



한국의 '10대 원자력 미래 기술'

박군철

서울대 원자핵공학과 교수



· 서울대 원자핵공학 학사, 석사
· 미국 렌셀러폴리테크닉대 원자핵공학 박사

· 서울대 공학연구소 소장, 원자력 안전전문위원회 위원장, 한국원자력학회 회장, 한국과학기술기획평가원 부원장, 한국원자력통제기술원 이사장, 한국전력국제원자력대학원대학교 총장 역임

· 서울대 원자핵공학과 교수('88~)
· 차세대지역에너지연구소 소장 ('05~)

지난 1962년 우리나라에 처음 TRIGA Mark-II 원자로가 건설되어 가동에 들어간 후 에너지 자립과 기술 선진화를 위해 그 동안 국가적인 투자에 힘입어 세계가 놀라는 비약적인 발달을 했다.

1978년 GDP \$200대의 세계 최빈국임에도 원자력발전소를 건설했고 그간 기술 자립화의 기치 아래 국산 원자로 OPR1000를 설계·건설한 후 최근 우리나라의 국격을 한 단계 도약시킨 UAE 원전 수출을 달성했다.

이러한 배경에는 기술 개발과 산업 발달을 위해 1992년부터 수립하여 실시한 원자력연구개발 중장기계획이 많은 기여를 했다. 이러한 국가 중장기계획을 수립하기 위해 우리의 부족 기술을 파악하고 미래의 먹거리가 될 원자력산업 부분과 이를 뒷받침할 핵심 기술을 선정하는 것이 무엇보다 중요했다.

국가 경쟁력의 지속적 유지 위해 반드시 필요한 미래 기술 예측

인류의 삶을 높이기 위해 어떠한 산업의 발달에 반드시 필요한 핵심 기술을 예측하는 것은 현대와 같이 기술의 발달 속도 자체가 예측 불허하는 시대에서는 정말 어려운 것이 사실이다. 그러나 이러한 미래 기술 예측은 기술 혁신 국가가 급속히 빨라지고 있는 현대에서 국가 경쟁력을 지속적으로 유지하기 위해 기술 환경 변화에 능동적으로 대응하고 효율적인 연구 개발 전략을 수립하기 위해서는 반드시 필요하다. 그래서 Grupp(1999)는 미래 예측을 미래의 선택적인 결과를 현재의 시점에서 결정하는 일련의 과정(Process)으로 정의하고 있다.



〈그림 1〉 한국 사회 변화 및 원자력 산업 환경 5대 메가 트렌드

우선 이러한 미래 기술을 예측하기 위해서는 현재의 상황과 그 산업의 미래 트렌드를 정확히 파악하여야 한다. 따라서 현재 우리 한국 사회 변화 및 원자력 산업 환경 5대 메가 트렌드는 〈그림 1〉과 같이 요약할 수 있다고 본다.

이러한 트렌드를 예상할 때 앞으로 원자력산업의 지속적인 발전을 위해 위해서는 무엇보다도 국민들이 신뢰할 수 있도록 안전성을 최대한 확보하기 위한 기술 발달이 요구됨을 알 수 있다. 그리고 이러한 기술은 예전에 추구했던 재래적 공학 기술의 범위를 넘어 인문사회적이고 첨단 IT 분야를 접목할 수 있는 기술이 되어야 할 것이다.

그리고 기존의 원전보다 안전성을 획기적으로 개선한 신개념 개량 원자로는 물론이고 그린 에너지(Green Energy)로서 원자력의 평화적 이용 확대를 위해서는 초소형 원자로나 수소경제를 이끌어 갈 차세대 원자로의 개발에 필요한 요소 기술도 집중적으로 개발되어야 함을

보여 주고 있다.

그러나 이러한 기술 개발을 뒷받침하기 위해서는 무엇보다도 인력 양성이 필수적이다. 그러나 이 인력은 과거의 우리나라 원자력산업의 특성이었던 추격형(fast follow) 기술 개발에서 이제는 미래의 선도형(first move) 기술 개발을 이끌어 갈 global 리더급 기술 인력이 되어야 할 것이다.

이러한 배경에서 그 동안의 국내 연구 개발 현황을 파악하고 산·학·연 원자력 전문가들의 의견을 수렴해 향후 우리나라 원자력산업의 지속적인 발전을 위해 10년 내 반드시 확보할 필요가 있는 원자력 10대 유망 기술(Critical Technology)을 선정해 보았다. 이를 토대로 향후 중장기 원자력기술개발 계획에서 집중적인 기술 확보 전략이 수립되어야 할 것이다.

이러한 원자력 미래 유망 기술 선정은 기술 예측 방법으로 널리 사용되고 있는 델파이 방법과 나름대로 간소한 규범적 시나리오 방법을 통해 수행되었다.



〈표 1〉 원자력 10대 핵심 유망 기술

1	원전 해체 제염 기술
2	초소형 원자로 설계 기술
3	중대사고 피동형 대응 설비 개발 기술
4	고장 및 사고 예방 조기 탐지 기술
5	방사성폐기물 부피 감용 기술
6	중대사고 환경에서 필수 기기의 가용성 확보 기술
7	장수명 주요 원전 기기 재료 수명 예측 및 열화방지 기술
8	핵연료 손상 실시간 탐지 기술
9	고온 계측 및 센서 개발 요소 기술
10	로봇 활용 원격 절단 기술

먼저 원자력 미래 사회 변화 전망을 위한 핵심 트렌드와 미래 이슈에 대한 체계적인 분석을 수행하여 원자력 핵심 미래 이슈 및 미래 수요 분석을 수행했다.

분석된 결과를 바탕으로 원자력 유망 9대 분야를 선정한 후 각 분야 전문가 의견을 통해 원자력 유망 5대 분야를 선정했다. 선정된 5대 분야에 대한 핵심어(Key Word) 조사를 통해 분야별 핵심 유망 기술을 도출했다. 이어 도출된 기술에 대한 우선 순위 분석을 수행하기 위해서 델파이(Delphi) 기법과 시나리오 기법을 혼용하여 원자력계 종사자 대상(약 3,000명) 1차 설문조사에서 30대 핵심 유망 기술을 도출하고, 2차 설문 조사를 통해 최종적으로 원자력 10대 핵심 유망 기술을 선정했다.

선정된 원자력 10대 핵심 유망 기술에 대한 필요성, 연구 현황, 확보 전략 등을 위해서 선정된 기술에 해당하는 전문가 인터뷰를 통해 원자력 10대 핵심 유망 기술의 타당성을 확보했다.

원자력 10대 핵심 유망 기술

이런 과정을 통해 도출된 원자력 10대 핵심 유망 기술은 〈표 1〉에서 보는 바대로 ‘원전 해체 제염 기술’, ‘초소형 원자로 설계 기술’, ‘중대사고 피동형 대응 설비 개발 기술’, ‘고장 및 사고 예방 조기 탐지 기술’, ‘방사성폐기물 부피 감용 기술’, ‘중대사고 환경에서 필수 기기의 가용성 확보 기술’, ‘장수명 주요 원전 기기 재료 수명 예측 및 열화 방지 기술’, ‘핵연료 손상 실시간 탐지 기술’, ‘고온 계측 및 센서 개발 요소 기술’, ‘로봇 활용 원격 절단 기술’ 등이다.

이들 중 원전 해체 제염 기술은 지역·시설 혹은 장비 표면으로부터 오염을 제거하고, 계통·기기 및 구조물의 표면에 오염된 방사성물질을 기계적 및 화학적 방법으로 제거하는 기술로 작업자의 방사선 피폭 저감, 방사성폐기물 발생량 저감을 목적으로 한다.

이 기술을 확보할 경우 현재 다양한 제염 기술이 개발된 상태이나 실용화 단계를 거친 선진국과 다소 격차가 있기 때문에 절단, 원격 제어 등 연관 기술과 융합, 신기술 등이 개발되면 제염 기술의 상용화가 더욱 가속화 되고 원자력 선진국과의 격차를 줄일 수 있을 것으로 전망한다.

초소형 원자로 설계 기술은 수십 kWe에서 수십 MWe 출력 범위의 원자로를 지칭한다. 이 기술은 원자로의 소형화를 통해 소규모 전력 및 열 공급을 할 수 있고, 기기와 계통의 소형화 기술과 일반 원자로에 비해 적은 예산으로 새로운 시장 창출 가능성을 가지며, 장거리 연료 운송 문제의 대안이 될 수 있으며, 완전 피동 안전 냉각 시스템의 존재로 사고 시 대처에 용이한 이점을 가지고 있다.

이 기술이 개발될 경우 기존에 비해 소형화된 원자로로 인해 각 수요에 맞는 특수한 원자로를 기존에 비해 적은 예산으로 개발 및 제조가 가능하게 되고 기술의 시장



원자력 10대 핵심 유망 기술을 향후 우리나라 원자력계가 10년 내 반드시 확보하기 위해서는 해당 기술을 개발하기 위한 인력 양성과 정부의 중장기적인 연구 지원, 그리고 기술의 현안과 시급성·중요성에 따라 단기 목표를 설정하여 이를 해결하는 이원적 추진이 요구된다.

선점을 통한 경쟁력 확보에서 우위를 점할 수 있다.

중대사고 피동형 대응 설비 개발 기술은 원자로 노심 용융물로부터 원자로와 격납건물을 보호하기 위한 기술로 사고 시 외부 전원이나 운전원 조치에 의존하지 않고, 장기간 냉각 및 안정화할 수 있는 대처 설비를 의미한다. 이 기술을 확보할 경우 능동형 안전 설비와 비교 시 낮은 고장성을 가지고, 높은 발전소 동작 신뢰성을 지니고 있으며, 사고 시 안전 계통의 피동화로 인한 원자로의 안전성 및 신뢰도 증대와 국민의 원전 수용성을 증가할 것이다.

고장 및 사고 예방 조기 탐지 기술은 발전소 상태 파악 시 사각지대 발생을 막고, 운전과 정비 작업 시 인적 오류를 저감하는 정보 제공, 발전소 불시정지 횡수 저감 또는 노심 손상 가능성을 저하하고 사업자 측면 예방적 안전 관리 및 규제 측면의 모니터링에 필수적인 기술이다.

이 기술을 확보할 경우 원자력 시스템의 디지털 기술

정착과 타 분야 IT기술 접목이 가능하며, 정확하고 광범위한 고장 모드 조기 검출, 통합 시스템 구축으로 운전 및 정비 최적화 등이 가능하며 디지털 기술 도입으로 대용량 정보 획득이 가능하여 고장 및 사고를 조기에 발견하여 원자로 안전성과 신뢰도를 증가할 것으로 전망된다.

방사성폐기물 부피 감용 기술은 방사성폐기물의 부피를 줄여 처분장 공간의 효율적 사용을 위한 기술로 고리 1호기의 폐로 확정으로 가까운 장래에 국내 원전 해체 수행으로 인한 대량의 방사성폐기물이 발생하지만 처분 공간의 부족 등의 이유로 기술 개발의 필요성이 요구되고 있다.

이 기술 개발은 기술의 어려움보다 적극적인 투자 미흡으로 국산화에 어려움을 겪고 있으며, 향후 원전 해체 수요량이 증가할수록 기술에 대한 수요가 폭발적으로 증가할 것이다. 따라서 향후 우리나라가 국가적 지원과 기



관별 협동 연구를 통해 기술을 확보한다면 기술에 대한 상용화 시기를 앞당기고 나아가 국제 경쟁력을 확보할 수 있다.

중대사고 환경에서 필수 기기의 가용성 확보 기술은 중대사고 방지 및 완화를 위해 극한 상황 시 필수 계측기 및 기기의 가용성 평가와 동작성을 확보하기 위한 기술이다. 후쿠시마 사고 이후 필수 계측기의 생존 지속성 및 가용성 문제 제기, 극한 환경 하에서 필수 계기 및 기기 성능 보장과 실험을 통한 필수 기기의 가용성 평가 등의 이유로 개발의 필요성이 요구되고 있다. 이 기술을 확보할 경우 중대사고와 같은 극한 사고에서도 원전의 안전상을 확보할 수 있음을 보여 주어 국민의 원전 불안감을 해소할 수 있을 것이다.

장수명 주요 원전 기기 재료 수명 예측 및 열화 방지 기술은 재료 열화 메커니즘과 DB 지식에 근거하여 열화 기구별 운전 조건에 따른 수명 예측, 사전 열화 방지 또는 완화로 재료의 건전성을 향상하는 기술이다.

이 기술을 확보함으로써 인해 원전 노후화로 인한 재료 손상에 대처하고 원전 계속 운전을 통한 원전 신뢰성 제고가 이루어지고, 재료의 수명을 연장함으로써 인한 경제적 이득과 국민의 원전 수용성이 증가될 것이라 전망한다.

핵연료 손상 실시간 탐지 기술은 원자로 운전 중 실시간으로 핵연료봉의 건전성 여부를 감시/판단하는 기술이다. 이 기술을 확보할 경우 핵연료의 재료적 특성 변화 추이를 감지함으로써 연료봉의 파손을 막을 수 있으며 핵연료봉 파손 시 파손 정도를 실시간으로 파악할 수 있으므로 이에 대한 신속한 조치가 가능하다.

또한 손상 핵연료를 정확히 파악할 수 있으므로 핵연료에 대한 추가 검사가 불필요하여 핵연료 교체 및 검사로 인한 경제적·시간적 손실을 줄이고, 핵연료 손상으로 인한 사고를 조기에 방지하여 원전 안전성 향상에 기여할 수 있을 것이다.

고온 계측 및 센서 개발 요소 기술은 고온 환경에서 물리적인 값을 측정하는 기술이다. 이 기술을 확보할 경우 차세대 원자로의 고온·고압·고방사능 환경에서 변수 측정이 정확하고 용이하게 이루어질 수 있고, 중대사고 또는 극한 환경 하에서 계측이 가능함으로써 사고 해석에 대한 신뢰성을 확보할 수 있고, 원자로 기기 및 재료의 건전성을 실시간으로 확보하는 것이 가능함으로써 발전소 설계를 최적화하고 성능을 향상시킬 수 있다.

로봇 활용 원격 절단 기술은 다자유도 매니플레이터를 갠트리, 크레인, 모바일 플랫폼에 장착하여 원격 절단에 투입하는 기술이다. 이 기술을 확보할 경우 고온·고압·고방사능 등의 극한 상황 하에서 작업자들을 보호할 수 있고 향후 원전 해체 수요가 증가할 것을 예상한다면 폭발적인 시장 성장이 기대된다.

또한 고리 1호기의 폐로 결정으로 우리나라의 원전 해체 시장이 시작된 점을 상가해 볼 때 원전 해체 시 발생하는 비용을 절감하기 위해서 반드시 필요한 방사성폐기물 부피 감용 측면에서 그 유용성은 상당히 클 것이라 전망한다. 이는 타산업에도 유용하게 적용시킬 수 있어 산업 간의 기술 교류에도 크게 이바지할 수 있다고 본다.

이렇게 선정된 원자력 10대 핵심 유망 기술을 향후 우리나라 원자력계가 10년 내 반드시 확보하기 위해서는 해당 기술을 개발하기 위한 인력 양성과 정부의 중장기적인 연구 지원, 그리고 기술의 현안과 시급성·중요성에 따라 단기 목표를 설정하여 이를 해결하는 이원적 추진이 요구된다.

끝으로 이러한 원자력 10대 핵심 유망 기술 선정을 통하여 우리나라가 미래 기술과 도전에 대한 하나의 지표를 제시할 것이라 전망한다.