

전략연구 2017-25

지방정부 에너지 시나리오 개발 연구

한재각

에너지기후정책연구소 부소장

김남영

에너지기후정책연구소 상임연구원

권승문

에너지기후정책연구소 상임연구원

연구 요약

이번 연구는 충남도가 세운 야심찬 탈석탄 에너지전환 비전을 실현하기 위해서, 기초지자체들이 자체적인 지역에너지계획과 에너지 시나리오를 개발할 것을 제안하였다. 그리고 이를 위해서 (특히, 기초) 지자체 차원에서 지역에너지계획과 에너지 시나리오를 개발하는데 도움이 될 지식과 정보를 제공하는 것을 목표로 하였다. 에너지전환, 에너지 시나리오 등에 관한 몇 가지 이론적·개념적인 논의를 진행 한 후 해외 및 국내의 에너지 시나리오 사례를 살펴보면, 기초지자체 차원에서 지역에너지계획 및 시나리오 개발을 위한 준비와 진행에 필요한 사항을 살펴보았다.

우선 기초 지자체의 지역에너지계획을 수립하는 맥락이 되는 에너지전환의 개념과 다차원성에 대해서 설명하였다. 에너지 전환은 단순히 에너지원과 그것을 이용하는 설비 등의 기술적인 요소들을 전환하는 것 뿐 만아니라, 다양한 제도, 문화, 정치, 경제적인 요소를 대체하거나 변화시키는 것이라는 점을 강조하였다. 에너지전환의 다차원성을 시나리오에 제대로 담기 위한 노력이 필요할 것이다. 다음으로 (지역)에너지계획, 에너지 시나리오 그리고 에너지 모델링에 대해서 살펴보았다. 시나리오는 미래 예측 방법의 하나로, 미래에 일어날 개연성이 높고 인간과 사회에 미칠 영향이 큰 가능성을 분석하여 바람직한 미래의 비전을 찾고 전략을 개발하는데 활용된다. 미래 시점의 에너지 시스템을 다루게 되는 에너지계획은 어떤 방식으로든 에너지 시나리오 작업을 활용하게 될 것이다.

이어서 해외의 국가 및 지방정부의 사례, 국내 에너지전환 시나리오 그리고 광역 및 기초 지자체의 사례를 차례로 검토하였다. 해외 사례로는 국가적 수준에서 영국과 일본의 2050 저탄소 에너지 시나리오를 검토하였고, 지방 차원에서는 미국 캘리포니아와 영국 브리스톨 사례를 검토하였다. 국내의 에너지전환 시나리오의 사례로는 환경운동연합, 세계자연기금(WWF) 그리고 녹색당의 시나리오를 검토하였다. 또한 국내 지자체 사례도 살펴보았다. 광역 지자체 차원에서는 대구와 충남의 사례를 검토했고, 기초 지자체 차원에서는 전주와 광명의 사례를 살펴보았다. 이를 통해서 단일 혹은 복수의 시나리오 개발, 목표 강도의 차이 혹은 상이한 비전 및 전환 경로의 차이를 반응하는 시나리오의 유형, 백캐스팅과 시민참여 방식의 활용, 스토리라인을 통한 시나리오에 대한 토론 가능성 증진 등에 대해서 논의하였다.

마지막으로 기초 지자체 수준에서 지역에너지계획 그리고 에너지 시나리오를 개발하고자 했을 경우 고려해야 할 사항을 준비와 개발 등의 단계로 나눠서 살펴보았다. 준비 단계에서 지역에너지 계획 수립의 제도적 기반으로 에너지조례 및 에너지위원회 등이 필요하고 계획 기간은 최소 10년 이상의 중장기로 설정해야 하며 계획의 범위를 조건과 목적에 맞게 적절히 정해야 한다는 점을 지적하였다. 또한 계획 및 시나리오 개발의 연구진은 기술·경제학적인 역량 뿐만 아니라 에너지전환의 다차원성을 포괄할 수 있는 사회과학적 역량이 포함되어야 하며, 조직 단체와 조직과 협력할 수 있도록 구성되어야 한다는 점을 제안하였다.

시나리오의 개발 단계에서, 우선 지역에 대한 현황과 쟁점에 대한 파악이 필요한데 산업통상자원부가 광역 지자체의 지역에너지계획 수립을 위해 제시한 가이드라인의 항목들의 적절성에 대해서 논의하였다. 또한 양적 데이터를 중심으로 한 현황뿐만 아니라, 지역, 기관, 기업, 단체 등과 그들 사이의 상호 관계에 관한 지리학 및 사회학 조사의 필요성이 제기하였다. 에너지 모델링을 위한 주요 변수들의 선별하는 과정에서 정량 변수와 함께 정수 변수와 함께 고려할 것을 제안하였다. 기초 지자체의 경우에는 정책 목표의 강도 차이에 따른 복수의 시나리오 개발, 백캐스팅 방식과 스토리 라인의 활용의 필요성을 부각시켰다.

목 차

제1장 서론

1. 연구배경 및 목적	1
--------------------	---

제2장 에너지전환과 에너지 시나리오의 이해

1. 에너지전환 논의_개념적 접근	7
2. 에너지 시나리오의 이해_정부 에너지계획 검토를 중심으로	13
3. 토론 및 시사점	23

제3장 해외 에너지 시나리오의 검토

1. 영국의 2050년 저탄소 에너지전환 시나리오	25
2. 일본의 저탄소사회 장기 시나리오	31
3. 미국 캘리포니아주의 에너지 시나리오	35
4. 영국 브리스톨시의 에너지 시나리오	40

제4장 국내 에너지전환 시나리오

1. 환경운동연합 '100퍼센트 재생에너지 전환 에너지 시나리오'	44
2. 세계자연기금(WWF)의 '지속가능한 미래를 위한 대한민국 2050 에너지 전략'	48
3. 녹색당의 '녹색당 대안전력 시나리오 2030'	52

제5장 국내 지자체의 에너지 시나리오 검토

1. 대구 지역에너지계획의 검토	56
2. 충남 지역에너지계획의 검토	60
3. 전주 지역에너지계획의 검토	65
4. 광명 지역에너지계획의 검토	68

제6장 지자체의 에너지 시나리오 개발 방향 제안

1. 에너지 시나리오 사례들의 분석 종합	72
2. 에너지 시나리오 개발의 준비, 진행 그리고 후속조치	76
3. 충남 지자체에 대한 제안	85
참 고 문 헌	88

표 목 차

<표 1-1> 기초지자체의 지역에너지계획 수립 현황	4
<표 2-1> 국가에너지계획과 지역에너지계획에 포함되어야 할 사항	13
<표 2-2> 제2차 에너지기본계획의 산업구조 전망	18
<표 2-3> 2차 에기본의 기준전망과 목표전망	19
<표 2-4> 제2차 에기본의 원별 최종에너지 전망	21
<표 3-1> '시장 규칙 경로'의 특성	26
<표 3-2> 중앙 조정 전환경로의 특성	27
<표 3-3> '수천 송이 장미' 경로의 특징	29
<표 3-4> 영국 저탄소 에너지전환 시나리오의 비교	30
<표 3-5> 두 시나리오의 비교	32
<표 3-6> 두 시나리오의 양적인 비교	34
<표 3-7> 캘리포니아 시나리오별 에너지 소비 비중	38
<표 3-8> 시나리오 X, Y 주요 요소 비교	43
<표 4-1> 환경운동연합의 대안 에너지 시나리오 구성	44
<표 4-2> WWF의 대안 에너지 시나리오 분석 대상 및 범위	48
<표 4-3> 각 시나리오별 목표 달성을 위한 핵심 과제	50
<표 4-4> WWF 시나리오의 누적 소요 비용 비교	51
<표 4-5> 녹색당의 주요 전제와 대안 전력 수요 시나리오	52
<표 4-6> 녹색당의 대안 전력 공급 시나리오	53
<표 4-7> 전력 수요 증가(감소)을 전망	54
<표 4-8> 녹색당 시나리오의 에너지원별 발전량과 비중	54
<표 5-1> 2025 전주시지역에너지계획 비전과 목표	66
<표 5-2> 전주 에너지시나리오(S1, S2, S3) 비교	67
<표 6-1> 지역에너지계획 수립을 위해서 조사해야 할 항목 예시	79
<표 6-2> 에너지 시나리오의 변수들	81
<표 6-3> 에너지시나리오 작성 가이드라인	84

그림 목 차

<그림 2-1> 탈핵 에너지 전환의 개념적 시나리오	8
<그림 2-2> 에너지전환의 다차원성	10
<그림 2-3> 제2차 에너지기본계획의 주요 전제치	18
<그림 2-4> 제2차 에너지기본계획 부문별 수요 감축목표	20
<그림 2-5> 시나리오 개발의 논리적 순서	22
<그림 3-1> 시나리오 A(좌)와 시나리오 B(우)	33
<그림 3-2> 캘리포니아 시나리오별 전력 믹스	39
<그림 3-3> 브리스톨시 에너지전환 시나리오의 이미지	41
<그림 4-1> 환경운동연합(2017)의 전력수요량 추정	45
<그림 4-2> 환경운동연합(2017)의 발전원별 발전설비 용량 추정	46
<그림 4-3> 환경운동연합(2017)의 재생에너지원별 발전설비 용량 추정	46
<그림 4-4> WWF의 대안 에너지 수요 공급 시나리오	49
<그림 5-1> 제4차 대구 지역에너지계획의 개요	58
<그림 5-2> 대구의 에너지 시나리오들	60
<그림 5-3> 충남 2050년 탈석탄 에너지전환 비전과 전략	62
<그림 5-4> 충남 에너지비전의 시나리오들의 비교	63
<그림 5-5> 에너지시민 시나리오의 스토리라인 요약	64
<그림 5-6> 광명시의 에너지비전, 전략, 목표 요약	69
<그림 5-7> 광명시 시나리오들의 비교	71

제1장 서론

1. 연구배경 및 목적

1) 연구배경

(1) 국내외적 흐름과 신정부의 탈핵·탈석탄 에너지전환 정책

2015년도 기후변화 파리협약의 체결로 한동안 방향을 잃고 흔들리던 온실가스 감축을 위한 국제적 노력이 다시 탄력을 받기 시작했다. 이미 충분히 알려진 것처럼 온실가스 배출의 가장 중요한 원인이 화석연료 연소에 의한 배출이기 때문에, 에너지 부문에서의 큰 노력이 강조되고 있다. 특히 화석연료의 사용을 줄이고 재생에너지로 전환하려는 시도들이 확대되고 있다. 또한 2012년 후쿠시마 핵사고 이후, 전세계적으로 핵발전에서 벗어나려는 노력들도 다시 강화되고 있다. 독일, 이탈리아, 벨기에, 프랑스 등의 유럽 국가들은 핵발전소를 점차 줄이거나 모두 폐쇄하겠다는 국가적인 결정을 내렸다. 가까운 동아시아 지역에서는 대만이 완공을 앞두고 있던 핵발전소를 폐쇄할 뿐만 아니라 2025년까지 모든 핵발전소의 가동을 중지하겠다고 하는 정책을 발표하였다. 이러한 국제적인 흐름은 ‘탈핵·탈석탄 에너지전환’으로 명명할 수 있을 것이다.

최근 들어 한국도 이런 흐름에 조용하기 시작했다. 후쿠시마 핵사고 이후에 시민사회의 탈핵운동이 재활성화되고 거세졌으며, 이에 호응하여 몇몇 광역 및 기초 지자체에서 혁신적인 에너지정책을 펼치고 있다. 서울시의 원전하나줄이기 사업을 비롯하여 경기도의 에너지비전 2030, 제주도의 탄소 제로 섬 사업 등이 대표적이다. 이런 정책들은 기후변화를 완화하기 위한 온실가스 감축뿐만 아니라, 최근 들어서 심각해지고 있는 미세먼지 문제를 해결하기 위해서도

필요하다는 공감의 확산되고 있다. 특히 석탄발전소가 대거 입지해 있는 충청남도에서 석탄발전소를 점차 줄여가겠다는 정책을 표방하고 있는 주된 이유가 되고 있다. 여기에 더해 핵발전과 석탄발전 시설 그리고 초고압 송전선로 등이 위치한 지역 주민들이 에너지를 대량으로 소비하는 수도권 등의 지역 주민들을 위해서 일방적으로 희생을 강요받고 있다는 반성도 늘어나고 있다. 이는 대규모 중앙집중적인 에너지 시스템이 아니라 소규모 지역분산적인 에너지 시스템으로 전환해야 할 필요성을 보여주는 근거로 제시되고 있다.

올해(2017년) 등장한 신정부는 이러한 흐름을 국가 정책에 반영하여 탈핵·탈석탄 에너지 전환 정책을 공식화하고 있다. 신고리 5,6호기 사회적 공론화를 거치면서 해당 원전 건설은 지속한다는 결정을 하면서도, 계획되었던 나머지 원전들은 취소하기로 하였다. 또한 노후 원전들도 수명연장을 하지 않고 폐쇄한다는 ‘탈핵로드맵’을 발표하였다. 석탄발전소 역시도 신규 건설을 억제하고 노후된 것은 폐쇄해 나가기로 하였다. 반대로 태양광과 풍력 발전을 중심으로 한 재생에너지는 2030년까지 발전량 대비 20%까지 확대한다는 ‘재생에너지 3020 계획’이 발표되었다. 이러한 내용을 담아 8차 전력수급기본계획도 곧 발표될 것으로 전망되고 있으며, 내년에는 보다 체계적으로 에너지전환의 방향, 목표 그리고 추진 방안을 담은 제3차 에너지기본계획 수립이 이루어질 것으로 알려져 있다.

(2) 국가에너지계획 및 지역에너지계획

그 동안 정부는 에너지정책을 체계적으로 추진하기 위해서 여러 계획들을 수립해왔다. 국가 수준에서 총에너지 및 에너지원별 계획 그리고 온실가스 감축계획(예컨대 1, 2차 국가에너지 기본계획(이하, 에너지원), 1~7차 전력수급기본계획(이하, 전기본) 등)을 수립해왔다. 이런 장기 계획들은 에너지 미래가 어떻게 될 것이라는 구상을 담고 있다는 점에서 일종의 에너지 시나리오 작업의 결과라고 할 수 있다. 이런 에너지 시나리오 작업들은 에너지경제연구원, 한국전력/전력거래소, 그리고 온실가스종합정보센터 등의 정부 기관에 의해서 진행되었는데, 대개의 경우 비공개된 상태에서 배타적으로 진행되고 있기 때문에 에너지 미래에 관한 사회정치적 토론을 사실상 불가능하게 만들고 있었다. 한편 정부의 장기 에너지계획의 문제점을 비판하고 에너지전환을 주장하면서 연구자 및 시민사회단체 등은 2000년대 초반부터 최근까지 꾸준히

대안적인 에너지 시나리오를 개발하여 제시해오고 있었다(한재각 · 이영희, 2012; 유정민 · 한재각 · 정연미, 2012; 한재각, 2015). 이런 대안 시나리오들은 최근에 들어선 문재인 정부의 탈핵 · 탈석탄 에너지전환 정책 추진 선언에 따라서 주목의 대상이 되고 있다.

한편 <에너지법>에 의해서 광역 지자체들은 5년에 한번 지역에너지계획을 수립할 의무를 가지고 있다. 그 동안 이런 지역에너지계획은 에너지경제연구원, 지자체 연구원, 대학교 및 민간 연구소 등에 의해서 수립되고 있으며, 그 과정에서도 에너지 시나리오가 활용되고 있다. 그러나 5년의 계획 기간으로 하는 지역에너지계획은 현재 상황과 추세를 반영한 경직된 시나리오에 기반하고 있어서 다양한 에너지 미래를 모색하려는 시도는 사실상 불가능했다. 따라서 일부 광역지자체(서울, 대구, 충남, 전북 등)의 경우에는 장기 에너지 시나리오(수요전망)를 개발하면서 그에 비춰서 단기 계획을 수립하기도 한다. 한편 중앙정부 측은 광역지자체의 지역 에너지계획은 중앙정부의 계획과의 조화성 유지, 실행력 담보의 어려움, 지역주민들의 참여 부족 등으로 전반적인 개혁이 필요하다고 분석하고 있다(박기현 · 김창훈, 2017). 또한 비법정 계획으로 기초지자체들에 의해서 자발적으로 수립된 지역에너지계획도 2010년 이후 나타나고 있으며, 특히 최근 ‘에너지비전 2030’를 발표한 경기도가 산하 기초지자체의 지역에너지계획 수립을 재정 지원하면서 급속도로 증가하고 있는 상황이다. 또한 이 중에서는 전문가 중심의 통상적인 접근 방식이 아니라, 시민참여 요소를 추가 · 강화해서 수립하려는 새로운 접근을 시도하고 있기도 하다(아래 <표 1-1> 참조).

〈표 1-1〉 기초지자체의 지역에너지계획 수립 현황

지역		제목	시기	주민참여 방식
서울	노원	탈핵에너지전환 종합대책	2012.	-
	성북	성북구 온실가스감축 행동계획	2013. 1.	타운홀 미팅
	강동	지속가능한 기후환경도시 2030 실행계획	2016. 12.	-
경기	안산	안산시 지역에너지 조성계획	2015. 12.	지역에너지포럼 /명칭 공모
	광명	광명시에너지자립 및 주민참여형 지역 에너지계획	2017. 3.	에너지시민회의 (시민기획단 49명)
	시흥	시흥시 지역에너지 기본계획	2017. 3.	-
	군포	군포시 지속·자립 가능한 지역에너지 실행계획	2017. 4.	-
	김포	김포시 에너지 자립도시 실행계획	2017. 5.	-
	구리	구리시 에너지 자립도시 실행계획	2017. 6.	-
	안성	안성시 에너지자립 실행계획 연구용역	2017. 7.	정보제공
	여주	여주시 지역에너지 조성계획	2017. 8.	정보제공
	양평	양평군 에너지자립 실행계획	2017. 9	정보제공
	수원	수원시 에너지종합대책/지역에너지계획	2013.	-
	부평	부평구 주민참여형 기후변화 대응 세부시행계획	2015. 10.	정보제공/인식조사 /시민단체협의
	과천	과천시 지역에너지계획	2010. 6.	-
강원	인제	인제군 에너지전환 시나리오	2015. 12.	지역사회간담회
전북	완주	완주군 지역에너지전환 기초계획	2013. 7.	-
	전주	전주시 에너지안전(자립)도시 지역에너지계획	2016. 3.	시나리오워크숍 (시민패널 48명)
전남	순천	순천시 지역에너지계획	2015. 3.	-

출처: 한재각·이정필(2017) * 기후변화대응계획은 선택적으로 정리

(3) 충남 ‘탈석탄 에너지전환’ 비전의 수립과 과제

충남 지역에는 전국의 석탄발전소의 절반이 위치해 있으면서 자신들이 소비하는 전력보다 두 배 반이나 많은 전력을 생산하여 수도권 지역으로 전송하고 있다. 또한 에너지를 대규모로 소비하는 산업시설이 많이 위치해 있기도 하다. 이 과정에서 석탄발전소가 위치한 지역 그리고 초고압 송전선로가 지나는 지역의 주민들이 미세먼지, 온배수 그리고 전자파 등에 따른 환경·건강의 피해를 호소하고 있다. 또한 기후변화 차원에서 막대한 온실가스 배출량을 보여주고 있다. 이러한 사정 때문에 충남도는 탈석탄 에너지전환 정책을 추진하고 있다. 2015년에 서울, 경기 그리고 제주와 함께, ‘지역에너지전환 공동선언’을 시작으로 하여, 올해에는 탈석탄 국제컨퍼런스를 개최하고 에너지도민기획단 워크숍을 진행하였다. 탈석탄 국제컨퍼런스에서 안희정 도지사는 국가 탈석탄 로드맵 수립 등을 제안하면서 지자체에 의한 상향식 에너지전환 정책 전환 압력을 예고하였다. 또한 숙의적 방식으로 진행된 에너지도민기획단 워크숍에서는 77명의 도민들이 3주간 18시간에 걸친 학습, 토론과 숙의를 거쳐서 2050년의 충남의 에너지 미래를 담은 다양한 에너지 시나리오 중 하나를 선택하였다. 이런 과정을 통해서 2050년까지 충남의 석탄발전소의 가동을 모두 중지하고 폐쇄하며, 이를 대신하여 재생에너지를 확대해나간다는 ‘에너지 시민이 만드는 별빛 가득한 충남’이라는 비전이 수립되었다(충남연구원, 2017).

충남도는 이러한 에너지전환 비전은 실현하기 위해서 여러 추진 전략을 수립하고 있는데, 그 중에 하나가 15개 시군별 지역에너지계획을 순차적으로 수립하는 것이다. 각 시군별 지자체들이 충남도가 수립한 비전을 공유하고 지역 내에서 에너지전환을 추진하기 위한 실행 계획을 수립하여 체계적으로 추진해나가도록 하겠다는 구상이다. 앞서 언급했듯이 이런 접근은 이미 경기도에서 보여준 바 있다. 특별/광역시와 다르게 광역도의 자치 시군들의 자율성이 더 크다고 평가받고 있기에, 시군들의 적극적인 이해와 협조가 없이는 광역도의 비전을 실현하기가 어렵기 때문이다. 그러나 시군들은 에너지전환에 대한 문제의식도 아직 부족하며 이를 추진해나갈 역량과 자원도 충분치 않는 상황이기 때문에 시군의 적극적인 참여를 낙관하기는 힘들다. 지역에너지계획의 수립은 그 내용 결과뿐만 아니라 과정을 통해서도 시군 지자체와 주민들의 에너지전환에 대한 이해 확대와 다양한 이해관계자를 발굴하고 형성하는 목표도 추구해야 한다.

2) 연구목적

이번 연구는 지자체, 특히 기초 지자체 수준에서 지역에너지계획을 수립하는데 도움을 주고자 준비되었다. 지역에너지계획에는 해당 지역의 '에너지 미래'에 대한 구상을 담고 있기 때문에, 에너지 시나리오를 만드는 것이 도움이 될 수 있다. 지역에너지계획을 수립하고자 하는 공무원 및 이에 참여하려는 주민들과 이해관계자들이 에너지전환, 지역에너지계획 그리고 에너지 시나리오가 무엇인지 이해할 수 있도록 개괄적인 설명을 제공할 것이다. 또한 이론적 논의와 함께 국내외 사례들을 소개하면서 이해를 돕고자 했다. 그리고 마지막으로 지역에너지계획과 에너지 시나리오를 작성하는데 구체적으로 도움이 되도록 몇 가지 가이드라인과 조언을 담았다.

제2장 에너지전환과 에너지 시나리오의 이해

1. 에너지전환 논의_개념적 접근

1) 에너지전환의 개념적 이해

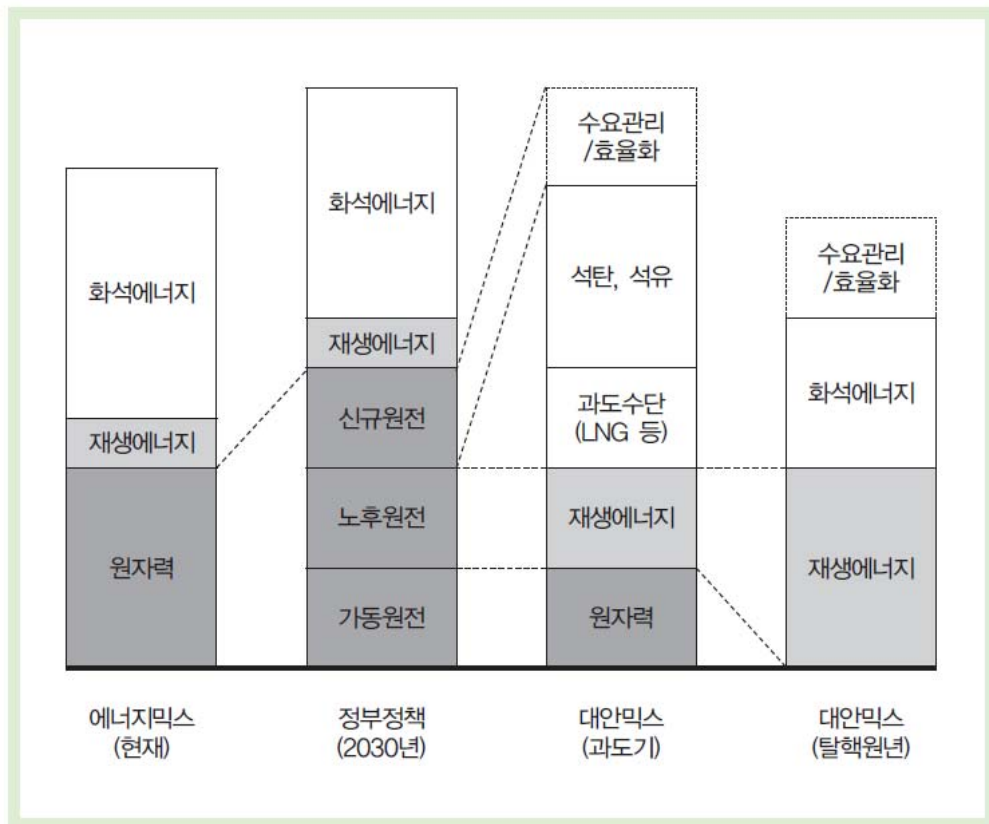
(1) 미래의 에너지 수요와 공급의 근본적 변화

국내외 에너지전환에 관한 논의는 1960-70년대를 거치면서 형성된 기술 비판적인 학문의 전통에도 뿌리를 두고 있다. 이러한 논의는 현재 에너지 체제가 지니고 있는 성장과 효율 중심의 에너지 생산체제와 에너지 체제의 비민주성 등과 같은 문제를 지적하면서 보다 근본적인 사회-환경-에너지 관계의 변화의 필요성을 주장하고 있다. 이런 에너지전환 논의에서 핵심적인 사항으로 미래의 에너지 수요는 어떻게 될 것인지, 그리고 그 수요를 어떤 에너지원(기술)을 통해서 공급할 것인지에 대한 질문들이 주목받곤 한다.

에너지 수요 측면에서 볼 때, 지금까지 보여주었던 수요 증가 추세가—증가율에 일부 조정 이 있겠지만—미래에도 지속될 것이라는 전제로부터 접근하는 포캐스팅(forecasting) 방식과 바람직한 미래의 에너지 수요를 규범적으로 정하는 백캐스팅(backcasting) 방식의 선택에 관한 논쟁이 있을 수 있다. 대개의 경우 정부나 에너지기업들의 에너지 수요 예측은 포캐스팅 방식에 의존하여 에너지 수요가 지속적으로 증가한다고 추정하지만, 환경운동 등이 주장하는 에너지전환의 대안적인 시나리오는 백캐스팅을 통해서 에너지 수요가 현재보다 낮거나 적어도 증가하지 않고 정제되어야 한다는 목표를 설정하는 경향이 있다.

에너지 공급 측면에서 보면, 에너지전환 시나리오는 수요를 충족시키기 위해서 사용하는 에너지원의 변화를 주장한다. 대개의 경우 핵사고나 사용후 핵폐기물 처리의 어려움 등을 이유로 핵에너지의 이용 비중을 점차 줄이고 또한 온실가스와 대기오염물질의 배출을 감축하고 에너지의 고갈 가능성을 대비하기 위해서 석유 및 석탄 이용 비중을 줄이는 방향을 추구한다.

대신에 상대적으로 온실가스나 대기오염물질의 배출이 적은 천연가스나 온실가스 배출이 전무할 뿐만 아니라 에너지 고갈의 우려가 없는 재생에너지의 이용을 확대하는 방안이 자주 거론된다. 이런 논의를 종합하여 아래와 같은 <그림 2-1>을 제시할 수 있다(김현우, 2011).



<그림 2-1> 탈핵 에너지 전환의 개념적 시나리오(출처: 김현우, 2011)

(2) 사회-기술시스템의 전환

앞 소절의 논의는 에너지전환의 핵심적인 요소들을 간명하게 다룬다는 점에서 장점을 가지지만, 실제 에너지전환을 추진하는 과정에서는 보다 복잡할 수 있다. 에너지를 생산·배분·소비하는 사회적 기능이 ‘사회-기술 시스템’에 의해서 제공받고 있기 때문이다. 일반적으로 ‘에너지 시스템’이라고 부르는 것 속에서는 단지 에너지원과 그것을 이용하는 설비 등의 기술적인 요소들뿐만 아니라, 다양한 제도, 문화, 정치, 경제적인 요소들의 결합되어 있다. 예를 들어서 ‘에너지계획’이라는 제도와 정책 및 그를 운영하는 행정부서, 발전 및 송배전 설비를 소유하고 운영하는 기업들, 여기에 자본을 제공하는 투자자와 금융기관들, 법제도를 제정하거나 개정하는 국회 및 지방의회, 그리고 전력과 가스 등을 소비하고 있는 시민 등도 에너지 시스템의 일부로서 서로 결합되어 있다는 것이다. 따라서 에너지전환은 지금까지 형성되어 가동된 ‘에너지 사회-기술 시스템’의 구성 요소들과 그 사이의 관계를 다른 것으로 대체하거나 변화시키는 것을 의미한다. 그리고 이러한 시스템 전환은 대략 한 세대(30년) 이상이 걸리는 장기적이고 점진적인 변화가 될 것이다.

예를 들어서 지금까지 충남 지역에서 대규모 중앙집중적인 석탄발전소를 건설·운영하고 초고압 송전선로를 통해서 수도권 지역으로 전송하는 방식의 에너지 시스템은 국가에 의한 하향식의 일방적인 정책 수립 방식에 의해서 뒷받침되었다. 그리고 이런 정책은 독·과점된 전력시장 구조에 한전 및 발전 자회사들에 의해서 실행되었다. 이 과정에서 나타나는 환경·사회적 피해로 주민들의 저항이 증가하자 이를 무마하기 위해서 해당 지자체와 주민들에게 이런 저런 지원금을 제공하면서, 현재의 시스템을 유지해나갔다. 따라서 탈석탄 에너지전환을 하기 위해서는 단지 석탄발전소만을 폐쇄하는 것이 아니라, 정책 수립과 갈등 해결 방식, 관련 법제도 그리고 이를 실행하는 전력산업 구조도 함께 바꿀 필요가 있는 것이다. 물론 값싼 전력의 안정적인 공급만을 추구하던 에너지 소비자들의 태도와 문화도 변화가 있어야 한다. 이런 주장이 타당하면, 에너지전환은 단지 에너지원과 그것을 활용하는 기술의 변화를 넘어서 대단히 심대한 사회적 변화까지도 함의하는 것이다.

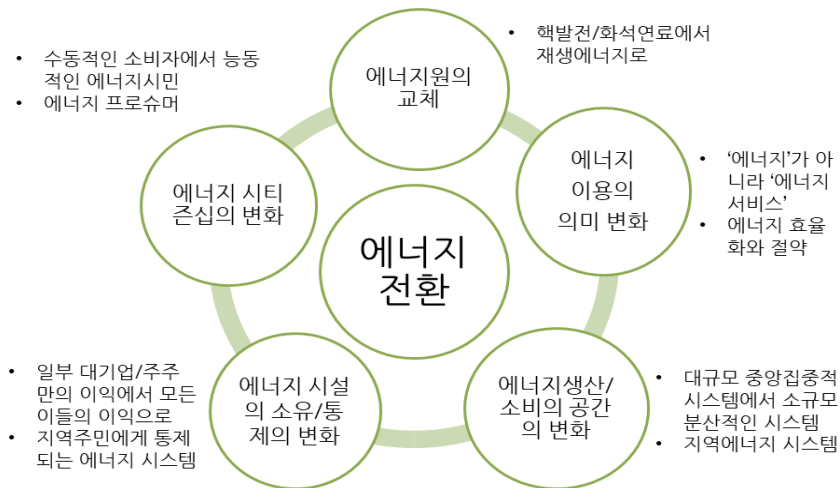
에너지전환의 사회-기술 시스템 전환론은 전환이 왜 어려운지 그리고 어떻게 이루어질 수 있는지를 설명해준다. 하나의 시스템은 자신을 유지·강화하려는 관성을 가지고 있다.

자신의 경로에서 벗어나서 새로운 경로로 들어서려는 것에 저항한다는 것이다. 이는 왜 에너지 전환이 쉽지 않은지를 설명해준다. 그렇다면 어떻게 기존의 시스템을 약화시키고 변화시킬 수 있을까? 해당 시스템의 외부에서 변화의 압력을 가하는 거시환경과 시스템 내부에서 일어나는 새로운 변화의 씨앗들이 적절히 조응하면서 기존 시스템의 구성 요소들을 대체하거나 변화시키고 그 관계를 재조정하면서 이루어진다.¹⁾ 즉 파리 기후협약이나 신정부의 에너지 전환 정책 등의 거시환경에서의 변화 압력과 에너지자립마을이나 에너지협동조합 등과 같은 새로운 전환 시도들이 조응하고 이들이 상호 연결되어 강화되면서, 점진적으로 기존의 에너지 시스템을 변화시켜 나갈 수 있다는 것이다.

2) 에너지전환의 다차원성²⁾

(1) 에너지원의 변화와 에너지 효율성 혁명

앞서 사회-기술 시스템의 전환론에 암시하였던 것처럼, 에너지전환은 하나의 차원이 아니라



〈그림 2-2〉 에너지전환의 다차원성

- 1) 다층적 관점(multi-level perspective)와 전략적 틈새 관리(strategic niche management) 등 사회-기술 시스템의 전환 이론에 전반적이고 체계적인 논의는 송위진 외(2017)를 참조할 수 있다.
- 2) 이 부분은 한재각(2017)의 내용 일부를 활용한 것임을 밝힌다.

보다 다양한 차원에서 검토되어야 할 문제다(한재각, 2015; <그림 2-2> 참조). 흔히 ‘에너지전환(energy transition)’이라고 하면 ‘위험하고 더러운’ 에너지원인 핵에너지와 석탄/석유 등의 화석연료 사용을 줄이고 태양광과 풍력과 같은 ‘안전하고 깨끗한’ 에너지원으로 대체하는 것으로 생각하는 경향이 많다. 틀린 이야기는 아니다. 하지만 이것만으로는 부족하다. 사실 에너지 전환은 에너지 이용의 의미부터 변화하는 과정을 포함한다. 우리가 에너지를 필요로 하려는 목적은 그것을 사용하였을 때 얻고자 하는 ‘에너지 서비스’에 맞춰져 있다. 에너지 이용자들은 에너지 그 자체가 필요한 것이 아니라 ‘시원함’, ‘따뜻함’, ‘밝힘’ 등의 형용사로 표현되는 에너지 서비스를 원하는 것이다. 만약에 동일한 에너지 서비스를 얻는데 들어가는 에너지 소비량이 줄거나 아예 사용하지 않을 수 있다면 그렇게 하지 않을 이유가 없다. 즉 동일한 에너지 서비스를 보다 효율적으로 얻을 수 있는 방법을 찾아내는 것이 중요하다. 이를 통해서 에너지 소비가 지속적으로 증가해왔고 앞으로도 증가할 것이라는 관찰과 예측에서 벗어나는 것이 무엇보다도 중요하다. 다시 말해서 재생에너지로 에너지 전환을 전환하기 전에, 에너지 효율화와 절약을 통해서 (적어도 1인당) 에너지 사용량을 줄여가는 것이 필요하다는 것이다. 즉, 에너지 효율성 혁명이 필요한 것이다(로빈스·헤니케, 2001).

(2) 에너지원 생산과 소비 공간적 분리 극복

이상의 두 차원에 대한 논의가 상대적으로 에너지 기술적 측면에 무게를 둔 것이라면, 다음 두 가지 차원은 에너지 생산, 공급 그리고 배분을 어떻게 사회적으로 조직할 것인가 하는 점에 상대적으로 초점을 맞춘 것이라고 할 수 있다. 현재의 전력 시스템은 생산 지역과 소비 지역이 크게 분리되어 있다. 전국 석탄발전소의 거의 50%가 충남의 몇몇 지역(당진, 태안, 보령, 서천)에 집중되어 있으며, 가동 중인 핵발전소의 절반 가량이 경북의 몇몇 지역(울진, 월성)에 집중되어 있다. 서울을 포함한 수도권이 전체 전력의 40% 내외를 소비하고 있지만 지역 내의 전력 생산량은 소비량에 크게 못 미치고 있다. 그리고 이처럼 분리되어 있는 전력 생산과 소비 지역은 송전 손실을 줄이기 위해서 초고압 송전선로를 통해서 연결한다. 이것은 대규모 중앙집중적 전력 시스템의 전형적인 모습이라고 할 수 있다. 그리고 그로부터 ‘에너지 부정의’가 양산되는 것이다. 전력을 소비함으로써 혜택을 얻는 지역(주민)과 이를 생산하고 전송하는 과정에

서 희생을 감내해야 하는 지역(주민)들이 극적으로 분리되어 있는 것이다. 핵발전소가 가동되거나 건설을 추진했던 고리, 월성, 영광, 울진, 삼척, 영덕, 석탄발전이 밀접한 당진, 태안, 보령, 서천, 초고압 송전탑으로 갈등을 겪었던 밀양과 청도 등의 수많은 지역에서 벌어진 사회적 부정의의 원인을 전력 생산과 소비의 공간이 구조적으로 분리되어 있다는 점에서 찾을 수 있다. 이에 따라서 해당 지역에서 소비하는 전력은 같은 지역에서 생산하여 공급한다는 소규모 지역 분산적인 전력 시스템의 필요성이 강조되고 있는 것이다. 이것이 에너지전환의 세 번째 차원을 구성한다.

(3) 에너지 시설의 소유/운영/관리/통제의 변화

한편 에너지 생산, 공급 및 배분 시설을 누가 소유·운영·관리·통제할 것인가 하는 차원도 검토가 필요하다. 현재 한국의 전력산업은 거대공기업인 한전/발전자회사와 일부 민간 발전사가 독·과점하고 있는 상황이다. 지배적인 전력산업 행위자인 한전과 발전자회사들은 개발주의 시대에 확립한 ‘공공성’ 원칙과 1990년대 말부터 시작한 신자유주의 ‘시장성’ 원칙이 뒤섞인 속에서 운영되고 있다. 이에 따라서 환경적·사회적 외부 비용을 고려하지 않은 저렴한 발전원에 집착하면서 전력 공급 능력을 지속적으로 확대하면서도, 기업의 운영은 민주적 통제 밖에 있으며 상당수의 영업 이익이 해외 투자자를 비롯한 주주들에 귀속되고 있는 상황이다. 이들은 기존의 경제적·관료적 이해관계에 매달리면서 에너지전환 자체에 소극적인 경향을 가지고 있으며, 에너지전환이 불가피하다면 그 속에서 자신들의 기존 이해관계를 유지할 수 있는 방안을 찾을 때까지 늦추기를 바라고 있다. 즉 대규모 중앙집중적인 방식으로 재생에너지를 확대하면서 다른 전력사업자들의 등장을 봉쇄하거나 그들에 대한 지배적인 지위를 유지할 방안을 추구하고 있다. 대기업 중심의 발전사업자들도 역시 이익을 최대화할 수 있는 방식으로 움직이면서 민주적 통제를 벗어나기를 바라고 있다. 에너지전환은 지역분산적인 에너지 시스템의 속성에 부합하도록 지역사회/주민들에 의한 소유·운영·관리·통제를 가능하게 하는 산업/조직 구조를 추구할 필요가 있다. 그 방안 중에 하나로 지역에너지공사 혹은 지역사회에 기반을 둔 에너지협동조합 등을 구상해볼 수 있다(이와 관련한 보다 자세한 논의는 한재각·이정필·김현우(2017)를 참조할 것).

(4) 능동적인 에너지 시민성의 발현

에너지전환의 마지막 차원은 ‘에너지 시민성’에 관한 논의다. 현재의 에너지 시스템 내에서 에너지 이용자들은 값싸고 안정적인 에너지 공급에만 관심을 가지는 ‘수동적 소비자’로 간주되고 있다. 현재 쓰고 있는 전력이 어떻게 생산되고 공급되고 있는지, 그 과정에서 어떤 환경적·사회적 영향이 있는지, 적절한 비용은 지불하고 있는지, 다른 대안이 없는지 등에 대해서 크게 관심을 두지 않았다. 그러나 다양한 역사·사회적 사건을 경험하면서 새로운 에너지 시민성을 갖춘 능동적인 시민들이 등장하고 있다. 보다 안전하고 깨끗하며 정의로운 에너지를 사용할 필요성을 느끼며 이를 위해서 에너지 효율화/절약 행동에 나서며, 일부이기는 하지만 지금껏 외면되어 왔던 사회적·환경적 비용까지 지불할 의사를 밝히고 있다. 나아가 직접 재생에너지 생산에까지도 참여하는 ‘에너지 프로슈머’로 변화하고 있다.

2. 에너지 시나리오의 이해_정부 에너지계획 검토를 중심으로³⁾

1) (지역)에너지계획, 시나리오 그리고 모델링

(1) (지역)에너지계획

정부는 체계적인 에너지정책의 수립과 추진을 위해서 <녹색성장기본법>(41조)와 <에너지법>(7조)을 통해 국가에너지계획과 지역에너지계획을 수립하도록 하고 있다. 중앙정부는 국가에너지기본계획을 20년을 계획 기간으로 하여 매 5년마다 수립해야 하며, 광역 지자체는 지역에너지계획을 5년을 계획 기간으로 하여 매 5년마다 수립해야 한다. 그리고 이런 계획들에 필수적으로 담겨야 할 항목들을 정하고 있는데, 예를 들어서 “에너지 수급의 추이와 전망에 관한 사항”, “에너지의 안정적인 공급을 위한 대책에 관한 사항” 등이다(보다 자세한 내용은 아래 <표 2-1>를 참조). 즉, 에너지계획이 수 년 혹은 수십 년 후의 에너지의 수요와 공급 등에 관한

3) 이 부분은 권승문(2017)의 내용을 대폭 수정보완한 것임을 밝힌다.

전망과 달성해야 할 목표를 제시하도록 되어 있다는 것이다. 이는 필연적으로 미래를 어떻게 예측할 것인지 또한 바람직한 미래가 무엇이며 어떻게 달성할 수 있는지에 관한 질문을 하도록 만든다. 그리고 이 질문들은 다음 소절에서 다루는 에너지 사나리오와 연결이 된다. 즉, (지역) 에너지계획을 수립하는 과정에서 하나의 도구로서 에너지 시나리오를 활용하게 된다는 것이다.

〈표 2-1〉 국가에너지계획과 지역에너지계획에 포함되어야 할 사항

국가에너지계획	지역에너지계획
<ul style="list-style-type: none"> • 국내외 에너지 수요와 공급의 추이 및 전망에 관한 사항 • 에너지의 안정적 확보, 도입·공급 및 관리를 위한 대책에 관한 사항 • 에너지 수요 목표, 에너지원 구성, 에너지 절약 및 에너지 이용효율 향상에 관한 사항 • 신·재생에너지 등 환경친화적 에너지의 공급 및 사용을 위한 대책에 관한 사항 • 에너지 안전관리를 위한 대책에 관한 사항 • 에너지 관련 기술개발 및 보급, 전문인력 양성, 국제협력, 부존 에너지자원 개발 및 이용, 에너지 복지 등에 관한 사항 	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지수급의 추이와 전망에 관한 사항 • 에너지의 안정적 공급을 위한 대책에 관한 사항 • 신·재생에너지 등 환경친화적 에너지 사용에 대한 대책에 관한 사항 • 에너지 사용의 합리화와 이를 통한 온실가스의 배출 감소를 위한 대책에 관한 사항 • 〈집단에너지법〉 제5조 제1항에 따라 집단에너지공급대상지역으로 지정된 지역의 경우 그 지역의 집단에너지 공급을 위한 대책에 관한 사항 • 미활용 에너지원의 개발·사용을 위한 대책에 관한 사항 • 그 밖의 에너지정책 및 관련 사업을 위하여 시도지사가 필요하다고 인정한 사항

(2) 에너지 시나리오

(특히, 장기적인) 미래는 불확실하고 불확정적이기 때문에, 많은 기관들은 이를 파악하고 대응하기 위해서 미래 예측 방법의 하나인 시나리오 기법을 사용하고 있다. 미래에 일어날 개연이 높고 인간과 사회에 미칠 영향을 클 ‘가능성’을 추려내고 분석하여 바람직한 미래의 비전을 찾고 전략을 개발하는 방법이라고 할 수 있다(미래기획위원회, 2009). 에너지 시나리오도 이와 비슷하게 현재의 상황을 분석하고 그로부터 개연성 있는 ‘에너지 미래’를 탐색하면서 바람직한 비전을 모색하는 것이라고 할 수 있다. 특히 에너지 시나리오는 에너지의 생산과 소비 등의

사회적 기능을 수행하는 시스템의 구성과 운영에 관심을 두면서, 미래 특정 시점에서 국가, 지역, 집단 등이 어느 정도의 에너지를 사용할지, 또 그 에너지를 어떤 방식으로 얻게 될 지에 대해서 예측 혹은 구상한 결과라고 할 수 있다. 이런 점에서 대부분의 정부 및 지자체의 지역 에너지계획은 어떤 방식으로든 에너지 시나리오 작업에 기반하고 있는 것이라고 할 수 있다.

그러나 미래가 미리 정해져 있는 것이 아니며 여러 가능성이 공존하기 때문에, 에너지 시나리오 역시도 하나만 존재해야 하는 것은 아니다. 분석가들은 바람직한 미래를 탐색하고 이에 도달하기 위한 경로를 제시하는 에너지 시나리오를 복수로 만들고, 의사결정자들 혹은 폭넓은 대중들이 이에 대해서 검토·토론하여 선택할 수 있도록 제공하는 경우가 많다. 복수의 시나리오들은 동일한 방향에서 목표의 강도만을 달리 할 수도 있고, 아니면 다양하게 해석될 수 있는 비전을 여러 방향으로 구체화하면서 다양한 전환 경로를 제시할 수도 있다. 이런 시나리오들 중에서 어떤 선택을 할 것인지는 토론을 통해서 결정될 것이다. 따라서 에너지 시나리오는 바람직한 미래 비전과 이에 도달하기 위한 정책에 관한 의사결정을 돕는 도구이자, 이와 관련된 폭넓은 사회적 토론을 촉진시키는 매개가 될 수 있다.

예를 들어, 분석가들은 미래의 에너지 시스템이 공급안전성과 경제성에 입각해서 운영되어야 한다는 규범적 미래를 제시하고 이를 충족시키기 위한 핵발전소와 석탄발전소 중심의 전원 구성을 담은 시나리오와 지속가능성과 사회적 형평성을 보장하는 미래 에너지 시스템을 위해서 재생에너지를 중심으로 전원을 구성한다는 시나리오를 동시에 제시할 수 있다. 각 시나리오들은 나름의 바람직한 미래상을 제시하면서, 이에 도달 할 수 있는 기술적·경제적·사회적 전략을 담고 있는 것이다.

(3) 에너지 모델링

에너지 시나리오는 앞서 <그림 2>에서 보듯이 일상적인 언어(혹은 그림)를 사용하여 개념적인 방식으로 수립될 수 있지만, 대개의 경우는 과거의 데이터를 활용하여 미래 특정 시점의 상황을 수치로 제시하는 경우도 많다. 전자를 질적 에너지 시나리오라고 하고, 후자를 양적 에너지 시나리오라고 구분해볼 수 있을 것이다. 양적 에너지 시나리오를 작성하기 위해서는 에너지 모델링 작업이 필요하다. 에너지 모델이란 한 국가, 지자체 혹은 집단의 에너지 생산,

공급 그리고 소비를 가능하게 하는 현재 시스템을 데이터와 수식 등으로 재현하는 것을 의미한다. 예를 들면 한 지자체가 현재 어느 정도의 에너지를 소비하고 있으며 이를 어떤 에너지원으로 공급하고 있는지를 수치—예를 들면, 엑셀 표 등을 통해서—로 보여주는 것이다. 보다 정교한 분석을 위해서 소비 부문을 산업, 가정, 상업, 교통, 공공 등으로 세분화할 수 있으며, 공급 부문도 전력, 열, 가스, 연료 등의 최종에너지원별로 나눠서 과거 데이터셋을 구축할 수 있다. 필요하고 또 가능한 경우에 소비와 공급 부문을 더욱 세밀하게 구분하여 데이터셋을 만들 수도 있다. 물론 기존 데이터의 한계 그리고 인력과 시간의 제약을 고려하여 판단해야 할 문제이기도 하다.

한편 에너지 소비나 공급에 관한 데이터만으로 에너지 모델이 구축되는 것은 아니다. 에너지 모델은 에너지 시스템에 영향을 미치는 외부적 요인들(이를 ‘주요전제’라고 표현하기도 한다)이나 반대로 영향을 미치는 외부 효과도 재현하게 된다. 예를 들어서 에너지 수요에 영향을 미치는 요소로서 많은 경우 경제성장, 인구구조, 기후변화(기온 등) 등을 묘사할 수 있는 데이터셋들을 포함하고, 더불어 이런 요인들이 에너지 시스템의 특정 측면과 어떻게 연계되어 있는지에 대한 (대개의 경우 수식으로 표현되는) 인과적 지식도 포함한다. 그리고 에너지 모델에 이런 데이터셋과 인과적 지식이 포함되면서, 미래의 에너지 상태에 대한 전망이 가능해진다. 즉 미래에 GDP가 얼마나 증가/감소/정체될 것인가에 대해서 결정되면, 앞으로 총에너지 수요가 어떻게 될 것인지 예측할 수 있게 되기 때문이다(특히, 포캐스팅(forecasting) 방식의 에너지 모델링에서는 더욱 그렇다). 또한 에너지를 생산하고 소비하는 과정에서 야기되는 환경적 영향(예를 들어, 온실가스 배출량)에 대한 효과나 경제적 비용에 대해서도 분석할 수 있도록 에너지 모델이 구축되기도 한다. 즉, 어떤 에너지를 사용하였을 때 어느 정도의 비용을 필요로 하며, 다른 한편에서는 어느 정도의 온실가스를 배출하는지에 대한 데이터셋과 인과적 지식을 포함하는 것이다.

그런데 이와 같은 미래의 에너지 시스템을 과거 추이로부터 연장하여 추정하는 포캐스팅 방식이 가지는 문제점 때문에, 백캐스팅(backcasting) 방식의 에너지 모델링의 필요성이 제기되고 있다. 계속 에너지 수요가 증가해오던 과거 추이를 미래로 연장할 경우에 온실가스 배출의 증가라는 지속불가능성 문제가 제기될 수 있기 때문에, 바람직한 미래의 에너지 수요량 그리고 이용하는 에너지원의 구성 목표 등을 규범적으로 정하고 이에 도달할 수 있는 방안을

찾아내는 방식이다. 에너지전환의 시나리오는 지금까지의 에너지 시스템을 구조적으로 변화시킨다는 점에서 포캐스팅에 의존하기 보다는 백캐스팅 방식을 활용하는 경우가 많다.

2) 정부의 에너지기본계획과 에너지 시나리오의 이해

정부의 에너지기본계획은 에너지 부문의 모든 분야를 총망라하며, 다른 에너지 관련 계획들과 체계적으로 연계하고 거시적인 관점에서 조정하는 종합계획이다. 에너지기본계획은 중장기 에너지정책의 기본 철학과 비전 제시를 주목적으로 하며, 이를 달성하기 위해 주요 목표들을 함께 제시한다. 아래에서는 제2차 에너지기본계획(이하, 2차 에너지본)에서 포함되어 있는 에너지 시나리오 그리고 모델링의 과정과 결과에 대해서 검토하면서 이해를 높여보자. 이 계획 수립의 실무는 에너지경제연구원이 맡았다.

(1) 주요 전제의 결정

에너지경제연구원은 에너지 수요를 전망하기 위해서는 경제성장률, 인구 및 가구, 국제유가, 산업구조 등의 변화를 고려하고 있다. 2차 에너지본에서도 2035년 전망을 위해 이러한 요인들을 주요 전제로 했다. 경제성장률은 전망 기간(11~35년) 중 연평균 2.8% 성장할 것으로 전망했다. 한국개발연구원(KDI)에서 생산함수 접근법⁴⁾을 이용해 전망한 장기 경제성장률을 이용했다. 인구는 전망 기간 중 연평균 0.17% 증가(30년 이후 감소)하는 것으로, 가구는 1인 가구 증가의 영향으로 인구보다 빠른 연평균 0.19% 증가할 것으로 전망했다. 통계청이 2010년에 수행한 인구주택총조사 결과를 반영한 것이다. 두바이 유가는 전망 기간 중 연평균 1.2%씩 상승해 2035년에 배럴당 140달러에 이를 것으로 전망했고, 국제에너지기구(IEA)에서 2012년 발표한 IEA 회원국의 평균 원유수입가격 증가율을 사용했다(아래 <그림 2-2> 참고)..

4) 과거 GDP증가율을 노동·자본·중요소생산성 등 생산요소의 기여분으로 분해하고, 각 요인에 대한 전망치를 합산하여 경제성장률을 전망하는 방법

【 주요 전제치 】

구 분	2011	2035	연평균 증가율(%)
GDP(조원)	1,082	2,101	2.80
인구(백만명)	49.8	51.9	0.17
국제유가 (두바이,\$/bbl)	106.0	139.8	1.16

(연평균 증가율)

〈그림 2-3〉 제2차 에너지기본계획의 주요 전제치

산업구조 측면에서는 에너지 다소비업종의 성장세가 크게 둔화하는 반면, 조립금속업(일반 기계, 자동차, 조선, 통신기기, 반도체 등)이 경제성장을 주도할 것으로 전망했다. 산업연구원(KIET)이 한국은행의 국민계정과 자체 개발한 'KIET-DIMM12'모형을 이용해 업종별 부가가치와 산업구조를 전망했다(아래 <표 2-2> 참고). 이처럼 에너지경제연구원은 다른 기관들이 작성한 전망치를 받아서 적절히 선택·활용하고 있는 것이다.

〈표 2-2〉 제2차 에너지기본계획의 산업구조 전망 *출처: 산업부(2014)

구분	2011	2025	2030	2035	연평균 증가율 (%)
농림어업·광업	31.3	32.1	31.0	29.3	-0.27
제조업	351.6	600.0	685.1	761.9	3.28
- 석유화학·비금속·철강	87.1	112.7	117.5	118.8	1.30
- 조립금속업	221.2	440.7	522.2	600.5	4.25
SOC(건설업 등)	87.6	115.8	122.5	127.0	1.56
서비스업	610.0	929.7	1,057.9	1,182.0	2.79

*주: 서비스업은 도소매/음식숙박, 운수창고/통신, 금융보험, 부동산/사업서비스, 교육서비스, 보건/사회복지사업, 기타서비스업으로 구성

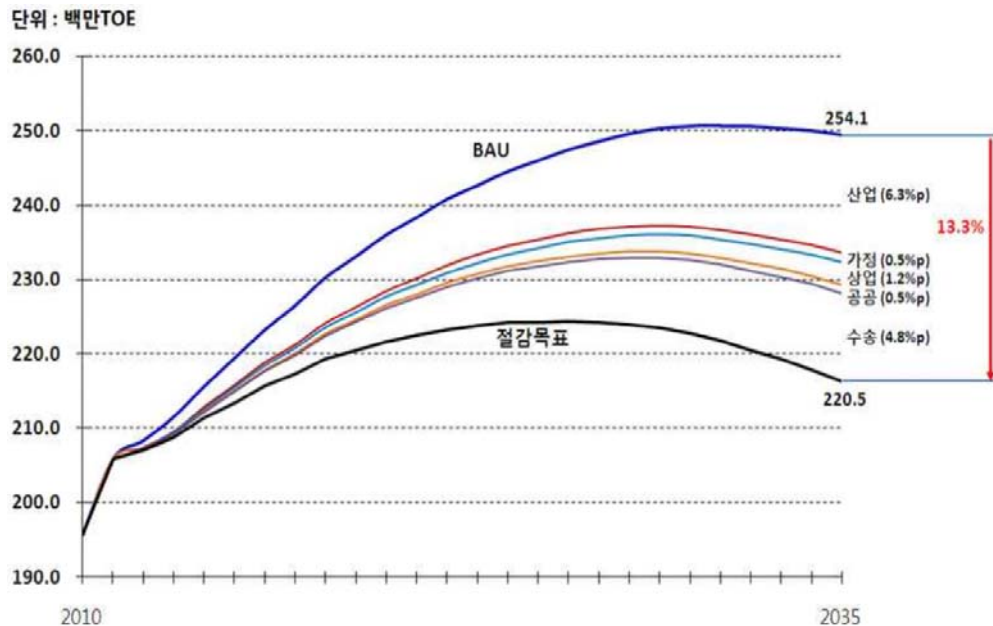
(2) 기준전망(BAU)과 목표수요의 전망

에너지경제연구원은 기준 경제성장률 하에서 정부의 추가 정책이 없고, 경제주체의 과거 에너지사용 행태가 미래에도 지속된다는 가정에서 2차 에기본에서의 BAU(기준 수요 전망)를 산출하였다. 즉 현재의 정책여건과 소비패턴 등이 그대로 유지된다는 가정 하에 미래에 가장 실현 가능성이 높은 수요를 전망했다는 것이다. 전기요금 정상화와 수요관리 정책강화 등을 통한 수요감축 기대효과는 기준 수요 도출시가 아닌 최종 수요(목표 수요) 확정시에 반영했다.

2차 에기본의 2035년 총에너지(BAU) 수요는 전망 기간('11~'35년) 중 연평균 1.32% 증가하고, 최종에너지 수요는 경제성장세 둔화, 인구 정체 등으로 연평균 0.88% 증가하는 것으로 전망했다. 에너지 원단위는 2011년 0.255(TOE/백만원)에서 매년 1.4%씩 개선돼 2035년 0.180 수준으로 하락한다. 즉, 원단위가 30% 개선되는 것이다. 2035년 목표 수요는 기준 전망 대비 최종에너지 소비를 2035년까지 13.3% 감축하는 것인데, 부문별로 보았을 때 산업부문이 감축의 47%를 담당하고, 수송(38%), 상업(9%)의 순으로 에너지소비를 절감해야 한다(아래 <표 2-3>과 <그림 2-4>를 참조).

<표 2-3> 2차 에기본의 기준전망과 목표전망 *자료: 산업부(2014)의 재구성

구분		2011	2025	2030	2035	연평균 증가율(%)
기준 전망	총에너지수요 (백만TOE)	275.7	354.1	369.9	377.9	1.32
	최종에너지수요 (백만TOE)	205.9	248.7	254.3	254.1	0.88
	에너지원단위 (TOE/백만원)	0.255	0.211	0.195	0.180	△1.44
목표 전망	최종에너지수요 (백만TOE)	205.9	226.7	226.0	220.5	0.29
	감축율	-	△8.9	△11.1	△13.3	-



〈그림 2-4〉 제2차 예기본 부문별 수요 감축목표 * 출처: 산업부(2014)

(3) 에너지 공급의 전망

에너지 공급은 부문별·원별 에너지수요 전망에 따라 결정된다. 에너지수요는 부문별·원별로 각각 다른 형태를 보인다. 예를 들어, 가정과 산업의 원별 에너지수요 패턴이 같을 수는 없다. 또 원별 에너지수요도 산업구조의 변화, 에너지요금의 변화, 냉난방 등 가정에서의 에너지 변화, 전력수급계획 등 국가 에너지공급 계획에 변화에 따라 다른 추세를 보인다. 제2차 예기본에서는 1차 철강, 석유화학, 조립금속업의 설비투자와 생산 활동이 증가하고, 낮은 전기요금으로 타 에너지원에서 전기로 소비가 집중되는 전환수요가 급증할 것을 감안해 부문별·원별 에너지 수요를 전망했다. 이후 목표 수요를 감안해 원별 최종에너지를 전망했다. 전력과 도시가스, 열 에너지, 신재생(비전력) 에너지가 증가하는 반면, 석탄과 석유는 정체되거나 감소하는 것으로 전망했다.

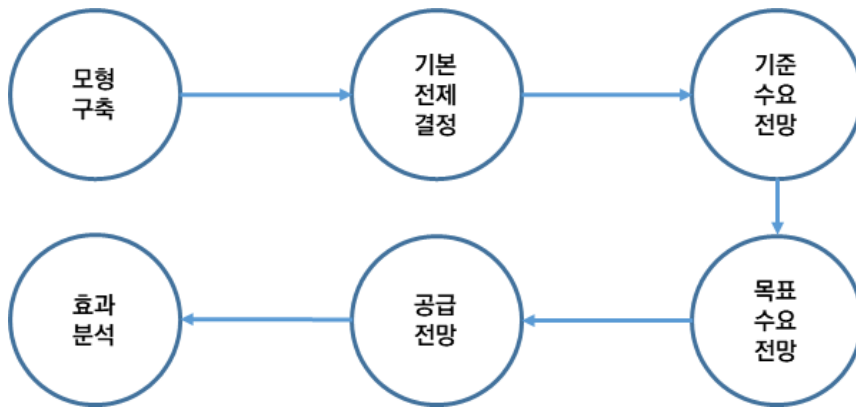
〈표 2-4〉 제2차 에기본의 원별 최종에너지 전망 *출처: 산업부(2014)

구분	2011	2025	2030	2035	연평균 증가율(%)
석탄(백만TOE) (점유율 %)	33.5 (16.3)	34.7 (15.3)	35.3 (15.6)	34.4 (15.6)	0.1
석유	102.0 (49.5)	96.2 (42.4)	88.8 (39.3)	80.3 (36.4)	△0.99
도시가스	23.7 (11.5)	31.4 (13.8)	33.0 (14.6)	33.8 (15.4)	1.50
전력	39.1 (19.0)	53.3 (23.5)	57.1 (25.3)	59.9 (27.2)	1.79
열에너지	1.7 (0.8)	2.8 (1.2)	3.0 (1.3)	3.2 (1.5)	2.72
신재생(非전력)	5.8 (2.8)	8.3 (3.7)	8.7 (3.8)	8.8 (4.0)	1.71

*주: 서비스업은 도소매/음식숙박, 운수창고/통신, 금융보험, 부동산/사업서비스, 교육서비스, 보건/사회복지사업, 기타서비스업으로 구성

(4) 시나리오 개발의 논리적 순서 및 몇 가지 토론

이상에서 검토한 것에 바탕을 두고, 에너지 시나리오 개발의 논리적 순서를 정리해보도록 하자. 에너지 시나리오 개발은 질적 시나리오와 양적 시나리오의 유기적인 관계 설정에서부터 시작된다. 에너지 시나리오 개발의 목적에 따라 질적 시나리오의 구성을 달리할 수 있고, 양적 시나리오는 에너지 시나리오의 목적과 질적 시나리오의 구성을 감안해 에너지 모형을 구축한다. 에너지 모형을 구축하기 위해서는 먼저 에너지 수요를 결정하는 것으로 가정하는 기본 전제를 결정해야 한다. 예를 들어, 가정 부문의 에너지 모형을 구축하려면, 가구 면적, 구성원 수, 가전 제품의 종류 및 수 등을 기본 전제로 설정할 수 있다. 기본 전제의 변화 전망에 따라 기준 수요 전망이 결정되고, 여러 가지 정책 변화와 환경을 가정해 목표 수요를 전망한다. 에너지공급은 사실상 기준 수요와 목표 수요를 전망하는 과정에서 결정된다. 이에 따른 효과 분석은 시나리오 목적에 따라 구성될 수 있다.



〈그림 2-5〉 시나리오 개발의 논리적 순서

한편 제2차 에기본의 기준 및 목표 수요 그리고 공급 전망 과정을 통해, 에너지전환 시나리오 구상을 위해서 고려해야 할 몇 가지 사항을 도출할 수 있다. 첫째, 에너지 수요를 전망하기 위한 주요 전제인 경제성장률과 인구, 국제유가, 산업구조 등이 모두 독립변수로 가정된다는 점이다. 즉 주요 전제는 에너지 수요 전망 결과를 가져오는 원인이 되는 변수로서, 에너지 계획 수립과는 별개로 외부에서 주어지는 것이다. 그런데 대개의 경우 그 전제들이 에너지 수요의 지속적인 성장을 필요한 방향으로 설정되기 때문에, 에너지전환 시나리오를 구상할 경우 주요 전제의 변화도 적극적으로 고려할 필요가 있다. 둘째, 에너지효율지표인 에너지 원단위가 목표 수요 설정에 핵심적인 요소라는 점이다. 주요 전제가 고정된 상황에서 제2차 에기본에서의 부문별 감축 목표는 에너지 원단위에 의해서 좌우될 수밖에 없다. 에너지전환 시나리오를 구성할 때, 부문별 에너지 원단위 현황과 전망, 목표를 이루기 위한 정책 과제를 제시할 필요가 있다. 셋째, 에너지원별 기준 수요 및 목표 전망에 대한 정확한 방향 제시가 필요하다. 에너지 원별 공급의 변화에 따라 온실가스, 미세먼지, 핵폐기물 등의 환경영향이 크게 달라질 수 있는 만큼 이점을 명확히 검토하면서 에너지원별 공급을 전망해야 한다.

3. 토론 및 시사점

정부의 에너지계획 속에 포함된 에너지 시나리오를 검토하면서, 에너지전환 시나리오를 모색하는데 도움이 될 수 있는 몇 가지 시사점을 정리해보록 하자.

첫째, 다양한 주요 전제를 기반으로 다양한 대안적 시나리오 구성이 필요하다. 기존 정부의 에너지 시나리오에서는 수요를 전망하기 위한 주요 전제인 경제성장률과 인구, 국제유가, 산업구조 등이 모두 독립변수로 가정하고 있다. 그런데 대개의 경우 그 전제들이 에너지 수요의 지속적인 성장을 필요한 방향으로 설정되기 때문에, 에너지전환 시나리오를 구상할 경우 주요 전제의 변화도 적극적으로 고려할 필요가 있다. 한국개발연구원의 경제성장률 전망뿐만 아니라 한국은행의 경제전망, 국회예산정책처의 재정전망 자료를 고려한다면, 다양한 경제성장 시나리오에 따른 대안 에너지 시나리오 구성이 가능하다. 에너지경제연구원(2016)도 3개의 경제성장 시나리오를 바탕으로 에너지수요를 전망했다. 산업연구원의 산업구조 전망뿐만 아니라 주요 OECD 국가들의 산업구조를 반영한 대안 에너지 시나리오를 구성할 수도 있다.

둘째, 부문별 에너지 수요 목표와 이를 달성하기 위한 정책 과제를 제시할 필요가 있다. 일반적으로 구분하는 가정, 상업, 공공, 수송, 산업별 에너지 수요 전망과 목표 수요를 선정하고, 부문별 에너지 소비 감축 과제를 제시할 수 있다. 산업부문의 경우는 에너지소비 비중이 높은 만큼 제조업종별 에너지 수요 전망과 목표를 제시해야 한다. 국가 온실가스 감축 목표에서도 업종별 목표를 정하고 있는 만큼 에너지 계획에서도 업종별 세분화된 목표 제시는 충분히 가능하다. 에너지효율지표인 에너지 원단위가 목표 수요 설정에 핵심적인 요소다. 주요 전제가 고정된 상황이라면, 부문별 감축 목표는 에너지 원단위에 의해서 좌우될 수밖에 없다. 에너지 전환 시나리오를 구성할 때, 부문별 에너지 원단위 현황과 전망, 목표를 이루기 위한 정책 과제를 제시할 필요가 있다.

셋째, 에너지 공급 측면에서는 재생에너지원별 공급 목표 설정과 확대를 위한 정책적 과제가 제시되어야 한다. 재생에너지를 목표연도까지 얼마만큼 공급하겠다는 내용의 에너지 시나리오들은 최근 들어 많이 발표되고 있지만, 재생에너지원별 특성을 고려한 에너지믹스 목표는 제대로 제시되지 못하고 있다. 또 재생에너지의 간헐성과 수용성 문제를 해결하기 위한 정책 과제도 구체적으로 제안해야 한다.

넷째, 경제성장과 산업구조 등 주요 전제와 에너지수요와 공급, 온실가스 감축, 에너지 비용을 아우르는 종합적인 에너지 비전을 마련해야 한다. 저성장 국면에서 대안 에너지 시나리오는 어떻게 구성되어야 하는지, 산업구조 개편에 따라 에너지 수요와 일자리 정책은 어떠한 방향으로 변화할 것인지에 대한 청사진이 있어야 한다. 탈핵과 탈석탄으로 대표되는 에너지원의 전환은 중차대한 과제임이 틀림없다. 하지만 ‘에너지전환’은 단순히 에너지원의 전환만을 의미하지 않는다는 점을 다시 상기할 필요가 있다. 에너지원의 전환을 수반하는 경제·산업·사회 전반의 전환이 이뤄져야 ‘에너지전환’이 가능하기 때문이다.

다섯째, 수치화된 에너지 모델링을 통해서 재현되지 않는 쟁점들에 대해서는 별도로 검토가 필요하다. 제2차 예기본의 시나리오와 모델링은 에너지를 어디에서 생산하고 어디에서 소비할 것인지, 또 에너지 생산·배분·공급 시설과 사업체는 누가 소유하고 어떻게 운영·통제할 것인지에 대해서는 이야기하고 있지 않다. 또한 ‘에너지시민’은 어떤 역할을 하게 되는 것인지도 명확하지 않다. 현재의 에너지 시스템의 구조적 측면을 그대로 전제하고 있기 때문이다. 따라서 에너지전환의 다차원성을 담아내기 어렵다. 에너지전환 시나리오는 상대적으로 양적인 측면에 초점을 맞추는 에너지 모델링만이 아니라, 질적인 측면을 포착하는 ‘에너지 스토리’까지도 함께 포함해야 한다.

제3장 해외 에너지 시나리오의 검토

1. 영국의 2050년 저탄소 에너지전환 시나리오

1) 개요

영국 정부는 2008년에 기후변화법을 제정하면서 2050년의 저탄소 목표를 제시하였다. 즉, 1990년 대비 온실가스 배출량을 80% 감축하겠다는 것이다. 이런 목표를 달성할 수 있는 방법을 모색하기 위해서 많은 연구자들이 다양한 저탄소 에너지전환 시나리오를 개발하고 있다. 아래에서 소개하는 것은 리즈 대학 지속가능성 연구소의 연구자가 중심이 되어서 2012년부터 개발한 저탄소 에너지전환 시나리오다. 이 시나리오는 다양한 에너지전환 경로를 개발하기 위해서 ‘행동 공간’이라는 개념을 활용하였는데, 서로 다른 행위자들은 에너지에 대한 다른 논리나 프레임을 갖고 있기에 에너지를 선택하여 저탄소 미래를 구성하는데 큰 차이를 갖고 있다고 여긴다(Foxon, 2013). 이에 따라서 시장, 정부, 시민사회 행위자를 중심으로 ‘시장규칙’의 경로, ‘중앙조정’의 경로, 그리고 ‘수천 송이 꽃’ 경로라는 세가지 시나리오를 제시하고 있다.

2) 세 개의 대안 시나리오

(1) ‘시장 규칙(Market Rule)’의 경로

시장 중심의 전환경로 즉, ‘시장의 규칙’은 시장 논리가 영국 에너지 시스템의 거버넌스에서 지배적인 위치를 지속적으로 갖는다고 상상하는 것이다. 이 전환경로는 오늘날과 비슷하게 자유화되고 사유화된 전력 및 가스 산업을 가진 거버넌스 체제에 기반을 두고 있다. 이런 경로 아래에서는 지배적인 논리는 시장이 된다. 정부의 목표를 성취하는 가장 좋은 방법은 정부가

일반적인 고위 정책 목표를 설정하고 행위자(여기에서는 주로 거대 에너지 기업)가 그것을 실행하는 것으로 여겨진다. 이 경로는 산업, 상업, 교통 그리고 가정의 난방과 온수를 위한 전력 소비가 증가한다고 예측하였다. 이것은 2050년 전력 시스템이 현재보다 50% 이상을 더 공급해야 한다는 것을 의미하며, 기존의 발전 용량을 대체하는 것을 넘어서 상당히 많은 저탄소 발전 용량을 요구하는 것이다(보다 자세한 설명은 <표 3-1>를 참조).

〈표 3-1〉 ‘시장 규칙 경로’의 특성

경로 양상	특성
핵심 거버넌스 양상	<ul style="list-style-type: none"> 시장 논리의 지배: 에너지정책의 목표는 고위 수준의 정책 프레임 안에서의 자유롭게 상호작용하는 시장 행위자에 의해서 가장 잘 성취할 수 있다.
핵심 기술	<ul style="list-style-type: none"> 탄소포집저장(CCS)을 가진 석탄과 가스; 핵발전; 해상 풍력; 육상 풍력; 수입; 조력 댐; 파력 및 조력 발전
핵심 개념	<ul style="list-style-type: none"> CCS의 성공적인 실증은 2020년부터 높은 기술 보증을 이끌어낼 것임 높은 탄소 가격이 CCS, 핵 및 대규모 재생에너지 설비의 건설을 경제성 있게 만들며, 남겨진 석탄 및 가스 발전소에게 CCS 기술의 적용을 가능하게 할 것임 난방과 교통으로부터의 전력 수요 증가는 기술적 효율 향상 수단으로 상쇄될 것임.
핵심 행위자	<ul style="list-style-type: none"> 지배적인 레짐 행위자(대규모 에너지 기업) 소수의 신규 진입자들.
핵심 다층 패턴	<ul style="list-style-type: none"> 레짐 행위자들에 대한 거시환경 압력(기후변화와 에너지 안보)은 탄소 감축과 거대 기술의 축소에 집중됨. 작은 규모의 재생에너지는 니치에서 탄생하지 못함.
핵심 학습 과정	<ul style="list-style-type: none"> CCS 상업적 이용의 학습. 대형 에너지 기업이 탄소 집중적 세계에서 전기 난방과 전기 자동차 수요가 늘어나는 ‘고도의 전력화’ 미래를 전략적인 비즈니스 기회로 받아들임.
핵심 인프라 양상	<ul style="list-style-type: none"> 2050년에도 약 80%의 전력을 CCS 기술을 적용한 석탄/가스 발전으로 공급 새로운 핵발전이 현재의 발전소에서 고압 송전선로를 통해 공급되고, 해상 풍력은 스코틀랜드 인근에 집중되어 또다른 송배전 수요를 필요로 하게 됨. ‘스마트 그리드’ 기술이 분산형 발전 시설이 늘어남에 따라 필요해짐.

자료: Foxon(2013)을 번역

(2) 중앙 조정(Central co-ordination) 전환경로

중앙 조정 경로는 공급 안정성, 적절한 가격 그리고 온실가스 배출 목표를 충족시키기 위해 정부의 직접적인 개입을 받아들이는 세계다. 정부 기관이 영국의 전력망과 영국 경제의 전략적 이익 측면에서 중요한 역할을 하며 이를 위해 다양한 저탄소 기술에 대한 공급 계약을 맺는 것을 포함한다. 여기에 더해서 공공-민간 파트너십이 기술 개발에 앞장서는데, 해양 재생에너지, 탄소포집저장(Carbon Capture and Storage: 이하 CCS) 기술과 전기자동차 개발을 강력히 이끌 것이다. 수요 측면에서는 난방과 교통의 전력화가 전력 수요를 증가시키겠지만, 가정 에너지 효율화에 대한 인센티브가 제공된다.

이 경로는 2030년까지의 전력 수요의 증가와 그 이후의 증가세가 둔화되는 것을 보여준다. 이것은 교통과 가정 부문의 난방과 온수 생산을 위해서 전력을 사용하면서 전력 소비가 증가하지만, 가정 부문의 에너지 효율이 크게 향상되며 산업 부문은 보다 적은 산출을 보여주면서 동시에 더 고효율적으로 변모하여 전력 수요 증가세가 둔화되는 것이다. 이는 일부 에너지 집약적인 영국 내 생산이 다른 나라로 이전하면서 해외에서 생산된 상품의 영국 내 소비가 증가할 것임을 보여주는 것인데, 이는 소비기준의 탄소 배출량과 생산기준의 탄소 배출량이 크게 달라질 것을 암시한다.

〈표 3-2〉 중앙 조정 전환경로의 특성

경로 양상	특성
핵심 거버넌스 양상	<ul style="list-style-type: none"> 정부 논리가 지배적: 국가 행위자가 에너지 정책 목표를 달성하면서 직접적으로 에너지 시스템을 조정함.
핵심 기술	<ul style="list-style-type: none"> 석탄과 CCS 적용 가스, 핵발전, 해상풍력, 육상풍력, 조력 댐, 파력 및 조력 발전.
핵심 개념	<ul style="list-style-type: none"> 에너지 전략 기관의 역할과 저탄소 투자의 위험을 줄이기 위한 중앙 계약의 활용
핵심 행위자	<ul style="list-style-type: none"> 신설한 에너지 전략 기관이 중심을 갖는 중앙정부. 대형 에너지 기업이 대규모 저탄소 투자를 주도

핵심 다층 패턴	<ul style="list-style-type: none"> 거시 압력은 기후변화 같은 에너지 안보에 집중되며 중앙정부와 그와 긴밀히 일하는 대형 에너지 기업이 중요한 역할을 맡게 됨. 니치 수준에서는 해상풍력과 CCS 같은 대규모 기술에 집중하며 소규모 기술에는 비교적 적은 관심을 둠.
핵심 학습 과정	<ul style="list-style-type: none"> CCS의 상업 이용 학습. 중앙정부와 대형 에너지 기업 사이의 협력과 갈등. 탄소 집중 세계에서 난방과 수송을 위한 전력 수요 증대.
핵심 인프라 양상	<ul style="list-style-type: none"> 2050년에도 약 80%의 전력이 석탄과 CCS 기술을 적용한 가스, 새로운 핵발전이 현재의 발전소와 인근에서 고압 송전선로를 통해 공급되고, 해상풍력은 스코틀랜드 인근과 북해에 집중되어 또다른 송배전 수요를 필요로 하게 됨. ‘스마트 그리드’ 기술이 분산형 발전 시설이 늘어남에 따라 필요해짐.

자료: Foxon(2013)을 번역

(3) ‘수천 송이 장미(Thousand Flowers)’ 전환경로

수천 송이 장미 경로는 시민사회가 이끄는 저탄소 전환을 상상한다. 이 상향식 접근은 에너지 문제에 대한 분산적 해결책에 초점을 맞추며, 환경적 주제에 대해서 알리고 인지하며 선제적인 접근을 취하는 사회가 될 것이다. 또한 저탄소 경제로의 전환을 돕는 에너지 효율을 향상시키는데 보다 적극적인 에너지 서비스 기업(ESCO)이 출현한다. 수송 부문은 다른 시나리오와 비슷한 수준의 전력화를 보이지만 가정과 상업 부문에서 더 높은 에너지 효율화를 보이며, 작고 효율이 높은 산업부문에 의해 전력 수요는 감소하게 된다. 이 시나리오에서 가정의 열/온수 수요는 전력이 아니라 공동체 수준의 재생에너지(바이오가스)와 마이크로 열병합 시스템으로 충당하게면서 전력 수요를 감소시키는데 도움을 준다. 또한 지역 스케일의 열병합 시스템에서 생산된 전력은 중앙의 전력 공급 중 상당한 양을 대체할 수 있다.

〈표 3-3〉 ‘수천 송이 장미’ 경로의 특징

경로 양상	특성
핵심 거버넌스 양상	<ul style="list-style-type: none"> • 시민 사회 논리가 지배적: 시민이 지역과 국가 에너지 시스템 운영을 결정 하는데 주도적인 역할을 함.
핵심 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 육상 풍력, 해상 풍력, 재생 열병합발전(CHP), 태양광(PV), 수입, 조력 댐, 파력과 조력 발전/
핵심 개념	<ul style="list-style-type: none"> • ESCO 비즈니스 모델로의 이동. • 기술과 행동 변화를 통한 최종 에너지 수요 절감. • 소규모 분산형 기술을 통한 ‘순순환’. • 육상 풍력과 바이오매스 열병합을 포함한 에너지 생산에 대한 공동체 소유권 확대.
핵심 행위자	<ul style="list-style-type: none"> • ESCOs(신규 진입자와 다양한 기존 에너지 기업 포함). • 지역 사회, NGOs.
핵심 다층 패턴	<ul style="list-style-type: none"> • 거시 압력(기후변화와 에너지 안보) 레짐 행위자와 정부에 대해 소규모, 지역사회 수준의 기관이 수요 감축과 소규모 기술에 집중하도록 압력. • 소규모 재생에너지 기술이 니치에서 참발.
핵심 학습 과정	<ul style="list-style-type: none"> • 몇몇 ‘지배적 설계(dominant designs)’를 통한 분산형 발전 기술의 상업화 학습. • 대형 에너지 기업은 ESCO 비즈니스 모델로 다양화. • 커뮤니티 중심의 재생에너지 분산형 난방을 통한 전력 난방 수요의 저감. • 전기 자동차 수요의 증가.
핵심 인프라 양상	<ul style="list-style-type: none"> • 50%의 분산형 전원으로 인해 2중 전류를 위한 스마트 그리드 기술의 개발. • 2050년에도 약 50%의 전력이 고압 송전선로를 통해 고효율 가스 발전과 스코틀랜드, 북해 인근에 위치한 해상 풍력으로 발전한 전기를 송전하고 분산된 생산 시설이 늘어남에 따라 스마트 그리드’ 기술이 필요해짐.

자료: Foxon(2013)을 번역

3) 특징과 시사점

행동공간이 달라짐에 따라 에너지를 대하는 논리와 프레임이 달라지고, 결과적으로 저탄소 사회를 구성하기 위한 에너지 믹스, 생산량, 소비량 등에 현저한 차이가 생긴다. 위의 세 시나리오를 비교해보면 전력 생산과 소비 모두 ‘시장 주도’ 시나리오가 가장 높은 것을 알 수 있다(<표 9>를 참조). 시장 주도 시나리오는 주로 대기업에서 대규모 에너지 기술에 투자하고, 에너지 공급 또한 대규모 기술(CCS 석탄 발전, 핵발전, 조력 발전 등) 중심으로 이뤄진다. 이와 비슷하게 ‘중앙 조정’ 시나리오는 중앙정부 중심의 하향식 정책을 중심으로 대규모 기술 투자에 에너지 대기업이 적극 참여한다. 따라서 에너지 공급도 대규모 기술을 중심으로 이뤄지고, 석탄보다는 CCS 가스 발전을 많이 사용하며 핵발전은 비중이 더 높아지지만 풍력과 태양광 등 재생에너지 비중은 크게 늘어나지 않는다. ‘수천송이 장미’ 시나리오는 ‘녹색 소비자’가 증가함에 따라 에너지 효율화에 대한 압박이 정부와 에너지 기업에 가해지고, 지역의 에너지 효율을 높이기 위해 지역 난방이 등장하며 경제 성장에만 집중하는 것이 아니라 ‘삶의 질’을 중시하는 사람들이 많아진다. 이에 따라 전력 공급 역시 재생에너지로 공급하는 열병합발전을 중심으로 하고, 해상·내륙 풍력, 태양광을 중심으로 한다. 석탄과 원자력은 여전히 존재하지만 부수적인 역할에 머문다.

〈표 3-4〉 영국 저탄소 에너지전환 시나리오의 비교

구분	시장 주도	중앙 조정	수천 송이 장미
2050년 전력소비량	512Twh	410Twh	310Twh
2050년 전력생산량	560Twh	448Twh	328Twh

자료: Foxon(2013)

2. 일본의 저탄소사회 장기 시나리오

1) 개요

일본 환경성은 2008년 교토대학, 리츠메이칸 대학, 미즈호 정보연구소 등과 협력하여 2050 저탄소 시나리오를 개발하였다. 이 프로젝트는 2006년 영국의 환경·식품·농업부와 일본환경성이 기후변화, 청정 에너지, 지속가능한 개발에 대한 G8 글렌이글스 대화에서 약속한 연구 협력 차원에서 이루어진 것이다. 이 연구는 안전하고 지속가능한 미래를 만들기 위한 에너지 시스템을 개발하고, 최적의 실천을 G8 국가들에게 공유한다는 목적을 갖고 있었다. 영국과 일본의 기후·에너지 연구팀이 참여하였는데, 일본의 국가 환경연구소, 영국의 틴달 기후변화센터, 에너지연구센터 등이다. 여기서 개발된 저탄소 시나리오는 2050년의 저탄소 사회를 달성하기 위해 두 개의 다른 사회상을 제시하며 그에 따른 에너지 시스템, 도시계획, 산업 구조 등 다양한 변화를 묘사하고 있다.

연구진은 ‘저탄소 사회’에 대한 개념을 ‘지구 기온이 산업혁명 기준 2°C보다 높아지지 않게 하며, 예상된 미래 배출 경로에 따라 1990년 수준보다 일본의 탄소배출 목표가 60~80% 이하로 유지되는 것’으로 정의하였다. 일본이 이런 저탄소 사회에 도달할 수 있는 방안을 찾기 위해서, 두 개의 내러티브 시나리오에 따른 일본의 사회 경제적 상태를 예상하였다. 시나리오 A는 기술 의존형 사회, 시나리오 B는 자연 친화적 사회로 구분하였으며, 스냅샷 모델을 사용하여 2050년에 이산화탄소 배출을 70% 감축하는 방법을 조합하여 두 개의 시나리오를 구성했다. 그리고 2050년까지 이산화탄소를 1990년 대비 70% 감축할 수 있는 모든 가능한 옵션이 제시되고, “저탄소 사회를 위한 12개의 행동”으로 종합하여 상호 관계를 표시했다.

2) 시나리오 내용

연구팀은 일본의 저탄소 사회에 대한 두가지 시나리오—도라에몽(A) 시나리오와 사츠키와 메이(이웃집 토토로의 주인공; B) 시나리오—을 제시하였다. 모든 시나리오들은 2050년에 CO₂의 70% 감축을 목표로 하고 있으며, 모든 사회에서 에너지 효율은 산업과 가정 부문 모두에서

매우 향상된다고 가정하였다. 그러나 각 시나리오에서 기술조합은 차이를 보여준다. 도라에몽 시나리오가 보여주는 기술 전인 사회에서는 핵발전과 연료전지, CCS 기술에 의존하며, 연료 전지 자동차를 위한 수소가 생산된다. 반면 사츠키와 메이 시나리오의 자연 중심 사회는 바이오매스에 의존하여 전력을 생산하고 하이브리드 자동차의 바이오연료를 생산한다. 하지만 무엇보다도 큰 차이는 거주형태에 따른 수송 수요와 전력 생산 구조에서 타나났다. 도라에몽 시나리오에서 시민들은 안락함과 편리함이라는 가치를 중요시하고, 중앙집중형 생산 시스템 속에서 도시적 라이프 스타일을 영위하며, 1인당 GDP는 매년 2% 증가한다고 가정한다. 한편 사츠키와 메이 시나리오는 느리며 자연 친화적 사회이며 자급하는 사회를 제시하는데, 시민들은 분산된 커뮤니티에 살며 생산과 소비를 지역에서 해결한다. 또한 이 사회는 개인의 야망보다 사회/문화적 가치를 중시한다(기타 자세한 비교는 <표 3-5>를 참조).

〈표 3-5〉 두 시나리오의 비교

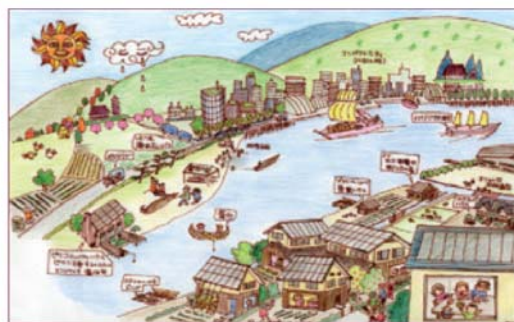
구분	시나리오 A(도라에몽)	시나리오 B(사츠키와 메이)
사회	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 경제 성장 • 인구 및 세대수 감소 	<ul style="list-style-type: none"> • 물질적 포화(Material saturation)에 대한 최종 수요 감소 • 원자재 생산 감소 • 인구와 세대수 감소
산업	<ul style="list-style-type: none"> • 용광로와 모터 등의 에너지 효율 향상 • 석탄/석유 → 천연가스 연료전환 	<ul style="list-style-type: none"> • 용광로와 모터 등의 에너지 효율 향상 • 석탄/석유 → 천연가스, 바이오매스 연료전환
가정/상업	<ul style="list-style-type: none"> • 단열 주택과 빌딩 • HEMS, BEMS • 에어컨 효율화 • 열수기 효율화 • 조명 시스템 효율화 • 연료전지 시스템 • 태양광 지붕 	<ul style="list-style-type: none"> • 단열 주택과 빌딩 • Eco-life navigation systems • 에어컨 효율화 • 열수기 효율화 • 조명 시스템 효율화 • 태양광 지붕 • 가정의 바이오매스 에너지 사용 확산 • 태양열 온수의 보급
수송	<ul style="list-style-type: none"> • 토지의 집약적 활용 	<ul style="list-style-type: none"> • 집약적 토지 활용으로 통근 거리 단축

	<ul style="list-style-type: none"> • 도시 기능의 집중 • 대중 수송 시스템 • 전기 배터리 자동차 • 연료전지 자동차 	<ul style="list-style-type: none"> • 행인과 자전거를 위한 인프라(보도, 자전거 전용도로, 자전거 주차장) • 바이오매스-하이브리드 엔진 자동차
에너지 변환	<ul style="list-style-type: none"> • 핵발전 • 야간 저장하여 효율적 전기 사용 • 저탄소 에너지원으로 수소 공급 • 선진 연료 전지 발전소 + CCS • 연료전지로 수소 공급 + CCS 	<ul style="list-style-type: none"> • 열병합과 바이오매스 발전 믹스 확대

*출처: Matsuoka (2007)

3) 특징과 시사점

이 시나리오는 상대적으로 오래 전에 개발된 것이지만, 저탄소 사회로 가기 위한 두 가지 대표적 전환 경로를 제시하고 있다는 점에서 중요한 의미를 가지고 있다. 많은 대중들이 가지고 있는 에너지전환의 이미지는 단일하지 않는데, 이 시나리오는 그 중에서 대표적인 이미지 두 개를 정합적으로 제시하고 있는 것이다. 하나는 상대적으로 현재의 사회 구조와 문화를 유지하면서 보다 많은 첨단 기술들을 개발하고 활용하여 저탄소 사회로 진입하려는 구상과 다른 하나는 사회 구조와 문화를 변화시키면서 거대 기술에 대한 의존은 상대적으로 줄이면서 저탄소 사회로 전환한다는 것이다. 이러한 두 가지 이미지는 많은 에너지전환 시나리오에서 반복해서 나타나는 경향이 있다.



〈그림 3-1〉 시나리오 A(좌)와 시나리오 B(우)

*출처: Matsuoka (2007)

연구팀은 시나리오별 정책 조합의 효과를 정량화하여 제시하였다(<표 3-6> 참조). 이에 따르면 두 시나리오 모두 일차 및 최종에너지 소비량은 1990년대 대비 크게 낮아지고 화석연료 의존도도 낮아진다. 그러나 시나리오 B가 더 낮은 수치를 보여준다. 특히 화석연료 의존도가 51%로 낮아지면서, 시나리오 B의 온실가스 배출량이 크게 낮아져서 1990년 대비 27%까지 감축을 할 수 있다고 제시되고 있다. 이러한 변화에 단순히 기술적 요소의 변화만으로 나타나지 않으며, 경제 활동과 인구와 같은 사회 구조의 변화와도 긴밀히 연결되어 있다는 점에서 주요 전제는 GDP와 인구수 가정도 살펴보는 것이 필요하다. 보다 많은 온실가스 감축량을 보여준 시나리오 B에서 GDP의 증가가 상대적으로 시나리오 A에 비해서 낮다. 그런데 인구수에서는 오히려 시나리오 B가 더 높다는 것이 흥미롭다. 그리고 연간 비용을 계산한 결과도 별도로 제시하고 있는데, 시나리오 A의 경우 1.0-1.8 조 엔, B의 경우 0.7-1.6조 엔이 소요된다고 추정하고 있다.

〈표 3-6〉 두 시나리오의 양적인 비교

년도		1990	2000	2050			
				시나리오 A		시나리오 B	
CO ₂ (MtC)	생산	285.0	311.5	127.7	(41%)	85.2	(27%)
	CCS			42.4		0.0	
	배출	284.0	311.5	85.3	(27%)	85.2	(27%)
에너지 (Mtoe)	일차	446.0	523.5	334.1	(64%)	264.0	(50%)
	최종	292.0	380.2	225.8	(59%)	209.3	(55%)
	화석연료 의존도		80.0%	59.8%		51.0%	
GDP(천억엔)		467.9	519.5	1080.3	(208%)	700.7	(135%)
인구(백만명)		123.6	126.9	94.5	(74%)	100.3	(79%)

*괄호안의 %는 2000년과의 비율

자료: Matsuoka(2007)

3. 미국 캘리포니아주의 에너지 시나리오

1) 개요

캘리포니아는 2001년 대규모 정전 사태와 에너지가격 상승을 겪으며 에너지문제에 대한 대중의 관심사가 높아졌으며, 연구자들이 다양한 대안적 시나리오를 연구하고 있다(김영철, 2005). 여기서 살펴볼 연구는 2005년 캘리포니아 대학, 로렌스 버클리 국립 연구소, 스탠포드 대학에서 협력하여 제작한 2035년까지의 대안 시나리오 연구다. 이 연구에서는 2035년 탄소 배출을 줄이기 위해 캘리포니아가 가야할 길을 에너지 모델링 프로그램의 하나인 LEAP을 사용하여 BAU 시나리오와 3가지 대안 시나리오를 개발하였다.

2) 시나리오의 내용

대안 시나리오는 지역/개인 활동을 강조하는 '(주/연방정부로부터) 분리된 대중(Split Public, SP)' 시나리오, 주정부의 종합계획에 중요성을 둔 '황금 주(Golden State, GS)' 시나리오, 에너지독립성 향상을 위한 국가정책에 중점을 둔 '애국적 에너지 독립(Patriotic Energy Independence, PEI)' 시나리오로 설정되었다. 2035년까지의 에너지소비량, 발전원, 에너지원의 다양성, 온실가스 배출량 등을 분석하였고, 이에 따른 에너지 절약, 재생에너지원 도입, 수송 부문의 개선 효과 등이 추산되었다.

(1) BAU 시나리오

2000년부터 2001년까지 캘리포니아 에너지위기에 따른 결과와 전망을 반영하는 시나리오이며, 역사적인 추세를 그대로 따라가는 시나리오이다. 경제 규모는 지속적으로 증가하며, 대중은 에너지에 관심이 없는 수동적 소비자 역할을 유지한다. 하이브리드/전기자동차가 점차 보급되지만 부유한 일부 도시지역에 국한되며 수송에 대한 기술적 혁신은 일어나지 않는다. 그러나 인구증가에 따른 수송활동이 증가한다.

(2) 대안1: SP 시나리오

기존 에너지시스템에 비판적인 일부 주민들이 개인/지역적인 에너지 운동을 시작하고 지속하는 시나리오이다. 주거, 수송, 상업 분야에서 청정에너지가 도입되고 하이브리드/전기자동차, 태양열온수기, 태양광 주택 등이 주거 부문에 응용된다. 지역사회에서 재생에너지 프로젝트가 실시되어 2035년까지 캘리포니아 가구/지역의 50% 수준까지 확산된다. 그러나 지역사회와 시민이 중심이 되는 반면 주정부와 기업들은 수동적인 반응하면서 대규모 발전 등 지역이 통제하기 어려운 시스템은 변하지 않고 유지된다. 또한 수송 정책과 연료 경제, 연료전지 기술 등의 변호와 발전은 국가 정책이 변하지 않으면서 연구 단계에 머문다. 이 시나리오는 개인/지역사회 수준에서 이루어지는 에너지 활동이 캘리포니아의 에너지 경로에 어떤 영향을 미칠 수 있을지 탐색할 수 있도록 도와준다.

(3) 대안2: GS 시나리오

이 시나리오는 에너지 위기를 통해 개인, 지역사회, 주정부 모두가 에너지계획에 협력하는 시나리오로, 주정부의 정책과 개인/지역 활동이 결합된다. 주요 에너지 기업이 붕괴되며 전력 부문의 에너지 다양성이 추진되나 에너지와 관련된 개인/지역의 활동은 온건한 편이다. 주거, 수송, 지역사회 활동들은 SP시나리오와 유사하다. 청정에너지 도입이 완화되며 2035년까지 주거부문 소비에서 차지하는 비중은 30%에 머물지만, 주정부는 에너지 다양성과 전력 부문의 온실가스 배출 감소를 추구한다. 신규 천연가스발전소 건설은 BAU 시나리오의 1/2수준에 머물며, 재생에너지의무할당기준(RPS)을 시행하여 재생에너지 비율을 20%로 유지한다. 국가 정책은 변화가 없어 주정부 위주로 재생에너지를 개발하기 때문에 수송부문은 실질적인 변화가 일어나기 어렵다. 수소연료전지의 수송기술 상용화 시장은 실현되지 못하나, 하이브리드/전기자동차 및 천연가스 자동차 비율이 2035년까지 30% 수준으로 향상된다. 이 시나리오는 2002년에 RPS를 도입하여 매년 1%씩 할당 비율을 증가시켜 2017년에 20%까지 재생에너지 비율을 확대한다는 캘리포니아의 강력한 정책이 에너지 시스템에 어떤 영향을 미치는지 연구할 수 있도록 한다.

(4) 대안3: PEI 시나리오

국가 정책으로 에너지자립을 추구하며 미국 내에서 강력한 에너지 정책이 실시되며, 특히 수송부문의 에너지정책을 강화함으로 석유 수입을 감소시키는 시나리오이다. 석유 의존성 감소가 중심과제가 되며, 단기적으로는 국내 에너지자원을 개발하고 장기적으로는 수소에너지 개발을 목표로 한다. 탈석유 기반의 수송시스템 개발이 추진되고 단기적으로 하이브리드/전기자동차가, 중장기적으로는 수소연료전지 자동차가 핵심기술이 된다. 2035년까지 도로운행 차량의 75%가 수소에너지 자동차가 된다고 가정한다. 재생에너지는 발전과 수소 생산, 가정용 에너지소비를 위한 자원이 되며, 신규 천연가스발전소는 BAU 시나리오의 1/2 수준에 머물고 RPS 제도에 의해 재생에너지 발전 비중이 2020년에 20%가 된다. 이 시나리오는 석유 수입의 감소로 인해 에너지원의 다양화를 추구해야만 하는 여건을 연구하도록 해준다.

3) 특징과 시사점

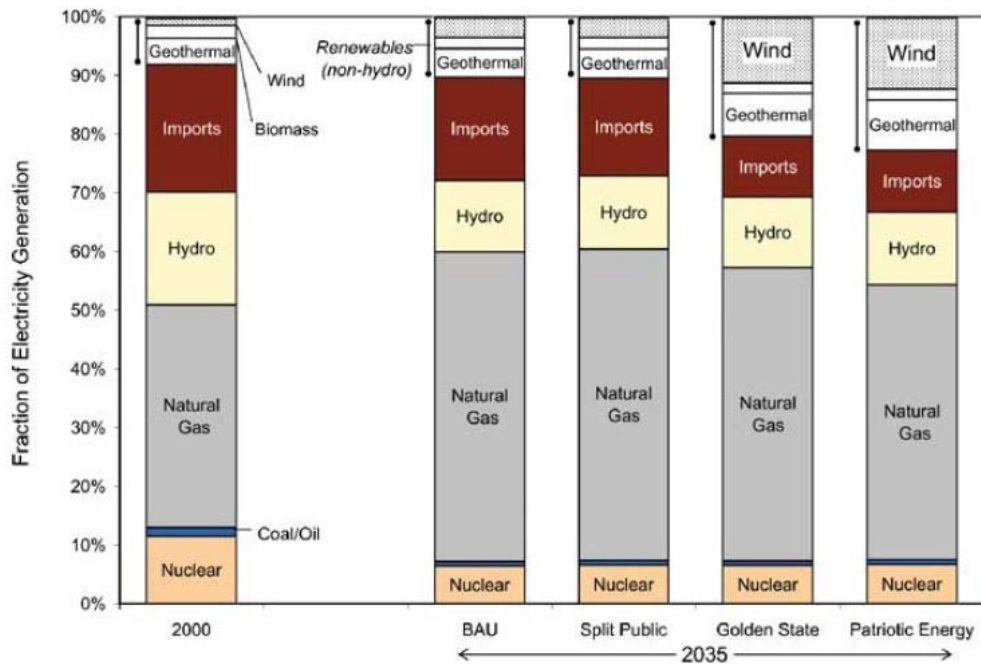
각 시나리오들의 특징들을 소비와 공급의 측면에서 각각 비교해보자. 에너지 소비는 PEI 시나리오에서 가장 줄어든다고 추정되었는데, 이는 석유 의존성을 감소시키려는 강력한 국가 정책으로 인한 것으로 평가된다. 반대로 주정부가 주도하는 에너지전환 정책을 담고 있는 GS 시나리오의 에너지 절감 효과는 가장 낮게 나타났다. SP 시나리오는 두 시나리오의 중간에 위치해 있다(<표 12> 참조). 한편 캘리포니아에서 에너지 소비가 가장 많은 부문은 수송으로 많은 시나리오들이 탈석유 수송 시스템을 거론하고 있다. 에너지소비 절감이 가장 많이 일어난 PEI 시나리오의 경우, 수송 부문의 에너지 비중이 2000년에 51%에서 2035년에 44%로 줄어든다. 캘리포니아에서 수송 부문의 에너지 효율화 절감이 중요한 관건이라는 점을 보여준다.

〈표 3-7〉 캘리포니아 시나리오별 에너지 소비 비중

	기준년도 2000	BAU 2035	SP 2035	GS 2035	PEI 2035
에너지 소비(PJ)	6200	10,800	9,600	10,000	8,300
성장률(2000-35년 연평균 %)	-	1.6%	1.3%	1.4%	0.80%
절감 (PJ) 2035년	-	-	1200	800	2500
BAU 대비 %			11%	7%	23%
소비 비중	100%	100%	100%	100%	100%
가정	15%	10%	9%	9%	11%
수송	51%	55%	52%	53%	44%
상업	10%	10%	11%	11%	13%
산업	22%	23%	26%	24%	30%
기타	3%	2%	2%	2%	3%

자료: Ghanadan & Koomey(2005)

이제 공급 측면이다. 각 시나리오에서 전망하고 있는 전력 믹스를 보면, BAU와 SP 시나리오에 비해서 GS와 PEI 시나리오에서 캘리포니아주 밖으로부터의 전력 수입 비중은 줄고 풍력과 지열 발전의 비중은 늘어난다. 이에 따라서 천연가스의 발전 비중은 줄어든다. 2000년 캘리포니아 천연가스 발전 비중은 40%에 이르는데, BAU와 SP 시나리오에서는 2035년에 그 비중이 53% 까지 증가하며 GS와 PEI 시나리오에서는 RPS 제도가 도입되어 재생에너지 비중이 상승하며 상대적으로 낮은 천연가스 비중을 보인다. GS와 PEI 시나리오 중에서는 PEI가 상대적으로 높은 재생에너지 발전 비중과 낮은 천연가스 발전 비중을 보여준다(<그림 7> 참조). PEI 시나리오에서 에너지 소비량이 가장 적은 것으로 감안해보면, 온실가스 배출량도 가장 적은 시나리오라는 점을 이해할 수 있다.



〈그림 3-2〉 캘리포니아 시나리오별 전력 믹스

자료: Ghanadan & Koomey(2005)

캘리포니아에 대한 이 시나리오는 에너지 소비와 공급에 관여하는 국가(연방정부), 주정부, 시민이라는 세 주체를 설정하고 각기 다른 협력 관계에 따라서 어떤 차이를 보이는지를 묘사하고 있다. 결과적으로 지역/개인 활동이 주/국가 정책과 융합되어 추진될 경우, 즉 PEI 시나리오에서 가장 효과적인 에너지 저감 효과와 에너지원의 다양화, 온실가스 감축을 얻을 수 있을 것이라는 시사점을 제시하고 있다. 이런 다층적 관점은 지자체가 에너지전환 시나리오를 개발하면서 활용할 수 있는 접근일 것이다.

4. 영국 브리스톨시의 에너지 시나리오

1) 개요

브리스톨은 영국 잉글랜드 서부의 에이번 강에 딸린 항구 도시로, 인구는 약 45만명으로 잉글랜드 지역에서 여섯 번째로 큰 규모이고 영국 전체에서는 8번째 규모로 영국 남서부에서는 가장 규모가 큰 도시이다. 서잉글랜드 대학의 Rose Bailey 박사는 2008년부터 브리스톨 지방정부와 지속가능한 에너지 센터, 영국 정부 연구위원회(EPSRC, Engineering and Physical Sciences Research Council)의 지원으로 4년간 브리스톨의 에너지전환 시나리오를 연구하였다. 이 연구는 2050년까지 브리스톨시가 80%의 탄소 감축 목표를 이루기 위해 어떤 과정을 거쳐 어떤 사회상에 도달해야 할지를 산업계, 종교계, 지역 의회, 지역 대학 등에서 140명의 시민들과 “2050년에 브리스톨이 저탄소 도시가 되기 위해 어떤 것들을 할 수 있을까?”라는 주제로 인터뷰하여 델파이 기법으로 제작한 시나리오다.⁵⁾ 세 단계의 협의를 통해 두 가지 시나리오—X 시나리오와 Y 시나리오—를 개발하였고, 이 시나리오에 도달하기 위해 시행해야 할 여러 단계들을 백캐스팅 방식으로 연구하였다.

2) 두 가지 시나리오

(1) 시나리오 X

시나리오 X는 현재보다 기술적으로 많이 발달하여 대규모 기술(CCS 가스 발전, 해상풍력 등) 중심의 발전원으로 전력을 공급한다. 분산형 지역 난방은 매우 적은 비중을 차지하고, 태양광 패널을 설치한 가정이 증가하였으나 비용과 기술적 문제로 많이 확산되지는 않는다. 이 시나리오에서는 항구와 공항이 여전히 주요한 기능을 하며, 전기차와 충전소가 보편화된다. 대부분의 가정, 특히 농촌 가정에서는 자가용을 소유하며 런던과 유럽까지 연결되는 고속열차가

5) 이렇게 제작한 시나리오는 지역 예술가와 이미지 작업을 거친 뒤 웹사이트를 만들어 공개하였으며, 제작 이후에도 다양한 이들의 의견 수렴을 진행하였다. 웹사이트: <http://futurebristol.co.uk>

개통되며 공공 교통수단이 확대된다. 몇몇 사람들은 집에서 일하거나 지역 ‘허브’로 출근하며 장거리 여행을 줄이려고 노력하나 이는 보편적이지 않다. 건물은 에너지 효율이 매우 향상되며 음식은 현지에서 생산한다. 녹색 기술과 제조업이 지역 경제를 떠받치는 기둥이 되며, 지역의 경제는 지속적으로 성장한다. 사람들은 지금보다 건강해지고, 일과 삶의 균형을 찾으며 보다 친환경적으로 물질 소비가 과거보다 줄어든다. 고령화된 사회와 과잉 인구는 세계적인 문제점으로 지적되나 브리스톨의 인구는 크게 늘어나지 않는다.

시나리오 X



시나리오 Y



〈그림 3-3〉 브리스톨시 에너지전환 시나리오의 이미지

자료: <http://futurebristol.co.uk>

(2) 시나리오 Y

시나리오 Y 역시 현재보다 기술적으로 많이 발달하지만 대규모 기술 보다는 분산형 지역 난방과 재생에너지 위주의 발전 시스템을 갖는다. 바이오매스 열병합 시스템이 중요한 역할을 하며 지역 난방이 고밀도의 지역에 공급된다. 태양광 패널이나 소형 열병합 시스템 같은 소규모 발전은 보편화되고, 보다 큰 규모의 재생에너지 서비스를 보조한다. 핵발전과 석탄 화력 발전소는 폐쇄되고 더 이상 전력을 생산하지 않는다. 에너지 자립도는 매우 높으며 매우 높은 효율화와 함께 ICT 기술이 적용되어 전체적인 에너지 수요가 극적으로 줄게 된다. 이 시나리오에서는 항구는 주요한 기능을 하지만 공항은 폐쇄된다. 장거리 이동은 보편적이지 않게 되며 대부분

자동차를 소유하지 않고 가까운 거리는 걷거나 자전거로 이동한다. 많은 이들은 집이나 지역 ‘허브’로 출근하고 ICT 기술로 인해 이동하는 거리가 현저하게 줄어든다. 건물은 지금과는 매우 다른 형태로, 혁신적인 기술을 사용하여 에너지 효율이 매우 향상된다. 식량은 현지에서 생산한다. 경제는 다양해지지만 녹색 기술과 제조업, 재생에너지기술 개발 등이 중요한 부문으로 기능한다. 자급자족의 사회로, 물질 소비가 과거보다 줄고 더 이상 총생산이 아니라 삶의 질 지표가 더 중요해진다.

3) 특징과 시사점

이 연구는 ‘우리가 어디에 있는지’ 그리고 ‘우리가 어디를 향해 가야 하는지’라는 질문을 시민 참여형으로 탐색하여 장기적 탄소 관리를 향상시키는데 도움이 되는 방안을 찾아낸 것이다. 시나리오X와 Y는 기술의 발달과 사회상의 변화의 방향을 다르게 하며 서로 다른 에너지 비전을 제시하고 있다. 두 시나리오 모두에서 에너지 분야에 혁신이 일어나지만 그 방향성은 매우 다르다. 시나리오 X에서는 대규모 기술 위주의 발달로 CCS 기술과 전기차가 발달하는데 비해 시나리오 Y에서는 지역 중심의 소형, 분산형 에너지 시스템이 들어서며 사람들의 생활양식도 극적으로 변화한다. 특히 생활방식에서 두드러진 차이를 보여준다. 예컨대 시나리오 X에서 “장거리 여행은 불편적이고 중요해져서 공공 교통의 선택지가 넓어”지는 반면, 시나리오 Y는 크게 다른 모습을 보여준다. 즉, “로컬화로 인하여 장거리 여행의 수요가 줄고 만약 필요하다면 자전거와 보행, 공공 교통수단을 이용”하며, “트램 시스템이 운영되고 자전거도로와 보행자 도로가 매우 잘 되어있”고, “차는 거의 없어지며, 항구는 활발히 이용되나 공항은 문을 닫는다”고 가정되고 있다(자세한 비교는 <표 13>를 참조). 이와 같은 두 가지 미래상의 차이는 일본의 두 가지 시나리오와 유사한 측면이 있다는 것을 확인할 수 있다.

〈표 3-8〉 시나리오 X, Y 주요 요소 비교

구분	시나리오 X	시나리오 Y
에너지	<ul style="list-style-type: none"> 영국의 저탄소 발전을 위해 브리스톨에서는 핵발전과 청정 석탄 발전을 공급한다. 이 지역은 '스마트'에너지의 중심이 된다. 	<ul style="list-style-type: none"> 브리스톨은 분산형 재생 에너지의 리더로, 대부분의 가구와 커뮤니티가 수요를 만족시키기 위해 다양한 발전원과 에너지 효율화를 시행한다. 지역 난방과 태양광은 보편화되고 조력 에너지를 사용한다. ICT 기술을 융합한 스마트 그리드 네트워크가 활성화된다.
수송	<ul style="list-style-type: none"> 장거리 여행은 보편적이고 중요해져서 공공 교통의 선택지가 넓어진다. 전기차와 인프라가 보편화되며 항구와 공항은 여전히 활발히 이용된다. 	<ul style="list-style-type: none"> 로컬화로 인하여 장거리 여행의 수요가 줄고 만약 필요하다면 자전거와 보행, 공공 교통수단을 이용한다. 트램 시스템이 운영되고 자전거도로와 보행자 도로가 매우 잘 되어있다. 차는 거의 없어지며, 항구는 활발히 이용되나 공항은 문을 닫는다.
건조환경	<ul style="list-style-type: none"> 전통적 스타일의 고효율 빌딩이 커뮤니티를 이루고, 높은 오피스 허브와 녹지, 공공 교통 인프라가 발달한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 혁신적이고 현대적인 고효율 빌딩이 통합된 커뮤니티에 들어선다. 녹지와 공공 교통 인프라, 도시 농업이 활성화된다.
식량, 폐기물, 물	<ul style="list-style-type: none"> 식량은 대부분 영국에서 생산하며 농업이 집약적으로 이뤄진다. 폐기물은 줄어 들고 물은 효율적으로 사용한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 지역의 계절에 맞는 생산이 주로 되며, 도시 농업이 보편화된다. 폐기물은 줄어 들고 물 공급에 대한 존중이 있는 사회다.
경제	<ul style="list-style-type: none"> 활발하고 신기술 중심의 경제로, 국제적 경쟁력이 상승한다. 제조업과 전문 서비스가 주요 부문이 된다. 	<ul style="list-style-type: none"> 경제는 다양화되어 지역의 수요를 만족시킨다. 지역 산업, 녹색 기술, 에너지 생산, 식량 생산이 중요해진다.
커뮤니티	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 사회로, 환경 친화적이며 삶의 질을 중시한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 자급자족의 사회, 집합적이고 느린 페이스의 커뮤니티를 중시한다.

자료: <http://futurebristol.or.uk>

제4장 국내 에너지전환 시나리오

1. 환경운동연합 ‘100퍼센트 재생에너지 전환 에너지 시나리오’

1) 개요

환경운동연합(2017)은 올해 대선을 앞두고 2050년의 목표연도로 하는 전력 부문의 에너지전환 시나리오를 발표했다. 이 시나리오는 ‘에너지 효율화와 수요 관리 우선’, ‘기후변화에 대한 책임 있는 대응’, ‘원전의 단계적이지만 빠른 축소’, ‘100퍼센트 재생에너지 전환의 추구’이라는 4가지 에너지 전환의 원칙에 따라서 작성되었다. 이 시나리오는 <표 4-1>와 같이 온실가스 배출저감 목표, 수요관리 목표, 공급목표를 달성하도록 구성되었다. 즉, 2050년까지 발전부문 온실가스 감축목표를 2005년 대비 80% 감축하며 수요는 연평균 0.3% 증가율에 머물도록 하고, 원자력 발전소를 단계적으로 폐쇄해서 2042년에 제로화한다는 등의 목표를 제시하고 있다.

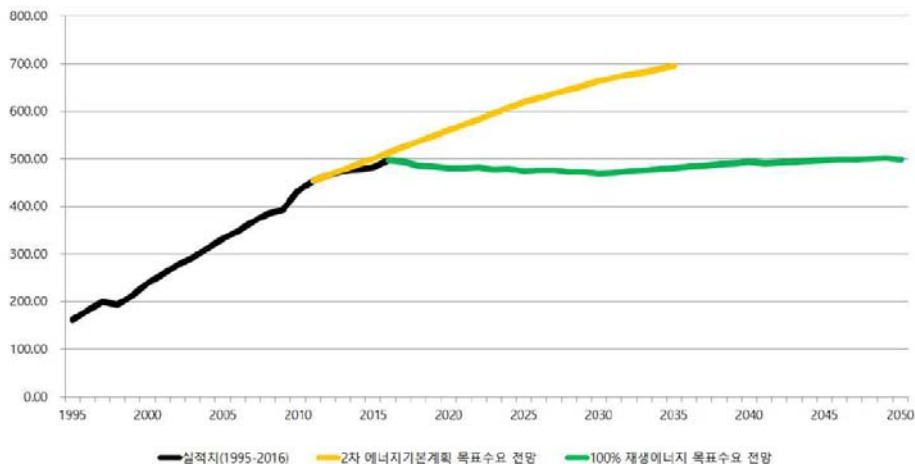
〈표 4-1〉 환경운동연합의 대안 에너지 시나리오 구성

온실가스	• 2050년 발전부문 온실가스 감축목표 2005년 대비 80% 감축
수요	• OECD 2014-2040년 연평균 발전량 증가율 0.3% 적용
공급	• 원전 최대 수명 30년, 건설 중 원전 보류 또는 취소, 2042년 이후에 제로화 달성 • 석탄 설비 수명 30년(수명 후 가동 중단), 2017년 신보령 2호기 이후 신규설비 없음 • LNG 설비 수명 30년(수명 후 가동 중단), 7차 전력수급기본계획 LNG 설비계획 반영 • 신재생에너지, 온실가스 감축과 잠재량 고려해 지속적 확대

자료: 환경운동연합(2017)

2) 내용

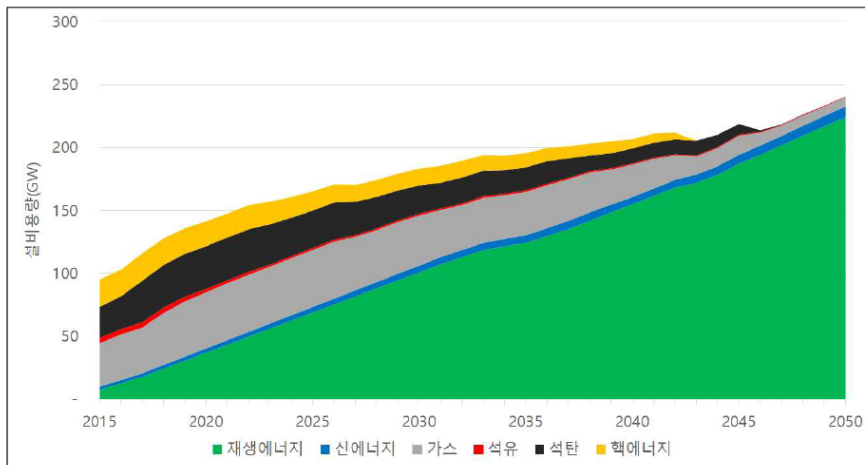
환경연합운동이 제시한 목표를 달성하기 위한 수요 부문 시나리오를 살펴보면, 전력수요가 연평균 0.3% 씩 증가한다고 가정한 결과 2050년에 전력수요는 499.9TWh, 최대전력은 75.4GW에 머물게 된다고 추정하였다. <그림 4-1>에서 보듯이 전력 수요는 더 이상 증가하지 않고 정체 된다고 추정하였는데, 2014년에 발표된 에너지기본계획에서 전력수요가 지속적으로 증가한다고 추정한 것과 극적으로 대비된다. 하지만 다음 소절에서 소개하는 세계자연기금(WWF)와 녹색당의 시나리오가 전력 수요의 정점과 감소를 보여주고 있다는 점과도 대비된다.



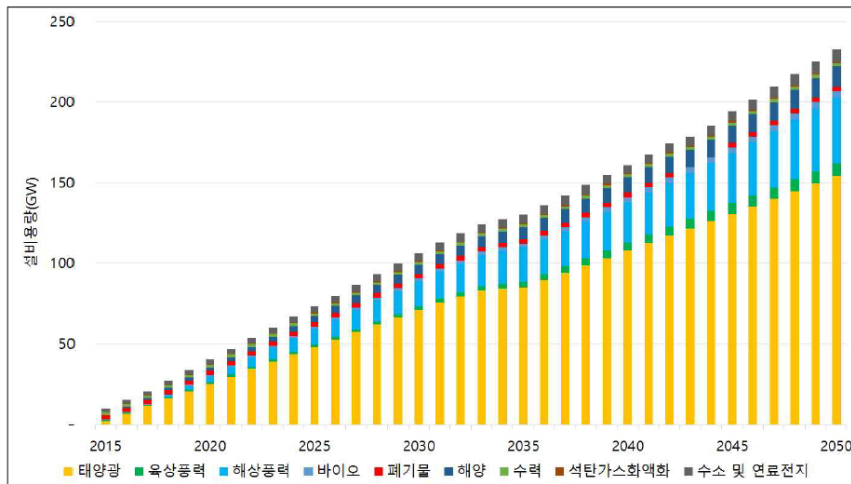
〈그림 4-1〉 환경운동연합(2017)의 전력수요량 추정(단위: TWh)

시나리오의 공급 부문을 보면, 핵발전소는 수명(30년)을 다하면 폐쇄한다는 목표에 따라서 2042년에는 모든 핵발전소가 폐쇄되어 발전원에서 제외되며, 석탄발전도 점차 폐쇄되어 2050년에는 0%에 도달한다고 가정하였다. 재생에너지의 경우 발전설비 용량이 2020년 37GW에서 2050년에 224GW로 급격히 증가면서, 2045년 이후에는 전체 발전설비 용량의 90%를 차지한다고 추정하였다. 나머지 부분을 신에너지와 가스 발전용량이 채울 것이다(그림 <4-2> 참조). 재생 에너지 발전설비 중에서 가장 많은 비중을 차지하는 것은 태양광 발전설비인 것으로 가정하였다(그림 <4-3> 참조). 한편 2050년 총 발전설비는 정력용량 기준으로 약 245GW로 나타나지만,

피크기여도(7차 전력수급기본계획 기준)을 반영한 '실효용량'은 41GW로 계산되었다. 그러나 재생에너지 확대와 함께 백업전원, ESS, 전기차, P2G, 스마트제어 등이 적용되면서 전통적인 '실효용량'이라는 개념이 근본적으로 바뀔 것이라고 제안하였다.



〈그림 4-2〉 환경운동연합(2017)의 발전원별 발전설비 용량 추정



〈그림 4-3〉 환경운동연합(2017)의 재생에너지원별 발전설비 용량 추정

환경운동연합이 제시한 시나리오는 앞서 설명한 에너지전환의 구상에 충실하다. 첫째, 2050년까지 신재생에너지 발전량 비중이 태양광, 풍력을 중심으로 약 90%까지 확대되며, 둘째, 원자력 발전은 단계적으로 줄어나가고, 셋째, 가스 발전에게 재생에너지를 중심으로 하는 지속가능한 사회로의 전환을 위해 가교 및 분산형 에너지 시스템의 구축을 위한 구심적 역할을 부여하며, 동시에 열병합발전을 통한 열 공급 역할, 변동하는 재생에너지의 문제점을 보완해주는 백업전원 역할도 맡기고 있다. 환경운동연합은 이를 위해서 5가지 정책을 제안하고 있다. 첫째, 수요관리 중심의 에너지·전력 정책 수립, 둘째, 탄소 저감 정책 수립, 셋째, 원전 제로화 계획, 넷째, 재생에너지 확대, 다섯째, 탈핵·저탄소 에너지전환을 위한 정부 조직 개편이다.

3) 특징과 시사점

환경운동연합의 시나리오는 2050년까지 발전부문 온실가스 배출량이 2005년 대비 80% 감축하는 방안을 찾기 위해서 작성되었다. 즉 미래 시점에 달성해야 할 규범적인 목표를 설정하는 백캐스팅 방법론을 사용한 것이다. 이는 전력 수요 및 공급 측면에서도 적용되었다. 전력 수요 측면에서는 IEA에서 발간한 세계에너지전망(World Energy Outlook) 2016의 지역별 450 시나리오의 OECD 국가들의 연평균 발전량 증가율(0.3%) 목표를 적용하여 추정하였다. 또한 전력 공급 측면에서는 이미 건설된 원전, 석탄, LNG 발전소들의 수명은 30년으로 하고 수명이 다하면 폐쇄하며 신규 발전소 건설을 하지 않는 것으로 하되, 재생에너지 발전소들은 지속적으로 확대한다는 방향에서 시나리오를 구성하였다. 이 시나리오는 에너지전환의 가능성과 방향을 제시하는데 의미를 찾을 수 있을 것이다. 그러나 이번 시나리오가 여러 정책의 조합과 그 강도 혹은 상이한 전환경로를 검토하고 있지는 않은 한가지의 단일 시나리오이기 때문에, 다양한 가능성에 대해서 토론하는데 제한적이다.

2. 세계자연기금(WWF)의 ‘지속가능한 미래를 위한 대한민국 2050 에너지 전략’

1) 개요

국제환경단체인 세계자연기금(WWF; 2017)는 한국이 지향해야 할 지속가능한 에너지 미래 전략을 발표하면서, 4대 원칙으로 ‘에너지 안보’, ‘깨끗하고 안전한 에너지’, ‘신산업 및 일자리 창출’, ‘온실가스 감축 실현’을 제시했다. 그리고 이런 원칙을 실현하기 위한 네 가지 에너지전환 시나리오를 제시하였다. 에너지 시나리오의 목표 년도는 2050년이며, 그 때까지 재생에너지 확대를 반영한 최종에너지 수요 및 공급 체계, 온실가스 배출량에 대해서 분석하였다. WWF는 에너지 시나리오의 개발을 위해서 진행한 모델링에서 사용한 주요 전제들도 제시하였다. 경제성장률은 에너지경제연구원의 ‘2016 장기 에너지 전망’의 기준 시나리오 전망치인 2040년까지 연평균 2.4%로 전제했고, 인구전망은 통계청의 2016년 장래인구추계를 적용했다.

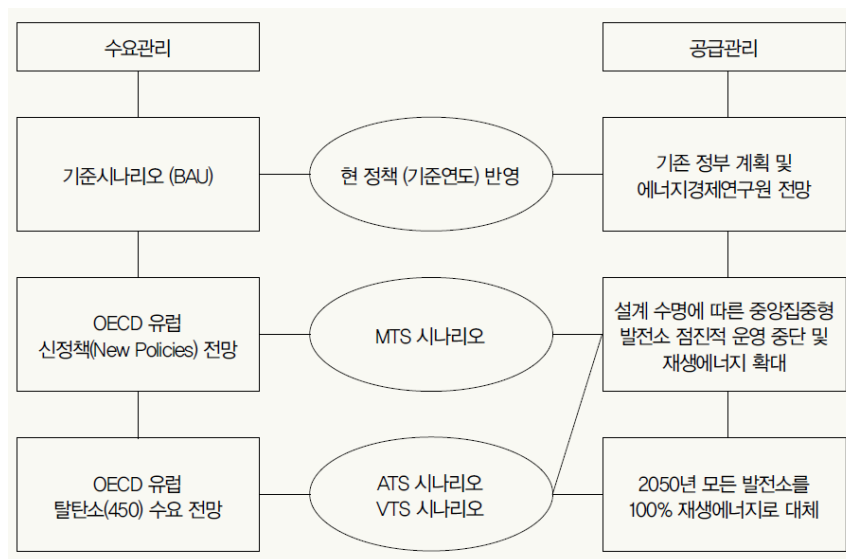
〈표 4-2〉 WWF의 대안 에너지 시나리오 분석 대상 및 범위

구분	내용
기준연도, 분석기간	<ul style="list-style-type: none"> 2014년, 2015-2050년
분석대상	<ul style="list-style-type: none"> 2050년까지 재생에너지 확대를 반영한 수요 및 공급 체계, 온실가스 배출량
주요전제	<ul style="list-style-type: none"> 경제성장률 전망: 〈2016년 장기에너지망〉(KEEI, 2017) 전망치 기준, 2040년까지 연평균 2.4% 증가 인구전망: 〈장래인구추계: 2015-2065년〉(통계청, 2016) 중위추계 기준, 2031년 이후 감소

출처: WWF(2017)

2) 내용

WWF는 기준 시나리오 외에 세 가지 대안 시나리오를 개발하였다. 기준 시나리오는 에너지 경제연구원의 '2016 장기 에너지 전망'을 바탕으로 설정했고, 세 가지 대안 시나리오의 경우 국제에너지기구(IEA)에서 발간한 'World Energy Outlook' 및 'Energy Technology Perspectives' 등의 최신 자료를 기반으로 구성했다. 수요 측면에서는 IEA에서 전망한 2040년까지 OECD 유럽 국가들의 1인당 최종 에너지 소비 감축 비율과 동일한 수준으로 한국의 1인당 최종에너지 소비량이 중·장기적으로 감축되는 것을 전제로 했다. 공급 측면에서는 원자력 및 석탄화력 등 중앙집중형 에너지 공급체제를 대체하기 위해 재생에너지를 확대하는 것을 목표로 시나리오를 구성했다 (<그림 4-4> 참조). 이에 따르면 '점진형 전환 시나리오(MTS)'는 2050년의 에너지 수요량은 2014년 대비 약 7% 감소하며 전체 에너지 공급원 중 재생에너지 비중이 45%에 도달한다. '적극형 전환 시나리오(ATS)'과 '비전형 전환 시나리오(VTS)'는 2050년 에너지 수요량이 2014년 대비 약 24% 감소하며, 공급의 측면에서는 전체 에너지공급원 중 재생에너지 비중이 각각 55%와 100%를 차지하게 된다.



〈그림 4-4〉 WWF의 대안 에너지 수요 공급 시나리오

* 출처: WWF(2017)

WWF는 각 시나리오별 목표를 달성하기 위한 핵심 과제를 제시하고 있다(<표 4-3> 참조). 수요 측면과 공급 측면에서 각 시나리오는 공통적으로 전기요금 제도 개혁과 재생에너지 확대를 강조했다. 그러나 보다 야심찬 시나리오로 갈수록 정책 제안들이 추가되고 있다. 예를 들어 MTS에서는 수송 부문에 관한 정책만 제시되어 있는 반면, VTS에서는 새롭게 건물 및 산업 부문의 정책 제안까지 포함되어 있다. 공급의 측면에서도 MTS와 ATS는 태양광 풍력 보급사업만을 제시하고 있지만, VTS에는 이것에 더 나아가 동북아 지역을 연결하는 슈퍼그리드 제안까지 포함시키고 있다. 이로서 에너지 시나리오의 공간적 범위를 확대하고 있다.

〈표 4-3〉 각 시나리오별 목표 달성을 위한 핵심 과제

구분		MTS	ATS	VTS
수요 측면	공통	전기요금 현실화(전력공급에 따른 사회적 비용 반영) 재생에너지 전기요금 실시		
	시나리오별	자동차 연비개선 친환경차 보급 확대 및 인프라 확충	건물 에너지효율 개선 제로에너지 빌딩 확대 수송부문 연료전환 추진	건물 에너지효율 획기적 개선 제로에너지 빌딩 확대 태양광 자동차, 기술개발 및 보급 확대 산업부문 전력화 대폭 확대
공급 측면	공통	RPS 및 FIT 확대 실시 재생에너지 R&D 투자 확대 및 인프라 구축		
	시나리오별	태양광 및 풍력 보급사업 추진	태양광 및 풍력 보급사업 추진	슈퍼 그리드망 구축

*출처: WWF(2017)

3) 특징과 시사점

이 시나리오를 직전에 살펴보았던 환경운동연합의 시나리오와 비교했을 때, 금방 드러나는 차이가 복수의 시나리오를 제시하고 있다는 점이다. 에너지전환 정책 목표의 강도와 정책의 조합에 따라서 세 가지 대안 시나리오를 제시하고 있어, 시나리오의 선택을 두고 토론을 가능하게 해주고 있다. 특히 이런 토론을 보다 원활히 할 수 있도록, WWF는 각 시나리오의 이행을 위한 누적 소요비용을 분석하여 제공하고 있다. 이 분석에 의하면, BAU 시나리오와 비교할 때 대안 에너지 시나리오인 MTS, ATS, VTS에서의 소요비용이 유사하거나 낮은 수준인 것으로 나타났다(<표 4-4>를 참조). WWF는 “기존 에너지 수급 경로 전망과 비교할 때 지속가능한 미래를 실현하기 위한 에너지전환 비용이 오히려 낮을 수 있음을 시사”한다고 설명하고 있다(WWF, 2017: 20).

〈표 4-4〉 WWF 시나리오의 누적 소요 비용 비교

구분	사회적 할인율 3% 적용 시				사회적 할인율 5.5% 적용 시			
	BAU	MTS	ATS	VTS	BAU	MTS	ATS	VTS
투자비용	62	376	354	812	37	226	213	489
운영유지비용	106	279	324	551	73	187	220	369
연료수입비용	2,644	2,132	1,889	1,563	1,828	1,553	1,410	1,230
환경외부비용	340	257	238	213	241	191	180	166
합계	3,125	3,044	2,804	3,141	2,179	2,157	2,023	2,253

주 1) 환경외부비용: 톤당 25,000원/tCO₂ 적용(제7차 전력수급계획 참고)

2) 에너지 수입비용은 에너지통계연보(2015)의 에너지 수입액과 수입량을 바탕으로 수입단가를 계산하여 반영

* 출처: WWF(2017)

3. 녹색당의 '녹색당 대안전력 시나리오 2030'

1) 개요

녹색당·에너지기후정책연구소(2017)는 정부의 8차 전력수급기본계획에 대한 대응의 일환으로, 전력 공급 측면에서 2030년 탈핵과 2050년 탈석탄을 목표로 한 대안전력 시나리오를 발표했다. 녹색당은 대안 전력 수요 시나리오 구성을 위한 주요 전제로 인구, 경제성장, 산업구조를 설정했다. 한편 바람직한 전력수요 목표를 설정하기 위해서, 2050년까지 1인당 전력소비를 2014년의 OECD 유럽 수준을 기준으로 삼았다. 또한 전력수요에 큰 영향을 미치는 산업 내 제조업과 서비스업의 부가가치 비중도 OECD 주요 국가의 것과 비슷하게 변화한다고 가정하였다(<표 4-5> 참조).

〈표 4-5〉 녹색당의 주요 전제와 대안 전력 수요 시나리오

구분	주요 전제	대안 전력 수요 시나리오
인구	<ul style="list-style-type: none"> • 통계청 장래인구 추계 (2030년 정점 이후 감소) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2050년 1인당 전력소비량 2014년 OECD 유럽 수준(5.87MWh) 목표
경제성장	<ul style="list-style-type: none"> • 국회예산정책처 전망 3.1%('16~'20)에서 1.4%('46~'50)로 감소 	<ul style="list-style-type: none"> • 2050년 GDP당 전력소비(전력원단위) 2014년 OECD 주요 국가 수준 달성
산업구조	<ul style="list-style-type: none"> • OECD 주요 국가의 제조업과 서비스업 부가가치 비중 - 제조업(31.5%→25%) - 서비스업(59%→66%) 	<ul style="list-style-type: none"> • 2050년 제조업 전력원단위 2015년 대비 76.6% 감소 • 2050년 서비스업 전력원단위 2015년 대비 64.5% 감소

* 출처: 녹색당·에너지기후정책연구소(2017)

수요 시나리오는 하나로 만들어진 반면에, 공급 시나리오는 세 가지로 개발되었다(<표 4-6> 참조). △시나리오1은 대안 전력 수요 시나리오를 기반으로 2030년 탈핵로드맵과 2050년 탈석탄 로드맵을 적용한 시나리오이다. 석탄화력과 원전의 기저 부하 역할을 유지하는 가운데 LNG발전의 최대 가동률을 석탄화력과 원전 수준으로 확대한다. △시나리오2는 시나리오1을 전제로 하되 LNG발전의 최대 가동률을 2030년 90%에서 2050년까지 70%로 순차적으로 낮추고, 재생에너지 설비를 증가시키며 집단에너지의 역할을 높이는 시나리오다. △시나리오3은 시나리오2를 전제로 LNG발전의 역할을 좀 더 줄이고 재생에너지 설비를 보다 증가시키는 시나리오다.

〈표 4-6〉 녹색당의 대안 전력 공급 시나리오

구분	대안 전력 공급 시나리오
시나리오1	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년 탈핵/2050년 탈석탄 시나리오 • 석탄/원전의 기저부하 역할 유지 • LNG발전 최대 가동률 석탄/원전 수준으로 확대
시나리오2	<ul style="list-style-type: none"> • 시나리오1 전제 • LNG발전 최대 가동률(2030년 90%/2050년까지 70%) • 석탄발전 가동률 제한(2030년까지 순차적으로 50%) • 재생에너지 설비 증가(태양광 33,130MW + 풍력 8,064MW) • 집단에너지 역할 증대(급전 순위 상승)
시나리오3	<ul style="list-style-type: none"> • 시나리오2 전제 • LNG발전 최대 가동률 • (2030년 90%/2040년 70%/2050년까지 60%) • 재생에너지 설비 증가(태양광 33,130MW + 풍력 8,064MW)

* 출처: 녹색당 · 에너지기후정책연구소(2017)

2) 내용

녹색당의 시나리오에 의하면, 2025년에 한국의 전력 수요는 정점을 찍고 서서히 감소하게 된다(<표 4-7> 참조). 이러한 전망은 앞서 WWF(2017)의 시나리오에서 발견되는 것으로, 최근 들어 저성장 국면에 접어든 한국 경제와 인구 감소 전망 등으로 인해서 점차 현실성을 강화하고 있는 것이다.

〈표 4-7〉 전력 수요 증가(감소)율 전망

구분	'16~'20	'21~'25	'26~'30	'31~'35	'36~'40	'41~'45	'46~'50
전력수요 증감율(%)	1.37	0.96	(0.86)	(1.21)	(1.48)	(3.11)	(6.57)

자료: 녹색당(2017) * 괄호()는 음수

공급 측면에서 대안적 에너지원별 발전 설비용량 비중을 시나리오 3을 중심으로 살펴보면, 2030년에는 핵발전소는 모두 폐쇄되며 석탄발전소의 발전용량 비중은 14.4%로 대폭 줄어들게 된다. 대신 재생에너지 발전 설비용량의 비중은 59%까지 대폭 증가하며, LNG발전 설비용량 비중은 17.6%에 머물게 된다. 2050년에 핵발전소와 석탄발전소는 모두 폐쇄되며 재생에너지와 LNG 발전 설비용량은 각각 69%와 20.6%로 확대된다. 또한 2050년까지 석탄발전소는 가동률을 줄여 운영하고 LNG 발전소의 가동률을 높여 운영하는 것으로 가정했다.

〈표 4-8〉 녹색당 시나리오의 에너지원별 발전량과 비중 (단위: GWh, %)

연도	2015년		2030년		2050년	
단위	발전량	비중	발전량	비중	발전량	비중
핵	164,762	31.2	-	-	-	-
석탄	207,334	39.3	94,085	17.1	-	-
LNG	100,749	19.1	207,457	37.8	107,866	35.8
석유	9,537	1.8	-	-	-	-
양수	3,650	0.7	-	-	-	-
집단	22,019	4.2	36,736	6.7	28,651	9.5
신	1,067	0.2	-	-	-	-
재생	18,396	3.5	210,906	38.4	164,489	54.6
계	527,515	100	549,184	100	301,006	100

자료: 녹색당(2017)

이러한 설비를 유지하기 위해 2050년까지 1,814조원의 누적비용이 예상되는데, 이는 원료비와 인건비 등 운영비 뿐 만 아니라 환경·사회적 외부비용을 모두 포함한 것이다. 이는 정부의 제7차 전력수급계획 시나리오와 비교하면 녹색당의 2030년 누적 사회적 비용(992조원)은 117조원이 적은 수준이며, 2030년 발전단가는 kWh당 1128원으로 2015년의 발전단가(84.8원/kWh)에 비해 1.33배 증가하는 것으로 예상된다.

3) 특징과 시사점

녹색당의 시나리오도 복수의 시나리오를 개발했다는 점에서 환경운동연합의 것과 차이를 보이고 WWF의 것과 비슷하게 보이지만, 공급 측면에서도 복수의 시나리오를 제시했다는 점에서 WWF의 것과도 다르다. 하지만 수요 정점과 감소를 목표로 하는 수요 시나리오를 개발했다는 점에서는 WWF와 유사하다. 그런데 감소하는 전력 수요를 전망하면서, 녹색당은 다른 시나리오들과 다르게 산업 내에서의 제조업의 부가가치 비중이 현재와 다르게 변화할 것이라고 가정하고 있다는 점이 특징적이다. 즉 OECD 주요 국가의 제조업 부가가치 비중 현황을 참고해서, 2014년 현재 한국의 제조업 비중이 31.5%인 것으로 2050년까지 25%로 축소되어 산업구조가 고도화된다고 가정하였다. 또한 공급 부문에서는 재생에너지 발전설비 용량을 증가시키는 문제뿐만 아니라, 기존의 발전설비—석탄발전소와 LNG발전소—의 가동율을 조정하는 문제까지도 검토하고 있다. 이를 통해서 온실가스 배출량을 감소할 수 있는 방안을 모색하고 있다. 한편 WWF의 사나리와 비슷하게 녹색당의 대안 에너지 시나리오도 발전원별 외부비용 추정값을 시나리오에 반영해 비교분석하고, 시나리오들을 비교할 수 있도록 하고 있다.

제5장 국내 지자체의 에너지 시나리오 검토

광역 지자체는 <에너지법> 제4조와 제7조에 의해서 5년에 한번씩 5개년 지역에너지계획을 수립하도록 의무화되어 있다. 반면 기초지자체는 지역에너지계획과 관련된 관련 법적 규정은 존재하지 않는다. 그러나 에너지전환에 관한 지자체장의 의지 혹은 광역지자체의 권유 등에 따라서 일부 기초지자체도 지역에너지계획을 수립하고 있다. 국가에너지계획과 마찬가지로, 지역에너지계획에도 어떤 식으로든 에너지시나리오를 포함하고 있다. 여기에서는 최근에 수립된 광역 지자체(대구와 충남) 그리고 기초 지자체(전주와 광명)의 지역에너지계획에서 에너지 시나리오가 어떻게 다루어졌는지를 중점적으로 살펴보도록 하겠다.

1. 대구 지역에너지계획의 검토

1) 개요

대구 광역시는 2015년 10월에 제4차 지역에너지계획을 수립하였다. 2014년 1월에 중앙정부가 제2차 국가에너지기본계획을 수립하였기 때문에, 대구시는 이에 조응할 수 있는 지역에너지계획을 수립할 필요성이 있다고 설명하였다. 또한 2차 국가에너지기본계획이 기존의 공급 중심의 에너지정책에서 벗어나 수요관리형 정책으로 전환하고 지역에너지 거버넌스를 구축해야 한다고 천명한 점을 강조하면서, 시민과 다양한 이해관계자를 참여시키는 거버넌스를 구축하면서 지역의 특성을 고려한 지속가능한 친환경 지역에너지계획을 수립하였다고 밝혔다. 이 계획은 중단기로 2020년까지 5년간 그리고 중장기로 2035년까지 15년간을 대상 기간으로 하였다. 또한 공간적 범위로 1차 범위를 대구시 행정구역, 2차 범위를 인접 시·군·구 지역, 3차 범위로 대경 광역경제권으로 정하였다. 이 계획 수립 연구는 경북대학교 행정학과 교수와 대구지속가

능발전협회의회의 활동가 및 에너지기후정책연구소 연구원이 참여했으며, 한국환경정책평가연구원 소속 박사가 자문을 제공했다. 한편 에너지모델링을 위해서 국제원자력기구(IAEA)가 개발한 MAED(Model for Analysis for Energy Demand) 모형을 사용하였다.

2) 내용

제4차 대구 지역에너지계획은 “대구 에너지 독립”이라는 비전 아래에서, 전력자립율을 2013년 2.0%에서 2035년 35%까지 확대하고 신재생에너지 비중을 2013년도 4.6%에서 2035년 20%까지 높이겠다는 목표를 세웠다. 또한 온실가스 감축량은 2035년 전망치 대비 40%까지 감축한다는 목표도 제시하였다. 핵심전략으로 ‘시민참여’, ‘에너지저소비형 도시’, ‘분산형 에너지’ 그리고 ‘에너지복지’를 제시하였고, 5대 분야—‘에너지 시민참여’, ‘에너지 수요관리’, ‘에너지 생산’, ‘에너지 복지’, 그리고 ‘에너지 기반구축’—에서 총 12개 과제, 46개 사업을 정리했다(대구시, 2016; <그림 5-1> 참조).

비 전	대구 에너지 독립				
목 표	<ul style="list-style-type: none"> 전력자립률: 2013년 2.0% → 2020년 30% → 2035년 35% 신재생에너지 비중: 2013 4.6% → 2020년 8% → 2035년 20% 온실가스 감축량: 2020년 전망치 대비 10%, 2035년 40% 				
핵 심 전 략	<div> <div>시민 참여</div> <div>+</div> <div>에너지 저소비형 도시</div> <div>+</div> <div>분산형 에너지</div> <div>+</div> <div>에너지 복지</div> </div>				
분 야	에너지 시민참여	에너지 수요관리	에너지 생산	에너지 복지	에너지 기반구축
	3개 과제 17개 사업	3개 과제 14개 사업	2개 과제 7개 사업	2개 과제 4개 사업	2개 과제 4개 사업
과 제	1.시민 종합 서비스 제공 2.시민 인식 제고 3.시민 생산자 클럽 형성	1.건축물 에너지 수요 관리 2.에너지 절약 시스템 도입 3.도시 교통의 녹색화	1.청정 에너지 보급 2.분산형 에너지 공급	1.에너지 복지 기반 구축 2.에너지 서비스 접근성 제고	1.데이터베이스 구축 2.네트워크 강화

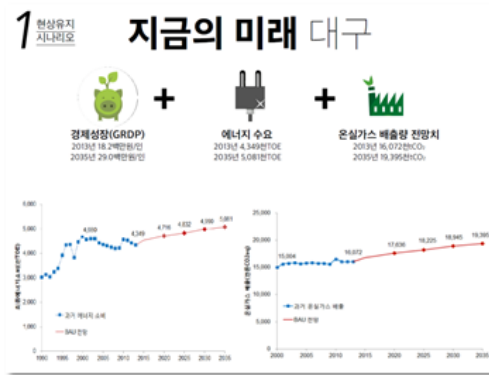
〈그림 5-1〉 제4차 대구 지역에너지계획의 개요

자료: 대구시(2016)

3) 특징과 시사점

대구 4차 지역에너지계획 수립 과정에서 특징은 복수의 시나리오를 개발하고 ‘공론조사’와 같은 숙의적 시민참여 프로그램을 통해서 시나리오를 선택하도록 했다는 것이다. 연구진은 기준 시나리오(지금의 미래 대구) 이외에 2개의 시나리오—‘에너지 독립 시나리오’와 ‘메가솔라 시티 시나리오’—를 개발하였다. 에너지 독립 시나리오는 절약 중심의 시나리오로서 시민참여를 기반으로 하는 수요관리와 소규모 분산형 시스템을 통해 기후변화에 적극적으로 대응하고 에너지 자립도를 높인다는 목표를 지니고 있다. 또한 메가솔라시티 시나리오는 공급 중심의 시나리오로서, 대기업이 주도적으로 참여해 첨단기술과 거대자본을 활용하는 대규모 집중형 전력 시스템을 통해서 안정적인 공급을 목표로 하는 시나리오였다. 이 시나리오를 개발하는 과정에 다양한 이해관계자들과의 포커스 그룹 미팅을 통해서 얻어진 의견을 반영하여 시나리오를 수정보완해 갔다. 또한 개발된 복수의 시나리오들은 무작위로 선발된 시민 참가자들에게 소개되고 전문가들의 토론 등을 경청한 시민들의 투표를 통해서 최종적으로 에너지 독립 시나리오가 선택되었다(오용석·진상현, 2016).

선택된 에너지 독립 시나리오는 절약 중심의 시나리오로서 환경적인 측면을 강조하고 있다. ‘에너지 독립’은 문자 그대로의 의미보다는 에너지의 자급자족이라는 지향성을 강조하는 것으로, 시민들의 자발적인 참여를 통해 적극적인 수요 관리와 시민과 공동체에 의한 에너지 생산 프로그램을 추진하여 소규모 분산형 전력체계를 추구하는 것이다. 이를 통해서 에너지 자립도를 높이고 온실가스 배출량을 줄여서 궁극적으로 기후변화 문제에 대응하려는 목표를 가지고 있다. 이 시나리오가 제시하는 목표는 2035년까지 재생에너지 보급률을 20%로 높이고 전력 자립률을 35%까지 달성하며, 온실가스 배출량을 2035년 전망치 대비 40% 감축한다는 것이다. 메가솔라시티 시나리오는 산업적 측면을 강조하는 것으로, 주로 첨단 기술과 대기업의 역할을 강조하고 있다. 2035년까지 태양광을 1GW 이상 보급한다는 목표를 제시하면서 에너지전환의 비전을 드러내고 있지만 에너지 절약이나 온실가스 감축과 같은 목표보다는 지역의 경제성장과 연계할 수 있는 행위를 더 중요시하고 있었다. 이는 에너지전환을 추구하더라도 상이한 목표와 경로, 그리고 주도적인 행위자를 설정할 수도 있으며, 이를 반영하는 복수의 시나리오를 개발할 수 있다는 점을 보여준다.



〈그림 5-2〉 대구의 에너지 시나리오들

자료: 대구시(2016)

2. 충남 지역에너지계획의 검토

1) 개요

충남에는 전국의 석탄발전소의 절반 가량이 위치해 있으면서 수도권에서 소비되는 전력을 공급하는 기지의 역할을 하고 있다. 또한 석유화학, 철강, 자동차, 디스플레이 등 에너지를 대량으로 소비하는 산업단지 및 시설이 상당수 위치해 있기도 하다(충남 전체 에너지 소비량의 88%가 산업부문, 2014년 현재). 이런 상황으로 인해서 미세먼지, 온배수, 초고압 송전탑, 온실가스 배출 등의 환경적·건강적·사회적 피해에 대한 호소가 점증하고 있다. 특히 신규 석탄

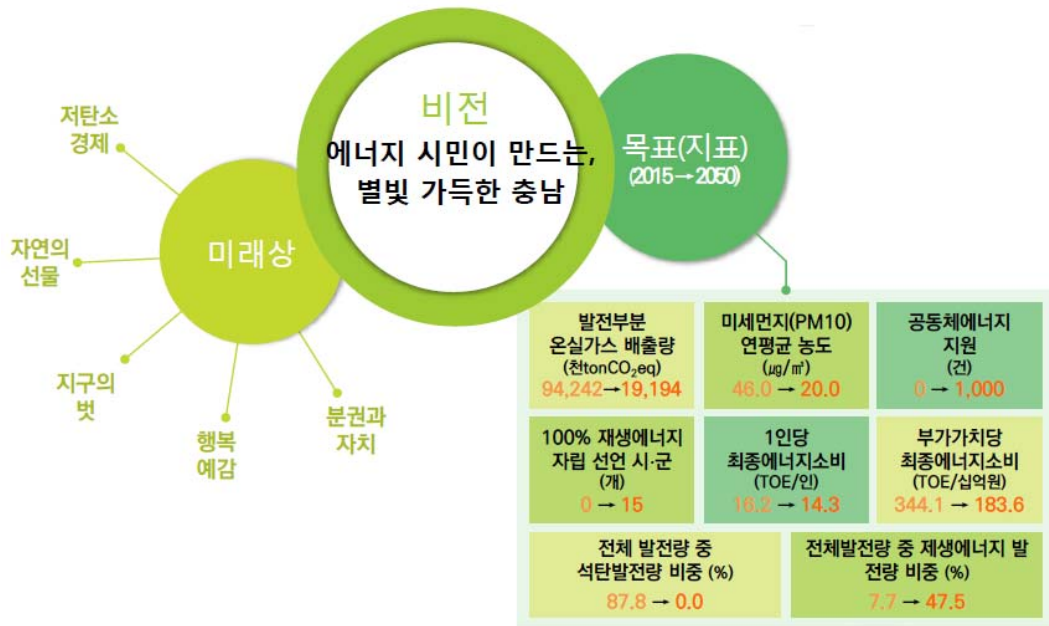
발전소 건설에 직면해 있는 당진시는 이에 강력히 반발하면서 정치적인 쟁점이 되기도 했다. 이런 문제에 직면해서 충남은 석탄발전소를 줄여나간다는 계획을 수립·추진하는가 하면, 다른 지자체들과 연합하여 <지역 에너지전환 공동선언>(2015년)을 하기도 했다. 이런 흐름의 연장선상에서 충남도청은 2016년에 수립한 제5차 지역에너지계획과 별도로 올해(2017년)에 2050년까지의 목표 연도로 하는 탈석탄 에너지전환을 구체화하는 에너지비전을 개발하였다. 비전 개발 연구는 충남연구원(주관 연구기관)과 에너지기후정책연구소(공동 연구기관)에 의해서 진행되었다.

2) 내용

충남도는 2050년까지 관내의 모든 석탄발전소를 폐쇄하고 재생에너지 발전을 47.5%까지 끌어 올린다는 목표를 포함한 ‘에너지 시민이 만드는 별빛 가득한 충남’이라는 비전을 제시하였다. ‘에너지 시민이 만든다’는 부분은 충남의 에너지전환의 ‘과정’을 상징하는 것으로, 시민들이 직접 에너지 계획을 수립하고 실천하여 수요관리와 재생에너지 발전에 투자하는 등 적극적으로 개입할 것이라는 점을 담고 있다. 또한 이 에너지 시설은 거대 에너지 회사의 독점 자산이 아닌 시민, 마을, 지자체가 지속가능한 사회를 만들기 위해서 활용하는 자산이라는 점도 강조하고 있다. 한편 ‘별빛 가득한 충남’은 ‘결과’를 상징하는 것으로, 에너지 절약과 효율 개선을 토대한 에너지 소비 절감으로 빛공해를 줄이고 석탄 시대를 뒤로 하고 재생에너지 시대로 넘어가는 공급 전환을 통해 대기질을 개선해 나갈 것이라는 점을 강조하고 있다.

충남도는 앞서 제시한 석탄발전과 재생에너지 발전 목표 이외에도, 최종에너지 소비량을 증가시키지 않으며 1인당 최종에너지 소비량을 16.2toe/인(2015년)에서 14.3toe/인(2050년)으로 줄인다는 에너지 소비 목표를 제시하였다. 또한 ‘에너지시민’ 지표라는 것을 통해서 에너지 프로슈머와 ‘에너지 시민자산화’ 수를 각각 2050년까지 80만 명과 1,400개까지 늘려 나가겠다는 목표를 제시하였다. 이런 비전과 목표를 실현하기 위해서 에너지전환의 원칙으로 ‘소비절감’, ‘공급전환’, ‘에너지 기업’, ‘에너지 시민’, ‘에너지 분권’ 그리고 ‘에너지 문화’를 제안하고 있다. 또한 ‘탈석탄을 준비하자’, ‘재생에너지를 확대하자’, ‘사람이 에너지다’, ‘시민자산을 만들자’, ‘충남형 에너지사업을 개발하자’, ‘충남 에너지 지역기업을 키우자’, ‘비산업부문 에너지소비를

줄이자', '산업부문 에너지소비를 줄이자', '에너지전환에 투자하자' 그리고 '에너지복지를 확대하자'는 10대 전략을 제시하였다(<그림 5-3> 참조; 충남연구원, 2017).



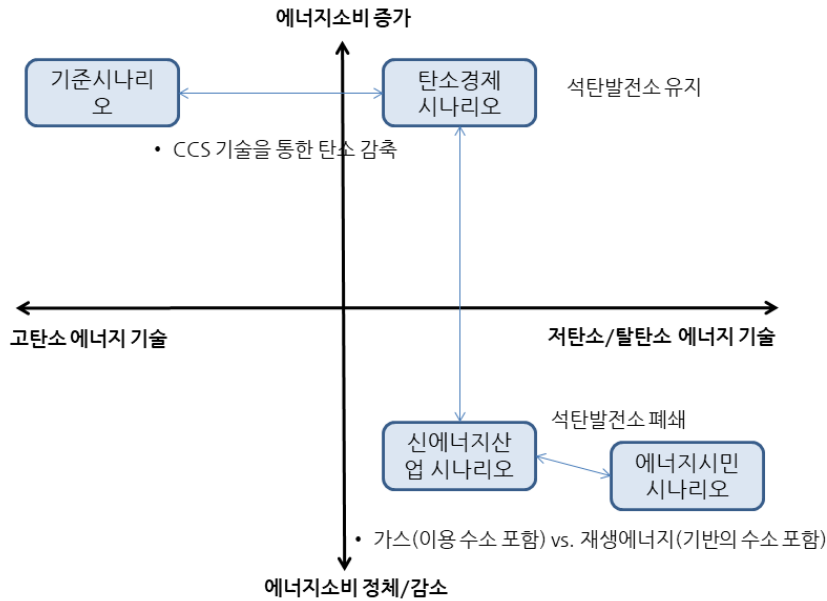
〈그림 5-3〉 충남 2050년 탈석탄 에너지전환 비전과 전략

자료: 충남연구원(2017)

3) 특징과 시사점

충남의 에너지전환 비전은 연구진들이 개발한 세 가지 대안적 시나리오—‘탄소경제 시나리오’, ‘신에너지산업 시나리오’ 그리고 ‘에너지시민 시나리오’—중에서 일반 시민 77명으로 구성된 도민 에너지기획단이 3차에 걸친 워크숍을 통해서 선택한 ‘에너지시민 시나리오’에 근거를 두고 있는 것이다. 비교를 위해서 개발된 기준 시나리오와 세 가지 대안 시나리오들은 아래 <그림 5-4>과 같이 구분할 수 있다. 기준 시나리오는 지금까지의 추세대로 에너지 소비가 지속적으로 증가하며 그것을 석탄발전과 같은 화석에너지 기반의 기술을 통해서 공급한다는 것이다. 탄소경제 시나리오는 에너지 소비가 지속적으로 증가한다는 점에서 기준 시나리오와

수요 부문에서는 동일하지만, CCS 및 미세먼지 저감 장치를 사용하여 환경적 피해를 저감하겠다는 환경관리적 전략을 담고 있다.



〈그림 5-4〉 충남 에너지비전의 시나리오들의 비교

자료: 충남연구원(2017)

이에 비해서 신에너지산업 시나리오와 에너지시민 시나리오는 충남 경제의 저성장 가능성을 반영하고 에너지 효율화를 위한 적극적인 노력을 전제로 하여 에너지 소비가 정체 내지는 감소한다는 점에서 앞의 두 시나리오와 크게 차이를 나타냈다. 또한 기존의 석탄발전소 등에 의존하던 것에서 벗어난다는 점에서 공급의 측면에서도 앞의 두 시나리오와 차이를 보인다. 하지만 세부적인 접근에서는 차이를 보이고 있다. 신에너지산업 시나리오는 천연가스 및 천연 가스에 기반을 둔 수소에너지를 중심으로 에너지 공급 체계를 구축하는 반면에, 에너지시민 시나리오는 태양광, 풍력 및 바이오가스 등의 재생에너지 및 그에 기반을 둔 수소에너지를 중심으로 에너지 공급을 추진한다는 점에서 차이를 가지고 있다. 한편 두 시나리오는 주도적인 행위자이 누구인가라는 측면에서 구별된다. 신에너지산업 시나리오에서는 에너지전환을 기업들이 주도하는 반면, 에너지시민 시나리오에서는 시민들과 공동체가 주도한다고 묘사하고 있다.

충남의 시나리오들은 일상 언어로 설명하는 스토리 라인도 개발되어 제시되었다. 스토리라인은 생활양식, 산업과 경제, 에너지, 생태환경, 거버넌스의 다섯 부문으로 구성되어 있다(<그림 19> 참조). 예를 들어서 에너지시민 시나리오의 생활양식에 대한 스토리라인은 다음과 같다(개발된 네 가지 시나리오에 대한 보다 자세한 내용은 충남연구원(2017)를 참조할 것).



〈그림 5-5〉 에너지시민 시나리오의 스토리라인 요약

자료: 충남연구원(2017)

“에너지시민이 주도한다. 전기자동차와 충전소 중심의 도로시스템으로 변화한다. 대부분 철도와 대중교통을 이용하며 ‘직주근접’의 도시계획에 따라서 가까운 거리는 걷거나 자전거를 이용하면서 교통량 자체가 줄어든다. 건물 단열이 확대되고, 바이오연료와 태양열(광) 등 재생에너지와 그와 연계된 수소연료전지로 열병합 발전을 하여 집단적으로 난방열을 공급한다. 사람들은 경제성장보다 삶의 질 향상을 추구하며, 대규모 자본이 집중적으로 투자되는 CCS기술과 수소망 등 대규모 기술 시스템에 비판적이다. 도민들은 자신의 집에서 에너지를 직접 생산하고 판매하는 에너지 프로슈머가 된다. 기존의 집중되고 빠른 도시 집중형 생활 문화가 변화되어 느리지만 분산된 도농 협력 문화로 재편되고 높은 공동체 신뢰를 보여준다. 도민들은 보다 안전하고 깨끗하며 정의로운 에너지를 사용할 필요성을 느끼며 이를 위해 에너지 효율화/절약 행동에 나선다. 또한 지금껏 외면되어 왔던 사회적·환경적 비용을 지불할 의사를 갖고 있다”(충남연구원, 2017: 110).

3. 전주 지역에너지계획의 검토

1) 개요

전주시는 2016년 3월에 <제1차 전주지역에너지계획(2016~2025)>를 수립하였다. 2011년 일본 후쿠시마 사고 이후 핵에너지 이용에 대한 우려가 급증하고 2015년 파리협정에 따른 신기후체제가 예고됨에 따라서, 기초지자체로서는 드물게 전주시가 이에 대응하기 위해서 에너지 전환을 지향하는 지역에너지계획을 자발적으로 수립하였다. 이번 계획은 ‘시민참여형 에너지 백캐스팅’ 방식을 사용하였다. 바람직한 목표를 세우고 그 방향으로 에너지시스템을 전환하기 위한 방안을 구상하는 데 적합한 에너지 백캐스팅 방법론에 활용하였으며, 여기에서 바람직한 목표를 세우는데 있어서 시민들이 참여할 수 있도록 한 것이다. 이 계획의 수립 연구는 에너지 기후정책연구소가 주관하고 이클레이(ECLEI) 한국사무소 그리고 전주지속가능발전협회의가 참여하였다.

2) 내용

전주 지역에너지계획은 <에너지자립 문화도시 전주: 에너지디자인 3040>이라는 비전과 목표를 담고 있다. <에너지자립 문화도시 전주>는 ① 지속가능한 생태도시 전주 실현, ② 2050년 에너지 자립 지향, ③ 이클레이 ‘에너지안전도시’ 동참, ④ 시민참여 ‘에너지디자인’ 원칙 구현, ⑤ ‘에너지 문화도시’ 모델 창출을 위한 전주의 새로운 미래비전이자 2025년에 달성할 목표로 설정된 것이다. <에너지디자인 3040>은 전주 시민들이 함께 노력해서 2025년에 에너지자립 30%, 전력자립 40%를 달성하겠다는 목표를 표현하는 것이다. 이런 원대한 구상을 실행하기 위해서 ‘절약과 효율’, ‘분산과 생산’, ‘참여와 나눔’, ‘교육과 문화’ 그리고 ‘상생과 통합’의 5대 전략 하에 10대 방향과 30대 사업을 제시하였다.⁶⁾ 30개 사업은 우선사업(9개), 중점사업(6개), 선도사업(5개), 기반사업(10개)으로 분류했으며, 이를 다시 1단계(2016~2017년), 2단계(2018~2020년),

6) 이런 사업 제안 중에는 인근 지역인 완주와 협력하여 태양광 발전 및 바이오메스 발전소를 건설하고 재생에너지 전력을 생산하여 공급받는 ‘완(주)전(주)좋은에너지’ 사업도 포함되어 있다는 점이 눈길을 끈다.

3단계(2021~2025년)에 따라서 배열하여 제안하고 있다(아래 <표 5-1> 참조). 한편 장기적으로 진행될 에너지자립으로의 전환관리 시스템을 마련하고, 2020년에 1, 2단계 성과를 평가하고 여건 변화를 고려하여 제2차 전주지역에너지계획(2021~2030) 수립의 필요성도 제기하고 있다(전주시, 2016).

〈표 5-1〉 2025 전주지역에너지계획 비전과 목표

비전	에너지자립 문화도시 전주	
가치	내가 만든 에너지, 따뜻한 전주	
목표	【 에너지디자인 3040 】 2025년 에너지자립 30%, 전력자립 40%	
지표	2013년 에너지사용량 대비 12.8% 저감 (절약 95,546TOE, 효율 81,346TOE) 신재생에너지생산 356,353TOE	
효과	에너지 전환 · 대체 381,945TOE 온실가스 감축 903,765tCO ₂	
5대 전략 10대 방향	절약과 효율	에너지 절약 도시: 에너지 절약으로 에너지저소비 도시에 앞장서기 에너지 스마트 도시: 건물 효율화와 녹색화로 에너지 똑똑하게 사용하기
	분산과 생산	에너지 생산 도시: 깨끗하고 건강한 분산형 에너지 만들기 에너지 공동체: 주민주도형 동네 에너지 가꾸기
	참여와 나눔	에너지 시민 도시: 시민, 에너지를 디자인하다 에너지 행복 나눔 도시: 에너지 나누기, 행복 더하기
	교육과 문화	에너지 교육 도시: 에너지교육 백년지대계 에너지 문화 도시: 에너지, 문화와 역사를 만나다
	상생과 통합	에너지 경제 도시: 에너지로 흥하다 에너지 상생 도시: 재생에너지 협력으로 지역상생
	상생과 통합	에너지 상생 도시: 재생에너지 협력으로 지역상생
30대 주요 사업	우선사업(9)	시민 에너지독립 운동, 전주시민에너지협동조합, 주택에너지효율화사업단, 재생에너지 가이드라인 등
	중점사업(6)	온고을 프로젝트, 전주 활짝 에너지센터 설립 · 운영, 온누리 햇살 등
	선도사업(5)	월드컵경기장 서포터즈발전소와 에너지 전환 거리, 전주에너지독립영화제 등
	기반사업(10)	선사인 파크, 에너지기금과 발전차액지원제도, 완전 좋은 에너지 등

3) 특징 및 시사점

전주지역에너지계획은 공식적으로는 2025년 비전과 목표를 제시하고 있지만, 시민들과 함께 토론하는 과정에서는 에너지전환의 상상력을 해방하기 위해서 2050년의 ‘에너지 미래’에 대해서 논의하였다. 이 결과 2050 에너지 비전을 ‘미래세대를 위한 에너지자립 문화도시 99.9’로 설정하였다. 그 후 이를 실현하기 위한 1단계 기간(2016~2025년)의 정량적인 목표로 ‘내가 만든 에너지, 따뜻한 전주’를 정하는 한편, 세 가지 정량적 시나리오도 개발하였다. 정량 시나리오들은 전체적으로 동일한 방향을 보여주고 있지만, 목표의 강도에 있어서 차이를 보이고 있다. 예를 들어 레드 시나리오(S1)는 2025년 에너지 자립율을 30%로 하는 반면, 그린 시나리오(S2)와 옐로우 시나리오(S3)는 각각 28%와 23%로 하면서 목표에서 차이를 보여주고 있다. 비슷하게 에너지·효율화, 재생에너지 생산, 전력자립률 목표에서 차이가 주어졌다. 그러나 에너지 소비를 효율하고 절약하며 재생에너지 이용을 확대하여 에너지 및 전력 자립률을 높이겠다는 방향에서는 동일했다. 한편 이 시나리오들에 대한 시민패널들의 토론과 평가에 도움을 주기 위해서, 각 시나리오에 따른 온실가스 배출량 및 사업비의 추정치도 함께 제시하고 있다(아래 <표 5-2> 참조).

〈표 5-2〉 전주 에너지시나리오(S1, S2, S3) 비교

구분	S1	S2	S3
저감 목표	<ul style="list-style-type: none"> 에너지절약: 95,546TOE 에너지효율: 81,346TOE (2013년 에너지사용량 대비 12.8% 저감)	<ul style="list-style-type: none"> 에너지 절약: 95,546TOE 에너지 효율: 81,346TOE (2013년 에너지 사용량 대비 12.8% 저감)	<ul style="list-style-type: none"> 에너지절약: 61,838TOE 에너지 효율: 81,346TOE (2013년 에너지 사용량 대비 10.4% 저감)
생산 목표	<ul style="list-style-type: none"> 신재생에너지생산: 356,353TOE (2013년 151,300TOE 합산)	<ul style="list-style-type: none"> 신재생에너지생산: 334,497TOE (2013년 151,300TOE 합산)	<ul style="list-style-type: none"> 신재생에너지생산: 284,510TOE (2013년 151,300TOE 합산)
자립 목표	<ul style="list-style-type: none"> 2025년 에너지자립률 30% (2013년 기준 11%)	<ul style="list-style-type: none"> 2025년 에너지자립률 28% (2013년 기준 11%)	<ul style="list-style-type: none"> 2025년 에너지자립률 23% (2013년 기준 11%)

	• 2025년 전력자립률 40% (2013년 기준 5.8%)	• 2025년 전력자립률 36% (2013년 기준 5.8%)	• 2025년 전력자립률 26% (2013년 기준 5.8%)
전환 대체효과	• 381,945TOE	• 360,0897TOE	• 276,394TOE
온실가스 감축효과	• 903,765tCO2	• 855,495tCO2	• 655,750tCO2
사업비용	• 1,705,411백만원	• 1,542,751백만원	• 1,168,861백만원

* 자료: 전주시(2016)를 수정보완

4. 광명 지역에너지계획의 검토

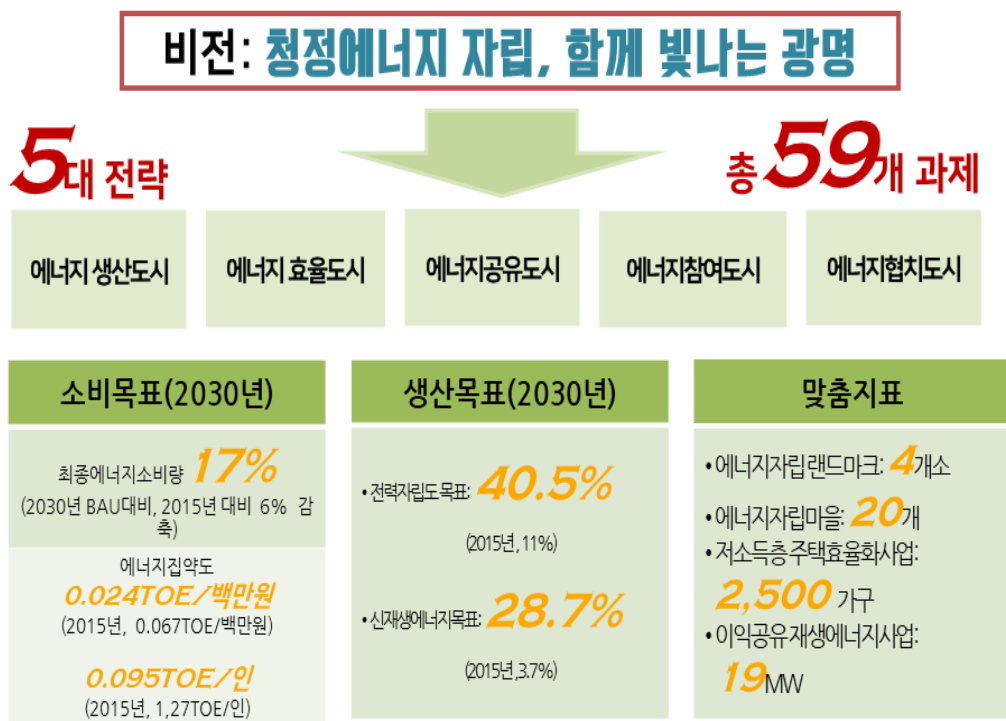
1) 개요

경기도는 2015년에 ‘경기도 에너지자립 2030’ 비전을 수립하고 2030년까지 전력자립률 70%, 재생에너지 비중 30% 등의 야심찬 목표를 제시하였다. 그 후 산하 기초 지자체들이 이런 비전을 공유하고 각 지역별 특성을 반영한 에너지전환 정책을 체계적으로 추진할 수 있도록 지역 에너지계획 수립을 지원하기 시작하였다. 광명시도 이에 호응하여 2016년 하반기부터 시작하여 2017년 초까지 시민참여 방식으로 지역에너지계획을 수립하는 연구 용역을 진행하였다. 이 계획은 경기도와 동일하게 2030년을 목표 년도로 잡았다. 이 연구는 에너지기후정책연구소가 주관하고 지역의 민관협력기구인 푸른광명21이 협력 기관으로 참여하였다. 또한 55명의 시민들을 모집하여 시민에너지획단을 구성하고 3주에 걸쳐 대략 20시간에 진행된 워크숍에 참석하여 광명의 에너지전환에 가장 적합한 시나리오를 선택하도록 요청하였다. 연구진은 시민들이 토론할 수 있도록 세가지 에너지 시나리오를 개발하여 제시하였다.

2) 내용

광명시는 2030년의 에너지 비전으로 ‘청정에너지 자립, 함께 빛나는 광명’을 천명하면서, ‘에너지생산 도시’, ‘에너지효율 도시’, ‘에너지공유 도시’, ‘에너지참여 도시’ 그리고 ‘에너지협치 도시’의 5대 전략과 총 59개의 사업 과제를 제시하였다. 이러한 전략과 과제를 통해서 2030년

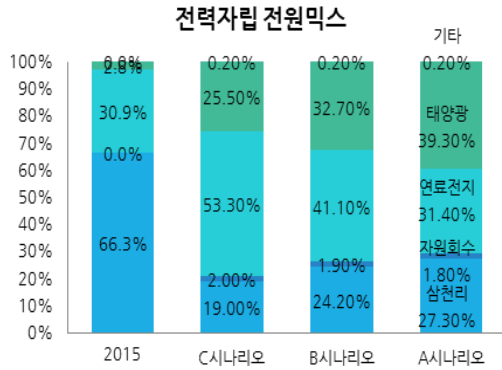
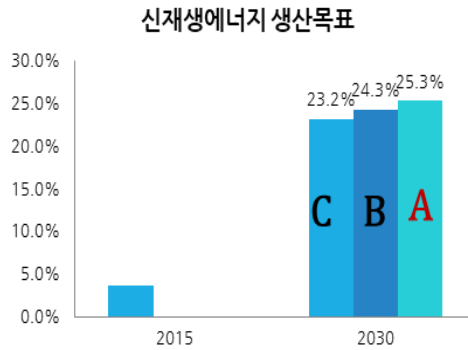
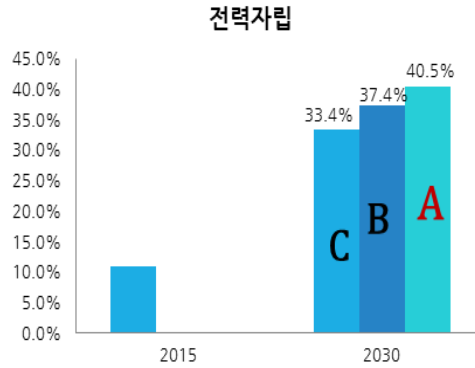
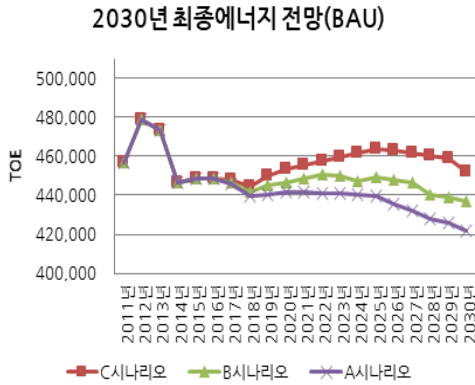
까지 최종에너지를 기준 전망(BAU) 대비 17%(2015년 대비 6%)를 감축하고 전력자립도와 신재생에너지 비중을 각각 40.5%와 28.7%까지 높이겠다는 목표도 설정하였다. 또한 광명시의 에너지자립 정책을 대표할 수 있는 4개의 랜드마크 사업과 함께, 시민들이 재생에너지사업에 참여하여 그 이익을 공유하는 것을 장려하기 위해서 2030년까지 광명 내에서 진행될 사업 중 19MW를 에너지협동조합 및 시민펀드 등의 방식으로 추진한다는 목표도 제시하였다 (광명시, 2017: <그림 5-6>을 참조).



〈그림 5-6〉 광명시의 에너지비전, 전략, 목표 요약
자료: 광명시(2017).

3) 특징과 시사점

연구진은 2030년의 네 가지 목표—2030년 최종에너지 수요 전망, 전력자립도, 신재생에너지 목표, 전력자립을 위해서 설치하는 발전시설 용량의 믹스—를 상이하게 설정하는 세 가지 시나리오를 개발하였다(그림 21을 참조). 시나리오 A가 가장 높은 에너지 소비 저감율(BAU 대비 17%), 전력자립률(40.5%), 그리고 신재생에너지 발전 비중(25.3%)을 보여주었다. 시나리오 C가 가장 낮은 목표를 제시하였고 시나리오 B는 그 사이에 위치하고 있었다. 전력자립을 위한 전원 믹스의 측면에서 시나리오 A는 태양광, 연료전지, 열병합발전이 비슷한 비중으로 구성되도록 하는 안이며, 시나리오 C는 연료전지의 전원믹스에서 차지하는 비중이 가장 높고 중심적인 역할을 하는 안이다(<그림 5-7> 참조). 시나리오 B는 두 시나리오의 중간 쯤에 위치한 안이었다. 그런데 열병합발전과 연료전지가 중요한 광명시의 청정에너지/분산전원으로 중요하게 고려하게 된 것은 광명시의 에너지 현황을 조사 결과, 모 기업에 의해서 운영되는 해당 발전시설이 설치·운영되고 있었기 때문이다. 이는 기존의 에너지 시스템의 조건이 전환경로에 영향을 미친다는 점을 보여주는 것이다. 한편 이들 시나리오에서도 각각 시나리오에 따른 온실가스 배출량 및 에너지 비용 등의 추정치가 함께 분석되어 제시되면서, 시민들의 토론과 평가에 도움이 되도록 하였다.



〈그림 5-7〉 광명시 시나리오들의 비교.

자료: 광명시(2017)

제6장 지자체의 에너지 시나리오 개발 방향 제안

1. 에너지 시나리오 사례들의 분석 종합

1) 시나리오들의 구분

(1) 단일 시나리오와 복수 시나리오 접근

개발된 에너지 시나리오는 대개의 경우 현재의 상태가 지속될 경우에 도달하게 될 기준 (Business As Usual: BAU) 시나리오와 함께, 바람직한 미래를 제시하거나 탐색하는 에너지전환 시나리오를 포함하게 된다. 기준 시나리오는 현재의 상태가 지속될 경우에 직면하게 되는 에너지 시스템의 지속불가능성을 가늠하게 해주는 한편, 함께 개발된 에너지전환 시나리오와의 차이를 비교하는 기준으로 활용되기도 한다.⁷⁾ 한편 에너지전환 시나리오는 하나로 제시될 수도 있지만 복수로 제시되는 경우도 있다. 앞서 살펴본 환경운동연합의 에너지전환 시나리오는 바람직한 미래를 보여주는 시나리오를 하나만 제시하고 있다. 이 시나리오는 정부가 유지하고 있는 정책에서 벗어나서 혁신적인 정책을 채택하여 새로운 에너지 시스템을 만드는 것이 가능하다는 것을 설득하고자 했다. 그런 점에서 단일 시나리오 접근만으로도 충분하다고 판단했을 수 있다. 반면에 앞서 살펴본 여러—영국, 일본, 캘리포니아, 브리스톨, 세계자연기금, 녹색당, 대구, 충남, 전주, 광명—시나리오들은 2-3개의 시나리오들을 제시하고 있다. 이러한 시나리오들은 특정한 가정에 입각하여 각기 상이한 미래를 제시하면서, 이를 비교하여 토론할 수 있도록 해준다. 궁극적으로 에너지계획에서 보다 타당한 비전과 목표를 설정하는데 기여할 수 있도록 해준다. 그런데 복수의 시나리오 접근은 다시 몇 가지 상이한 접근으로 구분해볼 수 있다.

7) 그러나 최근 들어 BAU 시나리오의 임의성이 부각되면서 BAU를 기준으로 에너지전환 목표를 설정하는 것이 적절치 않다는 지적이 지속되고 있다. 대안으로 특정 기준년의 에너지 소비 실적을 기준 삼아 비교하거나 목표를 설정하는 것이 적절한 것이다.

(2) 목표 강도의 구분 혹은 전환 경로의 구분

복수의 시나리오 접근은 크게 두 가지로 구분해볼 수 있다. 하나는 에너지전환 목표의 강도 차이를 보여주는 접근이 있을 수 있으며, 다른 하나는 에너지전환의 구체적인 상이 무엇인지에 대한 상이한 해석을 반영하고 이에 따른 다양한 전환경로를 보여주는 접근이다. 첫 번째 접근은 세계자연기금, 녹색당, 전주 그리고 광명 등의 사례에서 나타나난다. 특정 시점까지 에너지전환의 목표—예를 들어서 에너지 소비 감축, 재생에너지 비중 확대 목표 등—을 어느 정도까지 야심차게 설정할 것인가 하는 측면에서 복수의 시나리오를 제시하고 있다. 이러한 접근은 상대적으로 에너지전환의 방향은 단일하며 논란이 없다고 전제하고, 이를 추진할 것인가 아닌가, 추진한다면 얼마나 적극적으로 추진할 것인가에 대해서 토론하는데 초점을 맞추고 있다. 두 번째 접근은 영국, 일본, 대구, 충남 등의 사례에서 살펴볼 수 있다. 여기에서는 에너지전환이라는 비전의 구체적인 내용은 자명한 것이 아니며 다양한 의견이 경합할 수 있다는 가정을 받아들이고 있다. 따라서 각각의 시나리오는 에너지전환의 다양한 비전과 이를 달성하기 위해서 상이한 목표와 방법 등을 패키지화해서 보여주고 있는 것이다. 이는 경쟁하는 에너지전환의 비전과 경로가 존재할 경우에, 이 중에서 어떤 것을 선택할 것인지 토론할 수 있도록 해준다. 그리고 보다 효율적이고 효과적인 에너지계획 수립에 도움을 줄 수 있을 것이다.

2) 시나리오 개발을 위한 방법

(1) 행동공간에 의한 구분

상이한 에너지전환 비전과 경쟁하는 전환 경로가 있다고 하면, 이는 어떻게 포착할 수 있을까? 이는 영국의 사례에서 활용된 ‘행동공간(action space)’이라는 개념을 활용해볼 수 있을 것이다. 행동공간이란 에너지전환을 추진하는 과정에서 국가, 자본, 시민사회 사이의 관계를 맺고 상호작용하는 공간이라고 설명할 수 있다. 이때 어떤 행위자들이 주도적인 역할을 하느냐에 따라서 에너지전환의 구체적인 비전과 경로로 상이할 수 있다고 가정한다. 영국의 시나리오가 이를 명시적으로 보여주고 있는데, 어느 행위자가 주도하느냐에 따라서 에너지 수요의 양태와

활용하는 에너지원의 선택이 상이하게 나타난다. 행동공간이라는 개념을 사용했는지를 명시적으로 밝히지는 않지만, 일본 대구, 충남의 사례들도 비슷한 접근을 보여주고 있다. 대구의 사례에서는 대기업을 핵심적인 행위자로 한 ‘메가솔라시티’ 시나리오와 시민과 공동체를 중심으로 ‘에너지독립’ 시나리오가 제시되었다. 비슷하게 충남의 사례에서는 기업을 중심으로 한 ‘신에너지산업’ 시나리오와 시민과 공동체를 중심으로 한 ‘에너지시민’ 시나리오가 개발되었다.

(2) 스토리 라인(story line)의 활용과 질적 시나리오의 개발

한편 지금까지 개발되어 온 에너지 시나리오는 대개의 경우 에너지 모델링을 통해서 산출된 몇 가지 핵심적인 지표에 관한 수치를 통해서 외부로 제시되어 왔다. 예를 들어서 미래의 어느 시점의 에너지 수요량, 부문별 에너지 수요량, 1차 혹은 최종에너지의 원별 비중, 일인당 에너지 소비량, G(R)DP 당 에너지 소비량(에너지 원단위) 등이 중요하게 다루어지고, 이에 대해 수치를 통해서 각 시나리오들을 특징짓고 상호 비교할 수 있도록 해준다. 그런데 이런 식의 시나리오의 묘사는 의사결정자들 나아가 평범한 일반 시민들이 그 의미를 파악하고 토론하는 것을 어렵게 하는 장애물이 되기 쉽다. 따라서 다른 접근이 필요하다. 에너지 모델링을 통해서 만들어진 몇 가지 지표를 통해서 묘사된 시나리오를 양적 시나리오라 이름 붙인다면, 일상적인 언어로 미래의 에너지 시스템의 상황을 묘사하는 질적인 시나리오도 개발될 필요가 있다. 즉 질적 시나리오는 미래 시점의 에너지 시스템을 설명하는 스토리 라인을 담는 것이라고 할 수 있다. 미래의 에너지 시스템, 그것을 둘러싼 환경과 그로부터 발생하는 효과 등을 몇 가지 핵심적인 영역에서 일상 언어(가능한 경우에는 그림도 병행해서)로 묘사하는 것이다. 이 점은 브리스톨과 충남의 사례에서 살펴볼 수 있다. 질적 시나리오에는 몇 가지 단어로 제시되는 비전, 그리고 지향하는 가치나 원칙 등도 포함될 수 있다. 그리고 이것은 양적 시나리오를 개발하는 가이드라인의 역할도 한다. 이런 점에서 질적 시나리오와 양적 시나리오는 독립적인 것이 아니라, 상호 연관 관계를 가질 수 있다.

(3) 시민참여를 통한 비전, 가치 그리고 목표의 설정

일상 언어로 묘사하는 질적 시나리오를 양적 시나리오와 함께 개발하는 목적은 시민들이 에너지계획의 수립 과정에 참여할 수 있도록 하기 위한 것이다. 현재의 추세를 따라서 미래에

에너지를 얼마나 사용하고 그것을 얼마나 저렴하고 안정적으로 공급할 수 있을 것인가에 초점을 맞춘 시나리오라면, 이를 정확히 예측하고 계산할 수 있는 전문가들에게 맡겨야 한다는 주장이 설득력을 가질 수도 있다. 그러나 에너지 시스템이 현재의 추세를 따라서 계속 성장한다면 지속불가능하다는 점을 받아들이고, 미래의 언제 시점까지 지금의 시스템을 바꾸겠다는 규범적인 목표를 설정하고 이에 도달할 경로를 모색하고 정책을 결정해야 한다면 상황은 바뀐다. 무엇이 바람직한 규범적인 목표가 될 것이며, 어떤 길을 따라서 그 목표에 도달할 것인가에 대한 계획 수립은 기술적·경제적인 판단만 아니라 정치적·윤리적·사회적 판단을 포함하는 것이다. 따라서 이해관계자를 포함한 폭넓은 시민들의 참여가 필요한 일이다.

앞서 소개했던 대구, 충남, 전주, 광명의 사례에서 각 지역에서 지원·추천받은 자발적인 시민 패널들은 전문가들의 도움을 받아 해당 지역의 바람직한 에너지 시나리오가 무엇인지를 선택하였다. 이 과정에서 앞서 설명하였던 복수의 시나리오들이 개발되어 제시되었으며, 일부(충남)의 경우에는 보다 자세한 스토리 라인도 개발되어 활용되었다. 시민들은 전문가들로부터 에너지 시나리오에 대해서 설명을 듣고 질의응답을 했으며, 이후 어떤 시나리오가 가장 바람직한 것인지에 대한 토론을 하였다. 전주, 광명, 충남의 경우에는 3주간에 걸쳐서 대략 20시간 내외의 시간 동안에 이루어진 속의 과정이었다(충남연구원, 2017; 광명시, 2017).⁸⁾

8) 이외의 사례들에 대한 소개와 자세한 설명에 대해서는 다음을 참조할 수 있다. 한재각·이정필(2017), 한재각 외(2017).

2. 에너지 시나리오 개발의 준비, 진행 그리고 후속조치

지자체의 에너지 시나리오는 개별적인 목적으로 개발될 수도 있겠지만, 주로 지역에너지계획 수립 과정에 활용하기 위해서 개발될 가능성이 높다. 따라서 에너지 시나리오의 개발 준비, 진행 그리고 후속조치에 관한 설명은 지역에너지계획의 수립을 전제로 논의를 하는 것이 도움이 될 것이다. 아래에서는 지역에너지계획을 중심으로 설명을 하도록 하겠다.

1) 에너지 시나리오 개발의 준비

(1) 지역에너지계획 수립의 제도적 기반의 준비

지역에너지계획 그리고 에너지 시나리오가 수립되고 또 실천적인 의미를 가지기 위해서는 에너지조례와 에너지위원회와 같은 적절한 제도적 기반이 마련되어 있어야 한다. <에너지법>에 의해서 의무화된 광역지자체의 지역에너지계획의 경우는 상대적으로 튼튼한 제도적 기반을 가지고 있는 것으로 평가할 수 있지만, 기초 지자체가 수립하려는 지역에너지계획은 그렇지 못하다. 정부기관과 국회에서는 모든 기초지자체 혹은 50만 이상의 도시 지역이 지역에너지계획을 수립하도록 하는 방안을 추진하고 있다. 이것이 실현된다면, 보다 확고한 제도적 기반을 갖추게 될 것이다. 그 전까지는 조례를 통해서 이를 마련할 필요가 있을 것이다.

한편 에너지위원회는 개발된 시나리오들과 적절한 방식으로 진행된 시나리오의 선택 과정이 타당했는지를 검토함으로써, 개발되고 선택된 에너지 시나리오에 정당성을 부여하는데 중요한 역할을 하게 된다. 에너지위원회는 지자체 장 등, 권한이 충분한 선출직/고위급 공무원을 위원장으로 하고 주무 및 관련 부서의 공무원, 지역의 다양한 이해관계자들, 그리고 얼마간의 외부 전문가들로 구성할 필요가 있다. 필요한 경우에 지방의원들을 포함시키는 것이 도움이 될 수 있다. 시장 및 공무원들로부터는 정당성의 부여, 정보의 접근과 실행력의 담보라는 측면에서 도움을 얻을 수 있으며, 지역 내의 다양한 이해관계자—예를 들어, 에너지(전력, 가스) 공급자, 대규모 에너지 소비자(생산/상업 시설 관리자), 지역 환경/시민단체, 상인연합회, 아파트 거주민 대표, 교사, 노동조합 등—은 지역 에너지 생산과 소비에 대한 구체적인 정보와

의견을 제공할 뿐만 아니라, 위원회의 정당성을 강화하는데 기여를 할 것이다. 또한 전문가들은 지역의 에너지 시스템에 대한 체계적인 분석과 에너지전환의 방향과 원칙 등에 대해서 안내하면서 합리성을 높이는데 도움이 될 것이다.

(2) 계획 수립 절차의 확립과 연구진의 구성

대개의 경우 지역에너지계획은 지자체 자체적으로 수립하기 보다는 연구 용역을 통해서 외부의 전문기관에 의뢰하여 진행하는 일이 많다. 이때 중요한 것은 과업지시서일 것이다. 과업지시서를 작성하는 과정에서 점검해야 할 몇 가지 주요 사항을 짚어보도록 하자.

우선 지역에너지계획의 계획 기간을 어떻게 설정할 것인가 하는 점이다. 국가에너지기본계획은 20년의 계획 기간으로 하는 반면, 광역 지자체의 지역에너지계획은 5년을 계획기간으로 하고 있다. 그런데 에너지전환과 같은 사회-기술 시스템의 변화는 한 세대(30년) 정도를 예상하고 있다(송위진 외, 2017). 장기간의 계획이 가진 불확실성 때문에 기간을 무조건 길게 한다는 것도 미덕은 될 수 없는 일이지만, 에너지전환의 근본적인 비전과 목표를 설정하고 이를 향한 실질적 변화가 가능하도록 최소한 10년 이상을 계획 기간으로 정하는 것이 필요하다. 특히 에너지 시나리오는 20-30년 이상의 장기로 개발하여 전환의 비전과 방향을 구상·토론할 수 있도록 제공될 필요가 있다. 산업통상자원부(2017: 43)도 지역에너지계획의 정책목표 설정 시 장기(20년) 목표와 단기(5년) 목표를 동시에 설정할 것으로 제안하고 있다.

두 번째 공간·부문·에너지원의 범위를 정할 필요가 있다. 대개의 경우 해당 지자체의 관할 지리적 범위, 에너지 수요의 전체 부문—산업, 상업, 가정, 교통, 공공 등—의 범위, 그리고 모든 에너지원—전력, 가스, 열, 연료 등—의 범위를 포함하도록 한다. 하지만 필요에 따라서 그 범위를 조정·선택하는 것이 필요하다. 예컨대 대구시나 전주지의 경우 주변 지역까지 지리적 범위에 포함시키기도 했는데, 이는 에너지 생산과 소비에서의 효율성을 추구하고 인근 지자체 간의 협력을 모색하기 위한 것이었다. 또한 전체 에너지를 모두 포괄하기 보다는, 환경운동연합과 녹색당의 시나리오가 그런 것처럼 전력과 같이 몇 가지 핵심적인 부문만 다룰 수도 있다. 모든 에너지를 포괄하는 데는 상당한 노력이 필요하기 때문에, 시나리오의 개발 기관과 예산, 그리고 정부의 접근 가능성 등을 고려하여 범위를 제한할 수도 있다.

한편 여기서 살펴본 사례에는 없지만, 몇 가지 소비 부문을 선택하여 시나리오를 개발할 수도 있다. 예컨대 에너지의 대부분을 제조업 분야에서 사용하는 산업 도시나 농업용 에너지 사용 비중이 많은 농촌 지역의 경우에, 해당 부문을 보다 세밀하게 분석하고 대안을 마련해야 할 필요성에 부응하도록 시나리오를 개발할 필요도 있다.

연구진은 단순히 에너지 모델링에 관한 기술·경제학적 역량뿐만 아니라 에너지전환의 구조와 동학을 이해하며 지역의 다양한 이해관계자들과 협력을 이루어낼 수 있는 사회과학적 역량을 포함하는 것이 바람직하다. 또한 지역 연구진의 일부로서 지역에서 활동하는 단체/활동가 등을 포함시켜서 지역 내의 자원, 쟁점, 네트워크를 파악하고 활용할 수 있도록 하는 것이 좋다. 특히 시민참여 방식으로 시나리오를 개발하고자 한다면 이는 필수적인 요소가 된다. 이런 연구진의 구성·선정을 위해서는 많은 지자체에서 채택하고 있으나 실패를 경험하고 있는 가격 입찰 방식을 변화시킬 필요가 있다. 대안으로 연구계획서 제안과 평가가 이루어지는 입찰 방식을 검토할 수 있다.

2) 지자체 에너지 시나리오의 개발

(1) 현황 파악과 핵심 쟁점의 발굴

지역에너지계획의 수립과 에너지 시나리오 개발을 위해서는 해당 지역에 대해 다양한 차원에서 충분히 이해할 필요가 있다. 그럼 구체적으로 어떤 분야에 대한 조사가 필요할까? 광역지자체의 지역에너지계획에 대한 가이드라인을 제시하고 있는 산업통상자원부(2017: 29-30)는 자연환경 특성, 사회환경 특성, 경제산업 특성, 지자체 지역발전계획, 에너지 수급 현황을 파악하도록 제안하고 있다(아래 <표 6-1> 참조). 그러나 이것을 기초지자체의 지역에너지계획의 수립과 에너지 시나리오 개발을 위해서 그대로 활용하기에는 어려움이 따른다. 제안한 조사항목들은 보다 엄밀한(주로 포커스그룹 방식의) 에너지 모델링을 위해서 필요한 데이터를 확보하기 위한 목적을 가지고 있으며, 현실적으로 기초지자체 차원에서는 파악하기 쉽지 않은 것들이 적지 않다. 이는 기초 지자체의 에너지 모델링을 필요 이상으로 세부화하고 정교하게 진행할 필요가 있는가 하는 질문과도 연계된다. 게다가 과거의 추이로부터 지속불가능한 미래

상태를 추정하는 포캐스팅 방식의 모델링이라는 점에서 더욱 회의적이다. 따라서 몇 가지 필수적인 기본적인 항목—충남 사례에서 사용했던 데이터, 인구 및 연령 구조, 가구수, GRDP, 산업구조, 자동차 보급 대수 등—외에는 데이터의 접근 가능성과 초점을 맞추려는 쟁점에 맞게 조사 항목을 취사선택할 필요가 있다.

〈표 6-1〉 지역에너지계획 수립을 위해서 조사해야 할 항목 예시

구분	세부 항목
자연환경	지정학적 위치 및 총면적, 도서 현황, 행정구역 특이점, 기후여건 기후(연평균 기온, 최고기온, 최저기온), 강수량(연평균), 난방도일 등
사회환경	행정구역, 인구 및 가구 변화 추이, 기초지자체 인구 변화 추이, 토지 지목별 현황, 용도별 토지이용 현황, 개발제한구역 현황, 주택 수 및 보급률
경제산업	생산가능인구, 경제활동인구, 경제활동참가율, 고용률, 실업률, 취업자 분포, 지역내 총생산 및 1인당 총 생산액 추이, 전반적인 산업구조 추이, 산업별 사업체 수 및 종사자 수, 전국 대비 총사업체 수 추이, 산업생산·재고·출하 지표, 산업 및 농공단지 현황, 농가인구 및 경지 면적, 농업생산량, 축산업 현황, 수산업 현황, 자동차 등록대수 추이, 도로 연장 등
지역발전 계획	지자체 국토발전 계획, 주요 에너지특화 발전계획 등
에너지 수급	1차 에너지 생산 추이(지역 내에서 생산되는 원별 생산량), 2차 에너지 공급 추이(지역으로 공급되는 원별 공급량), 최종에너지 총소비량 추이, 최종에너지 원별 소비량 추이 및 전국 비교, 최종에너지 부문별 소비량 추이 및 전국 비교, 1인당 최종에너지 소비량 변화 추이, 에너지원단위 추이 등

* 자료: 산업통상자원부(2017)

한편 기초 지자체의 현황은 앞서 제시한 수치화된 양적 데이터뿐만 아니라 지역, 기관, 기업, 단체 등과 그들 사이의 상호 관계에 관한 지리학적 그리고 사회학적인 조사에 의해서 얻어진 고유명사로 표현되는 정보에 의해서 더욱 잘 이해될 수 있다. 예를 들어서 지역 내 에너지 생산, 공급, 소비 현황을 파악하는데 있어서, 어떤 에너지 생산·배분·공급 시설이 어느 지역에 어느 규모로 누구에 의해서 소유·운영되고 있는지 또한 향후의 계획은 어떤지에 대해서 파악할 필요가 있다. 또한 재생에너지의 기술적 잠재량 파악은 구체적인 장소, 그곳의 도시계획상

성격, 소유·관할 주체, 인근의 거주/이용 주민들의 인식과 태도 등에 보완될 필요가 있다. 그리고 발전시설, 송전시설, 가스 저장시설 등의 입지와 관련된 지역 내 갈등 등 관련 쟁점을 파악하며, 에너지 관련 활동을 하는 시민단체, 협동조합, (아파트)주민조직 등의 현황도 파악이 필요하다. 또한 지자체의 에너지 관련 조례, 관련 위원회 구성과 활동, 에너지 관련 사업, 조직과 인력, 예산 등도 함께 파악해야 한다. 이는 지자체에 자리 잡고 있는 에너지 사회-기술 시스템의 특성을 이해하며 전환의 씨앗을 파악하는데 필요한 일들이다. 이런 조사를 위해서 현지 조사, 포커스그룹 인터뷰, 집단·계층별 간담회 등의 방법을 활용할 수 있다.

(2) 에너지 모델링의 진행

에너지 모델링은 대개 상당한 전문적인 훈련과 잘 정리된 데이터셋을 필요로 하기 때문에 지자체 행정부서나 시민단체 등에 의해서 진행하기는 쉽지 않다. 따라서 에너지 모델링을 포함한 에너지 시나리오에 전문적 능력을 가진 연구기관에 의뢰하는 경우가 많다. 여기에서는 에너지 모델링의 세부적인 방법론을 소개·설명하는 것은 피하는 대신, 이들 연구기관들이 진행하는 에너지 모델링에 대해서 개괄하면서 그 진행 과정과 결과에 대해서 전문 연구기관/연구자들과 소통하는데 필요한 최소한의 지식과 정보를 제공하고자 한다.

에너지 소비 및 공급에 관한 과거 데이터를 활용하여 현재 에너지시스템을 재현하는 모델을 구축해야 한다. 예를 들어서 에너지 수급과 직간접적으로 관련된 몇 가지 변수에 대한 과거 10년간의 데이터를 엑셀 등으로 정리한 것이라고 설명할 수 있다. 그리고 데이터셋의 수치들이 미래의 시점에 어떻게 변화할 것인지 추정하고자 하는 것이다. 다음으로는 미래 상태를 추정하기 위해서, 에너지 시스템에 영향을 미칠 것이라고 간주되는 핵심적인 변수를 정리할 필요가 있다. 그 변수는 양적인 변수도 있고, 수치화하기 어려운 질적인 변수도 있다.

〈표 6-2〉 에너지 시나리오의 변수들

독립 변수	정량 변수	가정부문	상업부문	수송부문	공공부문	산업부문
		인구수	서비스업 부가가치	자동차등록대수	GRDP (지역총생산액)	산업별 부가가치
	정성 변수	기술적 요소			사회-문화적 요소	
• CCS 기술, • 수소망과 수소자동차, • 전기자동차 등 • 에너지효율기술 • 재생에너지 이용 기술 • 정보통신기술(ICT) 등			• 대규모 에너지 인프라 구축 수용성, • 에너지전환의 주도적 행위자 선택 (중앙정부/지방정부 - 민간대기업 - 시민사회/사회적경제)			
종속 변수	부문별 최종에너지 소비량, 원별 최종에너지소비량, 발전량, 온실가스 배출량, 에너지비용					

* 출처: 충남연구원(2017)

예를 들어서 충남 에너지비전 시나리오를 개발하기 위해서 선별한 변수들은 <표 6-5>와 같다. 각 부문별로 에너지 수요에 영향을 미칠 것으로 판단이 되는 요소를 정량변수로 선택하였는데, 지역별 특성에 따라서 이는 변경할 수도 있다. 그리고 이 정량변수의 미래 추정치는 통계청의 데이터 베이스와 지역개발계획(인구수, GRDP, 산업별 부가가치 등)에서 제시하는 수치를 이용할 수 있다. 그러나 지역개발계획 등에서 제시하는 인구수와 GRDP 추정치는 개발과 성장 확대 편향을 가지고 있어 과대 추산되는 경우도 있기 때문에, 신중한 검토가 필요하다. 한편 양적으로 수치화하기는 쉽지는 않지만 에너지 소비와 생산에 적용되는 기술적 요소와 이런 기술적 요소의 수용 및 선택 등에 영향을 미치는 사회·문화적 요소들도 정성적인 변수로 고려하였다. 이런 기술적·사회·문화적 요소들에 대한 변수들도 지역의 조건과 특성에 맞게 적절하게 선택하는 것이 가능하다.

이런 데이터를 활용하여 미래의 에너지 수요 및 공급을 위한 에너지원들의 필요량을 산출하고, 그에 따른 온실가스 배출량과 필요로 하는 에너지 비용을 계산하여 평가하다. 그러나 여기에서 포캐스팅 방식으로 현재의 추세를 계속 유지한다고 가정하고 추정할 수도 있지만, 에너지

효율 향상과 에너지원 믹스의 변화를 전제로 하여 바람직한 에너지 목표를 달성하도록 추정할 수도 있다(백케스팅). 즉 미래의 시점에 바람직한 에너지 수요량을 정하거나 혹은 에너지 효율 목표를 정하여 현재부터 그 때까지 수요가 어떻게 변화해야 하는지를 추정할 수 있다. 또한 미래의 시점에 재생에너지와 같이 바람직한 에너지원이 전체 에너지 공급 중에서 어느 정도의 비중을 차지해야 하는지를 정하고, 이를 도달하기 위해서 그 사이 기간 동안에 재생에너지 이용을 점차적으로 확대하는 목표를 구체화할 수도 있다. 이런 목표의 설정은 과거 추이에 대한 비판적인 분석과 함께 정치·사회적인 토론을 통해서 결정될 것이다.

한편 통상적으로 모델링을 통해 현재 시점부터 목표 시점까지 매년도별로 지표들의 수치를 산출하게 되지만, 이를 외부적으로 공표할 경우에는 대략 5-10년 간격을 두고 수치를 제시하기도 한다. 여기서 중요한 것은 현재 년도와 최종 년도만의 추정치를 제시하는 것은 전화 경로에 대해서 파악하고 토론하는데 장애가 되기 때문에, 중간 년도의 데이터를 제시하는 것이 필요하다는 것이다.

(3) 에너지 시나리오의 구성

앞서 살펴본 것처럼 에너지 시나리오는 단일하게 혹은 복수로 개발될 수 있다. 지역 에너지 계획 수립 과정의 토론을 위해서 복수로 에너지 시나리오를 개발하는 것이 더 적합할 것이다. 이 경우에 에너지전환의 강도와 속도 차이를 반영하는 복수의 시나리오를 개발할 것인지 아니면 상이한 에너지 비전을 반영하는 복수의 시나리오를 개발할 것인지 판단이 필요하다. 앞선 전주와 광명의 사례를 봤을 때, 기초 지자체에서는 강도와 속도의 차이를 반영하는 복수의 시나리오를 개발하는 경향이 있다. 반대로 대구와 충남고 같은 광역 지자체의 경우에는 상이한 비전들을 반영하는 복수의 에너지 시나리오를 개발하는 경우도 발견된다. 광역 지자체에는 상대적으로 이해관계자들이 많고 다양한 자원 동원과 네트워크 연계를 통해서 경쟁하는 에너지(전환) 비전들이 존재하기 때문에, 이것을 반영하는 여러 시나리오를 만들고 이들 사이에서의 선택 혹은 조정이 필요하기 때문일 것이다. 하지만 기초지자체에서는 상대적으로 이렇기 가능성이 적다. 또한 현존하는 에너지 시스템의 요소들에 의해서 전환 경로가 상당히 선행적으로 규정되기 쉽기 때문에, 일정한 방향의 전환 경로 안에서 어느 정도의 강도와 속도로 에너지

전환을 추진할 것인지를 두고 시나리오를 구성하는 것이 더 적합할 수 있을 것이다.

어떤 방식의 시나리오를 개발할 것인지를 결정했다면, 이제 본격적으로 시나리오 개발에 대해서 논의하자. 기본적으로 에너지전환 시나리오는 백캐스팅 방식을 취한다. 즉 목표 년도에 실현되기를 원하는 바람직한 ‘에너지 미래’를 상상하고 이를 달성하기 위한 정책과 사업들을 개발하는 것이다. 목표연도는 최소한 10년 이상으로 충분히 길게 잡아서 구조적인 변화를 상상할 수 있도록 해야 한다. 이 때—일본 시나리오 사례가 보여주는 것처럼—‘에너지 미래’의 상상이 그 사회의 전반적인 미래에 대한 상상과 별개의 것이 아니라는 점을 기억해둘 필요가 있다. 단순히 에너지원과 기술만이 아니라 거주, 교통, 문화 등의 사회의 전반적인 구조와 기능도 함께 전환하는 것이다. 이는 에너지전환을 ‘사회-기술 시스템의 구조적 변화’로 설명했던 것과 연결된다. ‘에너지 미래’의 상상은 이 연구에서 보여준 여러 시나리오들에서 제시하는 미래를 검토하는 것으로부터 도움을 얻을 수 있을 것이다.

‘에너지 미래’에 대한 상상으로부터 비전을 만들어냈다면, 이제 전환 목표를 설정하는 것이 필요하다. 대개의 경우 에너지 수요(효율) 목표, 재생에너지 비중 목표 그리고 에너지(전력) 자립 목표를 설정한다. 이를 위해서는 두 가지 방식으로 도움을 받을 수 있다. 하나는 해당 지역의 에너지 수급 현황과 추이를 분석하면서 현재의 위치를 가늠한다. 다른 하나는 해외의 선진국 혹은 지역과 비교하면서 벤치마킹하는 방식이다. 예를 들어 국내 여러 에너지전환 시나리오 사례가 보여주는 것처럼 OECD 유럽 국가들의 에너지효율 지표나 국제기구(IEA)의 기후변화 시나리오의 목표를 검토할 수 있다. 현상적으로 볼 때 야심찬 목표를 설정할수록 온실가스 배출의 저감과 같은 환경적 효과에는 긍정적이지만 이를 실현하기 위해서 필요한 재정 규모 혹은 에너지 비용은 커질 수 있다. 때문에 목표 설정에 있어서 시민들의 참여를 통한 지역사회 내의 의견 수렴과 합의 과정을 만드는 것은 대단히 중요한 일이 된다.

한편 에너지 수요와 공급에 관한 목표의 설정 그리고 이어지는 전환 경로를 논의하는데 <표 6-3>이 예시하는 질문들을 활용할 수도 있다. 이 질문들의 핵심은 에너지 소비를 저감하고 새로운 에너지원과 기술을 도입하고 이용을 확대하는데 있어서, 누가 어느 곳에서 얼마나 그리고 어떻게 그 부담, 권한 그리고 이익을 분배할 것인가에 있다. 즉, 에너지소비이 이루어지는 여러 부문들—가정, 상업, 산업, 수송, 공공 부문—의 각각이 에너지 효율화와 절약의 부담을 얼마나 나눌 것인지, 또한 새로운 재생에너지 생산 시설이 도입이 된다면 어느 지역에 누가

도입하며 그 이익은 누가 가지게 될 것인지를 검토할 필요가 있다는 것이다. 이것은 영국의 사례 등에서 보여주었던 ‘행동공간’을 기준으로 시나리오를 구성했던 문제의식과 연결이 된다.

〈표 6-3〉 에너지시나리오 작성 가이드라인 * 출처: 전주시(2016)

에너지 수요	<ul style="list-style-type: none"> • 미래 에너지 수요를 어떻게, 얼마로 전망할 것인가 • 현추세유지(BAU)와 얼마나 다른가 • 에너지 절약/효율로 얼마나 저감할 것인가 • 각 부문/행위자들이 담당할 몫은 얼마인가
에너지 공급	<ul style="list-style-type: none"> • 지역내에서 에너지를 얼마나 생산할 것인가 • 어떤 에너지를, 어느 장소에, 누가 도입할 것인가 • 에너지 유지/관리/보수는 누가 하는가 • 인근 지역과는 어떻게 상생할 것인가
에너지 부문	<ul style="list-style-type: none"> • 가정, 상업, 공공, 수송, 산업
행위자	<ul style="list-style-type: none"> • 시민, 학생, 주부, 노동자, 경영자, 자영업자, 공직자, 각종 단체 등
정책 분야	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 절약, 효율, 생산, 교육, 거버넌스 등
사업 유형	<ul style="list-style-type: none"> • 하드웨어, 소프트웨어, 융합형
동원 자원	<ul style="list-style-type: none"> • (내외부) 재정, 기술, 조직/거버넌스, 사람, 상징/브랜드, 경험 등

* 출처: 전주시(2016)

이상의 질문과 그에 대한 토론의 결과에 기초해서 구성된 시나리오들은 쉽게 이해하기 쉽게 제시될 필요가 있다. 그 하나의 방식이 충남의 사례와 같이 가능한 일상 언어로 시나리오들을 설명하는 스토리라인을 개발하는 것이다. 즉, 에너지 소비 목표, 재생에너지 목표 그리고 에너지자립 목표 등이 우리의 일상 생활과 사회 구조에 어떻게 연계되어 있는지를 설명하는 것이다. 또한 복수의 시나리오일 경우에 상호 비교할 수 있도록 제시되어야 한다. 이는 시나리오를 구성하면서 설정하였던 핵심적인 변수 혹은 질문들을 중심으로, 각 시나리오가 어떤 차이를 가지는지를 보여주는 것이다. 또한 각 시나리오들은 전환 목표 그리고 환경적·경제적 효과 등의 지표에서 어떤 결과를 보여주는지도 비교해서 제시하는 것도 필요할 것이다.

3) 에너지 시나리오 개발 이후

개발된 시나리오(들)는 의사결정을 위한 검토와 토론 과정에 투입된다. 이미 이야기한 것처럼, 에너지 시나리오는 미래에 해당 지역의 에너지 시스템이 갖춰야 하고 현재 상황으로부터 어떻게 벗어나서 변화해야 하는지에 대한 비전과 방향을 담고 있다. 의사결정자들은 상이한 에너지 비전과 방향을 보여주는 시나리오들 중에 하나를 선택하거나 그것의 새로운 조합을 요청하면서 지역 사회에 보다 적합한 비전으로 수정보완해갈 수 있다. 비전을 결정하고 공표하기 전에, 가능하다면 지역 사회의 많은 이해관계자들과 시민들에게 시나리오들을 공유하고 토론하여 의견을 수렴하는 기회를 많이 만들 필요가 있다. 특히 시민참여의 숙의적 토론 프로그램을 조직할 경우에 시나리오들에 대한 토론과 의견 수렴이 보다 체계적으로 이루어질 수 있을 것이다. 한편 시나리오가 제시하는 수치들의 일부를 선택하여 지역에너지계획의 중장기적 혹은 단기적 목표치로 활용할 수 있다. 그리고 시나리오에서 제시한 여러 정책, 제도, 기술, 사회, 문화적인 요소들은 구체적인 정책과 사업 계획을 구체화하는 출발점으로 삼을 수 있다.

3. 충남 지자체에 대한 제안

충남도는 탈석탄 에너지전환 비전으로 “에너지 시민이 만드는, 별빛 가득한 충남”을 제시하면서, 2050년까지 석탄발전소를 모두 폐쇄하며 전체 발전량 중 재생에너지 비중을 47.5%로 확대한다는 등의 야심찬 목표를 제시하였다. 더 이상 미세먼지와 전자파 등에 의한 주민들의 환경·건강 피해를 외면할 수 없으며 날로 심각해지는 기후변화 문제 해결을 미룰 수 없다는 절박함 때문이다. 그러나 이러한 비전을 구체화하고 목표를 달성하기 위해서는 충남도의 모든 이들이 합심하지 않으면 안된다. 특히 넓은 지역을 포괄하고 있는 광역도의 경우에 기초 지자체의 참여가 무엇보다도 중요하다. 그러나 막상 충남도의 야심찬 에너지전환 비전의 실현에 동참하려고 하더라도, 어디서부터 시작해야 하는 것인지 막막할 수 있다. 그러나 언제나 분명한 것은 우리가 어디에 서 있으며 어디로 나아갈 것인지, 또 누구와 함께 할 것인지에 대해서 생각해보는 것이다. 우리 기초지자체에서는 에너지를 어디서 얼마나 어떻게 쓰고 있는지,

또 지역 내에 에너지 생산하고 공급하는 시설은 있는지를 파악하는 것에서부터 시작해서, 충남도의 비전을 실현하기 위해서는 미래에 어떤 목표를 잡아야 하며 그럴 경우에 어떤 정책이 필요한지 살펴보고 또 토론해야 한다. 또한 지역에너지계획을 실행하기 위해서 협력해야 할 지역 내 기관과 집단들은 누가 있으며 어떤 조건에 있는지도 살펴보고, 또 협력적 관계를 맺어야 한다. 이런 활동을 체계적으로 진행하는 한 가지 방안이 지역에너지계획 그리고 에너지 시나리오를 수립하는 것이다.

충남의 모든 기초 지자체들이 전문가들의 도움을 얻어 주민들과 함께 에너지 시나리오를 개발하여 토론하고, 충남도의 에너지전환 비전을 실현할 수 있는 바람직하고 실행가능한 지역 에너지계획을 수립하도록 하자. 이런 제안을 지자체가 수용하고 실제 행동에 나서는 데 도움을 주고자 이번 연구가 진행된 것이다. 즉 (특히, 기초) 지자체 차원에서 지역에너지계획을 수립하는데 도움이 될 수 있는 에너지 시나리오를 개발하는데 도움이 될 수 있는 지식과 정보를 제공하고자 했다. 다시 짧게 요약하자면, 우선 기초 지자체의 지역에너지계획을 수립하는 맥락이 되는 에너지전환의 개념과 다차원성에 대해서 설명하였다. 이어서 지역에너지계획, 에너지 시나리오와 에너지 모델링 자체에 대한 소개와 관계에 대해서 개략적으로 정리했고, 정부의 에너지계획을 구체적으로 검토하면서 에너지 시나리오와 모델링에 대한 이해를 높였다. 이후 해외의 국가 및 지방정부의 사례, 국내 에너지전환 시나리오 그리고 광역 및 기초 지자체의 사례를 차례로 검토하면서, 시나리오의 몇 가지 유형과 시사점들을 정리하였다. 마지막으로 기초지자체 차원에서 지역에너지계획 및 시나리오 개발을 위한 준비와 진행을 위해서 검토해야 할 사항에 대해서 토론하였다. 이 내용은 꼭 지자체장이나 공무원들뿐만 아니라, 함께 해야 할 지방의회, 지역의 관련 기관 및 사회단체, 그리고 지역 주민들까지도 함께 공유하면 지역에너지계획의 수립과 실행에 도움이 될 것이라 생각한다.

마지막으로 이번 연구의 한계점 및 후속과제에 대해서 간단히 정리해보겠다. 실제 지역에너지계획 수립과 에너지 시나리오 개발에 나설 때, 직면하게 되는 문제일 수도 있기 때문에 간과할 수 없다. 이 연구는 기초 지자체의 지역에너지계획과 시나리오 방법론을 개발하기 위해서 검토해야 할 사항을 밝혀내는 예비 연구의 성격을 갖기 때문에, 향후에는 본격적인 가이드라인을 개발할 필요가 있다. 그 가이드라인에는 다음의 몇 가지 사항을 고려하면 좋을 것이다. 우선, (적어도 충남 지역 내의) 기초 지자체의 에너지 시스템의 속성이 가진 유사성을 기준으로

몇 가지 범주—예컨대, 도시 지역, 농촌 지역, 산업 지역—로 나뉘서 접근할 필요가 있을 것이다. 예를 들어서 에너지 수요의 거의 대부분이 산업 시설로부터 유발되는 당진과 같은 산업 지역과 별다른 산업 시설은 없고 농업 활동이 지배적이고 산림 지역이 많은 청양과 같은 농촌 지역은 달리 다를 필요가 있을 것으로 보인다. 둘째, 구분된 몇 가지 범주에 적합한 에너지 모형을 제시할 필요가 있을 것이다. 각 범주에 적절한 변수들을 선별하여 활용할 수 있는 예비적 목록을 만드는 것도 포함될 수 있다. 예를 들어 농촌 지역의 경우에 농업 생산에서 주되게 에너지를 소비하는 부문과 소비 양상을 참고하여 변수를 선정할 필요가 있다. 셋째, 각 범주 별로 주요하게 다루어야 할 예상 쟁점들의 목록을 정리해서, 이와 관련된 조사 항목과 시나리오 구성 시 참고할 수 있는 예시적 스토리 라인을 개발하여 제시하면 좋을 것이다. 여기에서는 지역의 에너지 시스템 운영 그리고 전환 과정에서 관여할 수 있는 행위자—예컨대, 지자체, 기업, 시민—들을 구분하고, 이들이 시나리오에서 어떤 역할을 부여되는지 나타낼 수 있으면 좋을 것이다. 멀지 않아 후속 연구가 이루어질 수 있기를 기대한다.

참 고 문 헌

- ____(2015), 「제7차 전력수급기본계획」
- ____(2017), 「지역에너지계획 수립 가이드라인」.
- ____(2017) 「시민참여형 에너지 대안 시나리오(1)_과정, 결과 및 의미」, 『에너지포커스』 제73호, 에너지기후정책연구소.
- 광명시(2017), 「광명시 에너지자립 및 주민참여형 지역에너지 계획」.
- 권승문·전의찬(2016), 「경제성장률과 산업구조 변화에 따른 장기 온실가스 배출량 전망 시나리오 분석」, 『한국기후변화학회지』 제7권 제3호, pp.257~268
- 김영철(2005), 『에너지 시나리오를 이용한 캘리포니아의 대안적 에너지경로 모색』, ReSEAT 분석리포트.
- 김현우(2011), 「한국 사회의 탈핵 시나리오를 생각한다」, 『탈핵: 포스트 후쿠시마와 에너지 전환 시대의 논리』 이매진
- 녹색당·에너지기후정책연구소(2017), 「녹색당 대안전력 시나리오 2030」
- 대구시(2016), 「제4차 지역에너지계획」.
- 로빈스, 헤니케 (2001), 「미래 지향적 에너지 정책을 위한 4배 전략」, 임성진 편역, 『미래의 에너지』, 생각의 나무.
- 미래기획위원회(2009), 「미래예측 방법」.
- 박기현, 김창훈(2017), 「지역에너지사업 실태분석을 통한 중앙-지방정부 간 에너지부문 협력증진 방안 연구」, 에너지경제연구원.
- 산업통상자원부(2014), 「제2차 에너지기본계획」
- 산업통상자원부(2017), 「지역에너지계획 수립 가이드라인」
- 세계자연기금(2017), 「지속가능한 미래를 위한 대한민국 2050 에너지 전략」
- 송위진 외(2017), 『사회 기술시스템 전환』, 한울아카데미
- 에너지경제연구원(2016), 「2016 장기 에너지 전망」
- 오용석·진상현(2016), 「시민참여 기법을 도입한 대구광역시 지역에너지계획의 수립과정 분석」, 『ECO』 제20권 제2호, pp.237~283.
- 유정민·한재각·정연미(2012), 「에너지 미래를 누가 결정하는가?」, 『경제와 사회』 통권 제92호, pp.107-140

- 전주시(2016), 「전주시 에너지안전(자립)도시 계획」.
- 충남연구원(2017), 「충청남도 에너지전환 비전 수립 연구」.
- 한재각 외(2017), 『시민참여 에너지 시나리오』, 이매진.
- 한재각(2015), 「삼척의 지속가능한 에너지 미래를 위한 정책 방향 제안」, 『에너지포커스』 제61호, 에너지기후정책연구소.
- 한재각 · 이영희 (2012), 「한국의 에너지 시나리오와 전문성의 정치」, 『과학기술학연구』 제12권 제1호, pp.107-144
- 한재각 · 이정필(2017), 「기초지자체의 시민참여형 지역에너지계획 수립」, 『에너지포커스』, 제77호, 에너지기후정책연구소.
- 한재각 · 이정필 · 김현우(2017), 「에너지산업 구조개편과 에너지민주주의 대안: 지역화/공유화 접근을 제안하며」, 『에너지포커스』 제75호, 에너지기후정책연구소.
- 환경운동연합(2017), 「100퍼센트 재생에너지 전환 에너지 시나리오」
- J. SKEA, S. NISHIOKA. (2008) Policies and practices for a low-carbon society. Climate Policy 8:sup1, pages S5-S16.
- Ghanadan, R., Koomey J.G., (2005) Using energy scenarios to explore alternative energy pathways in California. Energy Policy 33: 1117-1142
- Matsuoka, Y., 2007, How to link modelling and practical steps to achieve a low-carbon society, in:DEFRA (ed), Achieving a Low-Carbon Society: Symposium and Workshop, 13-15 June 2007, DEFRA, London.
- Foxon T., 2013, Transition pathways for a UK low carbon electricity future. Energy Policy 52: 10-24
- Rosemary Bailey 외(2012) Exploring a city's potential low carbon futures using Delphi methods: some preliminary findings, Journal of Environmental Planning and Management, 55:8, 1022-1046

■ 집 필 자 ■

연구책임 · 한재각 에너지기후정책연구소 부소장
공동연구 · 김남영 에너지기후정책연구소 상임연구원
공동연구 · 권승문 에너지기후정책연구소 상임연구원

전략연구 2017-25 · 지방정부 에너지 시나리오 개발 연구

글쓴이 · 한재각, 김남영, 권승문
발행자 · 강현수 / 발행처 · 충남연구원
인쇄 · 2017년 12월 31일 / 발행 · 2017년 12월 31일
주소 · 충청남도 공주시 연수원길 73-26 (32589)
전화 · 041-840-1119(기획조정연구부) 041-840-1114(대표) / 팩스 · 041-840-1129
ISBN · 978-89-6124-421-3 03350

<http://www.cni.re.kr>

© 2017. 충남연구원

- 이 책에 실린 내용은 출처를 명기하면 자유로이 인용할 수 있습니다.
- 무단전재하거나 복사, 유통시키면 법에 저촉됩니다.
- 연구보고서의 내용은 본 연구원의 공식 견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.