

한국의 미래 에너지사회 전망에 관한 연구 : 계층분석법과 인과지도의 보완적 분석을 중심으로

A Research on the Prospect for the Future Energy Society in Korea: Focused on the Complementary Analysis of AHP and Causal Loop Diagram

황병용*, 최한림**, 안남성***

Hwang, Byung Yong*, Choi, Han Lim**, Ahn, Nam Sung***

Abstract

This research analyzed on the future energy society of Korea in 2030 using system thinking approach. Key uncertainty factors determining the future energy society were analyzed in a multi disciplinary view point such as politics, economy, society, ecology and technology. Three causal loop diagrams for the future energy system in Korea and related policy leverages were shown as well. 'Global economic trends', 'change of industrial structure' and 'energy price' were identified as key uncertainty factors determining the Korean energy future. Three causal loop diagrams named as 'rate of energy self-sufficiency and alternative energy production', 'economic activity and energy demand' and 'Excavation of new growth engines' were developed. We integrated those causal loop diagrams into one to understand the entire energy system of the future, proposed three strategic scenarios (optimistic, pessimistic and most likely) and discussed implications and limits of this research.

Keywords: 에너지사회, 인과지도, 시나리오, 정책 레버리지, 전략적 예측
(energy society, causal loop diagram, scenario, policy leverage,
strategic foresight)

* 한국과학기술기획평가원 연구위원 (e-mail: byhwang@kistep.re.kr)

** 한국과학기술기획평가원 부연구위원 (e-mail: airman10@kistep.re.kr)

*** 우송대학교 솔브릿지 국제경영대학 교수 (e-mail: nsahn@solbridge.ac.kr)

I. 서론

우리나라는 이명박 정부 출범 후 저탄소 녹색성장을 구현하고 녹색기술과 청정에너지로 신성장 동력과 일자리 창출을 위해 다양한 정책들을 추진 중에 있다. 특히, 에너지 정책과 관련해서는 지속적인 경제성장을 뒷받침하고 미래세대의 수요를 고려한 에너지 안보(Energy Security), 에너지 효율(Energy Efficiency) 및 친 환경(Environmental Protection) 에너지 정책(국무총리실 외, 2008a)의 추진 등이 핵심 요체라 할 수 있다.

그러나 최근 들어 기후변화와 온실가스의 감축, 신 고유가 시대의 도래, 에너지 시장의 글로벌화, 탄소시장의 성장 등 에너지·환경 분야의 새로운 글로벌 패러다임의 등장은 미래 에너지사회와 관련된 불확실성을 한층 증대(국무총리실 외, 2008a; 2008b)시키고 있다.

아울러 에너지의 자주공급역량이 취약하고 해외 의존도가 높은 국내외 여건을 감안할 때, 한국의 에너지 미래는 거시적인 외생변수에 의해 영향을 받을 가능성이 크며 이러한 의미에서 본 연구의 주제인 미래 에너지사회 전망은 국가차원에서도 중요한 화두라 할 수 있다.

지금까지 우리나라는 과학기술 미래사회 전망을 위한 다양한 예측사업을 수행하였으나 방법론 측면에서 견고하지 않아 미래 대응책 마련이 부족한 실정이다(남상성·황병용·최한림, 2009). 특히, 빨라진 기술변화 주기와 불확실한 기술개발 환경 등은 에너지 분야에 있어서 미래예측의 정확성을 저해하는 최대 걸림돌로 작용하였다.

본 연구에서는 이러한 문제점들을 보완하기 위해서 시스템 사고를 이용한 시나리오 개발 방법을 시도하고자 한다. 시스템 사고는 시스템의 구조를 파악하여 시스템 전체를 선순환으로 바꿀 수 있는 정책적 레버리지를 찾아가는 기법이다. 또한, 시스템 사고 기법을 도입하면 모델 개발자는 전문가들의 멘탈 모델을 시스템 사고 모델로 옮겨 전체 구조를 파악할 수 있어 모델 개발자와 이해 관계자간의 커뮤니케이션에 기여할 수 있는 장점이 있다.

이상의 문제의식을 바탕으로 본 논문에서는 다차원적인 관점에서 미래 에너지사회에 영향을 미치는 주요 변수를 선정하고, 핵심 불확실성 요인을 도출하고자 한다. 또한, 미래 에너지 사회를 설명하기 위한 다양한 인과지도와 정책적 레버리지를 파악하고, 이를 하나로 통합하여 미래 에너지사회 전체 시스템의 구조와 다양한 전략적 시나리오 유형도 제시하고자 한다. 참고로 연구 대상은 한국의 미래 에너지사회로 한정하였으며, 중·장기 과학기술 미래예측인 점을 감안하여 예측의 시간적 범위는 2030년까지로 하였다.

II. 이론적 배경

1. 미래 에너지사회 이슈 및 국내외 동향

화석연료의 고갈로 인한 에너지 가격의 상승이나, 환경오염, 태양 및 핵융합 에너지와 같은 신재생 에너지를 끄집어 내지 않더라도 우리나라 대부분의 사람들은 이미 에너지의 중요성에 대해서 깊이 인식하고 있다. 이는 몇 차례의 석유파동과 원유가격 상승으로 인한 경험적 사실에 인터넷이나 방송 등을 통한 에너지와 관련된 다양한 정보의 습득에서 비롯되었다고 해도 과언이 아닐 것이다.

이를 반영하듯 전 세계의 미래예측 혹은 분석 연구(NIC, 2008; DCDC, 2007; Tekes, 2006)들은 미래예측에 있어서 한결 같이 에너지와 관련된 이슈를 중요하게 다루고 있다. 미래한국의 모습을 전망하고, 국가적 비전을 제시한 과학기술미래비전(교육과학기술부 등, 2010)에서도 미래 환경변화에 영향을 미치는 5대 메가트렌드의 주요 내용 중 에너지 고갈, 자원 수급 불안, 수자원 부족, 온실가스의 증가, 환경오염의 양극화 등의 에너지 관련 이슈들을 제시하고 이에 대응한 과학기술 과제를 제시한 바 있다.

국제에너지기구(IEA)의 다양한 보고서(2008a, 2008b, 2008c, 2009)는 경제 및 인구성장의 영향으로 전 세계의 에너지 소비는 지속적으로 증가되고 있으며 이는 온실가스 및 대기오염의 중요한 원인이 되고 있다고 지적하고 있다. 동 보고서에 따르면, 1990년에서 2005년까지 전 세계의 에너지 소비량은 23% 증가하였고, 특히 수송 분야와 서비스 분야에서 가파르게 증가하는 추세에 있으며(37% 증가), 전력 소비는 무려 54%가 증가하였다고 한다. 게다가 2025년까지 세계 경제규모는 현재의 4배에 이를 것으로 예상되었고, 중국 및 인도와 같은 개발도상국의 경제규모는 약 10배가 성장할 것으로 예상됨에 따라 2050년까지 세계의 원유수요는 약 70%, 이산화탄소 배출은 130%까지 증가할 것으로 전망하고 있다.

이러한 전 세계적인 에너지 소비의 증가세는 크게 두 가지의 문제를 유발하게 된다. 첫째는 화석에너지 자원의 고갈 및 에너지 수급 불균형에 의한 에너지 가격 상승이다. EIA(2009a)는 에너지 소비 증가의 영향으로 2035년에 원유가격이 배럴당 224달러에 이를 것으로 전망 하였다. 에너지 가격의 상승은 에너지의 대부분을 수입에 의존하고 있는 우리나라는 물론이고 에너지의 소비를 통해 경제를 유지·발전시켜온 세계경제에 매우 큰 타격을 줄 수 있으며, 세계적인 경기침체 및 국제정세의 불안정으로 확대될 가능성도 배제하기 어렵다. 둘째는 에너지 소비량 증가에 따른 지구환경 변화이다. 유엔 정부간 기후변화 협의회(IPCC)는 2007년 보고서에서 지난 100년(1906년~2005년)간 전 세계평균 기온은 0.74℃ 상승하였을 뿐 아니라 지속적인 상승 추세에 있다고 하였다. 인류의 에너지 소비에 따른 온실가스의

증가로 초래되는 지구온도의 상승은 기존 생태계를 파괴함은 물론이고, 이상 기후에 의한 재난·재해의 급증과 같은 환경재앙으로 우리의 미래를 위협할 것으로 보인다.

다행히, 이러한 전 지구적인 이슈의 해결을 위한 범국가적인 협력 노력이 1997년 교토의 정서 합의 및 이행방안 타결에 따라 구체적인 모습을 갖추게 되었다. 선진국(Annex 1)들은 2008년~2012년까지 온실가스 배출량을 1990년 수준 대비 평균 5.2% 감축하는 것에 동의하였다. 우리나라를 포함한 개도국(Non-Annex 1)은 일단 의무부담에서 제외되었으나, 추후 지속적인 감축 압박을 받거나 온실가스 감축 의무를 지니게 될 가능성이 있다.

이러한 범 국가적 합의에 대응하여 미국은 2007년 에너지 독립 및 안보법(Energy Independence and Security Act)을 제정하고 자동차 연비제고, 조명효율 향상, 상업용 빌딩의 에너지 효율화 등을 포함한 다양한 에너지 효율향상 및 온실가스 저감을 추진하고 있다. EU는 2007년에 20% Energy Savings by 2020의 슬로건 아래 에너지 효율화 비용 지원, 고효율 가전제품의 보급 및 인센티브 지급 등의 계획을 마련하였다. 일본의 경우는 2008년 저탄소사회 만들기 행동계획을 발표하고 2050년까지 일본의 탄소 배출량을 현재보다 60~80% 감소하는 것을 목표로 설정하였다. 이를 위해 혁신기술개발, 기존 선진기술의 보급, 저탄소화 구조로의 변화, 지방자치단체의 역할 등의 추진계획을 수립하여 추진 중에 있다.

우리나라의 경우도 2008년 제1차 국가에너지기본계획을 발표하고 저탄소 녹색성장 구현을 목표로 미래지향적 에너지 정책방향을 제시하였다. 구체적으로 국가에너지 효율을 47% 향상시켜 에너지원단위를 선진국 수준으로 개선하고, 석유·석탄 등 화석에너지 의존도를 낮추고, 원자력·신재생에너지비중을 대폭 확대하는 등 다가오는 에너지 관련 위협에 대응하는 전략을 수립하여 추진하고 있다.

덧붙여, 녹색기술 연구개발 종합대책(교육과학기술부 외, 2009) 및 에너지이용 합리화 기본계획(국무총리실 외, 2008b)의 수립을 통해 주도적인 에너지 관련 기술과 에너지 소비절감을 위한 노력을 지속적으로 추진해 나가고 있다.

2. 시스템 사고에 기반한 미래예측 시나리오 개발

미래 에너지사회 전망을 위해서는 다양한 방법론들이 사용될 수 있다. 가장 기본적으로 활용될 수 있는 방법론의 하나로 시나리오 플래닝 기법¹⁾을 들 수 있다. 시나리오는 불확실한 경계를 정의하고 미래에 다가올 기회, 위협의 전 영역을 파악하게 하여 이에 대처하게

1) 시나리오 플래닝 기법은 불확실한 미래를 예측하기 위해 미래의 움직임에 영향력이 큰 결정변수를 추출하여 이들의 변화방향을 예상함으로써 전략적 대응이 가능하게 하는 의사결정기법 중의 하나이다 (Schoemaker, 1995).

함으로써 불확실성이 높을 때 의사결정의 효과적인 수단으로 간주되어 지고 있다.

이러한 시나리오 플래닝 기법은 현재 미국과 유럽을 비롯한 세계 유수의 기업들과 정부의 전략 입안자들에 의해 활용되고 있다. 세계적인 정유회사인 셸(Shell)사는 고유가에 대비한 시나리오 플래닝을 통해 1970년대 오일쇼크에 경쟁사들에 비해 성공적으로 대응한 사례 등이 있다(Boldock, 1999; Schoemaker, 1993). 또한 시나리오 플래닝은 경영자나 의사결정자에게 미래에 관한 정신적 지도(Mental Map)를 제공한다. 실제로 과학기술의 미래 환경 불확실성을 시나리오 플래닝 분석을 통해 전략적인 측면에서 접근한 연구가 진행된 바 있다. 임현(2009)의 연구는 신재생에너지 분야의 전략적 미래예측을 위해 세계 경기동향, 신재생 에너지 개발, 세계 정치구조 개편 등을 전략적 불확실 속성(Strategic Uncertainties)으로 분류하고 이를 시나리오 플래닝을 통해 정부가 취할 수 있는 전략유형을 도출하고 있다.

하지만, 동 방법론의 신뢰도는 미래의 모습에 결정적인 영향을 미치는 핵심 불확실성 요인을 과학적이고 체계적으로 도출하는 것에 의해 좌우된다(남상성·황병용·최한립, 2009). 또한 미래 예측의 신뢰성 확보를 위해서는 불확실성 요인과 이를 지원하는 주요 변수들 간의 인과 관계를 파악하고 그 안에 존재하는 피드백 구조와 시간 지연 등이 고려되어야 하나 시나리오 플래닝 기법은 이에 대해 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점들을 보완하기 위해서 시스템 사고를 이용한 시나리오 유형제시 방법을 시도하고자 한다. 시스템 사고는 앞서 언급한 바와 같이 시스템의 구조를 파악하여 시스템 전체를 선순환으로 바꿀 수 있는 정책적 레버리지를 찾아가는 기법으로 시나리오 플래닝 기법 보다는 더 많은 신뢰성을 확보할 수 있다. 이러한 시스템 사고의 특징은 첫째, 기본적인 관심의 대상을 연구하고자 하는 특정변수가 시간의 변화에 따라 어떻게 변화해 가는가에 두기 때문에 변수의 시간의 흐름에 따른 역동적인 변화의 경향에 관심을 둔다는 점이다(Meadows, 1980). 두 번째 특징은 시스템 사고에 의한 기본적인 시각이 사회의 모든 현상을 피드백 시스템의 관점에서 이해한다는 것으로 어떤 변수의 동태적인 변화를 다른 변수와의 복잡한 인과관계의 연결고리 속에서 야기되는 역동적인 양방향의 상호작용에 의하여 일어나는 것으로 파악한다는 점이다(Senge, 1990). 그런 까닭에 시스템 사고는 상이한 현상들을 서로 분리시켜서 보는 것이 아니라 어떻게 상이한 현상들이 상호 연결되어 있는가를 인지하고 이해하게끔 도와준다.

덧붙여, 시스템 사고를 위해서는 먼저 시스템의 구조를 파악할 수 있는 인과지도의 개발이 이루어져야 한다. 인과지도 개발을 위해서는 시스템의 주요 변수 선정이 우선이며 본 연구에서는 STEEP 분석²⁾과 계층분석법(Analytic Hierarchy Process; 이하 AHP라 한다)³⁾을

2) 동 방법론은 1960년대 초 Johnson Research Associates(JRA)가 개발한 개념에서 출발한 환경스캐닝(Environment Scanning)의 요인을 파악하는 분석기법 중의 한가지 이다(Denis, 2002).

이용하여 주요 분야 및 변수들을 개발하고자 한다. STEEP 분석을 통해 개발된 주요 분야는 시스템을 최 상위레벨에서 이해하는데 필요한 것이고, 실제 AHP에서 개발된 상대적 중요도가 큰 변수들을 중심으로 인과지도의 주요변수로 사용될 예정이다. 이는 모델은 가능하면 적은 변수를 이용하여 간단하게 개발을 해야 한다는 시스템 다이내믹스 모델링의 기본 법칙을 준수하기 위해서 이기도 하다.

이하 상기 방법론을 활용하여 미래 에너지사회에 영향을 미치는 영향요인과 핵심 불확실성 요인을 도출하고자 한다. 또한, 미래 에너지 사회를 설명하기 위한 다양한 인과지도와 정책적 레버리지를 파악하고, 이를 하나로 통합하여 미래 에너지사회 전체 시스템의 구조와 다양한 전략적 시나리오 유형도 제시하고자 한다.

Ⅲ. 미래 에너지사회 인과지도 작성과 정책 레버리지 파악

1. 미래 에너지사회 영향요인 분석

1) 미래 에너지사회 영향요인

의사결정 사안에 영향을 미치는 요인은 다양한 관점에서 파악할 수 있으나, 환경규제 강화, 무역규제정책, 생활양식의 변화 등과 같은 거시적 환경인자와 제품가격 변화, 신기술 개발 등과 같은 미시적 환경인자로 구분하여 파악하는 것이 일반적 추세이다.

본 연구에서는 미래 에너지사회의 의사결정 사안에 영향을 미치는 주요 변수를 파악하기 위해 먼저 텍스트 마이닝(Text Mining)에 의하여 관련 키워드를 분석하였다. 구체적으로 관련 문헌에서 빈도수를 바탕으로 주요 단어를 도출하고, 이들 단어로 부터 키워드를 파악한 후 키워드의 분포를 문헌과 URL상에서 파악하고자 하였다.

다음으로 텍스트 마이닝에 의해 제시된 결과를 바탕으로 위키(Wiki)기반 온라인 토의를 통해 STEEP 분석을 수행하여 14개의 요인을 파악하고, 에너지 관련 인문사회·정책 전문가, 과학기술 전문가, 시민 패널 등 총 25명으로 구성된 미래 에너지사회 전망위원회에서 한국적 상황을 고려하여 미래 에너지사회의 주요 요인에 대한 개념 타당성을 확보하였다.

1994년 워드 커닝엄의 고안으로 개발된 위키는 웹기반 정보공유체제로 협업 과정에서의 상호작용을 촉진하고 참여도를 증진시키는 역할을 하며 지식을 수집하고 수집된 지식을

3) 1970년대 초반 Saaty T. L.에 의해 개발된 계층분석법은 의사결정 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교(Pairwise Comparison)에 의한 판단을 통하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하는 의사결정 방법이다.

체계화하는데 기여한다. 또한, STEEP 분석에서는 조직이 활동하고 있는 거시적 환경에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위하여 사회(Society), 기술(Technology), 경제(Economics), 환경(Ecology), 정치(Politics) 등 5개의 수평적인 분야로 구분하여 요인을 파악한다.

이상의 과정을 거쳐 파악된 14개의 미래 에너지사회의 의사결정 사안에 영향을 미치는 요인은 <표 1>과 같다.

<표 1> 미래 에너지사회 영향요인

분야	번호	요 인	하위 변수
사회 (Society)	1	에너지 수요증가	1-1 인구증가에 의한 에너지 수요증가 1-2 고령화에 따른 에너지 수요증가 1-3 도시집중형 사회시스템 변화에 따른 에너지 수요증가 1-4 지방분권형 사회시스템 변화에 따른 에너지 수요증가 1-5 소득증대로 인한 에너지수요 증가
	2	생활양식의 변화	2-1 청정/무공해 에너지 사용에 대한 국민의식 고양 2-2 원자력 사용에 대한 국민의식 고양 2-3 친환경 소비주의(Eco-Consumerism) 대두
기술 (Technology)	3	부존 에너지 개발 기술	3-1 심해, 심저, 우주로의 자원개발영역 확대 3-2 효율적 자원채취 및 이용기술개발
	4	신재생 에너지 기술	4-1 경제성 있는 신에너지 제조, 보급 및 이용 기술 발전 4-2 경제성 있는 재생에너지 제조, 보급 및 이용 기술 발전 4-3 Clean Coal 기술 개발
	5	에너지 효율 향상 기술	5-1 기존 에너지 고효율화기술 패러다임의 지속성 5-2 획기적인 에너지 생산/전송/저장 기술의 실용화 5-3 저전력 기술개발
	6	원자력 기술	6-1 핵융합 및 원자력 등 기술 발전 및 확산 6-2 핵의 재처리 기술 확보
에너지 및 경제 (Energy & Economy)	7	세계 경기 동향	7-1 경기변동의 불확실성 심화 7-2 에너지 소비 및 공급 확대 7-3 BRICs, TVT(터키, 베트남, 태국) 국가들의 저가 시장 확대
	8	산업구조의 변화	8-1 산업구조의 고도화 및 산업전반의 에너지절약 필요성 증대 8-2 에너지 관련 기술개발 투자 확대 8-3 탄소시장의 성장
	9	에너지 가격	9-1 화석연료 부존량 감소에 따른 화석연료 가격 상승 9-2 석유메이저기업의 지배구조 강화

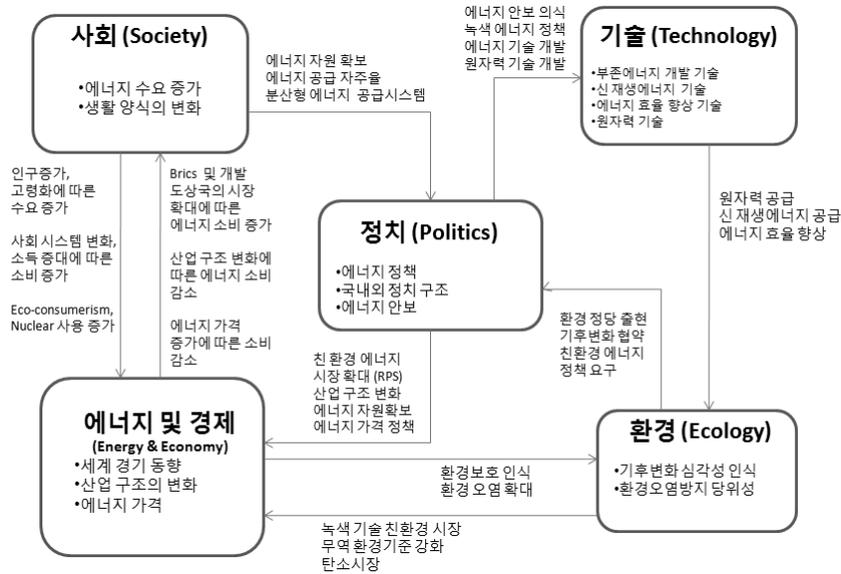
(계속)

분야	번호	요 인	하위 변수
환경 (Ecology)	10	기후변화 심각성 인식	10-1 기후변화, 온실가스 감축을 위한 국제 협약 강화 10-2 탄소저감형, 환경친화적 에너지 시스템 구현
	11	환경오염방지 당위성	11-1 대기·토양·해양 환경오염의 심각성 인식 고취 11-2 폐기물 재활용 증가
정치 (Politics)	12	에너지 정책	12-1 수요관리에 기반한 에너지 정책 확대 12-2 원자력의 사회적 수용성 증대 정책 12-3 에너지효율 인증제 강화 및 상승 유도
	13	국내외 정치구조	13-1 북한변수의 불안전성 증가 13-2 환경정당의 출현 13-3 동북아 국가 간 에너지 협약체제 확대 13-4 자유무역협정 등을 통한 자유무역체제 보편화 13-5 에너지효율기준(Green Index) 등을 통한 무역장벽 확대
	14	에너지 안보	14-1 BRICs 등 자원소비국의 자원확보 경쟁 심화 14-2 자원 민족주의 부각 14-3 주력에너지원의 자주공급역량 확대

* 자료 : 미래 에너지사회 전망위원회의 토론을 거쳐 저자가 작성

한편, 시스템 사고에 기반한 미래 예측에서는 먼저 모델링 목적을 기술하고 이에 필요한 주요 변수를 선정하여 변수간의 인과 관계와 시스템에 내재 되어 있는 피드백 구조를 파악하고 정책적 레버리지를 찾아 가는 것이 중요하다. 미래 에너지사회 시스템은 상기 <표 1>의 주요 5개 분야 영향요인들이 [그림 1]에서 보듯이 인과 관계를 가지고 서로 피드백을 주면서 상호 작용하고 있음을 알 수 있다.

구체적으로 분야별 인과 지도를 상술하면 사회와 에너지 및 경제 분야의 관계는 사회 분야가 정치 분야에 안정적인 에너지 사용을 위해 에너지 자원의 확보와 적정 수준의 에너지 자주율을 그리고 친환경적이고 소비자의 선택권을 늘릴 수 있는 분산형 전원 시스템을 요구하게 되고 정치권에서는 이를 위해 친환경 에너지 사용 확대를 위한 RPS도입과 에너지 자원 확보, 에너지 가격 정책 등 에너지 정책 시행을 통해 에너지 경제 분야에 영향을 주게 된다.



[그림 1] 미래 에너지사회 분석 System Boundary Diagram

* 자료 : STEEP 분석과 미래 에너지사회 전망위원회의 토론을 거쳐 저자가 작성

이 경우 에너지 및 경제 분야는 에너지 소비 변화와 에너지 저 소비 산업 구조로의 변화를 통해 다시 사회에 영향을 주게 된다. 또한 에너지 및 경제 분야와 환경 분야를 보면 에너지 경제 분야는 생산을 위해 환경오염을 확대 시키는 반면 경제 수준이 향상될수록 환경보호 인식이 증가하면서 환경 분야에 영향을 주게 된다, 환경 분야는 이에 대해 녹색기술 친환경 시장, 탄소 시장 및 무역환경 기준 강화를 통해 에너지 및 경제 분야에 영향을 주게 된다. 환경 분야는 또한 정치 분야에 친 환경 정당 출현이나 시민단체 등을 통해 친환경 에너지 정책과 기후변화 대응을 요구하게 된다. 이러한 요구를 받은 정치 분야는 여러 정책들을 통해 에너지 및 경제 분야, 기술 분야 등에 영향을 미치면서 녹색에너지 기술 개발과 원자력 기술 개발을 통해 다시 에너지 경제 분야에 영향을 주게 된다.

기술 분야는 원자력 기술 개발과 친 환경 기술 개발을 통해 환경 분야에 영향을 주게 되고 에너지 정책을 통해 에너지 경제 분야에 영향을 주게 된다.

이처럼 5개 분야는 서로 연결되어 서로 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 어느 한 분야의 하나의 변수에서 변화가 일어나면 그 영향은 그 분야에 머물지 않고 시스템 모든 분야에 영향을 주게 된다.

2) 영향요인의 상대적 중요도

본 연구에서는 에너지 효율화 영향 요인의 상대적 중요도를 파악하기 위해 25명으로 구성된 미래 에너지사회 전망위원회 위원을 대상으로 한 AHP 설문 조사를 통해 5개의 거시적 요인과 14개 하위요인에 대한 상대적 우선순위를 도출하고자 한다. 총 25부의 설문응답 중 자료 활용이 불가능한 응답 3부를 제외하고 22부를 영향요인의 상대적 중요도 분석에 활용하였다.

(1) 1단계, 2단계 분석 결과

본 연구의 1단계 분석은 거시적 요인인 사회, 기술, 에너지 및 경제, 환경, 정치 요인을 대상으로 실시하고, 다음으로 2단계의 하부 요인들 간의 중요도 분석을 실시하였다. 1단계, 2단계 분석 결과는 다음의 <표 2>와 같다.

1단계 분석결과 미래 에너지사회에 영향을 미치는 요인 중 ‘경제적 요인’이 가장 중요한 요인으로 나타났고, 다음으로 중요도 면에서 큰 차이를 보이지는 않지만, ‘기술적 요인’과 ‘환경적 요인’이 도출되었다.

‘경제적 요인’이 1순위로 도출된 배경에는 미래 에너지사회가 ‘경제적 요인’과 밀접한 연관이 있는 것으로 유추가 가능하다. 또한 2순위로 도출된 ‘기술적 요인’의 경우 경제적 요인이 충족되기 위해서는 기술적 요인들이 병행되어야 한다는 피설문자들의 판단이 작용한 결과로 볼 수 있다.

1단계 분석결과에서는 일관성 비율(Consistency Ratio: CR)이 0.00165로 도출되었다. 일관성 비율은 피설문자들의 응답의 신뢰성과 유효성을 검토하기 위한 척도로서 Saaty(1980)는 CR값이 10%(0.1)이하인 경우에 분석결과의 서수적 순위에 무리가 없는 신뢰할 수 있는 결과라고 주장하였다. 이에 따라 본 연구의 1단계 분석결과의 CR값은 0.1 이하로 도출돼 피설문자의 응답을 신뢰할 수 있다고 볼 수 있다.

2단계 분석 결과 첫째, 사회적 요인에 대한 분석에서는 에너지 수요변화가 생활양식의 변화에 비해 매우 중요도가 높은 것으로 나타났다. 이는 생활양식의 변화보단 에너지 수요 변화에 따라 미래 에너지사회의 모습이 바뀔 수 있다는 피설문자들의 판단이 투영된 결과로 볼 수 있다.

〈표 2〉 에너지 효율화 영향 요인 중요도 1단계, 2단계 분석결과

1단계 요인	1단계 중요도	1단계 순위	2단계 요인	2단계 중요도	2단계 순위
사회적 요인	0.12884	5	에너지 수요증가	0.81655	1
			생활양식의 변화	0.18345	2
기술적 요인	0.22613	2	부존 에너지 개발 기술	0.16821	3
			신재생 에너지 기술	0.33119	2
			에너지 효율 향상 기술	0.40229	1
			원자력 기술	0.09831	4
에너지 및 경제적 요인	0.35135	1	세계 경기 동향	0.25249	3
			산업구조의 변화	0.36947	2
			에너지 가격	0.37804	1
환경적 요인	0.15970	3	기후변화 심각성 인식	0.68321	1
			환경오염방지 당위성	0.31679	2
정치적 요인	0.13398	4	에너지 정책	0.41398	1
			국내외 정치구조	0.18804	3
			에너지 안보	0.39798	2

* 자료 : AHP 분석결과를 바탕으로 저자가 작성

둘째, 기술적 요인에 대한 분석결과에서는 지속가능한 미래 에너지사회 구현을 위해 가장 필요한 것이 기존 에너지 고효율화 기술 발전이란 판단에서 에너지 효율 향상 기술 발전이 다른 요인들에 비해 높은 중요도를 나타내고 있다. 다음으로 신기술 개발의 중요성을 감안하여 신재생 에너지 기술 발전과 원자력 기술 발전이 중요하나, 원자력 기술발전의 경우 안정성 문제, 환경문제 등으로 인해 중요도에서 낮게 인식된 것으로 판단된다. 또한 자원개발의 어려움 등을 감안하여 부존에너지 개발기술도 중요도에서 낮게 인식된 것으로 판단할 수 있다. 기술적 요인 분석결과와 CR값은 0.004로 도출되어 피설문자의 응답을 신뢰할 수 있다.

셋째, 에너지 및 경제적 요인에 대한 분석결과 에너지 가격 시스템과 산업구조의 변화가 중요요인으로 도출되었다. 이러한 결과는 미래 에너지사회에 가장 영향력을 끼치는 요인이 에너지 가격시스템이나, 산업구조의 변화에 따른 사용 에너지 변화와도 밀접한 연관이 있어 두 요인간의 차이가 거의 없는 것으로 판단할 수 있다. 에너지 및 경제적 요인 분석결과와 CR값은 0.00028로 도출되어 피설문자의 응답을 신뢰할 수 있다고 볼 수 있다.

넷째, 환경적 요인에 대한 분석결과 기후변화에 대한 인식이 중요도 측면에서 환경오염 방지의 당위성 제고와 큰 차이를 나타내고 있다. 이러한 결과는 환경오염 방지에 대한 주장은 과거부터 계속 되어오던 논의인 반면, 기후변화에 대한 인식은 현재 가장 이슈화 되

고 있을 뿐만 아니라, 시간이 지남에 따라 훨씬 더 큰 변화가 있을 것이라는 피설문자들의 판단이 작용한 것으로 볼 수 있다. 환경적 요인 분석결과와 CR값은 0.00165로 도출되어 피설문자의 응답을 신뢰할 수 있다고 볼 수 있다.

다섯째, 정치적 요인에 대한 분석결과 에너지 정책과 에너지 안보 문제가 중요 요인으로 도출되었다. 미래 에너지사회는 정부정책에 따라 큰 영향을 받기 때문에 에너지 정책이 높은 중요도를 나타내는 것으로 판단되며, 또한 각국의 에너지 정책은 에너지 안보 문제와 직결되어 있기 때문에 둘 간의 중요도에서는 큰 차이를 보이지 않고 있는 것으로 판단된다.

(2) 1·2단계 통합분석 결과

1·2단계 통합분석은 1단계에서 쌍대비교를 통해서 조사된 가중치를 하위 세부항목에 적용하여 각 요인별 중요도를 파악하는 것이 아니라, 전체적 중요도의 산정을 의미하며 결과는 다음의 <표 3>과 같다.

<표 3> 미래 에너지사회 영향 요인 중요도 1·2 단계 통합 분석결과

요 인	중 요 도	순 위
에너지 수요증가	0.10520	4
생활양식의 변화	0.02364	13
부존 에너지 개발 기술	0.03804	11
신재생 에너지 기술	0.07489	7
에너지 효율 향상 기술	0.09097	5
원자력 기술	0.02223	14
세계 경기 동향	0.08871	6
산업구조의 변화	0.12981	2
에너지 가격	0.13282	1
기후변화 심각성 인식	0.10911	3
환경오염 방지 당위성	0.05059	10
에너지 정책	0.05547	8
국내외 정치구조	0.02519	12
에너지 안보	0.05332	9

* 자료 : AHP 분석결과를 바탕으로 저자가 작성

통합분석 결과, 에너지 가격 시스템이 가장 높은 중요도를 나타내고 있으며, 다음으로 산업구조의 변화, 기후변화에 대한 인식, 에너지 수요변화, 에너지 효율향상 기술 발전의 순으로 중요도가 도출 되었다.

1, 2순위로 도출된 에너지 가격 시스템과 산업구조의 변화의 경우 경제적 요인의 하위 변수로서 1단계 분석결과에서 경제적 요인이 다른 요인들에 비해 높은 중요도를 나타내는 영향으로 인해 통합분석 결과에서도 하위 요인들이 높은 중요도를 나타내고 있다고 볼 수 있다. 이러한 결과를 통해 에너지 효율화 미래 사회 전망에 있어서 가장 큰 영향을 미치는 요인은 미래의 에너지 가격 시스템인 것을 알 수 있다.

2. 핵심 불확실성 요인 도출

본 절에서는 불확실성 축 결정을 통한 미래 에너지사회 전체 시스템의 인과지도 작성 및 시나리오 유형 제시를 위해 핵심 불확실성 요인을 도출하고자 한다.

핵심 불확실성의 개념은 미래 에너지사회 전망과 관련하여 예측 가능한 수준에서 불확실성이 높은 환경 외생변수로서, 정책의사결정에 상대적으로 높은 영향력을 가지는 인자로 정의할 수 있다. 이하 기 도출된 미래 에너지사회 영향 요인의 불확실성 정도는 시간적 측면에서의 변화의 속도(Speed of Change)와 환경적 측면에서의 복잡성(Diversity of Stakeholders)을 분석할 것이며 영향력 정도는 효율화 달성 기여도와 간접적 파급효과인 타 산업 파급, 고용, 인력양성 등을 중심으로 분석하고자 한다. 또한, 이를 통하여 미래 에너지사회 영향요인의 불확실성과 영향력의 프로파일을 도출하고 핵심 불확실성 요인을 선정하고자 한다.

자료 수집을 위해 2009년 9월 10일부터 9월 30일까지 기 도출된 미래 에너지사회 영향 요인을 중심으로 구조화된 설문지를 작성하고 이를 에너지 관련 학계 전문가 및 연구원을 대상으로 설문조사를 실시하였다.

분석에 사용된 80명의 조사대상자들에 대한 인구통계학적 특성을 살펴보면 응답자 중 남성의 비율이 80.0%로 여성에 비하여 높았으며, 연령은 30대가 55.0%로 다른 연령대에 비하여 다소 높았다. 학력의 경우 박사 이상이 56.3%로 가장 높았으며 근무조직은 연구소가 71.3%, 직책은 연구원이 65.0%로 과반수 이상의 응답을 보였다. 경력의 경우 10년 미만이라는 응답이 전체 응답의 56.3%를 차지하고 있다.

분석을 위해 먼저 각 차원별 평균값 비교분석을 실시하였다. 그리고 이러한 분석결과를 종합하여 각 요인별 불확실성과 영향력 정도를 두 축으로 하는 요인의 상대적 위치를 파악하고자 하였다. 각 요인별 불확실성 정도와 영향력 정도 평균값은 다음의 <표 4>와 같다.

〈표 4〉 미래 에너지사회 영향 요인별 불확실성, 영향력 분석결과

요 인	평 균 값		백 분 율(%)	
	불확실성	영향력	불확실성	영향력
에너지수요증가	3.55	3.49	71.00	69.75
생활양식의 변화	3.26	3.13	65.25	62.63
부존 에너지 개발 기술	2.98	3.19	59.63	63.80
신재생 에너지 기술	3.48	3.75	69.63	74.94
에너지 효율 향상 기술	3.28	3.91	65.63	78.23
원자력 기술	3.23	3.13	64.63	62.66
세계경기동향	4.04	3.49	80.75	69.88
산업구조의 변화	3.64	3.71	72.75	74.13
에너지가격	3.68	3.56	73.50	71.25
기후변화 심각성 인식	3.64	3.37	72.88	67.34
환경오염방지 당위성	3.16	2.79	63.25	55.75
에너지 정책	3.43	3.80	68.63	76.08
국내외 정치구조	3.28	2.73	65.50	54.63
에너지 안보	3.59	3.14	71.75	62.75

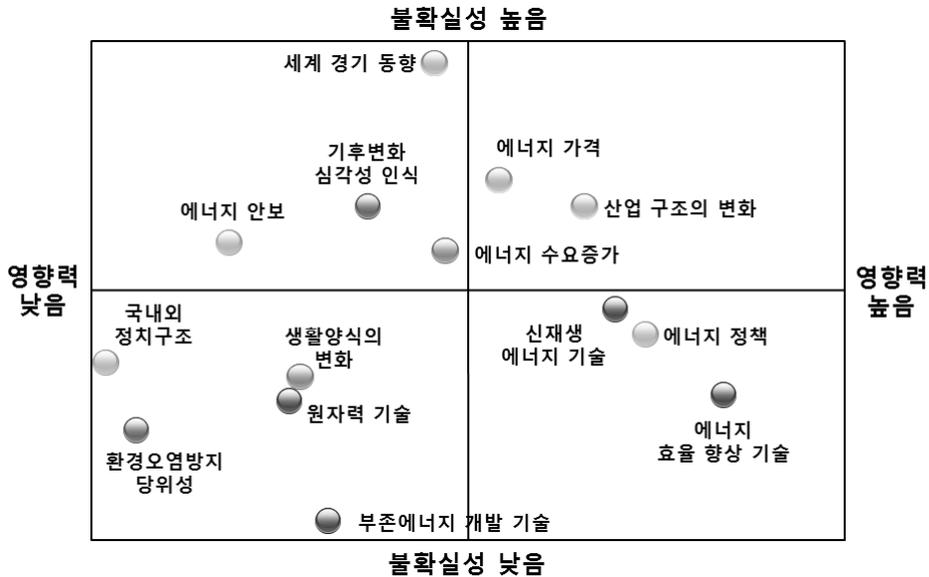
* 주 : 만점 5점

* 자료 : 각 차원별 평균값 비교를 통해 저자가 작성

평균값 분석결과 불확실성이 가장 높은 요인은 세계 경기 동향인 것으로 나타났고, 불확실성이 가장 낮은 요인은 부존 에너지 개발 기술인 것으로 나타났다. 또한, 영향력이 가장 높은 요인은 에너지 효율 향상 기술이며 영향력이 가장 낮은 요인은 국내외 정치구조인 것으로 나타났다.

참고로 본 연구자들의 경험에 비춰볼 때 영향력이 낮게 나타난 요인들은 중요도가 떨어진다든 의미보다는 지속가능한 미래 에너지사회 건설을 위한 대응전략 추진과정에서 좀 더 적극적인 정부지원이 필요하다는 정도로 해석하는 것이 타당하리라 사료된다.

다음으로 생성된 불확실성과 영향력 정도 변수를 맵핑하여 각 요인의 불확실성 속성의 유사성과 영향 속성의 유사성을 분석하고자 한다. 분석결과를 종합하여 14개 요인의 불확실성과 영향력 정도를 교차하여 2개 차원에서의 각 요인의 상대적 위치를 도식화하면 [그림 2]와 같다.



[그림 2] 미래 에너지사회 영향 요인의 불확실성과 영향력의 상대적 위치

[그림 2]에서 보는 바와 같이 에너지 가격과 산업구조의 변화가 다른 요인들에 비해 불확실성과 영향력이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 반면에 환경오염 방지 당위성, 국내외 정치구조가 다른 요인들에 비해 불확실성과 영향력이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

끝으로 14개의 미래 에너지사회 영향 요인을 불확실성, 영향력 정도에 따라 분류하여, 불확실성이 낮으며 영향력이 높은 요인은 확정된 요인(Predetermined Factor)으로 구분하고, 불확실성과 영향력 모두가 높은 요인은 핵심 불확실성요인(Key Uncertainty Factor: KUF)으로 구분하고자 한다.

일반적으로 시나리오 플래닝 기법에서 핵심 불확실성으로 구분된 요인은 요인의 진행방향에 따라 시나리오가 크게 달라지기 때문에 시나리오를 나누는 분기점이 된다. 또한, 확정된 요인은 어떤 미래가 도래하더라도 영향력을 크게 미치지 때문에 모든 시나리오에 공통으로 들어갈 수 있다.

핵심 불확실성 요인과 확정된 요인을 정리하면 다음의 <표 5>와 같다.

〈표 5〉 미래 에너지사회 영향 요인의 영향력 대비 불확실성 표

영 향 력	높음	4. 신재생에너지 기술 5. 에너지 효율 향상 기술 12. 에너지 정책 (확정된 요인)	8. 산업구조의 변화 9. 에너지 가격 (핵심 불확실성 요인)	
	중간		1. 에너지 수요증가 7. 세계 경기 동향 (핵심 불확실성 요인)	
	낮음	2. 생활양식의 변화 3. 부존 에너지 개발 기술 6. 원자력 기술 11. 환경오염방지 당위성 13. 국내·외 정치구조	10. 기후변화 심각성 인식 14. 에너지 안보	
		낮음	중간	높음
		불확실성		

상기 표에서 알 수 있듯이 세계 경기 동향, 산업구조의 변화, 에너지 가격 등 3개의 요인을 핵심 불확실성 요인으로 선정하고, 신재생 에너지 기술, 에너지 효율 향상 기술, 에너지 정책 등 3개 요인을 확정된 요인으로 선정할 수 있다.

3. 미래 에너지사회 인과지도

앞서 언급한 바와 같이 시스템 사고는 전체 시스템의 구조를 먼저 파악하고 이를 선순환으로 유지할 수 있는 정책적 레버리지를 파악하는 접근 방법이다. 전체 시스템 구조를 파악하기 위해서는 최우선으로 주요 변수들을 선정해야 하고 이러한 변수들로 구성된 인과지도와 여러 피드백으로 구성된 시스템의 구조를 파악하는 일이 무엇보다 중요하다.

본 절에서는 분야별 인과지도보다 좀 더 구체적인 인과지도를 작성하기 위해서 앞서 도출한 미래 에너지사회 영향요인 중 하위 구성인자 까지를 포함 약 30개의 변수를 사용하였다. 실제 모델에서는 더 적은 수의 변수들로 상위레벨의 변수를 통합하여 사용할 수도 있으나 본 연구에서는 비전문가들의 이해를 높이기 위해 약 30개의 변수들을 사용하였다. 그러나 향후 정량적 모델 개발까지를 고려한다면 변수는 더 적은 수의 상위레벨로 통합되어 모델링이 되어야 할 것으로 사료된다.

피드백을 고려한 인과지도가 작성 되면 불확실성 축으로 선정된 에너지 가격, 산업 구조의 변화, 그리고 세계 경제 동향에 변화가 있을 때에 전체 시스템이 어떻게 바뀌는지를 파악할 수 있으며 이러한 시스템의 행위를 유형화하면 바로 시나리오 유형이 된다. 시나리오

플래닝 기법에서는 이 세 가지 변수가 독립적인 불확실성 변수로 작용하지만 실제로는 서로 밀접한 관계를 가지고 있다. 예를 들면 이 시스템은 세계 경제가 호황이면 에너지 수요가 늘고 이는 에너지 가격의 상승을 가져와 세계 경제를 약화 시키는 피드백 루프와 에너지 가격이 상승하면 저 에너지 소비 산업 구조로의 요구가 강해지면서 저 에너지 산업 구조로의 전환이 빨라지고 이는 에너지 수요를 감소시켜 에너지 가격의 감소를 가져오는 피드백 구조로 구성되어 있다. 미래 에너지사회 전체 시스템의 인과지도는 다양하게 존재할 수 있지만, 앞 절의 불확실성 축을 고려할 때 대체에너지 생산 분야, 경제 활동에 의한 에너지 수요, 그리고 친환경 시스템으로의 변화를 통한 신 성장 동력 창출 인과 관계표 등 크게 3개 분야의 인과지도로 구성되어 있는 것으로 판단할 수 있다. 이하 3개 분야를 중심으로 기술하고자 한다.

1) 에너지 자급률과 대체에너지 생산

에너지 자급률과 대체에너지 생산 시스템은 [그림 3]과 같이 크게 1개의 음의 피드백 루프와 2개의 양의 피드백 루프로 구성되어 있다.

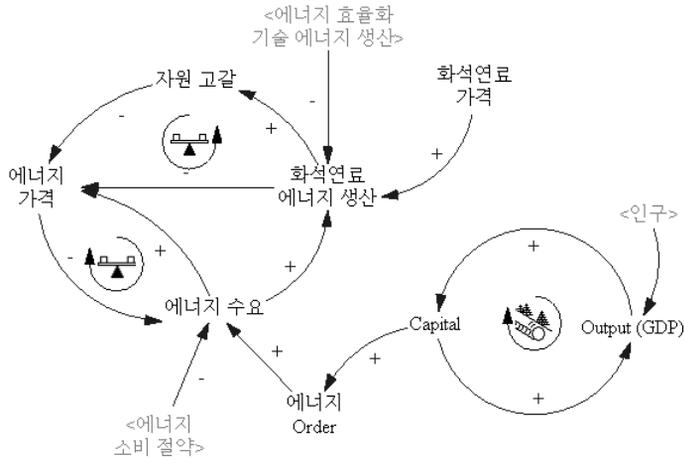
에너지 수요가 생산에 비해 높아지면 에너지 자급도가 낮아지고 이는 에너지 수입에 많은 비용이 소요되면서 원자력이나 대체 에너지 분야의 기술 개발에 대한 투자가 떨어져 이 분야의 에너지 생산이 감소하면서 다시 에너지 자급율을 감소시키는 악순환 루프를 두개의 양의 피드백 루프가 보여 주고 있다.

하지만 이 경우에 음의 피드백 루프에서는 낮은 에너지 자급률은 저에너지 소비 사회로의 전환을 위한 여러 정책이 강력하게 시행되면서 에너지 소비를 감소시켜 에너지 자급률을 증가 시키는 방향으로 작용하여 두개의 양의 피드백 루프에 의한 에너지 자급률 감소를 상쇄 시켜 준다.

역으로 에너지 자급율이 높아 에너지 수입 비용이 감소할 경우 부존자원이나 원자력, 신재생에너지 분야의 기술개발에 대한 투자가 늘어나면서 이 분야들에게서 에너지 생산량이 증가하고 에너지 자급률을 더욱 높이는 선순환 루프로 작용을 할 수 있다.

작동하여 에너지 수요를 감소시키는 역할을 하게 된다. 즉 에너지 수요가 증가하면 자원이 고갈되면서 에너지 생산비가 증가하게 되어 에너지 가격이 상승하면서 소비가 감소하게 된다. 또한 화석 연료 사용이 증가하면서 화석연료 가격이 상승할 때 에너지 가격은 상승하게 되어 에너지 소비를 감소시키는 역할을 하게 된다.

이와 반대로 경제가 어려워지면 에너지 수요가 감소하면서 에너지 가격이 떨어지게 되어 에너지 수요가 증가하게 된다. 이 경우도 마찬가지로 2개의 음의 피드백 루프와 1개의 양의 피드백 루프의 영향력에 의해 에너지 가격이 결정되는 것을 알 수 있다.



[그림 4] 경제활동에 의한 에너지 수요 인과지도

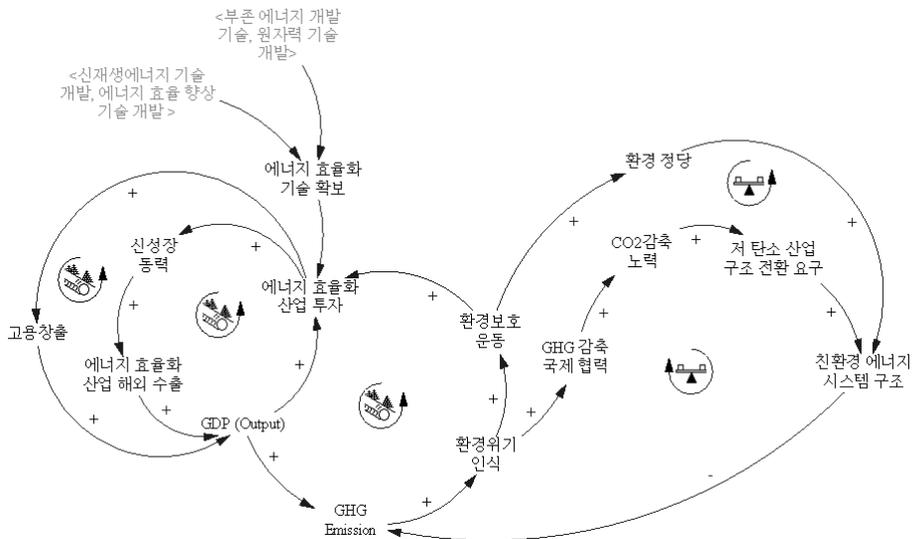
즉 이 시스템에 내재된 피드백 루프들이 서로 에너지 수요를 증가 시키거나 감소시키는 방향으로 작용하여 에너지 가격이 균형을 이루어지게 해 준다. 에너지 가격은 친환경 에너지 시스템으로의 전환에 큰 영향을 미치게 된다. 높은 에너지 가격은 저 에너지 소비 산업 구조로의 전환을 요구하게 되고 이는 정부의 에너지 경제 정책에 영향을 주게 되어 에너지 효율화 시스템 전체에 영향을 주게 된다.

3) 친환경 시스템으로의 변화를 통한 신성장 동력 창출

친환경 시스템으로의 변화를 통한 신성장 동력 창출 시스템은 경제가 성장하면서 이산화탄소 배출이 많아지고 이는 기후 변화를 초래하여 환경 보호 운동이 강해지면서 환경 산업에 대한 투자가 늘어나 환경 산업을 기반으로 하는 녹색 성장을 설명하는 피드백 루프를 설명하고 있다.

이 분야 인과지도는 [그림 5]와 같이 3개의 양의 피드백 루프와 2개의 음의 피드백 루프로 구성되어 있다. 경제가 발전하면서 온실가스의 방출이 많아지고 이는 환경보호에 대한 국제적 관심을 야기하여 국제 협약이 체결되면서 각국은 온실 가스 배출량에 대한 감축 의무를 지게 된다. 이는 저탄소 사회로의 요구가 증가하면서 친환경 에너지 시스템 구조로의 전환을 요구하게 되어 이에 대한 투자가 증가하면서 이산화탄소 배출량이 조절이 된다. 또한 이러한 정세를 이용하여 환경 정당이 등장하고 이들이 힘을 얻으면서 친환경 에너지 시스템 구조로의 전환 요구가 힘을 얻으면서 저 에너지 소비 산업 구조로의 전환이 더욱 빨리 일어나 온실가스 배출량은 감소하게 된다.

3개의 양의 피드백 루프는 녹색 성장을 묘사하고 있다. 온실가스의 배출량이 증가하면서 기후변화가 일어나고 이로 인해 환경보호에 대한 인식이 증가하면서 에너지 효율화 산업에 대한 투자가 일어나게 되어 녹색 산업이 성장하면서 고용창출과 녹색 산업의 해외 수출이 증가하면서 경제가 성장을 하는 피드백 루프를 보여 주고 있다.



[그림 5] 녹색 성장을 통한 성장동력 확보 인과지도

그러나 녹색 산업이 성장 동력으로 자리를 잡으면서 신 재생에너지 관련 설비들의 산업 생산이 증가하면서 세계 경제는 다시 호황을 맞게 되고 이는 다시 이산화탄소 배출량을 증가시켜 2개의 음의 피드백 루프의 영향력이 더욱 강해지는 현상을 알 수 있다.

이 피드백 루프는 국내뿐 아니라 세계 각국이 추진하고 있는 녹색 성장을 설명하고 있

다. 이러한 녹색 성장이 일어나기 위해서는 세계 경제가 활발해지면서 이산화탄소 배출량이 증가하면서 기후변화가 일어나고 에너지 수요 증가로 에너지 가격이 상승하고 부존 에너지, 원자력, 신재생에너지 분야의 기술 개발 투자가 증가하여 에너지 효율화 기술을 확보하게 되어 저 에너지 소비 산업 구조로의 전환도 가능해져 녹색 성장이 힘을 받게 된다.

따라서 이 시스템의 가장 중요한 정책적 레버리지는 이산화탄소 감축과 관련된 국제협약의 준수 강도와 환경 시장을 이용한 녹색 성장 전략에 대한 정부의 추진 강도라고 할 수 있다. 이 두 가지 변수가 녹색 성장 시스템의 성과를 결정하기 때문이다.

IV. 통합 인과지도 작성을 통한 전략적 시나리오 유형 생산

1. 미래 에너지사회 통합 인과지도

앞 장에서는 미래 에너지사회를 전망하기 위해 분야별 3개의 인과지도를 작성하고 각 분야별 정책적 레버리지를 파악하였다. 이번 장에서는 3개 분야를 하나로 통합하여 전체 시스템의 구조를 파악하고 이를 기반으로 3가지 전략적 시나리오 유형을 생산 하고자 한다. 앞서 언급한 바와 같이 동 시스템의 변수들은 서로 상호 연결되어 있기 때문에 불확실성 축으로 선정된 3개 변수들의 움직임에 따라 전체 시스템의 움직임이 결정된다.

따라서 시사점을 포함한 시나리오 유형을 생산하기 위해서는 3개의 분리된 인과지도 보다는 전체로 통합된 하나의 인과지도로 설명을 해야 더 정책적 의미가 있다고 할 수 있다.

아래 [그림 6]은 3개 분야의 인과지도를 하나의 인과지도로 통합한 내용을 보여 주고 있다.

전체 시스템은 세계 경제가 호황이 되면서 에너지 가격이 상승을 하게 되고 이는 다시 세계 경제를 약화시키는 피드백과 에너지 상승과 저 에너지 소비 산업구조로의 전환은 녹색 성장을 지원하면서 에너지 가격을 안정시키는 피드백 루프들로 구성이 되어 있다.

바람직한 시나리오이다. 이 경우 녹색 성장을 통한 성장동력 확보 인과지도가 가장 영향력을 미치는 것을 알 수 있다.

시나리오 유형 B(Most likely)는 산업 구조 전환에 성공했으나 에너지 가격이 상승하고 세계 경제가 침체를 하는 경우이다. 이 경우는 화석 연료의 급격한 가격 상승으로 에너지 가격이 상승하고 세계 경제가 침체에 빠져드는 경우이다. 이 시나리오에서 알 수 있는 가장 중요한 정책적 레버리지는 친 환경 에너지 시스템에 대한 투자 즉 녹색 성장 전략이다. 친 환경 에너지 생산 증대로 에너지 생산을 늘려 가격을 하락시키고 친환경 분야의 녹색 성장을 통해 새로운 성장 동력을 창출해야 했으나 이에 대한 투자 결정이 늦어져 이들의 피드백 루프가 악순환 루프로 바뀌었고 저 에너지 소비 산업 구조로의 전환은 어느 정도 성공을 했으나 이러한 산업 구조의 전환이 녹색 시장을 창출하는 데는 역 부족이고 오히려 에너지 및 경제 시스템의 비효율성만 증가시켜 경제가 침체해지는 경우이다. 이 시나리오를 보면 저 에너지 산업 구조로의 전환 정책과 친환경 에너지 시스템에 대한 투자 증대와 같은 정책들이 시의 적절하게 시행되지 않을 경우 저 에너지 산업 구조로의 전환이 일어나도 에너지 가격 상승이나 경제 침체로 이어질 수 있음을 알 수 있다.

시나리오 유형 C(Pessimistic)는 최악의 경우이다. 에너지 가격은 상승하고 산업 구조 전환은 성공하지 못했으며 세계 경제는 침체를 하고 있는 경우이다. 이 경우도 마찬가지로 화석연료의 급격한 가격 상승으로 에너지 가격이 급증하면서 세계 경제는 침체로 빠져들고 투자 여력의 부족으로 저 에너지 소비 산업 구조로의 전환도 실패를 하게 되는 경우이다. 이 경우는 세계 경제가 침체기로 들어서면서 에너지 소비가 급속하게 감소하게 되고 이에 따라 이산화탄소 발생량이 급속도로 감소하면서 기후변화 현상이 적게 발생하고 이에 따라 저 에너지 산업 구조로의 전환 요구가 줄어들면서 산업 구조 변환은 성공을 하지 못하고 환경 산업을 신 성장 동력으로 추진하여 새로운 경제 발전을 이루려는 정부의 녹색 성장 전략은 실패를 하게 되어 높은 에너지 가격 유지와 세계적인 경제 침체로 빠져드는 현상을 설명하고 있다.

이상과 같이 피드백을 고려한 인과지도를 바탕으로 미래 에너지사회에 영향을 끼치는 불확실성 축의 변화를 통하여 전체 시스템의 행위를 유형화하여 시나리오 유형을 설명하였다. 이러한 시나리오 유형 개발은 이론적 배경에서도 언급한 바와 같이 시나리오 플래닝 기법에 비해 전체 시스템의 구조를 먼저 파악하고 피드백 루프간의 상호 작용으로 시나리오를 개발하는 방법이므로 시나리오 플래닝 기법보다는 좀 더 설득력을 가지고 미래 예측의 효과성과 정책적 의사 결정에 기여를 할 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 연구는 시스템 사고 기법을 활용하여 2030년경의 한국의 미래 에너지사회를 정성적으로 분석하였다. STEEP 분석을 기초로 정치, 경제, 사회, 환경, 기술 등 다차원적인 관점에서 미래 에너지사회에 영향을 미치는 환경 불확실성 요인을 규명하고, 미래 에너지사회를 설명하기 위한 3개의 인과 지도와 정책적 레버리지를 파악하였다.

구체적으로 세계 경기 동향, 산업구조의 변화, 에너지 가격 등을 핵심 불확실성 요인으로 도출하고, 이를 기반으로 에너지 자급률과 대체에너지 생산, 경제활동과 에너지 수요, 친환경 시스템으로의 변화를 통한 신성장 동력 창출 등의 3개의 인과지도를 완성하였다.

또한, 피드백을 고려한 상기 3개 인과지도를 하나로 통합하여 불확실성 축의 변화가 있을 때 미래 에너지 사회 전체 시스템의 구조를 파악하고 이러한 시스템의 유형화를 통해 3가지의 전략적 시나리오 유형(Optimistic, Pessimistic, Most likely)을 제시하였다.

시나리오 유형 A(Optimistic)는 에너지 가격이 하락하고 세계 경제가 성장을 하고 저 에너지 산업 구조로의 전환이 성공하는 가장 바람직한 경우이다. 시나리오 유형 B(Most likely)는 산업 구조 전환에 성공했으나 에너지 가격이 상승하고 세계 경제가 침체를 하는 경우이다. 시나리오 유형 C(Pessimistic)는 에너지 가격은 상승하고 산업 구조 전환은 성공하지 못했으며 세계 경제는 침체를 하고 있는 최악의 경우이다.

이상과 같은 시스템적 사고에도 한계가 있다. 우선 주요변수 선정에 있어 중요도가 높은 일부 변수들만 사용을 했기 때문에 많은 피드백 루프들이 생략되어 있다. 또한, 시스템의 전체 방향은 각 피드백 루프간의 영향력의 차이에 따라 결정이 되나 시스템 사고 모델은 이를 정량적으로 나타내기 어렵고 또한 미처 파악되지 않은 중요한 피드백 루프들이 존재할 수 있어 변수간 인과 관계의 시간 지연 등을 설명하기 어렵다. 따라서 좀 더 설득력이 있고 정책 의사 결정에 활용하기 위해서는 시스템 사고 모델을 더욱 확장한 정량적 모델 (Stock and Flow Diagram) 개발이 필요하다.

【참고문헌】

- 국무총리실 외. (2008a). “제1차 국가에너지기본계획”.
- _____. (2008b). “제4차 에너지 이용 합리화 기본계획”.
- 교육과학기술부 외. (2010). “과학기술미래비전”.
- _____. (2009). “녹색기술 연구개발 종합대책”.
- 남상성·황병용·최한림. (2009). “시나리오 플래닝의 한국적 적용모델 개발”. 『한국과학기술기획평가원 ISSUE PAPER』, 2009-14호.
- 임현. (2009). “신재생에너지 분야의 전략적 미래예측”. 『한국과학기술기획평가원 ISSUE PAPER』 2009-01호.
- 정웅태. (2008). “해외 에너지 효율화 정책 동향 분석 연구”. 에너지경제연구원.
- 지식경제부. (2008). “에너지·자원 R&D 주요 통계”.
- Academy of Finland and National Technology Agency(Tekes). (2006). Finnsight 2015.
- Baldock, R. (1999). “Destination Z: The History of the Future”. West Sussex: John Wiley & Sons.
- Denis Loveridge. (2002). “The STEEPV Acronym and Process”. PREST. The University of Manchester.
- EIA. (2009a). “Annual Energy Outlook 2010”.
- _____. (2009b). “International Energy Outlook”.
- Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC). (2007). “Climate Change 4th Assessment Report”.
- IEA. (2005). “World Energy Outlook 2006”.
- _____. (2008a). “Energy Technology Perspectives—Scenarios & Strategies to 2050”.
- _____. (2008b). “Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency”.
- _____. (2008c). “Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency Key Insights from IEA Indicator Analysis”.
- _____. (2009). “Innovations in National Energy Efficiency Strategies and Action Plans”.
- Meadows, D.H. (1980). “Elements of the System Dynamics Method”. Massachusetts: The MIT Press.
- National Intelligence Council(NIC). (2008). “Global Trends 2025” : A Transformed World.
- Development, Concepts and Doctrine Centre(DCDC). (2007). “Global Strategic Trends

- Programme”.
- Saaty, T. L. (1980). “The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation”. New York: McGraw-Hill.
- Schoemaker, P. J. H. (1993). “Multiple Scenario Development: Its Conceptual and Behavioral Foundation”. *Strategic Management Journal*, Vol. 13, 193-213.
- _____. (1995). “Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking”. *Sloan Management Review*, Winter, 25-39.
- Senge, P. (1990). *The Fifth Discipline*, New York: Double day.
- 日本(内閣官房). 2008. 低炭素社會づくり行動計畫案.