



원자력 신성장 동력 기술의 도출 및 특징 분석

이 중 희

한국원자력연구소 정책연구부 연구원

서론

우리나라는 지난 40년간 제조업을 중심으로 급속한 성장을 유지해 왔으나, 외환 / 금융 위기 이후 1인당 GDP 1만 달러에서 정체되어 있는 상태이며 무한 경쟁 사회에서 경쟁 국가들로부터 거센 도전을 받는 반면 새로운 성장 동력 산업의 부상에는 한계를 노출하고 있다.

그리고 선진국과의 기술 격차가 지속되고 있는 상황에서 기술보호주의와 국제 블록화 심화에 따라 미래 시장 형성이 기대되는 분야에서 우위를 확보할 가능성도 낮아지고 있다(이정원 외, 2003).

따라서 당면한 대내외적인 어려움을 해결하고 향후 우리 경제의 버팀목이 될 새로운 성장 동력의 발굴과 육성이 시급한 실정이다.

최근 정부는 미래 유망 성장 동

력의 창출을 위해 국가전략핵심기술(5T Technologies)에 집중 투자하고 있으며, 지능형 로봇과 바이오 신약/장기 등 향후 단기간 내에 출시 가능한 제품을 중심으로 차세대 성장 동력을 확정, 범부처 공동 추진체를 정립하여 체계적으로 추진하고 있다(국가과학기술위원회, 2003).

이러한 세계적인 추세와 정부의 연구 개발 방향을 감안하여 원자력 분야도 미래 유망 기술의 육성을 통해 국제적인 경쟁력을 확보하는 동시에 국가 성장의 신동력으로서 그 역할을 증대하기 위한 노력이 필요하다.

최근 원자력계는 지구 온난화와 기후변화협약, 고유가 시대에 따른 에너지안보의 중요성 증대, 원자력에 대한 긍정적 인식의 확산 등 원자력 산업 발전에 있어 기회 요인들

이 증대되고 있다.

이에 세계의 주요 국가들은 원전의 중요성과 불가피성을 인정하는 방향으로 정책 전환을 추진중에 있으며, 원자력 부흥에 대비하고 기술 주도권 확보를 통한 기술 경쟁력 제고를 위하여 다각적인 노력을 추진중에 있다(한국원자력연구소, 2005).

이러한 국가적 요구와 개발 환경 변화를 감안하여 원자력 유망 기술의 합리적인 분석을 토대로 기술 수준과 위치를 고려한 전략적인 정책 운영이 요구되고 있다.

이에 본 논문에서는 문헌 조사와 전문가가 조사를 통해 원자력 분야의 유망 기술을 도출하였으며, 델파이(Delphi) 방식¹⁾에 의한 전문가 의견 수렴 방식으로, 도출된 유망 기술의 특징을 분석하였다.

1) 델파이 방법은 반복되는 여론 조사 및 전체 의견의 통계적 제시를 통해 특정한 전문가 그룹으로부터 체계적으로 합의를 도출해내는 정성적인 미래 연구 방법임(Brown, 1968).

<표 1> 분석대상 기술의 개요

분석대상 기술의 개요	기술 개요
1. 경수로형 저온고출력 핵연료	기존 실린더형 연료봉을 환형 이중냉각 구조로 변경하여 열전달 면적을 증가시킴으로써 핵연료의 안전성 및 경제성 증진이 탁월한 신개념(저온, 고출력, 초고연소도)의 핵연료 기술
2. 다목적 중소형 원자로	고밀도 에너지원으로서 소규모 전력생산, 인구밀집 지역의 지역난방, 선박 추진기관의 동력원 등으로 활용하기 위한 일체형원자로시스템 원천기술 및 실증로 개발 기술
3. 차세대 연구용 원자로	핵분열 과정에서 발생하는 다량이 중성자나 방사선을 다양하게 이용할 수 있도록 기존의 하나로 보다 성능이 향상된 수출용 차세대연구로 개발 기술
4. 원자력 수소생산 기술(VHTR)	대량 수소생산에 적합한 950 °C 이상의 고온을 공급할 수 있는 고온가스냉각 원자로의 요소 기술, 핵심기술 개발 및 실증 원자로 설계 건설 기술
5. 레이저 원격심사 보수장치	원자로 및 주변기기의 보수를 위한 원격 미소형상 측정 및 결함검사장치 개발, 원격 고출력 가공 보수장치 요소기술 개발, 극미량 원소의 고감도 분석기술 및 원격 분석 장치 개발 기술
6. 소듐냉각 고속로(SFR)	고속 중성자와 재순환 핵연료주기를 활용하여 초우라늄원소의 연소와 전력생산을 위한 소듐냉각원자로 설계, 제작 및 건설 기술
7. 원자력 혁신재료	Gen-IV 원자력 시스템에 적용 가능한 혁신재료 기술개발을 위한 고효율 혁신재료 설계기술 및 제조공정 개발, 재료 데이터베이스 및 재료 규격화, 상용화 기술개발 및 설계 코드화 기술
8. 고방사선 작업 인공지능 로봇	원자로 유지보수 등 극한 작업용 공공 방재 로봇 시스템 개발을 목표로 내방사화 기술 개발, VR 및 가상현실을 이용한 제어기술 개발, 고하중 기기 원격취급기술 개발 기술

분석 대상 기술의 도출

본 논문에서는 분석 기술의 도출에 있어 효율성과 대표성을 높이기 위해 ‘문헌 조사’와 ‘전문가 조사’를 병행하였다.

「미래기술 수요조사」(정환삼, 2002)의 26개 원자력 주요 기술, 「국가원자력기술지도」(한국원자력학회 외, 2005)의 27개 기술 중 공통적으로 제시된 기술을 1차적으로 선별하였으며, 이들 기술을 대상으로 원자력 관련 분야에 종사하는 241명을 대상으로 설문을 실시하여 <표 1>과 같이 분석 대상 기술을

도출하였다.

1. 상용화 실현 시기

분석 대상 기술에 대하여 <그림 1>과 같이 국내 및 선도국의 상용화 실현시기를 예측하였으며, 선도국의 상용화 실현 시기를 기준으로 3개 그룹으로 구분하여 도시하였다.

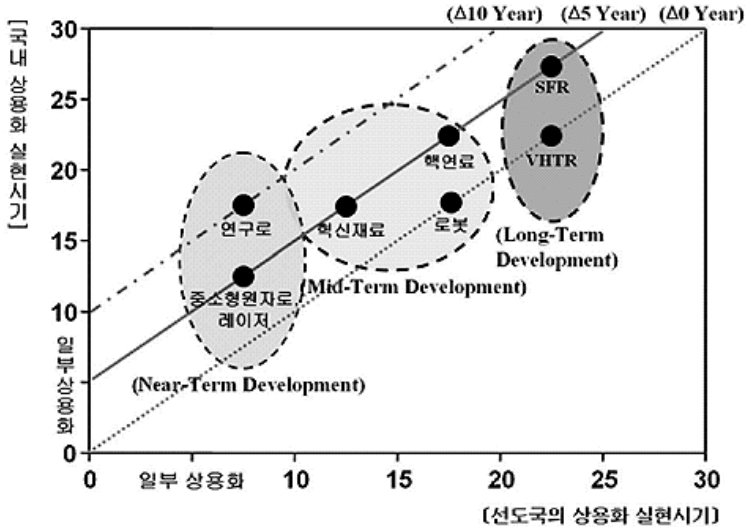
분석 결과, ‘차세대연구용원자로(이하 ‘연구로’)’ 등 3개 기술이 Near-Term (Development) 기술로, ‘원자력혁신재료(이하 ‘혁신재료’)’ 등 3개 기술이 Mid-Term 기술로, ‘소듐냉각고속로(이하 ‘SFR’)’ 등 2개 기술이 Long

Term 기술로 구분되었다. 국내 상용화 실현 시기에 있어 대부분의 기술이 선도국과 5~10년의 기술 격차가 있는 것으로 조사되었으며, ‘고방사선 작업 인공 지능 로봇(이하 ‘로봇’)’과 ‘원자력 수소 생산(이하 ‘VHTR’)’ 기술은 선도국과 비슷한 시기에 상용화될 것이라고 조사되었다.

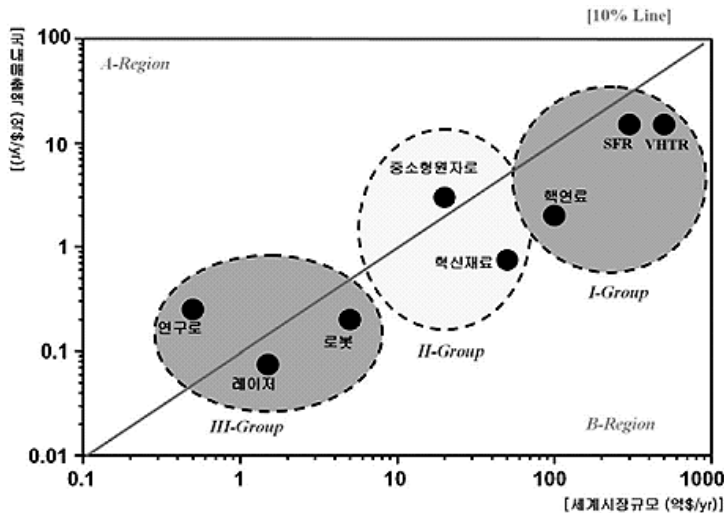
2. 세계 시장 규모와 국내 기술 매출액²⁾

시장성 조사를 위해 상용화시 세계 시장 규모와 국내 매출 예상액을 조사하였으며, 세계 시장 규모를 기

2) 본 논문에서 각 기술들의 세계 시장 규모와 국내 매출액 평가는 간접 효과를 고려하지 않은, 기술의 직접적 효과(제품 판매에 의한 매출)로 한정함.



〈그림 1〉 분석 대상 기술의 국내외 상용화 실현 시기



〈그림 2〉 분석 대상 기술의 세계 시장 규모와 국내 매출액

준으로 〈그림 2〉와 같이 3개 그룹으로 구분하였다. 'SFR' 기술 등 3

개 기술이 시장 규모가 가장 클 것으로 예측되었으며, '핵신재료' 등 2개 기술이 연간 10~100억 \$ 규모로, '로봇' 등 3개 기술이 연간 10억 \$ 이하의 시장을 형성할 것으로 조사되었다.

국내 기술의 매출액은 대다수의 기술이 세계 시장 규모의 10% 내외로 조사되었다. 'VHTR', 'SFR' 기술이 연간 10~100억 \$, '중소형원자로' 등 3개 기술이 연간 1~10억 \$, '연구로' 등 3개 기술이 연간 1억 \$ 이하의 매출이 예상된다고 조사되었다.

3. 기술 개발 수준

분석 대상 기술의 개발 수준을 선도국 및 국내로 나누어 조사하였으며, 선도국 기술 개발 평균을 기준으로 4개 영역으로 나누었다.

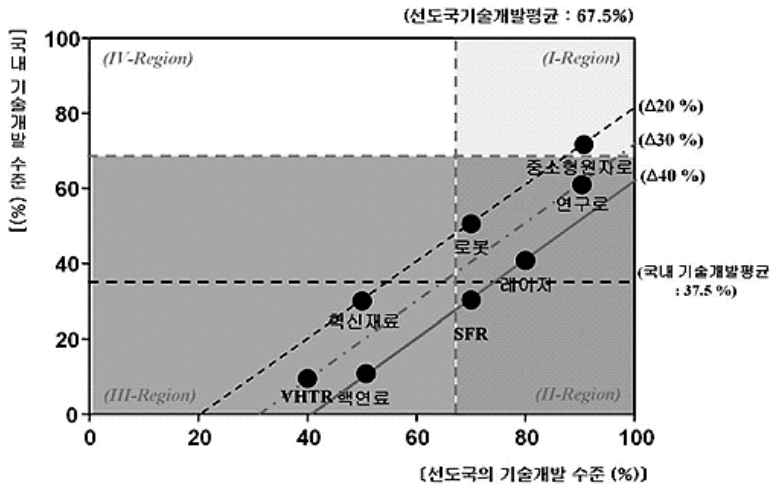
선도국의 기술 개발 평균은 67.5%, 국내 기술 개발 평균은 37.5%로 약 30% 정도의 기술 격차가 있는 것으로 조사되었으며, 기술 별로 20~40%의 기술 격차가 있는 것으로 조사되었다.

〈그림 3〉의 각 영역의 의미 및 해당 기술은 〈표 2〉에 제시하였다.

4. 미래 사회 기여도³⁾

분석 대상 기술이 미래 사회의 수요를 충족하는 수요 지향적인 기술임을 조사하기 위해, '국민의 삶

3) 미래 사회 기여도 평가에 있어 각 전문가들에게 5가지 요소의 총합을 100%로 하여 중요도에 따라 분배하도록 하였음. 따라서 본 조사에서의 미래 사회 기여도는 상대적인 평가이며, 어떤 요소의 기여도가 0%라고 해서 전혀 기여를 하지 못할 것이라는 의미는 아님.



<그림 3> 분석 대상 기술의 기술 개발 수준

<표 2> 그림 3의 각 영역별 정의 및 해당 기술

영역	해당기술	영역별 정의
I-Region	중소형원자로	선도국과 국내 기술개발수준이 모두 높은 영역
II-Region	연구로, 로봇, 레이저, SFR	선도국의 기술개발수준이 국내보다 높은 영역
III-Region	핵신재료, 핵연료, VHTR	선도국과 국내 기술수준이 모두 낮은 영역
IV-Region	-	국내 기술개발수준이 선도국보다 높은 영역

의 질 향상', '쾌적한 환경', '에너지 자원의 확보', '국가 안보의 보장', '원자력 수용성 증대' 등 5가지 요소에 대한 분석 대상 기술의 기여도를 조사하였다.

조사 결과 '핵연료', '레이저' 기술은 원자력 수용성 증대에, '로봇', '연구용 원자로' 기술은 국민의 삶의 질 향상에, '핵신 재료',

'중소형 원자로', 'VHTR', 'SFR' 기술은 에너지 자원의 확보에 기여도가 클 것이라 분석되었다.

5. 국가 전략 핵심 기술과의 연관성⁴⁾

21세기 과학 기술 발전과 경제 사회 변화를 주도할 신기술(5T Tech.)이 전면에 부상하고 있고, 최

근 정부는 이러한 신기술을 국가 전략 핵심 기술로 선택, 개발에 집중 투자하고 있어, 원자력 기술과 5T 기술과의 연관성 분석은 정부의 투자 방향과 과학 기술 환경 변화에 부합하는 원자력 신성장 동력 기술 도출에 있어 중요한 요소이다.

이에 본 논문에서는 분석 대상 기술의 국가전략핵심기술과의 연관성을 조사하였다.

조사 결과, 분석 대상 8개 기술 중 '로봇' 기술을 제외한 대부분의 기술이 ET와 연관이 가장 큰 것으로 조사되었다.

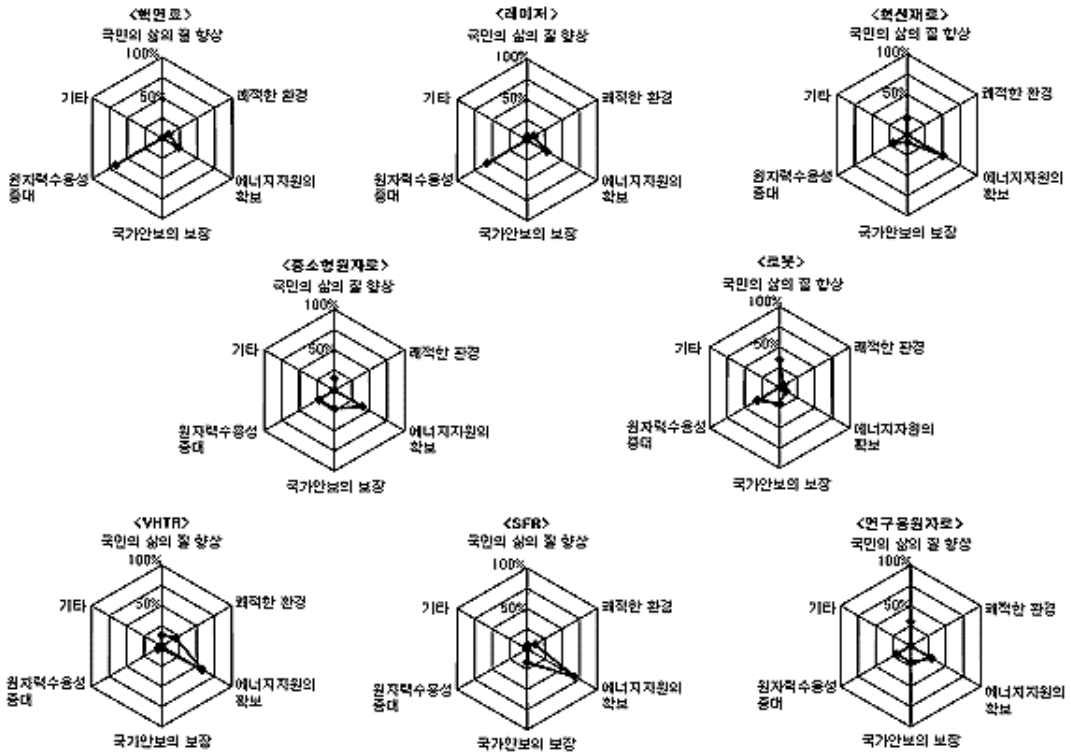
이는 원자력 기술 자체가 ET 분야에 속하며 그 활용에 있어서도 ET 기술과 밀접한 연관이 있기 때문이라 분석된다.

요약 및 결론

지난 20여 년간 원자력 기술은 구소련의 체르노빌 사고, 미국의 TMI 사고를 계기로 반핵 단체들의 격렬한 반대 속에 세계적인 침체에 있었다.

그러나 고유가 및 세계적 자원 확보 경쟁으로 에너지 시장의 불확실성이 증가하고, 교토의정서 발효로 국제 환경 규제가 강화되면서 원

4) 국가전략핵심기술과의 연관성 평가에 있어 각 전문가들에게 각 연관기술의 총합을 100%로 하여 중요도에 따라 분배하도록 하였음. 따라서 본 조사에서의 국가전략핵심기술과의 연관성은 상대적인 평가이며, 어떤 기술과의 연관성이 0%라고 해서 전혀 관련이 없다는 의미는 아님.



〈그림 4〉 분석 대상 기술의 미래 사회 기여도

자력 기술의 르네상스 도래를 확신하는 목소리들이 힘을 얻고 있다.

특히, 원자력 기술은 에너지원으로서 경제성이 있으며, 에너지 안보에 기여하고 깨끗한 환경에 기여할 뿐만 아니라, 국가 기간 산업으로서 신기술과 연관성이 깊어 개발 추진 정도에 따라 기술 자체가 우리의 미래를 견인할 수 있는 새로운 성장 동력으로서 역할을 할 수 있는 잠재력을 가지고 있다.

본 논문에서는 새로운 성장 동력

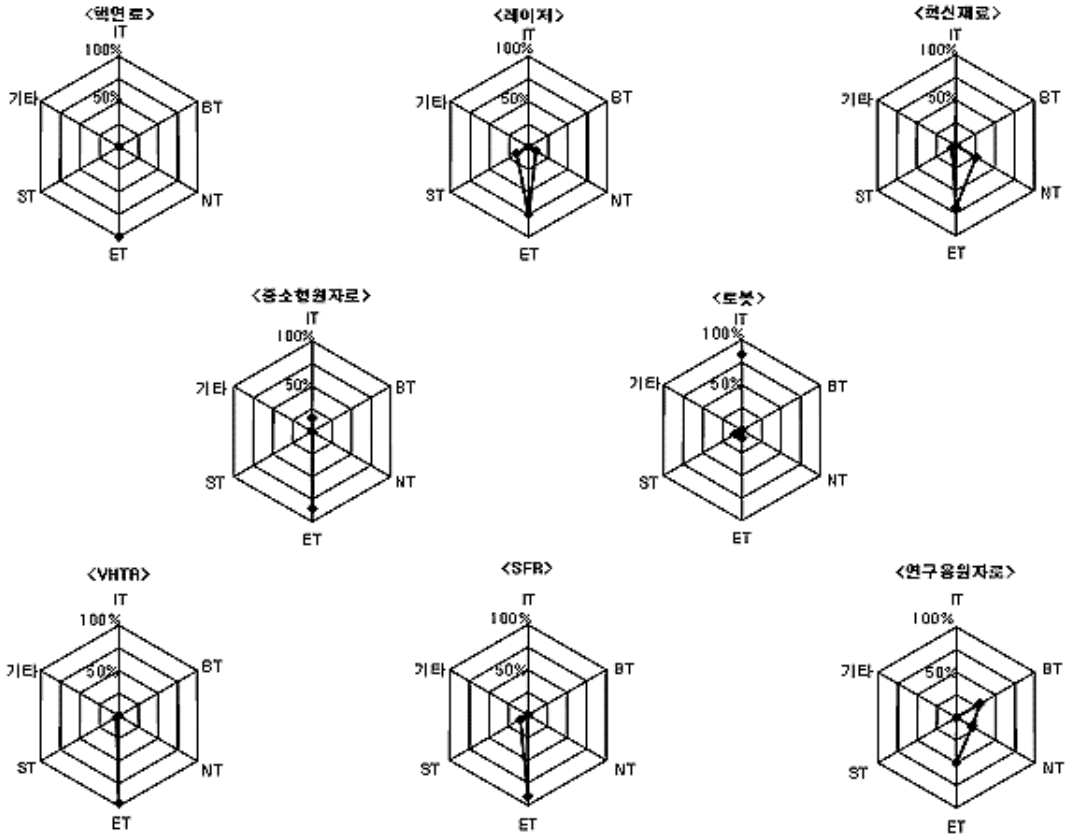
으로서 유망한 원자력 기술을 도출하고 이러한 기술들의 특징을 분석하고자 ‘경수로용 저온 고출력 핵연료’ 기술 등 8개 기술을 도출하였으며, 선도국의 상용화 시기에 따라 3개 그룹으로 구분하였다.

기술별로 상용화시 연간 1~1,000억\$의 세계 시장과 연간 0.1~100억\$의 국내 매출액이 예상되었으며, 대부분의 기술이 선도국과 20~40%의 기술 격차가 있는 것으로 조사되었다.

기술 개발 수준은 ‘중소형 원자로’ 및 ‘연구로’ 기술이 국내외적으로 높은 것으로 조사되었다.

또한 대부분의 기술들이 국가전략핵심기술 중 ET, IT와 연관성이 깊으며, 에너지 확보 및 원자력 수용성 증대, 국민의 삶의 질 향상에 기여할 수 있을 것으로 조사되었다.

원자력 신성장 동력 기술의 성공적인 개발을 위해서는 본 연구에서 제시된 기술과 정부에서 추진중인 ‘신성장 동력 추진 계획’과 상호 연



〈그림 5〉 분석 대상 기술의 국가 전략 핵심 기술과의 연관성

관되어 개발되는 것이 바람직하다.

우리나라의 원자력 기술이 오늘에 이른 것은 정부가 신념을 가지고 지속적인 연구개발을 지원하였기 때문이므로 향후 연구 기획에서부터 사업화에 이르기까지 일관된 계획을 가지고 기술 개발이 추진될 수 있도록 정부와 연구 기관간의 긴밀한 협조가 필요하다.

이러한 신뢰를 회복하고 현재 국내 기술의 취약점이 무엇인지 파악

하여 조직적으로 해결해 나가는 자세가 필요하다.

〈참고 문헌〉

이정원 외 (2003), 「미래선도산업의 육성을 위한 중장기 기술혁신 전략」, 과학기술정책연구원.

국가과학기술위원회 (2003), 「신성장동력 초일류기술 국가프로젝트 추진보고서」.

기술정책연구실 (2005), 「원자력

기술정책 연구」, 한국원자력연구소.

Brown, B.B. (1968), "Delphi Process: A Methodology Used for the Elicitation of Opinions of Experts", mimeograph, Santa Monica: Rand Corp.

정환삼 (2002), 「미래기술 수요조사」, 한국과학기술기획평가원.

한국원자력학회, 과학기술부, 한국과학재단 (2005), 「국가원자력기술지도」. 