

2002 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

국가 원자력 기술 지도 개발 방안
An Effective Way to Develop National Nuclear
Technology Roadmap

이태준

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

기술지도는 대규모 기술혁신 투자의 효율성과 효과성을 수요지향 관점에서 증진시키는 데 유용한 기술혁신 관리 기법이다. 국가원자력 정책목표달성을 위해서, 국가 원자력기술 지도가 원자력진흥종합계획을 보완할 수 있도록 개발 운영되어야 한다. 보다 구체적으로는, 진흥종합계획상의 계획들을 수요지향적으로 통합하고 주요 정책 목표 측정인자를 개발하며 기술지도상에서 기술적, 조직적 활동을 체계적으로 네트워크화 해야 한다.

Abstract

Technology roadmap refers to an effective management tool for the improvement of efficiency and effectiveness of large complex innovation from the needs-driven perspective of technological change. In developing National Nuclear Technology RoadMap (NNTRM), it is suggested that NNTRM should be designed to support to achieve the national goal of nuclear policy in the Nation Comprehensive Plan (NCP) for promoting development and utilization of nuclear energy. For the NNTRM, it is necessary to reorganize the existing plans in the NCP in needs-driven terms, to develop operational definition and indices, and to develop systematically technical and organizational networks on the NNTRM.

1. 서 론

과학기술발전이 미래 국가의 흥망성쇠를 가늠하는 것으로 인정되면서, 세계 각국은 정부 또는 민간주도로 21세기 미래사회를 선도하거나 미래사회의 수요가 증폭될 것으로 예상되는 분야의 기술경쟁력을 확보·강화하기 위한 노력을 경주하고 있다. 아울러 기술혁신과정 및 혁신결과의 사회 적용과정에서 이루어 졌던 시행착오에 의해서 발생하는 과학

기술투자의 부정적 효과를 줄이면서 기술혁신 투자의 효율성을 제고하는 것이 기술혁신 의사결정 과정에서 또한 중요하게 인식되어 가고 있다. 즉 기술혁신의 성공요인으로서 기술경쟁력을 발전시키는 것뿐만 아니라 해당 기술의 미래 사회수요의 정도 및 크기를 가능한 한 정확히 전망하는 것이 기술혁신을 통한 경제사회활동을 효율적으로 추진하고 미래 국가 사회 발전에 대한 기술혁신의 대규모 투자 타당성을 증진시키는 데 핵심적인 요인으로 인정되고 있다.

기술지도(technology Road Map: TRM)은 이러한 기술혁신 환경변화에 효과적으로 대응하기 위해 개발된 기술혁신 관리 기법이다. 즉 기술지도는 대규모 연구개발 (Research and Development: R&D)을 통한 기술혁신 투자의 효율성과 효과성을 수요지향 관점에서 증진시키기 위하여 개발되었다. 이러한 기술지도는 1950년대부터 개발되었던 PERT/CPM을 중심으로 한 기술혁신, 특히 R&D 프로젝트의 목표 (예산, 일정 및 기술성능) 관리 기법과, 1960년대 후반부터 미국 등에서 수행되었던 기술평가 (technology assessment)의 방법을 1980년대 후반부터 주목을 받고 있는 전략계획(Strategic Planning) 관점에서 통합한 것으로 볼 수 있다.¹⁾ 산업차원에서는 1992년에 미국 반도체 협회가 작성한 것이 대표적이며 이 반도체 기술지도는 미국 반도체 R&D 전략 수행에서 중추적인 역할을 하고 있다.²⁾ 정부차원에서는 미국에서 가속기 미임계 핵변환시스템의 기술지도가 1999년에 작성되었고 제 4세대 원자력 시스템에 대한 기술지도가 개발 중에 있다.³⁾ 우리 나라에서도 1999년 정보통신부의 정보통신기술부문에 29개의 기술지도가 작성된 바 있으며 2000년부터 기초기술연구회 주도로 생명공학부문의 Nano/MEMS 등 4개 기술지도와 2001년부터 산업자원부 중심으로 로봇, 광섬유 및 전지 등 6개 분야의 기술지도가 작성 중에 있다. 또한 과학기술부에서도 2006년까지 향후 5년간 약 35조원을 투자할 과학기술기본계획을 효율적으로 추진하기 위해서 해당 기술부문의 기술지도 작성을 추진하고 있다.⁴⁾

이러한 실정을 감안하여, 본 논문에서는 대형 국가 기술혁신투자 관리를 위한 기술지도의 성격 및 용도를 규명하고 기술지도 작성방법 및 절차를 분석하였다. 마지막으로 이러한 기술지도 기법을 원자력 개발에 적용하기 위한 방안을 제시하였다.

2. 기술지도의 정의 및 주요 특성

기술지도는 ‘미래 수요의 충족과 산업의 장기 비전 달성을 위해 요구되는 핵심 제품 및 기술을 개발하기 위한 기술혁신 전략 계획 문서’로 정의 될 수 있다. 다시 말하면, 기술지도는 미래 사회의 수요에 부응하는 해당 산업 및 조직의 장기 비전과 임무를 설정한 후

1) 원자력 기술평가의 접근방법에 대해서는, 이태준 외 ‘기술사회 상호 결정론 관점의 원자력 기술평가 접근 방법,’ 한국원자력학회 ‘98춘계학술발표회, 1998, pp. 975-980 참조.

2) 기초기술연구회, “미래기술 로드맵 작성을 위한 가이드,” 2001.

3) 제 4세대 원자력시스템의 TRM 개발과정에 대해서는 김현준 (2002)를 참고할 것.

4) 과학기술부, “국가기술지도 작성 추진 계획,” 2002. 3.

이를 구현할 수 있는 목표 제품과 기술분야를 선택하고 가용자원을 집중적으로 투입하여 요구되는 미래시점에 기술과 제품이 합목적으로 사용될 때까지 기술 개발 및 활용 경로를 전략적으로 계획한 것이다.

기술혁신 관리수단으로서 기술지도는 두 가지 주요한 특징을 가진다. 첫째는 기술지도는 수요지향적 (needs-driven) 기술혁신에 초점을 둔다. 기술지도는 과학기술활동의 목적으로서 미래 수요를 만족시킬 수 있는 기술 제품을 개발하는 것을 강조한다. R&D 등 기술혁신 프로젝트가 얼마나 효율적으로 완수되었는가 보다도, 그 결과물들이 얼마나 사회수요를 만족시키면서 사용되는 지에 초점을 둔다. 둘째, 기술지도는 전략계획방식의 기술혁신 관리를 추구한다. 외부 기술경쟁 환경과 내부의 기술능력 여건의 변화에 동태적으로 대처하면서 기술혁신 계획 및 조직의 비전과 목표를 완수하기 위한 임계 경로(Critical Path)를 관리하기 위한 것이다.⁵⁾

국가차원에서 작성 관리될 때, 기술지도의 대표적인 장점은 기술혁신 환경이 특히 위협적일 때 기술혁신 투자의 효율성과 효과성을 증대시키는 데 유용하다는 것이다. 즉 기술경쟁이 심화되고, 조직 또는 산업의 R&D 투자가 감소되며 및 경제 사회적 수요의 불확실성이 커질 때, 그리고 이러한 위협적인 기술환경을 타개할 수 있는 기술적 대안이 분명하지 않을 때 기술지도는 국가 차원에서 21세기 미래 사회를 주도할 제품과 기술을 규명하고 자원을 효율적으로 이용하여 이들을 확보하고 그 결과를 효과적으로 촉진하기 위한 기술혁신 투자 및 관리 전략을 개발 추진하는데 사용될 수 있다. 대상기간동안 관련 기술 및 수요의 변화를 예측·분석하고, 연구개발의 준비단계부터 기술혁신 목표 달성 및 결과의 최종활용까지의 정부와 민간 주체들이 공유할 수 있는 합리적인 기술혁신과 확산의 이정표를 제시한다. 동시에 기술지도를 이용하여 국가차원의 기술혁신과정에서 참여자들의 기능을 점검하고 참여자들 간의 협력을 유도하여 투자의 중복과 누락을 방지하여 투자의 효율성을 증진시킬 수 있다. 기술지도 작성 및 관리는 국가차원에서 장기적인 개발 대상 기술 및 제품 활용 체계를 관련 주체들이 합의적으로 탐색하고 결정하는 과정으로 설명할 수 있다. 따라서 이러한 합의과정에서 정부부처, 산업체, 출연(연), 대학, 학회 등 관련 주체들의 역할과 기능이 총체적으로 점검되며, 국가차원의 투자효율성을 높이기 위해서 참여자간의 협력 강화 방안이 적극적으로 모색될 수 있다. 이 외에 기술혁신 투자관리에 대한 의사결정과정에서 현재 및 미래의 기술환경에 대한 보다 정확한 이해를 위한 기술 정보를 체계화하는데 사용될 수 있다. 기술지도 작성 및 운영과정에서 조직, 산업 및 국가 차원의 기술정보 수집과 관리를 위한 시스템을 체계적으로 구축 운용할 수 있다. 마지막으로 대형 기술혁신 투자에 대한 마케팅 수단으로서 국민수용성을 증진시키는 데 활용될 수 있다. 연구개발 투자의 미래 수요의 정도와 크기와의 연계성을 합리적으로 또한 구체적으로 보여줌으로써 대규모 장기적 연구개발 투자에 대한 대중 수용성을 향상시

5) Garcia, L. and Bray, O. L., "Fundamentals of Technology Roadmapping," Sandia Report, Sandia National Laboratory, 1997. 4.

키는 데 사용될 수 있다.

그러나 기술지도의 작성 및 관리에는 장기간에 걸쳐 여러 관련 조직들의 적극적인 참여와 이에 따른 다양한 전문성을 바탕으로 한 광범위한 활동을 최적화 해야 한다는 어려움이 있다. 즉 기술지도 방법의 가장 큰 단점으로서 기술지도 작성과 운영에 대한 합의 도출이 어려움을 들 수 있다. 기술지도의 작성에는 미래사회의 기술환경과 관련된 핵심제품 및 기술을 전망하기 때문에 상당한 불확실성이 내포된다. 특히 부정확한 기술지도는 오히려 기술혁신투자에 대한 막대한 손실을 초래함을 고려할 때, 기술지도의 합리적 신뢰성을 높이기 위한 노력이 광범위하게 요구된다. 이 과정에서 해당 기술 전문가뿐만 아니라 기술지도 작성 및 관리를 위한 정책전문가, 조직의 투자 관리 및 경영 전문가 그리고 미래 사회학자 등도 참여할 필요가 있는데 이들간의 견해 및 이해 차이로 기술 경로와 이를 추진하는 실천계획에서 합의를 도출하기 어렵다. 따라서 기술지도의 작성과 관리에 대한 합의를 가능한 한 합리적으로 정교하게 도출하는 데 많이 시간과 노력이 요구된다.

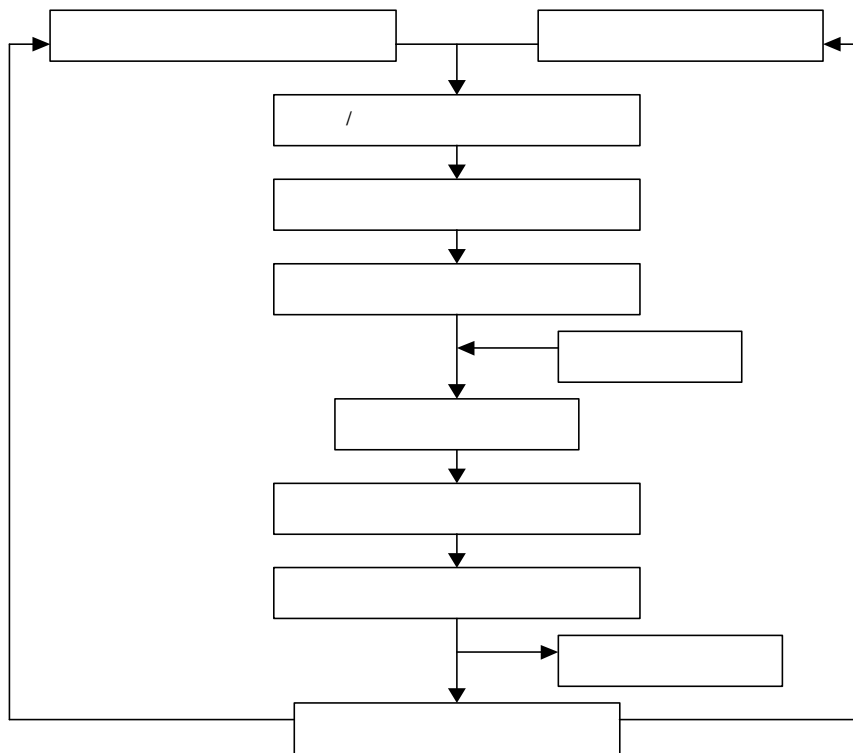
3. 기술지도 작성 및 관리 절차

이러한 기술지도의 작성 및 관리 과정은 기술지도 작성을 위한 준비, 작성 그리고 사후 관리 및 개선을 포함하는 전반적인 TRM 개발·운영 과정은 크게 3단계로 구분된다.

시작 단계인 예비 활동 단계에서 가장 중요한 일은 기술지도를 작성하기 이전에 기술지도 작성 및 관리에 대한 관련 주체들의 적극적 참여와 지원을 확보하는 것이다. 이 단계에서는 기술지도의 필요성을 바탕으로, 기술지도의 범위 및 한계와 용도, 그리고 기술지도 개발 및 운영방식에 대한 관련 기관/조직간에 합의가 확보되어야 한다.

다음단계에서는 기술지도를 개발한다. 먼저 목표시점의 미래 사회 및 기술/산업 수요 특성을 전망하고 기존 기술영역에 대한 기술변화를 예측한 다음, 이를 토대로 해당 시점에서 산업/조직의 역할을 증대시킬 수 있도록 산업/조직의 비전과 임무를 설정한다. 미래사회의 수요와 산업/조직의 비전을 성취하는 데 필요한 주력 제품과 그 수요 규모를 파악하고 이에 대한 관련 주체들간의 합의를 도출한다. 선정된 제품의 핵심시스템요건(Critical System Requirement)과 기술성능목표(Performance Targets)를 설정하고 핵심시스템 요건과 기술성능 목표 달성에 필요한 주요 기술영역 (Major Technology Areas)을 도출한다. 기술영역별로 주요 기술변수와 기술변수들의 목표치가 결정된다. 기술변수는 해당기술영역에서 어떤 기술대안이 선택되어야 하는 지를 판가름하는 기준이 되며 기술변수의 목표치는 선정된 기술변수들이 얼마나 그 기능을 발휘해야 하는 지를 규정하는 것이다. 기술영역별로 기술대안들을 조사하고 기술대안별 비용, 일정 및 기술성능과 내부의 능력을 비교 분석하여 바람직한 기술대안을 규명한다. 마지막으로 기술대안부터 주력 제품까지 체계적으로 연결하는 기술지도를 그리고 이를 합리적으로 완수하기 위한 실천계획을 수립함으로써 기술지도 개발을 완성한다. 이 과정에서 제안된 기술대안들이 제품목표를 개발하는 데 얼마나 적합한지 그리고 다른 중요한 기술대안이 누락되지 않았는

지가 검토되어야 한다. 실천계획을 수립할 때는 관련주체들의 개별활동 뿐만 아니라 협력 활동이 규명되어야 한다. 기술적 협력뿐만 아니라 자금 확보 및 자원공유 등에 조직적 협력방안이 파악되어야 한다. 종합적으로 기술지도보고서에는 기술지도와 실천계획이외에 이들을 개발하고 작성하는데 관련된 내용이 포함되어야 한다: 1) 기술지도 작성 목적, 범위, 과정 및 운영 방안; 2) 목표시점의 미래 사회 및 기술/산업 수요 특성 전망; 3) 기존 기술에 대한 기술변화 분석 및 예측; 4) 산업/조직의 비전/임무; 5) 주력 제품, 기술분야 및 기술대안의 미래 가치 및 기술 변화 예측; 6) 주력 기술/제품의 미래 가치 및 개발 목표; 7)계층별 SWOT (기술영역 또는 기술대안 별 기술능력 격차 및 관련된 정치/사회/경제적 현안) 분석; 8) 기술지도; 9) 실천계획; 10) 기술지도에 의한 국가 기술혁신 계획의 성공적 완수를 위한 관련 제도 및 정책에 건의사항. <그림 1>은 기술지도의 작성과 관리 흐름도를 나타낸 것이며 <표 1>은 고효율 자동차 에너지 개발 사례에 대한 기술지도 작성과정 및 내용을 예시한 것이다.



<그림 1> 기술지도 개발 및 관리 절차

<표 1> 기술지도 작성 사례

절차 및 항목	내용
비전 전략목표	- 자동차산업의 국가 경쟁력 제고를 통한 국가경제발전 - 2006까지 자동차 연료효율 50 % 증가
주력제품	고효율 에너지 자동차
핵심시스템요건 (CSR) 기술성능 목표:	- MPG (miles per gallon), 안전성, 비용 - 2010년까지 80 MPG, 2015년까지 100 MPG
기술영역	2010년까지 80 MPG 달성과 관련된 기술영역 규명 - 재료, 엔진제어 및 센서 등
주요 기술변수 및 목표치	2010까지 80 MPG달성 위한 재료 기술영역의 - 주요기술변수: 차체 중량과 엔진온도 - 변수 목표: 0.5 ton, 2000℃
기술영역에 대한 기술대안 비교·선정후 기술지도 개발 및 실행 계획 수립	

세 번째 기술지도 운영 단계에서는 기술지도의 내용이 지속적으로 검토 및 개선되고 관련주체들의 활동이 계획적으로 원활하게 수행되는 지를 관리한다. 기술지도는 초장기적인 기술혁신계획으로 높은 불확실성을 내포하고 있다. 따라서 내부여건과 외부환경의 동태적인 변화에 유연하게 대처할 수 있는 기술지도 관리시스템이 구축되고 이를 관리하는 상설조직이 운영될 필요가 있다.

4. 국가 원자력 정책 목표의 효과적 달성을 위한 개선점

우리나라는 1992년부터 시행된 원자력연구개발 중장기계획에 이어서 1997년 6월 원자력진흥종합계획을 수립하여 국가 차원의 원자력 기술혁신을 추진하고 있다. 원자력 진흥종합계획에서는 관·산·연·학이 협력하여 국내외 환경변화를 종합적으로 분석하고 국가 원자력 기술개발의 장기 정책 목표와 기본 방향을 제시하고 매 5년 단위의 부문별 실천과제과 추진계획이 수립되어 있다. 최근에 개정된 제2차 원자력진흥종합계획에서는 2015년을 대상으로 한 주요 기술 및 제품에 대한 개발 계획이 수립되어있다. 또한 부문별 지층계획에서는 주요 기술부문별 기술개발의 주요 일정과 추진전략이 보다 구체적으로 수립되어 있다.⁶⁾

그러나 원자력진흥종합계획 (이하 진흥종합계획이라 함)에서는 기본적으로 수요지향적이기 보다는 기본적으로 기술주도적으로 구성되어 있다. 즉 정책의 기본목표는 수요지향적으로 설정되었으나 기술주도의 기술부문별 계획과 정책간의 적합성에 대한 분석이 미

6) 과학기술부, “제2차 원자력진흥종합계획,” 2001. 7.

흡하다. 예를 들어 원자력 기술의 수요를 발전 분야와 비발전 분야로 대별할 때, 발전용 원자로와 연구용 원자로를 비록 여러 기술분야의 지식이 공유된다 할 지라도 수요중심에서 보면 별개의 제품군에 속한다. 또한 발전분야에 대해서, 진흥종합계획에서는 원자로 부문과 핵연료 및 핵연료 주기 기술 부문이 구분되어 있는데, 기술의 최종수요인 전기생산 측면에서 보면, 이 두 부문이 분리되어 계획되는 것은 바람직하지 않다. 즉 미래사회에서 요구되는 전기 수요를 가장 경쟁력 있게 대응할 수 있도록 선행핵연료주기, 발전소 그리고 후행핵연료주기를 통합적으로 고려한 기술혁신 계획이 추진될 필요가 있다.

둘째로 진흥종합계획의 제반 정책적 용어에 대한 보다 정량적인 정의가 필요하다. 예를 들어 국가원자력 정책의 5대 목표의 하나인 “지속가능한 발전을 위한 주력 에너지원”으로서 안정적 에너지 공급에 기여’와 ‘원자로 기술과 핵연료 관련 기술을 고도화하여 원자력 산업의 국제 경쟁력을 확보하고 수출산업으로 육성’한다는 목표에서 미래 주력에너지원으로서의 원자력 발전의 특성과 원자력 산업의 국제경쟁력에 대한 측정 가능한 정의와 측정지표를 개발 할 필요가 있다. 우선 미래 발전원에 대한 수요 특성과 예상 발전원의 종류 및 발전원에 대한 사회적 선호도를 분석하고, 미래 전기시장에서 원자력발전의 수요증가를 위한 현안 사항 (안전성, 핵비확산성, 방사성폐기물관리성 및 경제성 등)을 얼마 만큼 해결되어야 하는 지에 대한 정량적인 설명이 필요하다. 또한 타 발전원에 대한 원전의 경쟁력뿐만 아니라 원자력 산업의 국제 기술경쟁력의 정의와 측정인자를 개발하고 진흥종합계획을 통해서 현재의 수준에서 미래 목표시점까지 국제 기술경쟁력이 어떻게 개선되는 지, 그리고 이를 통해 국내 시장을 어떻게 방어하고 수출을 통하여 세계 시장을 어떻게/얼마나 개척할 수 있는 지를 가능한 한 가지적으로 설명될 수 있어야 한다. 즉 미래 전기 시장에서 타 발전원에 대하여, 동시에 세계 원자력 발전시장에서의 국내 원전의 경쟁력 확보가 현재의 진흥종합계획 추진을 통해서 바람직한 수준까지 달성가능한 지를 검토할 필요가 있다.

5. 결론 및 원자력 기술지도 작성을 위한 제언

기술지도 기법을 국가 원자력기술개발에 적용할 때에는 가능한 한 원자력진흥종합계획의 내용을 수용하되 기술지도 기법의 장점을 적극적으로 활용할 필요가 있다. 첫째, 원자력 기술지도 작성을 위해서는 진흥종합계획에서 도출된 주요 부문 또는 기술 계획들을 수요지향적으로 통합해야 한다. 이를 위해서는 우선적으로 원자력 기술의 사회적 역할에 대한 구분이 필요하다. 예를 들어 원자력 기술의 수요를 발전 분야와 비발전 분야로 대별함으로써 미래 기술 및 제품 수요에 대한 특성을 보다 정확히 규명할 수 있다. 둘째 국가 정책 목표 달성을 위한 측정인자를 개발하여 이를 기술지도 상에 반영되어야 한다. 주요 정책목표에 대한 정량적 측정 방법을 개발하고 이를 토대로 먼저 원자력 발전분야에서 국제경쟁력확보가 가능하면서 국가 발전 청사진에서 원자력기술발전이 중추적 역할을 담당할 주력제품들을 도출한다. 그 후에 주력제품 중에서 우리 나라가 목표시점까지 국제

기술경쟁력을 가질 수 있는 제품과 기술분야를 선택하고 그 경쟁력을 확보과정이 가시적으로 관리될 수 있도록 해야 한다. 셋째, 수요중심적으로 통합·계획된 기술지도상에서 기술적, 조직적 활동을 체계적으로 네트워크화 함으로써 계획의 추진 실적이 동태적으로 관리될 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 현재 추진 중인 분산된 계획들을 통합할 때, 기술지도상의 주력제품 개발 목표를 달성하는 데 있어서 기술적, 조직적 그리고 및 정책상의 중복 및 공백을 해결할 수 있는 지 검토해야 한다.

<참고 문헌>

- (1) 과학기술부, “제2차 원자력진흥종합계획,” 2001. 7.
- (2) 과학기술부, “국가기술지도 작성 추진 계획,” 2002. 3.
- (3) 기초기술연구회, “미래기술 로드맵 작성을 위한 가이드,” 2001.
- (4) 김현준, “제4세대 원자력 시스템(Gen IV) 개발,” 원자력산업, 22(3), 2002. 3. pp. 2-14.
- (5) 이태준 외 '기술사회 상호 결정론 관점의 원자력 기술평가 접근 방법,' 한국원자력학회 '98춘계학술발표회, 1998, pp. 975-980
- (6) Garcia, L. and Bray, O. L., "Fundamentals of Technology Roadmapping," Sandia Report, Sandia National Laboratory, 1997. 4.