 선철은 전로에 투입되어 전로강으로 만들어지는데, 이때 철스크랩이 일부 함께 투입된다. 현재 투입되는 철스크랩의 비율은 15% 정도이나 2030년 목표는 30% 수준이며, 철스크랩 비율이 늘어날수록 선철 비중은 줄어들고 선철 생산을 위한 원료탄 비중 또한 줄어 에너지 수요 및 온실가스 배출이 감소하게 된다. 2040년에 접어들며 큰 영향을 미치는 기술은 수소환원제철 기술이다. 이는 코크스를 환원제로 사용하는 기존 고로 방식을 대체

하는 기술로, 수소를 환원제로 사용하며 기존 일관제철소의 코크스로, 고로, 전로 공정을 유동 환원로와 전기로로 대체한다. 수소환원제철 기술로 APS와 NZE에서 철강업 석탄 수요는 2040년부터 급감하게 되며 대신 수소 수요가 급격히 늘어날 전망이다. 또한, 수소환원제철은 유동 환원로와 전기로의 열원으로 전기를 사용하기 때문에 2040년 이후 철강업의 전기 수요 또한 폭발적으로 증가할 것으로 보이는데, 전기로 효율을 대폭 향상시키는 초고속 전기로 기술은 2040년대 전기 수요 증가를 다소 억제하는 역할을 할 것으로 기대된다.

그림 2.8 REF(좌)와 NZE(우)의 철강업 에너지 상품별 수요 추이 비교



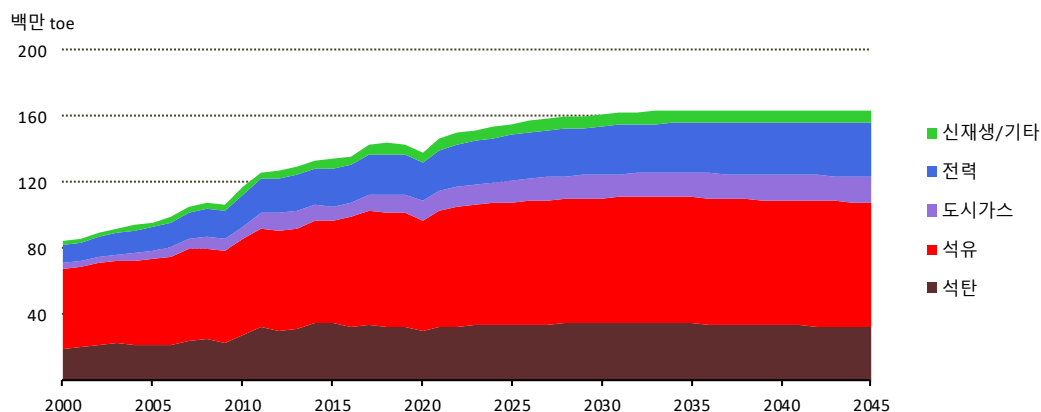
비금속 업종 중 에너지 소비와 온실가스 배출이 많은 업종은 시멘트제조업이다. 시멘트제조 공정에서 에너지소비 집약도가 가장 높은 공정은 클링커를 생산하는 소성 공정이다. 소성 공정은 석탄과 폐기물 연료를 사용하고 있는데, REF에서는 현재 20% 초반 수준인 폐기물 연료 비중이 30% 정도까지 확대되고 나머지는 석탄으로, APS와 NZE에서는 폐기물 연료 비중이 60% 수준까지 상승하고 나머지 40%는 수소로 충당하는 것으로 가정한다. 전망 기간 비금속 업종 중 부가가치가 낮은 시멘트제조업의 비중은 점차 하락하고 반대로 부가가치는 높고 상대적으로 에너지 소비가 적은 유리 및 요업 등의 생산은 증가하는 것으로 전망된다. 이에 따라 비금속 업종 전체로는 부가가치는 증가하지만 에너지 수요는 감소할 것으로 예상된다.

□ 전기와 석유가 산업 부문 에너지 수요 증가를 주도

전기 소비 비중이 높은 조립금속 업종이 빠르게 증가하면서 전기 수요가 전망 기간 연평균 1.1% 증가할 것으로 전망된다. 전망 기간 전기의 총 증가량은 9.1백만toe 수준이다. 2020년 기준 산업 부문 전체 에너지 소비 중 조립금속이 차지하는 비중은 8.2%에 불과하지만 조립금속 에너지 소비 중 전기의 비중은 80.4%에 달하며, 조립금속의 전기 소비는 산업 부문 전체 전

기 소비의 39.5%를 차지한다. 또한, 전망 기간 꾸준히 진행될 전력화도 전기 수요의 빠른 증가에 기여할 것으로 보인다. 한동안 정체되어온 산업 부문의 전력화는 전망 기간 기후변화에 대한 위기가 고조되며 화석연료를 줄이려는 노력의 일환으로 다시 가속화될 것으로 보인다. 이에 따라 2020년 16.7% 수준인 전기 소비 비중은 2050년 19.8%까지 확대될 것으로 예상된다. 물론, 이런 경향은 APS와 NZE 등 정책 시나리오에서 훨씬 강하게 나타나는데, APS와 NZE에서 전기가 산업 부문 전체 에너지 소비에서 차지하는 비중은 2050년 각각 31.0%, 30.2%까지 확대될 것으로 전망된다.

그림 2.9 2000~2050년 산업 부문 에너지 상품별 수요 추이 및 전망

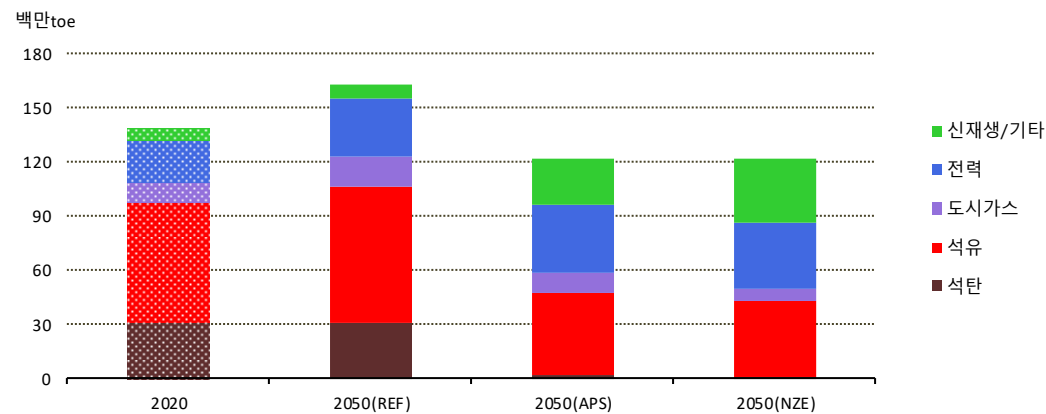


산업 부문 에너지 소비 증가에 대한 기여도가 두 번째로 높은 에너지 상품은 석유이다. 석유는 전망 기간 연평균 0.4%로 비교적 느리게 증가하지만, 소비 비중이 워낙 커 전망 기간 증가량은 9.0백만toe에 달할 것으로 전망된다. 연료용의 경우, 전기, 가스, 재생에너지 등 다른 에너지 상품으로 꾸준히 대체되며 감소하나, 납사와 LPG같은 석유화학 원료용 수요가 꾸준히 증가하며 석유 수요 증가를 견인할 것으로 보인다. 전기는 APS와 NZE에서 소비 비중이 확대되지만 석유는 반대로 소비 비중이 대폭 축소된다. 이는 석유화학 원료용 납사가 상당 부분 폐합성 수지로 대체되며 감소하기 때문이다. 2050년 기준 석유가 전체 산업 부문 에너지 소비에서 차지하는 비중은 REF에서 46.4%이나 APS와 NZE에서는 각각 36.8%, 34.6%까지 떨어지는 것으로 전망된다.

가스는 천연가스의 도입가격에서 아시아 프리미엄이 점차 소멸되며 석유제품 대비 가격 경쟁력이 제고되고 미세먼지 대응을 위한 정책적 지원에 힘입어 산업 부문 열 공급원의 역할이 확대될 것으로 전망된다. 가스 수요는 2020년에서 2050년 사이 연평균 1.2% 증가하여 과거 대비 증가율이 크게 둔화하지만 오염물질 저배출 연료라는 장점과 가격 경쟁력 확보에 힘입어

다른 에너지원 대비 빠르게 증가할 것으로 예상된다. 그러나 상대적으로 친환경 에너지로 분류되는 가스도 온실가스 감축 노력이 강화되면서 감축 대상이 된다. 따라서 2050년 기준 APS에서는 가스 수요가 현재 수준에 머물 것으로 보이고 NZE에서는 현재의 절반 수준으로 감소할 것으로 보인다.

그림 2.10 시나리오별 2050년 산업 부문 에너지 상품 수요



석탄의 경우, 철강업의 소비가 정체됨에 따라 2050년에도 현재와 비슷한 소비 수준에 머물 것으로 보인다. 현재 산업 부문 석탄 소비량은 30.3백만toe 수준인데, 2050년에도 30.5백만toe로 거의 비슷한 수준으로 전망된다. 그러나 비중의 관점에서 보면, 2020년에는 산업 부문 전체 에너지 소비에서 차지하는 비중이 21.9%이나, 2050년에는 전체 에너지 수요가 증가함에 따라 석탄의 소비 비중이 18.7%로 하락하는 것으로 나타난다. 정책 시나리오에서 가장 극적인 변화를 보이는 에너지 상품이 석탄이다. APS와 NZE에서는 수소환원제철 도입으로 2050년 기준 석탄 소비는 각각 2.2백만toe, 0.9백만toe 수준으로 급감할 전망이다.

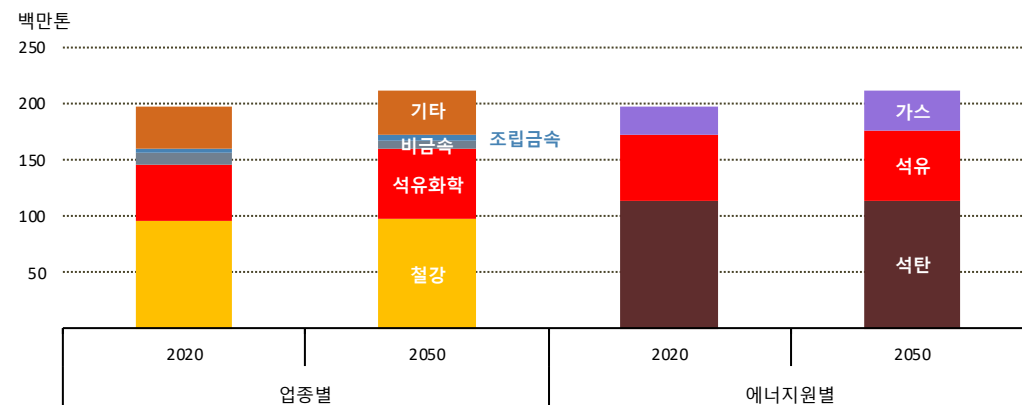
신재생에너지도 전망 기간 꾸준히 증가할 것으로 보이는데, 열원으로는 폐기물을 중심으로 증가하겠고, 태양광 등의 상용자가 발전 재생에너지도 증가할 것으로 전망된다. 신재생에너지 역시 정책 시나리오에서는 증가 속도가 대폭 빨라지는데, 철강업의 수소환원제철, 시멘트제조업의 폐기물 연료 확대, 산업 전반의 수소의 연료 사용 확대 등으로 인해 APS와 NZE에서는 REF 대비 증가 속도가 비약적으로 빨라질 전망이다.

1.3. 온실가스 배출

- ☐ 업종별로는 철강업, 에너지원별로는 석탄이 산업 부문 온실가스 배출의 절반 이상을 차지

2020년 기준 산업 부문 온실가스 배출량은 197.0백만톤-CO₂eq 수준이다. 2000년의 배출량인 148.3백만톤-CO₂eq과 비교하면 32.8% 증가했으며, 연평균으로는 1.4%로 비교적 빠르게 증가했다. 과거 20년간 온실가스 배출량이 빠르게 증가한 것은 2010년대 철강업 설비 증설의 영향이 지대하다. 전기로만 보유하고 있던 현대제철이 2010년부터 2013년에 걸쳐 연간 400만 톤 생산 규모의 고로 3기를 건설하고 신규 가동에 들어갔다. 이에 따라 2010년과 2011년, 2014년의 원료탄 소비가 각각 31.2%, 16.7%, 17.3% 증가하고 온실가스 배출량도 빠르게 증가했다. 2020년 기준 업종별 온실가스 배출 비중을 살펴보면, 철강업이 48.3%로 절반 정도를 차지하고, 그 다음으로 석유정제 및 화학업이 25.3%, 시멘트제조를 포함하는 비금속업이 5.2%를 차지하는 순이다.³³ 에너지원별로 살펴보면 석탄의 비중이 57.4%로 압도적으로 높고, 석유가 30.2%, 가스가 12.4% 순이다. 2000년과 비교하면 업종별로는 철강업의 온실가스 배출 비중이 12.6%포인트 상승했고, 에너지 상품별로는 석탄의 배출 비중이 9.3%포인트 상승한 것이 눈에 띄는 부분이다. 이러한 변화는 앞에서 설명한 바와 같이 철강업의 설비 증설 때문이다.

그림 2.11 2020년과 2050년의 산업 부문 업종별/에너지 상품별 온실가스 배출량

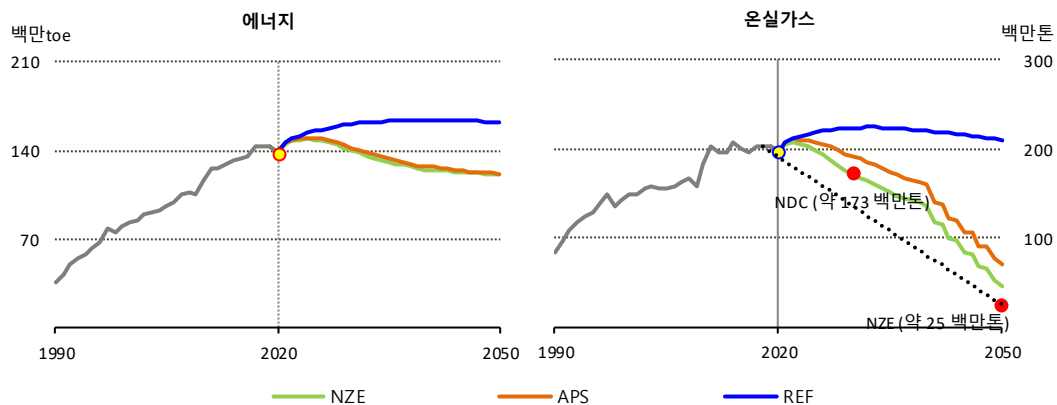


전망 기간에는 산업 부문 에너지 수요 증가 속도가 둔화되고 전력화가 꾸준히 진행되며, 연료 중 석탄과 석유가 가스로 대체됨에 따라 온실가스 증가 속도는 대폭 둔화될 것으로 전망된다. 2050년 기준 산업 부문 온실가스 배출량은 210.6백만톤-CO₂eq으로 예상되는데, 이는 2020년 대비 겨우 6.9% 증가한 양이며, 연평균으로는 0.2% 증가에 불과하다. 다만, 업종별 및

³³ 산업 부문의 온실가스 배출량은 에너지 사용으로 인한 배출량이며, 납사와 같이 비에너지의 경우 온실가스 물입률을 적용하여 온실가스 배출을 계산한다. 하지만 시멘트 제조 공정에서 석회 등의 원료를 소성하는 과정에서 배출되는 공정배출량은 제외된다. 2019년 기준 시멘트제조 소성 공정의 공정배출량은 소성로(Kiln)의 연료 연소로 인한 배출량의 두 배 정도에 달한다. 반도체나 디스플레이 제조도 에너지 사용보다 공정 과정에서 더 많은 온실가스가 배출된다. 이러한 공정 배출을 포함할 경우, 철강업의 배출 비중은 다소 낮아지고, 비금속 및 조립금속의 배출 비중이 높아진다.

에너지 상품별 비중은 2050년에도 현재와 크게 달라지지 않을 것으로 보인다. 여전히 철강업과 석유정제 및 화학업이 각각 46.1%, 29.3%를 차지하며, 에너지 상품별로는 석탄과 석유가 각각 54.2%, 29.3%를 차지할 것으로 전망된다. 이는 산업 부문 온실가스 배출의 70% 이상이 제철공정과 석유정제 및 기초화학 공정에서 배출되기 때문으로 이들 공정의 근본적인 변화 없이는 산업 부문 온실가스 배출 구조가 바뀌기는 힘들다는 것을 시사한다.

그림 2.12 시나리오별 산업 부문 에너지 수요 및 온실가스 배출 비교



주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

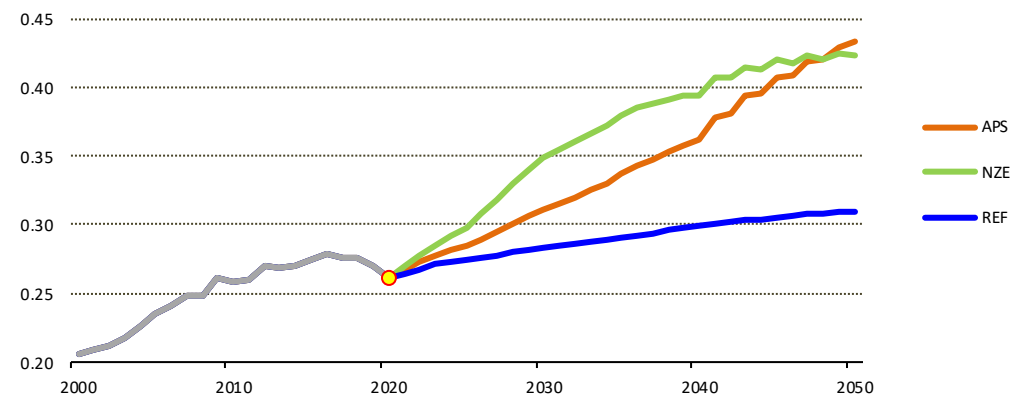
□ 2030 NDC 목표 달성을 위해서는 전력화, 2050 탄소중립을 위해서는 생산 공정 전환이 필수적

앞에서 설명한 REF의 전망 결과에서 산업 부문 온실가스 배출량은 2030년에 223.8백만톤- CO_2eq 까지 지속적으로 증가한다. 하지만 ‘2030 NDC 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)’에서 발표한 2030년 목표 수치는 2018년 대비 14.5% 감축한 수준으로, 이를 본 보고서의 2018년 배출량에 적용하면 173백만톤- CO_2eq ³⁴ 수준이다. 이 수치는 REF의 2030년 배출량 대비 23% 정도 낮은 수준이다. 따라서 이 목표 달성을 위해 정부에서 발표한 산업 부문 온실가스 저감 핵심 기술들을 적용한 APS 전망 결과를 살펴볼 필요가 있다. 2030년 기준 APS에서는 제철공정에서 원료탄 소비로 인한 온실가스 배출을 줄이기 위해 상저취 전로 활용 스크랩 다량 사용 기술이 적용되고, 기초화학 공정의 납사 소비로 인한 배출을 저감하기 위해 폐합성수지 원료 사용이 빠르게 확대되는 것을 가정하고 있다. 시멘트제조에서는 소성 공정의 연료로 쓰이는 유연탄 대신 폐기물 연료 사용 비중이 빠르게 확대된다고 가정한다. 또한, 산업 전반에 걸쳐 전력화

³⁴ “2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)”에 따르면 2018년 산업 부문 온실가스 배출량은 260.5백만톤- CO_2eq 이며 여기서 14.5% 감축한 2030년 목표 수치는 222.6백만톤- CO_2eq 이다. 이는 에너지 연소 외에도 각 업종의 공정 배출을 모두 포함한 수치로 본 보고서에서는 에너지밸런스 상의 에너지 제품 소비에서 배출되는 양만을 집계하므로 차이가 발생한다.

가 가속화되고, R&D 및 설비투자가 확대되며 에너지 효율이 빠르게 진행되는 것으로 가정하고 있다. 하지만 이러한 가정과 함께 도출한 APS 전망 결과, 2030년 산업 부문 온실가스 배출량은 191.9백만톤-CO₂eq으로 '2030 NDC 상향안' 목표보다 약 20백만톤-CO₂eq 정도 높은 수준이다.

그림 2.13 시나리오별 산업 부문 전력화 추이



주: 산업 부문 전체 에너지 소비에서 납사를 뺀 양 중 전기 소비의 비중

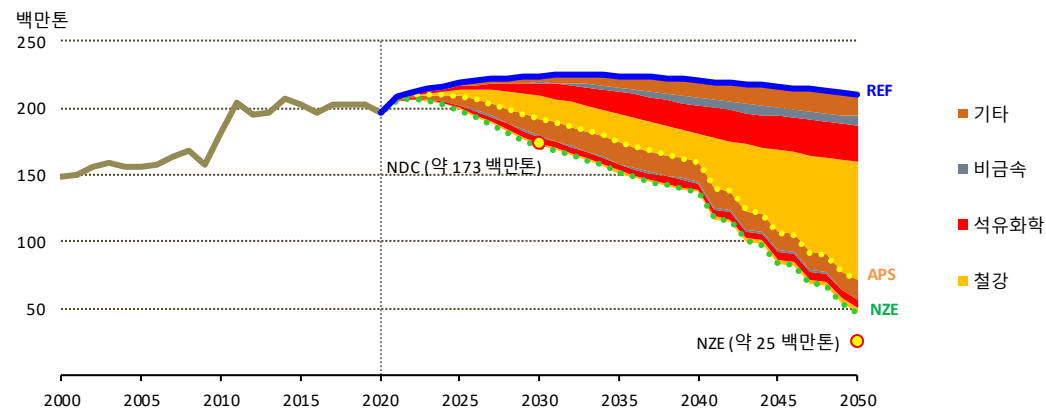
따라서 NDC 목표 달성을 위해 추가적 온실가스 배출량 감축이 필요한 상황이나, 2030년 까지 획기적인 신기술 적용을 기대하기는 힘들다. NZE에서 APS보다 2030년까지 전력화가 추가로 가속화하는 것을 가정하고 있다. NZE에서는 2030년 기준 산업 부문 직접 배출량이 172백만톤-CO₂eq 수준으로 '2030 NDC 상향안'의 목표 수치를 달성할 수 있는 것으로 분석된다. 하지만 그림 2.13에서 알 수 있듯이 NZE의 경우 전력화가 지나치게 가속화되는 것으로 나타나, 시나리오의 실현 가능성에 대해서는 추가적 검토가 필요할 것으로 보인다. 또한, 전력화를 통한 직접 배출량 저감은 국가 전체로 볼 때 산업 부문의 배출량을 발전 부문으로 전가하는 것에 불과하다. 따라서, 이러한 방식이 국가적 배출저감 수단으로 작동하기 위해서는 발전 부문의 친환경화가 동반되어야 할 것이다.

REF의 2050년 온실가스 배출량 전망치는 210.6백만톤-CO₂eq 수준이다. 반면, '2050 탄소중립위원회'에서 발표한 '2050 탄소중립 시나리오'의 2050년 산업 부문 배출량은 2018년 대비 87.5% 감소한 수준으로, 이를 본 보고서의 2018년 배출량에 적용하면 25백만톤-CO₂eq³⁵ 수준

³⁵ '2050 탄소중립 시나리오 (2050 탄소중립위원회, 2021b)'에 따르면 2050년 목표 수치는 51.1백만톤-CO₂eq이다. 이는 에너지 연소 외에도 각 업종의 공정 배출을 모두 포함한 수치로 본 보고서에서는 에너지 소비에서 배출되는 양만을 집계하므로 차이가 발생한다.

이다. 이렇게 큰 괴리를 메우는데 가장 큰 역할을 하는 것은 철강업의 수소환원제철 기술과 석유화학의 폐플라스틱 업사이클링 기술이다. 특히, 수소환원제철은 APS와 NZE에서 2040년부터 도입되어 2050년에는 전통 고로 방식을 100% 대체하며 산업 부문에서 온실가스 배출이 가장 많은 철강업의 배출량을 획기적으로 저감할 것으로 기대된다. 석유화학의 폐플라스틱 업사이클링 기술도 납사를 대체하며 석유정제 및 화학업의 온실가스 배출량을 REF 전망 대비 절반 정도로 감축할 것으로 기대된다.³⁶ 이러한 생산공정 전환과 에너지 효율 향상, 전력화 등이 동반되었을 때, APS에서는 2050년 기준 산업 부문 온실가스 배출량이 70.6백만톤-CO₂eq 수준이 될 것으로 전망된다. ‘2050 탄소중립위원회’에서 제시하는 목표 수치에 더 가까이 다가가기 위해 NZE에서는 추가적 효율 향상과 열원으로서의 수소의 역할을 추가한다. NZE는 각 업종별로 2040년부터 수소를 열원으로 사용되기 시작하며 2050년까지 꾸준히 소비 비중이 확대되는 것으로 가정하고 있다. 그 결과 NZE에서는 2050년 기준 온실가스 배출량이 46.7백만톤-CO₂eq까지 저감되어 탄소중립 목표인 25백만톤-CO₂eq에 상당히 근접하는 것을 알 수 있다.

그림 2.14 산업 부문 업종별 온실가스 배출 감축 기여



³⁶ 폐플라스틱의 경우, 에너지로 사용되면 에너지밸런스에서 “신재생및기타” 항목으로 집계되며 제품에 몰입된 탄소가 온실가스로 배출된다. 하지만 납사 대체 원료로 사용할 경우 에너지밸런스에 집계되지 않는다. 원료용 폐플라스틱 처리 과정에서 배출되는 온실가스는 공정 배출에 해당하며, 따라서 본 보고서의 배출 계산에서 제외된다.

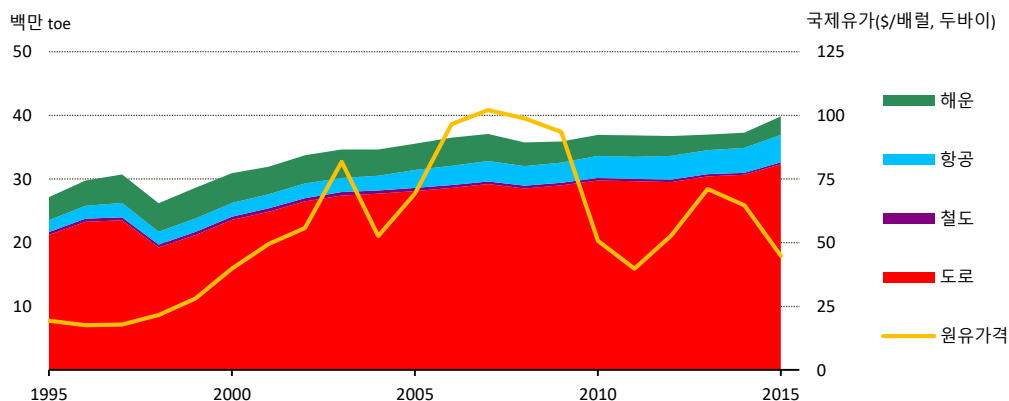
2. 수송 부문

2.1. 수송 부문 에너지 소비 동향

□ 이동 수요 증가세 둔화와 효율 개선 등으로 수송 부문 에너지 수요 증가율은 둔화하는 추세

수송 부문 에너지 소비는 2000년 30.9백만 toe에서 2020년 39.4백만 toe까지 연평균 1.2% 증가하였다. 1990년대에는 경제가 급속히 성장하면서 물동량도 크게 증가하였고, 교량과 터널 같은 교통 인프라의 확대, 대중교통 발달, 자가용 보급 증가 등의 요인으로 연평균 8% 이상 빠르게 증가했다. 그러나 2000년대에 들어서서 증가세가 크게 둔화되고 국제유가의 움직임에 따라 변동하는 모습을 보였다. 2008년 국제 금융위기 시기에는 국제유가 상승과 경기 둔화가 겹치며 에너지 소비가 급감, 2014년 하반기 국제 유가의 급락으로 에너지 소비가 증가, 다시 2017년 이후 국제유가 증가세 전환 등에 따라 감소하는 등 수송 부문 에너지 소비는 감소와 증가를 반복하였다.

그림 2.15 수송 부문 에너지 소비와 국제유가 추이



2020년 코로나19 대유행은 수송 부문의 에너지 소비에 특히 큰 영향을 미쳤다. 코로나19 방역 조치로 국내에서는 사회적 거리두기를 시행하고 해외에서는 국가 봉쇄까지 단행하면서 이동 수요가 크게 감소하여 수송 부문 에너지 소비는 2019년 43.0백만 toe에서 2020년 39.4백만 toe로 8.2% 감소하였다. 코로나19의 확산으로 세계 각국이 대내외 봉쇄조치를 실시하고 방역을 강화하면서 해외 여행을 비롯하여 전세계 서비스 교역이 크게 축소되었고, 이로 인해 국내에서도 항공 부문 에너지 소비가 거의 2019년의 절반 가까이 급감하였다. 도로 부문의 소비도 이동 수요 감소로 인해 전년 대비 4.6% 감소하였다. 생산 차질과 투자 부진으로 무역도 감

소하였으나 해운을 통한 교역량에는 영향이 적었고 오히려 해운 부문 에너지 소비는 오히려 증가하였다.

도로 부문에서는 2010년부터 2020년까지 자동차 수입 증가, 자동차 제조사의 다양한 신차 출시, 소득 및 생활 행태 변화에 따른 가구당 차량 보유 대수 증가 등으로 자동차 등록대수가 연평균 3.0% 증가하였다. 2010~2020년 도로 부문 에너지 소비는 자동차 보급과 여행 수요의 증가, 도로 화물 수송 수요 증가 등의 요인과 함께 2015~2016년 저유가, 2018~2019년 유류세 한시 인하 등 여러 증가 요인으로 연평균 1.2% 증가하였다. 다만, 코로나19 대유행으로 강력한 사회적거리두기를 시행하면서 2020년 도로 부문 이동 수요가 급감하고 에너지 소비도 줄어 들었음을 감안해야 한다.

2010~2019년은 저비용 항공사의 등장과 급성장, 고속철도의 개통과 확장, 지하철 노선 확대, 고속도로 연장, 유가 급락 등의 증가 요인으로 대중교통의 여객 수요가 연평균 6.1%로 빠르게 증가하였다. 특히 해외 방문여객 증가, 국내외 여행 수요 증가, 신규 취항 노선 증가 및 공항 증설 등의 요인으로 항공 여객이 연평균 6.6% 증가하여 수송 부문 여객 수요 증가를 주도하였다. 그러나 2020년 코로나19 방역을 위한 사회적 거리두기 실시와 “대중교통 회피, 자가용 선호” 경향으로 대중교통 여객 수요는 2019~2020년 기간에 무려 45.5%나 급감하였다.

항공 부문의 에너지 소비는 해외 여행 수요가 증가하고 다수의 저가 항공사가 취항하면서 2010년 3.5백만 toe에서 2019년 4.9백만 toe로 연평균 4.0%씩 빠르게 증가해 왔으나 2020년 2.6백만toe로 전년 대비 48.1% 감소하였다. 2020년 한 해 동안 국제 항공 이동이 대부분 차단되면서 항공 부문의 타격이 가장 컸다.

2010~2020년 사업용 화물 수요는 지역간 간선도로망의 확충, 항만 하역 능력의 증대 등 수송 인프라의 확대와 택배 서비스 등 새로운 수요의 증가로 연평균 2.5% 증가하였다. 철도 부문은 화물 운송의 경쟁력이 도로 부문에 비해 약화되고, 여객 수송이 고속철도 중심으로 운영되면서 에너지 소비가 감소 추세에 있는데 2010~2020년 에너지 소비는 연평균 1.8% 감소하였다. 역시 감소 추세에 있는 해운 부문 에너지 소비도 2010~2020년 연평균 0.5% 감소하였다. 그러나 2020년 코로나19 대유행기에는 오히려 전년 대비 17.5% 증가하였다.

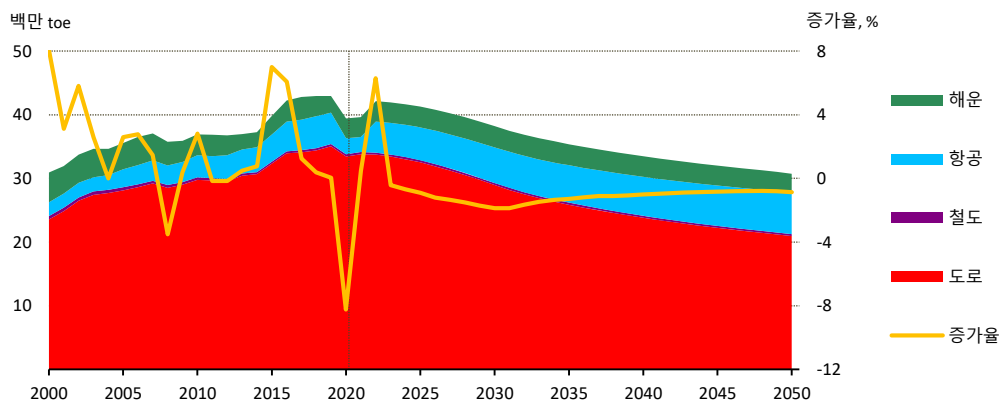
수송 연료 가운데 가장 큰 비중을 차지하는 경유는 2010~2020년 연평균 2.5%씩 빠르게 증가하였고, 휘발유는 같은 기간 연평균 1.5% 증가하였다. 항공유는 2010~2019 기간 동안 연평균 4.1% 증가하였는데 2020년 코로나19의 여파로 전년 대비 48.2% 감소하였다.

2.2. 수송 부문 에너지 수요 전망

□ 수송 부문 에너지 수요는 전망 기간 연평균 0.8% 감소하여 2050년에는 30.7백만 toe에 도달

기준시나리오(Reference Scenario, REF)의 수송 부문 에너지 수요는 코로나19 대유행으로부터 경제가 회복되며 2022년 42.1백만 toe까지 증가한 후 지속적으로 감소하여 2050년에는 31백만 toe 수준으로 하락할 전망이다³⁷. 에너지 전환과 2050 탄소 중립 달성의 목표를 정한 정부가 적극적인 친환경 자동차 보급 정책을 추진하면서 친환경 자동차가 내연기관 자동차를 대체하는 속도가 이전에 예상해왔던 것보다 더욱 빨라질 것으로 보인다. 전기 자동차는 내연기관 자동차 대비 연료 효율이 높기 때문에 전기차의 보급 확대는 전체 수송용 에너지 수요의 감소 요인으로 작용할 것이다. 또한, 코로나19의 후유증으로 상당 기간 동안 국제 이동 수요가 정체할 것으로 보여 항공 부문의 에너지 수요가 과거처럼 빠르게 증가하지 않는 것도 전망 기간 동안 전체 수송 부문 에너지 수요가 감소하는 데에 영향을 미칠 전망이다.

그림 2.16 수송 부문 에너지 수요와 증가율 추이



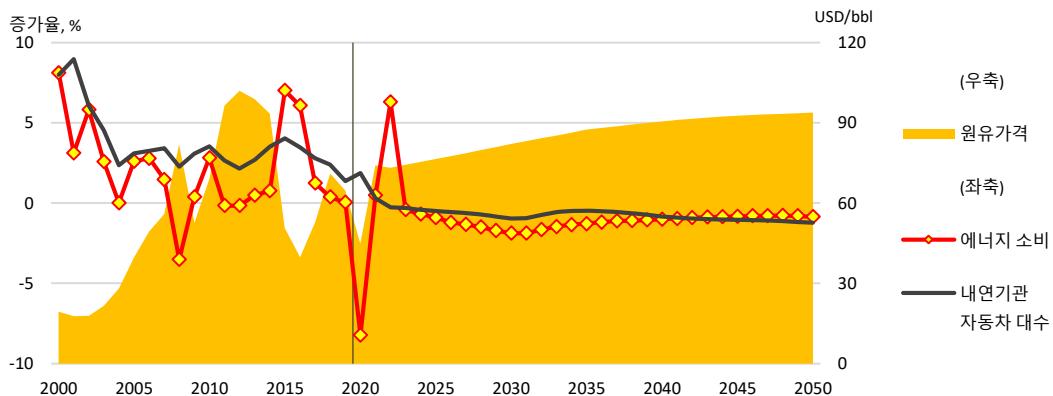
수송 부문 에너지 수요 변화에 큰 영향을 미치는 국제유가는 2020년 코로나19 대유행 기간 동안 크게 하락하였으나 2021년 하반기에 세계 경제가 회복되며 석유 수요가 증가하고, 전 세계적 에너지 전환 기조 속 생산 부문의 투자 지연으로 석유 공급이 빠르게 증가하지 못하면서 배럴당 80불 수준으로 급등하였다. 국제 유가는 2022년 이후 수급이 안정되며 전망 기간 동안 배럴당 90불 수준까지 점차 상승할 것으로 예상된다. 앞으로의 고유가 상황은 수송부문의 에너지 수요가 빠르게 증가하지 못하는 요인으로 작용할 것으로 전망된다.

³⁷ 별도의 표시가 없는 한 본문에 소개되어 있는 전망 결과는 기준시나리오(REF)의 결과이다.

□ 친환경차 보급이 빠르게 증가하면서 도로 부문 에너지 수요는 지속적으로 감소

전기, 수소차와 같은 친환경 자동차 보급 확대와 함께 경유 승용차를 중심으로 한 내연기관 자동차의 감소, 자동차 엔진 효율의 향상, 인구의 정체 및 감소, 여객 및 화물 수요 증가 속도 둔화 등으로 인해 수송 부문 에너지 수요는 완만하게 감소할 것으로 전망된다. 전망 기간 동안 경제가 꾸준히 성장하면서 전체 자동차 보급 대수는 지속적으로 증가할 것이다. 자동차 스톡의 구성이 변화하는데 정부의 친환경 자동차 보급 정책 등으로 내연기관 자동차가 친환경 자동차로 점차 빠르게 대체되면서 비중이 감소할 전망이다. 현재 중앙 정부와 각 지방 정부는 친환경차 구입시 보조금과 세금감면 등의 혜택을 제공하고 있는데 앞으로도 이러한 혜택을 늘려갈 예정이다. 특히 2022년에는 친환경차 등록대수 50만 대를 목표로 2조 4천억원을 투입하여 총 25만5천 대를 지원하기로 결정하였다.³⁸ 이러한 대규모 보조금 지원이 앞으로도 계속 가능할지는 불확실하나 보조금 지원을 통해 친환경차 시장이 커지면서 판매 가격이 인하되어 보급이 촉진되는 효과를 기대할 수 있기 때문에 기존 시나리오에 포함하여 전망하였다.

그림 2.17 수송 부문 에너지 소비 및 자동차 대수 증가율과 국제유가

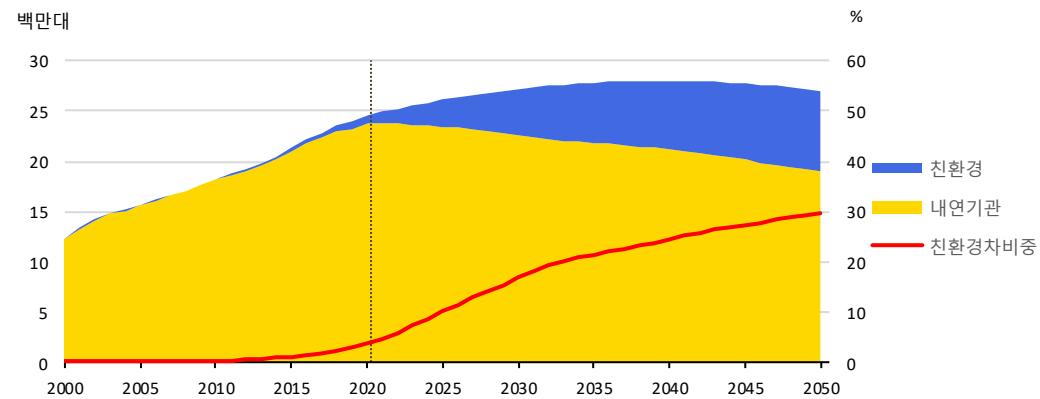


전망 기간에는 자동차 보급의 포화 수준 근접, 인구 감소의 영향으로 자동차 보급이 연평균 0.3% 증가에 그칠 것으로 예상된다. 내연기관 자동차는 미세먼지 저감을 위한 저등급 경유 자동차 운행 규제 및 퇴출 유도 정책 강화, 평균에너지소비효율제도 등에 따른 생산 제약 등으로 전기 자동차와 수소 자동차에게 시장을 내주면서 2020년대 초 정점 도달 이후 보급 대수가 꾸준히 감소할 전망이다. 하이브리드까지 포함하는 친환경 자동차는 자동차 제조사들이 경쟁

³⁸ 2021년 12월 21일 정부중앙청사에서 열린 “혁신성장 BIG3 추진회의”에서 기획재정부는 2022년 승용차 16만 5천대, 버스, 택시, 화물차 등 사업용 자동차 9만대에 친환경차 보조금을 지급하겠다고 밝혔다.

적으로 새로운 모델을 출시하고, 적극적인 친환경 자동차 보급 확대 지원 정책에 힘입어 전망 기간 연평균 25% 이상 증가하는데, 특히 전기차와 수소차는 2020년 14.8만 대에서 연평균 30% 이상 빠르게 증가하며 내연기관 자동차를 대체할 전망이다.

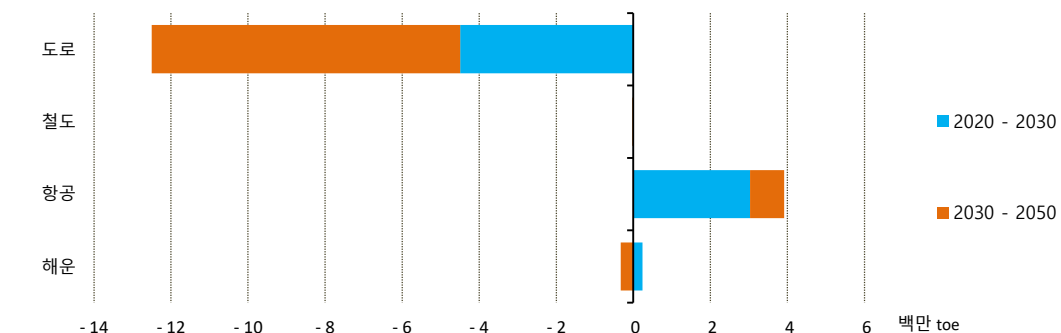
그림 2.18 기술별 자동차 보급과 증가율 추이



주: 친환경 자동차는 전기, 수소 및 하이브리드 자동차를 의미

도로 부문 에너지 수요는 내연기관과 비교하여 에너지 효율이 높은 친환경 자동차의 도입이 빨라지면서 2020년부터 2050년까지 연평균 1.5%, 약 13백만toe 가량 감소할 전망이다. 전망 기간 동안 고효율 친환경 자동차 보급 확대, 내연기관의 연비 향상, 환경 규제에 따른 내연기관 자동차의 감소 등의 요인으로 도로 부문 에너지 수요가 지속적으로 감소할 것이다. 전기, 수소 자동차 등의 친환경 자동차가 기존의 내연기관 자동차를 빠르게 대체하면서 도로 부문의 석유 수요가 14백만toe 이상 감소하는 반면, 고효율의 전기 자동차 확대에 의한 전기 수요는 1백만toe 정도 증가에 그쳐 전체 에너지 수요는 감소한다.

그림 2.19 전망 기간 수송 수단별 에너지 수요 변화



글상자 2.3 수송 부문의 전망 시나리오 설정

수송 부문에서는 기준 시나리오(REF) 외 정책계획 시나리오(Announced Plan Scenario, APS), 탄소중립 시나리오(Net-Zero Emissions Scenario, NZE)를 설정하고 검토하였다. REF는 기본 전제를 바탕으로 에너지 효율이 현재와 유사하게 개선되고, 현재 시행중인 정책과 규제가 지속되며 여기에 추가하여 시행될 가능성이 매우 높다고 판단되는 정책을 포함하였다. APS는 정부가 구체적인 일정과 목표 수준을 밝힌 정책과 변화를 포함하였다. 수송 부문의 경우 2021년 10월 18에 정부가 발표한 NDC 상향안의 내용을 APS에 반영하였다. NZE는 2050년 탄소중립 목표 달성을 위해 노력해야 하는 경로를 의미한다. 2050년 수송 부문의 탄소 중립 목표 달성을 위해 어떤 수단들을 동원하여 에너지 소비와 온실가스 배출을 줄일 수 있는지를 고려하였다. 이 과정에서 2021년 12월에 국토교통부가 발표한 '국토 교통 탄소중립 로드맵'의 내용을 참고하였다.

표 2.2 APS와 NZE 시나리오 비교

정책 시나리오	APS	NZE
반영 정책	* NDC 상향안(2021.10.)	* NDC 상향안(2021.10.) * 국토 교통 탄소중립 로드맵(2021.12.)
감축 수단	* (도로) 2030 년까지 전기, 수소차 450 만대 보급(사업용 50 만대 포함) * (도로)2030 년까지 총주행거리 4.5% 감축 * (도로)바이오디젤 혼합률 3%에서 8%로 증가 * (항공)2023 년 이후 매년 1%씩 항공 운영 효율 개선 * (철도)선로 전철화율을 2019 년 72.9%에서 2030 년 78.3%로 확대	* (도로)2050 년까지 전기, 수소차 비중을 85~100%로 확대 * (도로)2050 년까지 총주행거리를 15% 감축 * (해운) LNG/하이브리드선 도입 * (철도)2050 년까지 디젤 기관차 전면 퇴출

정책 시나리오별 가장 큰 차이점은 친환경차, 정확히는 전기와 수소 자동차와 같은 온실가스 무배출 자동차의 보급 속도이다. 2021년 전기 및 수소 자동차의 등록대수는 사업용 차량을 포함하여 약 22만대 수준이었다. 전기, 수소차의 등록대수는 정부의 보조금 지원과 새로운 전기차 모델 출시 등으로 빠르게 증가하고 있다. 전기차의 가격이 아직 다른 내연기관 자동차보다 높기 때문에 정부 보조금 지급은 보급 확대에 필수적이다. 정부는 2022년에도 전기, 수소차의 총 등록대수 50만 대를 달성하기 위해 약 25만 대 보급을 위한 보조금을 지급하기로 결정하였다. 수송부문 REF에는 이와 같은 보조금 지급을 통한 현재의 친환경차 보급 기조가 상당 기간 동안 이어지며 시장에서 친환경차의 비중이 커질 것으로 보았다.

APS에는 정부의 NDC 상향안의 친환경차 보급 목표를 반영하였다. 2030년까지 전기, 수소차 등록대수를 450만 대까지 늘린다는 계획이다. **잘못된 출처를 지정했습니다.** 450만 대는 전기차 362만 대, 수소차 88만 대 비중으로 계획하고 있다. 이 가운데 약 50만 대의 사업용 친환경 차량을 우선 보급하는 것으로 정하였다. 추가적으로 하이브리드 차량을 등록대수 기준 400만 대까지 보급할 계획이다.

NZE에서는 2050년까지 대부분 자동차를 전기, 수소차로 대체하는 계획을 반영하였다. 국토 교통 탄소중립 로드맵에 따르면 2050년까지 2018년 대비 90.6~97.1%의 배출량을 감축하기 위해 전기, 수소차를 85~100% 보급하는 계획을 수립하였다**잘못된 출처를 지정했습니다.** NZE는 모든 등록 자동차 대수의 99% 이상이 전기, 수소차로 전환되는 것으로 가정하였다.

도로 부문에 대한 다른 정책으로 총주행거리의 감축이 있다. APS는 NDC상향안이 제시한 2030년까지 총주행거리 4.5% 감축을 반영하였고, NZE는 2050년까지 총 주행거리 15% 감축을 고려하였다. 이외에 APS에서는 바이오디젤 혼합률을 3%에서 8%로 상향하는 NDC 상향안의 정책을 반영하였다.

도로를 제외한 나머지 항공, 해운, 철도 부문에 대한 정책 수단은 아직 충분히 개발되지 않았다. APS에서는 항공 운영 효율을 2023년 이후 매년 1%씩 개선한다는 NDC 상향안의 정책과 2030년까지 철도 부문에서 선로의 전철화율을 증가시켜 디젤 차량 운영을 줄여 온실가스 배출량을 감축하는 방안을 반영하였다. NZE에서는 APS의 모든 정책을 반영한 후 추가적으로 2050년까지 철도 부문에서 디젤 기관차의 전면 퇴출과 수소 기관차의 도입, 그리고 해운 부문에서 LNG/하이브리드선의 도입 계획을 반영하였다.

APS와 NZE에서 기존 내연기관 사용 운송 수단의 효율 개선을 고려하였으나 시나리오에는 반영하지 않았다. 탄소 중립과 에너지 전환 기조 속에서 기존 내연기관의 개선에 대한 연구, 개발 투자가 충분히 이뤄지지 않을 것이고, 그 보다는 친환경 운송 수단의 개발에 초점이 맞춰질 것이기 때문이다. 도로부문에서 평균연비제도의 예를 생각해보면 자동차 제조사는 평균 연비 기준을 맞추기 위해 기존 내연기관의 성능개선보다 친환경차의 판매를 늘리는 편이 장기적으로 유리하다.

NDC 상향안과 탄소중립 로드맵 모두 대중교통의 활성화를 통한 자가용과 교통 수요의 관리를 정책 대안으로 내세우고 있는데 이를 정책 시나리오에 직접 반영하지는 않았다. 주행거리 감축이 이러한 정책의 결과로 나타날 것이라 보았기 때문이다.

□ 여객과 화물 수송 수요는 꾸준히 증가하지만 증가세는 둔화

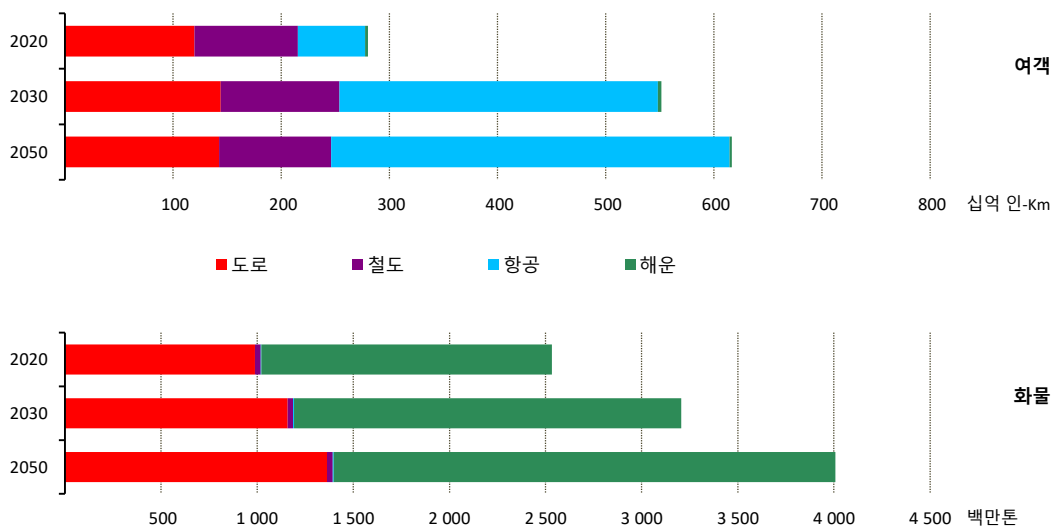
사업용 여객 수요는 대중 교통 수단의 확충, 교통 인프라의 확장 등으로 꾸준히 증가하지만 과거에 비해 증가 속도는 크게 둔화될 전망이다. 전망 기간 동안 인구가 감소하고 장거리 여행이 철도와 항공으로 대체되면서 도로 여객이 정체될 것이다. 코로나19 팬데믹의 후유증으로 해외 여행 수요가 당분간 정체하겠지만 항공 여객은 연평균 6.1% 증가하여 다른 여객 수단에 비해서는 빠르게 늘 전망이다. 전체 여객 수요는 2020년 280.2십억인킬로미터 (Passenger-km, PgKm)에서 2050년 617십억인킬로미터로 연평균 2.7% 증가할 전망이다.

항공 부문은 전망 기간 동안 국내외 여행과 수송 수요가 지속적으로 증가하고, 전기나 수소와 같은 대체 에너지원 사용이 어렵기 때문에 수송 수단 중에서 유일하게 에너지 수요가 증가할 전망이다. 하지만, 2020년 항공 운항 편수가 전년도의 절반 정도까지 줄어들었을 정도로 코로나19의 영향을 가장 크게 받았고, 2022년 이후 차츰 항공 이동 수요가 회복되겠지만 상당

기간 동안 해외 여행 수요는 예전의 높은 증가세를 회복하기 어려울 전망이다. 그럼에도 불구하고 가덕도 신공항 건설, 제주의 공항 확대 등 인프라 확장과 신규 취항 노선의 증가, 국내외 여행객 및 방문객 증가 등으로 항공 수송 수요가 꾸준히 증가하면서, 에너지 수요가 연평균 3.1% 증가하여 2050년 6.5백만 toe에 도달할 전망이다.

화물 수송 수요는 우리나라 경제가 수출 중심의 성장을 지속하면서 2020년 2.5십억톤에서 연평균 1.5% 증가하여 2050년 4.0십억톤에 도달할 전망이다. 전망 기간에는 코로나19 위기 속에서 항공 화물 수송을 통해 경쟁력을 확보한 국내 항공사의 화물 수송이 꾸준히 늘어나고, 수출 중심의 경제 성장과 국내 해운사 지원 등을 통해 해운 화물 수요도 빠르게 증가할 것으로 예상되고, 도로 화물 수요도 물동량 증가와 비대면 배달 서비스 성장에 따른 택배 물량 증가 등으로 증가할 전망이다.

그림 2.20 여객과 화물 수요 전망

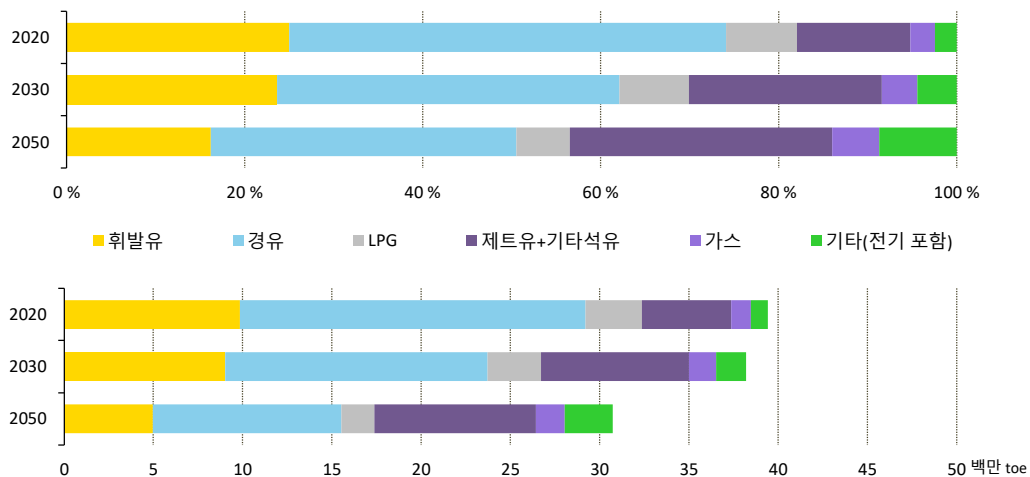


철도와 해운의 에너지 수요는 전망 기간 동안 지속적으로 감소하여 수송 부문 에너지 수요에서 차지하는 비중이 줄어들 것이다. 철도 부문은 신규 고속철도 노선 확대 등에도 인구 감소 및 철도 화물 수송의 경쟁력 약화, 전동차의 효율 개선 등으로 에너지 수요가 감소한다. 해운 부문의 에너지 수요는 IMO의 고유황 중유 사용 규제에 따른 LNG 선박의 도입 증가, 선박 운항 효율 개선, 기술적 연비 향상, 선박의 대형화 등으로 감소를 지속할 것으로 예상된다.

□ 석유가 전기, 수소로 대체되며 수송 부문 에너지 소비에서 차지하는 비중은 지속적으로 감소

수송 부문 석유제품 소비는 전망 기간 동안 친환경 자동차의 증가, 자동차 연비 개선, 내연 기관 자동차 보급 감소 등으로 인해 꾸준히 감소할 전망이다. 수송 연료 가운데 가장 큰 비중을 차지하는 경유는 전망 기간에는 미세먼지와 환경 오염물질 저감을 위해 SUV와 화물 자동차를 제외한 경유 자동차의 판매가 둔화 또는 줄어들면서 수요가 연평균 2% 가량 감소할 것이다. 휘발유는 친환경차가 휘발유 사용 내연기관 자동차를 대체해가면서 연평균 2% 이상 감소할 전망이다. 항공유는 2020년 코로나19의 여파에도 신규 취항 노선 확대, 항공 인프라 증가 등에 따른 항공 이용 증가로 전망 기간 연평균 3.1% 가까이 꾸준히 수요가 증가할 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 6% 이상 빠르게 증가할 전망이다.

그림 2.21 수송 연료별 비중 및 수요



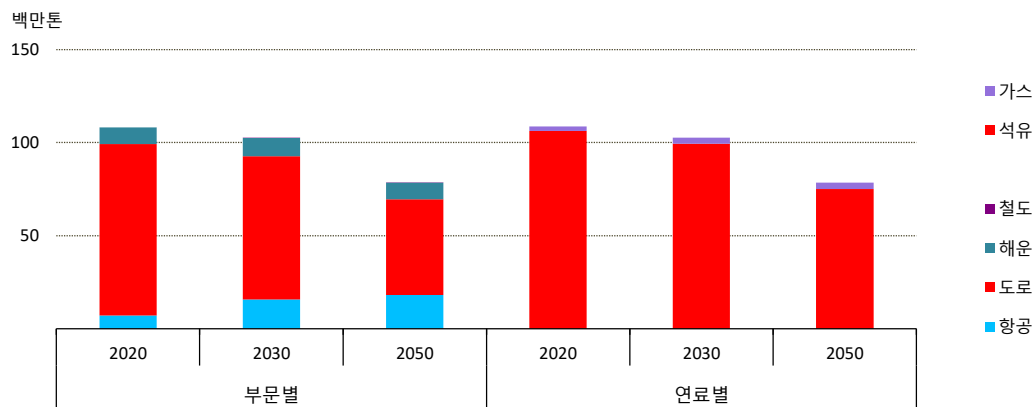
2.3. 시나리오별 온실가스 배출량 비교

□ 수송 부문 온실가스 배출량은 2022년 이후 지속 감소하여 2050년 79백만 tCO₂eq에 도달

2030년 NDC 감축 목표 달성을 위해 추진 중인 수송 부문 온실가스 감축 정책의 영향으로 코로나19 회복 과정에도 배출량이 크게 증가하지 않고 지속적으로 감소할 전망이다. 수송 부문에서 2022년 116백만 tCO₂eq의 온실가스 배출을 기록하고 2050년까지 연평균 1.4% 지속 감소한다. . REF에서 2030년 온실가스 배출량은 103백만 tCO₂eq 으로 NDC 감축 목표인 74백만 tCO₂eq를 달성하지 못하는 것으로 나타났으며, 2050년 탄소중립을 위해 달성해야 하는 수송 부문 온실가스 배출량 3백만 tCO₂eq과는 76백만 tCO₂eq 가량 차이가 난다.

코로나19 팬데믹 이후 전기, 수소 자동차의 도입이 본격화하면서 도로 부문의 온실가스 배출량이 본격적으로 감소할 전망이다. 수송 부문에서 가장 비중이 큰 도로 부문의 온실가스 배출량은 2020년 92백만 tCO₂eq에서 연평균 1.8% 감소하여 2030년 77백만 tCO₂eq로 하락하고, 2050년에는 51백만 tCO₂eq으로 감소한다. 수송 부문 온실가스 감축 정책이 대부분 비중이 가장 큰 도로 부문에 집중되어 있어서 감축 속도가 가장 빠르다. 그러나 항공 부문의 여객 수요는 코로나19의 충격에서 벗어나 다시 빠르게 증가하면서 수송 부문의 배출량 감축을 제한할 것이다.³⁹ 항공 부문은 2020년 7백만 tCO₂eq에서 지속적으로 증가하여 2030년 16백만 tCO₂eq, 2050년 18백만 tCO₂eq으로 증가한다. 코로나19 팬데믹 이전인 2019년의 배출량이 14백만 tCO₂eq이었던 것을 고려하면 배출량이 빠르게 증가한다고 보기는 어렵다. 오히려 코로나19 팬데믹의 후유증으로 항공 부문의 배출량 예전의 전망보다 증가 속도가 느려질 전망이다. 그럼에도 항공 부문이 수송 부문 배출량에서 차지하는 비중은 도로 부문의 비중이 작아지면서 점차 증가한다. 해운과 철도 부문의 배출량은 연료 대체와 효율 개선으로 점차 줄어들 것으로 보이나 그 양은 많지 않다. 해운 부문은 LNG와 하이브리드선 도입을 논의하고 있고 철도 부문에서는 추가적인 전철화와 디젤 기관차의 수소 기관차 대체 등이 감축 수단으로 검토되고 있으나 그 감축량은 크지 않을 전망이다

그림 2.22 수송 부문별 연료별 온실가스 배출 전망



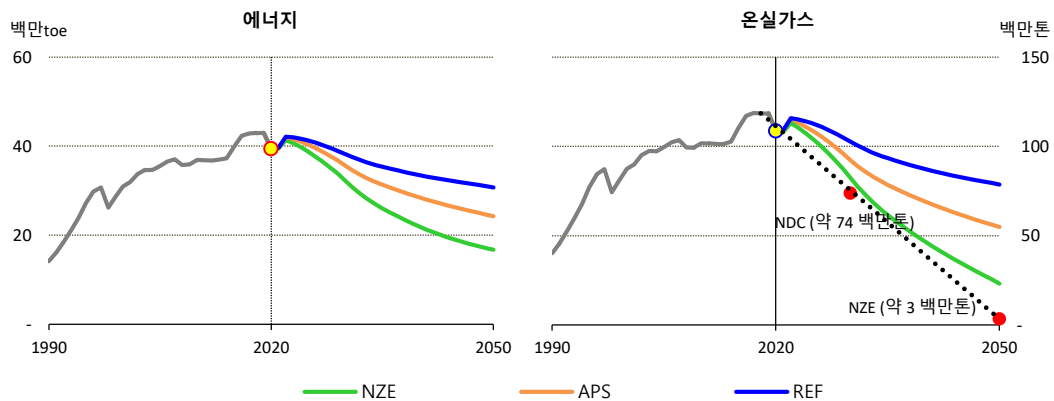
³⁹ 수소나 지속가능 항공 연료(Sustainable Aviation Fuel, SAF) 도입이 항공 부문의 미래 감축 수단으로서 고려가 되고 있으나 경제성과 안정성 등에 대한 검토가 시작 되는 단계여서 이번 전망의 시나리오에는 포함하지 않았다. SAF는 바이오 연료나 폐유를 가공하여 기존의 항공유를 대체하는 연료이다. EU와 미국에서 항공 부문의 감축 수단으로 적극적으로 도입을 추진하고 있는데 높은 생산 비용에 따른 경제성 문제와 바이오 원료 사용에 따른 환경과 식량 문제 등이 제기되고 있다.

수송 부문에서는 대부분 석유를 사용하기 때문에 석유에서 발생하는 온실가스 배출량이 가장 많다. 수송 부문 온실가스 배출량 가운데 석유 기원 배출량은 95% 이상을 유지할 전망이다. 한편 온실가스 감축 노력의 일환으로 가스 소비량을 늘리면서 가스 연소에서 발생하는 온실가스 배출량 비중이 점차 증가할 전망이다. 2020년 2백만 tCO₂eq 수준이었던 가스 기원 온실가스 배출량은 2030년 3백만 tCO₂eq, 2050년 4백만 tCO₂eq로 지속 증가한다.

□ 온실가스 배출 감축 노력과 목표 달성의 어려움

수송 부문 APS는 2030 NDC 목표 달성을 위해 정부가 제시한 정책을 담고 있다. 수송 부문의 감축을 위해 전체 자동차 등록 대수 가운데 친환경차를 450만 대까지 늘리는 정책을 반영하였는데 이로 인해 도로 부문의 온실가스 배출량이 상당히 감소하나 감축 목표 달성에는 부족하다. APS의 2030년 온실가스 배출량은 92백만 tCO₂eq로 NDC 목표보다 18백만 tCO₂eq을 더 배출하는 것으로 나타났다. NZE의 2030년 온실가스 배출량은 82백만 tCO₂eq로 거의 NDC 감축 목표에 도달한다. 2050년 탄소중립 목표가 수송, 산업 등 모든 부문에서 매우 야심찬 목표라는 데는 이론의 여지가 없다. 특히 수송 부문에서는 감축 수단이 새로 발굴되고 있는 단계여서 현재로서 목표 달성에 이르는 경로를 추정하기가 매우 어렵다. NZE도 수송 부문의 2050 탄소중립 배출량 목표를 달성하지 못하는 것으로 나타났다.

그림 2.23 수송부문 시나리오별 에너지 수요와 온실가스 배출 경로 비교

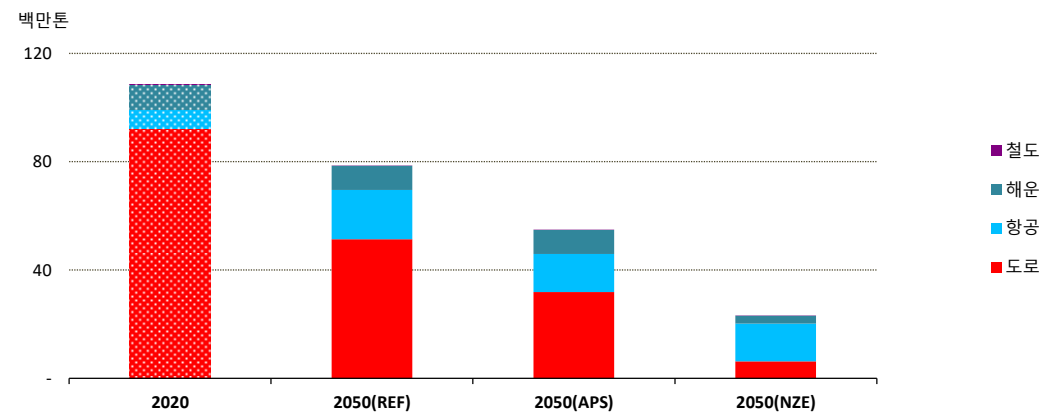


NZE에서 2030년 전기, 수소차의 등록 대수는 약 6백만 대에 달하여, NDC 달성을 위한 정책 목표 450만 대 보다 33% 이상 많다. 다른 부문도 동일하겠으나 2030 NDC 목표 달성을 위해서는 배출 비중이 큰 도로 부문에서 현재까지 제안된 것보다 훨씬 더 적극적인 감축 정책이 조속히 시행되어야 함을 의미한다. 정부는 2050 탄소중립을 위해 대부분 자동차를 전기, 수소차

로 대체한다는 비전을 제시하였다.⁴⁰ 대형 트럭과 버스를 전기, 수소차로 대체하는 데에 아직 기술적 어려움이 있으나 앞으로 30년 동안 기술 혁신을 예상해 볼 수 있다. 전기, 수소차를 도입 하면서 자동차 산업을 재편성하며 경제에 발생할 긍정적 파급효과도 기대할 수 있을 것이다.

도로 부문의 온실가스 배출량을 완전히 감축하는 수단이 전기, 수소차의 보급이라면 나머지 부문에서는 확실한 감축 수단이 아직 미비하다. 특히 항공 부문에서는 연료 대체와 같은 배출량 감축 기술이 아직 초기 단계여서 본격적인 감축 수단으로 활용 가능성 여부가 불투명하다. REF에서 2050년 항공 부문의 온실가스 배출량은 18백만 tCO₂eq인데 APS와 NZE의 배출량은 14백만 tCO₂eq으로 23%나 작으나 전체 배출량에서 차지하는 비중은 크게 증가한다. 2030년 NDC 목표를 달성에 항공 부문의 감축이 기여가 크지 않다고 하더라도 2050년 탄소 중립을 위해서는 감축 수단의 발굴과 활용이 시급하다.

그림 2.24 시나리오별 부문별 온실가스 배출량 비교



□ 수송 부문의 온실가스 감축을 위해서 장기적으로 이동 수요 자체의 감축 방안 필요

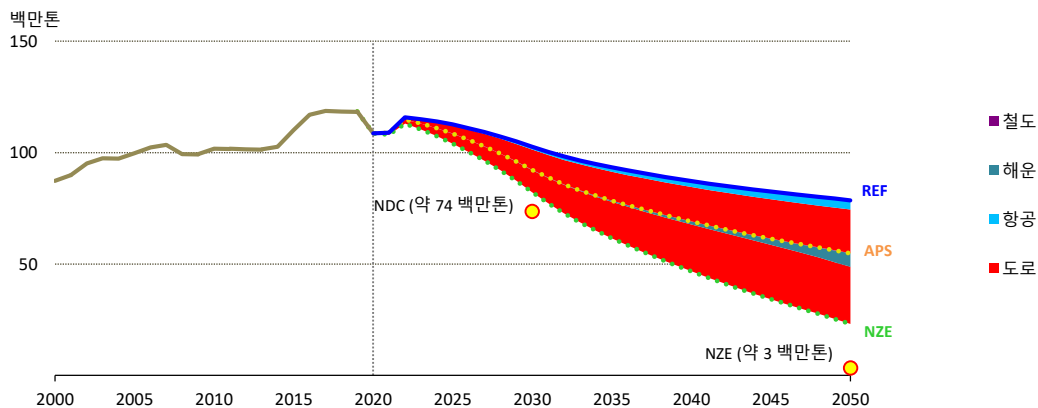
수송 부문에서는 도로 부문의 에너지 소비와 온실가스 배출량 비중이 가장 크다. 따라서 수송 부문의 감축 노력을 도로 부문에 집중하는 것이 당연하다. 기존 내연기관 자동차를 친환경 경차로 대체하는 감축 수단을 사용하여 도로 부문의 온실가스 배출량을 줄여갈 수 있다. 2050 탄소중립을 위해서 도로 외의 부문에서의 감축도 필요한데 철도 부문은 배출량도 적고 감축 여력도 작은 편이다. 해운 부문에서는 LNG/하이브리드선의 도입을 통해 감축을 할 수 있을 것

⁴⁰ 정부는 수송부문의 감축 목표로 1와 2 두가지 안을 제시하였다. 1안은 2018년 대비 97.1% 감축, 2안은 90.6% 감축을 목표로 하는데 이에 따라 1안에서는 2050년까지 전기, 수소차를 100% 보급함을 목표로 하고, 2안에서는 85% 보급을 목표로 한다.

으로 보고 있다. 항공 부문에서의 감축은 아직까지 확실한 감축 수단이 없는 상태이고 지속가능한 대체연료, 수소 비행체에 대한 개발과 상용화에 감축 노력이 집중되고 있다.

이러한 부문별 감축 수단의 도입과 별개로 이동 수요 자체를 감소시키는 방안도 장기적으로 검토할 필요가 있다. 특히 상용이 아닌 자동차 보유를 줄이는 방안이 필요하다. 이번 연구의 정책 시나리오들은 동일한 자동차의 보급 대수 전망을 공유하였다. REF, APS, NZE 모두 자동차의 보유 대수 전망은 같다. 다만 시나리오별 자동차를 사용한 평균 이동거리에는 차이를 두었다. 2050 탄소 중립 목표 달성을 위해서는 대중 교통 활성화와 함께 자동차 보유율을 낮추기 위해 소유 비용을 높이는 정책을 고려할 필요가 있다. 유류비에 온실가스 비용 반영, 통행료 인상, 차고지 증명제도 등과 같은 제도는 자동차 보유의 비용을 높이는 방안이다. 이를 통해 자동차 보유 대수가 줄어들면 도로 부문 이동 수요가 감소하여 온실가스 감축에 유리한 조건이 될 수 있다. 자가용을 공유 자동차 서비스나 버스, 지하철 등 대중 교통으로 대체하는 방안도 검토가 필요하다.

그림 2.25 시나리오별 각 부문의 온실가스 감축 기여



NZE에서는 2050년까지 도로 부문 자동차의 99% 이상을 전기, 수소차로 보급하는 것으로 가정하였다. 이때문에 도로 부문에서 감축은 최대치라고 할 수 있다. 나머지 온실가스 배출의 감축을 위해서는 항공과 해운 부문의 감축이 절대적으로 필요하다. 현재 항공과 해운 부문의 감축 수단으로 기존 연료의 대체를 주로 고려하고 있는데 IT 기술의 활용을 통한 운영의 효율화로 여객 과 물동량 수요를 줄이는 방안도 함께 검토할 필요가 있다.

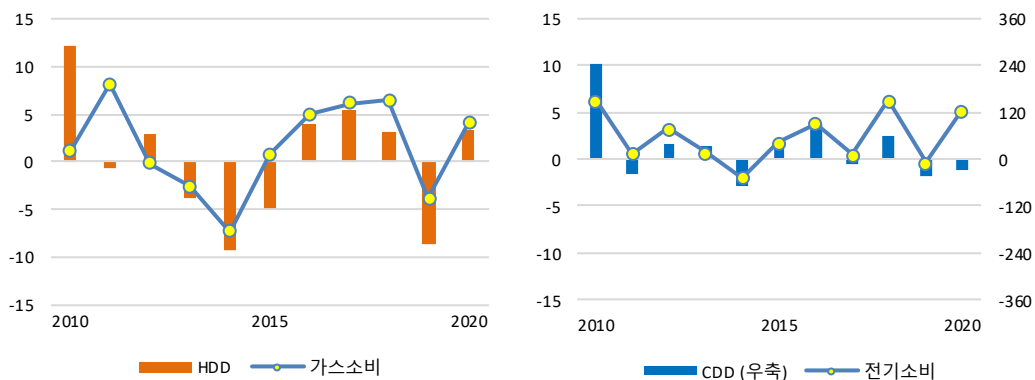
3. 가정 부문

3.1. 에너지 소비 추이 및 현황

□ 2020년 가정 부문 에너지 소비는 전년 대비 2.7% 증가한 23.1백만toe

2000~2020년 동안 가정 부문 에너지 소비는 연평균 0.4%로 완만하게 증가하여 2020년 23.1백만toe를 기록하였다. 같은 기간 동안 인구수, 주택수, 일인당 소득 등의 증가율이 둔화됨에 따라, 냉난방도일로 대변되는 날씨의 변화가 가정 부문 에너지 소비의 변화를 추동하는 경향이 강화되었다. 2002~2014년 가정 부문 에너지 소비는 인구 증가 정체, 주택 및 소득 증가율의 둔화, 전통 가전기기 보급의 포화 수준 접근 및 효율 개선 등으로 연평균 1.1% 감소하였다. 그러나 가정 부문 에너지 소비는 2014~2020년 연평균 2.8% 증가하였는데, 이는 주로 냉난방도일 변화에서 귀결된 것으로 분석된다. 이러한 특성은 2018년과 2019년의 가정 부문 에너지 소비에서 잘 나타난다. 2018년 가정 부문 에너지 소비는 23.3백만toe로 정점을 기록하였으나, 2019년에는 전년 대비 난방도일이 8.7%, 냉방도일이 42.4% 감소함에 따라 가정 부문 에너지 소비는 전년 대비 3.4% 하락한 22.5백만toe에 도달하였다.

그림 2.26 냉·난방도일과 가정 부문 가스 및 전기 소비의 연간 변화율 (%)

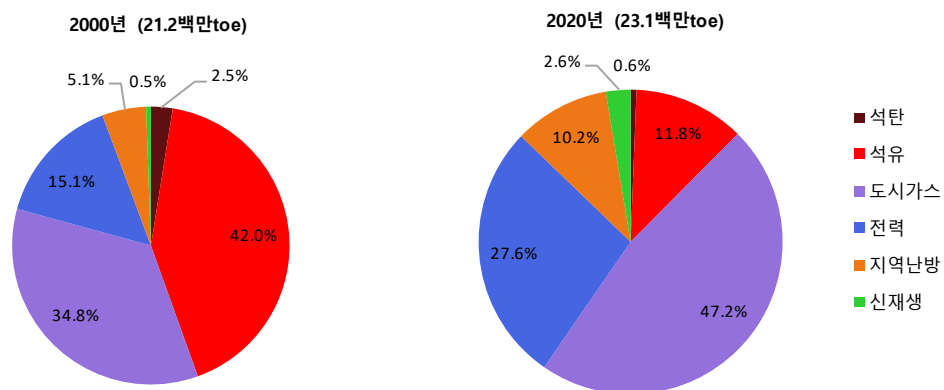


전 세계를 덮친 코로나19는 2020년 가정 부문 에너지 소비에도 영향을 미쳤다. 2020년 난방도일은 전년 대비 3.3% 증가하고 냉방도일은 29.2% 감소하였다. 난방도일 증가에 따라 도시 가스 소비는 전년 대비 4.0%, 열 소비는 전년 대비 3.3% 증가하는 등 난방용 에너지의 소비가 상승하였다. 반면, 큰 폭의 냉방도일 하락에도 불구하고 전기 소비는 전년 대비 5.1% 증가하였다. 전기 소비 증가의 원인은 코로나19로 인해 사회적 거리두기가 시행되고 재택근무가 확산

되면서 재택 시간이 증가하였기 때문으로 분석된다. 코로나19의 이러한 영향은 2021년에도 지속될 것으로 예상된다.

2020년 현재, 가정 부문 에너지 소비에서 도시가스는 47.2%로 가장 큰 비중을 차지하고 전기가 27.6%, 석유가 11.8%, 지역난방 10.2%로 그 뒤를 따른다. 석탄의 비중은 0.6%로 재생에너지 비중 2.6%보다 낮아, 석탄은 가정 부문 에너지 소비에서 가장 낮은 비중을 차지하는 에너지 상품인 것으로 나타났다. 2000년과 2020년 가정 부문 에너지 소비에서 각 에너지 상품이 차지하는 비중을 비교해보면, 그 동안 에너지 소비 구조가 크게 변화하였다는 것을 알 수 있다. 석탄과 석유는 2000년 가정 부문 에너지 소비의 44.5%를 차지하였으나, 도시가스 및 지역난방으로 난방/온수 및 취사 에너지원이 대체되면서 2020년에는 그 비중이 12.4%까지 하락하였다. 전기 소비는 2000~2020년 연평균 3.5% 증가하여 2020년 6.4백만toe에 도달하여, 전기는 도시가스에 이어 가정 부문에서 두 번째로 가장 많이 사용하는 에너지 상품이 되었다. 신재생 에너지 소비는 2000~2020년 연평균 8.6%로 증가하는 등 가장 빠르게 증가하였다.

그림 2.27 가정 부문 에너지 소비의 에너지 상품별 비중 변화 (2000년과 2020년)



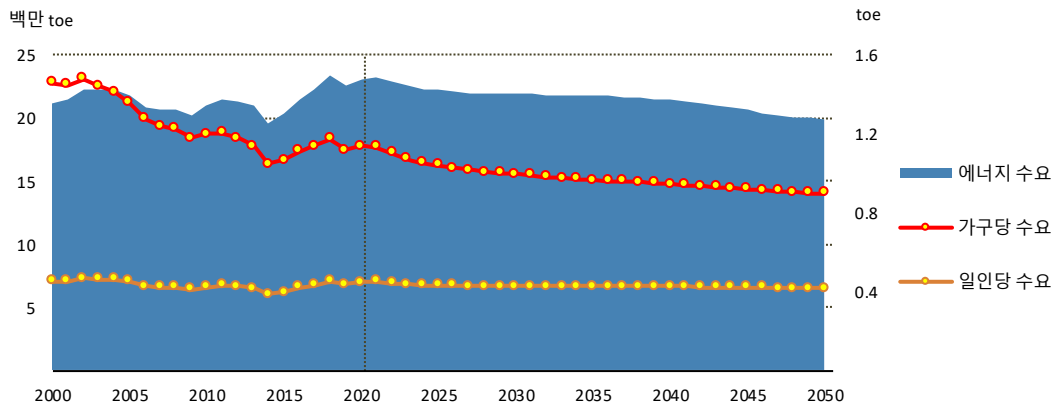
3.2. 에너지 수요 전망

□ 기준 시나리오(REF)에서 가정 부문 에너지 수요는 2050년 19.8백만toe까지 하락

가정 부문 에너지 소비는 코로나19로 일시적 증가를 보이지만 전망 기간 내내 꾸준히 감소하면서 2050년 19.8백만toe까지 하락할 것으로 전망된다. 전망 기간(2020~2050년) 인구는 감소세로 전환되고 가구수, 주택수, 소득의 증가세는 둔화되는 반면, 에너지 효율은 지속적으로 개선되면서 에너지 수요는 연평균 0.5% 감소할 것으로 전망된다. 전망 기간 인구는 연평균 0.3% 감소하며 가구수는 0.3%, 주택수는 0.4%, 일인당 소득은 1.9% 증가에 그칠 것으로 예상

되는 반면, 정부의 에너지 효율 개선 정책 및 시장의 에너지 효율 경쟁으로 건물 에너지 성능 및 냉·난방기기를 비롯한 주요 가전기기의 에너지 효율이 향상되면서 GDP 당 에너지 수요는 연평균 2.1% 하락할 것으로 분석된다.

그림 2.28 기준 시나리오(REF)의 가정 부문 에너지 수요, 가구당 수요, 일인당 수요



총인구의 감소에도 불구하고 1인가구 증가로 가구 수는 전망 기간 동안 증가세를 유지하면서 가구당 에너지 수요는 연평균 0.8% 하락할 전망이다. 또한, 건물 에너지 성능이 상대적으로 낮은 단독주택 비중이 축소되고 성능이 우수한 아파트 비중이 확대되면서 호당 에너지 수요도 연평균 0.9% 하락할 것으로 분석된다. 하지만, 가구 소득 증가 및 인구 고령화에 따른 일인당 거주 면적 증가와 가전기기 다양화 및 보급 증가로 인해 1인당 에너지 수요는 연평균 0.2% 하락에 그칠 것으로 보인다.

글상자 2.4 가정 부문 시나리오 설정

‘2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)’, ‘2050 탄소중립 시나리오 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’, ‘에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, 2021)’, ‘국토교통 탄소중립 로드맵 (국토교통부, 2021)’에서 제시된 가정 부문 온실가스 감축 방안은 제로에너지 건축물 의무화 및 그린 리모델링 확대를 통한 건축물 에너지효율 향상, 고효율기기 보급, 스마트 에너지 관리 및 행태 개선 강화, 신재생에너지 보급 확대 등 에너지 소비의 탈탄소화로 요약된다. 가정 부문의 기준 시나리오(REF), 정부계획 시나리오(APS), 탄소중립 시나리오(NZE)는 정부 계획에 나타난 가정 부문 온실가스 감축 방안을 시나리오 정의에 맞춰 다음과 같이 차등적으로 반영하여 설정되었다.

REF는 2025년부터 주택에 대해서도 시행하기로 확정된 제로에너지건축물 의무화 제도를 반영하였다. ‘제로에너지건축 단계적 의무화 로드맵 (국토교통부, 2019)’에 따르면 2025년부터 연면적 1,000m² 이상의 민간건축물, 공동주택 30세대 이상의 건축물을 신축 또는 리모델링하려는 건축주는 해당 건축물에 대해

제로에너지 건축물 인증을 받아야 한다. APS는 제로에너지건축물 의무화제도의 적용범위가 REF에 비해 확대되는 상황을 상정한다. ‘국토교통 탄소중립 로드맵 (국토교통부, 2021)’은 연면적 500m² 이하의 민간 소형 건물의 제로에너지건축 관리방안을 검토하겠다고 제시하였다. 이는 현재 로드맵보다 적용범위가 확대될 수 있음을 시사한다.

반면, 주택의 그린 리모델링은 APS와 REF가 거의 유사한 수준을 유지한다고 가정한다. 정부는 주택을 포함한 민간 기축 건축물의 그린 리모델링 활성화를 위해 현재 시행 중인 이자 지원제도를 확대하고 지원방식을 다각화할 계획이다. 여러 선행연구는 회수기간 단축, 투자자-수혜자 불일치 문제 등이 근본적으로 해결되어야 민간에서 그린 리모델링이 활성화될 수 있다고 분석하였는데, 현재 제시된 정책 대안이 이러한 문제를 효과적으로 해결하는데 기여한다고 보기 어렵다.

가정 부문 에너지 소비에서 가장 큰 비중을 차지하는 난방/온수용 에너지 수요의 경우, APS에서는 도시가스가 전망 기간 주요 난방/온수용 에너지원의 위치를 유지하되, 전세기적 탈탄소화 추세 및 기술개발 속도에 발맞춰 전기, 지역난방, 재생에너지가 주택의 난방/온수 공급에서 차지하는 중요도가 소폭 확대될 것이라 간주하였다. 이는 현재 발표된 정부 계획에서 도시가스를 이용한 난방/온수 공급의 탈탄소화 방향을 비롯한 구체적 정책 방안이 제시되지 않은 상황을 반영하는 것이다. 다만, 현재 도시가스 중심의 취사용 에너지 수요는 별도의 탈탄소화 정책 없이도 현재의 시장 흐름에 맞춰 주요국 수준까지 전력화가 확대될 것이라 가정하였다.

NZE는 APS 대비 다음과 같이 차별화된다. 첫째, 제로에너지건축물 의무화 제도의 적용범위는 APS와 동일하지만, 그린 리모델링을 통한 기축 건물의 에너지효율 향상은 확대된다. 둘째, 가정 부문의 주요 온실가스 배출원인 도시가스 소비가 대폭 축소된다. 현재 도시가스 등 화석연료 중심의 난방/온수용 에너지 수요는 전기, 재생에너지, 지역난방으로 본격 전환되며, 현재의 화석연료 기반 취사는 2050년까지 100% 전기로 전환된다.

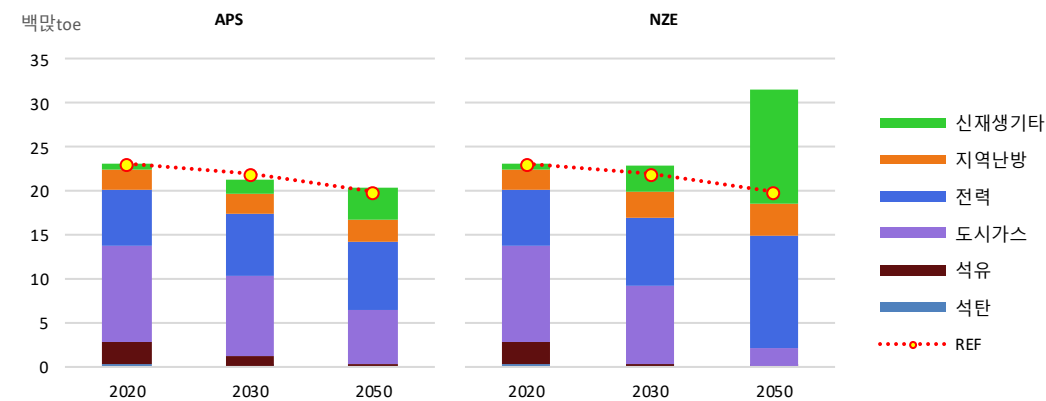
제로에너지건축물 의무화 및 신재생에너지 보급사업 확대에 힘입어 APS와 NZE에서는 재생에너지 자가발전의 비중도 대폭 확대될 것이라 가정하였다. 고효율기기 보급 확대 정책에 따른 가전기기 효율 향상은 APS와 NZE에 차등적으로 반영되었다. 스마트 에너지관리 및 행태 개선 강화는 REF 대비 APS와 NZE에서 전기 소비를 줄이는 영향을 미치는 것으로 반영하였다. 국내 수소 수급 여건과 지금까지 정부에서 발표한 수소 활용 계획을 고려한 결과, 가정 부문에서 수소의 직접 활용은 없다고 가정하였다.

□ 온실가스 감축 정책으로 2050년 가정 부문 에너지 수요는 기준 시나리오(REF) 대비 증가

APS와 NZE의 2050년 가정 부문 에너지 수요는 REF에 비해 도리어 증가할 것으로 분석된다. 그 이유는 가정 부문 에너지 수요에서 가장 높은 비중을 차지하는 난방/온수용 에너지 수요의 전환에서 찾을 수 있다. 온실가스 배출 감축 정책의 강화로 도시가스 등 화석연료 중심의 난방/온수용 에너지 수요가 전기, 지역난방, 재생에너지로 전환된다. 문제는 현 시점까지의 데이터를 이용하여 추정한 결과, 전기 및 재생에너지를 이용한 난방/온수 공급은 도시가스를 이

용한 난방/온수 공급에 비해 에너지효율이 현저히 낮다는 점이다⁴¹. ‘에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, 2021)’ 등 정부 계획에서 제시된 수준의 에너지효율 개선만으로는 난방/온수용 에너지 수요의 전환이 야기하는 절대적 수요 증가를 억제하기에는 부족할 것으로 판단된다. 이는 가정 부문의 에너지 수요를 줄이기 위해서는 전기 및 재생에너지를 이용한 난방/온수용 에너지 공급 기술의 효율 향상이 중요함을 시사한다.

그림 2.29 APS, NZE의 가정 부문 에너지 수요 변화



주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

REF 대비 APS 및 NZE의 에너지 수요 변화는 2030년과 2050년에 대해 시나리오별로 각기 다른 양상을 갖는다. APS에서 2030년까지는 난방/온수용 에너지 수요의 전환은 미미한 반면 에너지효율은 REF 대비 빠르게 향상된다. APS의 에너지 수요는 2020~2030년 동안 REF에 비해 빠르게 감소하여 2030년 21.4백만toe까지 하락한다. 이후 난방/온수용 에너지 수요의 전환이 확대되면서 에너지 수요는 2050년까지 연평균 0.2% 감소하는데 그쳐 2050년에는 20.5백만toe에 도달한다. NZE에서는 APS에 비해 난방/온수용 에너지 수요의 전환이 전망 기간 초기부터 확대됨에 따라, 가정 부문 에너지 수요는 2020년 이후 2030년까지 연평균 0.1% 감소에 그친다. 2030년 이후 난방/온수용 에너지 수요가 전기, 재생에너지, 지역난방 중심으로 본격적으로 전환되면서 에너지 수요는 연평균 1.6% 증가하여 2050년 31.5백만toe에 도달한다.

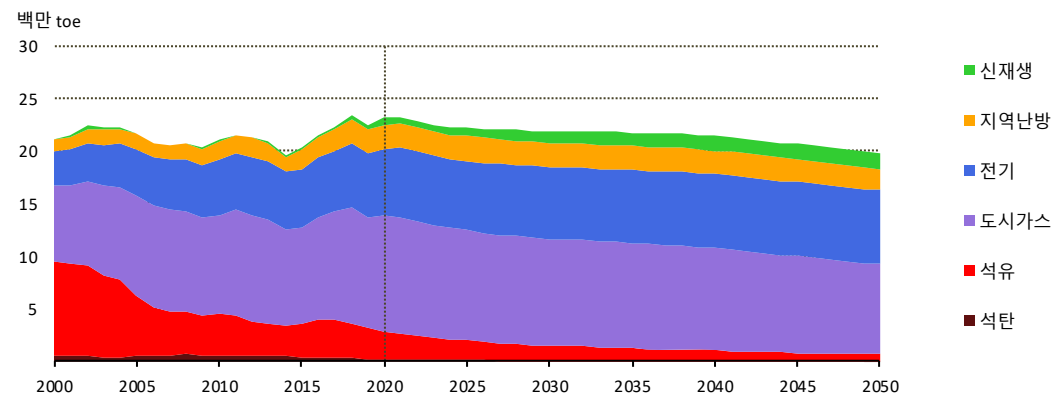
⁴¹ 1985년 심야전기제도 도입에 따라 보급이 시작된 주택용 전기 보일러는 낮은 에너지효율로 비판을 받았다. 한국전력은 2014년부터 고효율 히트펌프보일러에 한해 심야전력요금을 적용하는 방식으로 제도를 개선하였으나, 현재 설치된 대부분의 전기보일러는 히트펌프 기술이 적용되지 않은 단순 축열식 보일러로 추정된다. 보일러 보급과 가정 부문 에너지 소비 데이터를 이용하여 추정한 2020년 기준 전기 난방의 평균적 효율 수준은 도시가스 등 화석연료 난방보다 현저히 낮은 편이다.

3.3. 에너지 상품별 수요

□ 석탄과 석유 수요는 감소, 전기 및 재생에너지는 증가, 도시가스 및 지역난방은 현재 수준 유지

아파트의 비중이 확대되고 편리성에 대한 요구가 증가하면서 석탄과 석유 소비는 2000~2020년 각각 연평균 6.4%, 5.7% 감소한 반면 도시가스와 지역난방 소비는 각각 연평균 2.0%, 4.0% 증가하였다. 전망 기간 난방/온수용으로 사용되는 석탄과 석유가 대부분 도시가스 및 지역난방으로 대체되나, 해당 용도의 에너지 수요 자체가 감소하면서 도시가스와 지역난방 수요는 점진적으로 감소한다. 총인구 감소, 건물 에너지 성능 개선 등으로 전망 기간 난방/온수용 에너지 수요가 연평균 0.9% 감소하며, 신규 주택 건설 및 기존 주택의 노후 보일러 교체 수요 등으로 인해 난방/온수용 에너지의 에너지원 간 대체 추세는 유지될 것으로 예상된다.

그림 2.30 가정 부문 에너지 상품별 수요 추이 및 전망 (REF)



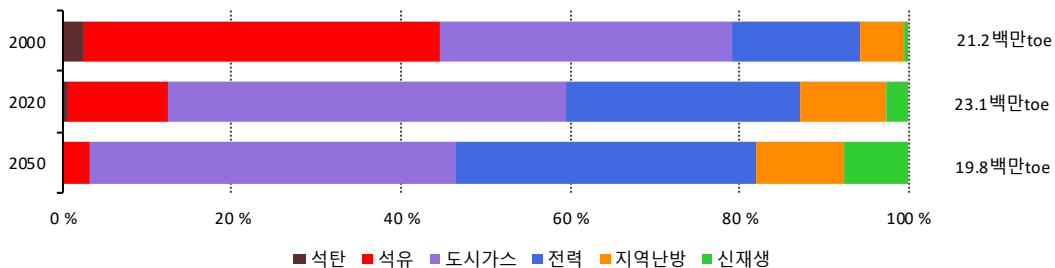
‘대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법 (환경부, 2021)’ 시행에 따라 신규 설치되는 가정용 보일러의 선택이 앞으로 제한될 예정이다. 동법 제35조에 따르면 대기관리권역에서 가정용 보일러를 제조 공급 또는 판매 시 환경부령으로 정하는 기준에 적합하다는 인증을 받아야 한다.⁴² 이 규제에 따라 석탄, 석유 등 온실가스를 많이 배출하는 에너지를 사용하는 신규 보일러의 설치가 제한되면서, 난방/온수용 에너지의 에너지 상품 간 대체 추세는 과거 전망에 비해 빨라질 것으로 예상된다. 그 결과, REF에서 2050년 석탄 수요는 거의 영(0)에 수렴하며, 석유 수요도 연평균 4.7% 감소하여 0.6백만toe까지 감소할 것으로 보인다. 2025년부터 신축되

⁴² 동법 시행령 [별표 1]에 따르면 대기관리권역은 서울특별시 및 주요 광역시 전 지역을 비롯하여 광역 지자체별 주요 지역을 포괄하며, [별표 5]에 따르면 대기관리권역에 설치되는 가정용 보일러는 도시가스, LPG, 등유만 사용할 수 있다. 현행 인증기준에 따르면 LPG, 등유를 사용하는 보일러는 주로 도시가스가 공급되지 않는 지역을 중심으로 설치가 가능하다.

는 공동주택의 제로에너지건축물 인증이 의무화되면서 주택의 에너지 효율이 향상됨에 따라, 전망 기간 도시가스 및 지역난방의 수요도 각각 연평균 0.8%, 0.4% 감소할 것으로 분석된다.

냉방 수요 증가 및 다양한 가전기기의 보급 확대로 전기 수요는 증가하나 증가율은 2000~2020년 연평균 3.5%에서 2020~2050년 연평균 0.3%로 둔화될 것으로 전망된다. 냉방 기기를 비롯한 가전기기의 보급 확대, 전기레인지, 공기청정기, 건조기 등 가전기기 다양화는 전기 수요 증가 요인이지만, 가전기기 효율 향상, 심야전기보일러 보급 중단, 주택용 태양광 보급 확대⁴³ 등으로 인해 증가세는 과거 대비 둔화할 것으로 예상된다. 재생에너지는 경제성이 꾸준히 개선되고 신재생에너지 보급 확대의 정책 기조가 유지되어 전망 기간 연평균 3.1% 증가할 것으로 예상된다. 제로에너지건축물 인증을 받기 위해서는 에너지 자립율이 20% 이상이 되어야 하므로, 제로에너지건축물 의무화제도의 시행은 자가용 신재생에너지 보급을 확대시킨다. 재생에너지 보급은 설치 여건, 설비 특성 및 잠재량을 합리적으로 고려할 때 태양광 및 연료전지를 중심으로 확대되어 열보다는 주로 전기 수요를 대체할 것으로 판단된다.

그림 2.31 기준 시나리오(REF)의 가정 부문 에너지 상품별 수요 비중



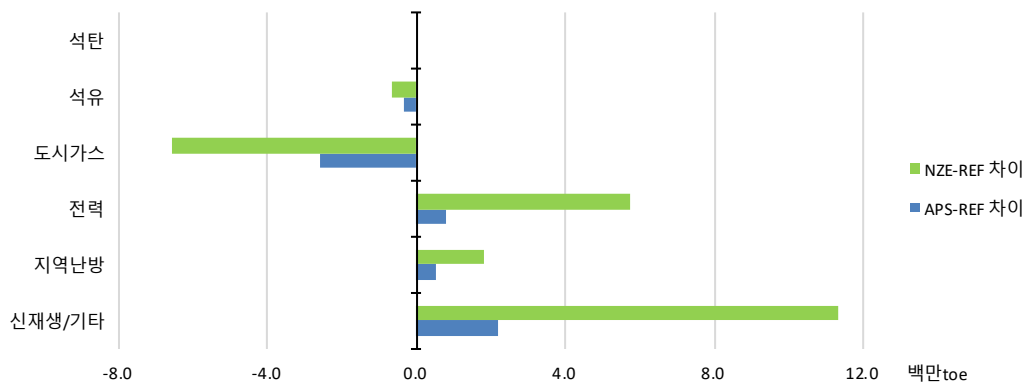
전망 기간 가정 부문 에너지 수요는 감소하는 가운데 전기 및 재생에너지 수요는 증가하고 도시가스 및 지역난방 수요는 보합세를 유지함에 따라 도시가스, 전기, 지역난방, 재생에너지의 비중이 확대된다. 석탄과 석유의 대체 현상이 지속되면서 2050년 석탄과 석유 소비의 비중은 5% 미만까지 감소하고, 지역난방은 2020년대 초반 석유 수요를 앞지르면서 그 비중이 2050년 10.5%까지 증가할 것으로 예상된다. 도시가스는 가정 부문의 에너지 수요에서 가장 큰 비중을 차지하나, 그 비중이 2020년대 초반부터 하락하여 2050년 43.4%까지 감소할 전망이다. 재생에너지 수요의 증가 속도는 기저효과로 인해 과거보다 낮은 연평균 3.1% 수준이 되겠지만, 2030년대 중반 석유 수요를 앞지르면서 그 비중이 2050년 7.6%까지 증가할 전망이다.

⁴³ 에너지 통계 상 전기 수요는 한국전력의 전기 판매량을 의미하므로 가정용 태양광 확대는 전기 수요 둔화 요인으로 작용한다.

□ 온실가스 배출 감축 정책으로 화석연료 비중은 감소하고 전기, 재생에너지 수요는 빠르게 증가

APS나 NZE에서는 난방/온수 및 취사용 에너지 수요에 있어 에너지 상품간 대체가 가속화되면서 가정 부문에서 석탄, 석유, 도시가스 등 화석연료가 에너지 수요에서 차지하는 비중이 감소한다. 화석연료 비중은 2020년 59.6%에서 2050년 APS 31.0%, NZE 6.4%까지 감소한다. APS는 화석연료가 전기, 지역난방, 재생에너지로 소폭 전환되는 시나리오로, 화석연료 비중의 감소폭이 NZE에 비해 적은 편이다. 그러나 NZE는 오늘날 화석연료에 의존하는 모든 용도의 에너지소비가 거의 대부분 전기, 지역난방, 재생에너지로 전환되는 시나리오로, 화석연료의 비중이 대폭 감소한다.

그림 2.32 2050년 REF 대비 시나리오별 가정 부문 에너지 상품 수요 차이



주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

시나리오 분석 결과에서 주목할 만한 변화는 전기와 재생에너지 수요의 빠른 증가이다. 난방/온수 및 취사용 에너지 수요를 중심으로 전력화가 확대되면서 전기 수요는 REF 대비 빠르게 증가한다. 전망 기간 전기 수요는 APS에서 연평균 0.7%, NZE에서 연평균 2.3% 증가한다. APS에서 전기 수요는 2040년대 초반 도시가스 수요를 앞지르면서, 그 비중이 2050년 38% 이상까지 증가하는 반면, NZE에서는 그 시점이 2030년대 초반으로 앞당겨져 전기 수요 비중이 2050년 40% 이상까지 증가한다. 난방/온수 및 취사용 에너지 수요에서 전기가 차지하는 비중은 2020년 4.6%에서 2050년 APS 15% 이상, NZE 35% 이상까지 상승한다.

재생에너지 수요는 자가 발전과 난방/온수용을 중심으로 REF 대비 빠르게 증가한다. 전망 기간 재생에너지 수요는 APS에서 연평균 6.2%, NZE에서 연평균 10.7% 증가한다. APS에서 재생에너지 수요는 2040년대 초반 지역난방을 앞질러 2050년 그 비중이 18%까지 증가하는 등, 전기, 도시가스 뒤를 이어 세 번째로 높을 것으로 보인다. NZE에서는 2050년 재생에너지 수요

비중이 40%를 상회하여, 재생에너지는 가정 부문 에너지 소비에서 차지하는 비중이 가장 높은 에너지 상품으로 자리매김할 것으로 전망된다. 재생에너지 수요가 APS에 비해 NZE에서 더 빠르게 증가하는 이유는 2050년 난방/온수용 에너지 수요에서 재생에너지가 차지하는 비중이 APS에서 12% 이상, NZE에서 33% 이상까지 상승하기 때문이다.

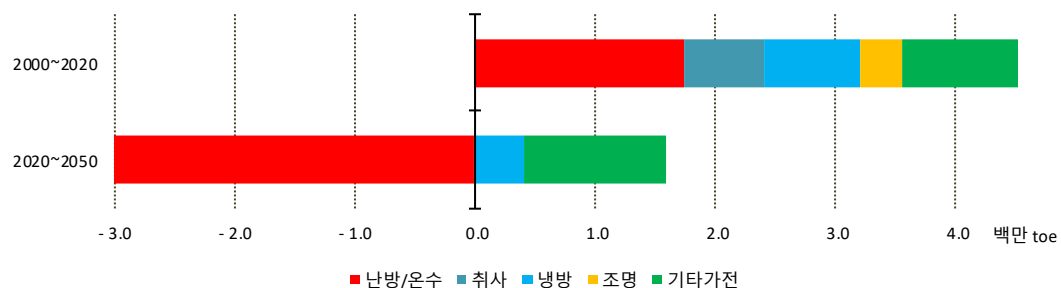
한편, 난방/취사용 에너지의 탈탄소 전환에 따라 지역난방 수요도 증가할 전망이다. 전망 기간 동안 지역난방 수요는 APS에서 연평균 0.3%, NZE에서 연평균 1.7% 증가할 것으로 분석되었다. APS에 비해 NZE에서 지역난방 수요가 더 빠르게 증가하는 이유는 도시가스 난방의 대체가 더 확대되기 때문이다. APS와 NZE에서 지역난방이 가정 부문 에너지 수요에서 차지하는 비중은 2020년 15.4%에서 2050년에는 12% 이상까지 증가한다.

3.4. 용도별 에너지 수요

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

가정 부문 에너지 수요에서 가장 큰 비중을 차지하는 난방/온수용 에너지 수요는 주거 형태의 변화와 주택 단열 및 난방 기술의 발전으로 전망 기간 연평균 0.9% 감소할 것으로 예상된다. 난방/온수용 에너지의 비중은 2000년 가정 부문 에너지 소비의 약 75% 이상을 차지하였으나, 2020년에는 그 비중이 약 65%까지 감소한 데 이어 2050년에는 60% 미만까지 감소할 것으로 전망된다. 취사용 에너지는 인구 감소 및 소형 가구 증가에 따른 취사 행태 변화 등으로 전망 기간 연평균 1.7% 감소하며, 가정 부문 에너지 소비에서 차지하는 비중도 2020년 8.9%에서 2050년 6.0%까지 감소한다.

그림 2.33 가정 부문 용도별 에너지 수요 비중 변화 (REF)



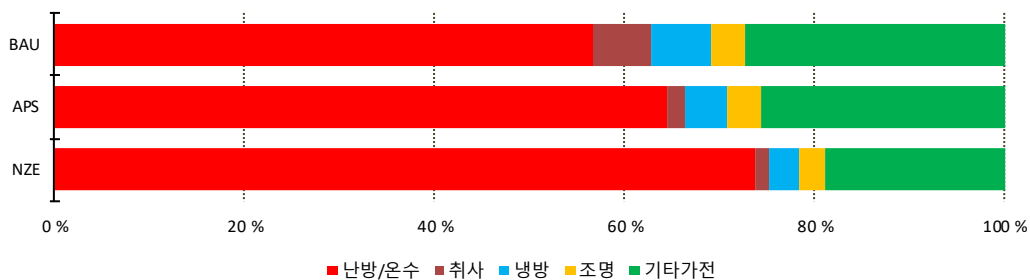
냉방용 및 기타 가전기기용 전기 수요는 2000년 가정 부문 에너지 소비의 13.9%를 차지하였으나, 2020년에는 그 비중이 22.5%까지 증가하였다. 냉방용 전기 수요는 잦은 이상 폭염 발

생, 가구 소형화에 따른 소형 냉방기기 보급 증가, 쾌적한 주거 환경에 대한 추구 등으로 전망 기간 연평균 1.4% 증가할 것으로 전망된다. 이에 따라 냉방용 전기 수요가 가정 부문 에너지 소비에서 차지하는 비중도 2020년 3.8%에서 2050년 6% 이상까지 상승한다. 기타 가전기기용 전기 수요는 다양한 가전기기의 보급 확대 및 전력화 현상에 힘입어 전망 기간 연평균 0.8% 증가하며, 그 비중도 2020년 18.7%에서 2050년 27% 이상까지 증가한다. 반면 조명용 전기 수요는 고효율 조명기기로의 대체 가속화에 따라 전망 기간 0.5% 감소하며, 가정 부문 에너지 수요에서 차지하는 비중은 크게 달라지지 않을 것으로 예상된다.

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

APS와 NZE의 난방도일은 전망 기간 REF에 비해 전반적으로 감소한다. 난방도일의 감소에도 불구하고 APS와 NZE의 난방/온수용 에너지 수요는 전망 기간 에너지원이 전환됨에 따라 REF에 비해 증가한다. APS에서 난방/온수용 에너지 수요는 전망 기간 연평균 0.5% 감소하는 등 REF에 비해 더디게 감소하여, 2050년 그 비중이 약 65% 수준에 도달한다. NZE에서 난방/온수용 에너지 수요는 전망 기간 연평균 0.9% 증가하여 2050년 그 비중이 70% 이상까지 상승한다. 하지만 APS와 NZE의 냉방용 전기 수요는 REF에 비해 감소한다. 이는 REF와 비교할 때 냉방기기의 효율이 더 높은 수준까지 향상되며 스마트 에너지관리시스템의 보급도 더 확대되기 때문이다. 정책 시나리오에서 냉방용 전기 수요는 전망 기간 연평균 0.1% 증가하는데 그쳐 2050년 그 비중이 APS 4.5%, NZE 3.3%까지 축소된다.

그림 2.34 가정 부문 2050년 용도별 에너지 수요 비중의 시나리오별 비교



기타 가전기기용 전기 수요는 효율 향상 및 스마트 에너지관리시스템의 보급 확대에 힘입어 전망 기간 연평균 증가율이 0.5%에 그치는 등 REF에 비해 더디게 상승한다. 그 결과 2050년 기타 가전기기용 전기 수요가 가정 부문 에너지 수요에서 차지하는 비중은 APS에서 약 25%, NZE에서 약 19%까지 축소된다. 취사용 에너지 수요는 전기레인지의 효율이 빠르게 향상되면

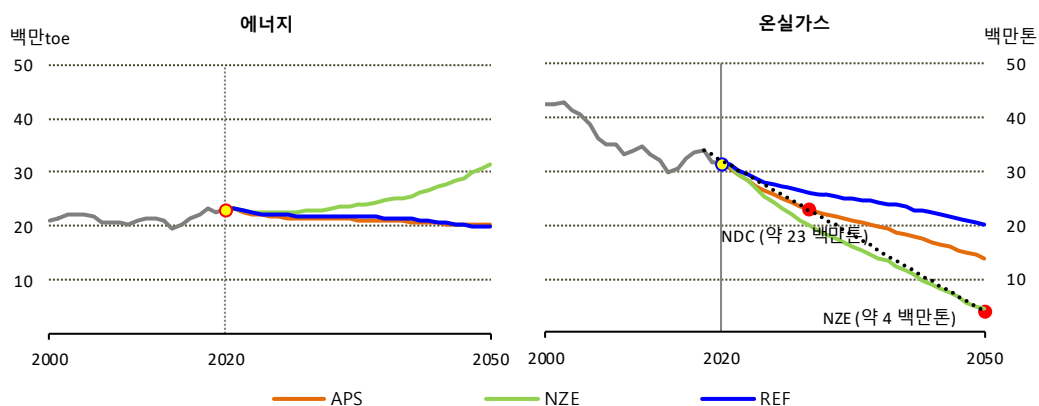
서 그 감소폭이 REF에 비해 확대된다. 2050년 취사용 에너지 수요가 가정 부문 에너지 수요에서 차지하는 비중은 APS에서는 약 2%, NZE에서는 약 1.5%까지 하락한다. 조명용 에너지 수요는 효율 향상이 포화수준에 근접함에 따라 REF와 크게 차이를 보이지 않는다. 다만 기저효과로 인해 2050년 조명용 에너지 수요가 가정 부문 에너지 수요에서 차지하는 비중은 APS에서 3.5%, NZE에서 2.6% 수준까지 하락한다.

3.5. 가정 부문 온실가스 배출

□ 온실가스 배출 감축 정책으로 에너지 수요는 REF 대비 증가하나 온실가스 배출량은 감소

가정 부문 온실가스 배출량은 2000년 이후 2020년까지 증감을 반복하였으나 전반적으로는 연평균 1.5% 감소하여 2020년 31.6백만톤-CO₂eq에 도달하였다.⁴⁴ 가정 부문 에너지 소비는 연평균 0.4% 증가하였음에도 불구하고 온실가스 배출량이 감소한 이유는 석탄, 석유의 소비가 도시가스, 지역난방 등으로 대체되고 전력화에 따라 전기 소비가 증가하였기 때문이다.

그림 2.35 가정 부문 시나리오별 에너지 수요 및 온실가스 배출량



주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

REF에서 온실가스 배출량은 2020년 이후 2030년까지 연평균 1.9% 감소하여 26.0백만톤-CO₂eq까지 하락하고, 2030년 이후 2050년 동안에는 감소율이 연평균 1.2%로 완화되어 2050

⁴⁴ 가정 부문 온실가스 배출량은 직접 배출량을 의미하므로, 전기 및 지역난방 소비에 따른 간접 배출량은 포함하지 않는다. 이 배출량은 국가 온실가스 인벤토리의 가정 부문 배출량과는 산정 방식 차이로 인해 약간 다르나 전반적인 경향은 동일하다. 참고로 국가 온실가스 인벤토리의 2019년 가정 부문 배출량(에너지)은 31.6백만톤-CO₂eq으로, 모형에서 계산된 2019년 가정 부문 온실가스 배출량인 31.8백만톤-CO₂eq과 큰 차이를 보이지 않는다.

년에는 20.2백만톤-CO₂eq에 도달한다. APS와 NZE의 에너지 수요는 REF 대비 높은 편이나, 온실가스 배출량은 REF보다 더 빠른 속도로 감소한다. 이는 에너지효율의 향상과 더불어 온실가스를 배출하지 않는 재생에너지와 온실가스를 간접 배출하는 전기 및 지역난방 소비의 비중이 높아지기 때문이다. 에너지효율 향상과 소폭의 난방/온수용 에너지원 전환을 상정하는 APS에서 온실가스 배출량은 2020~2030년 연평균 3.1% 감소하여 2030년 23.0백만톤-CO₂eq까지 감소한다. APS의 온실가스 배출량은 2030년 이후 2050년까지 연평균 2.5% 감소하여 13.8백만톤-CO₂eq에 도달한다. 에너지효율 향상과 대폭의 난방/온수용 에너지원 전환을 상정하는 NZE에서 온실가스 배출량은 2020~2030년 연평균 4.5% 감소하여 2030년 20.0백만톤-CO₂eq에 도달, 2030~2050년 연평균 7.4% 감소하여 2050년 4.3백만톤-CO₂eq까지 하락한다.

□ 가정 부문 탄소중립 목표 달성을 위해서는 난방/온수용 설비의 조기 전환이 중요

APS 분석 결과는 현재 발표된 정부 계획에 제시된 온실가스 감축 정책의 수단과 강도만으로는 가정 부문의 2030년 및 2050년 온실가스 감축목표를 달성하기 어려움을 보여준다. ‘2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)’과 ‘2050 탄소중립 시나리오 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’에 따르면 건물 부문의 감축 목표는 직접 배출량 기준으로 2018년 배출량 대비 2030년까지는 32.8%, 2050년까지는 88.1% 감축하는 것이다. 이 비중을 그대로 적용하면 가정 부문 온실가스 배출량은 2030년에는 22.8백만톤-CO₂eq, 2050년에는 4.0백만톤-CO₂eq까지 감소해야 한다. APS에서 전망된 온실가스 배출량은 2030년 감축 목표는 약간 상회하는 수준이지만 2050년 감축 목표를 달성하기에는 불가능해 보인다.

REF에서 2050년 온실가스 배출량의 91.5%는 도시가스 수요에서 유발되며, APS에서는 2050년 온실가스 배출량의 93.9%가 도시가스 수요에서 유발된다. 이는 근본적으로 도시가스 수요를 무탄소 에너지원으로 전환시키지 않는 한 가정 부문의 탄소중립 목표 달성이 불가능함을 의미한다. REF와 APS에서 도시가스는 주로 난방/온수용 에너지 수요로 활용되기 때문에, 도시가스 난방/온수 설비를 전기, 신재생에너지 또는 지역난방 등 무탄소 에너지를 사용하는 난방/온수 설비로 전환시키는 것이 중요하다. 한번 설치된 난방/온수 설비를 다른 설비로 교체하는 데에는 상당한 시간이 소요되기 때문에, 무탄소 에너지 기반의 난방/온수 설비를 확대하기 위한 정책 마련과 관련 기술 개발이 시급함을 시사한다.

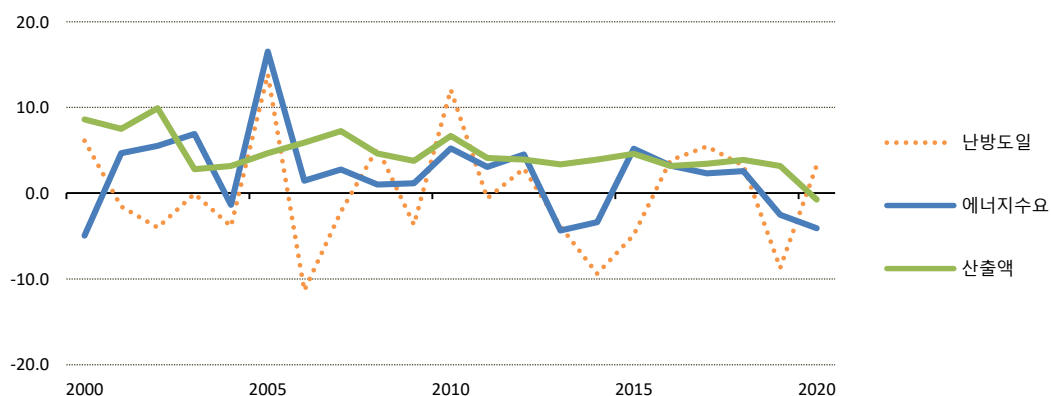
4. 서비스 부문

4.1. 에너지 소비 동향

□ 서비스 부문은 소비 트렌드 변화로 에너지 소비 증가세가 둔화되고 2019~2020년에 감소⁴⁵

서비스 부문 에너지 소비는 2000년대에 도·소매와 음식·숙박을 중심으로 한 서비스 업종의 양호한 성장에 힘입어 빠르게 증가해왔으나, 2010년대에는 산출액 증가세 둔화와 가구 구조 및 소비 트렌드 변화, 코로나19의 영향 등으로 연평균 0.6%로 증가에 그쳤다. 2004년부터 시행된 주 5일제 근무로 인해 주말 여가활동 지출 증가로 음식·숙박에서의 에너지 소비가 점차 증가하였고, 2000년대 대형마트를 중심으로 한 오프라인 유통의 활성화로 도·소매에서의 소비도 빠르게 증가하면서 2000년대의 서비스 부문 산출액은 연평균 5.6%, 에너지 소비는 4.2% 증가하였다. 2010년 이후로는 1인가구 증가에 따른 '혼밥', '간편식' 수요 증가와 직장 내 회식 문화 변화로 외식에 대한 수요가 줄고, 대형마트 중심의 오프라인 유통은 편의점 등 소규모 유통 구조로 이동하거나 온라인 유통이 활성화되면서 산출액이 점차 둔화되었다. 이로 인해 도·소매나 음식·숙박에서의 에너지 소비 증가세도 크게 둔화되었다. 최근에는 노령인구 증가에 따른 보건·사회복지와 인공지능, 빅데이터, ICT 분야 성장에 따른 정보통신, 온라인 쇼핑 확대 및 물류 시스템의 고도화 따른 운수·보관에서의 에너지 소비가 빠르게 증가하고 있다.

그림 2.36 서비스 부문 에너지 수요 및 산출액 추이



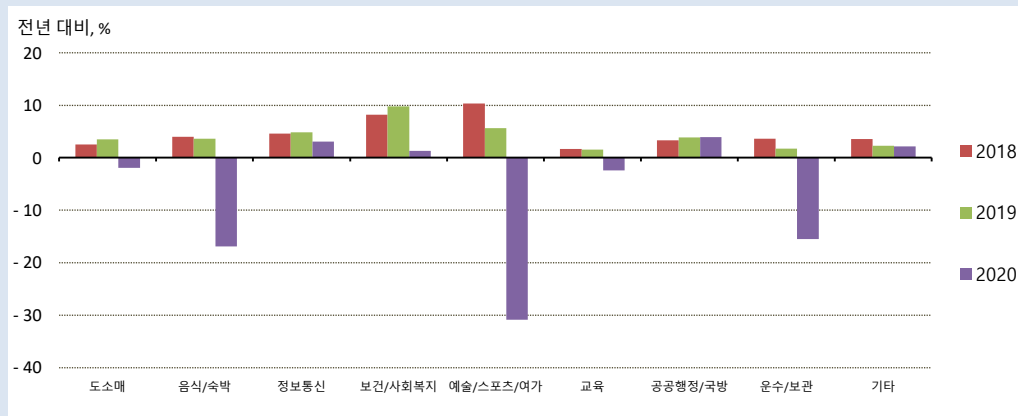
⁴⁵ 서비스 부문은 민간서비스와 공공서비스를 모두 포함하며, 에너지밸런스의 상업 부문과 공공 부문을 의미함

한편, 서비스 부문의 성장세가 둔화되면서 산출액 변화가 에너지 소비 변화에 미치는 영향은 낮아진 반면, 급격한 기온 변화가 에너지 소비 변화에 미치는 영향이 커졌다. 2006년 난방도일이 11.3% 급감했음에도 에너지 소비는 0.2% 감소에 그치는 등 2000년대는 기온의 영향에도 불구하고 전조한 산출액 증가에 힘입어 높은 에너지 소비 증가세를 보였다. 그러나 2010년대 이후로는 산출액 증가세가 둔화되고 기온 변화가 에너지 소비에 미치는 영향력이 높아졌는데, 2014년에는 냉방도일과 난방도일이 각각 66.7%, 9.4% 감소하면서 산출액 증가에도 불구하고 에너지 소비는 2.8% 감소하였다. 또한, 2019년에는 산출액이 3.2% 증가하였지만, 겨울철 온화한 날씨로 난방도일이 9.8% 감소하고 극심한 폭염을 겪었던 2018년에 대한 기저효과로 냉방도일이 42.4%나 급감하면서 에너지 소비는 2.5% 감소하였다. 2020년 소비는 난방도일의 증가에도 불구하고 코로나19라는 특수한 상황으로 인해 서비스업종이 직접적인 타격을 받으면서 대면 서비스 업종을 중심으로 전년 대비 4.1% 감소하였다.

글상자 2.5 코로나19로 인한 서비스업 업종의 생산 및 에너지 소비 감소

2020년은 코로나19로 인해 대면 활동이 크게 줄면서 대면 업종을 중심으로 부가가치와 에너지 소비가 크게 감소하였다. 코로나 이전까지만 해도 서비스업의 부가가치는 대부분의 업종이 증가 추세에 있었으나, 2020년에 코로나19로 사회적 거리두기가 강화되고 언택트 소비가 늘면서 도·소매, 음식·숙박, 예술·스포츠·여가, 운수·보관, 교육서비스 업종을 중심으로 부가가치가 전년 대비 1.1% 감소하였다.

그림 2.37 업종별 부가가치 증가율 추이



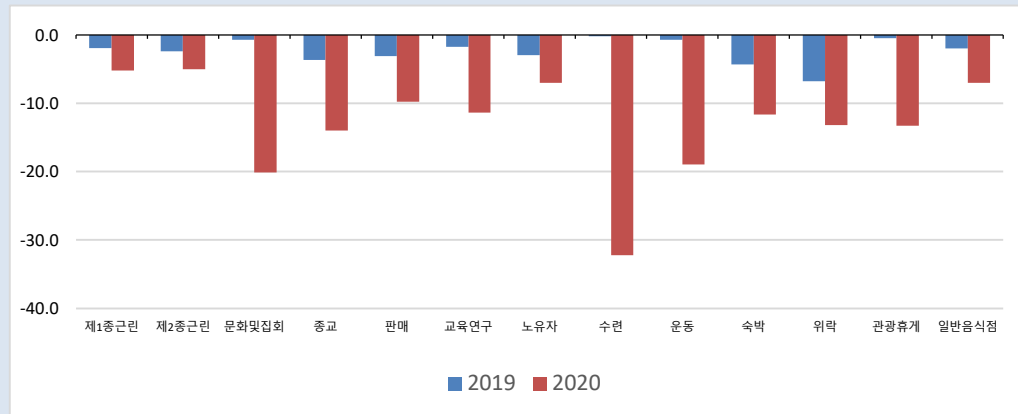
자료: 한국은행

코로나19 여파로 가장 빠르고 큰 영향을 받은 업종은 예술·스포츠·여가 업종으로 전년 대비 30.9% 감소하였다. 여행 업종은 국내에 코로나 확진자가 확산되기도 전에 해외에서의 감염으로 관련 국가로의 출입국이 막히면서 해외 여행이 불가능하게 되었고, 이로 인해 부가가치가 전년 대비 82.8%나 감소하면서

1995년 이전 수준으로 돌아갔다. 다수의 사람이 모이는 공연 및 스포츠 경기 관람의 경우 대부분 일정이 아예 취소되었고, 국내외 주요 관광 사업이나 문화 축제 등의 행사도 취소되었다. 숙박업은 관광 및 행사 폐쇄로 직접적인 타격을 받으며 전년 대비 30.4% 감소하였고, 음식업은 배달이 빠르게 늘었지만, 영업시간 축소와 인원제한 등의 영향으로 전년 대비 14.2% 감소하였다. 도·소매업은 오프라인 매장에서 매출이 빠르게 감소하였지만, 온라인 시장이 더욱 빠르게 확장되면서 전년 대비 1.9% 감소에 그쳤다. 운수·보관업은 항공 운송업과 육상운송업이 각각 54.9%, 17.8% 감소한 반면, 온라인 거래 활성화로 우편 및 택배업은 7.1% 증가하였다.

서비스 업종의 부가가치 감소는 에너지 소비 감소로 이어졌다. 2019년은 기온 효과로 에너지 소비가 2.5% 감소하였지만, 2020년에는 난방도일이 3.3% 증가했음에도 불구하고 전년 대비 4.1% 감소하였다. 에너지 소비 감소는 부가가치 감소가 컸던 대면 업종에 집중되었는데, 업종에 따라서 부가가치 감소와 에너지 소비 감소의 탄력성이 다르게 나타났다.⁴⁶ 예를 들어, 교육서비스 업종의 경우 부가가치 감소율은 -2.4%로 크지 않았던 반면, 에너지 소비 감소(교육연구)는 10% 이상 감소하며 탄력성이 높게 나타났다. 그에 반해 음식이나 숙박 업종은 부가가치가 각각 30.4%, 14.2% 감소한 반면, 에너지 소비는 각각 11.6, 7.0% 감소로 탄력성이 낮게 나타났다. 이러한 현상은 서비스 업종마다 비대면 서비스 가능 여부에 따라 결과가 달라지는 것으로 판단된다. 교육 업종의 경우 온라인 수업으로의 전환으로 학교나 학원 건물에서의 에너지 소비가 감소했다라도 부가가치는 그보다 덜 감소할 수 있었다. 그러나 식당이나 숙박 업종은 이용객이 줄더라도 영업을 유지하려면 지속적으로 에너지를 소비해야 했기에 부가가치 감소 대비 에너지 소비량 감소가 적었던 것으로 판단된다. 이와 비슷하게 사람들이 많이 모이는 문화 및 집회와 종교시설이 포함되고 감염 가능성이 높다고 여겨지는 수련 및 운동 시설에서는 공연 취소나 휴업하는 사례가 많아 에너지 소비가 크게 감소한 것으로 나타났다.

그림 2.38 코로나19 전후의 주요 서비스 부문 건물 에너지 소비 변화



주: 업종 구분은 건축물대장의 용도 기준에 따르며, 부가가치의 업종 구분과 일치하지 않음

자료: 그린투게더(<https://www.greentogether.go.kr/sta/stat-data.do>)

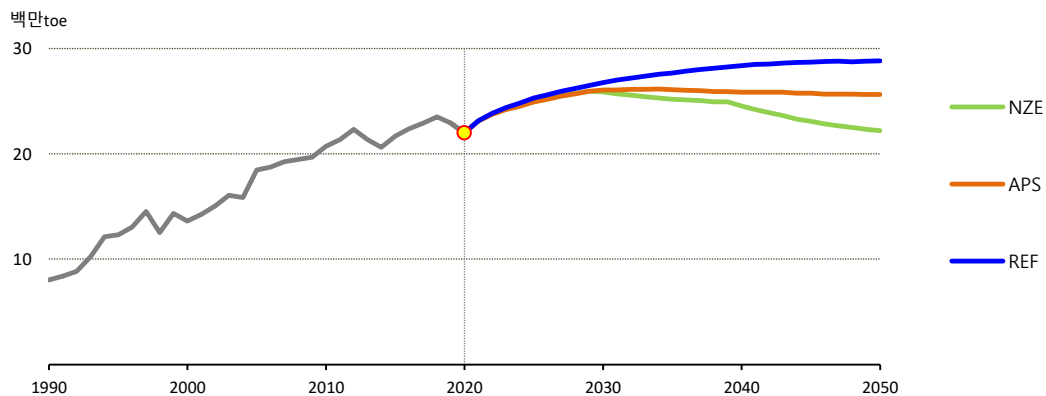
⁴⁶ 이하 세부 업종의 에너지 소비는 국토교통부가 제공하는 건물에너지 소비 통계 (국토교통부, 2021)를 이용하여 분석하였다.

4.2. 에너지 수요 전망

□ 서비스 부문 수요는 2020~2050년에 연평균 0.9% 증가로 2050년에 28.8백만toe에 이를 전망

서비스 부문 에너지 수요는 2019~2020년의 감소로 2020년에 22.0백만toe로 낮아졌다가 2021년에 빠르게 회복된 후로는 에너지 수요 증가세가 크게 둔화되면서 산출액 성장 대비 에너지 수요 증가세가 크게 둔화될 전망이다. 전망 기간 서비스업의 산출액은 연평균 2.0% 성장하지만 에너지 수요는 연평균 0.9% 증가에 그치면서 서비스 부문의 에너지원단위가 연평균 1.1% 개선되는 것으로 나타난다. 이는 서비스 부문에서의 성장이 주로 에너지원단위가 상대적으로 낮은 보건·사회복지서비스업과 정보통신업 등에 집중되고 에너지원단위가 높았던 서비스 업종에서도 에너지원단위 개선이 빠르게 이루어지기 때문이다. 1인 가구 증가와 인구 고령화, 결혼 및 출산 감소에 따른 인구 감소와 학령인구 감소 등으로 소비자의 구성이 바뀌면서 소비 트렌드에도 장기적으로 많은 변화가 예상되는데, 특히 코로나19로 인해 발생한 소비 패턴 변화가 코로나19 이후에도 일부 유지되면서 에너지 소비 패턴에도 지속적인 변화가 나타날 것으로 전망된다.

그림 2.39 전망 기간 시나리오별 에너지 수요 변화



1인 가구의 증가와 최근 코로나19의 경험으로 외식 및 음주 문화에 많은 변화를 주었는데, 이것이 에너지 소비 둔화로 이어질 전망이다. 과거에는 음식점에 모여 식사하는 것이 주를 이루었다면, 코로나19를 겪은 뒤에는 음식을 포장하거나 배달을 통해서 간편하게 집에서 식사를 즐기는 것이 일상이 되었다. 또한, 외식 문화의 변화는 음주 문화에도 변화를 주었다. 과거에는 음식점이나 주점에 모여 다같이 술을 마시는 모습이 일상이었다면, 요즘은 집에서 홀로 술을 마시는 경우가 빠르게 늘고 있다. 이러한 새로운 소비 트렌드는 상업 시설 내 소비자들이

머무는 시간이 줄어들게 하고, 그로 인해 부가가치 증가 대비 에너지 소비 증가가 둔화되는 결과로 이어지게 된다. 인구 구조 변화 및 인구 감소도 서비스 부문 에너지 소비 변화에 주된 요인으로 작용할 전망이다. 인구 고령화는 보건·사회복지 부문의 부가가치 및 에너지 소비 증가를 견인하고, 학령인구 감소와 교육 서비스의 온라인화는 교육 부문의 에너지 소비 둔화를 야기할 수 있다. 인공지능, 빅데이터, 첨단 로봇 기술의 발달과 코로나19 여파로 인한 비대면 서비스 문화가 보편화 되는 것은 서비스 부문 에너지 소비의 전력화에 기여할 전망이다. 특히, 서비스 업종 내 다양한 분야에서 로봇과 인공지능이 인력을 대체하는 사례가 늘면서 기기의 전기 소비가 꾸준히 증가할 전망이다.

글상자 2.6 서비스 부문 시나리오 설정

‘2021 장기 에너지 전망’에서는 기준 시나리오(REF), 정책계획 시나리오(APS), 탄소중립 시나리오(NZE)로 분석하는데, 서비스 부문의 정부 정책의 강화 수준과 온실가스 감축량 등에 따라 시나리오를 구분할 수 있다. 서비스 부문에서의 정부의 온실가스 감축 방안은 ‘2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안(2050 탄소중립위원회, 2021a)’, ‘2050 탄소중립 시나리오(2050 탄소중립위원회, 2021b)’, ‘국토교통 탄소중립 로드맵(국토교통부, 2021)’에서 제시된 대로, 크게 신축 건축물에 대한 제로에너지 건축과 기존 건축물에 대한 그린 리모델링, BEMS를 통한 에너지 소비 절감, 신재생에너지 보급 확대 및 화석연료의 전력화로 나눌 수 있다.

REF에서는 기존에 확정된 2030년까지의 제로에너지 건축물 의무화가 순차적으로 시행되는 것을 전제로 한다. 또한 2020년부터 시행 중인 공공건축물에 대한 그린 리모델링 사업도 지속적으로 확대 추진되는 것으로 가정하고 있다.

APS에서는 ‘2050 탄소중립 시나리오’, ‘국토교통 탄소중립 로드맵’에서 제시된 제로에너지건축물에 대한 목표를 반영한다. ‘2050 탄소중립 시나리오’에서는 2050년까지 신축 건물에 대해서 제로에너지건축 1등급 달성 및 기존건물에 대한 그린 리모델링 에너지효율등급 1+ 이상 달성 등을 목표로 설정하였다. ‘국토교통 탄소중립 로드맵’에서는 공공 건물에 대해서는 2030년까지 연면적 1,000m² 이상의 건물에 제로에너지건축 3등급, 2050년까지는 전체 건물에 제로에너지건축 1등급을 달성하는 것을 세부 추진 방안으로 설정하였다. 이러한 강력한 목표 설정에도 불구하고 적용 대상 범위가 소형 건물(500m² 미만)과 기타 건물까지 확대 적용되어야 실질적인 감축 효과가 나타날 수 있다는 점에서 온실가스 감축 달성에는 여전히 한계가 존재한다. 또한, 건물 부문의 획기적인 온실가스 감축을 위해서는 기존 건물을 대상으로 한 그린 리모델링 사업이 매우 중요한 수단으로 여겨지는데, 공공 부문에 대해서는 다양한 지원과 의무 제도 도입이 가능하지만, 민간 부문에 적용하기에는 아직 해결해야 할 다양한 문제들이 있어 APS에서는 그린 리모델링 사업이 민간 부문까지 빠르게 확대되기는 어렵다고 판단하였다.

이에 반해 NZE 시나리오에서는 건물 부문의 탄소중립 목표달성을 위해 제로에너지 건축과 그린 리모델링 사업이 민간 부문까지도 빠르게 확대되고, 제로에너지 건축물 인증 범위가 소형 건물과 기타 건물까지도 확대 적용된다. 여기에 설비 및 기기 등의 에너지 효율이 극대화되고 기존의 취사와 냉·난방에서 쓰이던 화석연료의 소비가 신재생에너지나 전기로 전환된다고 설정하였다.

□ **APS와 NZE 시나리오에서는 REF 시나리오 대비 에너지 수요 증가세가 둔화될 전망**

APS와 NZE에서의 서비스 부문 에너지 수요는 REF 대비 단열 성능 개선과 효율 개선을 통해 2030년 이후로 에너지 수요가 감소하는 모습을 보일 전망이다. 제로에너지건축물 의무화 제도의 영향으로 2025년 이후로 민간 부문에서도 제로에너지건축물이 의무가 되고(글상자 2.7 참조) 2030년 이후에는 적용 범위가 500m² 이상 민간건축물에까지 확장되면서 에너지 수요 감축이 본격화될 전망이다. APS에서는 신축 건물에 대한 제로에너지건축물 규제가 강화되면서 에너지 수요가 줄어들지만, 소형 건물(500m² 미만)에 대한 규제와 기존 건물에 민간 부문 그린 리모델링 사업으로 확대되는데 시간이 지연되면서 에너지 수요 감축이 더디게 일어날 전망이다. 온실가스 저감을 위한 화석연료의 전력화도 일부 진행되나 서비스 업종의 특성상 대규모 조리를 하는 경우가 많고 조리에 필요한 충분한 화력을 얻기 위해 LPG나 도시가스 수요가 쉽게 사라지기 어렵다는 점과 대형 건물 등에서 GHP를 이용한 냉난방 공조설비가 완전히 대체되기 어렵다는 점에서 빠른 전환에는 어려움이 있을 것으로 판단된다.

글상자 2.7 제로에너지건축물(ZEB) 제도

제로에너지 건축물이란 단열성능 극대화를 통해 필요한 에너지부하를 최소화하고 신재생에너지를 활용하여 에너지 소비를 최소화하는 녹색건축물을 의미한다. 제로에너지 건축물의 인증 기준은 에너지효율 등급이 1++ 이상이면서 에너지 자립률 20%(5등급) 이상이고 여기에 건물에너지관리시스템(BEMS)이나 원격검침 전자식 계량기가 설치되어야 한다. 에너지 자립률 등급에 따라 1~5등급까지 제로에너지 건축물 인증을 부여하게 된다.

표 2.3 제로에너지 건축물 인증 기준

건축물 에너지효율 등급	연간 단위면적당 1 차에너지 소요량(kWh/m ² ·년)	
	주거용 건물	주거용 이외의 건물
1+++	60 미만	80 미만
1++	60 이상 90 미만	80 이상 140 미만
1+	90 이상 120 미만	140 이상 200 미만
제로에너지건축물 인증 등급	에너지자립률	
1 등급	100% 이상	
2 등급	80% 이상 100% 미만	
3 등급	60% 이상 80% 미만	
4 등급	40% 이상 60% 미만	
5 등급	20% 이상 40% 미만	

제로에너지 건축물 제도는 '제로에너지빌딩 조기 활성화 방안 (관계부처 합동, 2014)'을 시작으로 2017년 1월 20일부터 제로에너지건축물 인증제를 시행하였고, 2020년에는 1,000m² 이상 공공 건축물을 대상으로 의무화하기 시작하였다. 이후로는 2023년에 500m² 이상 공공 건축물, 2025년에 1,000m² 이상 민간건축물과 30세대 이상의 공동주택, 2030년에 500m² 이상 민간 건축물에 의무화를 적용할 예정이다 (국토교통부, 2021).

반면, NZE 시나리오에서는 소형 건물과 민간 부문 신축 건물에서의 제로에너지건축물 적용이 빨라지고, 정부의 획기적인 금융 지원과 혜택 등으로 그린 리모델링 사업이 민간 부문에 까지 빠르게 확대되면서 에너지 수요 감축이 빨라질 전망이다. 온실가스 감축을 위해 화석연료 수요가 전기화로 빠르게 전환하고, 건물 부문 내 자가소비용 신재생에너지 공급량도 빠르게 늘어날 전망이다. 건물에너지관리시스템(BEMS)이 대부분의 건물에 적용되면서 전체 에너지 부하 관리를 통해 발전 부문에서 효율적인 전기 생산이 가능하도록 지원하고, 친환경 건축 자재 사용이 의무화되면서 제로에너지건축과 그린 리모델링에서 전 주기적인 탄소중립 달성이 가능할 것으로 판단된다.

4.3. 업종별 에너지 수요

□ 도·소매와 음식·숙박이 에너지 수요 증가를 견인하나 정보통신이 가장 빠르게 증가

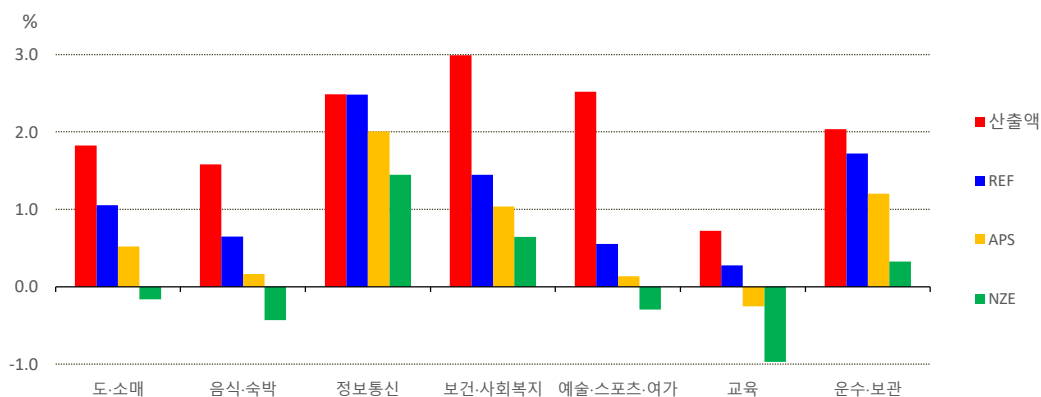
서비스 부문에서는 다양한 업종 구성과 업종마다의 개별적인 특성으로 인해 에너지 수요 변화도 업종마다 다른 양상을 보인다. 전망 기간에는 앞서 언급한대로 인구 및 가구 구조의 변화, 코로나19 이후의 소비 트렌드 변화, 무인화·자동화 등으로 인해 업종별로 에너지 수요 패턴이 다르게 나타날 것으로 분석된다. REF 시나리오에서는 서비스 부문에서 에너지 소비 비중이 큰 도·소매와 음식·숙박에서 증가세가 둔화되기는 하나 에너지 소비 증가의 기여도는 여전히 가장 클 것으로 전망된다. 그러나 전망 기간 성장성이 높은 정보통신과 보건·사회복지를 비롯하여, 업무 자동화를 기반으로 에너지의존도가 높아질 운수·보관 업종에서의 에너지 수요가 빠르게 증가할 전망이다.

도·소매업은 코로나19 이후로 온라인 시장 경험의 증장년층까지 확대되면서 제품 판매만을 위한 오프라인 매장은 축소하고 있으나, 고객 경험을 위한 오프라인 공간과 온라인 배송 서비스를 위한 물류 공간이 합쳐진 매장으로 변화하고 있다. 고객 경험을 위해 가상 체험 등 다양한 첨단 기술이 접목되고, 매장 내 무인 시스템 도입 등으로 도·소매 업종에서의 에너지 소비는

완만하게 증가할 전망이다. 음식·숙박업은 코로나19와 1인가구 증가 등으로 배달이나 포장, 혹은 간편조리식을 이용하여 집에서 음식을 먹는 빈도가 늘면서 식당 내 사람들이 음식을 먹고 즐기는 공간에 대한 수요가 줄어들고 있다. 이로 인해 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 요식업 부문에서의 로봇 활용 및 그에 따른 전기 수요는 빠르게 증가할 전망이다.

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. 정보통신업은 산출액이 전망 기간 연평균 2.5% 증가로 빠르게 증가할 전망이며, 높은 에너지의존도로 인해 에너지 수요 증가율도 산출액 증가세와 비슷한 수준을 보일 전망이다. 보건·사회복지업은 인구 고령화에 따른 의료 및 복지 수요 급증으로 서비스 부문 내에서 산출액이 연평균 3.0%로 가장 빠르게 증가하지만 에너지원단위가 높지 않은 업종의 특성 상 부가가치 증가에 비해서는 에너지 수요 증가세가 높지 않을 것으로 전망된다. 그러나 의료용 로봇이나 헬스케어 로봇이 새롭게 등장하면서 다른 업종과 마찬가지로 기기에 대한 전기 소비는 지속적으로 증가할 전망이다. 운수·보관업에서는 온라인 쇼핑의 보편화로 인해 온라인 도·소매업이 발달하면서 물류센터 등 운수보관업종의 에너지 소비가 빠르게 증가하고 있으며, 미래에는 물류 시스템의 무인 자동화로 로봇이 인력을 대체하며 기기 중심으로 에너지 수요가 빠르게 증가할 전망이다.

그림 2.40 2020~2050년 업종별 산출액과 시나리오별 에너지 수요의 연평균 증가율



교육서비스에서는 학령인구(6~21세)가 1980년 1,440만 명을 정점으로 2020년에 789만 명으로 빠르게 감소하였고, 최근 코로나19의 영향 등으로 결혼 및 출생 건수도 현저하게 줄어

들고 있어 전망 기간에도 빠른 감소세를 보일 전망이다. 장래인구추계(2021)에 따르면 2050년에는 481만 명으로 2020년 대비 약 60% 수준으로 감소할 전망이다, 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 수요는 정체될 전망이다.

APS와 NZE에서는 REF와 비교해서 모든 업종에서 에너지 수요가 둔화되거나 줄어든 전망이다. 서비스 부문에서는 업종과 관계없이 대형건물에서부터 에너지 감축 및 효율 개선이 우선적으로 발생하면서 업종에 따른 편차가 크지 않을 전망이다. 그럼에도 미래에 더욱 발전할 것으로 여겨지는 정보통신, 보건·사회복지, 운수·보관 업종은 NZE에서도 2020~2050년에 연평균 에너지 수요가 소폭 증가하는 모습을 보이나, 그 외 다른 업종에서는 2050년 에너지 수요가 2020년보다는 대부분 낮아질 전망이다.

4.4. 에너지 상품별 수요

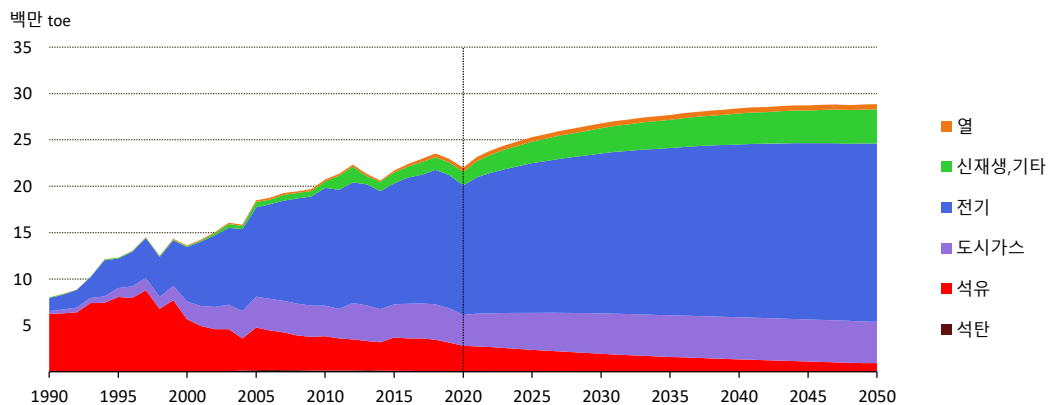
□ 전기는 모든 용도에서 빠르게 증가하는 반면 석유는 지속적으로 감소

REF에서 전기 수요는 전망 기간 연평균 1.1% 증가하면서 약 5.2백만toe 증가하여 서비스 부문 에너지 수요 증가의 75.8% 정도를 차지하고 서비스 부문 에너지 수요에서의 비중도 2020년 63.7%에서 2050년 66.6%로 약 3%포인트 높아질 전망이다. 전기 소비는 정보통신 및 인공지능 기술 발전과 서비스 로봇 보급의 확대로 서비스 건물의 첨단화, 무인화 및 자동화가 이루어지고 인력을 대체하는 서비스 로봇이 확산되면서 빠르게 증가할 전망이다. 또한, 전기가 주로 사용되던 냉방과 기기 용도 외에 난방/온수, 취사에서도 일부 전력화가 계속 진행되면서 연료 대체에 의한 수요 증가도 계속될 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. 이러한 추세는 전망 기간에도 이어질 것으로 예상되는데, 특히 탄소중립 목표 달성을 위해 건물 부문의 전력화가 빨라질 전망이다.

가스 수요는 석유 대비 높은 가격 경쟁력과 친환경성으로 석유 수요 감소를 가스가 일부 대체하면서 2020~2050년 사이 연평균 1.0% 증가하여 1.2백만toe 증가할 전망이다. 가스 가격은 최근 공급 및 지정학적 이슈로 빠르게 상승하였지만, 장기적으로 대규모 투자를 통한 생산 증대 및 셰일가스 도입 비중 증가 등으로 도입가격이 하향 안정세에 들어서면서 수요 증가를 일부 견인할 전망이다. 여기에 대형건물을 중심으로 가스를 이용한 GHP나 흡수식 냉온수기 등

의 냉·난방 수요가 증가하면서 서비스 부문 에너지 수요에서 가스가 차지하는 비중은 2020년 15.0%에서 2050년 15.5%로 소폭 상승할 전망이다.

그림 2.41 서비스 부문 에너지 상품별 수요 추이 및 전망



신재생에너지는 정부의 신재생에너지 보급 확대 정책에 힘입어 연평균 3.2%로 에너지원 중 가장 빠르게 증가할 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 제도⁴⁷ 시행 및 의무 대상과 공급 의무 비율이 확대됨에 따라 2010년대 이후로 빠르게 확산되었다. 전망 기간에도 공공 부문에서는 신재생에너지 설치의무화제도의 의무비율 상향 조정으로⁴⁸ 과거부터 이어져 온 신재생에너지 수요 증가가 지속될 전망이다. 여기에 탄소중립 달성을 위해 건물 부문에서 추진 중에 있는 제로에너지건축물 의무화 제도로 에너지자립률을 20% 이상 달성하기 위한 신재생에너지 보급이 빠르게 확대되면서 전망 기간 건물 부문의 신재생에너지 보급 확대를 견인할 전망이다.

과거 주요 난방 에너지로 사용되던 석유는 가스나 전기로 빠르게 대체되었으며, 전망 기간에도 연평균 -3.6%로 지속적인 감소세를 보일 전망이다. 석유는 1990년대 서비스 부문의 주력 에너지원이었으나 가스와 전기 같은 네트워크 에너지의 보급 확대로 에너지 소비 비중이 2000년부터 전기보다 낮아졌고, 2012년에는 가스보다도 낮아지게 되었다. 전망 기간에도 가스 대비 낮은 가격경쟁력과 온실가스 배출 저감 노력에 따른 화석연료 대체로 석탄과 함께 빠

⁴⁷ 공공기관이 신축·증축 또는 개축하는 연면적 1,000 m² 이상의 건축물에 대하여 예상 에너지 사용량의 공급 의무비율 이상을 신재생에너지로 공급하여야 한다.

⁴⁸ 2020~2021년에 30%, 이후 2년마다 2%포인트씩 의무비율이 상승하여 2030년 이후로는 40%로 상승 예정이다.

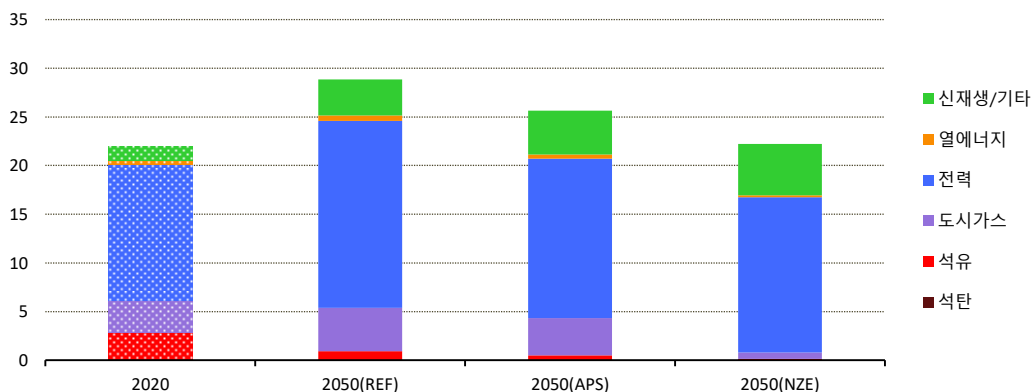
른 감소세를 이어갈 전망이다. 이로 인해 2050년에는 석유 소비 비중이 3.2%까지 낮아질 전망이다.

□ APS와 NZE에서는 화석연료의 수요가 줄고 전기와 신재생에너지 수요는 증가

APS에서는 REF 대비 총 수요가 줄면서 신재생에너지를 제외한 모든 에너지원의 수요도 줄어들 전망이다. 2050년 기준 REF 대비 석탄과 석유 수요는 절반 수준으로 줄어들고 전기와 가스는 약 14% 정도 수요가 줄어들 것으로 전망된다. APS에서는 제로에너지건축 등 건물 단열 및 에너지 효율 개선으로 에너지 수요 자체가 줄어들고 석유 소비가 가스로 대체되면서 석유 소비가 큰 폭으로 감소할 전망이다. 전기 수요는 일부 화석연료가 전기로 전환되지만, 그보다는 냉난방에서 효율 개선 등으로 줄어드는 것과 신재생에너지 보급 확대에 의한 전기 수요 감소가 더 클 것으로 전망된다. 가스 소비는 음식숙박업에서의 취사용 수요와 대형 건물의 냉난방용 GHP 공조장치 사용이 이어지면서 소비 감소가 크지 않을 전망이다. 신재생에너지는 연평균 3.8%로 빠르게 증가할 전망인데, 특히 건물 부문 자가용 태양광 설비가 보급되면서 일부 전기 수요를 대체할 것으로 판단된다.

NZE에서는 제로에너지건축과 그린 리모델링 사업이 공공 부문과 민간 부문에 걸쳐 빠르게 확산되면서 에너지 수요가 APS 대비로도 크게 줄고, 가스와 열에너지 수요가 전기와 신재생에너지로 대체되면서 각각 REF 대비 85%, 65% 정도 줄어들 전망이다. 전기 수요는 연평균 0.4% 증가에 그치는데, 이는 건물에너지 효율 개선으로 서비스 부문의 총 수요가 줄고 전기 수요의 일부를 자가용 신재생에너지가 차지하기 때문이다. 신재생에너지 수요는 연평균 4.4%로 매우 빠르게 증가할 전망이다.

그림 2.42 서비스 부문 시나리오 및 에너지 상품별 수요 전망 비교

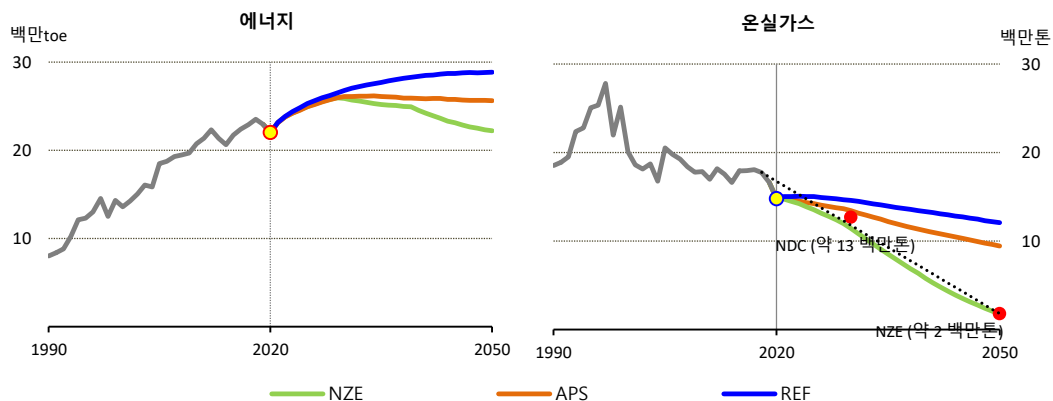


4.5. 서비스 부문 온실가스 배출

□ 서비스 부문 온실가스 배출⁴⁹은 화석연료 수요 감소 등으로 지속적으로 감소

서비스 부문은 과거 2000년대 이후부터 지속적으로 전력화가 이루어졌기 때문에 온실가스 직접 배출량은 지속적으로 감소해왔으며, 다른 부문에 비해서 배출량도 적은 것으로 나타난다. 서비스 부문 온실가스는 석유 소비가 주를 이루던 1990년대에 27백만톤-CO₂까지 배출되었다가 연료 대체로 인해 2000년대부터 빠르게 감소하였다. 최근에는 기온 효과와 코로나19의 영향으로 2년에 걸쳐 빠르게 감소하는 모습을 보였다. 전망 기간에는 에너지 수요 증가에도 불구하고 전기화로 인한 화석연료 수요가 지속적으로 줄어들면서 온실가스 배출이 완만하게 줄어들 것으로 전망된다. 2020년에 14.8백만톤-CO₂에서 전망 초기에는 코로나19의 기저 효과로 에너지 수요가 빠르게 늘면서 배출량도 잠시 늘어나는 모습을 보이겠지만, 이후 에너지 수요 증가세가 둔화되면서 온실가스 배출량도 완만하게 감소하여 2050년에 12.1백만톤-CO₂으로 감소할 전망이다. 2030년에는 온실가스 배출량이 코로나19의 영향을 받은 2020년 수준에 머물 전망이나, 2030년 이후 본격적인 온실가스 감축 노력에 힘입어 연평균 0.9%씩 감소할 전망이다.

그림 2.43 서비스 부문 시나리오별 에너지 수요 및 온실가스 배출량 비교



□ APS와 NZE에서는 화석연료 수요가 줄면서 온실가스 배출이 빠르게 줄어들 전망

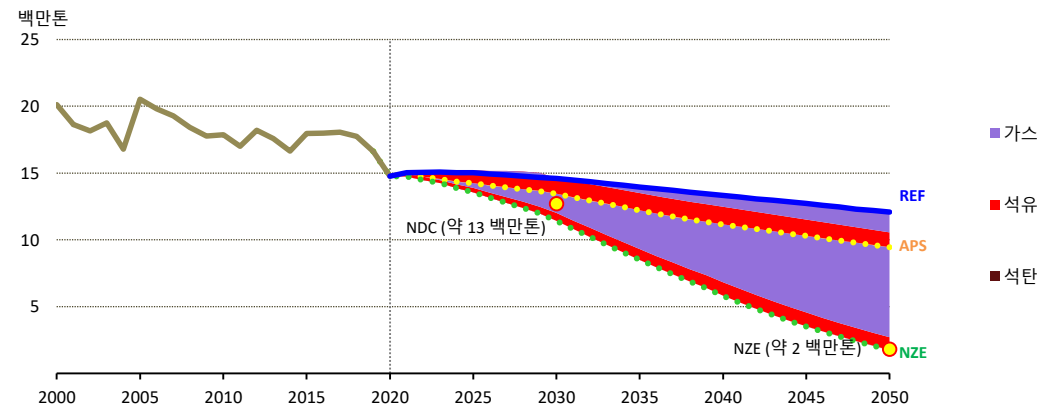
온실가스 감축을 위한 APS 및 NZE에서는 연료 대체 및 전력화가 빨라지며 온실가스 배출 감소도 빨라질 전망이다. APS에서는 석유 및 가스 수요가 REF 대비 각각 40%, 14% 정도 줄어

⁴⁹ 본 보고서의 온실가스 배출은 직접 배출을 기준으로 서술한 것이다.

들면서 2050년에 9.4백만톤-CO₂ 배출로 REF 대비 2.6백만톤-CO₂(-21.8%) 줄어든다. 그러나 APS에서의 결과가 NDC 목표 달성과는 약 0.8백만톤-CO₂ 정도 차이 나고, NZE 목표에는 약 7.6백만톤-CO₂ 정도 추가 감축이 필요한 것으로 분석된다.⁵⁰ 이는 석유 수요는 큰 폭으로 줄어들었지만, 가스 수요를 줄이기에는 기술적, 제도적 한계가 있기 때문이다.

그러나 NZE에서는 취사용과 냉난방용으로 사용되던 가스 수요마저 전기나 신재생에너지로 대체되면서 온실가스 배출이 획기적으로 감소할 전망이다. NZE에서는 석유 및 가스 수요가 REF 대비 각각 85% 정도씩 감소하면서 2050년에 1.8백만톤-CO₂ 배출로 탄소중립 시나리오 목표 수준에 도달할 전망이다. 또한 2020년대부터 온실가스 감축을 위한 연료 전환이 빨라지면서 2030년에는 NDC 목표보다도 배출량이 더 적을 전망이다. NZE에서는 가스 수요 감축을 통한 온실가스 배출 감소가 두드러질 전망이다. 이를 위해 음식점 등에서도 취사용으로 전기를 활용한 인덕션 등을 사용하고, 대형 건물에서 GHP 설비의 전기화 등이 필요하다. 가정 부문에서는 주택의 주요 난방 방식이 도시가스 보일러를 이용한 바닥 난방 방식인 반면, 서비스 부문은 주로 히터를 이용한 공기 난방 방식이기 때문에 전력화가 빠르게 진행되었고, 전망 기간에도 다른 부문에 비해서는 원활한 대체가 가능할 것으로 판단된다. 그럼에도 기존 설비를 대체하고 또 전기를 이용한 난방에 높은 비용이 요구되기 때문에 효율 극대화를 위한 기술 개발과 함께 관련 정책이 뒷받침되어야 한다.

그림 2.44 서비스 부문 시나리오별 및 에너지 상품별 온실가스 감축 기여도



⁵⁰ NDC와 탄소중립 시나리오 목표는 모두 건물 부문을 기준으로 설정되어 있다. 서비스 부문 NDC 및 탄소중립 목표는 건물 부문 온실가스 배출 실적에서 서비스 부문이 차지하는 비중과 감축 가능 정도 등을 고려하여 가정 부문과 분배하였다. 그 결과 건물 부문 2030년 NDC 목표인 35백만톤-CO₂에서 12.7백만톤-CO₂을, 2050 탄소중립 시나리오 목표인 6.2백만톤-CO₂에서 1.8백만톤-CO₂을 서비스 부문의 감축 목표로 설정하였다.

5. 발전 부문

5.1. 전기 수요

□ 코로나19로 인한 두 해 연속 전기 소비 감소

코로나19가 에너지 소비 측면에 미친 대표적인 영향은 전기 판매의 연속적인 감소이다.⁵¹ 2019년 전기 판매는 1998년 IMF 외환위기 이후 처음으로 전년 대비 1.1% 감소하였다. 2019년의 경제성장률은 전년도 2.9%에서 2.2%로 하락하고 냉·난방도일도 전년 대비 급격하게 감소한 것이 2019년 전기 판매 감소의 주요 원인으로 분석된다. 총 전기 소비가 2018년 558.1 TWh에서 2019년 554 TWh로 0.7% 감소한 것으로 볼 때, 앞서 언급한 경제 및 기온 효과 외에도 재생에너지 중심의 자가소비용 발전이 늘어난 것도 전기 판매 감소의 원인으로 판단된다. 2020년은 코로나19 확산에 따른 생산 활동 감소로 2019년에 이어 다시 전기 판매가 2.2% 감소한 것으로 나타났다. 2010년대 들어 경제성장과 전력화 속도가 둔화되면서 전기 판매 증가율도 이전에 비해 많이 낮아졌다고는 하지만, 2010~2018년 전기 판매의 연평균 증가율이 2.4% 수준이었던 점에 비하면 2018년 이후 두 해 연속의 전기 판매 감소는 1980년 에너지밸런스 작성 이후 처음으로 발생한 극적인 현상이다.

코로나19가 심각하게 확산되면서 우리나라도 2020년 대부분의 에너지 소비가 감소하였지만, 소비 부문에 따라 변화는 상이하게 나타났다. 전기 판매의 경우도, 생산활동 감소와 코로나19 방역의 유지로 산업 부문에서 4.0%, 서비스 부문에서 2.5% 감소했다. 하지만, 재택 근무와 이동 제약으로 주택 거주 시간이 늘어나면서 냉·난방도일의 감소에도 불구하고 가정 부문 전기 판매는 전년 대비 5.1% 증가했다. 코로나19의 영향은 전기 소비량만이 아니라 전기 소비 패턴에도 변화를 가져온 것으로 분석된다 (김수일, 2021). 산업 부문에서는 코로나19의 확산이 시간별 소비 패턴에 별다른 영향을 미치지 않고 부하를 하향 이동시켜 전기 판매량의 감소를 초래했다. 반면, 가정 부문은 재택 근무 증가로 출근 준비 시간이 단축되면서 오전 9시 이전 전기 소비가 감소하지만 원격 근무로 인해 9시 이후 근무 시간대의 전기 소비는 증가했다. 가정 부문은 외식 같은 저녁 실외 활동이 감소하면서 이른 저녁 시간대의 전기 소비도 증가하는 등 전기 소비 패턴의 변화가 눈에 띄게 발생했다. 서비스 부문은 업종마다 전기 소비 패턴의 변화가 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 교육서비스나 공연업 등은 소비 패턴의 변화가 크게

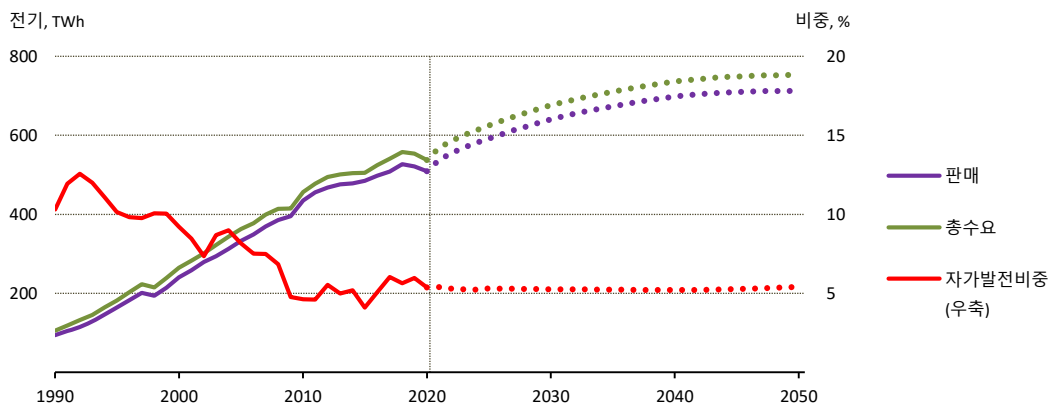
⁵¹ 본 보고서는 전기 판매와 전기 소비(수요)를 구분하고 있다. 전기 판매는 한국전력통계 및 에너지밸런스에 표시되는 전기 판매량이다. 전기 소비(수요)는 자가소비를 위한 발전을 포함한 실제 소비량 추정치로 에너지경제연구원에서 구축한 개정 에너지밸런스의 자료를 이용한다.

나타났지만, 음식·숙박, 도소매는 상대적으로 변화가 적었다. 하지만, 코로나19로 인한 전기 소비 패턴의 변화는 단기적 충격에 그칠 것으로 분석되었다.

□ 기준 시나리오(REF) 전기 수요 전망

코로나19의 늪에서 빠르게 벗어나고 경제가 회복하면서 우리나라 전기 수요는 2020년 537.8 TWh에서 연평균 1.1%의 속도로 증가하여 2050년에는 753 TWh 수준에 도달할 전망이다(기준 시나리오, REF). 기존 전망에서 항상 나타나는 현상이지만, ‘2021 장기 에너지 전망’에서도 역시 전기가 최종소비 에너지 중에서는 재생에너지를 제외하고 가장 빠르게 증가한다. 최종소비 부문의 에너지 총수요와 비슷하게 전기 수요도 최근의 감소에서 반등하여 2025년까지 빠르게 증가할 것으로 보이며, 이후 수요 증가율은 점차 완만히 감소한다. 전기 수요의 빠른 증가와 함께 가정용 태양광을 비롯해서 자가발전 설비도 빠르게 확대되면서 송배전망을 통한 전기 판매는 2020년 508.8 TWh에서, 2030년 640 TWh, 2050년 712 TWh로 증가한다.

그림 2.45 기준 시나리오(REF) 전기 수요 및 자가발전 전망

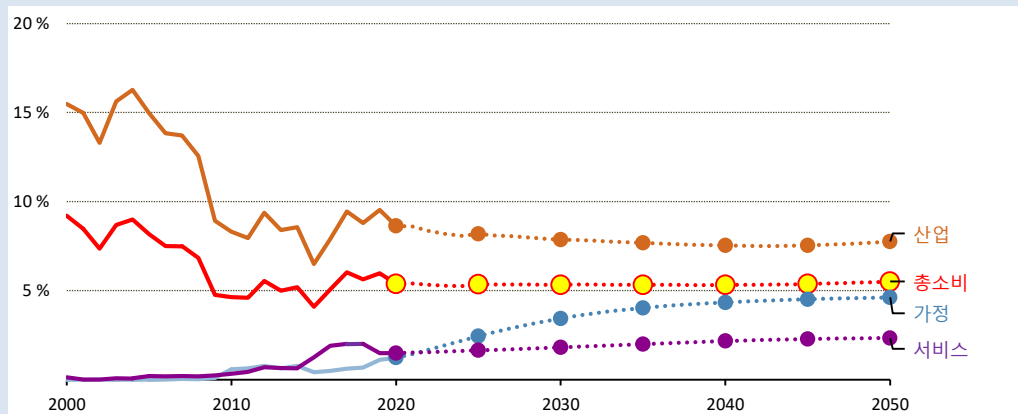


우리나라 경제는 2021년에 코로나19 이전 수준을 회복하고 이후 꾸준히 성장하면서 산업과 서비스 부문의 전기 수요가 증가한다. REF의 전기 수요 증가는 산업 부문이 주도한다. 산업 부문에서는 2020~2050년 사이 전기 수요 증가 216 TWh의 58%인 125 TWh가 증가한다. 이어 서비스 부문에서 63 TWh가 증가할 것으로 전망된다. 반면, 전기차가 빠른 보급으로 수송용 전기 수요가 2020년 3.3 TWh에서 2050년에는 20.2 TWh로 가장 빠르게 증가한다. 가정 부문은 코로나19 확산에도 불구하고 재택 근무의 증가로 2020년 전기 소비가 감소하지 않았고 향후에도 가전기기의 종류와 사용이 늘어나면서 전기 수요가 지속적으로 증가할 것으로 전망되지만, 인구 및 가구 감소로 인하여 증가 속도는 연평균 0.8%에 그칠 것으로 예상된다.

글상자 2.8 자가발전 전기 소비

현행 에너지밸런스의 전기 소비는 한국전력의 전력 판매 통계를 기반으로 작성된다. 한국전력의 전기 판매는 전기 사업자를 비롯하여 상용자가 발전 중에서 계약을 통해 한국전력이 구입한 전기를 송배전망을 거쳐 일반 소비자에게 판매한 양이며, 소비처에 위치한 계량기를 통해 집계된다. 전기 판매는 그동안 소비자의 전기 소비를 나타내는 대표적인 통계로 사용되었다. 하지만, 최근 자가 태양광 설비나 대규모 사업장의 자가발전 설비가 늘어나면서 실제 전기 소비와 전기 판매 사이의 괴리가 무시할 수 없을 정도로 악화되고 있다. 자가발전을 정확히 측정하기 위해서는 자가발전 설비에 계량기를 부착해야 하나, 이는 대형 사업장의 자가 설비를 제외하고는 현실적으로 어려운 일이다. 따라서, 대부분의 경우 설치된 설비의 용량과 표본 조사된 이용률을 이용하여 자가발전 설비의 발전량을 추정하고, 이를 전기 판매와 합산하여 전기 소비를 계산한다. 에너지경제연구원의 개정 에너지밸런스는 전력거래소 상용자가통계, 한국에너지공단 신재생에너지통계 및 집단에너지통계 등을 이용하여 우리나라의 자가발전 및 소비를 집계하고 있다. 우리나라 자가발전 규모는 2010년 21.1 TWh 수준이며, 2019년에는 총 전기 소비 554.0TWh 중 6.0%인 33.1TWh가 자가발전 설비에서 생산되었다.

그림 2.46 기준 시나리오(REF)의 부문별 자가 발전 비중 추이



주: 총소비는 최종소비 부문의 전기 소비와 기타 미분류의 전기 소비의 합계이며, 발전 소내소비 및 양수투입은 제외
자료: 에너지경제연구원

전기 총소비 기준 자가발전 비중은 2010년까지 꾸준히 감소하다가 2010년대 들어 5% 내외 수준을 유지하고 있다. 이는 전기 소비의 대부분을 차지하는 산업 부문의 자가발전 비중 추세에 의해 결정된다. 산업 부문은 낮은 전기요금과 대용량의 전기 소비로 인해 자가발전량이 꾸준히 증가했음에도 불구하고 자가발전 비중은 빠르게 하락하였다.

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 늘어나는데, 특히 가정 부문은 자가태양광을 중심으로 자가발전 비중이 향후에 빠르게 증가할 전망이다.

□ 탄소중립과 전기 수요

에너지 소비 측면에서 ‘2030 NDC 상향안’과 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 핵심은 최종소비 부문의 효율 향상과 전력화, 그리고 수소 경제로의 전환에 있다. 전기의 편리성과 생산 및 소비의 디지털화로 REF에서도 전기 수요는 빠르게 증가하지만, 온실가스 감축 정책이 본격적으로 추진되면 미래 전기 수요는 급격히 증가할 전망이다. 정책계획 시나리오(APS)에서는 전기 수요가 2020년 537.8 TWh에서 2030년 약 758 TWh, 2050년은 937 TWh로 증가한다. 한편, 온실가스 감축 목표 달성을 위해 최종소비 부문을 최대한 전력화 하는 탄소중립 시나리오(NZE)에서는 전기 수요가 2030년 약 787 TWh, 2050년 984 TWh로 늘어난다.

APS에서 전기 수요 증가의 약 45%인 183 TWh가 산업 부문에서 증가할 것으로 분석된다. 산업 부문의 전기 수요 증가는 효율 향상으로 인한 전기 소비 감소보다도 가열용을 중심으로 한 전력화의 영향이 크기 때문에 발생한다. 단일 업종으로는 철강업의 전기 수요가 가장 크게 증가하는데, 이는 조강에서의 전기로 생산 비중 증가와 함께 수소환원제철의 도입으로 수소환원제철 공정의 전기 소비가 크게 증가하기 때문이다. 생산 공정의 조기 전력화를 시도하는 NZE에서는 APS보다 산업 부문의 전기 수요가 2030년까지는 더 빠르게 늘어나지만, 이후 효율 향상 효과가 더 크게 발생하면서 2050년 NZE의 산업 부문 전기 수요는 APS보다 낮아질 것으로 예상된다. 가열용 화석연료에 대한 의존도가 높은 화학 및 정유 그리고 철강업이 조기 전력화의 여지가 있는 것으로 분석되고 있다. ‘2020 상향 NDC’를 달성하기 위한 산업 부문의 조기 전력화는 정책 조합의 선택과 일정을 비롯하여 온실가스 배출 수준에 큰 영향을 미친다.

표 2.4 시나리오별 전기 수요 전망 (TWh)

	2020*	REF		APS		NZE	
		2030	2050	2030	2050	2030	2050
총수요	537.8	675.9	753.3	758.3	937.1	786.9	983.6
산업	294.1	368.8	406.5	370.6	476.9	406.2	463.6
기계, 수송장비	106.4	130.4	144.6	133.5	135.6	130.7	126.1
화학, 정유	65.9	88.3	115.9	86.8	111.0	93.2	107.1
철강	43.4	53.5	52.7	52.0	104.0	56.2	96.1
수송	3.3	12.2	20.2	15.4	19.8	18.8	34.1
가정	75.0	81.8	85.4	84.3	95.7	94.1	154.7
서비스	165.4	204.0	228.7	196.7	197.9	202.4	195.7
수소제조 및 기타	-	9.0	12.4	91.4	146.9	65.4	135.6
자가발전	28.9	35.5	40.8	35.6	49.7	38.2	53.6
전기판매	508.8	640.4	712.5	722.8	887.4	748.7	930.0

주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

* 2020년 총 수요는 추정치임

온실가스 감축 정책이 계획대로 진행된다면 새로운 전기 수요는 수소제조에서 대규모로 발생한다. 수소의 수요와 공급에 대해서는 다음에 자세히 설명하기로 하고 전기 수요 측면에서 간단히 살펴보면, APS의 수소 수요는 주로 2040년대 이전 발전 부문의 수소 기반 연료전지에서 발생하며, 2040년대는 철강업의 수소환원제철 공정과 발전 부문의 수소터빈이 주로 수소를 소비한다. 이로 인해 APS는 2050년에 REF 대비 약 134 TWh의 추가적인 전기가 필요하게 된다. 반면, NZE는 APS보다 적은 123 TWh가 늘어난다. NZE의 수소제조용 전기 수요가 APS보다 낮은 이유는 발전 부문의 혼소용 암모니아와 수소가 감소하기 때문이다.

수송 부문은 다소 의외의 결과가 도출된다. REF에서는 주로 전기자동차를 중심으로 친환경자동차의 보급이 증가한다. 반면, APS는 REF보다 친환경자동차 보급이 훨씬 빠르게 진행되는데, 초반에는 전기자동차 위주로 자동차 보급이 늘지만 후기에는 수소자동차 보급이 급격히 증가한다. 결과적으로 2050년에 APS와 REF의 전기자동차 보급 수준은 비슷하지만 수소자동차의 보급은 크게 차이 나는 것으로 나타난다. 여기에, 수송 부문의 온실가스 배출을 줄이기 위해 전기자동차의 전비를 향상을 요구하는 규제가 강화되고 교통체계 개선으로 주행거리도 줄어들면서 APS의 수송 부문 전기 수요는 REF보다 낮아지게 된다. NZE의 경우 전기자동차와 수소자동차 모두 보급이 보다 확대되면서 수송 부문의 전기 수요는 크게 증가할 전망이다.

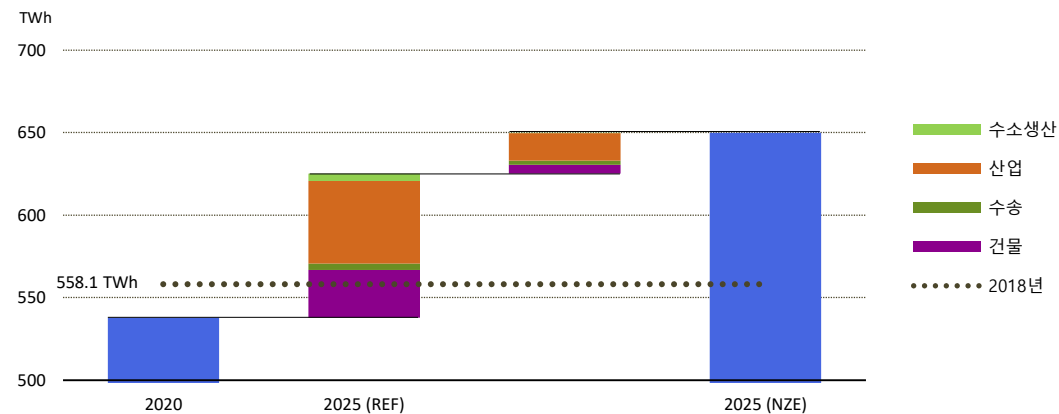
가정 부문은 에너지 수요가 이미 정점에 도달했지만, 일반 가전기기의 확대와 취사의 전력화 등으로 인해 전기 수요는 꾸준히 늘어날 전망이다. 제로에너지건물의 기준 강화와 그린 리모델링으로 단열 수준이 향상되고 재생에너지 난방이 늘어나지만, 이러한 정책이 가정 부문 전기 수요를 크게 낮추지는 못할 것으로 분석된다. 다만, 자가 태양광 발전설비의 설치가 폭발적으로 늘어나는 것이 가정 부문 전기 판매를 억제하는 요인으로 작용할 것으로 예상된다. 가정 부문의 탄소중립 달성 어려움은 난방 연료의 탈탄소화에 있다. NZE에서는 가정 부문의 2050년 탄소중립 목표 달성을 위해 전기보일러 및 전기 히트펌프가 도입되는 것을 가정하고 있기 때문에 REF나 APS에 비해 전기 소비가 크게 증가한다. 서비스 부문은 전기 수요 부문 중에서 유일하게 탄소중립 추진 정책으로 전기 수요가 감소할 전망이다. 이는 서비스 부문의 전력화가 이미 충분하게 진행되어 타 에너지 상품을 대체하는 전력화의 여지가 별로 없기 때문에 전기 사용 기기의 에너지 효율 향상으로 인한 수요 감소 영향이 더 크게 작용한 결과이다.

□ 단기적인 전기 수요의 급등과 영향

앞서 '제1장'에서 설명한 것처럼, '2030 NDC 상향안' 목표를 달성하기 위해서는 2025년까지 예상되는 에너지 수요와 온실가스 배출의 증가를 최대한 억제해야 한다. 여기서 온실가스 감축 목표는 '2050 탄소중립위원회'에서 제시한 '2030 NDC 상향안'의 부문별 온실가스 감축

목표를 의미한다. 이에 따르면, 산업 부문에서 2030년까지 2018년 온실가스 배출 대비 약 15%를 줄여야 하며, 에너지밸런스 기준으로는 2030년 온실가스 배출을 173백만톤-CO₂eq로 억제해야 한다. 건물과 수송 부문은 각각 기준년도 대비 33%와 38% 줄이는 것이 목표이다. 단기적인 목표 달성을 위해서는 기존의 화석연료 사용 기기의 효율을 개선하는 것과 화석연료 사용 기기를 전기 기기로 교체하는 방법을 동시에 추진해야 한다.

그림 2.47 2020~2025년 전기 수요 증가 및 부문별 추가 전력화



주: REF 기준 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

에너지 효율 향상 노력에도 불구하고 2020~2025년은 코로나19에서의 회복으로 에너지 수요가 전반적으로 빠르게 증가한다. 전기 수요도 REF에서 이미 2021년에 2018년 수준을 넘어서고 2025년은 625.3 TWh에 도달할 전망이다. APS 및 NZE에서 에너지 효율 강화와 함께 전력화가 최대한 진행될 경우 2025년까지 전기 수요는 추가적으로 24.5 TWh가 증가한다. 재생 에너지를 중심으로 자가발전도 늘어나지만, 늘어나는 전기 수요의 대부분은 전기 판매로 이어져 전기 판매는 2020년 508.8 TWh에서 2025년 615 TWh까지 증가할 전망이다.

단기적인 전기 수요의 급등은 발전 부문의 온실가스 감축 노력에 부하로 작용한다. 재생 에너지 발전 설비가 빠르게 증가하고 석탄화력 및 원자력 발전 설비의 폐지가 주로 2025년 이후에 진행되기 때문에 2025년까지 수요 증가 대응을 위한 발전 설비 규모의 문제는 없을 것으로 보이지만, 전기 판매의 증가로 인해 발전 부문이 감축해야 하는 온실가스 배출량이 늘어난다. 따라서, 발전 부문의 온실가스 감축 목표를 달성하려면 기존 설비 구조 하에서 획기적인 계통 운영의 변경이 필요하다. 다음에 다시 살펴보겠지만, 증가한 전기 수요로 인해 발전 부문이 추가로 감축해야 하는 연간 온실가스 배출량은 2025년 52백만톤-CO₂eq에 달한다.

5.2. 수소 수요 및 공급

□ 수소 경제의 의의

수소 경제로의 전환은 에너지 수요 및 온실가스 배출에 대대적인 변화를 가져올 것으로 예상된다. ‘2030 NDC 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)’이나 ‘2050 탄소중립 시나리오 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’은 미래 핵심 기술로 수소를 제시하고 있다. 대표적인 최종소비 부문의 수소 수요 기술은 수소환원제철과 수소자동차이다. 수소자동차는 이미 시장에서 판매되고 있지만, 수소환원제철은 2040년 이후 상용화를 목표로 기술 개발 투자를 하고 있다. 이 외에도 도시가스에 수소를 혼합하여 사용하는 방법, 수소를 직접 연료로 사용하는 방법, 수소와 포집 탄소를 이용하여 합성 납사를 제조하는 기술 등 다양한 방안이 제시되고 있다.⁵² 발전 부문 수소 기술은 수소를 가스에 50%를 혼합하는 수소 혼소나 암모니아를 석탄에 20% 혼합하는 암모니아 혼소 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).

수소 공급에는 기존 기술로 부생가스나 천연가스 개질(SMR, Steam Methane Reforming)을 이용한 추출과 미래 기술인 수전해를 이용한 생산이 있다. 이 외에도 석탄가스화나 바이오매스 가스화를 통해 수소를 생산할 수 있다 (배정환 & 정경화, 2007). 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, 수소 공급의 대부분은 수입을 통해 충당하는데, 수입 수소도 국내 자본과 기술을 투자해 생산한 청정 수소를 수입할 계획이다.

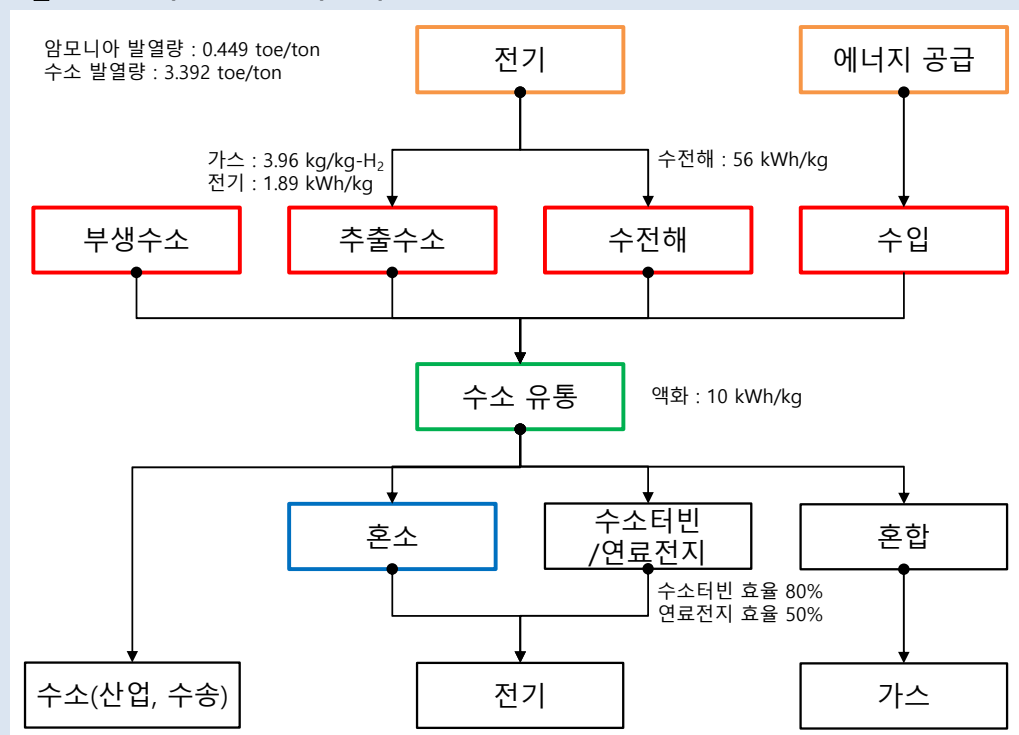
글상자 2.9 수소 경제로 인한 전망의 불확실성과 에너지 수급 구조의 변화

수소 경제는 아직 미래 기술이기 때문에 기술 특성 계수가 불확실하고, 이는 수소 수요와 생산에 대한 전망의 불확실성을 크게 만든다. 모형에 적용한 대표적인 기술 계수로, 수소환원제철 공정에서는 조강 1톤

⁵² 본 보고서에서는 도시가스에 수소를 혼합하는 방법은 감축 수단에서 제외하였으며, 수소를 직접 연료로 사용하는 방법은 산업용으로 일부 사용되는 것으로 가정하였다.

생산을 위해 수소 0.087톤-H₂이 투입되는 것으로 가정하였다.⁵³ 천연가스 SMR 추출의 경우, 수소 1 kg-H₂을 생산하는데 온실가스가 10.88 kg-CO₂eq 배출된다는 연구 결과에 이용하여, 수소 1 kg-H₂ 생산에 천연가스 3.96 kg과 전기 1.89 kW가 필요한 것으로 계산하였다 (한자령, et al., 2019). 수전해 수소 생산 기술은 약 56 kWh/kg-H₂의 전기가 필요한 것으로 보고 있으며 (한자령, et al., 2019), 정부는 이를 43 kWh/kg-H₂ 수준으로 낮추기 위한 기술 투자를 계획하고 있다 (산업통상자원부, 2021). 수소의 장거리 운송을 위해 수소 액화가 필요한데, 여기에도 6~10 kWh/kg-H₂의 에너지가 필요하다 (산업통상자원부, 2021). 이들 외에도 다수의 기술들이 있으며, 주요 기술들에 적용된 계수의 미세한 변화는 최종적인 수소 수요나 수소 생산을 위한 에너지 수요에 큰 영향을 미친다.

그림 2.48 수소 공급 및 수요의 흐름



자료: 배정환·정경화 (2007), 한자령 외 (2019), 수소산업협회, 산업통상자원부 (2021) 및 대산 연료전지, ㈜에너지토피아 내부 자료 등을 이용하여 자체 계산

수소와 암모니아(이하 수소)의 도입은 에너지 공급 시스템 자체를 변화시키기 때문에 기존 에너지 통계 체계의 변화도 필요하다. 국가 에너지 통계 체계인 에너지밸런스를 기준으로 보면, 우선 에너지 상품에 수소라는 새로운 에너지 상품이 추가된다. 하지만, 수소는 용도에 따라 요구되는 순도와 압력이 다르고, 또한 순도에 따라 발열량에도 차이가 난다. 이를 통계적으로 하나의 에너지 상품으로 처리하기 위해서 기준

⁵³ (주)에너지토피아 내부 자료 이용

설정과 합의가 필요하다. 수소는 다른 에너지 상품을 이용하여 생산하는 이차 에너지 상품(secondary energy commodity)이기 때문에 수입만이 순수하게 국가 총에너지 공급을 증가시킨다.

수소의 국내 생산은 에너지 전환 공정(Transformation process)에 새로운 항목으로 추가된다. 에너지전환 공정은 일차 및 이차 에너지 상품이 다른 이차 에너지 상품으로 바뀌는 과정이다. 전환 투입 에너지는 부생가스, 천연가스(SMR), 전기(수전해)가 대표적이며, 수소 생산 기술에 따라 다른 에너지 상품도 투입 에너지가 될 수 있다. 수소 제조 산업은 전기(SMR)를 소비한다. 부생수소나 추출수소는 명확히 에너지전환 공정으로 규정할 수 있지만, 수전해는 이중적인 성격을 갖는다.

수전해는 전기를 수소로 저장하는 과정으로 이해할 수도 있다. 에너지 저장의 대표적인 기존 사례는 양수 발전이다. 양수 발전은 기존에 생산한 전기를 위치에너지라는 에너지로 잠시 바꾸었다가 필요할 때 다시 전기로 바꾸는 과정이기 때문에 국가 총에너지를 증가시키지 않는다. 따라서 에너지 통계의 중복 문제를 없애기 위해, 개정 에너지밸런스는 양수 발전량을 기입하지 않고 양수 발전 투입 전기와 발전량의 차이를 에너지산업 자체소비의 '양수투입' 항목으로 기입한다. 이와 동일한 기준을 적용하면, 수소 생산에 투입된 전기와 수소로 생산한 전기의 차이를 '수소투입' 항목으로 만들어야 한다. 하지만, 양수는 별도의 에너지 상품이 아니고 전기 생산만을 위해 사용되는 반면, 수소는 발전 외에도 다양한 수요처가 존재할 수 있기 때문에 이러한 방법은 통계 작성을 어렵게 만들 수 있다. 따라서, 수소는 에너지 저장의 역할을 동시에 갖는 새로운 에너지 상품으로 규정한다.

수소 수요는 에너지전환 공정과 최종소비 부문 양쪽에 모두 존재한다. 에너지전환 공정의 수소 수요는 발전 부문의 수소 및 암모니아 혼소와 수소터빈, 연료전지이다. 발전과 수소 생산의 관계는 에너지전환의 정제 및 화학공정의 납사 환류(backflow)와 유사한 면이 있다. 즉, 수소를 생산하고, 생산한 수소로 발전을 하며, 생산된 전기는 다시 수소 생산에 투입된다. 개정 에너지밸런스는 정제 및 화학공정을 추가해서 납사의 중복 계산을 해결하고 있으며, 수소제조 공정을 추가할 경우 수소의 중복 계산 문제도 자연스럽게 해결된다. 아직 수소제조 공정이 에너지밸런스에 추가되지는 않았지만, '2021 장기 에너지 전망'은 이러한 방식을 이용하여 에너지전환과 국가 총에너지 수요를 계산한다. 최종소비 부문의 수소는 연료로 사용되며 에너지밸런스에서 사라진다. 다만, 석탄 수요를 대체하는 수소환원제철용 수소는 에너지전환 공정이나 최종소비가 아니라 에너지산업 자체소비의 '고로 자체소비'에서 소비된다.

수소 경제의 실현은 온실가스 배출과 경제 시스템에 큰 의미를 갖는다. 우선, 기존 기술로는 온실가스 배출 저감 자체가 힘든 철강이나 화학의 원료용 에너지 수요를 대폭 감소시키기 때문에 온실가스 감축의 효과가 크다. 수소를 연료로 사용하는 기술은 산업 공정용 연료와 건물 난방용 연료의 사용을 줄일 것이다. 이는 수소 사용으로 인한 직접적인 배출 감소 효과이다. 반면, 수소는 생산에 많은 에너지가 들어간다. 특히, 청정 그린 수소 생산은 막대한 재생에너지 발전을 필요로 한다. 중간 다리 역할을 담당하는 수소 및 암모니아 혼소는 발전소의 직접 배출을 감소시키지만, 수소 생산을 위한 발전량 증가로 인해 간접적인 배출 증가를 초래한다. 한편, 수소 기술은 기존 설비를 활용하기보다 신규 설비로의 교체가 필요한 경우가 많다. 다른 많은 저감 수단들과 경쟁을 할 경우 투자의 경제성을 보장하기 위해 풀어야 할 난관이 많다는 의미

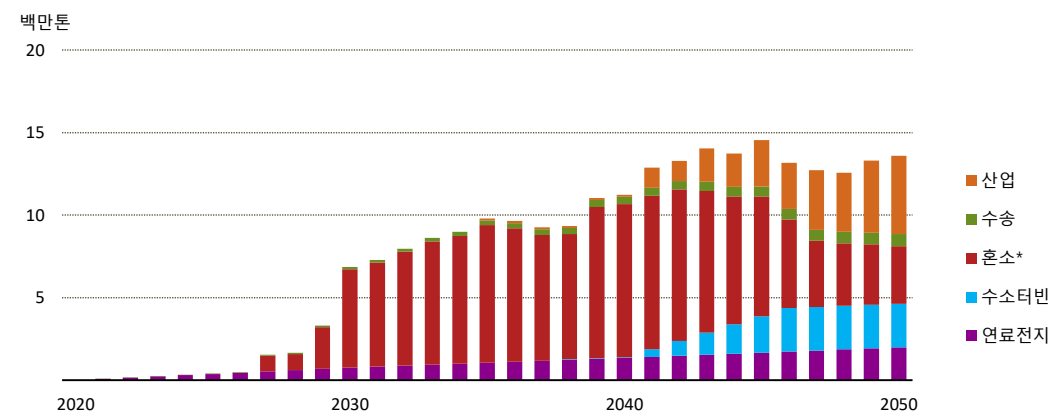
이다. 또한 안전성에 대한 부분도 아직 오랜 검증이 필요하다. 따라서 기술 개발과 함께 보급을 보장할 수 있는 분석과 정책 설계가 중요하다.

□ 수소 수요

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. ‘2021 장기 에너지 전망’은 기존 방식의 수소 수요는 전망에 포함하지 않고 관련 에너지 상품의 전망으로 대체한다. ‘2021 장기 에너지 전망’의 수소 수요 전망은 수소 기반 연료전지를 비롯하여 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출을 줄이기 위해 도입되는 새로운 수소 수요만을 대상으로 한다.

수소 수요의 전망 경로는 여러 용도의 기술 개발과 보급 일정이 복합적으로 작용하기 때문에 확산 모형을 이용한 신기술 보급 전망 패턴을 따르지 않는다. REF에서는 2021년 이후 추가되는 연료전지를 수소 기반 연료전지로 가정하고 있다. 연료전지 외의 수소 수요는 수송 부문에서 발생한다. REF에서는 현재 대비 추가적인 수소 수요는 2050년까지 약 2백만톤- H_2 가 늘어난다. 수소 수요 증가의 90% 이상은 발전 부문에서 증가할 전망이다. 철강업의 수소환원제출부터 발전 부문의 수소터빈에 이르기까지 미래 수소 기술이 계획된 일정대로 도입되면(APS) 수소 수요는 2050년 약 13.6백만톤- H_2 까지 늘어나는 것으로 분석된다. APS에서도 수소 수요의 65%는 발전 부문이 차지한다. 새로운 수소 수요의 강자로 떠오르는 산업 부문은 2050년에 수소의 30%인 4.7백만톤- H_2 를 사용할 전망이다. 나머지는 수송 부문에서 소비된다.

그림 2.49 정책계획 시나리오(APS)의 수소 수요 전망



* 수소 혼소 + 암모니아 혼소

발전 부문은 수소 및 암모니아 혼소 보급 일정과 가스 및 석탄의 발전량 전망에 따라 수소 수요가 크게 달라질 것으로 분석된다. 수소 혼소는 2035년 상용화를 목표로 하고 있고 암모니아 혼소는 2030년까지 24기의 발전기에 적용될 예정이다. 이로 인해 2030년까지 수소 수요는 6.7백만톤-H₂로 급격하게 증가한다. 2040년까지는 석탄 및 가스화력 발전의 발전 전망에 따라 수소 수요가 움직인다. 2040년 이후에는 수소환원제철과 수소터빈이라는 새로운 수소 수요가 발생한다. 반면, 기존의 수소 및 암모니아 혼소는 화석연료 기반 발전기의 폐지로 수소 수요가 감소한다. 새로운 수소 수요는 2040년에서 2050년 사이 약 7.6백만톤-H₂가 증가하는 반면, 수소 및 암모니아 혼소는 같은 기간 약 7.0백만톤-H₂가 감소할 것으로 예상된다.

탄소중립 정책의 강화는 수소 수요에 반대의 결과를 미친다. NZE에서는 새로운 대규모 수소 수요의 발굴이 어려울 것으로 분석되며, 산업 연료용 수요의 추가와 발전 부문의 정책 변동에 따른 혼소용 수소 수요의 변화 등으로 APS 대비 수요가 변화하는 것으로 나타난다. 산업 부문은 연료용 수요가 증가하고 수송 부문도 친환경자동차 보급 강화로 추가적인 수소 수요가 발생한다. 반면, 초기 온실가스 배출 감축을 강화하기 위해 강력한 수단을 동원해서 석탄화력 발전의 가동률을 대폭 낮추는 것은 이후 암모니아 혼소 수요를 감소시켜 수소 수요 총량을 하락시킨다. 결과적으로 NZE는 2030년~2040년 사이에는 APS 대비 연간 약 2백만톤-H₂ 수요가 감소하고, 그 이후는 감소폭이 줄어 2050년 약 1백만톤-H₂의 수소 수요가 감소하는 것으로 분석된다. NZE의 2050년 수소 수요는 발전 부문 5.3백만톤-H₂, 산업 부문 5.9백만톤-H₂, 수송 부문 1.3백만톤-H₂로 총 12.6백만톤-H₂ 수준이 될 것으로 전망된다.

글상자 2.10 '2050 탄소중립 시나리오'와 '2021 장기 에너지 전망'의 수소 수요 비교

NZE의 2050년 수소 수요 전망은 12.6백만톤-H₂으로 '2050 탄소중립 시나리오 (2050 탄소중립위원회, 2021b)'의 수소 수요 전망 27.4백만톤-H₂에 비해 절반 수준에 못 미친다.⁵⁴ APS의 경우도 13.6백만톤-H₂으로 차이가 많이 난다. '2021 장기 에너지 전망'과 '2050 탄소중립 시나리오'의 수소 수요 차이는 수소 기술의 적용 분야와 적용 수준, 기술 특성 계수, 수소 발열량, 전기 수요 전망, 산업 부문 에너지 수요 전망 등에서 근본적인 차이가 원인인 것으로 분석된다.

'2050 탄소중립 시나리오'는 2050년 발전 부문이 14.2백만톤-H₂, 산업 부문이 10.6백만톤-H₂를 소비할 것으로 예상하였다. 산업 부문의 경우 업종이나 용도별 수요가 제시되지는 않았지만, 수소환원제철, 시멘트 소성로의 열원, 납사 원료 전환 등에 수소를 사용하는 것으로 가정하고 있다. '2050 탄소중립위원회'는 2050년에 산업 부문 에너지 수요는 139.3백만toe이며, 그 중 18.4%인 25.6백만toe를 수소가 차지하는 것으로 전망했다. '2021 장기 에너지 전망'에서는 2050년 산업 부문 수소를 20.0백만toe, 5.9백만톤-H₂로

⁵⁴ 탄소중립 시나리오 A안 기준으로 분석하였다.

전망한다.⁵⁵ 에너지 단위 수소 전망의 차이보다 물량 단위의 전망 차이가 큰 이유는 적용한 열량환산계수가 다르기 때문인 것으로 추측하고 있다. ‘2021 장기 에너지 전망’에서는 수소의 총발열량인 142 MJ/kg을 사용하고 있는 반면⁵⁶, ‘2050 탄소중립 시나리오’는 계산 결과 순발열량인 120 MJ/kg보다 훨씬 낮은 계수를 사용한 것으로 추정되었다. 동일 열량을 적용할 경우 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 2050년 수소 수요는 7.5백만톤-H₂로 계산되어, ‘2021 장기 에너지 전망’의 2050년 산업 부문 수소 수요인 5.9백만톤-H₂와 차이가 크게 줄어든다.

발전 부문의 경우 ‘2050 탄소중립 시나리오’는 석탄과 가스는 모두 폐지되는 것으로 가정하고 있기 때문에 수소는 수소터빈과 연료전지에서만 사용되며, 각각 270 TWh와 4 TWh를 발전하는 것으로 전망했다. 이에 비해 ‘2021 장기 에너지 전망’은 수소터빈이 83 TWh, 연료전지는 34 TWh 발전하는 것으로 분석하고 있다. ‘2050 탄소중립 시나리오’의 발전 효율이나 기술별 수소 수요 정보가 없기 때문에 정확하게 분석할 수는 없지만, 전환 부문의 수소 수요가 14.2백만톤-H₂인 것과 산업 부문에서 추정한 수소의 열량을 감안하면 수소 발전 설비에 대해 대략 평균 69%의 발전 효율을 가정한 것으로 추측된다. 설비 효율과 열량을 조정할 경우 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 발전 부문 수소는 약 8.8~10백만톤-H₂ 수준에 해당하며, ‘2021 장기 에너지 전망’과의 차이가 크게 줄어든다.

□ 수소 공급

단기적으로는 신규 수소 수요를 기존의 부생수소나 추출수소 생산 설비 가동률을 높여서 어느 정도 대응할 수 있다.⁵⁷ NZE나 APS 모두 2020~2030년 사이 수소 수요의 증가가 크다. 이 시기 늘어나는 수소 수요는 기술적인 한계로 인해 추출수소가 40%, 수입이 42%를 공급한다. 하지만 2030년 이후 증가하는 수소 수요를 충족하기 위해서는 새로운 수소 공급원이 필요하다. 2030년 이후는 수입이 압도적으로 수소를 공급하는 가운데, 국내 생산에서는 수전해의 비중이 점차 늘고 추출수소와 부생수소는 소멸해간다. ‘2050 탄소중립 시나리오 (2050 탄소중립 위원회, 2021b)’는 2050년 수소 공급의 80%를 수입, 20%를 국내 생산하며, 국내 생산의 100%를 수전해로 공급할 계획이다.⁵⁸ ‘2021 장기 에너지 전망’은 ‘2050 탄소중립 시나리오’의 공급 비중을 적용하여 국내 생산량을 계산한다. 이에 의하면, NZE의 경우 2050년에 약 10백만톤-H₂

⁵⁵ 개정 에너지밸런스 기준 수소 수요 전망치이며, NZE 결과를 사용하였다.

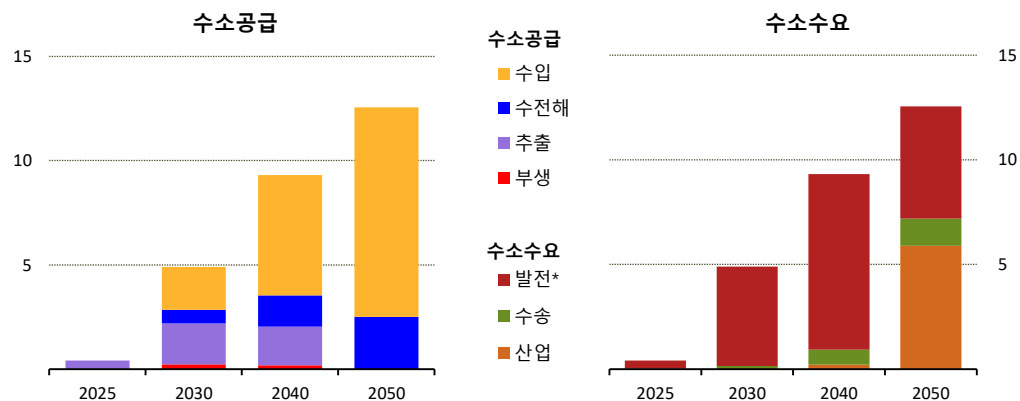
⁵⁶ 한국수소산업협회, 기체수소의 일반 물성(http://www.h2.or.kr/h2_01.html)

⁵⁷ 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). 신규 수소 수요에 대한 공급을 위해 이들 설비의 가동률을 높일 경우, 수소 생산을 위한 에너지 전망은 그만큼 줄어든다. ‘2021 장기 에너지 전망’에서는 이를 부생수소 생산으로 취급하고 별도의 에너지 수요 추가는 없는 것으로 계산한다. 하지만, 온실가스 배출 감축 정책 수단은 부생수소 및 추출수소의 비중을 줄이고 그린 수소인 수전해 방식으로 전환하는 것이다.

⁵⁸ ‘에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, 2021)’은 2050년 그린수소 3백만톤-H₂, 블루수소 2백만톤-H₂를 생산하는 것을 목표로 하고 있다. ‘2021 장기 에너지 전망’은 2050년 수소 생산 전체를 그린수소로 생산하는 것으로 가정한다.

를 수입하고 수전해로 2.5백만톤-H₂의 수소를 생산한다. ‘2050 탄소중립 시나리오’와의 차이는 순전히 수소 수요 전망의 차이에서 비롯한다.

그림 2.50 탄소중립 시나리오(NZE)의 수소 공급과 수요 (백만톤-H₂)



* 암모니아 혼소 포함

수전해로 수소를 2.5백만톤-H₂ 생산하기 위해서는 수소 액화를 포함해서 약 136 TWh의 전기가 필요한 것으로 계산된다. ‘2050 탄소중립 시나리오’의 경우 2050년 그린수소 5.5백만톤-H₂를 생산하기 위해 전기 235.3 TWh를 소비하는 것으로 예상하고 있다. 물량 단위로 계산하는 전환 비율은 ‘2050 탄소중립 시나리오’가 더 높은 것으로 보이지만, 추정 열량환산계수를 고려한 에너지 전환 효율은 반대로 ‘2021 장기 에너지 전망’이 더 높은 것으로 분석된다. 수소 수요 전망과 생산을 위한 전기 수요 전망에서 알 수 있듯이, 수소 경제를 구성하는 미래 기술에 대한 기술 특성 계수의 불확실성으로 인해 전망의 차이가 클 뿐만 아니라 수소 전망 차이가 물결이 퍼지 듯 전체 에너지 전망에 영향을 미치게 된다.

5.3. 발전

□ 발전 부문의 온실가스 배출 감축 정책

발전 부문의 온실가스 배출 감축 정책은 크게 재생에너지 발전의 확대와 터빈 기반 발전의 연료 전환으로 구분된다. 재생에너지 발전 확대는 물론 설비의 발전 효율을 향상시키는 기술 개발을 포함하고 있지만, 주로 보급을 통한 감축 수단이다. 터빈 기반 발전의 연료 전환은 수소 및 암모니아 혼소와 함께 수소 터빈 개발 등 주로 기술 개발을 통한 온실가스 배출 감축 수단이라고 할 수 있다.

표 2.5 정책 시나리오의 추가 온실가스 배출 감축 수단

	APS	NZE
기술 혁신 및 개발	<ul style="list-style-type: none"> 석탄 발전 혼소 (20%) - 2027 년 4 기 실증, 2030 년 24 기 적용 가스 발전 혼소 (50%) - 30 년 150 MW 실증, 35 년 전체 설비 적용 수소터빈 - 2040 년 상용화 	<ul style="list-style-type: none"> 석탄 발전 혼소 (20%) - 2027 년 4 기 실증, 2030 년 24 기 적용 가스 발전 혼소 (50%) - 30 년 150 MW 실증, 35 년 전체 설비 적용 수소터빈 - 2040 년 상용화
보급 및 규제	<ul style="list-style-type: none"> 석탄발전 폐지 및 연료 전환 - 설계 수명 30 년 석탄발전 가동률 60% 이하 - 석탄발전 상한제 및 환경급전 강화 변동성 재생에너지 발전 비중 목표 - 30 년 28%, 50 년 65% (변동성 재생) - 30 년 32%, 50 년 80% (신재생) 	<ul style="list-style-type: none"> 석탄발전 폐지 및 연료 전환 - 2050 년 이전 모두 폐지 석탄발전 가동률 40% 이하 - 석탄발전 상한제 및 환경급전 강화 - 탄소세 부과 등 탄소가격 반영 변동성 재생에너지 발전 비중 목표 - 30 년 30%, 50 년 67% (변동성 재생) - 30 년 34%, 50 년 81% (신재생)

주: APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

자료: '2030 NDC 상황안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)', '2050 탄소중립 시나리오 (2050 탄소중립위원회, 2021b)', '에너지 탄소중립 혁신전략 (관계부처 합동, 2021)', '탄소중립 산업·에너지 R&D 전략 (산업통상자원부, 2021)'

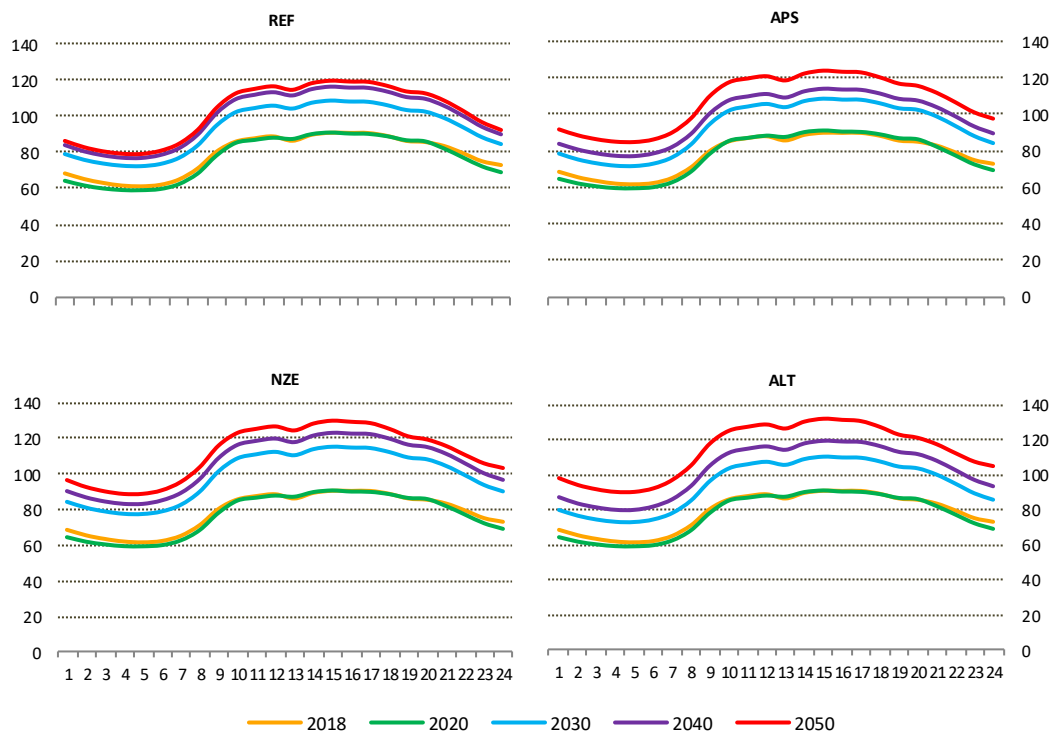
온실가스 감축 수단 종류는 시나리오에 따라 다르지 않지만, 적용 수준에서 약간의 차이가 있다. 온실가스 배출 경로에 가장 크게 영향을 미치는 수단은 석탄화력 발전기의 가동률 제한 정책이다. APS에서는 최근의 미세먼지 및 온실가스 배출 감축 강화 노력이 지속되면서 석탄발전 상한제나 환경급전을 통해 석탄화력 발전기의 가동률을 연평균 60% 이하로 직접 규제하는 수단을 사용한다. NZE는 단기에 예상되는 전기 수요 및 온실가스 배출의 급증을 최대한 억제하기 위해 석탄화력 발전기의 가동률을 40% 이하로 억제한다. 이를 위해서는 APS의 직접 규제 수단으로는 어려움이 있을 것으로 예상된다. 전력 시장에서 발전 사업자 스스로 가동률을 낮추도록 유도하기 위해서는 온실가스 배출 비용이 연료 비용에 충분한 수준으로 추가되어야 하며, 동시에 발전 사업자의 손실 보전을 위한 보상 체계와 보조 서비스 시장 개설 등 신규 시장을 개발도 필요하다. 석탄 발전기의 수명과 관련해서는 설계 수명 인정과 함께 탄소포집 설비의 설치 또는 보상과 함께 조기 폐지 등의 방법을 고려할 수 있다.

□ 재생에너지 발전과 부하 패턴

부문별 전기 수요의 상이한 변화, 자가 태양광 및 자가 발전의 증가, DR을 비롯한 수요관리 강화, 계시별 요금제를 비롯한 실시간 비용 연계 가격과 탄소 비용의 반영, 사업자 재생에너지 발전의 급속한 확대 등은 전기 수요만이 아니라 발전 및 계통 시스템이 대응하는 실시간 전

기 부하의 패턴을 극적으로 변화시킨다. '2021 장기 에너지 전망'은 전기의 부하를 네 가지로 구분하고 있다. 우선 자가발전 소비를 포함한 전기의 총 수요 부하가 있다. 두 번째는 판매 부하이다. 판매 전기는 한국전력이 소비자에게 판매하는 전기이지만, 정확히는 소비자 구매 전기에 송배전 손실을 합한 계통 유입 전기를 의미한다. 다음은 시스템 부하인데, 이는 판매 전기에서 송배전 손실, 한국전력 PPA 및 전력거래소의 전력시장 재생에너지 발전을 제외한 부하로써, 급전 지시를 따르는 터빈 기반 발전기가 대응하는 발전 부하로 이해할 수 있다. 보통 덩크브 현상을 관찰하는 순부하와 유사하다. 마지막으로 총 발전 부하가 있다. 발전 부하는 송배전망에 접속하는 모든 발전 설비의 발전 부하로, 앞서 정의한 시스템 부하, 재생에너지 발전 그리고 시스템 발전 설비의 소내 소비를 합한 것이다.

그림 2.51 시나리오별 8월 시간별 최대 수요 부하 변화 비교 (GW)



주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오, ALT 대안경로 시나리오

'2021 장기 에너지 전망'은 산업이나 일반 건물의 경우 소비 패턴의 변화가 없는 것으로 가정하고 있다. 또한 미래 전기 수요 증가의 상당 부분을 차지하는 수소 제조의 경우 산업용 소비 패턴을 따른다고 가정한다. 하지만 코로나19로 인한 전기 소비 행태의 변화를 분석한 연구

에서 보듯이 (김수일, 2021) 세부 업종에 따라 전기 소비의 패턴이 다르기 때문에 미래 산업 구조의 변화는 수요 부하 패턴의 변화를 가져올 것이다. REF에서는 수요 최대 부하가 2020년 91.0 GW에서 2030년 108.5 GW, 2050년 119.9 GW로 상승한다. 2020년 수요 최대 부하는 8월에 발생했으며, 산업을 중심으로 생산 부문의 수요 증가가 대부분을 차지하기 때문에 최대 부하는 여전히 8월에 발생하는 것으로 나타난다.⁵⁹ 그림 2.51은 2020~2050년 사이 8월 한 달 간 매 시간에 대해 발생하는 최대 수요의 변화 모습을 보여주고 있다. APS에서는 2030년 108.1 GW, 2050년 124.0 GW로 증가한다. 또한, NZE는 2030년 115.4 GW 2050년 130.2 GW인 것에 비해, ALT는 2030년 110.7 GW 2050년 132.0 GW인 것으로 분석된다. 수요 최대 부하는 시나리오에 따라 일관되게 변하지 않는다. 여러 요인이 복합적으로 작용하기 때문에 단순히 설명하기는 어렵지만, 시나리오마다 다르게 적용된 정책 수단으로 인해 부문 및 용도별 수요의 차이가 발생하기 때문이다. 시간의 흐름에 따라 공통적으로 나타나는 현상은 2020~2030년 사이 수요 최대 부하의 변화가 가장 크다는 점이다.

전기 소비 형태의 변화를 가져오는 대표적인 요인은 전기자동차와 건물 난방용 전기 수요로 예상된다. 전기자동차는 전력망에 접속하여 전기를 충전하고 운행 시간 동안 전기를 사용하기 때문에 전기 수요가 전력 계통 시스템에 미치는 영향은 전기를 충전하는 패턴과 사용하는 충전기 용량에 의해 결정된다. 기존 연구에서는 충전 패턴 방식에 대해 거주지 충전 방식, 거주지와 근무지의 결합 형태, 재생에너지와 연계된 전기 요금제를 이용한 스마트 충전 방식을 시나리오 분석하거나 (Boßmann & Staffell, 2015), 극단적으로 밤 시간 고르게 충전하는 시나리오와 저녁 시간에 집중적으로 충전하는 시나리오를 비교한 경우도 (Andersen, et al., 2019) 있다. ‘2021 장기 에너지 전망’에서는 휘발유자동차와 월별 운행 행태가 동일하다는 가정 하에 완속 충전과 고속 충전 방식의 비중을 6:4, 완속 충전 중에서 거주지와 거주지+근무지 비중을 2:8로 가정한 충전 패턴 시나리오를 이용하여 부하를 전망한다. 충전 시나리오는 출근 시간 전후와 퇴근 시간 전후에 가장 충전을 많이 하며 새벽 시간 충전이 가장 저조한 모습의 패턴이다. REF에서 2050년 수요 최대 부하가 발생할 것으로 예상되는 8월의 15시 부하에 대해 전기자동차 충전으로 인한 부하 증가는 약 2.6 GW이며, 일일 부하 기여는 최저 1.0 GW에서 최대 약 3.0 GW 수준인 것으로 분석된다. NZE의 경우 2050년 전기자동차 보급은 약 12.2백만 대 수준이고 전기자동차의 연간 전기 소비량은 30.8 TWh까지 증가할 것으로 예상되는데, 이러한 경우 동일 충전 패턴 시나리오 하에서 2050년 수요 최대 부하는 약 4.5 GW 정도 증가한다.

⁵⁹ 대형 사업장의 수요 시장 진입 시기에 따라 일시적으로 연간 최대 수요 발생 시점이 연말 단계로 바뀔 수 있다. 모형에서는 대형 사업장의 진입에 따른 수요 증가를 8760 시간에 동일하게 적용하기 때문에 이러한 효과를 반영하지는 못한다.

주택 난방용 전기는 전기히터, 전기담요 같은 난방 보조기기가 아니라 보일러 같은 난방 설비를 의미한다. 기존 난방 설비는 심야전기 보일러가 있으며, 미래 난방 설비는 개량된 전기 보일러와 전기 히트펌프를 고려한다. 여기서는 한국전력의 AMR 데이터에서 추출한 과거 가정용 심야전기 소비 패턴을 이용하여 주택 난방용 전기 소비 패턴을 생성한다. REF에서는 주택 난방 설비의 전기 수요가 감소하지만, NZE의 경우 2050년 가정 부문 보일러의 전기 수요는 12월에 하루 최저 0.3 GW에서 최대 13.4 GW의 난방 부하가 발생하는 것으로 분석된다. 하지만, 난방설비의 전기 소비 행태는 전기 요금제와 관련이 있다. 기존 전기 보일러는 전기가 남는 심야에 전기 소비를 촉진하기 위해 심야 요금제를 도입한 배경이 있다. 재생에너지 발전이 확대되고 비용 반영 실시간 요금제가 실시되면 심야 요금제의 의미가 사라지게 된다. 따라서 전기 보일러의 전기 소비 행태는 달라질 것이다.

글상자 2.11 부하의 종류와 부하 도출 방법

‘2021 장기 에너지 전망’은 수요 부하, 판매 부하, 시스템 부하, 발전 부하 등 총 네 가지 단계로 전기의 부하를 구분하고 있다. 소비 부문의 용도별 전기 수요 증가나 발전 부문의 설비 구성이 동일하다면 전기의 부하는 전기 수요의 증가에 비례해서 커질 것이다. 하지만, 예상치 못한 기온 변화를 제외하더라도, 미래의 전기 소비 행태는 온실가스 감축 노력에 의해 크게 바뀐다. 또한 온실가스 감축 정책은 재생에너지 발전의 급격한 증가를 추구하기 때문에 발전 부하 패턴에도 변화를 가져온다.

우선 판매 전기 부하를 먼저 살펴본다. 판매 전기는 한국전력이 소비자에게 판매하는 전기와 송배전 손실의 합계로 정의한다. 그동안 판매 전기는 정해진 기간의 누적 계량을 근거로 한 한국전력의 판매량 통계만 얻을 수 있었는데, 현재는 한국전력의 AMR 보급 사업을 통해 일부나마 시간별 자료까지 가능한 상황이다. 판매 전기는 송전단에서 계량되는 전력거래소의 송전단 발전량과 배전망을 통해 한국전력과 직접 거래하는 PPA를 합한 것과 같다. 송배전 손실의 시간별 패턴은 송전단 발전과 동일하다고 가정하며, 한국전력의 PPA는 전력거래소의 동일 발전 설비 발전 패턴을 따른다고 가정한다.

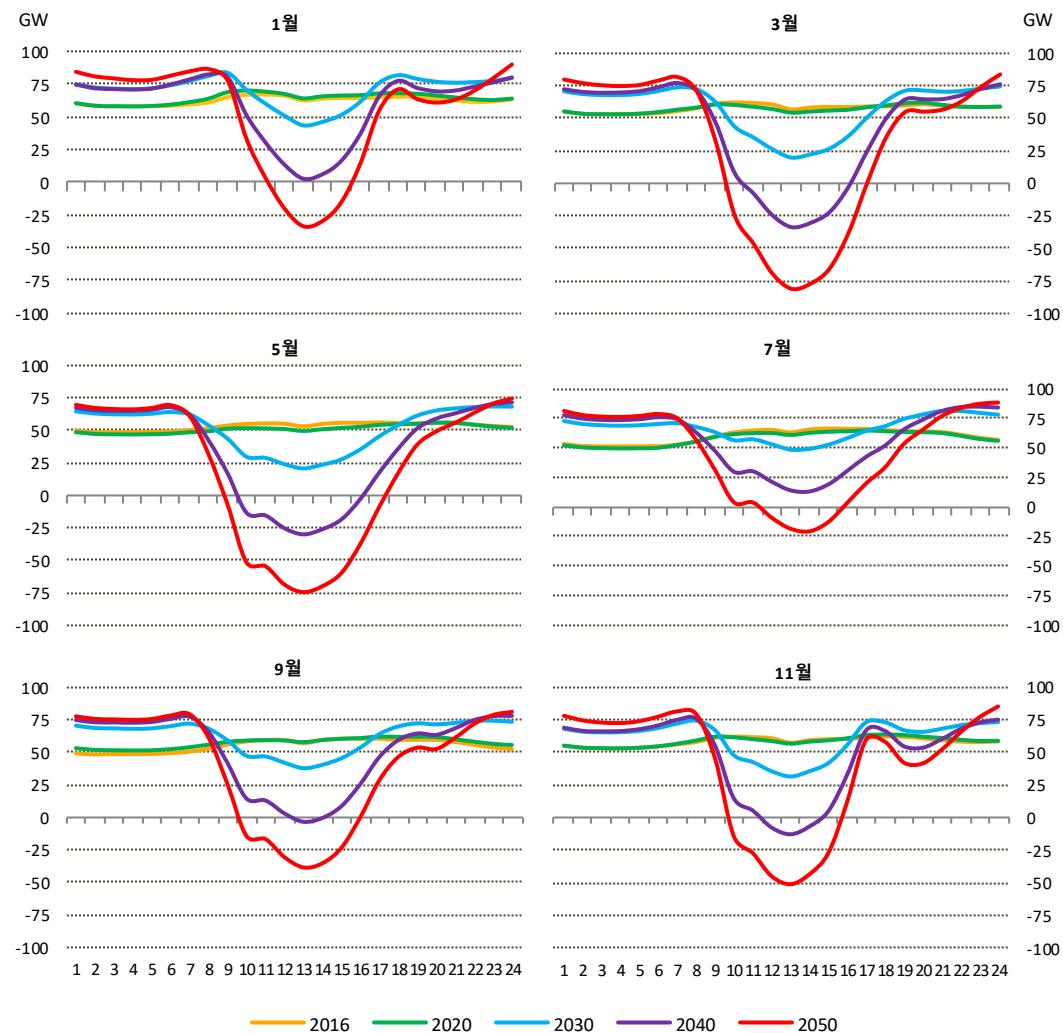
다음은 총 수요 부하이다. 총 수요 부하는 판매 부하에서 송배전 손실을 제한 후 자가발전을 더한 부하이다. 자가발전은 실제 발전량과 발전 패턴을 알 수 없기 때문에 보급된 설비를 이용하여 추정하고 판매 전기 부하와 합산한다. 건물의 자가발전은 태양광으로 가정하고 산업의 자가발전은 가스나 바이오 및 폐기물 등을 이용한 터빈 발전기로 가정하여 추정한다.

시스템 부하는 판매 부하에서 한국전력 PPA 및 전력거래소의 전력시장 변동성 재생에너지 발전을 제외한 부하로써, 급전 지시를 따르는 터빈 기반 발전기가 대응하는 발전 부하로 이해할 수 있다. 보통 덩어리 현상을 관찰하는 순부하와 유사하다. 재생에너지 발전 부하는 발전량에 비례하지만 발전 패턴은 전망 기간 내내 변화가 없는 것으로 가정한다.

마지막으로 총 발전 부하가 있다. 이는 송전 및 배전망에 접속하는 모든 발전 설비의 발전 부하로, 앞서 정의한 시스템 부하, 재생에너지 발전 그리고 시스템 발전 설비의 소내 소비를 합한 것이다. 소내 소비는 발전기의 송전 패턴과 동일한 것으로 가정한다.

재생에너지 발전은 모든 시나리오에서 급격히 증가하지만, REF와 정책 시나리오의 차이는 크다. REF에서 변동성 재생에너지 발전량은 2020년 20.2 TWh에서 2030년 95.8 TWh, 2050년 259.7 TWh로 증가한다. 반면 NZE는 2030년에 이미 237.1 TWh에 도달하고 2050년에는 648.8 TWh까지 증가한다. 2050년 발전량 중에서 태양광 발전은 66.7%인 432.7 TWh, 풍력 발전은 33.2%인 215.6 TWh, 해양에너지는 0.1%인 0.5 TWh로 예상된다. NZE의 변동성 재생에너지 발전량은 총발전량에서 재생에너지 발전량 비중 목표를 달성할 경우 예상되는 발전량이다. 재생에너지 발전이 급속도로 증가하면서 NZE에서는 2040년대부터 상시적으로 재생에너지의 초과 발전이 발생한다.

그림 2.52 탄소중립 시나리오(NZE)의 시스템 부하 변화 (GW)



위의 그림 2.52은 NZE의 2050년 홀수 달의 시스템 부하를 보여준다. 변동성 재생에너지의 초과 발전, 즉 음의 시스템 부하는 일년 내내 발생하는데, 특히 수요 부하가 낮고 재생에너지 발전이 높은 3월에 가장 크게 발생하는 것으로 분석된다. 월간 누적 초과 발전량은 4월이 14.5 TWh로 가장 많으며, 봄과 가을에 증가하고 여름과 겨울에 감소하는 특징이 있다. 연간 초과 발전량은 약 90.2 TWh로 연간 판매 전기의 930 TWh의 9.7%에 달한다. 이는 순수하게 판매 부하를 초과하는 변동성 재생에너지 발전량으로, 실제 계통 운용에서는 원자력 및 필수 가동 발전기의 가동 여부 및 규모에 따라 초과 발전량이 더 커질 수 있다. 전력 시스템의 안정적 운영을 위해 경우에 따라 재생에너지 발전을 출력제한하는 경우도 있으나, 여기서는 에너지 저장장치 등 설비의 충분한 확보와 시스템의 최적 운영으로 재생에너지 발전의 출력제한이 없는 것으로 가정한다.⁶⁰

변동성 재생에너지의 초과 발전은 계통 운영 측면만이 아니라 발전 부문의 탄소중립 정책 추진을 위해 준비해야 하는 중요 사항을 알려준다. 산업 부문의 RE100이나 수소 경제의 그린 수소 생산을 위해서는 재생에너지 발전의 확대가 필요하고, 변동성 재생에너지 발전으로 전체 발전의 70% 가까이 생산하기 위해서는 변동성 재생에너지의 초과 발전을 저장하여 다시 전력 시스템에서 낭비없이 활용해야 한다. 이를 위해서는 수요 부문에서의 수요 부하 관리와 함께, 발전 부문에서 장주기 에너지 저장장치의 보급이 필요하다.

□ 발전 설비와 발전량

기존 전력수급기본계획의 핵심 목표 중 하나가 안정적인 전기 공급이었고, 2011년 순환 단전을 경험한 이후 기존 변동성, 설비 건설 지연 등을 고려하여 설비 예비율을 22% 수준까지 끌어올리는 것을 목표로 설정하는 등 (산업통상자원부, 2015) 전기 수급의 안정성이 더욱 강조되면서, 발전 설비 용량도 2000년 48.5 GW 수준에서 2019년에는 125.3 GW 규모로 증가하였다. 하지만, 2016년 9월 12일 경주에서 규모 5.8, 이듬해인 2017년 11월 15일 포항에서는 규모 5.4의 지진이 발생함에 따라 원전 안전성 문제가 고조되었고 미세먼지로 인한 대기 오염이 주요한 사회 이슈로 대두되면서, “깨끗하고 안전한 에너지믹스로 전환 (산업통상자원부, 2019)” 하기 위해 수요 관리 및 설비 공급 계획에 큰 변화가 생겼다.

2020년 12월 발표된 ‘제9차 전력수급기본계획’에 따르면, 신규 유연탄 발전 설비는 건설이 진행 중인 설비를 중심으로 2024년까지 7기, 7.2 GW가 전력 계통에 진입하고, 기존에 운영되고 있는 석탄 발전 설비는 노후화와 미세먼지 및 온실가스 배출 감축으로 인해 2034년까지

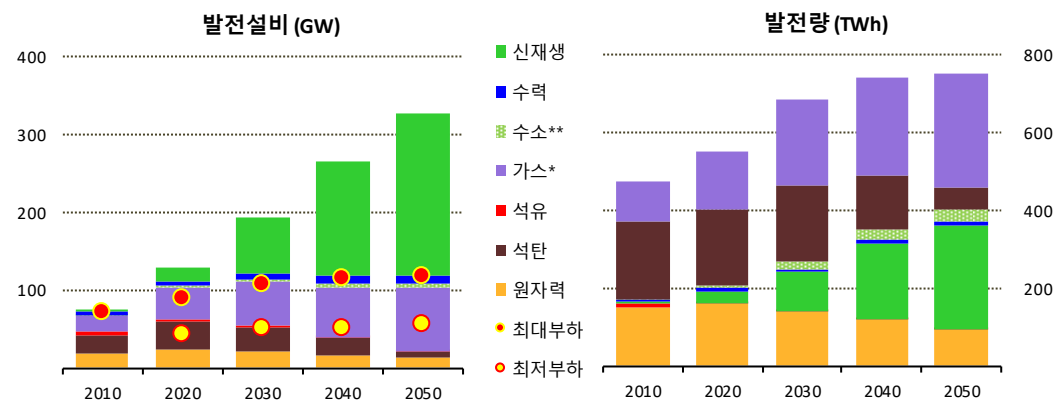
⁶⁰ 에너지 저장장치의 이용은 전력시스템 측면에서는 에너지 저장장치의 규모와 운용이 매우 중요하지만, 에너지 통계 측면에서 양수와 같은 단순한 저장을 의미하기 때문에 별도의 에너지 전환 과정 및 생산으로 취급하지 않는다.

총 31기, 13.4 GW의 석탄 발전 설비가 가동 중지되거나 연료 전환한다. 한편 원자력 발전 설비는 2021년 7월 신한울 1호기부터 2024년 6월로 예정된 신고리 6호기까지 총 4기, 5.6 GW의 설비가 새로 가동되지만, 2023년 고리 2호기를 비롯하여 2034년 한빛 3호기까지 11기, 9.5 GW의 설비가 공급 설비에서 제외될 계획이다.

‘2021 장기 에너지 전망’은 ‘제9차 전력수급기본계획’의 발전 설비 건설 계획의 기초가 2034년 이후에도 지속된다고 가정한다. 즉, 석탄화력 발전 설비와 원자력 발전 설비는 운영 허가 기간이 종료되면 기간 연장 없이 설비를 폐지하거나 연료를 전환한다. 한편, APS나 NZE의 변동성 재생에너지 발전 설비는 ‘2030 NDC 상향안’이나 ‘2050 탄소중립 시나리오’에서 제시한 발전량 비중 목표를 맞추기 위해 설비의 보급 규모를 결정한다.

REF에서는 전기 수요가 2020년 537.8 TWh에서 2050년 753 TWh로 약 40% 가량 증가하면서 총 발전량도 같은 기간 37% 증가한 798 TWh 수준에 도달할 것으로 전망된다. 석탄 발전은 ‘제9차 전력수급기본계획’의 설비 폐지 계획에 따라 2030년에는 설비가 32.4 GW, 2050년에는 8.8 GW로 감소한다. 발전량은 2030년 196 TWh, 2050년은 57 TWh로 줄어든다. 원자력 발전도 설비가 꾸준히 감소하면서 2030년 20.4 GW(137.4 TWh), 2050년 12.4 GW(91.3 TWh)로 축소된다. 태양광과 풍력 등 신재생에너지 발전 설비는 2020년 19.1 GW에서 2050년 215 GW로 급격하게 증가할 전망이다. 신재생에너지 발전 설비는 2050년 전체 발전 설비의 65% 이상을 차지할 것으로 분석된다.

그림 2.53 기준 시나리오(REF)의 발전원별 발전설비 및 발전량 전망

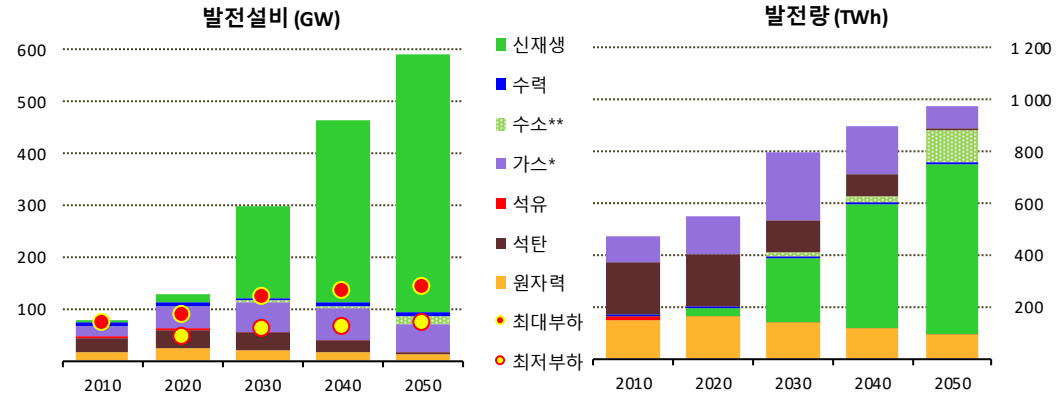


주1: 신재생에너지 발전 설비는 정격 설비 용량

주2: 최대 및 최저 부하는 발전 부하

* 가스 발전 및 기타 합계, ** 수소, 연료전지, IGCC 합계

그림 2.54 탄소중립 시나리오(NZE)의 발전원별 발전설비 및 발전량 전망



주1: 신재생에너지 발전 설비는 정격 설비 용량

주2: 최대 및 최저 부하는 발전 부하

* 가스 발전 및 기타 합계, ** 수소, 연료전지, IGCC 합계

원자력과 석탄 발전의 비중이 큰 폭으로 축소되고 신재생에너지 발전 비중이 빠르게 확대되면서 전기의 공급과 전력 시스템의 유지를 위해 가스 발전의 역할이 더욱 중요해진다. 2050년 발전 최대 부하가 136.5 GW로 증가하고 최저 부하도 71.5 GW 수준으로 증가할 것으로 분석되는데, 최저 부하는 원자력, 석탄 그리고 수력을 포함한 신재생에너지 발전 설비(유효 설비 기준)를 합한 수준보다 높다. 이는 그동안 관행적으로 첨두 부하 발전으로 구분하던 가스 발전도 기저 발전의 일부를 담당해야 하는 것을 의미한다. 또한, 재생에너지 발전의 변동성 및 불확실성을 보완하기 위한 백업 설비의 기능, 전력 계통 신뢰도 유지를 위한 보조 서비스 제공 등으로 가스 발전 설비의 역할이 확대된다. 가스 발전이 총 발전에서 차지하는 비중은 2020년 25.1%에서 2050년 36%로 증가한다.

APS와 NZE의 석탄과 원자력 발전 설비에는 큰 차이가 없다. 하지만, 두 시나리오는 2050년 이후에도 운영 기간이 남아 있는 석탄화력 발전소에 대해 서로 다른 가정을 하고 있다. APS는 해당 석탄화력 발전 설비가 폐쇄되기 10년 이전에 탄소 포집 설비를 설치하고 2050년 이후까지 운영하는 것을 가정하는 반면, NZE는 설비 투자를 하지 않고 2050년 이전에 조기 폐쇄하는 일정을 가정하고 있다. 또 다른 차이점은 석탄화력 발전 설비의 운용에 있다. APS는 석탄 발전 상한제나 환경 급전을 통해 석탄화력 발전의 가동률을 60% 이하로 유지하는 것을 가정하고 있다. 하지만 NZE는 2025년까지 증가할 것으로 예상되는 발전 부문의 온실가스 배출을 억제하기 위해 탄소세 또는 배출권거래제 유상할당 등 경제적인 수단까지 동원하여 40% 수준까지 가동률을 낮추는 것을 가정한다. 이러한 요인들로 인해 석탄 발전은 APS에서 석탄 발전은 2030년 182 TWh, 2050년 61 TWh로 감소한다. 반면 NZE에서는 2030년 125 TWh, 2050년 10

TWh로 더 빠르게 감소한다.⁶¹ 석탄화력 발전에 대한 시나리오 차이는 발전 설비와 발전량 구성에도 영향을 미치지만 연료 소비와 온실가스 배출에 더 큰 결과 차이를 만든다.

재생에너지 발전은 NZE에서 보다 확대된다. 단순히 비중 확대만이 아니라 NZE에서 더 증가하는 전기 수요로 인해 NZE의 재생에너지 발전 설비와 발전량은 APS보다 늘어난다. 재생에너지 발전 설비 용량은 2030년 178 GW, 2050년 514 GW로 급격하게 증가할 전망이다. 다만, 앞서 시나리오 정의에서 설명한 것처럼, 재생에너지 발전 설비 전망치는 실제 발전 설비가 그 규모로 증가할 수 있다는 전망이 아니라 전기 수요 전망과 발전량 비중 목표의 의해 확보해야 하는 설비 목표량이다. 재생에너지 발전의 확대가 변동성 재생에너지 발전의 증가라는 것을 고려하면, 이는 그동안 보급되었던 규모 수준의 태양광 및 풍력 발전 설비가 향후에는 매년 보급되어야 한다는 것을 의미한다.

APS와 NZE는 재생에너지 발전 확대만이 아니라 수소 터빈이라는 미래 기술에 의존한다.⁶² 수소 터빈은 2040년 이후 가스 터빈 발전을 대체하여 가스의 온실가스 배출을 줄인다. 하지만 수소 터빈은 수소 수요를 증가시켜 수소 생산에 필요한 전기 수요를 증가시킨다. 수소 터빈이 가스 터빈을 대체하기 때문에, (대체되지 않았다면 생산했을) 가스 발전량이 수소 터빈 발전량의 상한이 된다. APS와 NZE는 모두 2050년 수소 터빈 설비 규모가 12.2 GW, 발전량은 83.2 TWh로 전망한다.

가스 발전은 본질적으로 화석연료 기반 발전이기 때문에 궁극적으로는 발전 시장에서 퇴출되는 경로를 밟는다. 하지만 가스 발전은 2030년대 이전의 빠른 전기 수요 증가에 대응할 수 있는 유일한 수단이고, 수소 터빈 도입 이전까지 전기 공급과 시스템 관성을 유지할 중간 단계의 역할을 담당해야 한다. 또한, 탄소중립의 시기에도 에너지 시스템의 안보를 위한 예비 시설로써 역할을 맡을 수도 있다. 2030년대 이전 특히 2025년까지 전기 수요는 코로나19에서의 회복과 빠른 경제성장에 힘입어 87.5 TWh에서 최대 112.0 TWh까지 증가한다. 이 기간 동안 석탄 발전은 신규 설비 진입으로 인해 발전량이 37.1 TWh 늘어날 수도 있지만(REF), 강력한 온실가스 감축으로 인해 44.8 TWh 줄어들 수도 있다(NZE). 따라서 재생에너지 발전의 증가를 고려하지 않을 경우 가스 발전이 감당해야 하는 추가적인 전기 수요는 약 50 TWh에서 최대 157 TWh에 이를 수 있다. 5년이라는 짧은 시간에 가스 발전이든 재생에너지 발전이든 신규 설비 도입에는 한계가 있다. 현실적인 대응 방안은 기존 가스 발전 설비를 최대한 활용하는 것이다.

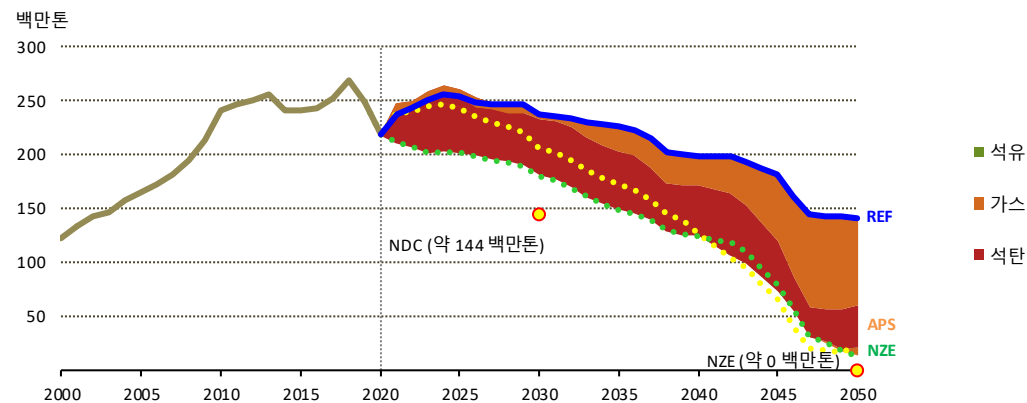
⁶¹ 2050년의 석탄화력 발전은 중앙급전 발전기가 아니라 모형 상 일부 남아있는 집단에너지 등에서 발전하는 양이다.

⁶² 발전 부분의 수소 활용은 수소 혼소와 암모니아 혼소도 있으나, 이는 발전 설비와 발전량에 영향을 미치지 않고 투입 연료와 온실가스 배출 규모에만 영향을 미친다.

□ 발전 부문 에너지 수요와 온실가스 배출

설비별 발전량이 결정되면 발전 투입 에너지는 효율 개선을 반영하여 자동으로 계산된다. REF에서는 발전 투입 에너지가 2020년에서 2050년 사이 30% 가량 증가하는데 비해, APS나 NZE의 발전 투입 에너지는 약 80% 정도 늘어난다. APS와 NZE의 투입 에너지는 유사한 경로를 보이지만 두 시나리오의 온실가스 배출 경로는 큰 차이가 있다.

그림 2.55 발전 부문 온실가스 배출 감축 기여 비교



주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

2030년까지 발전 부문 온실가스 배출 감축은 주로 석탄에서 발생한다. APS에서는 최근의 석탄발전 가동률 제한을 유지하기 때문에 석탄 발전 설비 규모의 변화와 동일하게 온실가스 배출의 변화가 생긴다. 하지만 최종소비 부문의 전력화로 인해 발전 부문의 온실가스 배출이 늘어나는 것을 최대한 억제하는 NZE에서는 초기에 대규모로 석탄의 온실가스 배출을 감축한다. 2030년까지 발전 부문의 누적 온실가스 배출 감축은 약 484백만톤-CO₂이며, 감축 전체를 석탄이 기여한다. 가스는 2025년 이후 감축 기여가 발생하지만 초기 전기 수요 증가에 대응하여 발전량이 늘어나기 때문에 2030년까지의 누적 배출량은 증가한다. 하지만, 2030년 이후 가스 발전의 온실가스 배출 감축이 본격화된다. 이는 2035년 이후 전체 가스 설비를 대상으로 수소를 50% 혼소하면서 발생하며, 2040년 이후에는 가스 발전 설비를 수소 터빈이 대체하면서 가스 발전량이 감소하기 때문이다. APS나 NZE는 2050년 탄소중립의 목표에 근접한다. 시나리오 경로와 목표의 차이는 아직 감축 수단을 적용하지 않은 집단에너지나 상용자가 발전 설비 때문인데, 이는 정책 수단의 부재라기 보다는 분석 모형의 한계로 이해할 필요가 있다.

하지만, 2030년의 NDC 상향 목표는 어느 시나리오에서든 온실가스 감축이 매우 어려운 것으로 나타난다. 가장 큰 이유는 전기 수요의 증가에 있다. 코로나19에서의 회복과 경제의 반

등으로 에너지 수요가 증가하는 상황에서, 최종소비 부문의 온실가스 감축 목표 달성을 위해 효율 개선에 최대의 노력을 기울인다 하더라도 대규모의 전력화를 동시에 추진하지 않고는 부문별 목표 달성이 어렵기 때문이다. 이는 발전 부문의 온실가스 배출 감축 목표 달성 여부를 단지 발전 부문만의 노력으로 한정하여 바라볼 수 없다는 것을 의미한다. 2030년까지 2018년 대비 국가 온실가스 배출을 40% 감축하겠다는 국제적 약속을 제시한 상황에서, 부문별 감축 수단을 다시 나열하고 수단 간 상호 작용을 고려하면서 합리적이고 최적의 배출 감축 수단 패키지를 개발하는 것이 가장 필요하다고 할 수 있다.

제3장 에너지 상품별 전망

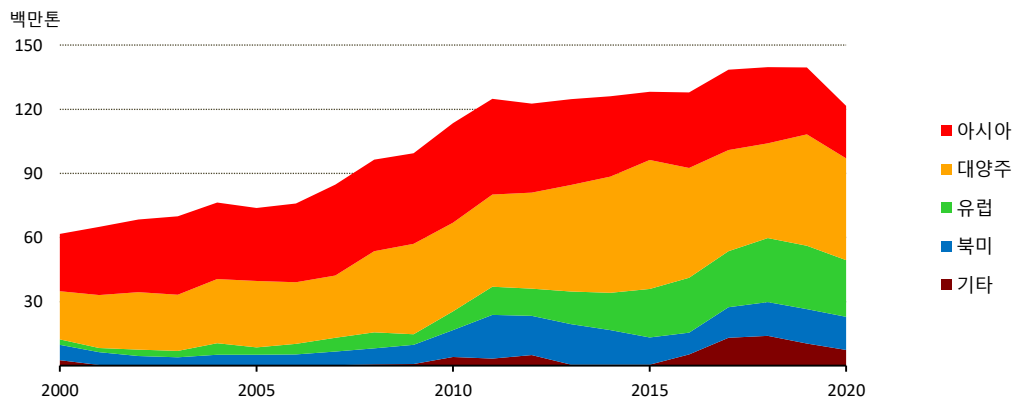
1. 석탄

1.1. 석탄 수급 현황

□ 최근 미세먼지 문제는 석탄 공급 총량뿐 아니라 수입 국별 비중에도 영향

우리나라는 다른 에너지 상품과 마찬가지로 석탄 공급의 대부분을 수입에 의존하고 있다. 2020년 기준 전체 석탄 공급량 중 수입 비중은 99.2%에 달한다. 석탄 수입은 2000년 이후 철강업의 고로 증설과 발전 부문의 석탄 발전소 증설 등으로 빠르게 증가해왔다. 그러나 최근에는 철강업의 경기 둔화와 미세먼지 문제로 인한 석탄 발전 제한 등으로 소비량이 줄며 석탄 수입 또한 정체 혹은 감소로 전환했다.

그림 3.1 2000~2020년 수입국별 석탄 수입량 추이



자료: 한국무역협회 자료를 이용한 “2021 에너지통계연보”의 자료를 이용하여 저자 작성

석탄 수입을 지역별로 살펴보면 대양주로부터의 수입 비중이 39.1%, 그 다음이 유럽 21.8%, 아시아 20.2%, 북미 12.8%, 기타 6.1% 순이다.⁶³ 2010년대 중반 이후 사회적 이슈로 급부상한 미세먼지 문제는 지역별 수입 비중에도 영향을 미쳤다. 석탄은 생산지역에 따라 탄화된 정도가 각기 다르고 이에 따라 열량이 차이가 나는데, 대표적으로 호주산이 고열량탄, 인도네시아산이 저열량탄에 속한다. 저열량탄의 경우 발전소에서 같은 양의 전기를 생산하기 위해 투입해야 하는 석탄의 양이 많다 보니 미세먼지 배출 또한 많아진다. 2016년까지만 해도 가격

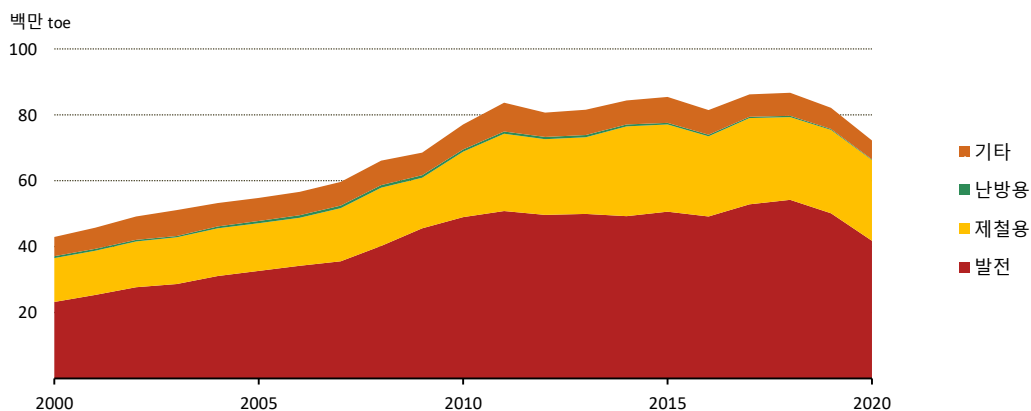
⁶³ 호주, 러시아, 인도네시아, 캐나다가 각각 대양주, 유럽, 아시아, 북미의 대부분을 차지한다.

이 저렴한 인도네시아산 석탄 수입 비중이 높아 아시아 지역의 수입 비중이 27.6%에 달했으나, 미세먼지 이슈가 부각되면서 아시아 지역 수입 비중은 매년 2~3%포인트 정도 하락하여 2020년에는 20.2%까지 떨어졌다. 그 대신 호주와 러시아, 캐나다 등 다른 지역의 석탄 수입 비중이 상승하고 있는 상황이다.

□ 2000년 이후 석탄 소비는 산업과 발전 부문을 중심으로 빠르게 증가했으나 최근에는 감소 전환

석탄 소비는 2000~2011년 석탄화력 발전 설비 확대 및 제철용 유연탄 소비 증가에 힘입어 연평균 6.3%의 빠른 속도로 증가했다. 이에 따라 2000년에는 66.5백만 톤에 불과하던 석탄 소비가 10여년만인 2011년에는 두 배 정도 증가한 130.9백만 톤에 달했다. 그러나 이후 석탄 소비가 정점에 도달한 2018년까지는 석탄 소비 증가세가 연평균 1.1%로 대폭 둔화되었다. 발전용의 경우, 2010년대 중반까지는 석탄 발전 신규 설비 진입이 정체되었고, 2016년 이후 총 11기 9.9 GW의 대규모 신규 설비 진입에도 불구하고 미세먼지 저감 정책 등으로 인한 낮은 가동률 탓으로 석탄 소비 증가는 제한되었다. 산업 부문에서도 글로벌 철강 공급 과잉에 따른 철강 경기 둔화, 중국 저가 철강과의 경쟁 심화, 국내 주요 철강 수요 산업의 성장 둔화 등으로 소비 비중이 가장 큰 제철용 석탄 소비가 정체되었다

그림 3.2 2000~2020년 용도별 석탄 소비 추이



2019년과 2020년에는 석탄 소비량이 각각 5.3%, 12.1%로 가파르게 감소했다. 주요인은 발전용 소비로, 미세먼지 저감 정책의 강도가 점차 강화됨에 따라 과거 80~90%에 달하던 석탄 발전 가동률은 70% 내외로 하락하고 발전용 석탄 소비는 2019년과 2020년에 각각 7.6%, 16.6% 감소했다. 2020년에는 코로나19로 인한 경기 침체도 석탄 소비 감소에 기여했다. 전 세

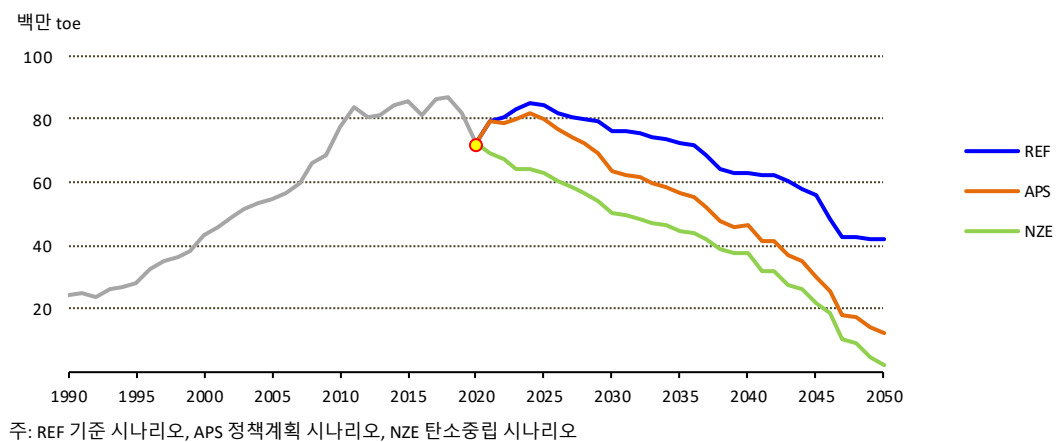
계적으로 경기가 침체됨에 따라 생산활동이 둔화되고 이에 따른 전기 소비 감소는 석탄 발전 감소로 이어졌다. 또한, 철강업 생산활동 감소는 제철용 석탄 소비 감소로 직결되었다.

1.2. 석탄 수요 전망

□ 기준 시나리오(REF)의 석탄 수요는 전망 기간 42.3% 감소하여 2050년에 41.7백만toe 수준

2020년에는 코로나19의 영향으로 석탄 수요가 큰 폭으로 감소하였다. 그러나 이에 따른 기저효과와 대용량 석탄 발전기의 신규 진입 등의 영향으로 전망 초기에는 수요가 반등할 것으로 예상된다. 이러한 반등은 2024년까지 이어질 것으로 보이는데, 석탄 수요는 2024년 85백만toe 정도에서 정점에 도달하고 이후로는 지속적으로 감소할 전망이다. 이러한 전반적 추세는 정책계획 시나리오(APS)에서도 비슷하게 유지된다. 그러나 APS의 석탄 소비 정점은 REF 대비 4.2% 낮은 82백만toe 수준이며, 이후 감소 속도도 더 빨라 2050년에는 석탄 수요가 12.1백만toe까지 감소할 것으로 전망된다. 탄소중립 시나리오(NZE)에서는 석탄 수요의 추이가 REF나 APS와는 조금 다른 모습을 보인다. 석탄 수요는 전망 초기부터 반등없이 빠르게 감소하기 시작하며 탄소중립 목표 시점인 2050년에는 2백만toe 수준으로 석탄 수요가 거의 소멸된다.

그림 3.3 시나리오별 석탄 수요 추이



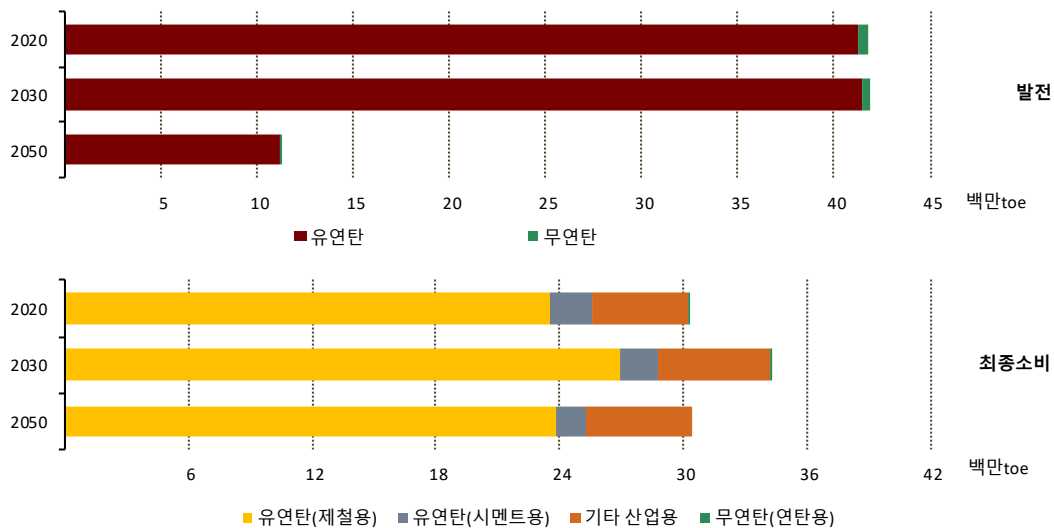
□ 발전용 석탄 수요는 석탄 발전 설비의 퇴출과 함께 빠르게 감소

전망 기간 전체 석탄 수요의 추이를 결정하는 것은 발전용 수요이다. 이는 발전용 수요가 전체 석탄 수요의 60% 정도를 차지하기 때문이다. 발전용 수요는 그 다음 큰 비중을 차지하는 제철용 수요에 비해서도 두 배 정도 많은 양이다. REF에서 발전용 수요는 2024년까지 빠르게

증가하는데, 이는 석탄 발전 설비 증설과 빠른 전기 수요 증가 때문이다. ‘제9차 전력수급기본 계획 (산업통상자원부, 2020)’에 따르면 2021~2024년까지 신서천, 강릉안인 1,2호기, 삼척화 력 1,2호기 등 1GW급 대용량 석탄 발전기가 매년 1,2기씩 신규 가동을 시작하는 것으로 계획 되어 있다. 이러한 설비 증설의 영향으로 2020년 41.8백만toe 수준이었던 발전용 석탄 소비는 2024년 51.7백만toe까지 빠르게 확대될 것으로 예상된다. 그러나 2020년대 중반부터 노후 석 탄 발전기들이 연이어 퇴출⁶⁴되면서 발전용 석탄 수요는 빠르게 감소하고 2050년에는 11.3백 만toe까지 감소할 것으로 전망된다.

APS에서는 전망 기간 석탄 발전 설비의 설정은 REF와 동일하다. 그럼에도 불구하고 발전 용 석탄 수요가 REF 대비 낮게 나타나는 것은 석탄 발전 이용률과 2027년 7기에 대한 실증을 시작으로 2030년 석탄 화력발전 24기에 적용되는 암모니아 혼소 때문이다. REF에서는 석탄 발 전 이용률이 60% 중후반에서 70%까지 이르는 것으로 가정한 반면, APS에서는 석탄 발전 상한 제와 환경 급전이 강화되면서 석탄 발전 이용률을 60% 이하로 억제한다고 가정한다. 한편, 석 탄 화력발전의 암모니아 혼소는 연료의 20%를 목표로 하고 있다. 그 결과 APS에서는 전기 수 요의 증가와 설비 확대의 영향으로 발전용 수요가 2024년에 49.3백만toe 수준으로 정점을 기 록하고, 2050년 9.9백만toe 수준까지 감소할 전망이다.

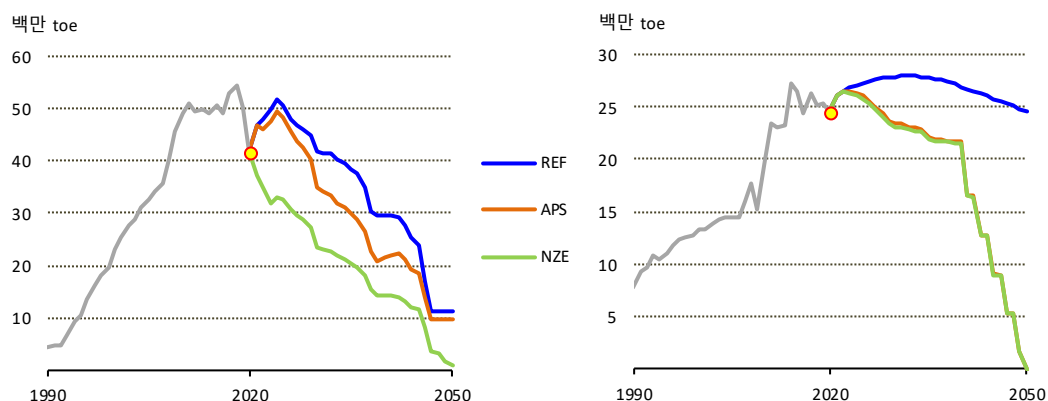
그림 3.4 2030년과 2050년 용도별/탄종별 석탄 수요 변화



⁶⁴ 2034년까지의 설비계획은 ‘제9차 전력수급기본계획’을 따르고, 이후 전망 기간에 대해서는 석탄 발전기의 신규 진입은 없으며 기존 석탄 발전기는 수명 30년이 되면 퇴출되는 것으로 가정하였다.

반면, NZE에서는 석탄 발전 설비에 대한 가정이 REF 및 APS와 차이가 난다. 기존 두 시나리오에서는 2050년이 되어도 2020년 이후 신규 진입한 석탄 발전기 7기⁶⁵는 설비 수명 30년이 지나지 않아 여전히 남아있는 상태이다. 그러나 NZE에서는 이 7기의 석탄 화력발전기들이 조기 폐지된다고 가정하였다. 또한, NZE에서는 석탄 상한제, 환경 급전 등의 직접 규제와 더불어 시장 제도를 통한 강력한 석탄 발전 억제 정책을 도입하여 석탄 화력발전의 이용률을 40% 이하로 억제한다고 가정하고 있다. 2020년대 탄소배출 감축을 목표로 최종소비 부문의 전력화가 추진되면서 전기 수요가 폭발적으로 증가하고 이로 인해 발전 부문의 '2030 NDC 상향안' 목표 달성이 매우 어려워진다. 설비 구성의 변경이 시간적 제약으로 힘든 상황이기 때문에 결국 온실가스 배출이 많은 석탄 발전의 가동을 줄이고 상대적으로 적은 가스 발전으로 이를 대체하는 것이 현실적 방안이다. 이러한 전제와 함께 도출한 NZE의 발전용 석탄 수요는 전망 기간 줄곧 빠르게 감소하며 2050년에는 1.0백만toe 수준으로 거의 소멸되는 것으로 전망되었다.

그림 3.5 시나리오별 전망 기간 발전용(좌) 및 제철용(우) 석탄 수요 변화



주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

□ 석탄 최종소비는 REF에서 현재 수준 유지, APS와 NZE에서는 철강 신기술 도입으로 소멸

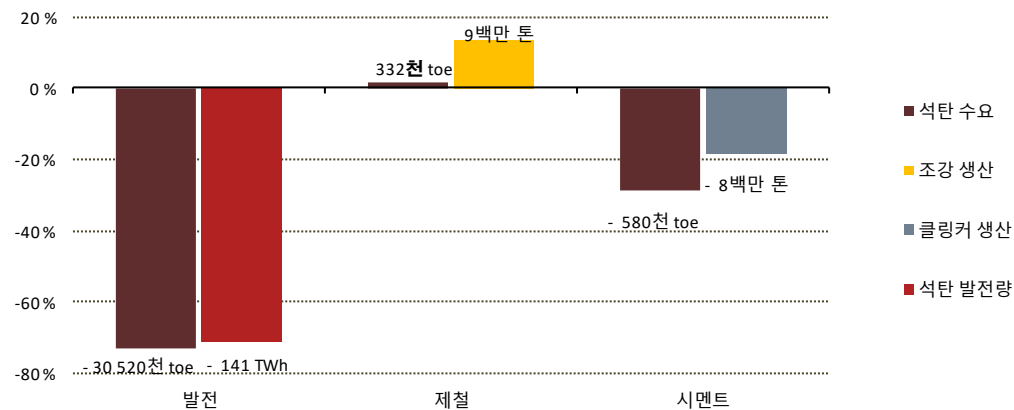
석탄 최종소비는 2020년 기준 30.5백만toe 수준이다. 전망 초기 석탄 수요는 서서히 증가하다가 2032년에 34.4백만toe로 정점에 도달한 후 다시 지속적으로 감소하여 2050년에는 2020년과 거의 비슷한 수준인 30.5백만toe 정도에 머물 전망이다. 연소 시 다량의 온실가스를 배출하는 석탄은 탄소중립 정책의 주요 타겟이 되어 APS와 NZE에서는 전혀 다른 소비 추이를 보인다. 두 정책 시나리오 모두 2022년에 소비 정점에 도달한 후 빠르게 감소하여 2030년에는

⁶⁵ 신서천, 고성하이 1,2호기, 강릉안인 1,2호기, 삼척화력 1,2호기이며, 설비 용량은 7.3 GW이다.

26~29백만toe, 2040년에는 23~25백만toe, 2050년에는 1~2백만toe 수준까지 감소할 것으로 전망된다.

최종소비 부문에서 석탄 소비의 대부분을 차지하는 것은 산업용이며 그 중에서도 제철용 소비가 80% 이상을 차지한다. 전망 기간 철강업 부가가치가 연평균 0.3% 증가에 그치는 등 철강 경기가 부진할 것으로 전제되었는데, 이에 따라 제철용 석탄 소비도 정체될 것으로 보인다. 2020년 기준 24.5백만toe 수준인 제철용 석탄 소비는 2032년 28.0백만toe로 정점에 도달한 이후 지속 감소하여 2050년에 다시 24.6백만toe 정도까지 감소할 전망이다. 국내 철강 업계에서는 최근 중국의 저가 철강재 등과 경쟁하기 위해 철강재 고급화 전략의 일환으로 전기로강 대비 전로강 생산 비중을 꾸준히 높여왔는데, 앞으로는 탄소중립 정책 등으로 생산 과정에서 이산화탄소 배출이 많은 전로강 비중을 지속적으로 높이는 것은 부담스러운 상황이다. 이 또한, 향후 제철용 석탄 소비가 정체되는 요인으로 작용할 전망이다.

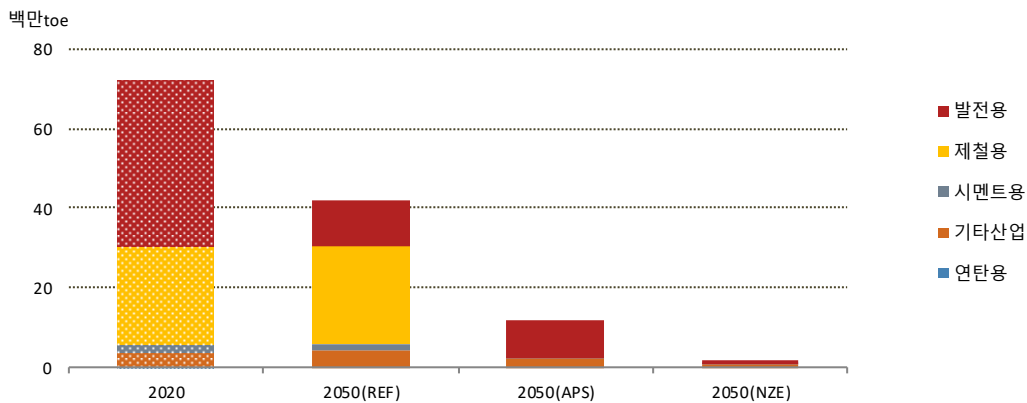
그림 3.6 2000~2050년 용도별 석탄 수요 증감



철강업은 대표적 온실가스 다배출 산업으로 APS와 NZE에서는 철강업의 온실가스 배출 저감을 위한 신기술들이 적용된다. 이러한 기술들은 직접적으로 석탄 소비량을 줄이게 되는데, 대표적 기술 두 가지는 상저취 전로 활용 스크랩 다량 사용 기술과 수소환원제철 기술이다. 전망 초기에 큰 영향을 미치는 것은 상저취 전로 활용 스크랩 다량 사용 기술로, 이는 전로에 투입되는 철스크랩 비율을 높이는 기술이다. 현재 투입되는 철스크랩의 비율은 15% 정도이나 2030년 목표는 30% 수준이며 철스크랩 비율이 늘어날수록 선철 비중은 줄어들고 선철 생산을 위한 제철용 석탄 수요 또한 줄어들게 된다. 그러나 전로에 투입하는 철스크랩 비중을 늘리는 데는 한계가 있으며 전망 후기인 2040년에 접어들어서는 수소환원제철 기술이 석탄 수요를 감소시키는 역할을 한다. 이 기술은 원료탄으로 제조한 코크스를 환원제로 사용하는 대신 수

소를 환원제로 사용하여 제철용 석탄 수요를 획기적으로 줄이게 된다. 2020년 24.5백만toe 수준인 제철용 석탄 수요는 APS와 NZE에서 상저취 전로 활용 스크랩 다량 사용 기술의 영향으로 2030년대 말미에는 21백만toe 수준까지 떨어지고, 2040년에 접어들며 수소환원제철 기술이 적용되기 시작하며 2050년에는 완전히 소멸될 전망이다.

그림 3.7 시나리오별 주요 용도별 석탄 수요 변화



산업용에서 제철용 다음으로 소비 비중이 높은 것은 시멘트용이다. 시멘트 제조에서 석탄은 클링커를 생산하는 소성 공정에서 열원으로 다량 사용되는데, 온실가스 배출 저감을 위해 석탄의 비율을 줄이고 폐기물 연료 비율을 늘리는 추세이다. 현재 소성 공정에서 폐기물 연료의 비중은 20% 수준이며 REF에서는 2050년에 이 비중이 30% 정도까지 확대되는 것으로 가정하였다. 이에 따라 시멘트용 석탄 소비는 2020년 2.0백만toe 수준에서 2050년 1.4백만toe로 감소하는 것으로 전망되었다. 반면, APS와 NZE에서는 2050년에 소성 공정의 연료 중 폐기물 연료 비중이 60%까지 빠르게 확대되고 나머지 연료는 석탄이 아닌 수소로 대체함에 따라 시멘트제조업에서의 석탄 수요는 2050년에 소멸되는 것으로 전망되었다.

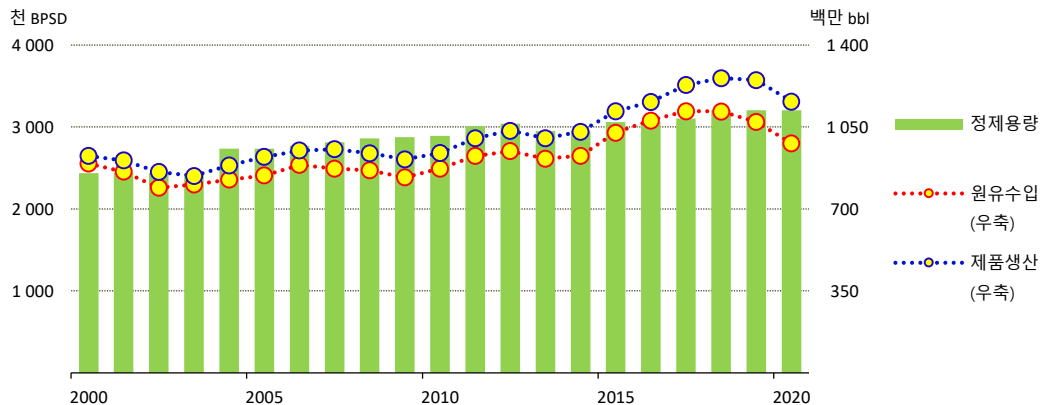
2. 석유

2.1. 석유 수급 현황

□ 2010년대 중반 유가 하락 이후 빠르게 증가한 원유 수입과 석유제품 생산은 코로나19로 급락

2000년 이후 한동안 연간 9억 bbl 수준에서 정체한 원유 수입량은 2014년 하반기 국제 유가가 급락하면서 수송용 소비가 급증하고, 석유화학 설비 신증설로 석유화학 원료용 소비가 증가하면서 2017년 11.2억 bbl까지 빠르게 증가했다. 그러나 이후 소폭 감소하다가 2020년 코로나19 대유행으로 9.8억 bbl 수준으로 급감하였다. 한편, 1997년 2.4백만 BPSD(barrel per stream day)까지 확대된 국내 정제 설비 용량은 외환위기와 글로벌 금융위기 등으로 증가세가 둔화되었으나, 이후 꾸준히 증가하여 2018년 말 기준 3.2백만 BPSD 규모로 성장하고 2020년까지 이 수준을 유지하고 있다. 석유제품 생산은 2000~2020년 연평균 1.1% 증가하여 2020년 11.6억 bbl을 기록하였으며, 생산된 석유제품의 40.4%에 해당하는 4.7억 bbl을 수출하였다. 코로나19 대유행의 영향으로 2020년 생산량이 2019년 대비 7.3%나 감소하였다.

그림 3.8 석유정제 설비 용량, 원유 수입, 석유제품 수출 추이

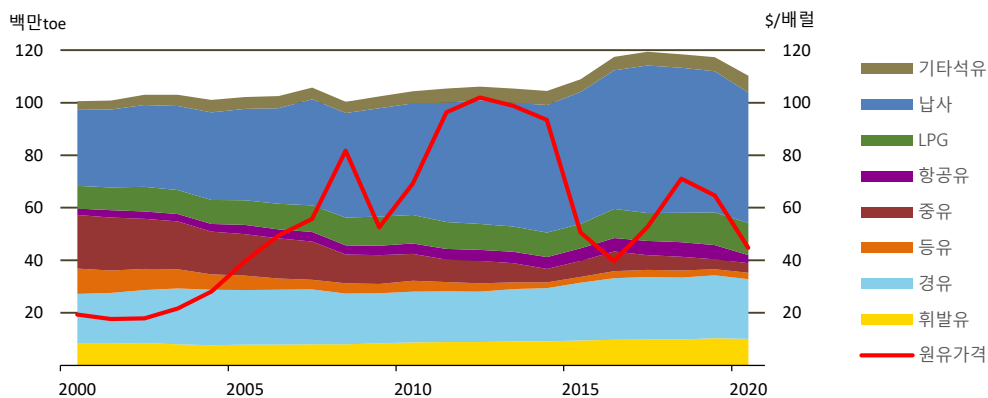


□ 2010년대 중반까지 정체되었던 석유 소비도 국제 유가가 급락하면서 빠르게 증가

석유 소비는 2000~2014년 기간 연평균 0.3% 증가에 그치며 빠른 증가 없이 정체하였으나, 2014년 이후 국제 유가 급락과 석유화학 설비 신증설 등의 증가요인으로 2015년에는 4.2%, 2016년에는 7.8% 증가하는 등 급증하였다. 2014년 상반기까지 배럴당 100달러를 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 배럴 당 20 달러 수준까지 폭락하였고, 2015년과 2016년 연간으로는 국제 유가가 각각 전년 대비 45.8%, 21.5% 하락했다. 이에 따라 수송 부문에서 경유와 휘발유 등의 소비가 빠르게 증가하고, 2014년부터 시작된 석유화학 설비 신증설로 석유화학 원료로 쓰이는 납사와 LPG의 소비가 빠르게 늘면서 석유 소비가 급증하였다. 그러나 이후 국제 유가가 산유국들의 감산 합의 등 생산량 감소 요인 발생으로 인해 상승세로 반전하여 2017년에는 석유 소비 증가율이 전년 대비 1.6%로 대폭 낮아졌고 2018년 이후 감소세로 전환되었다가 2020년 코로나19 대유행으로 급감하였다.

그림 3.9 석유제품 소비와 국제 원유가격(두바이) 추이



2.2. 석유 수요 전망

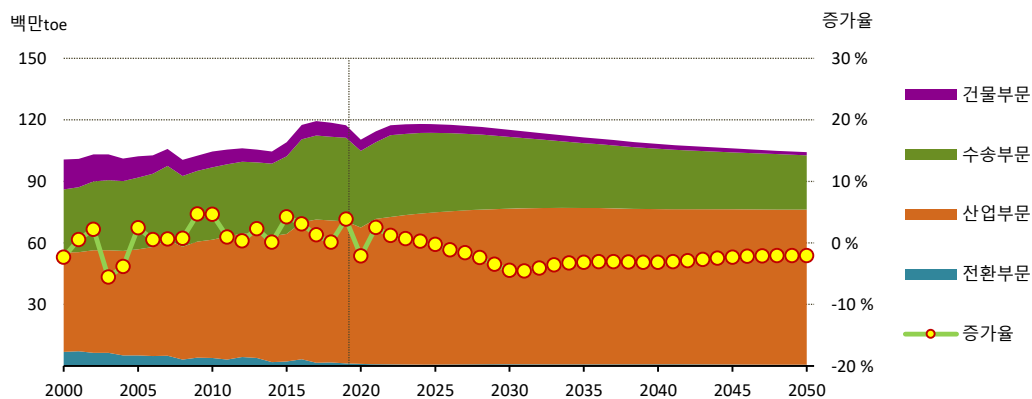
□ 석유제품 수요는 코로나19 회복기에 정점 도달 후 감소하여 2050년에는 104백만 toe으로 하락

기준 시나리오(Reference Scenario, REF)에서 석유제품 수요는 전망 기간 초기에 코로나19로부터 경제가 회복되며 급증하여 118백만 toe 수준에서 정점에 도달할 전망이다. 이후에 석유화학 설비 신증설 효과 등의 증가 요인이 있으나 국제 유가가 높게 유지되고 친환경차 도입이 빨라지면서 석유 수요는 2020년부터 2050년까지 연평균 0.2%씩 지속적으로 감소한다.

2019년 배럴당 65 달러 수준이었던 국제 유가는 2020년 코로나19의 영향으로 45달러 수준으로 급락한 후 2021년 코로나19 회복기에 74달러 수준으로 급상승하였다. 이는 팬데믹으로부터의 경제 회복에 따른 수요 증가뿐만 아니라 전세계적인 에너지 전환 기조 속에서 석유 생산 부문에서 설비투자가 제대로 이뤄지지 않은데 따른 공급 부족에도 기인하였다. 이후에도

에너지 전환이 가속화되면서 석유를 포함한 화석연료 공급 설비에 대한 신규 투자 규모가 점차 축소될 것으로 보여 전망 기간 동안 고유가 상황이 이어지고 석유 수요 증가를 제한할 전망이다. 국제유가는 2030년까지 배럴당 80달러 이상 상승하고, 2050년에는 95달러 가까이 상승할 전망이다.

그림 3.10 석유제품 수요 및 증가율 추이



전망 기간 동안 에너지 전환 기조에 맞춰 전기, 수소차와 같은 친환경차의 보급이 빨라질 전망이다. 수송용 유류의 가격 상승의 영향도 있지만 주로 친환경차 보급 확대에 의해 내연기관 자동차 등록대수는 코로나19 회복기 이후에 지속적으로 감소하여 석유 수요를 줄이는 요인으로 작용한다. 전체 자동차 대수는 2030년대 후반까지 지속적으로 증가하고 이후 인구가 감소하면서 서서히 감소할 것으로 예상된다. 한편, 석유화학 설비의 신증설로 인해 국제 유가의 변동에도 납사와 LPG의 원료용 소비는 꾸준히 증가할 전망이다. 2021~2022년에도 석유화학의 NCC(Naphtha Cracking Center)나 PDH(Propane De-Hydrogenation), MFC(Mixed Feed Cracker)⁶⁶ 설비가 대량으로 신증설되는 등 전망 기간 동안 기초유분 생산이 양호하게 증가하면서 산업용 석유 소비도 전망 초기에 상대적으로 빠르게 증가한 후 2050년까지 지속적으로 증가할 전망이다. 석유화학업의 기초유분 생산량은 생산 설비 용량이 증가하며 지속적으로 증가하지만, 유가 상승으로 인한 납사의 가격 경쟁력 약화, 에틸렌 시장의 경쟁 심화, 중국의 석유화학 제품 자급률 상승 등으로 증가세는 점차 둔화된다.

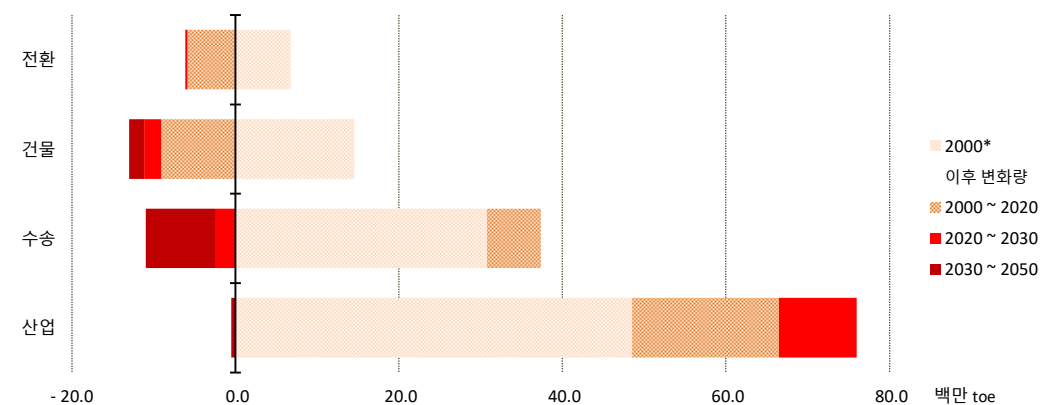
⁶⁶ NCC, PDH, MFC 설비는 모두 에틸렌, 프로필렌 같은 기초유분을 생산하는 설비로, NCC는 납사를 열분해, PDH는 프로판으로부터 수소를 분리, MFC는 NCC와 같은 원리를 이용하나 원료로 납사와 프로판, 중유 등을 혼용하여 사용하는 설비임

□ 전망 기간 산업 부문의 원료용 수요의 증가가 전체 석유 수요를 견인할 전망

REF에서 산업 연료용으로 사용되는 석유제품은 전기, 가스 등 다른 에너지원으로 대체가 지속되는 가운데, 석유화학 원료용 수요가 꾸준히 증가하여 2020~2050년 기간 산업 부문 석유제품 수요는 연평균 0.4% 증가할 전망이다. 석유화학 산업의 석유제품 소비는 2000년 33.1백만toe에서 석유화학 설비 신증설에 힘입어 2019년에는 62.0백만toe로 빠르게 증가하였으며, 2020년 코로나19의 영향으로 59.3백만 toe로 감소하였지만 전망 기간 동안 꾸준히 증가하여 2050년에는 69백만toe 수준에 이를 전망이다.

전망 기간 산업 부문 석유제품 수요는 약 9백만toe 증가할 전망인데, 석유화학의 석유 제품 수요는 약 10백만toe 증가하여 산업 부문 증가량을 초과한다. 납사의 수요는 약 9백만toe 증가하여 석유화학 석유 수요 증가의 90% 이상을 차지할 전망이다. 다만, 납사 수요의 증가세는 대외적으로는 중국의 석유화학 제품 자급률 상승, 에틸렌 시장 경쟁 심화 등으로, 대내적으로는 석유화학의 또다른 원료인 LPG와의 경쟁 심화 등으로 전망 기간 동안 지속적으로 둔화될 것으로 예상된다. 한편, 산업 연료용 석유제품 수요도 전망 기간 유가 상승, 미세먼지 등과 같은 대기오염물질 배출 문제, 온실가스 배출권 제도 강화 등으로 가스나 전기 등 다른 에너지원으로 지속적으로 대체되며 꾸준히 감소할 전망이다.

그림 3.11 기간별 부문별 석유제품 수요 변화



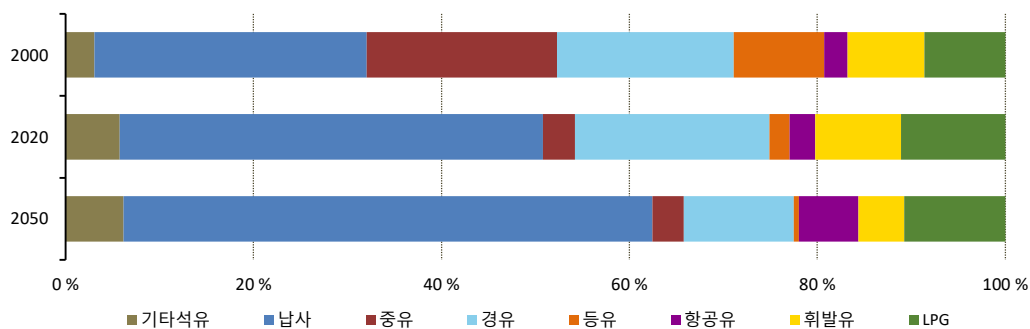
* 2000년 소비량을 의미

수송 부문 석유제품 수요는 코로나19의 영향으로 급감하였는데 이후 경제가 회복되는 전망 초기에 빠르게 증가하며 정점에 도달하지만 이후 친환경 자동차 보급이 가속화되며 2050년까지 지속적으로 감소할 전망이다. 2020년과 2021년에는 코로나19 대유행으로 국내외 국제 여행 수요가 감소하는 등 이동 수요가 급감하여 도로와 항공 부문을 중심으로 석유제품 수

요가 크게 감소하였다. 2022년 이후 코로나19의 영향에서 빠르게 벗어나며 전망 기간 초기에는 수송 부문 석유제품 수요가 증가하겠지만, 이후 전기, 수소 자동차의 보급이 본격적으로 확대되며 내연기관 자동차 비중이 축소되고, 인구 감소 등으로 이동 수요 증가세도 둔화되며 수송 부문 석유제품 수요 감소세가 지속될 전망이다.

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 유가 상승, 꾸준한 에너지 대체, 건물 단열 및 기기 효율 개선 등으로 수요가 빠르게 감소한다.

그림 3.12 석유제품별 소비비중 변화



□ 석유제품별로는 항공유가 가장 빠르게 증가하나 증가량은 납사가 가장 클 것으로 전망

REF에서 납사 수요는 석유화학 제품 수요의 증가에 따른 기초유분 생산 증가와 설비 신증설 등 증가 요인으로 2020년 49.7백만toe에서 연평균 0.6% 증가하여 2050년에 59백만toe에 이를 전망이다. 석유화학 설비 확장, 기초유분의 대중국 수출 증가로 2000~2020년 연평균 2.7% 증가하였던 납사는 전망 기간에도 꾸준히 증가하겠으나, 석유화학에서의 LPG, 중유 등 원료를 다변화하는 추세, 중국의 기초유분 및 파라자일렌 자급률 상승 등으로 증가세는 과거와 비교하여 대폭 둔화될 전망이다.

항공유는 해외 여행 수요 증가, 신규 취항 노선 확대, 공항 인프라 개선 등으로 2020~2050년 전망 기간 동안 연평균 2.6% 증가하면서 석유제품 중 가장 빠르게 증가할 전망이다. 2020년 코로나19 대유행에 따른 봉쇄조치로 항공 이동 수요가 감소하고 항공유 소비가 급감했던 것을 고려하면, 코로나19로부터 경제 회복 이후 수요의 연간 평균 증가율은 이보다는 낮다. 코로나19의 후유증으로 해외 여행 수요가 코로나19 이전만큼 빠르게 증가하지 않을 것으로 보인

다. 그러나 2020년대 중반 이후 영남권과 제2제주 공항이 개항되면 항공유 수요는 크게 증가할 가능성이 있다.

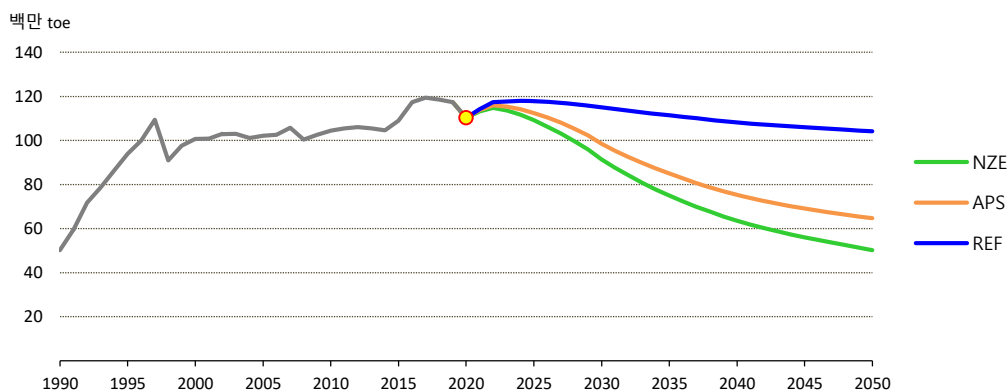
휘발유와 경유는 보조금 등의 정책 지원으로 전기, 수소 자동차와 같은 친환경 자동차 보급이 빠르게 확대됨에 따라 내연기관 자동차 대수가 감소하며 수요가 감소할 전망이다. 노후 경유차를 조기 폐차하는 등 정부의 강력한 미세먼지 저감 대책으로 경유 수요가 감소하고, 휘발유 자가용이 전기, 수소차로 빠르게 대체되며 휘발유 수요가 감소한다. 내연기관 자동차의 보급 감소와 더불어 자동차 연비 개선, 주행거리 감소 등으로 휘발유와 경유 수요는 전망 기간 연평균 각각 0.9%, 1.0% 감소할 전망이다.

LPG 수요는 석유화학에서 납사를 대체하는 원료용 수요가 증가하지만, LPG 자동차 감소, 연료 가격 상승 등으로 수송과 건물 부문 수요가 감소하면서 소폭 감소할 전망이다.

□ 정책 계획 시나리오(APS)에서 석유 수요는 보다 빠르게 감소하여 2030년 99백만 toe에 도달

정책 계획 시나리오(Announced Plan Scenario, APS)에서 석유 수요는 REF보다 빠르게 감소하여 2030년 99백만toe에 도달한다. APS는 ‘2030 NDC 상향안 (2050 탄소중립위원회, 2021a)’과 ‘2050 탄소중립 시나리오 (2050 탄소중립위원회, 2021b)’에서 밝힌 수단들 중에서 일정과 목표가 구체적인 정책과 기술을 반영하고 있다. 반면, 탄소 중립 시나리오(Net-Zero Emissions Scenario, NZE)는 2030 NDC 목표와 2050 탄소중립 목표를 달성하기 위해 APS에 반영된 수단들의 강화와 함께불확실한 감축 수단들의 적용을 포함하고 있다.

그림 3.13 시나리오별 석유 수요 전망



주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

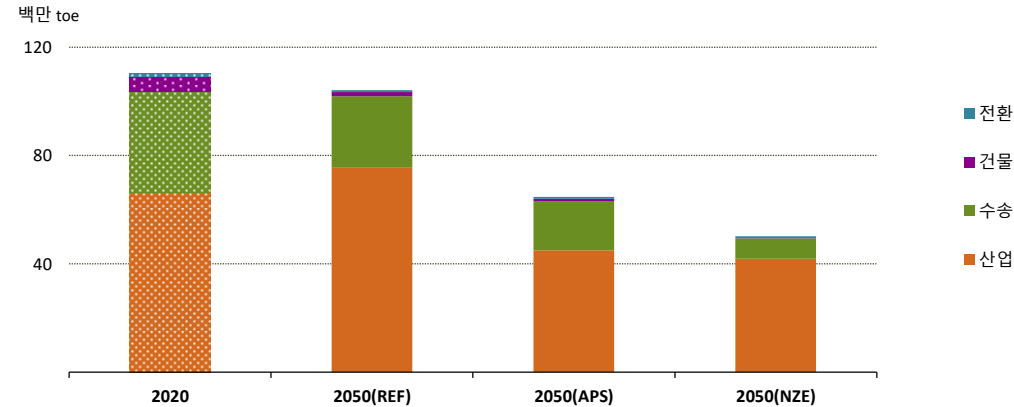
REF와 APS의 석유 수요는 모두 2020년대 상반기에 코로나19로부터 회복에 힘입어 다시 증가한 이후 지속적으로 감소하는 경로를 보인다. 이는 2050년 탄소 중립 경로를 나타내는 NZE도 마찬가지이다. 2020년대 중반까지의 석유 수요 반등은 적극적인 감축 수단의 적용이 어려운 가운데 코로나19로 침체되었던 경제가 다시 급속히 회복하는 것이 주요 원인이다. 하지만 반등 수준은 시나리오마다 차이가 있어서 REF는 약 118백만toe 수준까지 증가하여 2017년 석유 소비 정점 수준에 근접하지만, APS와 NZE는 각각 116백만toe와 115백만toe 수준까지 증가할 것으로 예상된다. 2020년대 초반의 정점 도달 이후 감소 속도에서 차이가 발생하며 시나리오 간 석유 수요의 차이가 점점 커진다. 2050년 REF, APS, NZE의 석유 수요는 각각 104백만toe, 65백만toe, 50백만toe으로 전망된다.

□ 정책 시나리오에서는 도로 부문 수송용과 산업 부문 원료용 석유 수요가 더 빠르게 감소

정책 시나리오인 APS와 NZE에서는 REF와 비교하여 도로 부문의 수송용과 산업 부문의 원료용 석유 수요가 더 빠르게 감소한다. 전환과 건물 부문의 석유 소비량은 그 비중이 작아서 감소가 전망됨에도 불구하고 전체 석유 수요의 감소에 미치는 영향이 미미하다. 수송 부문에서는 가장 큰 비중을 차지하는 도로 부문의 수요가 전기, 수소 자동차의 도입 확대, 운행 거리의 감소 등의 요인으로 빠르게 감소한다. 주요 온실가스 감축 정책으로 APS에서는 2030년까지 전기, 수소차 등록대수를 450만대까지 늘리는 정책을 반영하였다. NZE에서는 2050년까지 99% 이상의 등록 자동차를 전기, 수소차로 대체하는 것으로 가정하였다.

전망 기간 동안 REF에서 수송 부문의 석유 수요가 11백만toe 가량 감소하는데 도로 부문의 수요는 15백만toe 감소하여 다른 부문보다 석유 수요 감축에 더 기여한다. 이러한 경향은 APS와 NZE에서도 동일한데 REF보다 감축 속도가 빠르다. 도로 부문의 석유 수요는 REF에서 연평균 2.1% 감소하는데 반해, APS와 NZE에서는 각각 연평균 3.7%, 8.6% 감소한다. 친환경차 확대 정책으로 전기 수요가 증가하고 휘발유, 경유, LPG 등의 수요가 빠르게 감소한다. 반면에 항공, 해운 부문에서는 효율 개선과 LNG/하이브리드 선박 보급 등의 정책을 반영하였음에도 아직까지 고려할만한 효과적인 에너지 수요 감축 수단이 부족하여 수요가 크게 감소하지 않거나 소폭 증가하였다. 항공 부문의 석유 수요는 해외 여행 수요의 증가와 신공항 건설에 따른 항공편수 증가의 가능성 때문에 모든 시나리오에서 증가하는 것으로 나타났다. REF, APS, NZE에서 각각 3.1%, 2.3%, 2.3% 증가한다. APS와 NZE의 증가율이 REF보다 0.8%포인트 낮다. 해운 부문의 석유 수요는 REF와 APS에서 각각 연평균 0.1% 감소하여 동일하고, NZE에서는 연평균 6.8% 감소한다. NZE에서는 LNG와 하이브리드 선박이 더 빠르게 도입되는 것으로 가정했다.

그림 3.14 시나리오별 부문별 2050년 석유 수요 비교



주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

REF에서 산업 부문 석유 수요는 전망 기간 동안 9백만toe 증가하는데 납사 수요도 9백만 toe 증가하여 산업 부문의 석유 수요 증가량과 동일하다. 산업 부문 석유 수요에서 납사가 차지하는 비중은 2020년 75%에서 2050년 78%로 큰 변화 없이 유지된다. APS에서는 2020년대 중반부터 석유화학업에서 폐플라스틱 원료 사용을 확대하고 2030년에는 그 비중을 18%까지 늘리면서 납사와 LPG 등의 원료용 수요가 크게 감소한다. NZE에서는 2050년까지 폐플라스틱 원료 비중이 37%까지 늘어나고 바이오 납사의 비중은 10%까지 증가한다. REF에서는 전망 기간 동안 납사 수요가 9백만toe 증가하는데 반해, APS와 NZE에서는 폐플라스틱을 사용하는 원료 대체를 통해 납사 수요가 2020년 49.7백만toe에서 35백만toe가량 수준으로 감소한다.⁶⁷ 원료용 석유 수요의 대체 외에 산업 부문 APS와 NZE에서는 전력화, 효율 개선, 설비 교체 주기 단축, 신재생에너지 비중 확대, 가열용 열원으로 수소 사용 등을 통해 석유 수요를 감축한다.

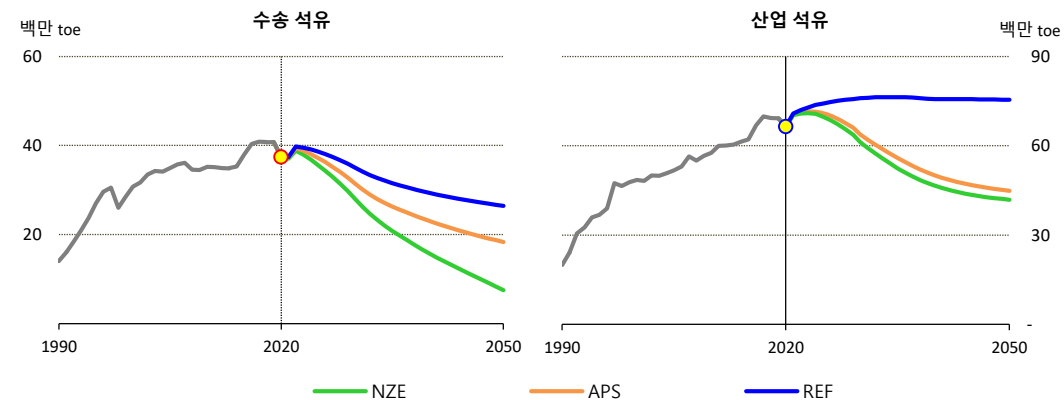
□ 탄소중립 시나리오(NZE)에서도 2050년 수송과 산업 부문 모두 석유 수요가 상당량 존재

2050년 탄소 중립을 목표로 하는 NZE에서도 2050년에 상당량의 석유 수요가 남아 있는 데 이는 수송 부문에서 항공과 해운 부문의 수요와 산업 부문 석유화학업에서 원료용 수요가 남아 있기 때문이다. NZE에서 도로 부문의 석유 수요는 친환경차 전면 보급으로 크게 감소하지만 항공과 해운 부문의 수요가 남는다. 2050 탄소 중립 달성을 위해서 항공과 해운 부문의 석유 수요 감축이 필요하다. 항공 부문에서는 지속가능 항공 연료(SAF)와 수소 비행체의 연구, 개발과 보급 확대를 유력한 감축 수단으로 검토하는 단계에 있다. 해운 부문에서는 LNG/하이브

⁶⁷ '2050 탄소중립 시나리오 (2050 탄소중립위원회, 2021b)'에서는 바이오·수소 원료를 통해 기존 납사를 52% 감축하는 것을 목표로 하고 있다. 납사 수요 차이는 온실가스 배출 측면보다 에너지 수요 측면에서 전망 차이를 크게 만든다.

리드 선박의 도입을 감축 수단으로 보고 있는데 기존 선박을 대체하기 위한 인센티브 제공 방안이 필요하다. 또한 수송 부문 전체에서는 IT 기술 등의 도입으로 이동 효율을 개선하여 여객과 화물 모두의 이동 수요 자체를 감축하는 방안을 검토해야 한다.

그림 3.15 수송과 산업 부문의 시나리오별 석유 수요 전망 비교



산업 부문의 납사와 LPG의 원료용 수요는 상당량을 폐플라스틱으로 대체한다 하더라도 완전한 감축에는 한계가 있을 것이다. 다만, 원료용 사용이기 때문에 탄소가 제품에 몰입되며 온실가스 배출량은 연소를 하는 경우보다 작다. 산업 부문에서 추가적인 온실가스 감축을 위해서는 원료용 수요에서 발생하는 온실가스 배출을 탄소 포집·활용·저장(CCUS) 등의 수단으로 감축하고 그 외 업종에서는 효율 개선, 전력화 등을 통한 온실가스 감축 수단 발굴이 필요하다.

3. 가스

3.1. 가스 수급 현황

□ 가스 수입의 증가와 수입선의 다변화

우리나라 천연가스 수입은 1986년 10월 평택 인수기지를 통해 인도네시아의 초도 물량이 들어온 이래로 빠르게 증가했으나, 2014년부터는 유가 변동 및 가스 발전 설비 이용률에 따라 감소와 증가를 반복하였다. 2016년 이후로는 유가 상승과 함께 다시 증가하여 2018년 가스 수입량은 44.0백만 톤으로 역대 최고 물량을 기록하였다. 하지만, 2019년의 냉·난방도일 감소 및 2020년의 코로나19 영향 등으로 인해 이후 수입량이 감소하여 2020년 가스 수입량은 40.0백만 톤까지 하락하였다. 2000년대 초반까지는 인도네시아의 수입 비중이 가장 높았으나 2001년부터 카타르가 이를 제치고 2020년까지 국내 가스 최대 수출국을 유지하고 있다. 그러나 최근 미국과 말레이시아 등의 수입선 다변화로 카타르에서의 수입량이 감소하는 추세이다. 2020년 기준 카타르산 수입 비중은 22.7%로 전년 대비 19.7% 감소하였으며, 미국산 수입과 인도네시아 수입은 각각 전년 대비 10.3%, 15.5% 증가하였다. 2020년 기타 국가 수입 비중은 전년 대비 16.8% 증가하여 도입선이 다변화된 것으로 보인다. 천연가스 직수입 물량은 2015년 이후 가파르게 증가하면서 2020년 약 906만 톤 수준까지 증가하였다.

□ 소비 변동성이 커진 가운데 2020년 가스 소비는 발전용 소비 증가로 전년 대비 2.7% 증가

가스 소비는 2000년 14.6백만 톤에서 2000~2013년 연평균 8.2% 증가하여 모든 에너지원 중에서 가장 빠른 성장세를 보이면서 2013년 40.3백만 톤의 소비량을 기록하였다. 그러나, 국제 유가 하락, 2014년 말 신규 석탄 화력 발전소 진입 및 원자력 설비 재가동, 전기 소비 증가 둔화, 난방도일 감소 등 여러 가지 요인이 겹치면서 2014년과 2015년에는 연평균 8.9% 감소하였다. 2016년부터 다시 증가하기 시작한 가스 소비는 2018년에는 기록적인 폭염과 원자력 발전량 급감에 따른 발전용 소비 급증으로 전년 대비 16.2% 이상 증가하여 소비 정점을 기록하였다. 2019년에는 냉난방도일이 감소하면서 건물 부문 도시가스 소비와 발전용 소비가 줄며 전년 대비 3.1% 감소하였다. 2020년에는 석탄 발전량 감소의 상당 부분을 가스 발전이 대체하며 발전용 수요가 증가한 반면 코로나19의 영향으로 도시가스 제조용 가스 소비가 감소하여 총 가스 소비는 전년 대비 2.7% 증가한 42.1백만 톤을 소비하였다.

발전용 가스 소비는 전기 소비 증가와 신규 설비 공급으로 빠르게 증가해오다 2013~2015년에는 감소, 2016~2018년에는 증가, 2019년에는 감소, 2020년에는 증가하는 반복되는 증감

패턴을 보이고 있다. 2013~2015년에는 기저 발전 설비 용량이 연평균 3.0% 증가하면서, 60%를 상회했던 LNG 복합화력 설비 가동률이 40%대까지 하락하고 발전용 가스 소비는 연평균 10.3% 감소하였다. 2016~2018년에는 기록적인 폭염으로 냉방도일이 대폭 증가하면서 전기 소비는 연평균 2.9% 증가한 반면, 원자력 발전량은 경주 지진으로 인한 월성1~4호기의 안전 검사(2016.9~12)와 안전규제 강화에 따른 예방정비 기간 증가로 9.2% 감소하여 발전용 가스 소비가 연평균 10.9% 증가하였다. 2019년에는 냉방도일 감소로 전기 소비가 감소하고 신재생 에너지 발전 증가로 가스 발전량이 줄면서 발전용 가스 소비도 전년 대비 3.2% 감소하였다. 2020년에는 석탄 발전량 감소와 정부의 개별요금제 승인(1월)에 따른 직도입 물량 증가가 발전용 가스 소비 증가를 이끌어, 전체 발전량에서 가스 발전량이 차지하는 비중이 전년 대비 0.7% 포인트, 발전용 가스 소비는 전년 대비 4%포인트 증가하였다.

한편, 2000~2012년에 연평균 6.2%의 빠른 성장세를 이어온 최종소비 부문 가스 소비도 2013년 이후로는 발전 부문과 유사한 증감을 반복하고 있는 가운데, 산업 부문의 천연가스 직수입 물량은 빠르게 증가하고 있다. 산업용 가스는 2013~2016년에 국제 유가 급락과 도시가스 미수금 회수 등으로 타 연료 대비 가격 경쟁력이 낮아지면서 연평균 7.1% 감소하였으나, 2016~2019년에는 2017년 11월 미수금 회수 완료에 따른 요금 하락으로 가격 경쟁력이 상승하면서 소비가 연평균 10.1% 증가하였다. 그러나 2020년 코로나19의 영향으로 수출과 제조업 생산이 감소하면서 난방도일 증가에도 불구하고, 산업용 가스 소비는 전년 대비 0.3% 감소하였다. 2005년부터 시작된 산업 부문의 천연가스 직수입은 2015년까지는 큰 변화가 없었으나, 이후 도시가스사업법 개정 및 천연가스 가격 하락 등으로 2020년 기준 국내 도입 LNG 물량의 6.9% 수준까지 도달하였다. 건물용 도시가스 수요 1990년대 도시가스 배관망 확대로 난방 및 취사용 도시가스 소비가 빠르게 증가하였으나, 2000년대 도시가스 보급이 성숙기에 들어서며 건물용 수요의 급증세는 다소 둔화되었다. 건물용 도시가스 수요는 2012년 이후 하계 및 동계 기온 변동에 따라 냉난방용 수요가 크게 변동하는 현상을 보이고 있다. 2020년 가정 부문 도시가스 소비는 난방도일 상승과 코로나19에 따른 재택시간 증가로 전년 대비 4.0% 증가한 반면, 서비스 부문 도시가스 소비는 코로나19에 따른 경기 악화로 전년 대비 11.3% 감소하였다.

3.2. 기준 시나리오(REF)의 가스 수요 전망

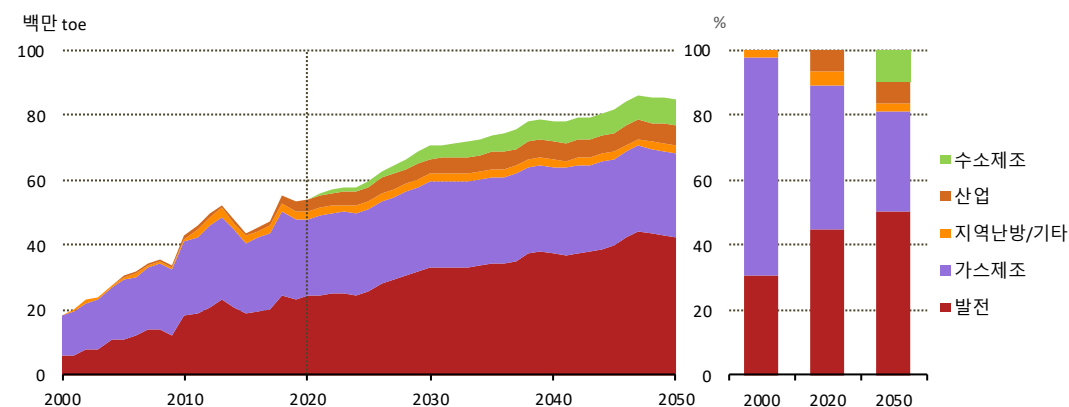
□ 가스 수요는 발전용 및 수소제조용 수요가 확대됨에 따라 전망 기간 연평균 1.5% 증가

기준 시나리오(REF)의 가스 수요는 발전용 및 수소제조용 수요가 증가하면서 전망 기간 연평균 1.5% 증가하여 2050년에는 85.3백만toe에 도달할 것으로 분석된다. 발전용 수요는 석탄

화력 및 원자력 발전 설비의 신규 진입으로 전망 기간 초기에 정체하다 2020년대 중반 이후 노후 석탄 화력 및 원자력 발전기가 차례로 폐지되고 일부 석탄 화력발전기는 가스 발전기로 연료가 대체되면서 빠르게 증가할 전망이다. 가스 수요에서 발전용이 차지하는 비중은 2020년 45%에서 도시가스 소비 증가세 둔화 및 가스 복합화력의 성장에 힘입어 2050년에는 약 50%까지 확대될 전망이다.

REF에서 수소 공급은 수입과 천연가스 개질(SMR, Steam Methane Reforming) 방식의 추출수소가 주를 이룰 것으로 예상된다. 기존 산업 공정에서 사용하는 수소 소비는 부생수소 및 추출수소로 공급하고 있으며, 전망 기간 이러한 용도의 수요 증가는 가스 수요의 증가로 취급한다. 여기서 분석한 수소제조용 가스는 신규 수소 수요이며, 주로 수소 기반 연료전지의 급증과 수소자동차 보급 확대가 수요 증가를 주도할 것으로 예상된다. REF에서는 국내 수소 생산을 대부분 천연가스 개질 방식으로 제조(80%)한다고 가정한다. 수전해 제조 공정은 미래 기술로 APS와 NZE에서 적용된다. 수소제조용 추가 가스 수요는 2020년 0에서 2050년에는 8.1백만 toe로 가스 수요의 9.6%를 차지할 것으로 분석된다.

그림 3.16 기준 시나리오(REF)의 용도별 가스 소비 및 비중 전망



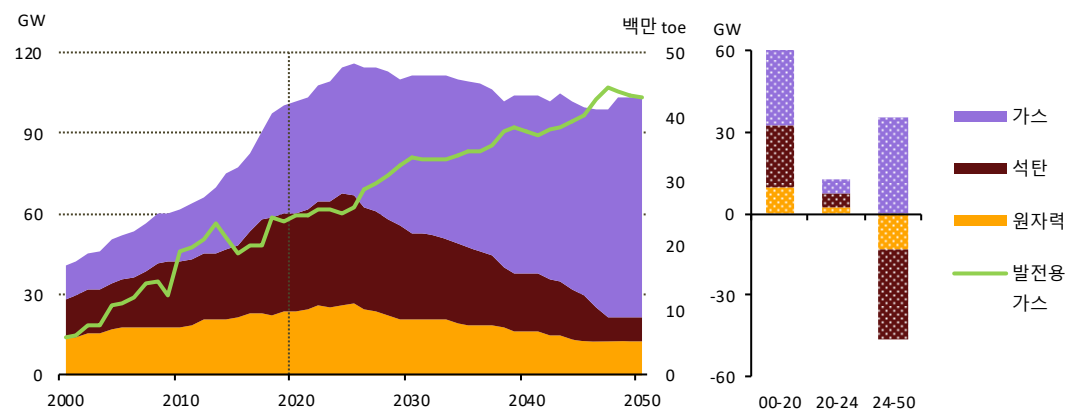
주: 가스 소비는 천연가스와 도시가스 소비의 합계

한편, 산업 부문 직수입 물량 증가 및 인구 정체로 인해 도시가스 수요 증가세가 둔화되면서 가스제조용 수요의 증가세는 둔화되고 비중도 축소될 전망이다. 도시가스제조용 가스 비중은 1990년대 주택용 도시가스 보급의 폭발적 성장으로 2000년 67% 이상을 차지했지만, 이후 도시가스 수요 증가세 둔화로 2020년에 44.1% 수준으로 하락했고, 전망 기간에도 인구 정체 등의 영향으로 둔화세가 지속되고 산업 부문에서의 천연가스 직수입 물량 증가로 산업용 도시가스 수요가 줄며 2050년에 비중이 약 30%까지 하락할 전망이다.

□ 발전용 수요는 전망 초기 정체하나 이후 기저 발전 감소분을 대체하면서 빠르게 증가

REF에서의 발전용 가스 수요는 2020년대 중반까지 일부 노후 석탄 발전소 조기 폐쇄에도 불구하고, 석탄 화력발전소와 원자력 발전소가 신규 가동하면서 정체한다. 하지만, 이후 ‘제9차 전력수급기본계획’에 따라 원자력과 석탄 발전 설비가 폐지되면서 가스 설비의 가동률 상승 및 신규 설비 증가로 가스 수요는 전망 기간 연평균 1.9% 증가할 것으로 예상된다. 가스 발전은 신규 발전소 4.2 GW 건설 외에도 석탄 화력발전소 12.7 GW가 가스로 연료를 대체하기 때문에 설비 용량이 2020년에 41.8 GW에서 2034년에 61.2 GW로 증가할 전망이다⁶⁸. 이러한 설비 계획 기초가 전력수급기본계획 이후 시기에도 유지되면서, 2050년에는 석탄 화력이 8.8 GW, 원자력이 12.4 GW 수준으로 감소하고 폐지되는 일부 석탄 화력발전소는 연료를 가스로 대체하면서 가스 발전 설비는 약 82 GW까지 증가할 전망이다.

그림 3.17 주요 발전 설비 용량 및 발전용 가스 수요 전망 (REF)



□ 최종 소비 부문의 가스 수요는 산업과 서비스 부문을 중심으로 전망 기간 연평균 0.5% 증가

REF에서 최종소비 부문의 가스 수요는 전망 기간 연평균 0.5% 증가하여 2050년 31.1백만 toe에 이를 것으로 전망된다. 산업 및 서비스 부문에서는 가격 경쟁력 확보와 온실가스 및 미세먼지 등 대기오염 물질 배출 감축 정책의 영향으로 석유 소비의 일부가 가스로 대체되면서 양호한 증가세를 보일 전망이며, 이로 인해 2050년 최종소비 부문의 가스 소비 중에서 산업 부문 비중이 50% 이상에 이를 전망이다⁶⁹. 가정 부문에서의 가스 소비는 신규 주택 공급 증가 등에도 불구하고, 인구 감소, 가구 구조 변화, 에너지 효율 개선 등으로 전망 기간 연평균 0.8% 감소하

⁶⁸ 석탄 및 가스의 설비 용량과 발전량은 집단에너지 발전 설비 및 발전량이 포함된 값으로 ‘제9차 전력수급기본계획’의 값과는 다를 수 있다.

⁶⁹ 산업 부문 가스 소비는 산업 부문 도시가스와 직수입 천연가스의 합계이다.

여, 가정 부문의 에너지 소비에서 차지하는 비중이 2050년에 30% 미만까지 하락할 전망이다. 서비스 부문에서의 가스 소비는 건물 에너지 효율 개선에도 불구하고 대형 건물 등에서 냉난방을 위한 GHP나 흡수식 냉온수기 등의 보급이 확대되면서 전망 기간 연평균 1.0% 증가하며, 수송 부문에서의 가스 소비는 CNG 차량 보급이 완만히 증가하면서 전망 기간 연평균 1.3% 증가할 것으로 분석된다.

그림 3.18 기준 시나리오(REF)에서 최종소비 부문별 가스 수요 전망

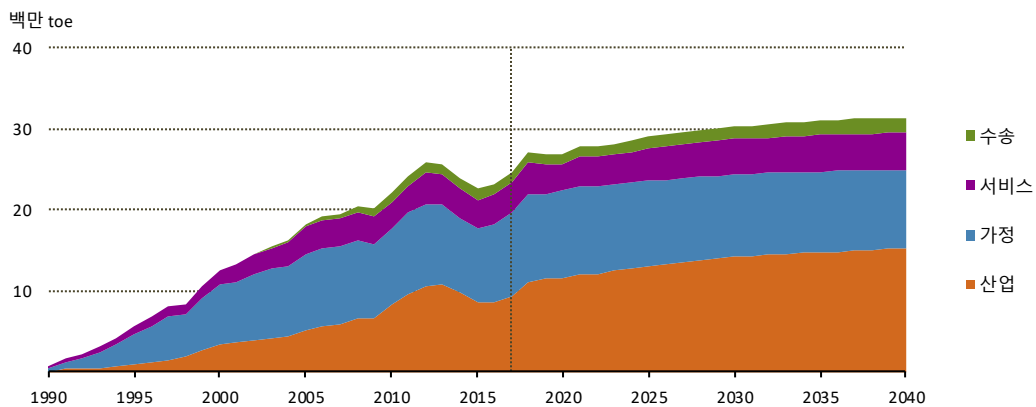
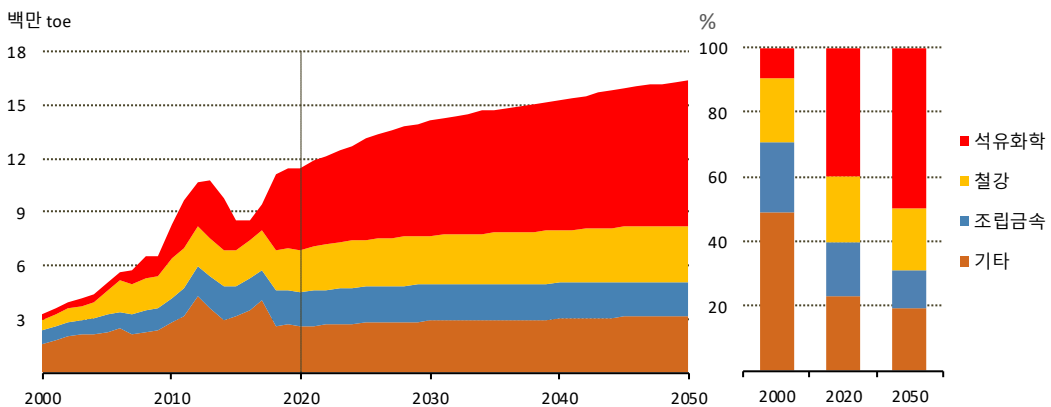


그림 3.19 기준 시나리오(REF)에서 산업 부문 주요 업종별 가스 수요 전망



산업 부문은 LNG 도입 계약 구조의 유연화, 직수입 물량 확대, 미국산 셰일가스 도입 확대 등으로 가스 도입가격이 안정화되면서 가격 경쟁력이 확대되고, 석탄과 석유 대비 미세먼지와 온실가스 배출이 적은 가스에 대한 선호가 높아지면서 타 화석연료를 지속적으로 대체할 것으로 전망이다. 특히 석유화학업종에서 듀얼보일러의 보급 확대로 가열용 연료 대체가 수월해지

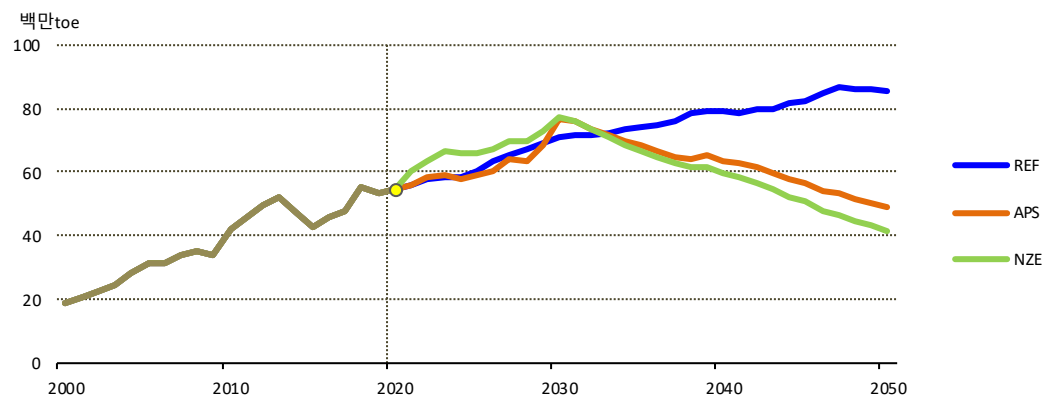
고, 고부가가치 제품 생산을 위해 황이나 질소 등 불순물 제거하는 수소 사용이 늘면서 도시가스 사용이 증가할⁷⁰ 것으로 예상된다.

3.3. 탄소중립 정책 도입에 따른 가스 수요 전망

□ 정책 시나리오의 가스 수요는 2030년까지 증가하다가 이후 하락세로 전환

정책계획 시나리오(APS)나 탄소중립 시나리오(NZE)의 온실가스 배출 감축 정책으로 화석 에너지 상품의 경우 감소, 비화석 에너지 상품은 증가의 방향으로 에너지 수요와 온실가스 배출이 변화하지만, 온실가스 배출 감축 경로에서 중간 다리 역할을 하는 가스의 수요와 온실가스 배출 경로는 복잡하고 극적인 변화가 생긴다. APS나 NZE에서 가스 수요는 2030년까지 발전용 및 수소제조용을 중심으로 REF에 비해 빠르게 증가하다가 이후 감소세로 전환하여 2050년에는 REF에 비해 낮은 수준까지 하락한다. APS에서의 가스 수요는 2020년 이후 2030년까지 연평균 3.4% 증가하여 2030년 76.6백만toe로 정점을 기록한 후 연평균 2.2% 감소하여 2050년 48.9백만toe까지 하락한다. NZE에서의 가스 수요는 2030년까지 연평균 3.4% 증가하여 77.0백만toe로 정점을 기록한 후 연평균 3.1% 감소하여 2050년 41.2백만toe까지 하락한다. 시나리오에 따라 부문별 가스 수요의 차이에 대한 분석은 뒤에서 자세히 다루기로 하며, 2030년과 2050년을 기준으로 가스 수요의 변화에 대한 핵심 요인을 살펴보면 다음과 같다.

그림 3.20 시나리오별 가스 수요 전망

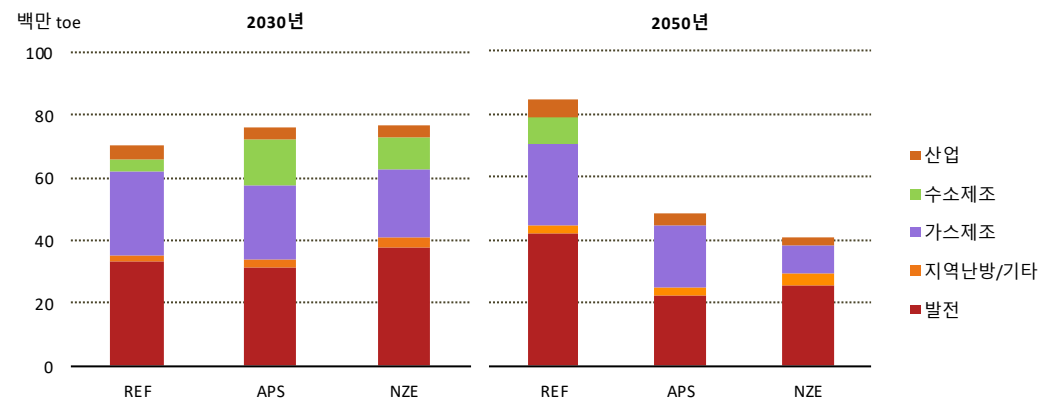


주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

⁷⁰ 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.

2030년까지 가스 수요의 차이를 결정하는 핵심적 요인은 발전 및 수소제조용 가스 수요이다. 전기 수요가 REF보다 빠르게 증가하는 가운데, APS의 2030년 재생에너지 발전은 전체 발전량의 32%까지 늘어난다. 또한 석탄 화력발전기 24기에 20% 암모니아 혼소가 적용되면서 수소 수요가 증가하는데, 2030년까지 수소 제조는 추출 수소가 큰 비중을 차지한다. 이에 따라 APS에서의 2030년 발전용 가스 수요는 REF 대비 5.7% 하락한 31.7백만toe인 반면, 수소제조용 가스 수요는 REF에 비해 3.6배 증가한 14.1백만toe로 전망된다. NZE는 APS보다 전기 수요가 늘어나면서 2030년 발전용 가스 수요는 REF 대비 14.4% 상승한 38.5백만toe로 증가한다. 하지만, 온실가스 배출을 최대한 줄이기 위해 석탄 화력발전의 가동률을 40% 이하로 억제하면서 혼소용 암모니아 수요가 APS보다 줄고, 결과적으로 수소제조용 가스 수요는 REF에 비해 2.6배 증가한 10.1백만toe로 전망된다.

그림 3.21 2030년과 2050년 용도별 가스 수요 비교



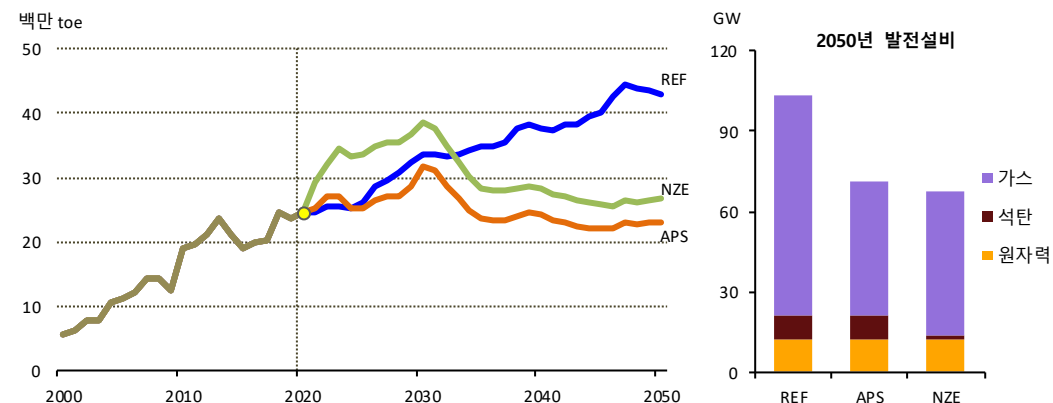
주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

2050년까지는 탄소중립 정책 추진에 따라 모든 용도에서 가스 연료 사용이 대폭 감소하고, 수소 제조는 그린수소인 수전해 생산이 국내 생산 전체를 담당하면서 수소제조용 수요도 사라짐에 따라 REF에 비해 가스 수요가 크게 감소한다. REF에서는 가스 수요는 감소한 반면 발전용의 수요는 증가에 따라 발전용이 차지하는 비중은 63.1%로 타 시나리오 대비 높은 편이며, 가스제조용과 지역난방/기타용이 각각 22.5% 8.3%로 그 뒤를 따른다. APS에서 2050년 가스 수요에서 발전용이 차지하는 비중은 46.1%이고, 가스제조용과 산업용이 차지하는 비중은 각각 40.3%, 8.5%로 그 뒤를 따른다. NZE에서는 탄소중립 추진 과정에서 건물 부문의 지역난방 수요가 확대되면서 지역난방/기타용의 비중이 상승하지만, 가스 수요 자체는 크게 감소한다. NZE에서 2050년 발전용 가스 수요가 증가하는 이유는 전기 수요 증가가 근본적인 원인이며, 수소터빈 발전 설비의 보급 정도에 따라 가스의 잔여 수요 규모는 달라질 수 있다.

□ 발전용 가스 수요는 2030년까지는 석탄 발전을 대체하며 증가하다가 이후 감소세로 전환

APS와 NZE에서 발전용 가스 수요는 2030년까지 증가하다가 이후 감소세로 전환된다는 공통점을 가지나, 구체적 양상은 시나리오별로 달라진다. APS에서의 발전용 가스 수요는 2020~2030년 연평균 2.5% 증가하여 2030년 31.7백만toe로 정점을 기록하나, NZE에서의 발전용 가스 수요는 동 기간 연평균 4.5% 증가하여 2030년 38.5백만toe로 정점을 기록한다. 2030년 가스 발전 설비 용량은 모든 시나리오에서 58.4 GW로 동일하나 발전용 가스 수요는 시나리오별로 다르게 전망되는 이유는 발전 설비 가동률의 차이에서 기인한다. APS는 최근의 미세먼지 및 온실가스 감축을 위한 석탄 발전 상한제가 유지되면서 석탄 화력발전 설비의 가동률이 60% 수준을 유지한다. 여기에 재생에너지 발전 비중이 급격하게 확대되면서 전기 수요 증가를 감당하기 때문에 가스 발전량이 REF보다 낮아진다. 하지만, '2030 NDC 상향안'의 온실가스 배출 감축 목표를 달성하려면 석탄화력 발전 이용률이 대폭 하락하는 대신 LNG 복합 화력 설비 가동률이 약 55% 이상까지 증가해야 한다. 이에 따라 NZE에서의 2030년 발전용 가스 수요는 REF보다도 높을 것으로 전망된다.

그림 3.22 시나리오별 발전용 가스 수요 전망 및 2050년 주요 발전 설비 용량



주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

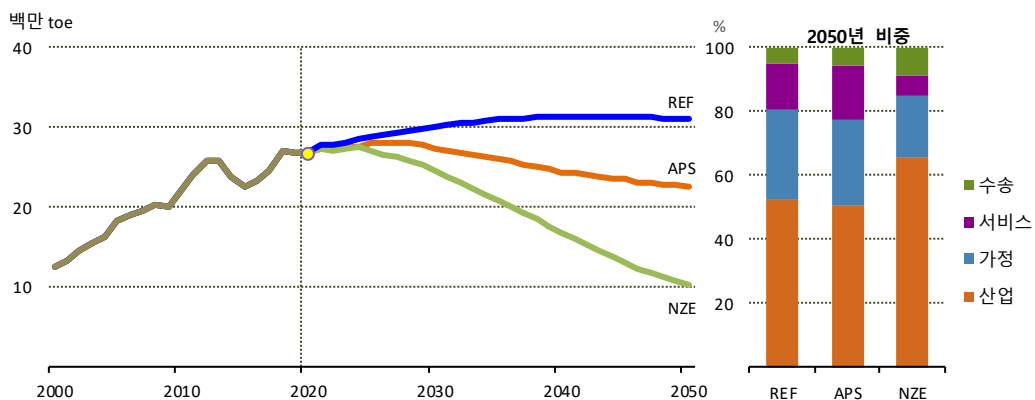
2030~2050년 발전용 가스 수요의 감소 및 정체에는 크게 세 가지 요인이 작용한다. 첫 번째는 2035년부터 전체 가스 발전에 적용되는 수소 혼소와 2040년 이후 도입되는 수소터빈 발전을 들 수 있다. 두 번째는 석탄 화력발전의 가동률이다. 마지막은 지역난방의 열병합 발전 설비이다. 수소 혼소는 2030년 실증을 마치고 2035년부터 전체 가스 발전 설비에 적용된다. 수소 혼소로 인해 2030년 이후 발전용 가스 수요는 급격하게 감소하며, 수소터빈은 2040년대 발전용 가스 수요의 감소를 더욱 가속화한다. 하지만 발전 부문 온실가스 배출의 조기 감축을 대

규모로 실현하기 위해 석탄 화력발전의 가동률을 40%까지 낮추는 경우, 2030년 이전 발전용 가스 수요는 대폭 상승할 수 있다(NZE). 마지막으로 지역난방 수요가 늘어나면서 지역난방 열병합 설비의 가스 수요가 꾸준히 늘어나는 것이 2040년대 발전용 가스 수요의 급격한 감소를 억제한다. 결과적으로 2030년 이후 APS에서는 발전용 가스 수요가 연평균 1.6% 감소, NZE에서는 연평균 1.8% 감소할 것으로 분석된다.

□ 정책 시나리오에서 최종소비 부문의 가스 수요는 2020년대 중반 정점 기록 후 하락세

APS와 NZE에서는 최종소비의 전력화가 진행됨에 따라 가스 수요가 2020년대 중반 정점을 기록한 후 하락세로 전환될 것으로 전망된다. 전력화가 비교적 소폭 진행될 것으로 예상되는 APS에서 최종소비 부문 가스 수요는 2025년 28.0백만toe로 정점을 기록한 후 연평균 0.9% 감소하여 2050년에는 22.5백만toe에 이를 것으로 전망된다. APS에 비해 본격적인 전력화가 이루어지는 NZE에서 최종소비 부문의 가스 수요는 2024년 27.4백만toe로 정점을 기록한 후 연평균 3.7% 감소하여 2050년에는 10.3 백만toe까지 하락한다.

그림 3.23 시나리오별 가스 최종소비 전망 및 2050년 부문별 비중



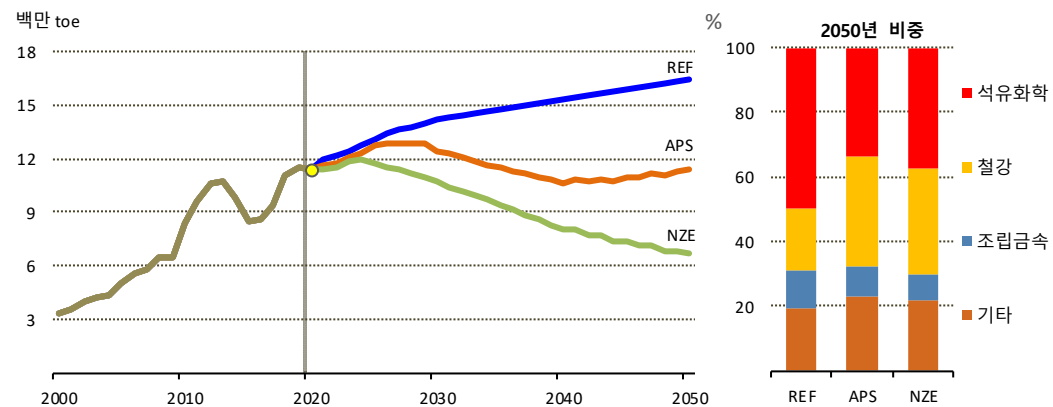
주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

최종소비 부문의 가스 소비에서 산업 부문이 차지하는 비중은 2020년 42.7%에서 2050년 APS 50% 이상, NZE 65% 이상까지 확대된다. 이러한 비중 확대에도 불구하고 2050년 산업 부문 가스 수요는 REF에서 16.4백만toe인 반면, APS에서는 11.4백만toe, NZE에서는 6.7백만toe까지 감소한다. 건물 부문이 차지하는 비중은 2020년 53.1%에서 2050년 APS는 43.8%, NZE는 25.8%까지 축소된다. 수송 부문이 차지하는 비중은 2020년 4.1%에서 2050년 APS는 5.7%, NZE는 8.9%까지 확대되는데, 수송 부문의 비중 증가는 건물 부문 가스 수요의 빠른 감소로 인한 상

대적 효과에서 비롯된 것이다. 2050년 수송 부문의 가스 수요는 REF에서 1.6백만toe인 반면, APS에서 1.3백만toe, NZE에서 0.9백만toe까지 하락한다.

APS와 NZE의 산업용 가스 수요는 시나리오별로 각기 다른 양상을 보일 것으로 분석된다. APS에서의 산업용 가스 수요는 철강과 석유화학 업종의 수요 증가에 힘입어 2020년대 후반 정점을 기록한 후 감소세로 전환된다. 이러한 추세는 2040년대 초반까지 유지되다가 이후 철강과 기타 업종의 수요가 소폭 증가하면서 산업용 가스 수요는 소폭 증가하여 2050년 11.4백만 toe에 이를 전망이다. NZE에서의 산업용 가스 수요는 2025년 이후 2050년까지 연평균 2.2% 감소하여 2050년 6.7백만toe까지 하락할 전망이다. NZE에서 업종별로 전망 기간 가스 수요의 변화를 살펴보면 철강 업종은 연평균 0.2%, 석유화학 업종은 연평균 2.0%, 조립금속 업종은 연평균 4.1% 감소할 것으로 예상된다.

그림 3.24 시나리오별 산업 부문 주요 업종의 가스 수요 전망 및 2050년 비중



주: REF 기준 시나리오, APS 정책계획 시나리오, NZE 탄소중립 시나리오

부 록

1. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 – 기준 시나리오

주요 경제 지표 및 활동 수준 - 기준 시나리오(REF)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
인구 (백만명)	47	52	51	50	47	-	-	0.5	- 0.3
가구 (백만가구)	15	20	22	23	22	-	-	1.7	0.3
국내총생산 (GDP, 조원)	904	1 837	2 328	2 665	2 944	-	-	3.6	1.6
주요 업종별 부가가치 (조원)									
농림어업, 광업	30	34	36	36	34	-	-	0.5	0.0
제조업	250	515	619	690	749	-	-	3.7	1.3
- 석유화학, 비금속, 1 차철강	63	109	128	140	154	-	-	2.8	1.1
- 조립금속	98	297	371	425	469	-	-	5.7	1.5
SOC	88	131	153	160	162	-	-	2.0	0.7
서비스업	516	1 038	1 367	1 599	1 792	-	-	3.6	1.8
수입단가									
원유 (\$/bbl)	19	45	82	91	94	-	-	4.3	2.5
천연가스 (\$/톤)	175	393	423	438	443	-	-	4.1	0.4
유연탄 (\$/톤)	23	77	72	69	64	-	-	6.2	- 0.6
에너지 지표									
국내생산 (백만 toe)	2	1	0	0	0	-	-	- 4.6	- 4.1
총에너지 수요 (백만 toe)	193	292	334	344	341	-	-	2.1	0.5
에너지원단위 (toe/백만원)	0.21	0.16	0.14	0.13	0.12	-	-	- 1.5	- 1.1
일인당에너지소비 (toe/인)	4.11	5.63	6.53	6.86	7.20	-	-	1.6	0.8
최종 소비 (백만 toe)	150	223	248	247	242	-	-	2.0	0.3
전기생산 (TWh)	266	552	686	744	753	-	-	3.7	1.0
일인당 전기생산 (MWh/인)	6	11	13	15	16	-	-	3.2	1.4
에너지부문 온실가스 지표									
온실가스 배출 (백만톤)	419	570	604	543	462	-	-	1.6	- 0.7
배출원단위 (톤/백만원)	0.46	0.31	0.26	0.20	0.16	-	-	- 2.0	- 2.3
일인당 배출 (톤/인)	8.92	10.99	11.79	10.83	9.75	-	-	1.1	- 0.4

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	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총에너지	193	292	334	344	341	100	100	2.1	0.5
석탄	43	72	76	63	42	25	12	2.6	- 1.8
석유	101	110	115	108	104	38	31	0.5	- 0.2
가스	19	55	71	79	85	19	25	5.5	1.5
수력	1	2	2	2	2	1	1	0.4	0.8
원자력	27	34	29	25	19	12	6	1.1	- 1.9
신재생·기타	2	19	41	67	89	7	26	11.6	5.3
최종 소비	150	223	248	247	242	100	100	2.0	0.3
석탄	20	30	34	33	30	14	13	2.2	0.0
석유	94	109	114	107	103	49	43	0.8	- 0.2
도시가스	13	27	30	31	31	12	13	3.8	0.5
전기	21	44	54	59	60	20	25	3.8	1.1
열에너지	1	3	3	3	3	1	1	4.4	- 0.2
신재생·기타	2	9	12	13	14	4	6	7.8	1.4
산업	84	138	161	163	163	62	67	2.5	0.6
수송	31	39	38	33	31	18	13	1.2	- 0.8
가정	21	23	22	21	20	10	8	0.4	- 0.5
서비스	14	22	27	28	29	10	12	2.4	0.9

최종 소비 부문별·원별 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
산업	84	138	161	163	163	100	100	2.5	0.6
석탄	19	30	34	33	30	22	19	2.3	0.0
석유	49	66	76	76	75	48	46	1.6	0.4
도시가스	3	11	14	15	16	8	10	6.4	1.2
전기	11	23	29	31	32	17	20	3.6	1.1
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	2	7	7	8	8	5	5	6.5	0.6
수송	31	39	38	33	31	100	100	1.2	- 0.8
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	-
석유	31	37	35	29	26	95	86	1.0	- 1.2
도시가스	0	1	2	2	2	3	5	-	1.3
전기	0	0	1	2	2	1	6	2.2	6.4
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	0	1	1	1	1	2	3	-	1.0
가정	21	23	22	21	20	100	100	0.4	- 0.5
석탄	1	0	0	0	0	1	0	- 6.4	- 100.0
석유	9	3	1	1	1	12	3	- 5.7	- 4.7
도시가스	7	11	10	10	9	47	43	2.0	- 0.8
전기	3	6	7	7	7	28	35	3.5	0.3
열에너지	1	2	2	2	2	10	10	4.0	- 0.4
신재생·기타	0	1	1	1	1	3	8	8.6	3.1
서비스 (상업, 공공, 기타)	14	22	27	28	29	100	100	2.4	0.9
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	- 10.7
석유	6	3	2	1	1	13	3	- 3.6	- 3.6
도시가스	2	3	4	5	4	15	15	2.8	1.0
전기	6	14	17	19	19	64	67	4.5	1.1
열에너지	0	0	1	1	1	2	2	8.4	0.9
신재생·기타	0	1	3	3	4	7	13	14.0	3.2

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 기준 시나리오(REF)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종 산출액 (조원)									
석유/화학	126	264	334	388	440	-	-	3.8	1.7
비금속	19	41	49	55	60	-	-	3.9	1.3
1 차철강	60	95	107	107	104	-	-	2.3	0.3
금속, 기계, 전자, 정밀	173	700	911	1 085	1 242	-	-	7.2	1.9
운송장비	117	240	276	315	358	-	-	3.7	1.3
건설	167	226	268	284	292	-	-	1.5	0.9
주요 제품 생산량 (천톤)									
기초유분	16	30	35	36	38	-	-	3.1	0.7
조강	43	67	78	78	76	-	-	2.2	0.4
전로	25	46	56	57	55	-	-	3.2	0.6
전기로	18	21	22	21	21	-	-	0.6	0.1
시멘트	51	48	43	40	38	-	-	- 0.4	- 0.8
클링커	46	42	38	36	34	-	-	- 0.4	- 0.7
에너지 수요 (백만 toe)	84	138	161	163	163	100	100	2.5	0.6
석탄	19	30	34	33	30	22	19	2.3	0.0
석유	49	66	76	76	75	48	46	1.6	0.4
도시가스	3	11	14	15	16	8	10	6.4	1.2
전기	11	23	29	31	32	17	20	3.6	1.1
열에너지	-	-	-	-	-	0	0	-	-
신재생·기타	2	7	7	8	8	5	5	6.5	0.6
주요 업종 에너지원단위									
석유/화학	0.29	0.26	0.25	0.22	0.20	-	-	- 0.4	- 1.0
비금속	0.29	0.10	0.09	0.08	0.06	-	-	- 5.3	- 1.5
1 차철강	0.28	0.31	0.32	0.31	0.30	-	-	0.5	- 0.1
조립금속	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	- 1.9	- 1.0

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)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종별 에너지 수요									
석유/화학	36	69	82	84	86	100	100	3.3	0.7
석탄	0	0	0	0	0	0	0	- 1.5	- 3.7
석유	33	59	69	69	69	86	80	3.0	0.5
가스	0	5	6	7	8	7	9	14.2	1.9
전기	2	5	7	8	9	7	10	4.1	1.9
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-
비금속	6	4	4	4	4	100	100	- 1.7	- 0.3
석탄	4	2	2	2	1	50	38	- 2.8	- 1.1
석유	1	1	1	0	0	14	11	- 3.4	- 1.1
가스	0	1	1	1	1	13	16	3.8	0.5
전기	1	1	1	1	1	24	35	1.1	1.0
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-
철강	17	29	34	33	31	100	100	2.9	0.2
석탄	13	24	28	27	25	84	80	3.1	0.0
석유	1	0	0	0	0	0	0	- 12.1	- 3.3
가스	1	2	3	3	3	8	10	6.5	1.0
전기	2	2	3	3	3	8	10	1.4	1.0
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-
조립금속	5	11	13	14	15	100	100	4.1	0.8
석탄	-	-	-	-	-	0	0	-	-
석유	2	0	0	0	0	3	2	- 7.9	- 0.8
가스	1	2	2	2	2	17	13	5.0	0.0
전기	3	9	11	12	12	80	85	6.0	1.0
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-

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	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
자동차 형태별 (백만대)	12	24	27	28	27	100	100	3.6	0.3
승용차	8	20	23	24	23	82	86	4.6	0.5
화물차	3	4	3	3	3	15	11	1.8	- 0.6
승합차	1	1	1	1	1	3	3	- 3.0	- 0.3
자동차 연료별 (백만대)									
휘발유	7	12	13	12	10	50	39	2.6	- 0.5
경유	4	10	8	8	8	41	29	5.3	- 0.8
전기자동차	-	0	3	5	6	1	21	65.7	13.0
수소자동차	-	-	0	1	1	0	4	-	-
기타	1	2	2	2	2	9	8	2.8	- 0.2
에너지 수요	31	39	38	33	31	100	100	1.2	- 0.8
휘발유	8	10	9	6	5	25	16	1.1	- 2.3
경유	13	19	15	12	11	49	34	1.9	- 2.0
중유	4	2	3	3	3	6	8	- 2.4	0.2
제트유	2	3	6	6	6	6	21	0.8	3.2
부탄	3	3	3	2	2	8	6	- 0.5	- 1.8
기타석유	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2
도시가스	-	1	2	2	2	3	5	-	1.3
전기	0	0	1	2	2	1	6	2.2	6.4
신재생·기타	-	1	1	1	1	2	3	-	1.0
수송 수단별 에너지수요									
도로	24	33	29	24	21	85	68	1.8	- 1.6
철도	1	0	0	0	0	1	1	- 2.3	- 0.3
항공	2	3	6	6	6	6	21	0.8	3.2
해운	5	3	3	3	3	8	10	- 2.1	- 0.1

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	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
인구 (백만명)	47.0	51.8	51.2	50.2	47.4	-	-	0.5	- 0.3
가구 (백만가구)	14.5	20.4	22.0	22.7	22.1	-	-	1.7	0.3
형태별 주택(백만호)	11.0	17.0	18.8	19.7	19.4	100	100	2.2	0.4
단독	4.1	3.6	3.5	3.3	2.9	21	15	- 0.7	- 0.7
아파트	5.2	10.8	12.9	14.1	14.3	64	74	3.7	0.9
공동주택	1.7	2.6	2.3	2.3	2.2	15	11	2.3	- 0.5
평균 주거 면적(m ²)	85.5	76.3	74.2	73.2	72.5	-	-	- 0.6	- 0.2
에너지 지표									
주택당 에너지수요(toe/천원)	1.93	1.36	1.16	1.09	1.02	-	-	- 1.7	- 1.0
면적당 에너지수요(toe/100m ²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	-	-	- 1.2	- 0.8
가구당 에너지수요(toe/가구)	1.46	1.14	0.99	0.95	0.90	-	-	- 1.2	- 0.8
인구당 전기수요(MWh/명)	0.79	1.43	1.54	1.63	1.72	-	-	3.0	0.6
에너지 수요	21	23	22	21	20	100	100	0.4	- 0.5
석탄	1	0	0	0	-	1	0	- 6.4	- 100.0
석유	9	3	1	1	1	12	3	- 5.7	- 4.7
도시가스	7	11	10	10	9	47	43	2.0	- 0.8
전기	3	6	7	7	7	28	35	3.5	0.3
지역난방	1	2	2	2	2	10	10	4.0	- 0.4
신재생·기타	0	1	1	1	1	3	8	8.6	3.1
용도별 에너지 수요									
난방/온수	17	15	14	13	11	67	58	- 0.5	- 1.0
취사	1	2	2	1	1	8	6	2.1	- 1.7
냉방	0	1	1	1	1	4	6	18.3	1.4
조명	0	1	1	1	1	3	3	3.0	- 0.5
기타 가전기기	2	4	5	5	5	18	27	3.0	0.8

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 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종별 산출액 (조원)									
도소매	134	260	327	387	447	-	-	3.4	1.8
숙박음식	61	137	169	195	219	-	-	4.2	1.6
운수보관	69	153	200	240	280	-	-	4.1	2.0
정보통신	56	150	217	269	313	-	-	5.0	2.5
공공행정및국방	73	149	183	189	189	-	-	3.7	0.8
교육서비스	65	124	146	151	154	-	-	3.3	0.7
의료복지	41	166	261	335	401	-	-	7.2	3.0
예술,스포츠,레저	16	43	63	78	92	-	-	5.3	2.5
기타서비스	284	723	1 005	1 205	1 374	-	-	4.8	2.2
에너지 수요	14	22	27	28	29	100	100	2.4	0.9
석유	6	3	2	1	1	13	3	- 3.6	- 3.6
도시가스	2	3	4	5	4	15	15	2.8	1.0
전기	6	14	17	19	19	64	67	4.5	1.1
지역난방	0	0	1	1	1	2	2	8.4	0.9
신재생·기타	0	1	3	3	4	7	13	14.0	3.2
부문별 에너지 수요									
상업 서비스	11	17	20	21	22	76	75	2.1	0.8
공공 서비스	3	5	7	7	7	24	25	3.5	1.1

석유 공급 및 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
원유 수요*	122	163	175	174	170	-	-	1.5	0.1
국제 벙커링	7	9	11	11	10	-	-	1.2	0.5
총공급	101	110	115	108	104	100	100	0.5	- 0.2
전환	7	1	1	1	1	1	1	- 9.4	- 1.2
최종소비	94	109	114	107	103	99	99	0.8	- 0.2
제품별 석유 수요									
휘발유	8	10	9	6	5	9	5	1.0	- 2.3
등유	10	2	1	1	1	2	1	- 6.8	- 4.5
경유	19	23	17	14	12	21	12	0.9	- 2.1
중유	20	4	4	4	3	3	3	- 8.1	- 0.3
제트유	3	3	6	6	7	3	6	0.9	2.6
프로판	5	8	8	8	8	7	8	2.8	0.0
부탄	4	4	4	4	3	4	3	0.3	- 1.0
납사	29	50	58	58	59	45	56	2.7	0.6
기타 비에너지유	3	6	7	7	6	6	6	3.7	0.0
용도별 석유 수요									
산업	49	66	76	76	75	60	72	1.6	0.4
(연료)	16	11	11	11	11	10	10	- 2.1	0.0
(원료)	32	56	65	65	65	51	62	2.8	0.5
수송	31	37	35	29	26	34	25	1.0	- 1.2
가정	9	3	1	1	1	2	1	- 5.7	- 4.7
서비스	6	3	2	1	1	3	1	- 3.6	- 3.6
전환	7	1	1	1	1	1	1	- 9.4	- 1.2

* 원유 수입 및 재고 변화를 포함한 총수요

석탄 공급 및 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총공급	43	72	76	63	42	100	100	2.6	- 1.8
전환부문	23	42	42	30	11	58	27	3.0	- 4.3
최종소비부문	20	30	34	33	30	42	73	2.2	0.0
제품별 석탄 수요									
국내탄	2	0	0	0	0	1	0	- 7.2	- 11.0
수입무연탄	1	4	4	4	4	5	9	5.4	0.1
연료용 유연탄	27	45	45	33	14	62	34	2.6	- 3.8
원료용 유연탄	13	24	27	26	24	33	57	3.1	0.1
용도별 석탄 수요									
발전용	23	42	42	30	11	58	27	3.0	- 4.3
코크스 제조 및 고로용	13	24	27	26	24	33	57	3.1	0.1
킬른가열용	4	2	2	2	1	3	3	- 2.7	- 1.1
기타 산업용	3	5	5	5	5	6	12	2.6	0.3
연탄용	1	0	0	0	-	0	0	- 6.4	- 100.0

가스 공급 및 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총공급	19	55	71	79	85	100	100	5.5	1.5
전환 부문*	6	28	41	48	54	52	64	7.6	2.2
최종소비 부문	13	27	30	31	31	49	36	3.8	0.5
제품별 소비									
천연가스	6	29	40	44	50	53	58	8.6	1.8
도시가스	13	24	26	27	26	44	31	3.1	0.3
용도별 소비									
발전용	6	25	34	38	43	45	50	7.6	1.9
지역난방	1	3	3	3	3	5	3	8.4	- 0.2
산업	3	11	14	15	16	21	19	6.4	1.2
수송	-	1	2	2	2	2	2	-	1.3
가정	7	11	10	10	9	20	10	2.0	- 0.8
서비스	2	3	4	5	4	6	5	2.8	1.0

* 자가소비 및 손실 포함

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

전기 공급 및 수요 - 기준 시나리오(REF)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
발전설비 (GW)	48	129	194	264	327	100	100	5.0	3.1
석탄	14	37	32	22	9	29	3	5.0	- 4.7
석유	5	2	0	0	0	1	0	- 5.2	- 4.9
가스	13	42	58	66	82	32	25	6.1	2.3
원자력	14	23	20	16	12	18	4	2.7	- 2.1
수력	3	7	7	9	9	5	3	3.7	0.9
신재생	-	19	76	151	215	15	66	-	8.4
- 변동성 재생에너지	-	16	71	145	207	13	63	-	8.8
- 기타 재생에너지	-	1	2	2	2	1	1	-	0.9
- 신에너지	-	1	3	4	6	1	2	-	6.2
총발전량(TWh)	266	552	686	744	753	107	140	3.7	1.0
석탄	99	198	196	140	57	36	8	3.5	- 4.0
석유	19	2	1	1	1	0	0	- 10.2	- 4.2
가스	28	147	221	250	290	27	38	8.5	2.3
원자력	109	160	137	118	91	29	12	2.0	- 1.9
수력	6	7	7	9	9	1	1	1.2	0.8
신재생	-	36	122	223	303	7	40	-	7.4
- 변동성 재생에너지	-	20	96	187	260	4	34	-	8.9
- 기타 재생에너지	-	10	9	10	10	2	1	-	0.0
- 신에너지	-	6	17	26	33	1	4	-	6.0
상용자가	5	2	2	2	2	0	0	- 5.1	1.1
발전용 에너지 수요 (백만 toe)	64	112	139	154	156	100	100	2.9	1.1
석탄	23	42	42	30	11	37	7	3.0	- 4.3
석유	6	1	0	0	0	1	0	- 10.9	- 2.1
가스	6	25	34	38	43	22	28	7.6	1.9
수력	1	2	2	2	2	1	1	0.4	0.8
원자력	27	34	29	25	19	30	12	1.1	- 1.9
신재생-기타	-	9	32	59	80	8	51	-	7.4
전기 수요(TWh)	240	509	640	698	712	100	100	3.8	1.1
산업	132	269	340	366	375	53	53	3.6	1.1
수송	2	3	12	18	20	1	3	2.2	6.4
가정	37	74	79	82	81	15	11	3.5	0.3
서비스	68	163	200	217	223	32	31	4.5	1.1
기타	0	-	9	15	12	0	2	- 33.3	47.6

* 상용자기는 상용자가 발전량 중 한전 구입량

열에너지 공급 및 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
열생산량	1	3	3	3	3	100	100	4.2	- 0.2
발전폐열	1	2	2	2	2	80	80	4.8	- 0.2
지역난방	0	1	1	1	1	20	20	2.4	- 0.2
지역난방용 에너지 수요	1	3	3	3	3	100	100	5.8	- 0.2
석유	0	0	0	0	0	7	7	- 3.4	- 0.1
가스	1	3	3	3	3	93	93	8.4	- 0.2
지역난방 수요	1	3	3	3	3	100	100	4.4	- 0.2
가정	1	2	2	2	2	85	79	4.0	- 0.4
서비스	0	0	1	1	1	15	21	8.4	0.9

신재생/기타 공급 및 수요 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
부문별 신재생에너지 수요	2	19	41	67	89	100	100	11.6	5.3
발전	-	9	30	54	74	50	84	-	7.1
산업	2	7	7	8	8	36	9	6.5	0.6
수송	-	1	1	1	1	4	1	-	1.0
가정	0	1	1	1	1	3	2	8.6	3.1
서비스	0	1	3	3	4	8	4	14.0	3.2
(수소 공급)									
수입	-	-	-	0	1	0	1	-	-
생산	-	-	3	5	5	0	6	- 100.0	-
(수소 수요)									
발전	-	-	3	5	6	0	7	-	-
최종소비	-	-	0	0	1	0	1	- 100.0	-

주) 수력 포함, 양수는 제외

에너지 부문 온실가스 배출 - 기준 시나리오(REF)

(단위: 백만 tCO₂eq)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
에너지당 배출(톤/toe)	2.58	2.40	2.30	2.18	2.00	-	-	- 0.4	- 0.6
GDP 당 배출(톤/백만원)	0.46	0.31	0.26	0.20	0.16	-	-	- 2.0	- 2.3
인구당 배출(톤/인)	8.92	10.99	11.79	10.83	9.75	-	-	1.1	- 0.4
온실가스 배출	419	570	604	543	462	100	100	1.6	- 0.7
석탄	162	271	286	236	156	48	34	2.6	- 1.8
석유	215	183	175	155	143	32	31	- 0.8	- 0.8
천연가스	42	115	142	153	163	20	35	5.2	1.2
부문별 온실가스 직접 배출									
산업	148	197	224	220	211	35	46	1.4	0.2
수송	87	109	103	87	79	19	17	1.1	- 1.1
가정	42	32	26	24	20	6	4	- 1.5	- 1.5
서비스	20	15	15	13	12	3	3	- 1.5	- 0.7
발전/열생산	121	218	237	199	140	38	30	3.0	- 1.5

주) 전환부문의 온실가스 간접배출은 자가소비 및 유통손실에 의한 배출량을 의미

2. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 - 고성장 시나리오

주요 경제 지표 및 활동 수준 - 고성장 시나리오(HEG)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
인구 (백만명)	47	52	52	53	51	-	-	0.5	0.0
가구 (백만가구)	15	20	22	23	22	-	-	1.7	0.3
국내총생산 (GDP, 조원)	904	1 837	2 387	2 781	3 146	-	-	3.6	1.8
주요 업종별 부가가치 (조원)									
농림어업, 광업	30	34	37	37	36	-	-	0.5	0.2
제조업	250	515	635	720	800	-	-	3.7	1.5
- 석유화학, 비금속, 1 차철강	63	109	131	147	164	-	-	2.8	1.4
- 조립금속	98	297	380	444	501	-	-	5.7	1.8
SOC	88	131	157	166	173	-	-	2.0	0.9
서비스업	516	1 038	1 402	1 669	1 915	-	-	3.6	2.1
수입단가									
원유 (\$/bbl)	19	45	82	91	94	-	-	4.3	2.5
천연가스 (\$/톤)	175	393	423	438	443	-	-	4.1	0.4
유연탄 (\$/톤)	23	77	72	69	64	-	-	6.2	- 0.6
에너지 지표									
국내생산 (백만 toe)	2	1	0	0	0	-	-	- 4.6	- 3.9
총에너지 수요 (백만 toe)	193	292	341	357	361	-	-	2.1	0.7
에너지원단위 (toe/백만원)	0.21	0.16	0.14	0.13	0.12	-	-	- 1.5	- 1.1
일인당에너지소비 (toe/인)	4.11	5.63	6.50	6.74	7.01	-	-	1.6	0.7
최종 소비 (백만 toe)	150	223	253	257	258	-	-	2.0	0.5
전기생산 (TWh)	266	552	699	769	793	-	-	3.7	1.2
일인당 전기생산 (MWh/인)	6	11	13	15	15	-	-	3.2	1.2
에너지부문 온실가스 지표									
온실가스 배출 (백만톤)	419	570	616	565	494	-	-	1.5	- 0.5
배출원단위 (톤/백만원)	0.46	0.31	0.26	0.20	0.16	-	-	- 2.0	- 2.2
일인당 배출 (톤/인)	8.92	10.99	11.75	10.68	9.60	-	-	1.1	- 0.5

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 - 고성장 시나리오(HEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총에너지	193	292	341	357	361	100	100	2.1	0.7
석탄	43	72	77	65	45	25	12	2.6	- 1.6
석유	101	110	118	113	111	38	31	0.5	0.0
가스	19	55	73	83	91	19	25	5.5	1.7
수력	1	2	2	2	2	1	1	0.4	0.8
원자력	27	34	29	25	19	12	5	1.1	- 1.9
신재생·기타	2	19	42	70	93	7	26	11.6	5.4
최종 소비	150	223	253	257	258	100	100	2.0	0.5
석탄	20	30	35	35	33	14	13	2.2	0.3
석유	94	109	117	112	111	49	43	0.8	0.0
도시가스	13	27	31	32	33	12	13	3.8	0.7
전기	21	44	55	61	63	20	25	3.8	1.3
열에너지	1	3	3	3	3	1	1	4.4	0.0
신재생·기타	2	9	12	14	15	4	6	7.8	1.5
산업	84	138	165	171	174	62	67	2.5	0.8
수송	31	39	39	35	33	18	13	1.2	- 0.6
가정	21	23	22	22	21	10	8	0.4	- 0.4
서비스	14	22	27	29	31	10	12	2.4	1.1

최종 소비 부문별·원별 수요 - 고성장 시나리오(HEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
산업	84	138	165	171	174	100	100	2.5	0.8
석탄	19	30	35	35	33	22	19	2.3	0.3
석유	49	66	78	79	81	48	46	1.6	0.6
도시가스	3	11	14	16	17	8	10	6.4	1.4
전기	11	23	30	33	34	17	20	3.6	1.3
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	2	7	7	8	8	5	5	6.5	0.7
수송	31	39	39	35	33	100	100	1.2	- 0.6
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	-
석유	31	37	36	31	28	95	86	1.0	- 0.9
도시가스	0	1	2	2	2	3	5	-	1.4
전기	0	0	1	2	2	1	6	2.2	6.6
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	0	1	1	1	1	2	3	-	1.3
가정	21	23	22	22	21	100	100	0.4	- 0.4
석탄	1	0	0	0	0	1	0	- 6.4	- 100.0
석유	9	3	1	1	1	12	3	- 5.7	- 4.9
도시가스	7	11	10	10	9	47	44	2.0	- 0.6
전기	3	6	7	7	7	28	34	3.5	0.3
열에너지	1	2	2	2	2	10	11	4.0	- 0.2
신재생·기타	0	1	1	2	2	3	9	8.6	3.7
서비스 (상업, 공공, 기타)	14	22	27	29	31	100	100	2.4	1.1
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	- 10.5
석유	6	3	2	1	1	13	3	- 3.6	- 3.4
도시가스	2	3	4	5	5	15	15	2.8	1.2
전기	6	14	18	19	20	64	67	4.5	1.3
열에너지	0	0	1	1	1	2	2	8.4	1.1
신재생·기타	0	1	3	3	4	7	13	14.0	3.3

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 고성장 시나리오(HEG)

						비중 (%)		증가율 (%)	
	2000	2020	2030	2040	2050	2020	2050	00-20	20-50
주요 업종 산출액 (조원)									
석유/화학	126	264	342	405	470	-	-	3.8	2.0
비금속	19	41	50	57	64	-	-	3.9	1.5
1 차철강	60	95	109	112	112	-	-	2.3	0.5
금속, 기계, 전자, 정밀	173	700	934	1 132	1 327	-	-	7.2	2.2
운송장비	117	240	283	329	382	-	-	3.7	1.6
건설	167	226	275	297	312	-	-	1.5	1.1
주요 제품 생산량 (천톤)									
기초유분	16	30	36	38	40	-	-	3.1	1.0
조강	43	67	80	81	81	-	-	2.2	0.7
전로	25	46	58	60	60	-	-	3.2	0.9
전기로	18	21	22	21	21	-	-	0.6	0.1
시멘트	51	48	44	42	40	-	-	- 0.4	- 0.6
클링커	46	42	39	37	36	-	-	- 0.4	- 0.5
에너지 수요 (백만 toe)									
석탄	19	30	35	35	33	22	19	2.3	0.3
석유	49	66	78	79	81	48	46	1.6	0.6
도시가스	3	11	14	16	17	8	10	6.4	1.4
전기	11	23	30	33	34	17	20	3.6	1.3
열에너지	-	-	-	-	-	0	0	-	-
신재생·기타	2	7	7	8	8	5	5	6.5	0.7
주요 업종 에너지원단위									
석유/화학	0.29	0.26	0.25	0.22	0.20	-	-	- 0.4	- 1.0
비금속	0.29	0.10	0.09	0.08	0.06	-	-	- 5.3	- 1.5
1 차철강	0.28	0.31	0.32	0.31	0.30	-	-	0.5	- 0.1
조립금속	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	- 1.9	- 1.0

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) - 고성장 시나리오(HEG)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종별 에너지 수요									
석유/화학	36	69	84	88	86	100	100	3.3	0.7
석탄	0	0	0	0	0	0	0	- 1.5	- 3.5
석유	33	59	70	72	74	86	86	3.0	0.7
가스	0	5	7	8	9	7	10	14.2	2.2
전기	2	5	7	8	9	7	11	4.1	2.1
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-
비금속	6	4	5	4	4	100	100	- 1.7	0.0
석탄	4	2	2	2	2	50	38	- 2.8	- 0.9
석유	1	1	1	1	0	14	11	- 3.4	- 0.8
가스	0	1	1	1	1	13	17	3.8	0.8
전기	1	1	1	1	1	24	35	1.1	1.3
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-
철강	17	29	35	35	33	100	100	2.9	0.5
석탄	13	24	29	29	27	84	81	3.1	0.3
석유	1	0	0	0	0	0	0	- 12.1	- 3.2
가스	1	2	3	3	3	8	10	6.5	1.2
전기	2	2	3	3	3	8	9	1.4	1.0
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-
조립금속	5	11	14	15	15	100	100	4.1	1.0
석탄	-	-	-	-	-	0	0	-	-
석유	2	0	0	0	0	3	2	- 7.9	- 0.8
가스	1	2	2	2	2	17	13	5.0	0.2
전기	3	9	11	12	13	80	85	6.0	1.2
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-

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 - 고성장 시나리오(HEG)

(단위: 백만 toe)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
자동차 형태별 (백만대)	12	24	27	29	29	100	100	3.6	0.6
승용차	8	20	23	25	25	82	86	4.6	0.8
화물차	3	4	4	3	3	15	11	1.8	- 0.4
승합차	1	1	1	1	1	3	3	- 3.0	0.0
자동차 연료별 (백만대)									
휘발유	7	12	13	13	11	50	39	2.6	- 0.2
경유	4	10	9	9	8	41	29	5.3	- 0.6
전기자동차	-	0	3	5	6	1	21	65.7	13.3
수소자동차	-	-	0	1	1	0	4	-	-
기타	1	2	2	2	2	9	8	2.8	0.1
에너지 수요									
	31	39	39	35	33	100	100	1.2	- 0.6
휘발유	8	10	9	7	5	25	16	1.1	- 2.0
경유	13	19	15	12	11	49	34	1.9	- 1.8
중유	4	2	3	3	3	6	9	- 2.4	0.6
제트유	2	3	6	6	7	6	21	0.8	3.3
부탄	3	3	3	2	2	8	6	- 0.5	- 1.6
기타석유	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3
도시가스	-	1	2	2	2	3	5	-	1.4
전기	0	0	1	2	2	1	6	2.2	6.6
신재생·기타	-	1	1	1	1	2	3	-	1.3
수송 수단별 에너지수요									
도로	24	33	29	25	22	85	68	1.8	- 1.3
철도	1	0	0	0	0	1	1	- 2.3	- 0.2
항공	2	3	6	6	7	6	21	0.8	3.3
해운	5	3	4	4	3	8	10	- 2.1	0.4

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

가정 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 고성장 시나리오(HEG)

(단위: 백만 toe)

						비중 (%)		증가율 (%)	
	2000	2020	2030	2040	2050	2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
인구 (백만명)	47.0	51.8	52.4	52.9	51.5	-	-	0.5	0.0
가구 (백만가구)	14.5	20.4	22.0	22.7	22.1	-	-	1.7	0.3
형태별 주택(백만호)	11.0	17.0	18.8	19.7	19.4	100	100	2.2	0.4
단독	4.1	3.6	3.5	3.3	2.8	21	14	- 0.7	- 0.8
아파트	5.2	10.8	12.9	14.1	14.3	64	74	3.7	0.9
공동주택	1.7	2.6	2.4	2.3	2.3	15	12	2.3	- 0.4
평균 주거 면적(m ²)	85.5	76.3	75.6	75.9	76.8	-	-	- 0.6	0.0
에너지 지표									
주택당 에너지수요(toe/천원)	1.93	1.36	1.17	1.11	1.07	-	-	- 1.7	- 0.8
면적당 에너지수요(toe/100m ²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	-	-	- 1.2	- 0.8
가구당 에너지수요(toe/가구)	1.46	1.14	1.00	0.97	0.94	-	-	- 1.2	- 0.6
인구당 전기수요(MWh/명)	0.79	1.43	1.50	1.54	1.57	-	-	3.0	0.3
에너지 수요									
	21	23	22	22	21	100	100	0.4	- 0.4
석탄	1	0	0	0	-	1	0	- 6.4	- 100.0
석유	9	3	1	1	1	12	3	- 5.7	- 4.9
도시가스	7	11	10	10	9	47	44	2.0	- 0.6
전기	3	6	7	7	7	28	34	3.5	0.3
지역난방	1	2	2	2	2	10	11	4.0	- 0.2
신재생·기타	0	1	1	2	2	3	9	8.6	3.7
용도별 에너지 수요									
난방/온수	17	15	14	13	12	67	60	- 0.5	- 0.7
취사	1	2	2	1	1	8	6	2.1	- 1.7
냉방	0	1	1	1	1	4	6	18.3	1.4
조명	0	1	1	1	1	3	3	3.0	- 0.8
기타 가전기기	2	4	5	5	5	18	26	3.0	0.9

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 - 고성장 시나리오(HEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종별 산출액 (조원)									
도소매	134	260	336	404	478	-	-	3.4	2.1
숙박음식	61	137	173	203	234	-	-	4.2	1.8
운수보관	69	153	205	251	300	-	-	4.1	2.3
정보통신	56	150	223	281	335	-	-	5.0	2.7
공공행정및국방	73	149	187	197	202	-	-	3.7	1.0
교육서비스	65	124	149	158	165	-	-	3.3	1.0
의료복지	41	166	267	350	428	-	-	7.2	3.2
예술,스포츠,레저	16	43	65	82	98	-	-	5.3	2.8
기타서비스	284	723	1 030	1 258	1 468	-	-	4.8	2.4
에너지 수요	14	22	27	29	31	100	100	2.4	1.1
석유	6	3	2	1	1	13	3	- 3.6	- 3.4
도시가스	2	3	4	5	5	15	15	2.8	1.2
전기	6	14	18	19	20	64	67	4.5	1.3
지역난방	0	0	1	1	1	2	2	8.4	1.1
신재생·기타	0	1	3	3	4	7	13	14.0	3.3
부문별 에너지 수요									
상업 서비스	11	17	21	22	23	76	75	2.1	1.0
공공 서비스	3	5	7	7	8	24	25	3.5	1.3

석유 공급 및 수요 - 고성장 시나리오(HEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
원유 수요*	122	163	180	182	182	-	-	1.5	0.4
국제 벙커링	7	9	11	12	12	-	-	1.2	0.8
총공급	101	110	118	113	111	100	100	0.5	0.0
전환	7	1	1	1	1	1	1	- 9.4	- 1.0
최종소비	94	109	117	112	111	99	99	0.8	0.0
제품별 석유 수요									
휘발유	8	10	9	7	5	9	5	1.0	- 2.0
등유	10	2	1	1	1	2	1	- 6.8	- 4.6
경유	19	23	18	15	13	21	12	0.9	- 1.8
중유	20	4	4	4	4	3	3	- 8.1	0.1
제트유	3	3	6	7	7	3	6	0.9	2.8
프로판	5	8	9	8	9	7	8	2.8	0.2
부탄	4	4	4	4	3	4	3	0.3	- 0.8
납사	29	50	59	61	63	45	56	2.7	0.8
기타 비에너지유	3	6	7	7	7	6	6	3.7	0.2
용도별 석유 수요									
산업	49	66	78	79	81	60	72	1.6	0.6
(연료)	16	11	12	12	11	10	10	- 2.1	0.2
(원료)	32	56	66	67	69	51	62	2.8	0.7
수송	31	37	36	31	28	34	26	1.0	- 0.9
가정	9	3	1	1	1	2	1	- 5.7	- 4.9
서비스	6	3	2	1	1	3	1	- 3.6	- 3.4
전환	7	1	1	1	1	1	1	- 9.4	- 1.0

* 원유 수입 및 재고 변화를 포함한 총수요

석탄 공급 및 수요 - 고성장 시나리오(HEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총공급	43	72	77	65	45	100	100	2.6	- 1.6
전환부문	23	42	42	30	11	58	25	3.0	- 4.3
최종소비부문	20	30	35	35	33	42	75	2.2	0.3
제품별 석탄 수요									
국내탄	2	0	0	0	0	1	0	- 7.2	- 10.8
수입무연탄	1	4	4	4	4	5	9	5.4	0.3
연료용 유연탄	27	45	45	33	14	62	32	2.6	- 3.7
원료용 유연탄	13	24	28	28	26	33	59	3.1	0.4
용도별 석탄 수요									
발전용	23	42	42	30	11	58	25	3.0	- 4.3
코크스 제조 및 고로용	13	24	28	28	26	33	59	3.1	0.4
킬른가열용	4	2	2	2	2	3	3	- 2.7	- 0.9
기타 산업용	3	5	6	6	5	6	12	2.6	0.5
연탄용	1	0	0	0	-	0	0	- 6.4	- 100.0

가스 공급 및 수요 - 고성장 시나리오(HEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총공급	19	55	73	83	91	100	100	5.5	1.7
전환 부문*	6	28	42	50	58	52	64	7.6	2.4
최종소비 부문	13	27	31	32	33	49	36	3.8	0.7
제품별 소비									
천연가스	6	29	41	47	54	53	59	8.6	2.0
도시가스	13	24	27	28	28	44	31	3.1	0.5
용도별 소비									
발전용	6	25	35	40	46	45	51	7.6	2.1
지역난방	1	3	3	3	3	5	3	8.4	0.1
산업	3	11	14	16	17	21	19	6.4	1.4
수송	-	1	2	2	2	2	2	-	1.4
가정	7	11	10	10	9	20	10	2.0	- 0.6
서비스	2	3	4	5	5	6	5	2.8	1.2

* 자가소비 및 손실 포함

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

전기 공급 및 수요 - 고성장 시나리오(HEG)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
발전설비 (GW)	48	129	196	273	342	100	100	5.0	3.3
석탄	14	37	32	22	9	29	3	5.0	- 4.7
석유	5	2	0	0	0	1	0	- 5.2	- 4.9
가스	13	42	58	70	86	32	25	6.1	2.4
원자력	14	23	20	16	12	18	4	2.7	- 2.1
수력	3	7	7	9	9	5	3	3.7	0.9
신재생	-	19	77	156	226	15	66	-	8.6
- 변동성 재생에너지	-	16	73	150	218	13	64	-	9.0
- 기타 재생에너지	-	1	2	2	2	1	1	-	0.9
- 신에너지	-	1	3	4	6	1	2	-	6.2
총발전량(TWh)	266	552	699	769	793	107	140	3.7	1.2
석탄	99	198	196	140	57	36	7	3.5	- 4.0
석유	19	2	1	1	1	0	0	- 10.2	- 4.2
가스	28	147	232	269	316	27	40	8.5	2.6
원자력	109	160	137	118	91	29	12	2.0	- 1.9
수력	6	7	7	9	9	1	1	1.2	0.8
신재생	-	36	124	230	317	7	40	-	7.5
- 변동성 재생에너지	-	20	98	194	274	4	34	-	9.1
- 기타 재생에너지	-	10	9	10	10	2	1	-	0.0
- 신에너지	-	6	17	26	33	1	4	-	6.0
상용자가	5	2	2	2	2	0	0	- 5.1	1.3
발전용 에너지 수요 (백만 toe)	64	112	141	158	163	100	100	2.9	1.3
석탄	23	42	42	30	11	37	7	3.0	- 4.3
석유	6	1	0	0	0	1	0	- 10.9	- 2.0
가스	6	25	35	40	46	22	29	7.6	2.1
수력	1	2	2	2	2	1	1	0.4	0.8
원자력	27	34	29	25	19	30	12	1.1	- 1.9
신재생·기타	-	9	33	61	83	8	51	-	7.5
전기 수요(TWh)	240	509	645	708	739	100	100	3.8	1.3
산업	132	269	348	381	398	53	54	3.6	1.3
수송	2	3	12	19	22	1	3	2.2	6.6
가정	37	74	79	82	81	15	11	3.5	0.3
서비스	68	163	204	225	237	32	32	4.5	1.3
기타	0	-	1	1	1	0	0	- 24.6	36.1

* 상용자기는 상용자가 발전량 중 한전 구입량

열에너지 공급 및 수요 - 고성장 시나리오(HEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
열생산량	1	3	3	3	3	100	100	4.2	0.0
발전폐열	1	2	2	2	2	80	80	4.8	0.0
지역난방	0	1	1	1	1	20	20	2.4	0.0
지역난방용 에너지 수요	1	3	3	3	3	100	100	5.8	0.1
석유	0	0	0	0	0	7	7	- 3.4	0.1
가스	1	3	3	3	3	93	93	8.4	0.1
지역난방 수요	1	3	3	3	3	100	100	4.4	0.0
가정	1	2	2	2	2	85	79	4.0	- 0.2
서비스	0	0	1	1	1	15	21	8.4	1.1

신재생/기타 공급 및 수요 - 고성장 시나리오(HEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
부문별 신재생에너지 수요	2	19	42	70	93	100	100	11.6	5.4
발전	-	9	30	56	78	50	84	-	7.3
산업	2	7	7	8	8	36	9	6.5	0.7
수송	-	1	1	1	1	4	1	-	1.3
가정	0	1	1	2	2	3	2	8.6	3.7
서비스	0	1	3	3	4	8	4	14.0	3.3
(수소 공급)									
수입	-	-	-	0	1	0	1	-	-
생산	-	-	3	5	5	0	6	- 100.0	-
(수소 수요)									
발전	-	-	3	5	6	0	7	-	-
최종소비	-	-	0	0	1	0	1	- 100.0	-

주) 수력 포함, 양수는 제외

에너지 부문 온실가스 배출 - 고성장 시나리오(HEG)

(단위: 백만 tCO₂eq)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
에너지당 배출(톤/toe)	2.58	2.40	2.30	2.17	2.00	-	-	- 0.4	- 0.6
GDP 당 배출(톤/백만원)	0.46	0.31	0.26	0.20	0.16	-	-	- 2.0	- 2.2
인구당 배출(톤/인)	8.92	10.99	11.75	10.68	9.60	-	-	1.1	- 0.5
온실가스 배출	419	570	616	565	494	100	100	1.6	- 0.5
석탄	162	271	291	243	167	48	34	2.6	- 1.6
석유	215	183	179	162	153	32	31	- 0.8	- 0.6
천연가스	42	115	146	160	174	20	35	5.2	1.4
부문별 온실가스 직접 배출									
산업	148	197	230	232	227	35	46	1.4	0.5
수송	87	109	105	91	84	19	17	1.1	- 0.8
가정	42	32	26	24	21	6	4	- 1.5	- 1.3
서비스	20	15	15	14	13	3	3	- 1.5	- 0.5
발전/열생산	121	218	240	204	148	38	30	3.0	- 1.3

주) 전환부문의 온실가스 간접배출은 자가소비 및 유통손실에 의한 배출량을 의미

3. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 - 저성장 시나리오

주요 경제 지표 및 활동 수준 - 저성장 시나리오(LEG)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
인구 (백만명)	47	52	50	48	43	-	-	0.5	- 0.6
가구 (백만가구)	15	20	22	23	22	-	-	1.7	0.3
국내총생산 (GDP, 조원)	904	1 837	2 205	2 391	2 541	-	-	3.6	1.1
주요 업종별 부가가치 (조원)									
농림어업, 광업	30	34	34	32	29	-	-	0.5	- 0.5
제조업	250	515	586	619	646	-	-	3.7	0.8
- 석유화학, 비금속, 1 차철강	63	109	121	126	133	-	-	2.8	0.7
- 조립금속	98	297	351	381	405	-	-	5.7	1.0
SOC	88	131	145	143	140	-	-	2.0	0.2
서비스업	516	1 038	1 295	1 435	1 547	-	-	3.6	1.3
수입단가									
원유 (\$/bbl)	19	45	82	91	94	-	-	4.3	2.5
천연가스 (\$/톤)	175	393	423	438	443	-	-	4.1	0.4
유연탄 (\$/톤)	23	77	72	69	64	-	-	6.2	- 0.6
에너지 지표									
국내생산 (백만 toe)	2	1	0	0	0	-	-	- 4.7	- 4.5
총에너지 수요 (백만 toe)	193	292	322	317	303	-	-	2.1	0.1
에너지원단위 (toe/백만원)	0.21	0.16	0.15	0.13	0.12	-	-	- 1.5	- 1.0
일인당에너지소비 (toe/인)	4.11	5.63	6.41	6.67	7.00	-	-	1.6	0.7
최종 소비 (백만 toe)	150	223	237	224	212	-	-	2.0	- 0.2
전기생산 (TWh)	266	552	659	686	675	-	-	3.7	0.7
일인당 전기생산 (MWh/인)	6	11	13	14	16	-	-	3.2	1.3
에너지부문 온실가스 지표									
온실가스 배출 (백만톤)	419	570	580	497	402	-	-	1.6	- 1.2
배출원단위 (톤/백만원)	0.46	0.31	0.26	0.21	0.16	-	-	- 2.0	- 2.2
일인당 배출 (톤/인)	8.92	10.99	11.56	10.45	9.27	-	-	1.1	- 0.6

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 - 저성장 시나리오(LEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총에너지	193	292	322	317	303	100	100	2.1	0.1
석탄	43	72	74	58	36	25	12	2.6	- 2.3
석유	101	110	110	98	91	38	30	0.5	- 0.6
가스	19	55	67	71	75	19	25	5.5	1.0
수력	1	2	2	2	2	1	1	0.4	0.8
원자력	27	34	29	25	19	12	6	1.1	- 1.9
신재생·기타	2	19	40	63	80	7	26	11.6	4.9
최종 소비	150	223	237	224	212	100	100	2.0	- 0.2
석탄	20	30	32	29	25	14	12	2.2	- 0.7
석유	94	109	109	98	90	49	43	0.8	- 0.6
도시가스	13	27	29	29	28	12	13	3.8	0.2
전기	21	44	52	54	54	20	25	3.8	0.7
열에너지	1	3	3	3	2	1	1	4.4	- 0.5
신재생·기타	2	9	11	12	13	4	6	7.8	1.0
산업	84	138	152	147	140	62	66	2.5	0.1
수송	31	39	37	31	28	18	13	1.2	- 1.2
가정	21	23	22	21	19	10	9	0.4	- 0.7
서비스	14	22	26	26	25	10	12	2.4	0.5

최종 소비 부문별·원별 수요 - 저성장 시나리오(LEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
산업	84	138	152	147	140	100	100	2.5	0.1
석탄	19	30	32	29	25	22	18	2.3	- 0.7
석유	49	66	72	68	65	48	47	1.6	- 0.1
도시가스	3	11	13	14	14	8	10	6.4	0.8
전기	11	23	28	29	28	17	20	3.6	0.7
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	2	7	7	7	8	5	5	6.5	0.4
수송	31	39	37	31	28	100	100	1.2	- 1.2
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	-
석유	31	37	34	27	24	95	85	1.0	- 1.5
도시가스	0	1	2	2	2	3	6	-	1.2
전기	0	0	1	1	2	1	6	2.2	6.1
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	0	1	1	1	1	2	3	-	0.7
가정	21	23	22	21	19	100	100	0.4	- 0.7
석탄	1	0	0	0	0	1	0	- 6.4	- 100.0
석유	9	3	2	1	1	12	4	- 5.7	- 4.0
도시가스	7	11	10	9	8	47	42	2.0	- 1.0
전기	3	6	7	7	7	28	37	3.5	0.3
열에너지	1	2	2	2	2	10	10	4.0	- 0.7
신재생·기타	0	1	1	1	1	3	6	8.6	2.2
서비스 (상업, 공공, 기타)	14	22	26	26	25	100	100	2.4	0.5
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	- 11.0
석유	6	3	2	1	1	13	3	- 3.6	- 3.9
도시가스	2	3	4	4	4	15	15	2.8	0.6
전기	6	14	16	17	17	64	66	4.5	0.6
열에너지	0	0	0	0	0	2	2	8.4	0.4
신재생·기타	0	1	3	3	3	7	13	14.0	2.8

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 저성장 시나리오(LEG)

						비중 (%)		증가율 (%)	
	2000	2020	2030	2040	2050	2020	2050	00-20	20-50
주요 업종 산출액 (조원)									
석유/화학	126	264	316	349	379	-	-	3.8	1.2
비금속	19	41	47	49	52	-	-	3.9	0.8
1 차철강	60	95	101	96	90	-	-	2.3	- 0.2
금속, 기계, 전자, 정밀	173	700	863	974	1 072	-	-	7.2	1.4
운송장비	117	240	261	283	309	-	-	3.7	0.9
건설	167	226	254	255	252	-	-	1.5	0.4
주요 제품 생산량 (천톤)									
기초유분	16	30	33	33	33	-	-	3.1	0.2
조강	43	67	74	70	66	-	-	2.2	- 0.1
전로	25	46	52	48	43	-	-	3.2	- 0.2
전기로	18	21	22	22	22	-	-	0.6	0.2
시멘트	51	48	41	36	32	-	-	- 0.4	- 1.3
클링커	46	42	36	32	29	-	-	- 0.4	- 1.2
에너지 수요 (백만 toe)									
석탄	19	30	32	29	25	22	18	2.3	- 0.7
석유	49	66	72	68	65	48	47	1.6	- 0.1
도시가스	3	11	13	14	14	8	10	6.4	0.8
전기	11	23	28	29	28	17	20	3.6	0.7
열에너지	-	-	-	-	-	0	0	-	-
신재생·기타	2	7	7	7	8	5	5	6.5	0.4
주요 업종 에너지원단위									
석유/화학	0.29	0.26	0.25	0.22	0.20	-	-	- 0.4	- 1.0
비금속	0.29	0.10	0.09	0.08	0.06	-	-	- 5.3	- 1.5
1 차철강	0.28	0.31	0.31	0.30	0.28	-	-	0.5	- 0.3
조립금속	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	- 1.9	- 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) - 저성장 시나리오(LEG)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종별 에너지 수요									
석유/화학	36	69	78	76	86	100	100	3.3	0.7
석탄	0	0	0	0	0	0	0	- 1.5	- 4.2
석유	33	59	65	62	60	86	69	3.0	0.0
가스	0	5	6	7	7	7	8	14.2	1.5
전기	2	5	6	7	8	7	9	4.1	1.4
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-
비금속	6	4	4	4	3	100	100	- 1.7	- 0.7
석탄	4	2	2	1	1	50	38	- 2.8	- 1.6
석유	1	1	1	0	0	14	11	- 3.4	- 1.5
가스	0	1	1	1	1	13	17	3.8	0.0
전기	1	1	1	1	1	24	34	1.1	0.5
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-
철강	17	29	32	29	26	100	100	2.9	- 0.4
석탄	13	24	26	23	20	84	77	3.1	- 0.7
석유	1	0	0	0	0	0	0	- 12.1	- 3.6
가스	1	2	3	3	3	8	11	6.5	0.8
전기	2	2	3	3	3	8	12	1.4	0.9
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-
조립금속	5	11	13	13	13	100	100	4.1	0.4
석탄	-	-	-	-	-	0	0	-	-
석유	2	0	0	0	0	3	2	- 7.9	- 1.0
가스	1	2	2	2	2	17	13	5.0	- 0.5
전기	3	9	11	11	11	80	85	6.0	0.6
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-

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 - 저성장 시나리오(LEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
자동차 형태별 (백만대)	12	24	26	26	24	100	100	3.6	0.0
승용차	8	20	22	22	21	82	86	4.6	0.2
화물차	3	4	3	3	3	15	11	1.8	- 0.9
승합차	1	1	1	1	1	3	3	- 3.0	- 0.5
자동차 연료별 (백만대)									
휘발유	7	12	13	11	9	50	39	2.6	- 0.8
경유	4	10	8	8	7	41	29	5.3	- 1.1
전기자동차	-	0	3	4	5	1	21	65.7	12.6
수소자동차	-	-	0	1	1	0	4	-	-
기타	1	2	2	2	2	9	8	2.8	- 0.5
에너지 수요	31	39	37	31	28	100	100	1.2	- 1.2
휘발유	8	10	9	6	5	25	16	1.1	- 2.6
경유	13	19	14	11	9	49	34	1.9	- 2.4
중유	4	2	2	2	2	6	8	- 2.4	- 0.5
제트유	2	3	5	6	6	6	21	0.8	2.8
부탄	3	3	3	2	2	8	6	- 0.5	- 2.0
기타석유	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2
도시가스	-	1	2	2	2	3	6	-	1.2
전기	0	0	1	1	2	1	6	2.2	6.1
신재생·기타	-	1	1	1	1	2	3	-	0.7
수송 수단별 에너지수요									
도로	24	33	28	23	19	85	69	1.8	- 1.8
철도	1	0	0	0	0	1	1	- 2.3	- 0.4
항공	2	3	5	6	6	6	21	0.8	2.8
해운	5	3	3	3	2	8	9	- 2.1	- 0.8

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

가정 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 저성장 시나리오(LEG)

(단위: 백만 toe)

						비중 (%)		증가율 (%)	
	2000	2020	2030	2040	2050	2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
인구 (백만명)	47.0	51.8	50.1	47.6	43.3	-	-	0.5	- 0.6
가구 (백만가구)	14.5	20.4	22.0	22.7	22.1	-	-	1.7	0.3
형태별 주택(백만호)	11.0	17.0	18.8	19.7	19.4	100	100	2.2	0.4
단독	4.1	3.6	3.6	3.5	3.1	21	16	- 0.7	- 0.5
아파트	5.2	10.8	12.9	14.0	14.3	64	74	3.7	0.9
공동주택	1.7	2.6	2.3	2.2	2.0	15	10	2.3	- 0.9
평균 주거 면적(m ²)	85.5	76.3	72.7	70.1	68.2	-	-	- 0.6	- 0.4
에너지 지표									
주택당 에너지수요(toe/천원)	1.93	1.36	1.15	1.06	0.97	-	-	- 1.7	- 1.1
면적당 에너지수요(toe/100m ²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	-	-	- 1.2	- 0.7
가구당 에너지수요(toe/가구)	1.46	1.14	0.98	0.92	0.86	-	-	- 1.2	- 0.9
인구당 전기수요(MWh/명)	0.79	1.43	1.58	1.73	1.88	-	-	3.0	0.9
에너지 수요									
석탄	1	0	0	0	-	1	0	- 6.4	- 100.0
석유	9	3	2	1	1	12	4	- 5.7	- 4.0
도시가스	7	11	10	9	8	47	42	2.0	- 1.0
전기	3	6	7	7	7	28	37	3.5	0.3
지역난방	1	2	2	2	2	10	10	4.0	- 0.7
신재생·기타	0	1	1	1	1	3	6	8.6	2.2
용도별 에너지 수요									
난방/온수	17	15	13	12	11	67	56	- 0.5	- 1.3
취사	1	2	2	1	1	8	6	2.1	- 1.7
냉방	0	1	1	1	1	4	6	18.3	1.2
조명	0	1	1	1	1	3	4	3.0	- 0.4
기타 가전기기	2	4	5	5	5	18	28	3.0	0.8

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 - 저성장 시나리오(LEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종별 산출액 (조원)									
도소매	134	260	310	348	386	-	-	3.4	1.3
숙박음식	61	137	160	175	189	-	-	4.2	1.1
운수보관	69	153	189	215	242	-	-	4.1	1.5
정보통신	56	150	206	242	271	-	-	5.0	2.0
공공행정및국방	73	149	173	170	163	-	-	3.7	0.3
교육서비스	65	124	138	136	133	-	-	3.3	0.2
의료복지	41	166	247	301	346	-	-	7.2	2.5
예술,스포츠,레저	16	43	60	70	79	-	-	5.3	2.0
기타서비스	284	723	952	1 081	1 186	-	-	4.8	1.7
에너지 수요	14	22	26	26	25	100	100	2.4	0.5
석유	6	3	2	1	1	13	3	- 3.6	- 3.9
도시가스	2	3	4	4	4	15	15	2.8	0.6
전기	6	14	16	17	17	64	66	4.5	0.6
지역난방	0	0	0	0	0	2	2	8.4	0.4
신재생·기타	0	1	3	3	3	7	13	14.0	2.8
부문별 에너지 수요									
상업 서비스	11	17	19	19	19	76	74	2.1	0.4
공공 서비스	3	5	6	6	7	24	26	3.5	0.7

석유 공급 및 수요 - 저성장 시나리오(LEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
원유 수요*	122	163	166	156	147	-	-	1.5	- 0.4
국제 벙커링	7	9	10	9	9	-	-	1.2	- 0.2
총공급	101	110	110	98	91	100	100	0.5	- 0.6
전환	7	1	1	1	1	1	1	- 9.4	- 1.6
최종소비	94	109	109	98	90	99	99	0.8	- 0.6
제품별 석유 수요									
휘발유	8	10	9	6	5	9	5	1.0	- 2.6
등유	10	2	1	1	1	2	1	- 6.8	- 4.1
경유	19	23	17	13	11	21	12	0.9	- 2.4
중유	20	4	3	3	3	3	3	- 8.1	- 0.9
제트유	3	3	6	6	6	3	6	0.9	2.3
프로판	5	8	8	7	7	7	8	2.8	- 0.4
부탄	4	4	4	4	3	4	3	0.3	- 1.3
납사	29	50	55	52	51	45	56	2.7	0.1
기타 비에너지유	3	6	7	6	6	6	6	3.7	- 0.4
용도별 석유 수요									
산업	49	66	72	68	65	60	72	1.6	- 0.1
(연료)	16	11	11	10	9	10	10	- 2.1	- 0.5
(원료)	32	56	61	58	56	51	62	2.8	0.0
수송	31	37	34	27	24	34	26	1.0	- 1.5
가정	9	3	2	1	1	2	1	- 5.7	- 4.0
서비스	6	3	2	1	1	3	1	- 3.6	- 3.9
전환	7	1	1	1	1	1	1	- 9.4	- 1.6

* 원유 수입 및 재고 변화를 포함한 총수요

석탄 공급 및 수요 - 저성장 시나리오(LEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총공급	43	72	74	58	36	100	100	2.6	- 2.3
전환부문	23	42	42	30	11	58	31	3.0	- 4.3
최종소비부문	20	30	32	29	25	42	69	2.2	- 0.7
제품별 석탄 수요									
국내탄	2	0	0	0	0	1	0	- 7.2	- 11.4
수입무연탄	1	4	4	4	3	5	9	5.4	- 0.4
연료용 유연탄	27	45	45	32	14	62	38	2.6	- 3.9
원료용 유연탄	13	24	25	22	19	33	53	3.1	- 0.7
용도별 석탄 수요									
발전용	23	42	42	30	11	58	31	3.0	- 4.3
코크스 제조 및 고로용	13	24	25	22	19	33	53	3.1	- 0.7
킬른가열용	4	2	2	1	1	3	3	- 2.7	- 1.6
기타 산업용	3	5	5	5	4	6	12	2.6	- 0.1
연탄용	1	0	0	0	-	0	0	- 6.4	- 100.0

가스 공급 및 수요 - 저성장 시나리오(LEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총공급	19	55	67	71	75	100	100	5.5	1.0
전환 부문*	6	28	38	42	47	52	63	7.6	1.7
최종소비 부문	13	27	29	29	28	49	37	3.8	0.2
제품별 소비									
천연가스	6	29	37	38	42	53	56	8.6	1.2
도시가스	13	24	26	25	24	44	32	3.1	- 0.1
용도별 소비									
발전용	6	25	31	32	36	45	48	7.6	1.3
지역난방	1	3	3	3	2	5	3	8.4	- 0.5
산업	3	11	13	14	14	21	19	6.4	0.8
수송	-	1	2	2	2	2	2	-	1.2
가정	7	11	10	9	8	20	11	2.0	- 1.0
서비스	2	3	4	4	4	6	5	2.8	0.6

* 자가소비 및 손실 포함

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

전기 공급 및 수요 - 저성장 시나리오(LEG)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
발전설비 (GW)	48	129	191	249	293	100	100	5.0	2.8
석탄	14	37	32	22	9	29	3	5.0	- 4.7
석유	5	2	0	0	0	1	0	- 5.2	- 5.1
가스	13	42	58	62	70	32	24	6.1	1.7
원자력	14	23	20	16	12	18	4	2.7	- 2.1
수력	3	7	7	9	9	5	3	3.7	0.9
신재생	-	19	73	140	193	15	66	-	8.0
- 변동성 재생에너지	-	16	68	134	186	13	63	-	8.4
- 기타 재생에너지	-	1	2	2	2	1	1	-	0.9
- 신에너지	-	1	3	4	6	1	2	-	6.2
총발전량(TWh)	266	552	659	686	675	107	141	3.7	0.7
석탄	99	198	196	140	57	36	9	3.5	- 4.0
석유	19	2	1	1	1	0	0	- 10.2	- 4.4
가스	28	147	197	207	239	27	35	8.5	1.6
원자력	109	160	137	118	91	29	14	2.0	- 1.9
수력	6	7	7	9	9	1	1	1.2	0.8
신재생	-	36	119	209	276	7	41	-	7.0
- 변동성 재생에너지	-	20	92	173	233	4	34	-	8.5
- 기타 재생에너지	-	10	9	10	10	2	1	-	0.0
- 신에너지	-	6	17	26	33	1	5	-	6.0
상용자가	5	2	2	2	2	0	0	- 5.1	0.5
발전용 에너지 수요 (백만 toe)	64	112	135	144	141	100	100	2.9	0.8
석탄	23	42	42	30	11	37	8	3.0	- 4.3
석유	6	1	0	0	0	1	0	- 10.9	- 2.5
가스	6	25	31	32	36	22	25	7.6	1.3
수력	1	2	2	2	2	1	1	0.4	0.8
원자력	27	34	29	25	19	30	14	1.1	- 1.9
신재생-기타	-	9	31	55	73	8	51	-	7.0
전기 수요(TWh)	240	509	606	629	625	100	100	3.8	0.7
산업	132	269	323	332	329	53	53	3.6	0.7
수송	2	3	12	17	19	1	3	2.2	6.1
가정	37	74	79	82	82	15	13	3.5	0.3
서비스	68	163	191	197	196	32	31	4.5	0.6
기타	0	-	1	1	1	0	0	- 24.6	36.0

* 상용자기는 상용자가 발전량 중 한전 구입량

열에너지 공급 및 수요 - 저성장 시나리오(LEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
열생산량	1	3	3	3	2	100	100	4.2	- 0.5
발전폐열	1	2	2	2	2	80	80	4.8	- 0.5
지역난방	0	1	1	1	0	20	20	2.4	- 0.5
지역난방용 에너지 수요	1	3	3	3	3	100	100	5.8	- 0.5
석유	0	0	0	0	0	7	7	- 3.4	- 0.5
가스	1	3	3	3	2	93	93	8.4	- 0.5
지역난방 수요	1	3	3	3	2	100	100	4.4	- 0.5
가정	1	2	2	2	2	85	80	4.0	- 0.7
서비스	0	0	0	0	0	15	20	8.4	0.4

신재생/기타 공급 및 수요 - 저성장 시나리오(LEG)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
부문별 신재생에너지 수요	2	19	40	63	80	100	100	11.6	4.9
발전	-	9	29	51	67	50	84	-	6.7
산업	2	7	7	7	8	36	10	6.5	0.4
수송	-	1	1	1	1	4	1	-	0.7
가정	0	1	1	1	1	3	1	8.6	2.2
서비스	0	1	3	3	3	8	4	14.0	2.8
(수소 공급)									
수입	-	-	-	0	1	0	1	-	-
생산	-	-	3	5	5	0	7	- 100.0	-
(수소 수요)									
발전	-	-	3	5	6	0	8	-	-
최종소비	-	-	0	0	1	0	1	- 100.0	-

주) 수력 포함, 양수는 제외

에너지 부문 온실가스 배출 - 저성장 시나리오(LEG)

(단위: 백만 tCO₂eq)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
에너지당 배출(톤/toe)	2.58	2.40	2.31	2.19	1.99	-	-	- 0.4	- 0.6
GDP 당 배출(톤/백만원)	0.46	0.31	0.26	0.21	0.16	-	-	- 2.0	- 2.2
인구당 배출(톤/인)	8.92	10.99	11.56	10.45	9.27	-	-	1.1	- 0.6
온실가스 배출	419	570	580	497	402	100	100	1.6	- 1.2
석탄	162	271	278	219	135	48	34	2.6	- 2.3
석유	215	183	169	142	126	32	31	- 0.8	- 1.2
천연가스	42	115	133	136	140	20	35	5.2	0.7
부문별 온실가스 직접 배출									
산업	148	197	210	194	177	35	44	1.4	- 0.4
수송	87	109	99	81	71	19	18	1.1	- 1.4
가정	42	32	26	23	19	6	5	- 1.5	- 1.6
서비스	20	15	14	12	11	3	3	- 1.5	- 1.1
발전/열생산	121	218	230	186	124	38	31	3.0	- 1.9

주) 전환부문의 온실가스 간접배출은 자가소비 및 유통손실에 의한 배출량을 의미

4. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 – 정책계획 시나리오

주요 경제 지표 및 활동 수준 - 정책계획 시나리오(APS)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
인구 (백만명)	47	52	51	50	47	-	-	0.5	- 0.3
가구 (백만가구)	15	20	22	23	22	-	-	1.7	0.3
국내총생산 (GDP, 조원)	904	1 837	2 328	2 665	2 944	-	-	3.6	1.6
주요 업종별 부가가치 (조원)									
농림어업, 광업	30	34	36	36	34	-	-	0.5	0.0
제조업	250	515	619	690	749	-	-	3.7	1.3
- 석유화학, 비금속, 1 차철강	63	109	128	140	154	-	-	2.8	1.1
- 조립금속	98	297	371	425	469	-	-	5.7	1.5
SOC	88	131	153	160	162	-	-	2.0	0.7
서비스업	516	1 038	1 367	1 599	1 792	-	-	3.6	1.8
수입단가									
원유 (\$/bbl)	19	45	38	31	26	-	-	4.3	- 1.9
천연가스 (\$/톤)	175	393	219	214	209	-	-	4.1	- 2.1
유연탄 (\$/톤)	23	77	53	48	44	-	-	6.2	- 1.8
에너지 지표									
국내생산 (백만 toe)	2	1	0	0	0	-	-	- 4.6	- 4.1
총에너지 수요 (백만 toe)	193	292	337	350	380	-	-	2.1	0.9
에너지원단위 (toe/백만원)	0.21	0.16	0.15	0.13	0.13	-	-	- 1.5	- 0.7
일인당에너지소비 (toe/인)	4.11	5.63	6.59	6.97	8.03	-	-	1.6	1.2
최종 소비 (백만 toe)	150	223	225	203	192	-	-	2.0	- 0.5
전기생산 (TWh)	266	552	767	866	937	-	-	3.7	1.8
일인당 전기생산 (MWh/인)	6	11	15	17	20	-	-	3.2	2.1
에너지부문 온실가스 지표									
온실가스 배출 (백만톤)	419	570	527	384	170	-	-	1.6	- 4.0
배출원단위 (톤/백만원)	0.46	0.31	0.23	0.14	0.06	-	-	- 2.0	- 5.5
일인당 배출 (톤/인)	8.92	10.99	10.29	7.65	3.58	-	-	1.1	- 3.7

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 - 정책계획 시나리오(APS)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총에너지	193	292	337	350	380	100	100	2.1	0.9
석탄	43	72	64	46	12	25	3	2.6	- 5.8
석유	101	110	99	75	65	38	17	0.5	- 1.8
가스	19	55	77	64	49	19	13	5.5	- 0.4
수력	1	2	2	2	2	1	1	0.4	0.8
원자력	27	34	29	25	19	12	5	1.1	- 1.9
신재생·기타	2	19	68	138	233	7	61	11.6	8.7
최종 소비	150	223	225	203	192	100	100	2.0	- 0.5
석탄	20	30	29	25	2	14	1	2.2	- 8.3
석유	94	109	98	75	64	49	33	0.8	- 1.8
도시가스	13	27	27	24	22	12	12	3.8	- 0.6
전기	21	44	54	58	64	20	33	3.8	1.3
열에너지	1	3	3	3	3	1	2	4.4	0.3
신재생·기타	2	9	14	18	37	4	19	7.8	4.6
산업	84	138	142	127	122	62	63	2.5	- 0.4
수송	31	39	36	28	24	18	13	1.2	- 1.6
가정	21	23	21	21	20	10	11	0.4	- 0.4
서비스	14	22	26	26	26	10	13	2.4	0.5

최종 소비 부문별·원별 수요 - 정책계획 시나리오(APS)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
산업	84	138	142	127	122	100	100	2.5	- 0.4
석탄	19	30	29	25	2	22	2	2.3	- 8.3
석유	49	66	64	50	45	48	37	1.6	- 1.3
도시가스	3	11	12	11	11	8	9	6.4	0.0
전기	11	23	29	32	38	17	31	3.6	1.7
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	2	7	7	9	26	5	21	6.5	4.6
수송	31	39	36	28	24	100	100	1.2	- 1.6
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	-
석유	31	37	31	23	18	95	76	1.0	- 2.4
도시가스	0	1	1	2	1	3	5	-	0.5
전기	0	0	1	2	2	1	7	2.2	6.3
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	0	1	1	2	3	2	12	-	5.0
가정	21	23	21	21	20	100	100	0.4	- 0.4
석탄	1	0	0	0	0	1	0	- 6.4	- 100.0
석유	9	3	1	1	0	12	2	- 5.7	- 6.9
도시가스	7	11	9	8	6	47	29	2.0	- 2.0
전기	3	6	7	7	8	28	38	3.5	0.7
열에너지	1	2	2	3	3	10	13	4.0	0.3
신재생·기타	0	1	2	3	4	3	18	8.6	6.2
서비스 (상업, 공공, 기타)	14	22	26	26	26	100	100	2.4	0.5
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	- 12.2
석유	6	3	2	1	1	13	2	- 3.6	- 5.4
도시가스	2	3	4	4	4	15	15	2.8	0.5
전기	6	14	17	17	16	64	64	4.5	0.5
열에너지	0	0	0	0	0	2	2	8.4	0.1
신재생·기타	0	1	3	4	4	7	18	14.0	3.8

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 정책계획 시나리오(APS)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종 산출액 (조원)									
석유/화학	126	264	334	388	440	-	-	3.8	1.7
비금속	19	41	49	55	60	-	-	3.9	1.3
1 차철강	60	95	107	107	104	-	-	2.3	0.3
금속, 기계, 전자, 정밀	173	700	911	1 085	1 242	-	-	7.2	1.9
운송장비	117	240	276	315	358	-	-	3.7	1.3
건설	167	226	268	284	292	-	-	1.5	0.9
주요 제품 생산량 (천톤)									
기초유분	16	30	35	36	38	-	-	3.1	0.7
조강	43	67	78	78	76	-	-	2.2	0.4
전로	25	46	56	57	55	-	-	3.2	0.6
전기로	18	21	22	21	21	-	-	0.6	0.1
시멘트	51	48	43	40	38	-	-	- 0.4	- 0.8
클링커	46	42	38	36	34	-	-	- 0.4	- 0.7
에너지 수요 (백만 toe)	84	138	142	127	122	100	100	2.5	- 0.4
석탄	19	30	29	25	2	22	2	2.3	- 8.3
석유	49	66	64	50	45	48	37	1.6	- 1.3
도시가스	3	11	12	11	11	8	9	6.4	0.0
전기	11	23	29	32	38	17	31	3.6	1.7
열에너지	-	-	-	-	-	0	0	-	-
신재생·기타	2	7	7	9	26	5	21	6.5	4.6
주요 업종 에너지원단위									
석유/화학	0.29	0.26	0.21	0.15	0.12	-	-	- 0.4	- 2.6
비금속	0.29	0.10	0.08	0.05	0.04	-	-	- 5.3	- 3.3
1 차철강	0.28	0.31	0.27	0.25	0.27	-	-	0.5	- 0.5
조립금속	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	- 1.9	- 1.6

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

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 (2) - 정책계획 시나리오(APS)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종별 에너지 수요									
석유/화학	36	69	69	57	86	100	100	3.3	0.7
석탄	0	0	-	-	-	0	0	- 1.5	- 100.0
석유	33	59	56	45	41	86	47	3.0	- 1.2
가스	0	5	6	5	4	7	4	14.2	- 0.6
전기	2	5	7	8	9	7	10	4.1	1.7
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-
비금속	6	4	4	3	2	100	100	- 1.7	- 2.1
석탄	4	2	2	0	0	50	0	- 2.8	- 24.0
석유	1	1	0	0	0	14	7	- 3.4	- 4.4
가스	0	1	1	1	0	13	21	3.8	- 0.6
전기	1	1	1	1	2	24	72	1.1	1.6
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-
철강	17	29	29	27	28	100	100	2.9	- 0.2
석탄	13	24	23	22	-	84	0	3.1	- 100.0
석유	1	0	0	0	0	0	0	- 12.1	- 1.9
가스	1	2	2	2	4	8	14	6.5	1.8
전기	2	2	3	3	8	8	28	1.4	4.2
신재생	-	-	-	0	16	0	58	-	-
조립금속	5	11	13	13	12	100	100	4.1	0.2
석탄	-	-	-	-	-	0	0	-	-
석유	2	0	0	- 0	- 0	3	- 2	- 7.9	-
가스	1	2	2	1	1	17	9	5.0	- 2.0
전기	3	9	11	12	11	80	93	6.0	0.7
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-

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 - 정책계획 시나리오(APS)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
자동차 형태별 (백만대)	12	24	27	28	27	100	100	3.6	0.3
승용차	8	20	23	24	23	82	86	4.6	0.5
화물차	3	4	3	3	3	15	11	1.8	- 0.6
승합차	1	1	1	1	1	3	3	- 3.0	- 0.3
자동차 연료별 (백만대)									
휘발유	7	12	14	14	12	50	46	2.6	0.0
경유	4	10	6	4	3	41	10	5.3	- 4.3
전기자동차	-	0	4	5	6	1	22	65.7	13.1
수소자동차	-	-	1	3	5	0	19	-	-
기타	1	2	2	2	1	9	4	2.8	- 2.2
에너지 수요	31	39	36	28	24	100	100	1.2	- 1.6
휘발유	8	10	9	6	4	25	18	1.1	- 2.6
경유	13	19	12	7	6	49	23	1.9	- 4.1
중유	4	2	3	3	3	6	11	- 2.4	0.2
제트유	2	3	5	5	5	6	21	0.8	2.3
부탄	3	3	3	2	1	8	3	- 0.5	- 4.6
기타석유	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
도시가스	-	1	1	2	1	3	5	-	0.5
전기	0	0	1	2	2	1	7	2.2	6.3
신재생·기타	-	1	1	2	3	2	12	-	5.0
수송 수단별 에너지수요									
도로	24	33	27	20	16	85	66	1.8	- 2.5
철도	1	0	0	0	0	1	1	- 2.3	- 0.2
항공	2	3	5	5	5	6	21	0.8	2.3
해운	5	3	3	3	3	8	12	- 2.1	- 0.1

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

가정 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 정책계획 시나리오(APS)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
인구 (백만명)	47.0	51.8	51.2	50.2	47.4	-	-	0.5	- 0.3
가구 (백만가구)	14.5	20.4	22.0	22.7	22.1	-	-	1.7	0.3
형태별 주택(백만호)	11.0	17.0	18.8	19.7	19.4	100	100	2.2	0.4
단독	4.1	3.6	3.5	3.3	2.9	21	15	- 0.7	- 0.7
아파트	5.2	10.8	12.9	14.1	14.3	64	74	3.7	0.9
공동주택	1.7	2.6	2.3	2.3	2.2	15	11	2.3	- 0.5
평균 주거 면적(m ²)	85.5	76.3	74.2	73.2	72.5	-	-	- 0.6	- 0.2
에너지 지표									
주택당 에너지수요(toe/천원)	1.93	1.36	1.14	1.06	1.05	-	-	- 1.7	- 0.8
면적당 에너지수요(toe/100m ²)	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	-	-	- 1.2	- 0.7
가구당 에너지수요(toe/가구)	1.46	1.14	0.97	0.92	0.93	-	-	- 1.2	- 0.7
인구당 전기수요(MWh/명)	0.79	1.43	1.58	1.68	1.92	-	-	3.0	1.0
에너지 수요									
	21	23	21	21	20	100	100	0.4	- 0.4
석탄	1	0	0	0	-	1	0	- 6.4	- 100.0
석유	9	3	1	1	0	12	2	- 5.7	- 6.9
도시가스	7	11	9	8	6	47	29	2.0	- 2.0
전기	3	6	7	7	8	28	38	3.5	0.7
지역난방	1	2	2	3	3	10	13	4.0	0.3
신재생·기타	0	1	2	3	4	3	18	8.6	6.2
용도별 에너지 수요									
난방/온수	17	15	14	14	14	67	67	- 0.5	- 0.4
취사	1	2	1	0	0	8	2	2.1	- 5.6
냉방	0	1	1	1	1	4	4	18.3	0.1
조명	0	1	1	1	1	3	3	3.0	- 0.5
기타 가전기기	2	4	5	5	5	18	24	3.0	0.6

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 - 정책계획 시나리오(APS)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종별 산출액 (조원)									
도소매	134	260	327	387	447	-	-	3.4	1.8
숙박음식	61	137	169	195	219	-	-	4.2	1.6
운수보관	69	153	200	240	280	-	-	4.1	2.0
정보통신	56	150	217	269	313	-	-	5.0	2.5
공공행정및국방	73	149	183	189	189	-	-	3.7	0.8
교육서비스	65	124	146	151	154	-	-	3.3	0.7
의료복지	41	166	261	335	401	-	-	7.2	3.0
예술,스포츠,레저	16	43	63	78	92	-	-	5.3	2.5
기타서비스	284	723	1 005	1 205	1 374	-	-	4.8	2.2
에너지 수요	14	22	26	26	26	100	100	2.4	0.5
석유	6	3	2	1	1	13	2	- 3.6	- 5.4
도시가스	2	3	4	4	4	15	15	2.8	0.5
전기	6	14	17	17	16	64	64	4.5	0.5
지역난방	0	0	0	0	0	2	2	8.4	0.1
신재생·기타	0	1	3	4	4	7	18	14.0	3.8
부문별 에너지 수요									
상업 서비스	11	17	20	19	19	76	73	2.1	0.4
공공 서비스	3	5	6	7	7	24	27	3.5	0.9

석유 공급 및 수요 - 정책계획 시나리오(APS)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
원유 수요*	122	163	175	174	170	-	-	1.5	0.1
국제 벙커링	7	9	11	10	10	-	-	1.2	0.3
총공급	101	110	99	75	65	100	100	0.5	- 1.8
전환	7	1	1	1	1	1	1	- 9.4	- 1.0
최종소비	94	109	98	75	64	99	99	0.8	- 1.8
제품별 석유 수요									
휘발유	8	10	9	6	4	9	7	1.0	- 2.7
등유	10	2	1	1	0	2	0	- 6.8	- 7.0
경유	19	23	14	9	6	21	10	0.9	- 4.2
중유	20	4	4	3	3	3	5	- 8.1	- 0.6
제트유	3	3	5	5	5	3	8	0.9	1.7
프로판	5	8	7	6	5	7	8	2.8	- 1.6
부탄	4	4	4	3	2	4	2	0.3	- 3.3
납사	29	50	47	37	35	45	54	2.7	- 1.2
기타 비에너지유	3	6	7	6	4	6	7	3.7	- 1.2
용도별 석유 수요									
산업	49	66	64	50	45	60	69	1.6	- 1.3
(연료)	16	11	10	7	6	10	9	- 2.1	- 1.8
(원료)	32	56	54	43	39	51	60	2.8	- 1.2
수송	31	37	31	23	18	34	28	1.0	- 2.4
가정	9	3	1	1	0	2	1	- 5.7	- 6.9
서비스	6	3	2	1	1	3	1	- 3.6	- 5.4
전환	7	1	1	1	1	1	1	- 9.4	- 1.0

* 원유 수입 및 재고 변화를 포함한 총수요

석탄 공급 및 수요 - 정책계획 시나리오(APS)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총공급	43	72	64	46	12	100	100	2.6	- 5.8
전환부문	23	42	35	22	10	58	81	3.0	- 4.7
최종소비부문	20	30	29	25	2	42	19	2.2	- 8.3
제품별 석탄 수요									
국내탄	2	0	0	0	0	1	0	- 7.2	- 11.1
수입무연탄	1	4	3	2	1	5	12	5.4	- 2.9
연료용 유연탄	27	45	37	23	11	62	88	2.6	- 4.7
원료용 유연탄	13	24	23	21	-	33	0	3.1	- 100.0
용도별 석탄 수요									
발전용	23	42	35	22	10	58	81	3.0	- 4.7
코크스 제조 및 고로용	13	24	23	21	-	33	0	3.1	- 100.0
킬른가열용	4	2	2	0	0	3	0	- 2.7	- 24.0
기타 산업용	3	5	4	3	2	6	19	2.6	- 2.4
연탄용	1	0	0	0	-	0	0	- 6.4	- 100.0

가스 공급 및 수요 - 정책계획 시나리오(APS)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총공급	19	55	77	64	49	100	100	5.5	- 0.4
전환 부문*	6	28	49	39	26	52	54	7.6	- 0.2
최종소비 부문	13	27	27	24	22	49	46	3.8	- 0.6
제품별 소비									
천연가스	6	29	37	29	28	53	58	8.6	- 0.1
도시가스	13	24	24	22	20	44	40	3.1	- 0.7
용도별 소비									
발전용	6	25	32	24	23	45	47	7.6	- 0.2
지역난방	1	3	3	3	3	5	6	8.4	0.3
산업	3	11	12	11	11	21	23	6.4	0.0
수송	-	1	1	2	1	2	3	-	0.5
가정	7	11	9	8	6	20	12	2.0	- 2.0
서비스	2	3	4	4	4	6	8	2.8	0.5

* 자가소비 및 손실 포함

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

전기 공급 및 수요 - 정책계획 시나리오(APS)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
발전설비 (GW)	48	129	278	438	560	100	100	5.0	5.0
석탄	14	37	32	22	9	29	2	5.0	- 4.7
석유	5	2	0	0	0	1	0	- 5.2	- 5.1
가스	13	42	58	62	50	32	9	6.1	0.6
원자력	14	23	20	16	12	18	2	2.7	- 2.1
수력	3	7	7	9	9	5	2	3.7	0.9
신재생	-	19	160	329	481	15	86	-	11.4
- 변동성 재생에너지	-	16	155	323	461	13	82	-	11.7
- 기타 재생에너지	-	1	2	2	2	1	0	-	0.9
- 신에너지	-	1	3	5	18	1	3	-	10.4
총발전량(TWh)	266	552	767	866	937	107	179	3.7	1.8
석탄	99	198	182	127	61	36	6	3.5	- 3.9
석유	19	2	1	1	1	0	0	- 10.2	- 4.4
가스	28	147	197	139	36	27	4	8.5	- 4.6
원자력	109	160	137	118	91	29	10	2.0	- 1.9
수력	6	7	7	9	9	1	1	1.2	0.8
신재생	-	36	241	469	736	7	79	-	10.6
- 변동성 재생에너지	-	20	214	432	607	4	65	-	12.0
- 기타 재생에너지	-	10	9	10	10	2	1	-	0.0
- 신에너지	-	6	17	27	119	1	13	-	10.6
상용자가	5	2	2	2	3	0	0	- 5.1	1.8
발전용 에너지 수요 (백만 toe)	64	112	165	208	260	100	100	2.9	2.9
석탄	23	42	35	22	10	37	4	3.0	- 4.7
석유	6	1	0	0	0	1	0	- 10.9	- 1.8
가스	6	25	32	24	23	22	9	7.6	- 0.2
수력	1	2	2	2	2	1	1	0.4	0.8
원자력	27	34	29	25	19	30	7	1.1	- 1.9
신재생-기타	-	9	68	134	206	8	79	-	10.8
전기 수요(TWh)	240	509	723	819	887	100	100	3.8	1.9
산업	132	269	342	378	439	53	50	3.6	1.7
수송	2	3	15	19	20	1	2	2.2	6.3
가정	37	74	81	84	91	15	10	3.5	0.7
서비스	68	163	193	192	190	32	21	4.5	0.5
기타	0	-	91	145	147	0	17	- 33.3	60.3

* 상용자기는 상용자가 발전량 중 한전 구입량

열에너지 공급 및 수요 - 정책계획 시나리오(APS)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
열생산량	1	3	3	3	3	100	100	4.2	0.3
발전폐열	1	2	2	2	2	80	80	4.8	0.3
지역난방	0	1	1	1	1	20	20	2.4	0.3
지역난방용 에너지 수요	1	3	3	3	3	100	100	5.8	0.3
석유	0	0	0	0	0	7	7	- 3.4	0.3
가스	1	3	3	3	3	93	93	8.4	0.3
지역난방 수요	1	3	3	3	3	100	100	4.4	0.3
가정	1	2	2	3	3	85	86	4.0	0.3
서비스	0	0	0	0	0	15	14	8.4	0.1

신재생/기타 공급 및 수요 - 정책계획 시나리오(APS)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
부문별 신재생에너지 수요	2	19	68	138	233	100	100	11.6	8.7
발전	-	9	54	120	197	50	84	-	10.6
산업	2	7	7	9	26	36	11	6.5	4.6
수송	-	1	1	2	3	4	1	-	5.0
가정	0	1	2	3	4	3	2	8.6	6.2
서비스	0	1	3	4	4	8	2	14.0	3.8
(수소 공급)									
수입	-	-	10	24	37	0	16	-	-
생산	-	-	3	5	5	0	2	- 100.0	-
(수소 수요)									
발전	-	-	23	36	28	0	12	-	-
최종소비	-	-	0	2	19	0	8	- 100.0	-

주) 수력 포함, 양수는 제외

에너지 부문 온실가스 배출 - 정책계획 시나리오(APS)

(단위: 백만 tCO₂eq)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
에너지당 배출(톤/toe)	2.58	2.40	2.21	2.07	1.35	-	-	- 0.4	- 1.9
GDP 당 배출(톤/백만원)	0.46	0.31	0.23	0.14	0.06	-	-	- 2.0	- 5.5
인구당 배출(톤/인)	8.92	10.99	10.29	7.65	3.58	-	-	1.1	- 3.7
온실가스 배출	419	570	527	384	170	100	100	1.6	- 4.0
석탄	162	271	239	159	13	48	8	2.6	- 9.7
석유	215	183	156	116	92	32	55	- 0.8	- 2.3
천연가스	42	115	132	109	64	20	38	5.2	- 1.9
부문별 온실가스 직접 배출									
산업	148	197	192	160	71	35	42	1.4	- 3.4
수송	87	109	92	69	55	19	32	1.1	- 2.3
가정	42	32	23	19	14	6	8	- 1.5	- 2.7
서비스	20	15	13	11	9	3	6	- 1.5	- 1.5
발전/열생산	121	218	206	125	21	38	12	3.0	- 7.5

주) 전환부문의 온실가스 간접배출은 자가소비 및 유통손실에 의한 배출량을 의미

5. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 – 탄소중립 시나리오

주요 경제 지표 및 활동 수준 - 탄소중립 시나리오(NZE)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
인구 (백만명)	47	52	51	50	47	-	-	0.5	- 0.3
가구 (백만가구)	15	20	22	23	22	-	-	1.7	0.3
국내총생산 (GDP, 조원)	904	1 837	2 328	2 665	2 944	-	-	3.6	1.6
주요 업종별 부가가치 (조원)									
농림어업, 광업	30	34	36	36	34	-	-	0.5	0.0
제조업	250	515	619	690	749	-	-	3.7	1.3
- 석유화학, 비금속, 1 차철강	63	109	128	140	154	-	-	2.8	1.1
- 조립금속	98	297	371	425	469	-	-	5.7	1.5
SOC	88	131	153	160	162	-	-	2.0	0.7
서비스업	516	1 038	1 367	1 599	1 792	-	-	3.6	1.8
수입단가									
원유 (\$/bbl)	19	45	38	31	26	-	-	4.3	- 1.9
천연가스 (\$/톤)	175	393	219	214	209	-	-	4.1	- 2.1
유연탄 (\$/톤)	23	77	53	48	44	-	-	6.2	- 1.8
에너지 지표									
국내생산 (백만 toe)	2	1	0	0	0	-	-	- 4.6	- 4.1
총에너지 수요 (백만 toe)	193	292	329	345	381	-	-	2.1	0.9
에너지원단위 (toe/백만원)	0.21	0.16	0.14	0.13	0.13	-	-	- 1.5	- 0.7
일인당에너지소비 (toe/인)	4.11	5.63	6.42	6.87	8.05	-	-	1.6	1.2
최종 소비 (백만 toe)	150	223	221	197	192	-	-	2.0	- 0.5
전기생산 (TWh)	266	552	793	896	971	-	-	3.7	1.9
일인당 전기생산 (MWh/인)	6	11	15	18	21	-	-	3.2	2.2
에너지부문 온실가스 지표									
온실가스 배출 (백만톤)	419	570	465	326	89	-	-	1.6	- 6.0
배출원단위 (톤/백만원)	0.46	0.31	0.20	0.12	0.03	-	-	- 2.0	- 7.5
일인당 배출 (톤/인)	8.92	10.99	9.08	6.49	1.88	-	-	1.1	- 5.7

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 - 탄소중립 시나리오(NZE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총에너지	193	292	329	345	381	100	100	2.1	0.9
석탄	43	72	50	37	2	25	0	2.6	- 11.5
석유	101	110	91	64	50	38	13	0.5	- 2.6
가스	19	55	77	59	41	19	11	5.5	- 1.0
수력	1	2	2	2	2	1	1	0.4	0.8
원자력	27	34	29	25	19	12	5	1.1	- 1.9
신재생·기타	2	19	79	158	267	7	70	11.6	9.2
최종 소비	150	223	221	197	192	100	100	2.0	- 0.5
석탄	20	30	27	23	1	14	0	2.2	- 11.2
석유	94	109	91	63	50	49	26	0.8	- 2.6
도시가스	13	27	25	17	10	12	5	3.8	- 3.1
전기	21	44	59	63	68	20	36	3.8	1.5
열에너지	1	3	3	4	4	1	2	4.4	1.3
신재생·기타	2	9	17	27	59	4	31	7.8	6.3
산업	84	138	140	125	121	62	63	2.5	- 0.4
수송	31	39	32	22	17	18	9	1.2	- 2.8
가정	21	23	23	25	31	10	16	0.4	1.0
서비스	14	22	26	25	22	10	12	2.4	0.0

최종 소비 부문별·원별 수요 - 탄소중립 시나리오(NZE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
산업	84	138	140	125	121	100	100	2.5	- 0.4
석탄	19	30	26	23	1	22	1	2.3	- 11.1
석유	49	66	61	47	42	48	35	1.6	- 1.5
도시가스	3	11	11	8	7	8	6	6.4	- 1.8
전기	11	23	32	35	37	17	30	3.6	1.6
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	2	7	9	13	35	5	29	6.5	5.7
수송	31	39	32	22	17	100	100	1.2	- 2.8
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	-
석유	31	37	28	16	7	95	45	1.0	- 5.2
도시가스	0	1	1	1	1	3	6	-	- 0.6
전기	0	0	2	3	3	1	18	2.2	8.3
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	0	1	1	3	5	2	32	-	7.1
가정	21	23	23	25	31	100	100	0.4	1.0
석탄	1	0	0	0	0	1	0	- 6.4	- 100.0
석유	9	3	0	0	0	12	0	- 5.7	- 26.8
도시가스	7	11	9	6	2	47	6	2.0	- 5.5
전기	3	6	8	9	13	28	41	3.5	2.3
열에너지	1	2	3	4	4	10	12	4.0	1.7
신재생·기타	0	1	3	7	13	3	41	8.6	10.7
서비스 (상업, 공공, 기타)	14	22	26	25	22	100	100	2.4	0.0
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	- 19.0
석유	6	3	1	0	0	13	1	- 3.6	- 9.4
도시가스	2	3	4	2	1	15	3	2.8	- 5.2
전기	6	14	17	17	16	64	72	4.5	0.4
열에너지	0	0	0	0	0	2	1	8.4	- 2.7
신재생·기타	0	1	3	5	5	7	24	14.0	4.4

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 탄소중립 시나리오(NZE)

						비중 (%)		증가율 (%)	
	2000	2020	2030	2040	2050	2020	2050	00-20	20-50
주요 업종 산출액 (조원)									
석유/화학	126	264	334	388	440	-	-	3.8	1.7
비금속	19	41	49	55	60	-	-	3.9	1.3
1 차철강	60	95	107	107	104	-	-	2.3	0.3
금속, 기계, 전자, 정밀	173	700	911	1 085	1 242	-	-	7.2	1.9
운송장비	117	240	276	315	358	-	-	3.7	1.3
건설	167	226	268	284	292	-	-	1.5	0.9
주요 제품 생산량 (천톤)									
기초유분	16	30	35	36	38	-	-	3.1	0.7
조강	43	67	78	78	76	-	-	2.2	0.4
전로	25	46	56	57	55	-	-	3.2	0.6
전기로	18	21	22	21	21	-	-	0.6	0.1
시멘트	51	48	43	40	38	-	-	- 0.4	- 0.8
클링커	46	42	38	36	34	-	-	- 0.4	- 0.7
에너지 수요 (백만 toe)									
석탄	19	30	26	23	1	22	1	2.3	- 11.1
석유	49	66	61	47	42	48	35	1.6	- 1.5
도시가스	3	11	11	8	7	8	6	6.4	- 1.8
전기	11	23	32	35	37	17	30	3.6	1.6
열에너지	-	-	-	-	-	0	0	-	-
신재생·기타	2	7	9	13	35	5	29	6.5	5.7
주요 업종 에너지원단위									
석유/화학	0.29	0.26	0.20	0.14	0.12	-	-	- 0.4	- 2.6
비금속	0.29	0.10	0.08	0.05	0.05	-	-	- 5.3	- 2.2
1 차철강	0.28	0.31	0.27	0.25	0.26	-	-	0.5	- 0.5
조립금속	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	- 1.9	- 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

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 (2) - 탄소중립 시나리오(NZE)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종별 에너지 수요									
석유/화학	36	69	68	55	86	100	100	3.3	0.7
석탄	0	0	-	-	-	0	0	- 1.5	- 100.0
석유	33	59	55	43	40	86	46	3.0	- 1.3
가스	0	5	5	4	3	7	3	14.2	- 2.0
전기	2	5	7	8	8	7	10	4.1	1.6
신재생	-	-	-	0	1	0	2	-	-
비금속	6	4	4	3	3	100	100	- 1.7	- 1.0
석탄	4	2	2	0	0	50	0	- 2.8	- 24.0
석유	1	1	0	0	0	14	1	- 3.4	- 10.1
가스	0	1	1	0	0	13	10	3.8	- 1.9
전기	1	1	1	2	2	24	53	1.1	1.7
신재생	-	-	-	0	1	0	37	-	-
철강	17	29	29	27	27	100	100	2.9	- 0.2
석탄	13	24	23	22	-	84	0	3.1	- 100.0
석유	1	0	0	0	0	0	0	- 12.1	- 11.8
가스	1	2	2	2	2	8	8	6.5	- 0.2
전기	2	2	3	3	7	8	27	1.4	4.0
신재생	-	-	-	1	18	0	65	-	-
조립금속	5	11	13	12	12	100	100	4.1	0.1
석탄	-	-	-	-	-	0	0	-	-
석유	2	0	1	0	-	3	0	- 7.9	- 25.9
가스	1	2	1	1	1	17	5	5.0	- 4.1
전기	3	9	11	12	10	80	89	6.0	0.5
신재생	-	-	-	0	1	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 - 탄소중립 시나리오(NZE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
자동차 형태별 (백만대)	12	24	27	28	27	100	100	3.6	0.3
승용차	8	20	23	24	23	82	86	4.6	0.5
화물차	3	4	3	3	3	15	11	1.8	- 0.6
승합차	1	1	1	1	1	3	3	- 3.0	0.2
자동차 연료별 (백만대)									
휘발유	7	12	13	9	3	50	12	2.6	- 4.3
경유	4	10	6	3	1	41	3	5.3	- 8.3
전기자동차	-	0	5	9	12	1	45	65.7	15.9
수소자동차	-	-	1	5	10	0	36	-	-
기타	1	2	2	1	1	9	4	2.8	- 2.5
에너지 수요	31	39	32	22	17	100	100	1.2	- 2.8
휘발유	8	10	8	4	1	25	6	1.1	- 7.2
경유	13	19	10	4	1	49	6	1.9	- 9.5
중유	4	2	3	3	0	6	2	- 2.4	- 6.6
제트유	2	3	5	5	5	6	30	0.8	2.3
부탄	3	3	2	1	0	8	1	- 0.5	- 9.7
기타석유	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.0
도시가스	-	1	1	1	1	3	6	-	- 0.6
전기	0	0	2	3	3	1	18	2.2	8.3
신재생·기타	-	1	1	3	5	2	32	-	7.1
수송 수단별 에너지수요									
도로	24	33	23	14	9	85	56	1.8	- 4.2
철도	1	0	0	0	0	1	2	- 2.3	- 0.4
항공	2	3	5	5	5	6	30	0.8	2.3
해운	5	3	3	3	2	8	13	- 2.1	- 1.3

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

가정 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 탄소중립 시나리오(NZE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
인구 (백만명)	47.0	51.8	51.2	50.2	47.4	-	-	0.5	- 0.3
가구 (백만가구)	14.5	20.4	22.0	22.7	22.1	-	-	1.7	0.3
형태별 주택(백만호)	11.0	17.0	18.8	19.7	19.4	100	100	2.2	0.4
단독	4.1	3.6	3.5	3.2	2.9	21	15	- 0.7	- 0.7
아파트	5.2	10.8	12.6	13.9	13.7	64	70	3.7	0.8
공동주택	1.7	2.6	2.7	2.6	2.8	15	15	2.3	0.3
평균 주거 면적(m ²)	85.5	76.3	73.9	72.5	72.2	-	-	- 0.6	- 0.2
에너지 지표									
주택당 에너지수요(toe/천원)	1.93	1.36	1.21	1.28	1.62	-	-	- 1.7	0.6
면적당 에너지수요(toe/100m ²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	-	-	- 1.2	0.8
가구당 에너지수요(toe/가구)	1.46	1.14	1.04	1.12	1.43	-	-	- 1.2	0.8
인구당 전기수요(MWh/명)	0.79	1.43	1.76	2.03	3.14	-	-	3.0	2.7
에너지 수요	21	23	23	25	31	100	100	0.4	1.0
석탄	1	0	0	-	-	1	0	- 6.4	- 100.0
석유	9	3	0	0	-	12	0	- 5.7	- 26.8
도시가스	7	11	9	6	2	47	6	2.0	- 5.5
전기	3	6	8	9	13	28	41	3.5	2.3
지역난방	1	2	3	4	4	10	12	4.0	1.7
신재생·기타	0	1	3	7	13	3	41	8.6	10.7
용도별 에너지 수요									
난방/온수	17	15	15	18	25	67	79	- 0.5	1.6
취사	1	2	1	0	0	8	1	2.1	- 5.7
냉방	0	1	1	1	1	4	3	18.3	0.1
조명	0	1	1	1	1	3	2	3.0	- 0.5
기타 가전기기	2	4	5	5	5	18	15	3.0	0.6

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 - 탄소중립 시나리오(NZE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종별 산출액 (조원)									
도소매	134	260	327	387	447	-	-	3.4	1.8
숙박음식	61	137	169	195	219	-	-	4.2	1.6
운수보관	69	153	200	240	280	-	-	4.1	2.0
정보통신	56	150	217	269	313	-	-	5.0	2.5
공공행정및국방	73	149	183	189	189	-	-	3.7	0.8
교육서비스	65	124	146	151	154	-	-	3.3	0.7
의료복지	41	166	261	335	401	-	-	7.2	3.0
예술,스포츠,레저	16	43	63	78	92	-	-	5.3	2.5
기타서비스	284	723	1 005	1 205	1 374	-	-	4.8	2.2
에너지 수요	14	22	26	25	22	100	100	2.4	0.0
석유	6	3	1	0	0	13	1	- 3.6	- 9.4
도시가스	2	3	4	2	1	15	3	2.8	- 5.2
전기	6	14	17	17	16	64	72	4.5	0.4
지역난방	0	0	0	0	0	2	1	8.4	- 2.7
신재생·기타	0	1	3	5	5	7	24	14.0	4.4
부문별 에너지 수요									
상업 서비스	11	17	19	18	16	76	70	2.1	- 0.3
공공 서비스	3	5	7	7	7	24	30	3.5	0.8

석유 공급 및 수요 - 탄소중립 시나리오(NZE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
원유 수요*	122	163	175	174	170	-	-	1.5	0.1
국제 벙커링	7	9	11	9	3	-	-	1.2	- 3.4
총공급	101	110	91	64	50	100	100	0.5	- 2.6
전환	7	1	1	1	1	1	1	- 9.4	- 0.9
최종소비	94	109	91	63	50	99	99	0.8	- 2.6
제품별 석유 수요									
휘발유	8	10	8	4	1	9	2	1.0	- 7.2
등유	10	2	1	0	0	2	0	- 6.8	- 10.3
경유	19	23	12	5	2	21	3	0.9	- 8.6
중유	20	4	4	3	1	3	2	- 8.1	- 5.2
제트유	3	3	5	5	5	3	10	0.9	1.7
프로판	5	8	6	5	4	7	8	2.8	- 2.3
부탄	4	4	3	2	1	4	2	0.3	- 5.3
납사	29	50	47	37	35	45	69	2.7	- 1.2
기타 비에너지유	3	6	5	3	2	6	4	3.7	- 3.4
용도별 석유 수요									
산업	49	66	61	47	42	60	83	1.6	- 1.5
(연료)	16	11	9	6	5	10	10	- 2.1	- 2.4
(원료)	32	56	52	40	37	51	73	2.8	- 1.4
수송	31	37	28	16	7	34	15	1.0	- 5.2
가정	9	3	0	0	-	2	0	- 5.7	- 100.0
서비스	6	3	1	0	0	3	0	- 3.6	- 9.4
전환	7	1	1	1	1	1	1	- 9.4	- 0.9

* 원유 수입 및 재고 변화를 포함한 총수요

석탄 공급 및 수요 - 탄소중립 시나리오(NZE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총공급	43	72	50	37	2	100	100	2.6	- 11.5
전환부문	23	42	24	14	1	58	53	3.0	- 11.7
최종소비부문	20	30	27	23	1	42	47	2.2	- 11.2
제품별 석탄 수요									
국내탄	2	0	0	0	0	1	1	- 7.2	- 11.3
수입무연탄	1	4	2	1	1	5	30	5.4	- 6.0
연료용 유연탄	27	45	25	15	1	62	70	2.6	- 11.1
원료용 유연탄	13	24	23	21	-	33	0	3.1	- 100.0
용도별 석탄 수요									
발전용	23	42	24	14	1	58	53	3.0	- 11.7
코크스 제조 및 고로용	13	24	23	21	-	33	0	3.1	- 100.0
킬른가열용	4	2	2	0	0	3	0	- 2.7	- 24.0
기타 산업용	3	5	2	1	1	6	47	2.6	- 5.4
연탄용	1	0	0	-	-	0	0	- 6.4	- 100.0

가스 공급 및 수요 - 탄소중립 시나리오(NZE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총공급	19	55	77	59	41	100	100	5.5	- 1.0
전환 부문*	6	28	53	43	31	52	75	7.6	0.3
최종소비 부문	13	27	25	17	10	49	25	3.8	- 3.1
제품별 소비									
천연가스	6	29	44	34	32	53	77	8.6	0.2
도시가스	13	24	22	15	9	44	23	3.1	- 3.1
용도별 소비									
발전용	6	25	38	28	27	45	65	7.6	0.2
지역난방	1	3	4	4	4	5	10	8.4	1.3
산업	3	11	11	8	7	21	16	6.4	- 1.8
수송	-	1	1	1	1	2	2	-	- 0.6
가정	7	11	9	6	2	20	5	2.0	- 5.5
서비스	2	3	4	2	1	6	2	2.8	- 5.2

* 자가소비 및 손실 포함

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

전기 공급 및 수요 - 탄소중립 시나리오(NZE)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
발전설비 (GW)	48	129	296	464	591	100	100	5.0	5.2
석탄	14	37	32	22	2	29	0	5.0	- 10.1
석유	5	2	0	0	0	1	0	- 5.2	- 5.0
가스	13	42	58	62	54	32	9	6.1	0.8
원자력	14	23	20	16	12	18	2	2.7	- 2.1
수력	3	7	7	9	9	5	1	3.7	0.9
신재생	-	19	178	355	514	15	87	-	11.6
- 변동성 재생에너지	-	16	173	349	494	13	84	-	12.0
- 기타 재생에너지	-	1	2	2	2	1	0	-	0.9
- 신에너지	-	1	3	5	18	1	3	-	10.4
총발전량(TWh)	266	552	793	896	971	107	180	3.7	1.9
석탄	99	198	125	85	10	36	1	3.5	- 9.4
석유	19	2	1	1	1	0	0	- 10.2	- 4.3
가스	28	147	256	178	79	27	8	8.5	- 2.0
원자력	109	160	137	118	91	29	9	2.0	- 1.9
수력	6	7	7	9	9	1	1	1.2	0.8
신재생	-	36	264	502	778	7	80	-	10.8
- 변동성 재생에너지	-	20	237	464	649	4	67	-	12.3
- 기타 재생에너지	-	10	9	10	10	2	1	-	0.0
- 신에너지	-	6	17	27	119	1	12	-	10.6
상용자가	5	2	2	3	3	0	0	- 5.1	2.1
발전용 에너지 수요 (백만 toe)	64	112	165	213	266	100	100	2.9	2.9
석탄	23	42	24	14	1	37	0	3.0	- 11.7
석유	6	1	0	0	0	1	0	- 10.9	- 1.7
가스	6	25	38	28	27	22	10	7.6	0.2
수력	1	2	2	2	2	1	1	0.4	0.8
원자력	27	34	29	25	19	30	7	1.1	- 1.9
신재생-기타	-	9	72	143	216	8	81	-	11.0
전기 수요(TWh)	240	509	749	853	930	100	100	3.8	2.0
산업	132	269	376	401	426	53	46	3.6	1.6
수송	2	3	19	29	34	1	4	2.2	8.3
가정	37	74	90	102	148	15	16	3.5	2.3
서비스	68	163	198	200	186	32	20	4.5	0.4
기타	0	-	65	121	136	0	15	- 33.3	59.9

* 상용자기는 상용자가 발전량 중 한전 구입량

열에너지 공급 및 수요 - 탄소중립 시나리오(NZE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
열생산량	1	3	3	4	4	100	100	4.2	1.3
발전폐열	1	2	3	3	3	80	80	4.8	1.3
지역난방	0	1	1	1	1	20	20	2.4	1.3
지역난방용 에너지 수요	1	3	4	5	4	100	100	5.8	1.3
석유	0	0	0	0	0	7	7	- 3.4	1.3
가스	1	3	4	4	4	93	93	8.4	1.3
지역난방 수요	1	3	3	4	4	100	100	4.4	1.3
가정	1	2	3	4	4	85	95	4.0	1.7
서비스	0	0	0	0	0	15	5	8.4	- 2.7

신재생/기타 공급 및 수요 - 탄소중립 시나리오(NZE)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
부문별 신재생에너지 수요	2	19	79	158	267	100	100	11.6	9.2
발전	-	9	63	131	208	50	78	-	10.8
산업	2	7	9	13	35	36	13	6.5	5.7
수송	-	1	1	3	5	4	2	-	7.1
가정	0	1	3	7	13	3	5	8.6	10.7
서비스	0	1	3	5	5	8	2	14.0	4.4
(수소 공급)									
수입	-	-	7	20	34	0	13	-	-
생산	-	-	3	5	5	0	2	- 100.0	-
(수소 수요)									
발전	-	-	16	28	18	0	7	-	-
최종소비	-	-	1	3	28	0	10	- 100.0	-

주) 수력 포함, 양수는 제외

에너지 부문 온실가스 배출 - 탄소중립 시나리오(NZE)

(단위: 백만 tCO₂eq)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
에너지당 배출(톤/toe)	2.58	2.40	2.13	2.03	0.95	-	-	- 0.4	- 3.0
GDP 당 배출(톤/백만원)	0.46	0.31	0.20	0.12	0.03	-	-	- 2.0	- 7.5
인구당 배출(톤/인)	8.92	10.99	9.08	6.49	1.88	-	-	1.1	- 5.7
온실가스 배출	419	570	465	326	89	100	100	1.6	- 6.0
석탄	162	271	187	138	7	48	8	2.6	- 11.3
석유	215	183	136	83	51	32	58	- 0.8	- 4.1
천연가스	42	115	141	104	30	20	34	5.2	- 4.4
부문별 온실가스 직접 배출									
산업	148	197	172	137	47	35	53	1.4	- 4.7
수송	87	109	82	47	23	19	26	1.1	- 5.0
가정	42	32	20	12	4	6	5	- 1.5	- 6.4
서비스	20	15	11	6	2	3	2	- 1.5	- 6.8
발전/열생산	121	218	180	124	13	38	14	3.0	- 9.0

주) 전환부문의 온실가스 간접배출은 자가소비 및 유통손실에 의한 배출량을 의미

6. 주요 지표 및 에너지 전망 결과 - 대안경로 시나리오

주요 경제 지표 및 활동 수준 - 대안경로 시나리오(ALT)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
인구 (백만명)	47	52	51	50	47	-	-	0.5	- 0.3
가구 (백만가구)	15	20	22	23	22	-	-	1.7	0.3
국내총생산 (GDP, 조원)	904	1 837	2 328	2 665	2 944	-	-	3.6	1.6
주요 업종별 부가가치 (조원)									
농림어업, 광업	30	34	36	36	34	-	-	0.5	0.0
제조업	250	515	619	690	749	-	-	3.7	1.3
- 석유화학, 비금속, 1 차철강	63	109	128	140	154	-	-	2.8	1.1
- 조립금속	98	297	371	425	469	-	-	5.7	1.5
SOC	88	131	153	160	162	-	-	2.0	0.7
서비스업	516	1 038	1 367	1 599	1 792	-	-	3.6	1.8
수입단가									
원유 (\$/bbl)	19	45	38	31	26	-	-	4.3	- 1.9
천연가스 (\$/톤)	175	393	219	214	209	-	-	4.1	- 2.1
유연탄 (\$/톤)	23	77	53	48	44	-	-	6.2	- 1.8
에너지 지표									
국내생산 (백만 toe)	2	1	0	0	0	-	-	- 4.6	- 4.1
총에너지 수요 (백만 toe)	193	292	328	342	382	-	-	2.1	0.9
에너지원단위 (toe/백만원)	0.21	0.16	0.14	0.13	0.13	-	-	- 1.5	- 0.7
일인당에너지소비 (toe/인)	4.11	5.63	6.40	6.82	8.06	-	-	1.6	1.2
최종 소비 (백만 toe)	150	223	223	199	192	-	-	2.0	- 0.5
전기생산 (TWh)	266	552	757	867	972	-	-	3.7	1.9
일인당 전기생산 (MWh/인)	6	11	15	17	21	-	-	3.2	2.2
에너지부문 온실가스 지표									
온실가스 배출 (백만톤)	419	570	478	344	113	-	-	1.6	- 5.3
배출원단위 (톤/백만원)	0.46	0.31	0.21	0.13	0.04	-	-	- 2.0	- 6.7
일인당 배출 (톤/인)	8.92	10.99	9.34	6.86	2.39	-	-	1.1	- 5.0

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 - 대안경로 시나리오(ALT)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총에너지	193	292	328	342	382	100	100	2.1	0.9
석탄	43	72	52	39	3	25	1	2.6	- 9.8
석유	101	110	94	67	53	38	14	0.5	- 2.4
가스	19	55	75	60	46	19	12	5.5	- 0.6
수력	1	2	2	2	2	1	1	0.4	0.8
원자력	27	34	29	25	19	12	5	1.1	- 1.9
신재생·기타	2	19	75	150	258	7	68	11.6	9.1
최종 소비	150	223	223	199	192	100	100	2.0	- 0.5
석탄	20	30	29	25	2	14	1	2.2	- 8.3
석유	94	109	93	66	53	49	27	0.8	- 2.4
도시가스	13	27	26	19	15	12	8	3.8	- 1.9
전기	21	44	56	61	69	20	36	3.8	1.6
열에너지	1	3	3	4	4	1	2	4.4	1.3
신재생·기타	2	9	15	23	49	4	26	7.8	5.6
산업	84	138	142	127	122	62	63	2.5	- 0.4
수송	31	39	32	22	17	18	9	1.2	- 2.8
가정	21	23	23	25	31	10	16	0.4	1.0
서비스	14	22	26	25	22	10	12	2.4	0.0

최종 소비 부문별·원별 수요 - 대안경로 시나리오(ALT)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
산업	84	138	142	127	122	100	100	2.5	- 0.4
석탄	19	30	29	25	2	22	2	2.3	- 8.3
석유	49	66	64	50	45	48	37	1.6	- 1.3
도시가스	3	11	12	11	11	8	9	6.4	0.0
전기	11	23	29	32	38	17	31	3.6	1.7
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	2	7	7	9	26	5	21	6.5	4.6
수송	31	39	32	22	17	100	100	1.2	- 2.8
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	-
석유	31	37	28	16	7	95	45	1.0	- 5.2
도시가스	0	1	1	1	1	3	6	-	- 0.6
전기	0	0	2	3	3	1	18	2.2	8.3
열에너지	0	0	0	0	0	0	0	-	-
신재생·기타	0	1	1	3	5	2	32	-	7.1
가정	21	23	23	25	31	100	100	0.4	1.0
석탄	1	0	0	0	0	1	0	- 6.4	- 100.0
석유	9	3	0	0	0	12	0	- 5.7	- 26.8
도시가스	7	11	9	6	2	47	6	2.0	- 5.5
전기	3	6	8	9	13	28	41	3.5	2.3
열에너지	1	2	3	4	4	10	12	4.0	1.7
신재생·기타	0	1	3	7	13	3	41	8.6	10.7
서비스 (상업, 공공, 기타)	14	22	26	25	22	100	100	2.4	0.0
석탄	0	0	0	0	0	0	0	-	- 19.0
석유	6	3	1	0	0	13	1	- 3.6	- 9.4
도시가스	2	3	4	2	1	15	3	2.8	- 5.2
전기	6	14	17	17	16	64	72	4.5	0.4
열에너지	0	0	0	0	0	2	1	8.4	- 2.7
신재생·기타	0	1	3	5	5	7	24	14.0	4.4

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 대안경로 시나리오(ALT)

						비중 (%)		증가율 (%)	
	2000	2020	2030	2040	2050	2020	2050	00-20	20-50
주요 업종 산출액 (조원)									
석유/화학	126	264	334	388	440	-	-	3.8	1.7
비금속	19	41	49	55	60	-	-	3.9	1.3
1 차철강	60	95	107	107	104	-	-	2.3	0.3
금속, 기계, 전자, 정밀	173	700	911	1 085	1 242	-	-	7.2	1.9
운송장비	117	240	276	315	358	-	-	3.7	1.3
건설	167	226	268	284	292	-	-	1.5	0.9
주요 제품 생산량 (천톤)									
기초유분	16	30	35	36	38	-	-	3.1	0.7
조강	43	67	78	78	76	-	-	2.2	0.4
전로	25	46	56	57	55	-	-	3.2	0.6
전기로	18	21	22	21	21	-	-	0.6	0.1
시멘트	51	48	43	40	38	-	-	- 0.4	- 0.8
클링커	46	42	38	36	34	-	-	- 0.4	- 0.7
에너지지 수요 (백만 toe)									
석탄	19	30	29	25	2	22	2	2.3	- 8.3
석유	49	66	64	50	45	48	37	1.6	- 1.3
도시가스	3	11	12	11	11	8	9	6.4	0.0
전기	11	23	29	32	38	17	31	3.6	1.7
열에너지	-	-	-	-	-	0	0	-	-
신재생·기타	2	7	7	9	26	5	21	6.5	4.6
주요 업종 에너지원단위									
석유/화학	0.29	0.26	0.21	0.15	0.12	-	-	- 0.4	- 2.6
비금속	0.29	0.10	0.08	0.05	0.04	-	-	- 5.3	- 3.3
1 차철강	0.28	0.31	0.27	0.25	0.27	-	-	0.5	- 0.5
조립금속	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	- 1.9	- 1.6

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

산업 부문 주요 지표 및 에너지 수요 (2) - 대안경로 시나리오(ALT)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종별 에너지 수요									
석유/화학	36	69	69	57	86	100	100	3.3	0.7
석탄	0	0	-	-	-	0	0	- 1.5	- 100.0
석유	33	59	56	45	41	86	47	3.0	- 1.2
가스	0	5	6	5	4	7	4	14.2	- 0.6
전기	2	5	7	8	9	7	10	4.1	1.7
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-
비금속	6	4	4	3	2	100	100	- 1.7	- 2.1
석탄	4	2	2	0	0	50	0	- 2.8	- 24.0
석유	1	1	0	0	0	14	7	- 3.4	- 4.4
가스	0	1	1	1	0	13	21	3.8	- 0.6
전기	1	1	1	1	2	24	72	1.1	1.6
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-
철강	17	29	29	27	28	100	100	2.9	- 0.2
석탄	13	24	23	22	-	84	0	3.1	- 100.0
석유	1	0	0	0	0	0	0	- 12.1	- 1.9
가스	1	2	2	2	4	8	14	6.5	1.8
전기	2	2	3	3	8	8	28	1.4	4.2
신재생	-	-	-	0	16	0	58	-	-
조립금속	5	11	13	13	12	100	100	4.1	0.2
석탄	-	-	-	-	-	0	0	-	-
석유	2	0	0	- 0	- 0	3	- 2	- 7.9	-
가스	1	2	2	1	1	17	9	5.0	- 2.0
전기	3	9	11	12	11	80	93	6.0	0.7
신재생	-	-	-	-	-	0	0	-	-

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 - 대안경로 시나리오(ALT)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
자동차 형태별 (백만대)	12	24	27	28	27	100	100	3.6	0.3
승용차	8	20	23	24	23	82	86	4.6	0.5
화물차	3	4	3	3	3	15	11	1.8	- 0.6
승합차	1	1	1	1	1	3	3	- 3.0	0.2
자동차 연료별 (백만대)									
휘발유	7	12	13	9	3	50	12	2.6	- 4.3
경유	4	10	6	3	1	41	3	5.3	- 8.3
전기자동차	-	0	5	9	12	1	45	65.7	15.9
수소자동차	-	-	1	5	10	0	36	-	-
기타	1	2	2	1	1	9	4	2.8	- 2.5
에너지 수요	31	39	32	22	17	100	100	1.2	- 2.8
휘발유	8	10	8	4	1	25	6	1.1	- 7.2
경유	13	19	10	4	1	49	6	1.9	- 9.5
중유	4	2	3	3	0	6	2	- 2.4	- 6.6
제트유	2	3	5	5	5	6	30	0.8	2.3
부탄	3	3	2	1	0	8	1	- 0.5	- 9.7
기타석유	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.0
도시가스	-	1	1	1	1	3	6	-	- 0.6
전기	0	0	2	3	3	1	18	2.2	8.3
신재생·기타	-	1	1	3	5	2	32	-	7.1
수송 수단별 에너지수요									
도로	24	33	23	14	9	85	56	1.8	- 4.2
철도	1	0	0	0	0	1	2	- 2.3	- 0.4
항공	2	3	5	5	5	6	30	0.8	2.3
해운	5	3	3	3	2	8	13	- 2.1	- 1.3

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

가정 부문 주요 지표 및 에너지 수요 - 대안경로 시나리오(ALT)

(단위: 백만 toe)

						비중 (%)		증가율 (%)	
	2000	2020	2030	2040	2050	2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
인구 (백만명)	47.0	51.8	51.2	50.2	47.4	-	-	0.5	- 0.3
가구 (백만가구)	14.5	20.4	22.0	22.7	22.1	-	-	1.7	0.3
형태별 주택(백만호)	11.0	17.0	18.8	19.7	19.4	100	100	2.2	0.4
단독	4.1	3.6	3.5	3.2	2.9	21	15	- 0.7	- 0.7
아파트	5.2	10.8	12.6	13.9	13.7	64	70	3.7	0.8
공동주택	1.7	2.6	2.7	2.6	2.8	15	15	2.3	0.3
평균 주거 면적(m ²)	85.5	76.3	73.9	72.5	72.2	-	-	- 0.6	- 0.2
에너지 지표									
주택당 에너지수요(toe/천원)	1.93	1.36	1.21	1.28	1.62	-	-	- 1.7	0.6
면적당 에너지수요(toe/100m ²)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	-	-	- 1.2	0.8
가구당 에너지수요(toe/가구)	1.46	1.14	1.04	1.12	1.43	-	-	- 1.2	0.8
인구당 전기수요(MWh/명)	0.79	1.43	1.76	2.03	3.14	-	-	3.0	2.7
에너지 수요									
	21	23	23	25	31	100	100	0.4	1.0
석탄	1	0	0	-	-	1	0	- 6.4	- 100.0
석유	9	3	0	0	-	12	0	- 5.7	- 26.8
도시가스	7	11	9	6	2	47	6	2.0	- 5.5
전기	3	6	8	9	13	28	41	3.5	2.3
지역난방	1	2	3	4	4	10	12	4.0	1.7
신재생·기타	0	1	3	7	13	3	41	8.6	10.7
용도별 에너지 수요									
난방/온수	17	15	15	18	25	67	79	- 0.5	1.6
취사	1	2	1	0	0	8	1	2.1	- 5.7
냉방	0	1	1	1	1	4	3	18.3	0.1
조명	0	1	1	1	1	3	2	3.0	- 0.5
기타 가전기기	2	4	5	5	5	18	15	3.0	0.6

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 - 대안경로 시나리오(ALT)

(단위: 백만 toe)

						비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요 업종별 산출액 (조원)									
도소매	134	260	327	387	447	-	-	3.4	1.8
숙박음식	61	137	169	195	219	-	-	4.2	1.6
운수보관	69	153	200	240	280	-	-	4.1	2.0
정보통신	56	150	217	269	313	-	-	5.0	2.5
공공행정및국방	73	149	183	189	189	-	-	3.7	0.8
교육서비스	65	124	146	151	154	-	-	3.3	0.7
의료복지	41	166	261	335	401	-	-	7.2	3.0
예술,스포츠,레저	16	43	63	78	92	-	-	5.3	2.5
기타서비스	284	723	1 005	1 205	1 374	-	-	4.8	2.2
에너지 수요									
석유	6	3	1	0	0	13	1	- 3.6	- 9.4
도시가스	2	3	4	2	1	15	3	2.8	- 5.2
전기	6	14	17	17	16	64	72	4.5	0.4
지역난방	0	0	0	0	0	2	1	8.4	- 2.7
신재생·기타	0	1	3	5	5	7	24	14.0	4.4
부문별 에너지 수요									
상업 서비스	11	17	19	18	16	76	70	2.1	- 0.3
공공 서비스	3	5	7	7	7	24	30	3.5	0.8

석유 공급 및 수요 - 대안경로 시나리오(ALT)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
원유 수요*	122	163	175	174	170	-	-	1.5	0.1
국제 벙커링	7	9	11	9	3	-	-	1.2	- 3.4
총공급	101	110	94	67	53	100	100	0.5	- 2.4
전환	7	1	1	1	1	1	1	- 9.4	- 0.8
최종소비	94	109	93	66	53	99	99	0.8	- 2.4
제품별 석유 수요									
휘발유	8	10	8	4	1	9	2	1.0	- 7.3
등유	10	2	1	0	0	2	0	- 6.8	- 9.3
경유	19	23	12	5	2	21	3	0.9	- 8.3
중유	20	4	4	3	1	3	2	- 8.1	- 4.6
제트유	3	3	5	5	5	3	9	0.9	1.7
프로판	5	8	7	5	5	7	8	2.8	- 1.9
부탄	4	4	3	2	1	4	2	0.3	- 4.9
납사	29	50	47	37	35	45	65	2.7	- 1.2
기타 비에너지유	3	6	7	6	4	6	8	3.7	- 1.3
용도별 석유 수요									
산업	49	66	64	50	45	60	84	1.6	- 1.3
(연료)	16	11	10	7	6	10	11	- 2.1	- 1.8
(원료)	32	56	54	43	39	51	73	2.8	- 1.2
수송	31	37	28	16	7	34	14	1.0	- 5.2
가정	9	3	0	0	-	2	0	- 5.7	- 100.0
서비스	6	3	1	0	0	3	0	- 3.6	- 9.4
전환	7	1	1	1	1	1	1	- 9.4	- 0.8

* 원유 수입 및 재고 변화를 포함한 총수요

석탄 공급 및 수요 - 대안경로 시나리오(ALT)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총공급	43	72	52	39	3	100	100	2.6	- 9.8
전환부문	23	42	24	14	1	58	31	3.0	- 11.7
최종소비부문	20	30	29	25	2	42	69	2.2	- 8.3
제품별 석탄 수요									
국내탄	2	0	0	0	0	1	0	- 7.2	- 11.2
수입무연탄	1	4	3	2	1	5	45	5.4	- 2.9
연료용 유연탄	27	45	26	15	2	62	55	2.6	- 10.2
원료용 유연탄	13	24	23	21	-	33	0	3.1	- 100.0
용도별 석탄 수요									
발전용	23	42	24	14	1	58	31	3.0	- 11.7
코크스 제조 및 고로용	13	24	23	21	-	33	0	3.1	- 100.0
킬른가열용	4	2	2	0	0	3	0	- 2.7	- 24.0
기타 산업용	3	5	4	3	2	6	69	2.6	- 2.4
연탄용	1	0	0	-	-	0	0	- 6.4	- 100.0

가스 공급 및 수요 - 대안경로 시나리오(ALT)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
총공급	19	55	75	60	46	100	100	5.5	- 0.6
전환 부문*	6	28	49	40	31	52	67	7.6	0.3
최종소비 부문	13	27	26	19	15	49	33	3.8	- 1.9
제품별 소비									
천연가스	6	29	41	33	33	53	72	8.6	0.4
도시가스	13	24	23	17	12	44	27	3.1	- 2.2
용도별 소비									
발전용	6	25	35	26	27	45	58	7.6	0.2
지역난방	1	3	4	4	4	5	9	8.4	1.3
산업	3	11	12	11	11	21	25	6.4	0.0
수송	-	1	1	1	1	2	2	-	- 0.6
가정	7	11	9	6	2	20	4	2.0	- 5.5
서비스	2	3	4	2	1	6	1	2.8	- 5.2

* 자가소비 및 손실 포함

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

전기 공급 및 수요 - 대안경로 시나리오(ALT)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
발전설비 (GW)	48	129	288	452	591	100	100	5.0	5.2
석탄	14	37	32	22	2	29	0	5.0	- 10.1
석유	5	2	0	0	0	1	0	- 5.2	- 5.0
가스	13	42	58	62	54	32	9	6.1	0.8
원자력	14	23	20	16	12	18	2	2.7	- 2.1
수력	3	7	7	9	9	5	1	3.7	0.9
신재생	-	19	170	343	514	15	87	-	11.6
- 변동성 재생에너지	-	16	165	337	494	13	84	-	12.0
- 기타 재생에너지	-	1	2	2	2	1	0	-	0.9
- 신에너지	-	1	3	5	18	1	3	-	10.4
총발전량(TWh)	266	552	757	867	972	107	180	3.7	1.9
석탄	99	198	125	85	10	36	1	3.5	- 9.4
석유	19	2	1	1	1	0	0	- 10.2	- 4.3
가스	28	147	231	164	79	27	8	8.5	- 2.0
원자력	109	160	137	118	91	29	9	2.0	- 1.9
수력	6	7	7	9	9	1	1	1.2	0.8
신재생	-	36	253	487	778	7	80	-	10.8
- 변동성 재생에너지	-	20	226	449	649	4	67	-	12.3
- 기타 재생에너지	-	10	9	10	10	2	1	-	0.0
- 신에너지	-	6	17	27	119	1	12	-	10.6
상용자가	5	2	2	3	3	0	0	- 5.1	2.1
발전용 에너지 수요 (백만 toe)	64	112	159	206	266	100	100	2.9	2.9
석탄	23	42	24	14	1	37	0	3.0	- 11.7
석유	6	1	0	0	0	1	0	- 10.9	- 1.7
가스	6	25	35	26	27	22	10	7.6	0.2
수력	1	2	2	2	2	1	1	0.4	0.8
원자력	27	34	29	25	19	30	7	1.1	- 1.9
신재생-기타	-	9	69	138	216	8	81	-	11.0
전기 수요(TWh)	240	509	715	824	930	100	100	3.8	2.0
산업	132	269	342	378	439	53	47	3.6	1.7
수송	2	3	19	29	34	1	4	2.2	8.3
가정	37	74	90	102	148	15	16	3.5	2.3
서비스	68	163	198	200	186	32	20	4.5	0.4
기타	0	-	65	116	122	0	13	- 33.3	59.3

* 상용자기는 상용자가 발전량 중 한전 구입량

열에너지 공급 및 수요 - 대안경로 시나리오(ALT)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
열생산량	1	3	3	4	4	100	100	4.2	1.3
발전폐열	1	2	3	3	3	80	80	4.8	1.3
지역난방	0	1	1	1	1	20	20	2.4	1.3
지역난방용 에너지 수요	1	3	4	5	4	100	100	5.8	1.3
석유	0	0	0	0	0	7	7	- 3.4	1.3
가스	1	3	4	4	4	93	93	8.4	1.3
지역난방 수요	1	3	3	4	4	100	100	4.4	1.3
가정	1	2	3	4	4	85	95	4.0	1.7
서비스	0	0	0	0	0	15	5	8.4	- 2.7

신재생/기타 공급 및 수요 - 대안경로 시나리오(ALT)

(단위: 백만 toe)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
부문별 신재생에너지 수요	2	19	75	150	258	100	100	11.6	9.1
발전	-	9	60	126	209	50	81	-	10.9
산업	2	7	7	9	26	36	10	6.5	4.6
수송	-	1	1	3	5	4	2	-	7.1
가정	0	1	3	7	13	3	5	8.6	10.7
서비스	0	1	3	5	5	8	2	14.0	4.4
(수소 공급)									
수입	-	-	7	19	31	0	12	-	-
생산	-	-	3	5	5	0	2	- 100.0	-
(수소 수요)									
발전	-	-	16	28	18	0	7	-	-
최종소비	-	-	1	3	21	0	8	- 100.0	-

주) 수력 포함, 양수는 제외

에너지 부문 온실가스 배출 - 대안경로 시나리오(ALT)

(단위: 백만 tCO₂eq)

	2000	2020	2030	2040	2050	비중 (%)		증가율 (%)	
						2020	2050	00-20	20-50
주요지표									
에너지당 배출(톤/toe)	2.58	2.40	2.16	2.08	1.10	-	-	- 0.4	- 2.6
GDP 당 배출(톤/백만원)	0.46	0.31	0.21	0.13	0.04	-	-	- 2.0	- 6.7
인구당 배출(톤/인)	8.92	10.99	9.34	6.86	2.39	-	-	1.1	- 5.0
온실가스 배출	419	570	478	344	113	100	100	1.6	- 5.3
석탄	162	271	197	146	13	48	12	2.6	- 9.6
석유	215	183	144	93	60	32	53	- 0.8	- 3.7
천연가스	42	115	138	106	40	20	36	5.2	- 3.5
부문별 온실가스 직접 배출									
산업	148	197	192	160	71	35	62	1.4	- 3.4
수송	87	109	82	47	23	19	20	1.1	- 5.0
가정	42	32	20	12	4	6	4	- 1.5	- 6.4
서비스	20	15	11	6	2	3	2	- 1.5	- 6.8
발전/열생산	121	218	172	120	13	38	12	3.0	- 8.9

주) 전환부문의 온실가스 간접배출은 자가소비 및 유통손실에 의한 배출량을 의미

7. 참고문헌

2050 탄소중립위원회, 2021a. 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상황안.

2050 탄소중립위원회, 2021b. 2050 탄소중립 시나리오.

관계부처 합동, 2014. 기후변화 대응 제로에너지빌딩 조기 활성화 방안.

관계부처 합동, 2021. 에너지 탄소중립 혁신전략.

국토교통부, 2019. 제로에너지 건축 단계적 의무화 로드맵.

국토교통부, 2021. 건물에너지통계.

국토교통부, 2021. 국토교통 탄소중립 로드맵.

국회예산정책처, 2021.9. 2022년 및 중기 경제전망.

김수일, 2021. 코로나19가 한국의 전력 수급에 미친 영향 분석, 에너지경제연구원.

문재인, 2020. 위기의 시대를 넘어 선도국가로 - 대통령 국회 시정연설.

배정환 & 정경화, 2007. 수소제조 비용추정: 화석연료를 중심으로, 에너지경제연구원.

산업통상자원부, 2015. 제7차 전력수급계획, 산업통상자원부.

산업통상자원부, 2019. 제3차 에너지기본계획,

산업통상자원부, 2020. 제9차 전력수급기본계획,

산업통상자원부, 2021. 탄소중립 산업, 에너지 R&D 전략.

석병훈 & 이남강, 2021. 한국경제의 추세 성장을 하락과 원인,

안병권, 김기호 & 육승환, 2017.11. 인구고령화가 경제성장에 미치는 영향.

에너지경제연구원, 2016. 2016 장기 에너지 전망, 에너지경제연구원.

에너지경제연구원, 2019. 2019 장기 에너지 전망, 에너지경제연구원.

에너지경제연구원, 2021. 2020 장기 에너지 전망, 에너지경제연구원.

에너지경제연구원, 2022. KEEI 에너지수급동향.

- 월간수소경제, 2020. *부생수소에 주목한다. 2 현대제철 수소공장*.
- 이원식, 2004. *제강용 아크로의 생산성과 원단위*. 한국과학기술정보연구원.
- 통계청, 2019a. *장래인구특별추계: 2017~2067*.
- 통계청, 2019b. *장래가구특별추계: 2017~2047년*.
- 통계청, 2021.12.8. *2021 통계로 보는 1 인가구*.
- 통계청, 2021. *장래인구추계:2020~2070*.
- 포스코, 2021. *수소, 당신은 스틸의 동반자*.
- 한국은행, 2021.11. *경제전망 보고서*.
- 한국은행, 2022. *2021년 4/4분기 및 연간 실질 국내총생산(속보)*.
- 한자령, 외., 2019. 국내 수소 생산에 따른 CO2 발생량 분석. *Journal of the Korean Institute of Gas*, 23(2), p. 1~8.
- 행정안전부, 2021. *주민등록 인구통계*. [온라인] Available at: <https://jumin.mois.go.kr/>
- 환경부, 2021. *대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법*.
- Andersen, F., Henningsen, G., Moller, N. & Larsen, H., 2019. Long-term projections of the hourly electricity consumption in Danish municipalities. *Energy*, pp. 1-14.
- Boßmann, T. & Staffell, I., 2015. The shape of future electricity demand: Exploring load curves in 2050s Germany and Britain. *Energy*, pp. 1317-1333.
- IEA, 2005. *Energy Statistics Manual*, Paris: IEA Publications.
- IEA, 2020. *World Eenergy Outlook 2020*, Paris: IEA Publication.
- IEA, 2021. *World Energy Outlook 2021*, Paris: IEA Publication.
- 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*.

KEEI 2021 장기 에너지전망

2022년 2월 일 인쇄

2022년 2월 일 발행

발행인 임 춘 택

발행처 **에너지경제연구원**

44543 울산광역시 중구 종가로 405-11

전화: (052)714-2114(代)

팩시밀리: (052)714-2026

등 록 1992년 12월 7일 제7호

인 쇄 디자인 범신(052)245-8737

© 에너지경제연구원 2021
