

시나리오 기반 미래원전산업의 환경변화 전망 및 수출전략 도출

황병용* · 최한림** · 이용석***

<목 차>

- I. 서 론
- II. 이론적 배경
- III. 원전산업 분야 환경 분석과 핵심 불확실성
요인 도출
- IV. 전략적 시나리오 작성에 따른 대응전략
- V. 결 론

국문초록 : 본 연구에서는 시나리오 기반의 전략적 미래예측을 통하여 2030년경 우리나라의 원전산업 분야를 정성적으로 분석하였다.

구체적으로 STEEP맵 작성과 네트워크 분석(Network Analysis)을 활용하여 다차원적인 관점에서 미래원전산업 분야 환경변화 영향요인간의 관계성을 규명하였다. 이어 시나리오 기법을 활용하여 미래원전산업의 핵심 불확실성 요인(Key Uncertainty Factor: KUF)을 중심으로 예상 가능한 3가지의 전략적 시나리오 (Optimistic, Business as usual, Pessimistic)를 생성하고, 해외 원전수출을 위해 정부가 시급히 추진해야 될 시나리오별 공통전략과 최대 위험회피 전략도 함께 제시하였다.

본 연구결과를 통해 에너지 가격, 세계 경기 동향, 원전기술 경쟁력, 원전 마케팅 능력 등이 미래 원전산업 분야의 핵심 불확실성 요인으로 작용함을 알 수 있었다. 또한, 실효성 있는

* 한국과학기술기획평가원 연구위원, 교신저자 (byhwang@kistep.re.kr)

** 한국과학기술기획평가원 부연구위원 (airman10@kistep.re.kr)

*** (주)미래와도전 부장 (ys028@fnctech.com)

미래원전 산업의 수출전략 마련을 위해서는 ‘원전 안전 등 기술력 확보’, ‘원전 인력 확보’, ‘우라늄 등 안정적 자원 확보’ 및 ‘원전 수용성 증대’ 등에 관한 전략 추진이 중요 정책과제로 상정되어야 함을 제안 하였다.

끝으로 이러한 연구결과에 따른 시사점과 연구의 한계에 대하여 논의하였다.

주제어 : 원전산업, 네트워크 분석, 핵심 불확실성 요인, 시나리오 기법

Foresight study on the Overseas Export of Nuclear Power Plants

Byung Yong Hwang · Han Lim Choi · Yong Suk Lee

Abstract : This study conducted a qualitative analysis on the Korea's nuclear energy sector in 2030 through scenario-based strategic foresight method. Specifically, the relationships between environmental influencing factors of the future nuclear energy sector was examined from a multi-dimensional perspective on the basis of STEEP analysis and network analysis. In addition, scenario planning method was used with key uncertainty factors (KUF) to create three predictable strategic scenarios including optimistic, business as usual, and pessimistic. Common strategies that need to be urgently pursued as well as the maximum risk avoidance strategies for each scenario were also presented.

This study further identified energy pricing, global economic trend, competitiveness in nuclear technology, and marketing capability as key uncertainty factors in the future nuclear energy industry sector. In order to furnish effective export strategy in the future nuclear energy sector, it was also suggested that government policy should adopt following measures as top priorities: securing nuclear safety technology, educating nuclear engineers, securing nuclear resources such as uranium, increasing nuclear capability and so on. The implications and limitations of this study were then discussed based on research findings.

Key Words : Nuclear Power Plants, Network Analysis, Key Uncertainty Factor, Scenario Planning

I. 서론

세계 주요국들은 미래예측을 통해 국가미래전략을 수립하고 예측을 포함한 기술기획 활동을 강화하는 등 미래사회 변화에 대한 선제적 대응을 위해 노력하고 있다. 미국은 국가정보위원회(National Intelligence Council: NIC)를 설치하고 미래 국제정세 및 환경 변화에 따른 미국의 지위변화와 영향 등을 분석한 ‘Global Trends 2025: a Transformed World’ (NIC 2008)를 발간한 바 있고, EU와의 공동연구를 통해 자원관리, 바이오 기술 등 글로벌 거버넌스에 중장기적인 영향이 큰 이슈들에 대해 분석한 ‘Global Governance 2025: at a Critical Juncture’(NIC 2010)를 발간하였다.

일본 문부과학성은 과학기술기본계획 수립의 기초를 제공하기 위하여 1971년부터 매 5년 마다 과학기술예측조사를 추진하고 있다. 특히, 미래예측 선진국 중 하나인 영국의 경우는 BIS(Department for Business Innovation & Skills)를 비롯해 개별 주체들이 시그마 스캔(Sigma Scan) 등을 통해 미래사회 핵심이슈 및 미래 유망기술 동향 파악 등 최신 모니터링 시스템을 구축하고 있다.

우리나라도 최근 들어 기후변화와 온실가스의 감축, 에너지 시장의 글로벌화 등 에너지 분야의 새로운 글로벌 패러다임의 등장에 따라 에너지 정책과 관련된 미래 불확실성이 한층 증대되고 있다. 미래 성장동력의 하나인 원전산업 분야의 경우 1978년 미국기술로 고리 원전 1호기를 도입해 운영한 지 31년 만에 아랍에미리트(UAE) 원전프로젝트 수주로 세계 다섯번째 ‘원전 수출국’으로 자리매김하였다. 우리나라는 2030년 까지 80기의 원전을 수출하여 세계 신규 원전 건설의 20%를 점유하겠다는 장기비전을 발표한 바 있다(2010. 1. 13, 제42차 비상경제대책 회의). 그러나 최근 강진으로 일본에 있는 원전의 방사능 누출 위험이 증가하고 있는 가운데 경쟁국들의 견제 등으로 한국 원전산업 분야는 먹구름이 드리우고 있다. 또한, 우리나라 원전산업 분야의 전략적 미래예측은 국가차원에서 중요한 화두임에도 불구하고 정부 주도의 미래에너지 정책 수립 및 연구 방법론적 측면의 어려움으로 인해 그동안 활발하게 논의되지 못했다. 이에 선진 과학기술 미래예측 방법론을 활용하여 미래원전산업 분야에 탐색적으로 적용해 보는 것은 의미있는 시도라 할 수 있다.

본 연구에서는 시나리오 기반의 미래예측 방법론을 활용하여 우리나라 미래원전산업 분야와 관련된 예상 가능한 시나리오를 개발하고 이를 재현함으로써, 예측의 효과성을 제고하고자 한다. 참고로 시나리오 기반의 미래예측 방법론은 가능성 있는 다양한 미래

에 대한 전략수립이 용이하기 때문에 중장기 예측에 적합한 기법 중의 하나이다. 또한, 복잡한 요인들이 얽힌 특정 이슈에 대한 미래의 모습을 의사결정권자에게 이야기 식으로 전달 할 수 있는 장점이 있기 때문에 이해 관계자에게 효과적인 학습도구로 활용될 수 있다. 이상의 문제의식을 바탕으로 본 논문에서는 다차원적인 관점에서 우리나라의 미래원전산업 분야에 영향을 미치는 영향 요인을 선정하고, 이 중 핵심 불확실성 요인(Key Uncertainty Factor: KUF)을 도출하고자 한다. 또한, 핵심 불확실성 요인을 중심으로 다양한 전략적 시나리오와 수출전략을 제시하고자 한다.

덧붙여, 이번 연구결과를 통해 원전수출 분야를 중심으로 한 국가 과학기술정책 및 민간 기술 개발전략 수립에 기초자료를 제공하고 나아가 분야별 과학기술예측 방법론 개선에도 일조 하고자 한다. 참고로 연구 대상은 우리나라의 해외 원전수출 분야로 한정하였으며, 중·장기 과학기술 예측인 점을 감안하여 예측의 시간적 범위는 2030년까지로 하였다.

II. 이론적 배경

1. 원전시장 전망 및 국내외 정책동향

국제에너지기구(International Energy Agency: IEA)는 매년 OECD회원국을 중심으로 국별 에너지 통계자료를 발간하고 있다. 2010년 기준 OECD 회원국의 에너지원별 전력 생산량(IEA, 2011a)을 살펴보면 다음의 <표 1>과 같다. <표 1>에서 보는 바와 같이 OECD 전체 전력 생산량은 2000년 이후 연평균 증가율 1.0%를 기록하며 꾸준히 증가하였으나 2009년도엔 증가세가 주춤함을 알 수 있다. 또한, 에너지원별 전력 생산량에서는 화석연료가 60.4%로 가장 많은 부문을 차지하고 있다. 이어서 원자력이 21.1%, 수소 13.0%, 기타 2.5%, 바이오 연료 및 폐기물이 2.3%의 순서로 나타나고 있다.

<표 1> 주요국의 에너지원별 전력 생산량 및 비율

(단위: TWh, %)

구 분	2000		2008		2009		2010e	
	생산량	비율	생산량	비율	생산량	비율	생산량	비율
화석연료	5,924	60.5	6,729	61.9	6,306	60.2	6,552	60.4
바이오/폐기물	149	1.5	225	2.1	239	2.3	253	2.3
원자력	2,249	23.0	2,279	20.9	2,24	21.4	2,288	21.1
수소	1,400	14.4	1,401	12.9	1,386	13.2	1,409	13.0
지열	33	0.3	41	0.4	42	0.4	43	0.4
태양열	1	0.0	12	0.1	20	0.2	30	0.3
기타	30	0.3	19	1.8	233	2.2	267	2.5
OECD 전체	9,795	100.0	10,876	100.0	10,468	100.0	10,841	100.0

* 주: TWh는 terawatt-hour를 의미하며, 숫자 옆의 e는 추정치를 의미함. 기타에는 조력, 풍력 등의 에너지원이 포함됨.

** 자료: IEA. 2011a를 기초로 저자가 보완 작성

상기 표에서도 알 수 있듯이 현재 OECD 주요국 전체 전력 생산량으로 볼 때 4가구 중 1가구가 쓰는 전기는 원자력 발전을 통해 나온다고 할 수 있다. 앞으로 신재생에너지의 비중을 지속적으로 늘려가야 하겠지만 국제에너지기구(IEA)의 전망치(IEA, 2011b)에 따르면 2009년 기준 3%에서 2035년까지도 15% 수준에 머무를 것으로 전망되고 있으며, 원자력의 비중을 낮출 경우 신재생에너지의 확대 기회는 가져올 수 있지만 석탄, 가스 등 화석연료 수요가 크게 증가할 것으로 보고 있다. 따라서, 신재생에너지가 전력 생산의 핵심 역할을 하기까지 얼마나 걸릴지 모르겠지만 그때까지는 원전을 화석에너지와 청정에너지 발전을 잇는 ‘가교 에너지(Bridge Energy)’로 활용할 수밖에 없는 것이 현실이다.

원전산업은 발전소 건설은 물론 핵연료주기와 관련된 물질과 서비스를 공급·유지 하는 데 대규모의 장비와 고도의 전문성을 필요로 하는 고부가가치산업이라 할 수 있다. 구체적으로 일본 후쿠시마 원전사고 후 미래 원전시장과 관련된 전망을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 일본 후쿠시마 원전사고 이후에도 세계 원전시장은 점진적으로 확대될 것으로 전망된다. 국제원자력기구(IAEA)에 따르면 세계의 원전 기수는 2011년말 기준 435기로 서, 2030년에는 이보다 최소 90기에서 최대 350기가 증가할 것으로 전망하고 있다(IAEA, 2012). 이는 후쿠시마 원전사고를 가정하지 않았던 2010년도 전망치에 비해서는 7~8%가 하향 조정된 수준이나, 여전히 세계 원전시장의 확대를 예상하고 있다. 이러한 배경

으로는 독일, 벨기에, 스위스, 일본 등이 원전 폐지 및 확대 포기를 천명한 반면, 한국, 미국, 프랑스, 러시아 등 대부분의 국가는 기존 원전 정책 유지를 표명하였기 때문이다.

최근 오스트리아 비엔나에서는 국제원자력기구(IAEA) 제 55차 정기총회(2011. 9. 19~23)가 열렸다. 이 자리에서 인도는 원자력 발전 용량을 2020년 까지 현재의 4배, 2030년 까지 13배까지 늘리겠다는 입장을 분명히 했다. 베트남은 2014~2015년 중에 원전 2기의 건설에 착수해서 2020년 시운전을 시작할 예정이며, 브라질과 아르헨티나는 의료용 방사성 동위원소 생산을 위한 새로운 연구용 원자로 건설을 검토하고 있음을 밝혔다. 또한, 2011년 세계원자력협회(World Nuclear Association: WNA)에 따르면 2030년까지 250여기의 신규 원전이 건설될 것으로 전망되며, 공급량으로는 2011년 기준 364GWe에서 2030년 614GWe로 약 70% 수준이 증가할 것으로 전망하고 있다(WNA, 2011).

둘째, 원전시장의 수주경쟁이 점점 치열해지고 발주국의 까다로운 조건 제시로 수익성은 악화될 것으로 전망된다. 2010년 베트남, 요르단, 터키의 원전사업 수주에서 보는 바와 같이 원전 강국들은 원전사업 수주를 위해 정치, 경제, 외교, 군사 등 다양한 분야의 국력을 총동원하고 있다. 또한, 일본이 수주한 베트남 원전사업에서 보는 바와 같이 베트남이 일본 정부에 원자력발전소 건설뿐만 아니라 폐기물 처리 등도 요구하고 있어 일본은 경제적 부담이 증가할 것을 우려하고 있다.

셋째, 한국에 대한 국제적 견제가 심화될 것으로 전망된다. UAE원전사업 수주 경쟁에서 패배한 일본, 프랑스가 우리나라의 성공사례를 분석하여 다양한 방법으로 대응하고 있는 것이 단적인 예라 할 것이다.

일본은 해외 수주에 참여하는 기업에 정책자금을 지원하기 위하여 2010년 상반기에 정부 주도로 1,000억 엔 규모의 민관합동 국제 인프라 펀드를 조성하였으며, 동년 10월 22일에는 민·관합동의 원자력 기술 수출기관인 '일본 국제원자력 개발'을 설립하였다. 자본금은 246만 달러로써 도쿄 전력, 간사이 전력, 주부 전력, 히다치, 도시바 등 민간기업과 일본 정부가 출자하였다. 원자력 발전을 신규로 도입하는 국가들을 대상으로 원전을 판매하기 위한 사령탑 역할을 수행하고 원전의 수주, 발전소 건설·운영 등 원전에 대한 실무를 담당한다.

프랑스는 한국 등 원전수출 후발국에 비해 열세인 가격경쟁력보다 자국이 우위라고 판단하는 안전성을 부각시키고자 유럽을 중심으로 국제 안전기준을 자국 제품에 유리하게 강화하는 방안을 추진하고 있다. 이에 따라 유럽연합은 2009년에 IAEA의 원자력 안전기준을 바탕으로 유럽의 원자력발전 관련 기준을 법제화하였고 이를 국제적 표준으로 발전시킬 계획이다. 후쿠시마 원전 사고 이후에는 자국 79개의 원전 안전점검 결과에 따

라 극한상황에 견딜 수 있도록 병커화된 위기관리센터, 비상대처용 디젤발전기 등 안전성 강화방안을 발표하였다(원자력안전위원회, 2012).

최근 원전수출국으로 부상하고 있는 우리나라는 2009년 12월 요르단에 교육·연구용 원자로(5MW급) 수출을 성사시킨데 이어 UAE의 원자력 발전소(1,400MW급 4기) 건설 사업을 수주하면서 세계 5번째의 원전 수출국으로 발돋움하였다.

우리나라는 2010년 1.13일 대통령 주재 제42차 비상경제대책회의에서 「원자력발전 수출산업화 전략」을 보고하고 향후 예상되는 세계 원전시장에 적극 대응하여 원자력 산업을 새로운 수출 산업으로 본격 육성하기로 하였다. 2030년까지 80기 수출로 세계 신규 원전 건설의 20%를 점유하는 세계 3대 원전 수출 강국 도약을 목표로 세계 최고 수준의 원자력 수출 산업 경쟁력을 확보해 나갈 계획이다. 이를 위해 ① 국가별 맞춤형 수출 및 원전 운영·정비시장 적극 진출, ② 기술 자립화 및 글로벌 경쟁력 제고, ③ 전문 기술인력 양성, ④ 원전연료의 안정적 확보, ⑤ 핵심 기자재 수출 역량 확충, ⑥ 수출형 산업체제 강화 등의 중점 추진 대책을 마련하였다(지식경제부 등, 2010a).

또한, 일본 후쿠시마 원전 사고 이후에는 지진, 해일, 중대사고 등에 대응하기 위한 6개 분야 대책으로 ① 지진에 의한 구조물 안전성, ② 해일에 의한 구조물 안전성, ③ 침수 발생시 전력·냉각계통, ④ 중대사고 대응, ⑤ 비상대응체계, ⑥ 고리1호기 및 장기가동원전 대책을 마련하였으며(원자력안전위원회, 2011), 세부적으로는 해안방벽 증축 등 50개의 장단기 개선대책을 마련하고 약 1조원을 투입하여 2015년 까지 모든 대책을 완료할 계획이다.

한편, 국내 원전 건설·운영, UAE 원전, 추가 수출 등으로 2020년까지 총 23.9천명의 원전 전문인력의 신규수요가 발생하여 원전 전문인력 규모가 현재의 2배 이상이 될 것으로 전망되고 있다. 이러한 대규모의 원전 전문인력 수요가 예상됨에 따라, 정부는 「원자력발전 인력 수급 전망과 양성대책」(지식경제부 등, 2010b)을 마련하여 대통령 주재 국민경제대책회의에서 확정하였으며 체계적 인력양성을 위한 제도적 기반 등도 개선해 나갈 계획으로 있다.

2. 시나리오 기반의 전략적 미래예측

과학기술 미래예측에는 델파이, 교차영향분석(Cross-impact Analysis), 시나리오 플래닝,¹⁾ 전문가 패널, 환경 스캐닝, 추세외삽법 등 다양한 예측방법이 존재한다. 상기 방

법론은 개별 국가의 정치, 문화, 연구개발 체계 등에 따라 다양한 형태로 활용·진화되어 왔다. 초기에는 일본 등을 중심으로 델파이 기법의 발전과 적용범위의 확대가 이루어졌다. 2000년대 들어 영국을 비롯한 예측 선진국들은 본격적으로 시나리오 플래닝, 환경스캐닝과 같은 기법들을 적용하면서 델파이 기법을 단독으로 사용하거나 하나의 방법론에 전적으로 의존하지 않고 있다. 이러한 경향은 분석대상에 따라 다를 수도 있으나 반복적인 설문에 따른 시간과 비용의 증가, 응답자의 전문성 및 동기 부여의 어려움, 일반적으로 제기될 수 있는 미래 불확실성 고려 등에 한계가 있기 때문이다.

이에 반해 시나리오 플래닝은 불확실한 미래상황을 극단적인 몇 가지 경우로 가정해 모든 가능한 상황에 유연하게 대응할 수 있도록 해주는 미래예측 기법 중의 하나이다. 복잡하고 급속히 진행되고 있는 현대 과학기술의 발전은 미래사회의 불확실성을 증가시키고 있으며 이에 따라 동 방법론의 활용성이 한층 증대되고 있다. 알려진 바와 같이 시나리오 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).

우리나라에서도 임현(2009) 등의 연구에서 신재생 에너지 분야를 중심으로 동 방법론을 활용한 탐색적 연구가 진행된 바 있다. 하지만, 동 연구에서는 미래의 모습에 결정적인 영향을 미치는 불확실성 요인과 이를 지원하는 주요 변수들 간의 구조적 연결패턴을 파악하고 그 안에 존재하는 피드백 구조 등을 고려하는데 한계가 있었다(황병용 외, 2010)는 지적이 있었다.

본 연구에서는 이러한 문제점들을 보완하기 위해서 시나리오 기법을 기본토대로 하면서 정량적인 분석기법을 일부 보완적으로 활용하였다. 구체적으로 원전산업 분야의 전략적 미래예측을 위한 방법론을 살펴보면 먼저, 미래 원전산업분야의 다차원적인 영향 요인을 파악하는 프레임워크 설정을 위해 ‘STEEP 맵²⁾ 분석을 시도하였다. 동 분석은 현

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

2) 동 방법론은 1960년대 초 Johnson Research Associates(JRA)가 개발한 개념에서 출발한 환경스캐닝(Environment Scanning)의 요인을 파악하는 분석기법 중의 한가지이다. STEEP 맵 작성에서는 조직이 활동하고 있는 거시적 환경에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위하여 사회(Society), 기술(Technology), 경제(Economics), 환경(Ecology), 정치(Politics) 등 5개의 수평적 분야로 구분하여 요인을 파악한다(Denis, 2002).

재 사고계획의 한계에서 오는 잠재적 위험, 기회, 미래 발전의 시스템적 시험을 포함하는 것으로 예측영역의 주요 개입을 선별하고 예측의 개념내용이 만들어지는 과정이라 할 수 있다.

둘째로, 상기 분석을 통해 파악된 영향요인간의 네트워크 분석(Network Analysis)³⁾을 통해 미래 원전산업분야 전체시스템의 구조를 파악하였다. 네트워크 분석은 시스템 안에 있는 행위자들을 연결하는 관계를 강조하게 되어 전반적인 사회적 구조와 구성요소들의 시스템적 그림을 그릴 수 있게 한다(Knoke & Kuklinski, 1983). 네트워크 분석 기법의 가장 큰 장점은 행위자간 또는 노드 간 관계 분석을 통하여 숨어있는 구조적인 연결패턴을 발견하여 도식화할 수 있다는데 있다. 즉 전체적인 수준에서 행위자 또는 노드 간 연결 관계를 분석함으로써 자원, 정보의 흐름에 따른 노드 간 관계의 구조적인 특성을 파악할 수 있으며, 또한 구조적으로 중요한 위치를 차지하고 있는 요인들을 판별해냄으로써 네트워크의 효율성 내지 전략적으로 중요한 위치를 통한 정책적 함의를 이끌어 낼 수 있다(Scott, 2000; Hanneman, 2001; 박치성, 2006; 고길곤, 2007).

마지막으로, 영향 요인별 불확실성/영향력 정도에 관한 매트릭스 분석을 통해 핵심 불확실성 요인을 도출하고, 앞서 분석한 네트워크 분석결과를 활용하여 미래원전산업의 인과지도를 작성하였다. 이를 토대로 원전산업 분야의 전략적 시나리오와 수출전략을 수립하였으며 구체적인 내용은 다음의 관련 장에서 살펴보았다.

Ⅲ. 원전산업 분야 환경 분석과 핵심 불확실성요인 도출

1. 미래원전산업 분야 영향요인 분석

1.1 영향요인 선정

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 연

3) 분석 대상이 되는 시스템을 참여자와 관계의 함수로 정의하면서 이를 그래프 이론, 선형대수, 통계확률, 시뮬레이션 등을 이용하여 연결망의 구조를 분석하는 접근 방법이다(Scott, 2000).

구에서는 미래원전산업 분야의 의사결정 사안에 영향을 미치는 주요 변수를 파악하기 위해 먼저 텍스트 마이닝(Text Mining)에 의한 관련 키워드를 분석하였다. 구체적으로 관련 문헌에서 빈도수를 바탕으로 주요 단어를 도출하고, 이들 단어로부터 키워드를 파악한 후 키워드의 분포를 문헌과 URL상에서 파악하였다.

다음으로 텍스트 마이닝에 의해 제시된 결과를 바탕으로 위키(Wiki)⁴⁾기반 온라인 토론을 거쳐 STEEP 맵 작성을 수행하여 15개의 요인을 파악하고, 원전수출 미래 전망위 원회⁵⁾ 워킹그룹을 통해 미래원전산업 분야의 주요 영향요인을 최종 확정하였다.

이상의 과정을 거쳐 파악된 한국의 원전수출 의사결정 사안에 영향을 미치는 15개 요인은 다음의 <표 2>와 같다.

<표 2> 한국의 미래원전산업 영향요인

분야	번호	요 인	하위 변수
사회 (Society)	1	에너지 수요 증가	1-1 인구증가에 의한 에너지수요 증가 1-2 고령화에 따른 에너지수요 증가 1-3 소득 증대로 인한 소비 증가 및 에너지 수요 증가
	2	생활양식 변화	2-1 개인주의의 확대에 의한 다양성 증대 2-2 삶의 질 향상에 대한 욕구 및 친환경 에너지 수요 증가
	3	원자력 수용성 변화	3-1 원자력 사용에 대한 국민의식 고양 3-2 원자력 사고 발생
기술 (Technology)	4	기존 에너지 기술 발전	4-1 자원채취·이용 기술 발전 4-2 기존 에너지 고효율화 기술 발전 4-3 획기적인 에너지 생산/전송/저장 기술의 실용화
	5	신재생 에너지 기술 발전	5-1 경제성 있는 신재생 에너지 생산기술 발전 5-2 신재생 에너지 활용제품 개발 5-3 신재생 에너지 관련 인프라 구축
	6	원전 기술 경쟁력	6-1 기존·차세대 원전 핵심기술 확보 6-2 우라늄 재처리 및 폐기물 처리 기술 확보 6-3 원전 건설운영 기술 발전
	7	우수 원전 인력 확보	7-1 원전 건설운영 및 폐기물 관련 인력 확보 7-2 원전 설계 및 연구 인력 확보 7-3 선진국 원전 인력 부족

4) 1994년 워드 커닝엄의 고안으로 개발된 위키는 웹기반 정보공유체제로 협업 과정에서의 상호 작용을 촉진하고 참여도를 증진시키는 역할을 하며 지식을 수집하고 수집된 지식을 체계화하는데 기여한다.

5) 동 위원회는 미래 원전수출 분야의 전략적 미래예측을 위해 2010년 5월부터 2011년 6월까지 원전수출 관련 인문사회·정책 전문가, 과학기술 전문가, 시민 패널 등 총 17명으로 구성·운영 되었다(황병용, 2012).

경제 (Economy)	8	세계 경기 동향	8-1 경기변동의 불확실성 심화 8-2 BRICs, TVT(터키, 베트남, 태국) 국가들의 경제성장
	9	산업구조의 변화	9-1 산업구조의 고도화(저비용, 고효율) 진전 9-2 탄소시장의 성장 및 에너지 무역장벽 확대 9-3 개발도상국의 산업화
경제 (Economy)	10	에너지 가격	10-1 화석연료 부존량 감소에 따른 화석연료 가격 상승 10-2 BRICs 등 자원소비국의 자원 확보 경쟁 심화 10-3 에너지 자원 민족주의 확산 및 무기화
	11	원전 마케팅 경쟁력	11-1 가격 경쟁력 확보(환율, 원전수주 경쟁 심화) 11-2 수출 잠재국과의 협력 확대 11-3 국가 브랜드 경쟁력 확보
환경 (Ecology)	12	기후변화 및 환경 오염의 심각성에 대한 인식	12-1 청정/무공해 에너지 사용에 대한 국민의식 고양 12-2 친환경 소비주의(Eco-Consumerism) 대두 12-3 대기·토양·해양 환경오염의 심각성 인식 고취 12-4 폐기물 재활용 증가 12-5 원전 수입국의 님비(지역이기주의)현상 심화
	13	온실가스 감축 및 핵 관련 국제규제 변화	13-1 기후변화, 온실가스 감축을 위한 국제 협약 강화 13-2 온실가스 감축을 위한 국가별 노력 가속화 13-3 핵비확산을 위한 국제 안전조치 체제 강화
정치 (Politics)	14	에너지 정책	14-1 수요관리에 기반한 에너지 정책 확대 14-2 원자력 확대 및 원전 증설 정책 14-3 에너지효율 인증제 강화 및 상승 유도
	15	국내·외 정치구조 개편	15-1 한반도 주변의 불안정성 증가 15-2 동북아 국가 간 에너지 협약체제 확대 15-3 자유무역협정 등을 통한 자유무역체제 보편화 15-4 환경정당의 출현

* 자료 : 원전수출 미래 전망위원회 워킹그룹을 통해 저자가 작성

참고로 상기 <표 2>에서 보는 바와 같이 5개 분야 영향요인들은 독립적으로 영향력을 행사하는 것으로도 이해할 수 있으나 서로 연결되어 상호영향을 주고 있음을 알 수 있다. 어느 한 분야의 하나의 변수에서 변화가 일어나면 그 영향은 그 분야에 머물지 않고 시스템의 모든 분야에 영향을 주게 된다. 이하에서는 미래원전산업 분야 영향 요인간의 네트워크 분석을 통해 상호영향 관계를 구체적으로 살펴보았다.

1.2 영향 요인간의 네트워크 분석

본 연구의 네트워크 분석에는 사회 네트워크 분석 프로그램인 UCINET6을 사용하였으며 분석결과를 소시오그램으로 나타내기 위해 NetDraw를 활용하였다. 설문에 사용된

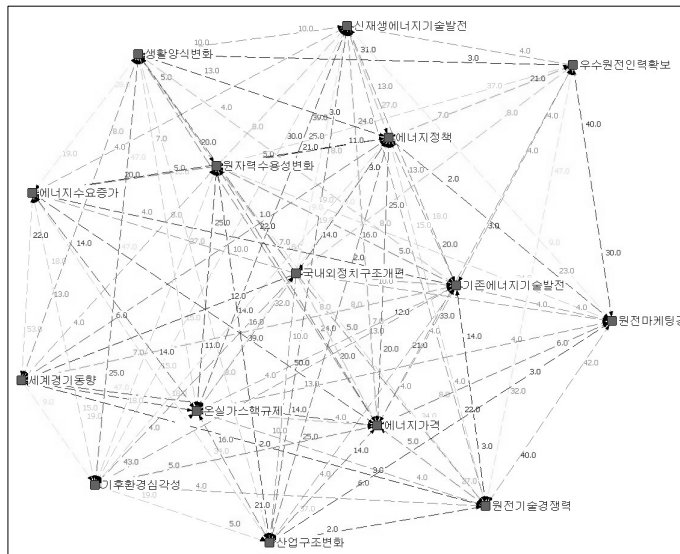
요인은 기 도출된 미래원전산업 분야 영향요인을 중심으로 이루어졌으며, 이들 요인들이 영향력을 주는 주요 3요인과 영향력 정도(5점 척도)를 설문조사를 통해 측정하였다. 원전수출 미래 전망위원회 위원을 대상으로 총 17부의 설문응답 중 자료 활용이 불가능한 응답 2부를 제외하고 15부를 네트워크 분석에 활용하였다.

이하 네트워크 분석은 행위자들의 연결패턴을 도식화해주는 소시오그램 분석과 구조적 특징인 중심성(Centralization) 등을 위주로 분석하였다.

1.2.1 네트워크 소시오그램 분석

미래원전산업 분야 요인간 네트워크를 소시오그램으로 제시하여 요인 간 연결구조의 특징을 살펴보면 <그림 1>과 같다.

<그림 1>에서 보는 바와 같이 경제적 요인인 에너지 가격과 세계 경기 동향, 기술적 요인인 원전 기술경쟁력, 정치적 요인인 에너지 정책, 환경적 요인인 온실가스 감축 및 핵 관련 국제 규제 변화 등이 중심성이 높은 요인으로 나타나고 있다.



<그림 1> 미래원전산업 분야 네트워크 소시오그램

각 요인(노드)간 관계성(Line)의 영향력 정도는 그림에서 선의 굵기에 따라 그 차이를 파악할 수 있다. 요인 간 연계성이 높은 관계로는 에너지 수요 증가-세계 경기 동향, 에너지 가격-에너지 수요 증가, 우수원전 확보 노력-원전 기술 경쟁력, 생활양식의 변화

-기후변화 및 환경오염의 심각성에 대한 인식, 세계 경기동향-에너지 가격, 기후변화 및 환경오염 심각성에 대한 인식-온실가스 감축 및 핵 관련 국제규제 변화 등으로 나타나고 있다. 또한, 세계 경기동향→에너지 수요증가(가중치 53)의 관계성이 가장 높은 것으로 나타났으며, 에너지 가격→에너지 수요 증가(가중치 50)의 관계성이 그 다음으로 높은 영향 관계인 것으로 나타났다.

1.2.2 연결(외향/내향) 중심성 분석

연결중심성(degree centralization)은 특정 노드(요인)와 연결된 노드들의 수의 총합으로 산출되며 지역적 중심성을 나타내는 개념이다. 따라서 관계를 맺은 인접한 노드의 수에 기초하여 산출되므로 한 노드가 다른 노드와 관련하는 정도를 나타내는 데 노드의 위치와 중요도를 파악하는 기본개념이다(Wasserman & Faust, 1994). 이 지표 값이 높은 노드는 많은 다른 노드와 관계를 맺고 있는 것을 의미하며 반면 낮은 노드는 관계구조 속에서 적은 수의 노드와 관계하며 네트워크 주변에 위치하는 것을 의미한다.

미래원전산업 분야 영향 요인간 연결 중심성 분석 결과는 아래 <표 3>과 같다.

<표 3> 연결 정도(외향/내향) 중심성

		1	2	3	4
		OutDegree	InDegree	NrmOutDeg	NrmInDeg
10	에너지가격	174.000	313.000	23.450	42.183
14	에너지정책	171.000	277.000	23.046	37.332
8	세계경기동향	169.000	92.000	22.776	12.399
6	원전기술경쟁력	169.000	168.000	22.776	22.642
13	온실가스핵규제	169.000	225.000	22.776	30.323
7	우수원전인력확보	168.000	101.000	22.642	13.612
12	기후환경심각성	166.000	201.000	22.372	27.089
1	에너지수요증가	165.000	232.000	22.237	31.267
3	원자력수용성변화	162.000	188.000	21.833	25.337
5	신재생에너지기술발전	161.000	135.000	21.698	18.194
2	생활양식변화	160.000	121.000	21.563	16.307
9	산업구조변화	159.000	161.000	21.429	21.698
11	원전마케팅경쟁력	159.000	138.000	21.429	18.598
4	기존에너지기술발전	157.000	71.000	21.159	9.569
15	국내·외정치구조개편	141.000	27.000	19.003	3.639

먼저 외향 중심성은 네트워크 구조 속에서 한 요인이 다른 요인에 영향력을 미치는 정도라 정의할 수 있다. <표 3>과 같이 외향 중심성은 에너지 가격→에너지 정책→세계 경기동향, 원전 기술 경쟁력, 온실가스 및 핵 관련 국제규제 변화→우수 원전 인력 확보→기후변화 및 환경오염 심각성에 대한 인식→에너지 수요 증가→원자력 수용성 변화→신재생 에너지 기술 발전→생활 양식 변화→산업구조 변화, 원전 마케팅 경쟁력→기존 에너지 기술 변화 →국내·외 정치구조 개편 등의 순으로 나타나고 있다.

다음으로 내향 중심성은 네트워크 구조 속에서 한 요인이 다른 요인에 의해 영향력을 받는 정도라 정의할 수 있다. <표 3>과 같이 내향 중심성은 에너지 가격←에너지 정책←에너지 수요증가←온실가스 감축 및 핵 관련 국제규제 변화←기후변화 및 환경오염의 심각성에 대한 인식←원자력 수용성 변화←원전 기술 경쟁력←산업 구조변화←원전 마케팅 경쟁력←신재생에너지 기술발전←생활양식 변화←우수 원전 인력 확보←세계 경기 동향←기존 에너지 기술 발전← 국내·외 정치구조 개편 순으로 나타났다.

이상의 분석을 통해서 에너지 가격이 미래 원전산업 분야 요인 중 외향 중심성과 내향 중심성이 가장 높은 요인임을 확인할 수 있다. 한편 네트워크의 중심화 정도를 나타내는 중심성은 네트워크 연결 정도를 논리적 최대값으로 나누어 100을 곱한 값이다. 원전산업 영향 요인간 연결중심성의 외향중심화 정도가 1.5%로 나타났으며 내향중심화 정도가 21.6%로 나타나 연결중심성에 외향중심화보다 내향중심화 경향이 더욱 높게 나타났다.

1.2.3 매개 중심성 분석결과

매개 중심성(betweenness centralization)은 네트워크에서 두 노드를 연결하는 가장 짧은 선 중 노드를 포함하는 선의 수로서 계산된다. 즉 한 노드가 다른 노드들을 연결해주는 가장 짧은 거리에 위치하여 다른 노드를 잠재적으로 통제할 수 있는 위치를 나타내는 것으로 네트워크에서 중심을 파악하는 중요한 지표이다. 이는 개별 노드가 중개로서 매개로서 또는 문지기로서 역할로 네트워크에 영향을 줄 수 있는 정도를 의미한다(강창현, 2001). 즉 매개중심성은 중요한 노드가 다른 노드들 사이의 관계의 중간 통로가 되어 주는 역할을 많이 수행하는 요인이라 할 수 있다.

미래원전산업 요인간 매개 중심성 분석 결과는 아래 <표 4>와 같다. 중심화 정도인 중심성은 3.0%로 나타나 매개중심화 경향은 매우 약하게 나타났다.

<표 4> 원전산업 네트워크 매개 중심성

		1	2
		Betweenness	nBetweenness
14	에너지정책	8.760	4.813
10	에너지가격	6.566	3.608
13	온실가스핵규제	6.340	3.483
4	기존에너지기술발전	5.152	2.831
3	원자력수용성변화	4.215	2.316
12	기후환경심각성	3.323	1.826
9	산업구조변화	3.318	1.823
6	원전기술경쟁력	2.870	1.577
5	신재생에너지기술발전	2.135	1.173
11	원전마케팅경쟁력	2.083	1.144
2	생활양식변화	2.073	1.139
15	국내·외정치구조개편	1.996	1.097
7	우수원전인력확보	1.615	0.887
8	세계경기동향	1.341	0.737
1	에너지수요증가	1.212	0.666

원전산업 영향 요인 간 매개 중심성 분석 결과 매개중심성이 가장 높은 요인은 에너지 정책 요인인 것으로 나타났다. 즉 에너지 정책 요인은 다른 요인들 간의 관계성의 가교역할을 하는 요인으로 볼 수 있다. 에너지 정책요인 다음의 매개 중심성 순위는 에너지가격→온실가스 감축 및 핵 관련 국제규제 변화→기존 에너지 기술 발전→원자력 수용성 변화→기후변화 및 환경오염의 심각성에 대한 인식→산업 구조 변화→원전 기술 경쟁력→신재생 에너지 기술발전→ 원전 마케팅 경쟁력→생활양식 변화→국내·외 정치 구조 개편→우수 원전 인력 확보→세계 경기 동향→에너지 수요 증가 등으로 나타났다.

2. 핵심 불확실성 요인 도출

본 절에서는 불확실성 축 결정을 통해 미래원전산업 분야의 시나리오 제시를 위한 전제로서 핵심 불확실성 요인을 도출하였다. 핵심 불확실성의 개념은 미래원전산업 분야 예측과 관련 하여 예측 가능한 수준에서 불확실성이 높은 환경 외생변수로서, 정책의사 결정에 상대적으로 높은 영향력을 가지는 인자로 정의할 수 있다. 또한, 미래원전산업 분야 영향요인의 불확실성 정도는 시간적 측면에서의 변화의 속도(Speed of Change)와

환경적 측면에서의 이해 관계자의 복잡성(Diversity of Stakeholders)을 중심으로 분석하고자 하며, 영향력 정도는 효율화 달성 기여도와 간접적 파급효과인 타 산업 파급, 고용, 인력양성 등을 중심으로 분석하고자 한다. 이를 통하여 미래원전산업 분야 영향요인의 불확실성과 영향력의 프로파일을 작성하고 요인의 상대적 위치를 파악한 다음 핵심 불확실성 요인을 선정하였다.

자료 수집을 위해 기 도출된 미래원전산업 영향 요인을 중심으로 구조화된 설문지를 작성하고 2010년 11월 10일부터 2011년 1월 10일에 걸쳐 원전 관련 학계 전문가 및 연구원을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 분석에 사용된 30명의 조사대상자들에 대한 인구통계학적 특성을 살펴보면 응답자 중 남성의 비율이 83.0%로 여성에 비하여 높았으며, 연령은 40대가 43.8%로 다른 연령대에 비하여 다소 높았다. 학력의 경우 박사 이상이 75.0%로 가장 높았으며 근무조직은 연구소가 37.5%, 직책은 연구원이 37.5%의 응답을 보였다. 경력의 경우 20년 미만이라는 응답이 전체 응답의 31.3%를 차지하였다.

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 평균값 및 7점 만점에 대한 백분율은 다음의 <표 5>와 같다.

먼저 평균값 분석결과를 살펴보면 불확실성이 가장 높은 요인은 에너지 가격인 것으로 나타났고, 불확실성이 가장 낮은 요인은 기존 에너지 기술 발전인 것으로 나타났다. 또한, 영향력이 가장 높은 요인은 에너지 가격이며 영향력이 가장 낮은 요인은 신재생 에너지 기술 발전인 것으로 나타났다. 참고로 본 연구자의 경험에 비취볼 때 영향력이 낮게 나타난 요인은 중요도가 떨어진다는 의미보다는 지속가능한 미래 원전수출을 위한 대응전략 추진과정에서 좀 더 적극적인 정부지원이 필요하다는 정도로 해석하는 것이 타당하리라 사료된다.

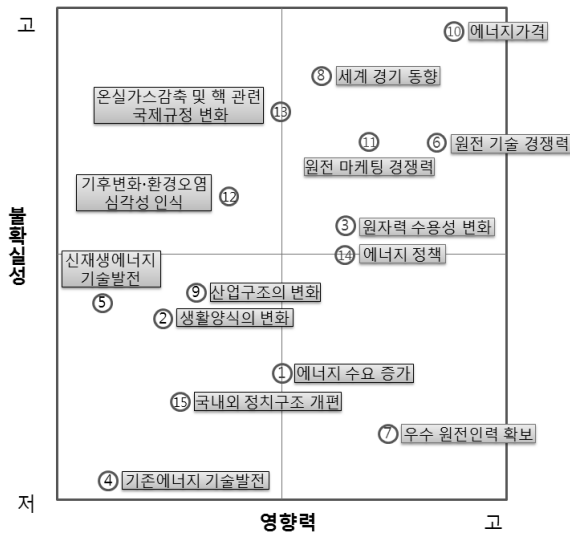
다음으로 생성된 불확실성과 영향력 정도 변수를 맵핑하여 각 요인의 불확실성 속성의 유사성과 영향 속성의 유사성을 분석하였다. 분석결과를 종합하여 15개 요인의 불확실성과 영향력 정도를 교차하여 2개 차원에서의 각 요인의 상대적 위치를 도식화하면 <그림 2>와 같다.

<표 5> 미래원전산업 영향 요인별 불확실성, 영향력 분석결과

	평균값		백분율(%)	
	불확실성	영향력	불확실성	영향력
에너지 수요 증가	4.65	5.40	66.51	77.23
생활양식 변화	4.75	4.65	67.85	66.51
원자력 수용성 변화	4.96	5.59	70.98	79.91
기존 에너지 기술 발전	4.37	4.18	62.50	59.82
신재생 에너지 기술 발전	4.78	4.15	68.30	59.37
원전 기술 경쟁력	5.18	5.84	74.10	83.48
우수 원전 인력 확보	4.50	5.65	64.28	80.80
세계 경기 동향	5.37	5.53	76.78	79.01
산업구조의 변화	4.81	4.78	68.75	68.30
에너지 가격	5.59	5.93	79.91	84.82
원전 마케팅 경쟁력	5.18	5.62	74.10	80.35
기후변화/환경오염의 심각성에 대한 인식	5.03	5.10	71.87	72.85
온실가스감축 및 핵 관련 국제규제 변화	5.28	5.40	75.44	77.23
에너지 정책	4.90	5.59	70.08	79.91
국내·외 정치구조 개편	4.59	4.75	65.62	67.85

* 주 : 만점 7점

** 자료 : 각 차원별 평균값 비교를 통해 저자가 작성



<그림 2> 원전산업 분야 영향요인의 불확실성/영향력의 상대적 위치

위의 <그림 2>에서 보는 바와 같이 에너지 가격, 세계 경기 동향, 원전 기술 경쟁력, 원전 마케팅 경쟁력 등의 요인이 다른 요인에 비해 불확실성과 영향력이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 반면 국내·외 정치구조 개편, 기존 에너지 기술발전 요인은 다른 요인에 비해 불확실성과 영향력이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

끝으로 기존 15개의 미래원전산업 분야 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 구분하였다. <그림 2>에서 알 수 있듯이 에너지 가격, 세계 경기 동향, 원전 기술 경쟁력, 원전 마케팅 경쟁력 등 4개의 요인을 핵심 불확실성 요인으로 선정하고, 우수 원전 인력 확보 1개 요인을 확정된 요인으로 선정할 수 있다.

일반적으로 시나리오 플래닝 기법에서 핵심 불확실성으로 구분된 요인은 요인의 진행 방향에 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.

IV. 전략적 시나리오 작성에 따른 대응전략

1. 불확실성 축 결정을 통한 시나리오 작성

시나리오 플래닝 기법은 미래의 상황을 몇 가지의 조합으로 나타내서 생각할 수 있게 해주는 도구로서(Van der Heijden, 1996) 이미 진행되고 있는 행위들을 합리화하기 위해 일반적으로 사용되는 막연한 예측 시나리오가 아니라 동등한 가능성을 가진 미래 전개 방향들을 사용한 살아있는 개념이어야 한다. 이러한 관점에서 먼저 상기 <그림 2>의 결과를 바탕으로 에너지 가격, 세계 경기 동향, 원전 기술 경쟁력, 원전 마케팅 능력 등 4개의 핵심 불확실성 요인을 시나리오의 근간이 되는 불확실성 축으로 결정하고, 각 불확실성 축에 대하여 <표 6>과 같이 두 개의 가능성을 상정할 수 있다.

<표 6> 4개 불확실성 축의 두 가지 가능성

불확실성 축	가 능 성	
	+	-
에너지 가격	하 락	상 승
세계 경기 동향	호 황	침 체
원전기술 경쟁력	우 위	열 위
원전 마케팅 경쟁력	우 위	열 위

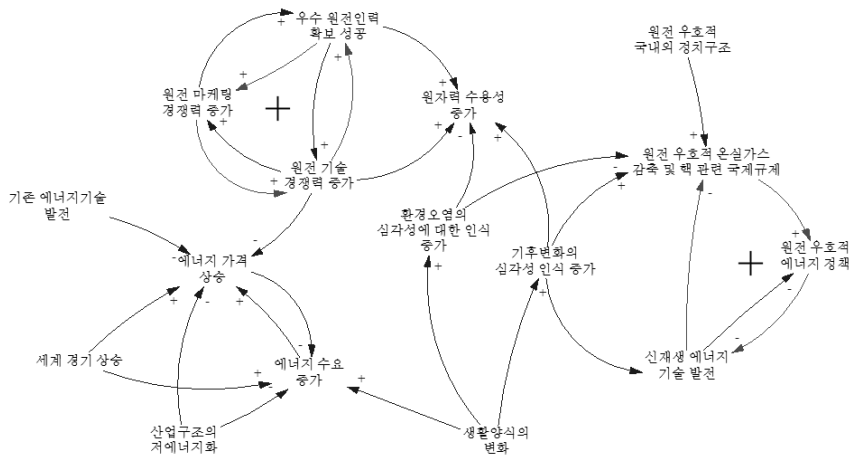
하지만, 불확실성 축이 4개 이상인 경우 각각의 가능성에 기초한 시나리오의 수는 <표 7>에서 보는 바와 같이 16개 이상이 되어 판단이 어려워지므로 논리적으로 일관성이 없는 시나리오는 제거할 필요가 있다. 통상적으로 3개 정도의 시나리오가 적당하나 시나리오의 수에 상관없이 의사결정 사안에 유용한 전략이나 시사점을 도출할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 <표 7>에서 보는 바와 같이 2030년 세계원전 수요를 최고 350기로 가정하고 예상 가능한 16개 시나리오 중 원전 수출 미래 전망위원회의 토론을 거쳐 미래에 가능한 전 범위를 고려할 수 있는 2개의 극단적 시나리오(Optimistic, Pessimistic)와 하나의 현상유지 시나리오(Business as usual)를 선정하였다. 구체적으로 350기의 원전 수요가 발생하기 위해서는 에너지 가격은 상승하여야 하고 세계 경기 동향은 호황이어야 하므로, 4개의 불확실성축 중에서 두 개는 방향성이 결정 되었다. 결국 원전기술경쟁력과 원전 마케팅 경쟁력의 방향에 의해 시나리오가 분화 되었고, 최종적으로 <표 7>과 같이 1번, 5번, 7번 시나리오를 선정하였다.

다음으로 불확실성 축을 중심으로 시나리오별로 차별성을 유지하여 각 시나리오의 스토리를 구성하였다. 시나리오 스토리는 미래의 한 시점으로 옮겨가 현재 일어나고 있는 사건처럼 작성하여야 독자들에게 현실감을 줄 수 있다. 시나리오는 원전수출 요인 중 불확실성 축과 미리 결정된 요인을 중심으로 구성하되 나머지 요인들도 포함하여 작성된다. 이를 위해 본 연구의 시나리오 스토리 구성에서는 앞서 분석한 네트워크 분석 결과를 통해 얻어진 정보들을 최대한 활용하였다. 참고로 네트워크 분석 결과를 바탕으로 미래 원전수출 분야의 인과지도를 논리적으로 작성하면 다음의 <그림 3>과 같다.

<표 7> 4개의 불확실성 축에 의한 16개의 시나리오

시나리오	불확실성 축			
	에너지 가격	세계 경기 동향	원전기술 경쟁력	원전 마케팅 능력
1(시나리오 A: Optimistic)	-(상승)	+ (호황)	+ (우위)	+ (우위)
2	-(상승)	-(침체)	+ (우위)	+ (우위)
3	-(상승)	+ (호황)	-(열위)	+ (우위)
4	-(상승)	-(침체)	-(열위)	+ (우위)
5(시나리오 B: Business as usual)	-(상승)	+ (호황)	+ (우위)	-(열위)
6	-(상승)	-(침체)	+ (우위)	-(열위)
7(시나리오 C: Pessimistic)	-(상승)	+ (호황)	-(열위)	-(열위)
8	-(상승)	-(침체)	-(열위)	-(열위)
....
16	+ (하락)	-(침체)	-(열위)	-(열위)



<그림 3> 미래 원전산업 분야 전체 인과지도

아래의 <표 8>에서는 미래 원전수출 분야에 영향을 끼치는 불확실성 축의 변화를 통하여 전체 시스템의 행위를 유형화하여 시나리오를 설명하였다. 구체적으로 각 시나리오 별 제목, 내용, 징후, 기회 요인, 위협 요인과 같은 사항을 포함하고 있다. 참고로, 미래 예측연구의 특성상 기회요인과 위협요인은 시나리오가 전개되는 상황이 발생할 때 우리가 가지는 기회요인과 위협요인을 의미한다.

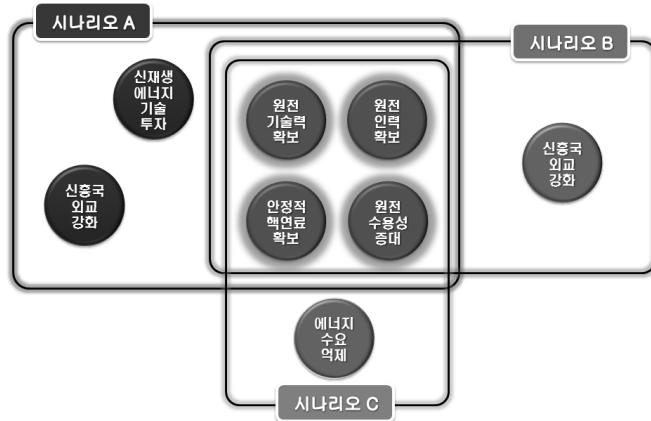
<표 8> 미래 원전산업 분야 예측 시나리오별 비교표

시나리오 A (Optimistic)	
제목	태양처럼 빛나는 미래
내용	경쟁국 대비 우수한 기술 경쟁력과 마케팅 능력을 앞세운 한국 원전은 폭발적으로 증가하는 세계 원전시장을 장악하며 3대 원전 수출대국으로 진입
원전 수출량	80기(UAE 4기 포함)
징후	<ul style="list-style-type: none"> · 일축즉발의 위기에 처했던 일본 원전사고는 일본을 비롯한 각국의 신속한 지원으로 마무리됨 · 일부 원전 이용국을 중심으로 원전안전 관련 기술개발이 진행 · 정부의 원전 수용성 증대 정책 성공 · 우수 인력 확보 및 원전 건설 지속 · 신흥국과의 밀접한 교류를 통해 자원 확보 및 우호 증진 · 세계경기의 호황으로 에너지 가격상승 및 원전수요 폭증 · 한국의 원전 안전성이 증명되며 기술경쟁력 확보 성공 · 원전기술력을 축적하고 자원 확보에 성공한 한국은 높은 에너지 가격에 큰 영향을 받지 않으며 경제성장 지속 · 한국은 기술 및 마케팅 우위를 바탕으로 전세계 원전 수주량의 20%를 장악하며 원전 3대 선진국으로 발돋움
기회 요인	<ul style="list-style-type: none"> · 에너지 대외 의존 탈피 · 생산원가 절감으로 인한 타 산업 수출 증대 · 원전산업 수출에 따른 경제성장 및 고용 창출 · 신흥개발국과의 우호 증진을 바탕으로 한 타 산업 수출 증대 · 플랜트 분야 기술 경쟁력 확보 · 신재생에너지 투자 여건 조성 및 투자 여력 증대 · 국가위상 증대
위협 요인	경쟁국의 견제 심화(환경 규제, 수입 장벽 강화, 원자력 규제 등)
시나리오 B (Business as usual)	
제목	미래를 위한 인내와 노력
내용	경쟁국 대비 우수한 기술 경쟁력을 확보하였음에도 불구하고, 원전 마케팅에 소홀한 한국원전은 원전 수출국 지위 유지에 만족
원전 수출량	40기(UAE 4기 포함)
징후	<ul style="list-style-type: none"> · 일축즉발의 위기에 처했던 일본 원전사고는 일본을 비롯한 각국의 신속한 지원으로 어느 정도 마무리됨 · 일부 원전 이용국을 중심으로 원전안전 관련 기술개발이 진행 · 정부의 원전 수용성 증대 정책 성공 · 우수 인력 확보 및 원전 건설 지속 · 세계경기의 호황으로 에너지 가격상승 및 원전수요 증대 · 한국의 원전 안전성이 증명되며 기술경쟁력 확보 성공 · 전 세계적인 에너지가격 상승을 원전 기술축적으로 완화하려 했던 한국은 우라늄 가격 상승으로 에너지 대외 의존도 완화 실패 · 기술경쟁력 우위에도 불구하고 원가 및 인건비 상승, 원전 발주국과의 관계 소홀, 원전 마케팅 능력 등으로 인해 전 세계 원전 수주량의 10% 점유에 그침

기회 요인	<ul style="list-style-type: none"> · 에너지 대외 의존도 다소 완화 · 원전 기술을 바탕으로 한 플랜트 분야 기술 경쟁력 확보 · 원전산업 수출에 따른 경제 유지
위협 요인	<ul style="list-style-type: none"> · 우라늄 가격 상승 · 에너지 가격 상승
시나리오 C (Pessimistic)	
제목	갈 길은 먼데 해는 저물고
내용	원전인력 확보를 통한 기술경쟁력 유지에 실패한 한국 원전은 마케팅 경쟁력에서도 뒤처지며 에너지 빈국으로 전략
원전 수출량	4기(UAE 4기 포함)
징후	<ul style="list-style-type: none"> · 일촉즉발의 위기에 처했던 일본 원전사고 처리가 지지 부진함 · 일부 원전 이용국을 중심으로 원전안전 관련 기술개발이 진행 · 한국은 원전 안전에 대한 국민적 불신으로 원전 수용성 증대 정책 실패 · 원전 관련 인력의 누수현상 심화 · 에너지가격 상승에 대응하기 위해 원전건설을 무리하게 진행 · 원전 인력부족으로 인해 무리하게 건설된 원전에서 방사능 누출사고 발생 · 안정성에 심각한 타격을 입은 한국원전은 해외원전 수주전에서 낙오되고, 국내에서는 원전사고로 추가 원전건설이 중단 · 원전수출 실적이 전무함은 물론이고, 높아진 에너지 가격을 감당하지 못한 한국은 산업경쟁력을 상실
기회 요인	경쟁국의 견제 약화(환경 규제, 수입 장벽 강화, 원자력 규제 등)
위협 요인	<ul style="list-style-type: none"> · 우라늄 가격 상승 · 에너지 가격 상승 · 방사능 피해 · 에너지 대외 의존도 심화 · 에너지 가격 상승으로 인한 산업경쟁력 저하 · 국가 경제력 저하 및 국가 위상 하락

2. 공통전략 및 최대위험 회피전략

본 절에서는 각 시나리오를 통하여 시나리오의 공통 전략과 최대위험 회피 전략을 도출하였다. 여기에서 말하는 시나리오의 공통 전략이란 미래원전산업 분야 3개 시나리오에 공통적으로 적용 가능한 수출전략을 의미한다. 또한, 최대위험 회피 전략이란 미래원전산업 분야 3개 시나리오 중 국가적인 최대 위험을 가정한 시나리오 C에 대한 대응 전략을 의미한다.



<그림 4> 원전산업 시나리오별 수출전략 요인

상기의 <그림 4>에서는 앞서 언급한 미래원전산업 분야 예측 시나리오를 바탕으로 원전수출 미래 전망위원회의 토론을 거쳐 최종 확정된 시나리오별 다양한 대응전략 요인의 우선순위를 제시하였다.

먼저, <그림 4>에서 보는 바와 같이 3개 시나리오의 공통전략으로는 ‘원전 안전 등 기술력 확보’, ‘원전 인력 확보’, ‘우라늄 등 안정적 자원 확보’ 및 ‘원전 수용성 증대’ 등의 전략 추진이 우선적으로 중요함을 알 수 있다.

원전 안전 등 기술력 확보의 경우 핵심 원천기술인 원전설계코드, 원자로냉각재펌프(RCP), 원전계측제어시스템(MMIS) 등을 경쟁사인 미국 웨스팅하우스에 의존하고 있는 상황을 고려할 때 조속한 기술자립이 필요하다고 할 수 있다. 아울러 원전 건설운영 및 사용 후 연료 재처리 등의 기술, 사업관리 체계 선진화 기술 등도 국산화가 필요한 중요한 과제로 볼 수 있다. 또한, 국산화 뿐 아니라 적극적인 해외 원전 수출을 위해서는 면진 시스템, 피동형 안전시스템 등 신개념 안전기술 도입 및 가격경쟁력이 확보된 국내 고유 신형 원전개발도 매우 중요한 과제이다.

원전 인력 확보의 경우 원자력 분야의 업무 특성상 최소한 1년간의 교육과정을 거쳐야 하고 현장 경험이 5년 정도는 있어야 주요 인력으로 투입이 가능하다. 향후 수요를 예측하여 원전 건설운영, 원전 설계 및 연구, 원전 폐기물 관리 등에 필요한 인력의 확보가 중요하며 특히, 원전 품질 유지 및 수요 변화에 대비한 인력의 선 확보가 예상된다.

2007년도 전 세계 우라늄정광 생산량 약 44,000톤은 소요량인 64,000톤의 약 69%에 불과하며 신규발전소 건설에 따른 수요증가, 신규광산 개발 지연 등 수급불안 요소들이 상존할 것으로 예상된다(KISTEP, 2010). 따라서 우라늄 등 안정적 자원 확보를 위해 자원

외교를 한층 강화해야 한다. 특히 풍부한 자원을 가지고 있는 신흥국과의 외교 강화를 통해 자원을 확보하고 미국, 캐나다, 호주, 프랑스, 카자흐스탄 등으로 공급원을 다원화할 필요가 있다.

원전 수용성 증대를 위해서는 일본 원전사고로 인한 불신 해소, 기존 원전 안전성 확보, 원전의 지속적 이용 당위성 확보 등이 시급히 추진되어야 할 과제로 볼 수 있다. 이를 위해서는 원전 사고, 고장 정보의 신속한 공개, 원전 안전점검 강화 및 안전규제 독립성 확보 등 실질적인 노력이 필요하고, 일반국민들에게 이를 효과적으로 알릴 수 있는 소통 노력이 필요하다.

한편, 최악의 시나리오인 시나리오 C 상황을 회피하기 위한 최대 위험 회피 전략으로는 원전 설계/건설/운용시 안전성을 담보할 수 있는 ‘원전 인력 및 기술력 유지’와 에너지가격 상승에 대비한 ‘자원의 안정적 확보’가 중요함을 알 수 있다.

원전 인력 및 기술력 유지와 관련해서는 최근 후쿠시마 원전 사고 발생 등으로 인해 각국의 신규 원전 건설 감소가 예상되에도 불구하고, 현재 가동중인 원전의 안전성을 담보하기 위해서는 이를 위한 최소한의 인력 확보 및 기술력 유지가 필요하다. 우리나라 정부에서는 후쿠시마 원전 사고 발생 후, 국내 원전에 대한 안전점검을 실시하여 총 50개의 안전개선대책을 이행하기로 하였고(한수원, 2011) 이를 차질 없이 이행하기 위해서도 지진, 해일, 중대사고 등 분야의 원전 기술 전문가 확보 및 유지가 필요하다. 또한, 향후 원전 폐로(decommissioning)를 대비하여 폐로 기술의 국산화 및 수출산업화를 위한 전문가 양성 등도 중장기적으로 준비가 필요한 사항이다.

에너지 가격 상승에 대비해서는 자원(원유 및 핵연료)의 안정적 확보를 위한 지속적 자원외교 강화노력은 물론, 에너지 고효율기기 기술개발, 보급 등 에너지 수요 관리 노력의 강화가 필요하다. 이러한 노력 없이는 신규 원전이 건설되지 않을 경우 높아진 에너지 가격을 감당하지 못하여 우리나라의 산업경쟁력이 저하되는 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 가장 비관적인 시나리오에서도 에너지 가격 상승 및 이로 인한 우리나라의 산업경쟁력 저하를 최소화하기 위해서는 에너지 자원의 안정적 확보 및 수요 관리 노력이 지속되어야 한다.

V. 결 론

본 연구에서는 시나리오 기반의 전략적 미래예측을 통하여 2030년경 미래원전산업의 환경변화 전망과 수출전략을 도출하였다. STEEP맵 작성과 네트워크 분석을 기초로 정치, 경제, 사회, 환경, 기술 등 다차원적인 관점에서 미래 원전수출 분야에 영향을 미치는 환경 불확실성 요인을 규명하고, 이들 요인 중 특히 핵심이 되는 불확실성 요인을 도출하였다. 본 연구결과를 통해 에너지 가격, 세계 경기 동향, 원전기술 경쟁력, 원전 마케팅 능력 등 4개 요인이 미래원전 산업 분야의 핵심 불확실성 요인으로 작용함을 확인할 수 있었다.

이어 시나리오 기법을 활용하여 핵심 불확실성요인을 중심으로 2030년경의 예상 가능한 시나리오를 생산하였다. 구체적으로 시나리오 A(Optimistic)는 경쟁국 대비 우수한 기술 경쟁력과 마케팅 경쟁력을 앞세운 한국 원전이 폭발적으로 증가하는 세계 원전 시장을 장악하며 3대 원전 수출 대국으로 진입하는 가장 바람직한 경우이다. 시나리오 B(Business as usual)는 경쟁국 대비 우수한 기술 경쟁력을 확보하였음에도 불구하고, 원전 마케팅에 소홀한 한국원전은 원전 수출국 지위 유지에 만족하는 경우이다. 시나리오 C(Pessimistic)는 원전 인력 확보를 통한 기술경쟁력 유지에 실패한 한국 원전은 마케팅 경쟁력에서도 뒤처지면서 해외 원전수출 빈국으로 전략하는 가장 바람직하지 않은 경우이다.

한편, 본 연구에서는 우리 정부가 시급히 추진해야 할 시나리오별 수출전략도 함께 제시하였다. 연구결과 3개 시나리오의 공통전략으로 ‘원전 안전 등 기술력 확보’, ‘원전 인력 확보’, ‘우라늄 등 안정적 자원 확보’ 및 ‘원전 수용성 증대’ 등의 전략 추진이 중요 수출전략으로 상정 되어야 할 것으로 제안하였다. 또한, 최대위험 회피전략으로는 원전 설계/건설/운용시 안전성을 담보할 수 있는 ‘원전 인력 및 기술력 유지’와 에너지가격 상승에 대비한 ‘자원의 안정적 확보’가 중요함을 알 수 있다. 특히, 원전의 안정적 설계/건설/운용에 필수적인 우수한 원전 인력 확보가 가장 중요한 전략이라 할 수 있다.

끝으로 좀 더 설득력이 있고 정책 의사 결정에 활용하기 위해서는 이번 연구에서 구성한 3가지 전략적 시나리오를 바탕으로 후속 연구에서는 인풋을 바꾸어 가며 도출된 시나리오별 차이 분석에 따른 정책검증이 필요하다고 사료된다. 또한 미래 원전산업 분야의 유망기술 발굴에 대한 후속 연구도 필요하리라 판단된다. 본 연구의 집필자들은 동 결과물이 다양한 정책 참여자들 사이에 논의되어 한국의 미래원전산업 분야에 대한 실효성 있는 정책대안 마련에 일조하기를 바란다.

참고문헌

- 강창현 (2001), 사회복지서비스 공급네트워크에 관한 연구: 서울시 노인지역보험서비스의 정부·시장·NGO간 협력을 중심으로. 박사학위논문, 연세대학교.
- 고길곤 (2007), 정책네트워크 연구의 유용성과 사회연결망 이론 활용 방법의 고찰. 『행정논총』, 45(1), 137-164.
- 황병용 외 (2010), 한국의 미래 에너지사회 전망에 관한 연구: 계층분석법과 인과지도의 보완적 분석을 중심으로. 『한국 시스템다이내믹스 연구』, 11(3), 61-86.
- 황병용 (2012), 영국의 미래예측 방법론 고찰을 통한 한국적 적용모델 탐색. <한국과학기술기획평가원 ISSUE PAPER> 2012-051.
- 박치성 (2006), 비영리-정부조직간 공식계약관계에 대한 연구: 미국 피츠버그시 사회 서비스 공식계약 연결망을 중심으로. 행정논총, 44(4), 232-258.
- 손동원 (2002), 『사회 네트워크 분석』. 서울: 경문사.
- 임현 (2009), 신재생에너지 분야의 전략적 미래예측. <한국과학기술기획평가원 ISSUE PAPER> 2009-01호.
- 임현 외 (2011), 국가 원자력 장기 정책방향 및 비전 수립에 관한 연구. <한국과학기술기획평가원> 2011-021.
- 원자력안전위원회 (2011), 국내 원전 안전점검 결과(안).
- 원자력안전위원회 (2012), 후쿠시마 원전사고 대응 추진실적 및 향후 추진계획.
- 지식경제부 등 (2010a), 『원자력발전 수출산업화 전략』 보도자료, 2010. 1. 13.
- 지식경제부 등 (2010b), 『원자력발전 인력 수급 전망과 양성대책』 보도자료, 2010. 10. 14.
- 홍진기·조성식·김경권 (2010), 원자력 기술과 정책동향. <한국과학기술기획평가원 동향 브리프> 2010-05
- 한수원 (2011), 국내 원전 안전점검 결과 개선대책 추진 현황 보고, 제1차 원자력안전위원회.
- 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.
- Hanneman, R. (2001), Introduction to Social Network. Retrieved form <http://faculty.ucr.edu/~haneman/networks/nettext.pdf>
- IAEA (2012), Nuclear Technology Review
- IEA (2011a), Energy Statistics of OECD Countries(2011 edition).
- IEA (2011b), World Energy Outlook(2011 edition).
- Keenan, M. and Popper, R. (2007), Practical Guide for Integrating Foresight in Research

- Infrastructures Policy Formulation, Brussels: European Commission.
- Knoke, D. & Kuklinski, J. H. (1983), Network analysis. Beverly Hills, CA: Sage Publication.
- NIC(National Intelligence Council) (2008), Global Trends 2025: a Transformed World. NIC 2008-003.
- NIC(National Intelligence Council) & EUISS(European Union Institute for Security Studies). (2010), Global Governance 2025: at a Critical Juncture. NIC 2010-08.
- PREST (2005), Evaluation of the United Kingdom Foresight Programme. Office of Science and Technology.
- Schoemaker, P. J. H. (1993), Multiple Scenario Development: Its Conceptual and Behavioral Foundation. Strategic Management Journal. Vol.13:193-213.
- Schoemaker, P. J. H. (1995), Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking. Sloan Management Review. Winter. 25-39.
- Scott, J. P. (2000), Social Network Analysis: A Handbook. Thousand Oaks, CA: Sage Publications Ltd.
- Van der Heijden (1996), Scenarios: The Art of Strategic Conversation. John Wiley.
- Wasserman, S & Faust (1994), Social Network Analysis. Cambridge: Cambridge University Press.
- World Nuclear Association (2011), WNA Market Report.

□ 투고일: 2012. 06. 18 / 수정일: 2012. 11. 02 / 게재확정일: 2012. 12. 05