

국가 원자력 기술 지도 개발 방안

이 태 준
한국원자력연구소

서론

과학 기술 발전이 미래 국가의 흥망 성쇠를 가늠하는 것으로 인정되면서, 세계 각국은 정부 또는 민간 주도로 21세기 미래 사회를 선도하거나 미래 사회의 수요가 증폭될 것으로 예상되는 분야의 기술 경쟁력을 확보·강화하기 위한 노력을 경주하고 있다.

아울러 기술 혁신 과정 및 혁신 결과의 사회 적용 과정에서 이루어졌던 시행 착오에 의해서 발생하는 과학 기술 투자의 부정적 효과를 줄이면서 기술 혁신 투자의 효율성을 제고하는 것이 기술 혁신 의사 결정 과정에서 또한 중요하게 인식되어

가고 있다.

즉 기술 혁신의 성공 요인으로서 기술 경쟁력을 발전시키는 것 뿐만 아니라 해당 기술의 미래 사회 수요의 정도 및 크기를 가능한 정확히 전망하는 것이 기술 혁신을 통한 경제 사회 활동을 효율적으로 추진하고 미래 국가 사회 발전에 대한 기술 혁신의 대규모 투자 타당성을 증진시키는 데 핵심적인 요인으로 인정되고 있다.

기술 지도(technology Road Map : TRM)는 이러한 기술 혁신 환경 변화에 효과적으로 대응하기 위해 개발된 기술 혁신 관리 기법이다. 즉 기술 지도는 대규모 연구 개발 (Research and Development : R&D)을 통한 기술 혁신 투자의 효율성과 효과성을 수요 지향 관점에서 증진시키기 위하여 개발되었다.

이러한 기술 지도는 1950년대부

터 개발되었던 PERT/CPM을 중심으로 한 기술 혁신, 특히 R&D 프로젝트의 목표(예산, 일정 및 기술 성능) 관리 기법과, 1960년대 후반부터 미국 등에서 수행되었던 기술 평가(technology assessment)의 방법을 1980년대 후반부터 주목을 받고 있는 전략 계획(Strategic Planning) 관점에서 통합한 것으로 볼 수 있다.¹⁾

산업 차원에서는 1992년에 미국 반도체협회가 작성한 것이 대표적이며 이 반도체 기술 지도는 미국 반도체 R&D 전략 수행에서 중추적인 역할을 하고 있다.²⁾

정부 차원에서는 미국에서 가솔기 미입계 핵변환 시스템의 기술 지도가 1999년에 작성되었고, 제4세대 원자력 시스템에 대한 기술 지도가 개발중에 있다³⁾

우리 나라에서도 1999년 정보통신부의 정보 통신 기술 부문에서

- 1) 원자력 기술 평가의 접근 방법에 대해서는, 이태준 외 '기술사회 상호 결정론 관점의 원자력 기술평가 접근 방법', "한국원자력학회 '98춘계 학술발표회", 1998, pp. 975-980 참조.
- 2) 기초기술연구회, "미래기술 로드맵 작성을 위한 가이드" 2001.
- 3) 제4세대 원자력 시스템의 TRM 개발 과정에 대해서는 김현준(2002)을 참고할 것.

29개의 기술 지도가 작성된 바 있으며 2000년부터 기초기술연구회 주도로 생명 공학 분야의 Nano/MEMS 등 4개 기술 지도와 2001년부터 산업자원부 중심으로 로봇, 광섬유 및 전지 등 6개 분야의 기술 지도가 작성중에 있다.

또한 과학기술부에서도 2006년까지 향후 5년간 약 35조원을 투자할 과학 기술 기본 계획을 효율적으로 추진하기 위해서 해당 기술 분야의 기술 지도 작성을 추진하고 있다.⁴⁾

이러한 실정을 감안하여, 본 논문에서는 대형 국가 기술 혁신 투자 관리를 위한 기술 지도의 성격 및 용도를 규명하고 기술 지도 작성 방법 및 절차를 분석하였다. 마지막으로 이러한 기술 지도 기법을 원자력 개발에 적용하기 위한 방안을 제시하였다.

기술 지도의 정의 및 주요 특성

기술 지도는 '미래 수요의 충족과 산업의 장기 비전 달성을 위해 요구되는 핵심 제품 및 기술을 개발하기 위한 기술 혁신 전략 계획 문서'로 정의될 수 있다.

다시 말하면, 기술 지도는 미래 사회의 수요에 부응하는 해당 산업

및 조직의 장기 비전과 임무를 설정한 후 이를 구현할 수 있는 목표 제품과 기술 분야를 선택하고 가용 자원을 집중적으로 투입하여 요구되는 미래 시점에 기술과 제품이 합목적으로 사용될 때까지 기술 개발 및 활용 경로를 전략적으로 계획한 것이다.

기술 혁신 관리 수단으로서 기술 지도는 두 가지 주요한 특징을 가진다. 첫째, 기술 지도는 수요 지향적 (needs-driven) 기술 혁신에 초점을 둔다. 기술 지도는 과학 기술 활동의 목적으로서 미래 수요를 만족시킬 수 있는 기술 제품을 개발하는 것을 강조한다. R&D 등 기술 혁신 프로젝트가 얼마나 효율적으로 완수하는가보다도 그 결과물들이 얼마나 사회 수요를 만족시키면서 사용되는지에 초점을 둔다.

둘째, 기술 지도는 전략 계획 방식의 기술 혁신 관리를 추구한다. 외부 기술 경쟁 환경과 내부의 기술 능력 여건의 변화에 동태적으로 대처하면서 기술 혁신 계획 및 비전과 목표를 완수하기 위한 임계 경로 (Critical Path)를 관리하기 위한 것이다.⁵⁾

국가 차원에서 작성 관리될 때, 기술 지도의 대표적인 장점은 기술 혁신 환경이 특히 위협적일 때 기술

혁신 투자의 효율성과 효과성을 증대시키는 데 유용하다는 것이다.

즉 기술 경쟁이 심화되고, 조직 또는 산업의 R&D 투자가 감소되며 경제 사회적 수요의 불확실성이 커질 때, 그리고 이러한 위협적인 기술 환경을 타개할 수 있는 기술적 대안이 분명하지 않을 때, 기술 지도는 국가 차원에서 21세기 미래 사회를 주도할 제품과 기술을 규명하고 자원을 효율적으로 이용하여 이들을 확보하고 그 결과를 효과적으로 촉진하기 위한 기술 혁신 투자 및 관리 전략을 개발 추진하는 데 사용될 수 있다.

대상 기간 동안 관련 기술 및 수요의 변화를 예측·분석하고, 연구 개발의 준비 단계부터 기술 혁신 목표 달성 및 결과의 최종 활용까지의 정부와 민간 주체들이 공유할 수 있는 합리적인 기술 혁신과 확산의 이정표를 제시한다.

동시에 기술 지도를 이용하여 국가 차원의 기술 혁신 과정에서 참여자들의 기능을 점검하고 참가들간의 협력을 유도하여 투자의 중복과 누락을 방지하여 투자의 효율성을 증진시킬 수 있다.

기술 지도 작성 및 관리는 국가 차원에서 장기적인 개발 대상 기술 및 제품 활용 체계를 관련 주체들이

4) 과학기술부, "국가기술지도 작성 추진 계획", 2002. 3
 5) Garcia, L. and Bray, O. L., "Fundamentals of Technology Roadmapping," Sandia Report, Sandia National Laboratory, 1997. 4



합의적으로 탐색하고 결정하는 과정으로 설명할 수 있다.

따라서 이러한 합의 과정에서 정부 부처, 산업체, 출연(연), 대학, 학회 등 관련 주체들의 역할과 기능이 총체적으로 점검되며, 국가 차원의 투자 효율성을 높이기 위해서 참여자간의 협력 강화 방안이 적극적으로 모색될 수 있다.

이 외에 기술 혁신 투자 관리에 대한 의사 결정 과정에서 현재 및 미래의 기술 환경에 대한 보다 정확한 이해를 위한 기술 정보를 체계화하는데 사용될 수 있다.

기술 지도 작성 및 운영 과정에서 조직, 산업 및 국가 차원의 기술 정보 수집과 관리를 위한 시스템을 체계적으로 구축 운용할 수 있다.

마지막으로 대형 기술 혁신 투자에 대한 마케팅 수단으로서 국민 수용성을 증진시키는 데 활용될 수 있다. 연구 개발 투자의 미래 수요의 정도와 크기와의 연계성을 합리적으로 또한 구체적으로 보여줌으로써 대규모 장기 연구 개발 투자에 대한 대중 수용성을 향상시키는 데 사용될 수 있다.

그러나 기술 지도의 작성 및 관리에서 장기간에 걸쳐 여러 관련 조직들의 적극적인 참여와 이에 따른 다양한 전문성을 바탕으로 한 광범위한 활동을 최적화해야 한다는 어려움이 있다. 즉 기술 지도 방법의 가장 큰 단점으로서 기술 지도 작성

과 운영에 대한 합의 도출이 어려움을 들 수 있다.

기술 지도의 작성에는 미래 사회의 기술 환경과 관련된 핵심 제품 및 기술을 전망하기 때문에 상당한 불확실성이 내포된다. 특히 부정확한 기술 지도는 오히려 기술 혁신 투자에 대한 막대한 손실을 초래할 것을 고려할 때, 기술 지도의 합리적 신뢰성을 높이기 위한 노력이 광범위하게 요구된다.

이 과정에서 해당 기술 전문가뿐만 아니라 기술 지도 작성 및 관리를 위한 정책 전문가, 조직의 투자 관리 및 경영 전문가, 그리고 미래 사회학자 등도 참여할 필요가 있는데 이들간의 견해 및 이해 차이로 기술 경로와 이를 추진하는 실천 계획에서 합의를 도출하기 어렵다.

따라서 기술 지도의 작성과 관리에 대한 합의를 가능한한 합리적으로 정교하게 도출하는 데 많이 시간과 노력이 요구된다.

기술 지도 작성 및 관리 절차

이러한 기술 지도의 작성 및 관리 과정은 기술 지도 작성을 위한 준비의 작성 그리고 사후 관리 및 개선을 포함하는 전반적인 TRM 개발·운영 과정은 크게 3단계로 구분된다.

시작 단계인 예비 활동 단계에서 가장 중요한 일은 기술 지도를 작성

하기 이전에 기술 지도 작성 및 관리에 대한 관련 주체들의 적극적 참여와 지원을 확보하는 것이다. 이 단계에서는 기술 지도의 필요성을 바탕으로, 기술 지도의 범위 및 한계와 용도, 그리고 기술 지도 개발 및 운영 방식에 대한 관련 기관/조직간에 합의가 확보되어야 한다.

다음 단계에서는 기술 지도를 개발한다. 먼저 목표 시점의 미래 사회 및 기술/산업 수요 특성을 전망하고 기존 기술 영역에 대한 기술 변화를 예측한 다음, 이를 토대로 해당 시점에서 산업/조직의 역할을 증대시킬 수 있도록 산업/조직의 비전과 임무를 설정한다.

미래 사회의 수요와 산업/조직의 비전을 성취하는 데 필요한 주력 제품과 그 수요 규모를 파악하고 이에 대한 관련 주체들간의 합의를 도출한다.

선정된 제품의 핵심 시스템 요건(Critical System Requirement)과 기술 성능 목표(Performance Targets)를 설정하고 핵심 시스템 요건과 기술 성능 목표 달성에 필요한 주요 기술 영역(Major Technology Areas)을 도출한다.

기술 영역별로 주요 기술 변수와 기술 변수들의 목표치가 결정된다. 기술 변수는 해당 기술 영역에서 어떤 기술 대안이 선택되어야 하는지를 판가름하는 기준이 되며, 기술 변수의 목표치는 선정된 기술 변수

들이 얼마나 그 기능을 발휘해야 하는지를 규정하는 것이다.

기술 영역별로 기술 대안들을 조사하고 기술 대안별 비용, 일정 및 기술 성능과 내부의 능력을 비교 분석하여 바람직한 기술 대안을 규명한다.

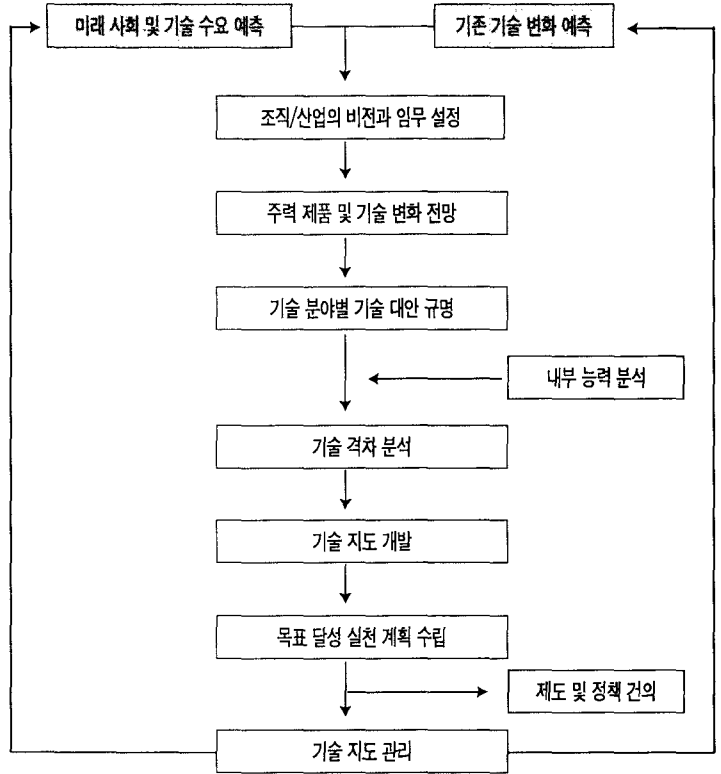
마지막으로 기술 대안부터 주력 제품까지 체계적으로 연결하는 기술 지도를 그리고 이를 합리적으로 완수하기 위한 실천 계획을 수립함으로써 기술 지도 개발을 완성한다.

이 과정에서 제안된 기술 대안들이 제품 목표를 개발하는 데 얼마나 적합한지 그리고 다른 중요한 기술 대안이 누락되지 않았는지가 검토되어야 한다.

실천 계획을 수립할 때는 관련 주체들의 개발 활동뿐만 아니라 협력 활동이 규명되어야 한다. 기술적 협력뿐만 아니라 자금 확보 및 자원 공유 등에 조직적 협력 방안이 파악되어야 한다.

종합적으로 기술 지도 보고서에는 기술 지도와 실천 계획 이외에 이들을 개발하고 작성하는 데 관련된 내용이 포함되어야 한다.

- ① 기술 지도 작성 목적, 범위, 과정 및 운영 방안
- ② 목표 시점의 미래 사회 및 기술/산업 수요 특성 전망
- ③ 기존 기술에 대한 기술 변화 분석 및 예측
- ④ 산업/조직의 비전/임무



〈그림 1〉 기술 지도 개발 및 관리 절차

- ⑤ 주력 제품, 기술 분야 및 기술 대안의 미래 가치 및 기술 변화 예측
 - ⑥ 주력 기술/제품의 미래 가치 및 개발 목표
 - ⑦ 계층별 SWOT(기술 영역 또는 기술 대안 별 기술 능력 격차 및 관련된 정치/사회/경제적 현안) 분석
 - ⑧ 기술 지도
 - ⑨ 실천 계획
 - ⑩ 기술 지도에 의한 국가 기술 혁신 계획의 성공적 완수를 위한 관련 제도 및 정책의 건의 사항
- 〈그림 1〉은 기술 지도의 작성과 관리 흐름도를 나타낸 것이며 〈표 1〉은 고효율 자동차 에너지 개발 사례에 대한 기술 지도 작성 과정 및 내용을 예시한 것이다.
- 세 번째 기술 지도 운영 단계에서는 기술 지도의 내용이 지속적으로 검토 및 개선되고 관련 주체들의 활동이 계획적으로 원활하게 수행되는지를 관리한다. 기술 지도는 초창

기적인 기술 혁신 계획으로 높은 불확실성을 내포하고 있다.

따라서 내부 여건과 외부 환경의 동태적인 변화에 유연하게 대처할 수 있는 기술 지도 관리 시스템이 구축되고 이를 관리하는 상설 조직이 운영될 필요가 있다.

국가 원자력 정책 목표의 효과적 달성을 위한 개선점

우리 나라는 1992년부터 시행된 원자력 연구 개발 중장기 계획에 이어서 1997년 6월 원자력 진흥 종합 계획을 수립하여 국가 차원의 원자력 기술 혁신을 추진하고 있다. 원자력 진흥 종합 계획에서는 관·산·연·학이 협력하여 국내외 환경 변화를 종합적으로 분석하고 국가 원자력 기술 개발의 장기 정책 목표와 기본 방향을 제시하고 매 5년 단위의 부문별 실천 과제와 추진 계획이 수립되어 있다.

최근에 개정된 제2차 원자력 진흥 종합 계획에서는 2015년을 대상으로 한 주요 기술 및 제품에 대한 개발 계획이 수립되어 있다. 또한 부문별 지층 계획에서는 주요 기술 부문별 기술 개발의 주요 일정과 추진 전략이 보다 구체적으로 수립되어 있다.⁶⁾

그러나 원자력 진흥 종합 계획(이

〈표 1〉 기술 지도 작성 사례

절차 및 항목	내용
비전	-자동차산업의 국가 경쟁력 제고를 통한 국가 경제 발전
전략 목표	-2006까지 자동차 연료 효율 50% 증가
주력 제품	고효율 에너지 자동차
핵심 시스템 요건(CSR) 기술 성능 목표	-MSG(miles per gallon), 안전성, 비용 -2010년까지 80 MPG, 2015년까지 100 MPG
기술 영역	2010년까지 80 MPG 달성과 관련된 기술 영역 규명 -재료, 엔진 제어 및 센서 등
주요 기술 변수 및 목표치	2010년까지 80 MPG 달성 위한 재료 기술 영역의 주요 기술 변수: 차체 중량과 엔진 온도 -변수 목표: 0.5 ton, 2000℃
기술 영역에 대한 기술 대안 비교·선정 후 기술 지도 개발 및 실행 계획 수립	

하 진흥 종합 계획이라 함)에서는 기본적으로 수요 지향적이기보다는 기본적으로 기술 주도적으로 구성되어 있다. 즉 정책의 기본 목표는 수요 지향적으로 설정되었으나 기술 주도의 기술 부문별 계획과 정책 간의 적합성에 대한 분석이 미흡하다.

예를 들어 원자력 기술의 수요를 발전 분야와 비발전 분야로 대별할 때, 발전용 원자로와 연구용 원자로 는 비록 여러 기술 분야의 지식이 공유된다 할지라도 수용 중심에서 보면 별개의 제품군에 속한다.

또한 발전 분야에 대해서, 진흥 종합 계획에서는 원자로 부문과 핵연료 및 핵연료 주기 기술 부문이 구분되어 있는데, 기술의 최종 수요

인 전기 생산 측면에서 보면, 이 두 부문이 분리되어 계획되는 것은 바람직하지 않다.

즉 미래 사회에서 요구되는 전기 수요를 가장 경쟁력 있게 대응할 수 있도록 선행 핵연료 주기, 발전소, 그리고 후행 핵연료 주기를 통합적으로 고려한 기술 혁신 계획이 추진될 필요가 있다.

둘째로 진흥 종합 계획의 제반 정책적 용어에 대한 보다 정량적인 정의가 필요하다.

예를 들어 국가 원자력 정책의 5대 목표의 하나인 '지속 가능한 발전을 위한 주력 에너지원으로서 안정적 에너지 공급에 기여'와 '원자력 기술과 핵연료 관련 기술을 고도화하여 원자력산업의 국제 경쟁력

6) 과학기술부, "제2차 원자력진흥종합계획", 2001. 7

을 확보하고 수출 산업으로 육성' 한다는 목표에서 주력 에너지원으로서의 원자력 발전의 특성과 원자력산업의 국제 경쟁력에 대한 측정 가능한 정의와 측정 지표를 개발할 필요가 있다.

우선 미래 발전원에 대한 수요 특성과 예상 발전원의 종류 및 발전원에 대한 사회적 선호도를 분석하고, 미래 전기 시장에서 원자력 발전의 수요 증가를 위한 현안 사항(안전성, 핵비확산성, 방사성 폐기물 관리성 및 경제성 등)을 얼마만큼 해결되어야 하는지에 대한 정량적인 설명이 필요하다.

또한 타발전원에 대한 원전의 경쟁력뿐만 아니라 원자력산업의 국제 기술 경쟁력의 정의와 측정 인자를 개발하고 진흥 종합 계획을 통해서 현재의 수준에서 미래 목표 시점까지 국제 기술 경쟁력이 어떻게 개선되는지, 그리고 이를 통해 국내 시장을 어떻게 방어하고 수출을 통하여 세계 시장을 어떻게/얼마나 개척할 수 있는지를 가능한한 가시적으로 설명될 수 있어야 한다.

즉 미래 전기 시장에서 타발전원에 대하여, 동시에 세계 원자력 발전 시장에서의 국내 원전의 경쟁력 확보가 현재의 진흥 종합 계획 추진을 통해서 바람직한 수준까지 달성 가능한지를 검토할 필요가 있다.

**결론 및 원자력 기술 지도
작성을 위한 제언**

기술 지도 기법을 국가 원자력 기술 개발에 적용할 때에는 가능한한 원자력 진흥 종합 계획의 내용을 수용하되 기술 지도 기법의 장점을 적극적으로 활용할 필요가 있다.

첫째, 원자력 기술 지도 작성을 위해서는 진흥 종합 계획에서 도출된 주요 부문 또는 기술 계획들을 수요 지향적으로 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 측정 인자를 개발하여 이를 기술 지도상에 반영하여야 한다.

주요 정책 목표에 대한 정량적 측정 방법을 개발하고 이를 토대로 먼저 원자력 발전 분야에서 국가 경쟁력 확보가 가능하면서 국가 발전 청사진에서 원자력 기술 발전이 중추적 역할을 담당할 주력 제품들을 도출한다.

그 후에 주력 제품 중에서 우리나라가 목표 시점까지 국제 기술 경쟁력을 가질 수 있는 제품과 기술 분야를 선택하고 그 경쟁력의 확보 과정이 가시적으로 관리될 수 있도록

해야 한다.

셋째, 수요 중심으로 통합·계획된 기술 지도상에서 기술적·조직적 활동을 체계적으로 네트워크 화함으로써 계획의 추진 실적이 동태적으로 관리될 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

현재 추진중인 분산된 계획들을 통합할 때, 기술 지도상의 주력 제품 개발 목표를 달성하는 데 있어서 기술적·조직적 그리고 및 정책상의 중복 및 공백을 해결할 수 있는지 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.