

우리나라의 원자력 연구 개발 계획 -현황 및 전망-

장 인 순

한국원자력연구소 소장



서문

지난 20세기는 과학 기술의 시대였다고 해도 과언이 아닐 정도로 과학 기술 분야에서 놀라운 발전이 있었으며, 이에 따라 인류의 생활도 크게 변화했다. 과학 기술의 발전은 자연을 담보로 한 물질적 풍요를 가져왔으며, 이는 세계 인류의 '삶의 질' 향상에 크게 기여했다.

그러나 과학 기술의 발전은 자연

환경의 파괴, 대량 살상 무기의 등장 등 인류의 생존을 위협하는 바람직하지 않은 결과도 동시에 초래하였다.

이는 종합 과학 기술이라 할 수 있는 원자력에 있어서도 마찬가지이다. 19세기 말 방사능의 발견으로 시작된 원자력의 이용 개발은 화학 석 연료의 뒤를 잇는 '제3의 불'이라 불릴 정도로 20세기 인류 문명의 발전에 큰 기여를 한 것이 사실이다.

미국의 공학아카데미(NAE: National Academy of Engineering)는 20세기 사회 발전에 크게 기여한 공학 기술 20가지를 선정하여 발표한 바 있는데, 이 가운데 「전기」가 1위로 「원자력 기술」은 19위로 선정되었다.

원자력 발전은 전세계 전력 수요의 약 17%를 충족시키고 있으며, 의학·농업·산업 분야에서의 방사성 동위원소 및 방사선 이용은 이제 인류에게 없어서는 안될 일상 생활

의 일부분이 되어 있다.

그러나 원자력은 1945년 대량 살상 무기인 핵무기로서 처음 그 위력을 발휘하였고, 1986년 옛 소련의 체르노빌 원전 사고로 인류에게 재앙을 가져올 수도 있다는 두려움을 야기시켜 전세계적인 반핵 운동에 직면하고 있기도 하다.

20세기가 물질적 풍요를 위한 대량 소비·대량 폐기의 시대였다면, 21세기는 이로부터 야기된 인류 생존을 위협하는 환경 문제 등 여러 문제들을 해결해 나가는 조화의 시대가 되어야 할 것이다.

실질적으로 많은 학자들은 21세기가 자연과의 조화를 추구하는 시대가 될 것으로 전망하고 있다. 21세기 과학 기술과 원자력의 역할도 이러한 범주 내에서 이루어질 수밖에 없을 것이다.

지구 온난화, 에너지 및 식량 부족 등 인류의 위기를 해결하는 데 원자력이 얼마만큼 기여할지는 원

자력에 대한 우리의 비전 및 이를 적절히 이용하는 우리의 지혜에 달려 있다.

세계 원자력계는 세계 에너지 수요를 충족시키고 지구 온난화를 저지시킬 수 있는 원자력의 능력을 실현시키기 위하여 원자력에 대한 사회적 환경적 수용성을 증진시켜 나가야만 한다.

21세기에 있어서도 우리 나라 원자력 기술은 에너지 안보 및 환경보전에 중요한 역할을 할 것이다. 원자력에 대한 우리 나라의 비전은 이미 1980년대 원전 기술 자립 노력에서 볼 수 있었으며 1990년대 초반 수립되어 시행되고 있는 원자력 연구 개발 중장기 계획에 구체화되어 있다.

우리 나라의 원자력 연구 개발 프로그램

1. 배경

우리 나라의 원자력 정책은 1997년 6월 13일 제247차 원자력위원회에서 확정된 원자력 진흥 종합 계획에 기술되어 있다.

원자력법에 따라 매 5년마다 수립되는 원자력 진흥 종합 계획은 ① 원자력 이용 및 안전 관리에 관한 현황과 전망에 관한 사항 ② 원자력 이용 및 안전 관리에 관한 정책 목표 및 기본 방향에 관한 사항 ③ 부문별 과제 및 그 추진에 관한 사항

④ 소요 재원의 투자 계획 및 조달에 관한 사항 ⑤ 기타 원자력 이용 및 안전 관리를 위하여 필요한 사항을 주요 내용으로 하고 있다.

원자력 진흥 종합 계획에서는 우리 나라의 원자력 이용 개발은 오로지 평화적 목적으로만 추진된다는 것을 명시하고 있으며, 기본 목표로서 다음과 같이 네 가지 정책 사항을 제시하고 있다.

① 에너지 확보 : 국내 전력 생산의 주종 에너지원으로서 원자력의 위상을 확립하여 안정적인 에너지 공급을 추구.

② 원자력 기술 확보 : 종합적이고 체계적인 원자력 연구 개발을 통해 원자로 기술 및 핵비확산성 핵연료 주기 기술 자립 역량을 확립.

③ 원자력 산업 활성화 : 민간의 창의와 참여를 바탕으로 원자력 기술 고도화를 추진하여 국제 경쟁력을 확보하고 원자력을 수출 산업으로 육성.

④ 국민 복지 및 과학 기술 증진 : 농·공·의학 및 산업 분야에서의 원자력 이용을 확대하고, 원자력 기초 연구를 활성화하여 국민 복지 향상과 창조적 과학 기술 발전에 선도적 역할을 담당.

원자력 진흥 종합 계획에 따라 정부는 21세기 초 원자력 기술 선진국으로 진입하고, 원자력 핵심 기술을 자립하여 원전 기술의 해외 수출 기반을 확충하며, 원자력 산업 경쟁

력 제고 및 국민 삶의 질 향상에 기여할 수 있도록 원자력 연구 개발 사업을 시행중에 있다.

1980년대 후반의 원전 기술 자립 경험을 통하여 우리 정부는 원자력 기술의 혁신 및 원자력 발전의 증진을 위한 장기 원자력 연구개발 프로그램의 필요성을 인식하고 1992년 「원자력 연구 개발 중·장기 계획(1992~2001)」을 수립하여 1996년까지 1단계 연구 개발을 완료하였으며, 이 결과를 바탕으로 1997년 「21세기를 향한 원자력 연구 개발 중·장기 계획(1997~2006)」으로 확대·개편하였고, 현재 2단계 연구 개발을 수행중에 있다.

원자력 연구 개발 중장기 계획의 재원은 1996년 말 원자력 연구 개발 재원의 안정적인 확보를 위해 신설된 원자력연구개발기금과 정부 출연금에서 충당되고 있다. 원자력 연구개발기금은 전력 회사가 원자력 발전 1kWh당 1.2원(2000년도 기준 1,308억원)을 납부하도록 되어 있다.

2. 미래 원자력 시스템의 필요 조건

원자력은 전력 생산뿐 아니라 방사성 동위원소의 이용, 핵열 이용 등 많은 분야에서 활용되고 있고, 또한 활용될 여지를 충분히 가지고 있다.

원자력이 21세기의 '지속 가능한

개발'에 기여하는 에너지원으로서 역할을 다하려면 미래 원자력 시스템은 환경 친화성, 안전성, 에너지 효율성, 경제성 및 핵비확산성을 획기적으로 제고하는 시스템이 되어야 한다.

가. 환경 친화성

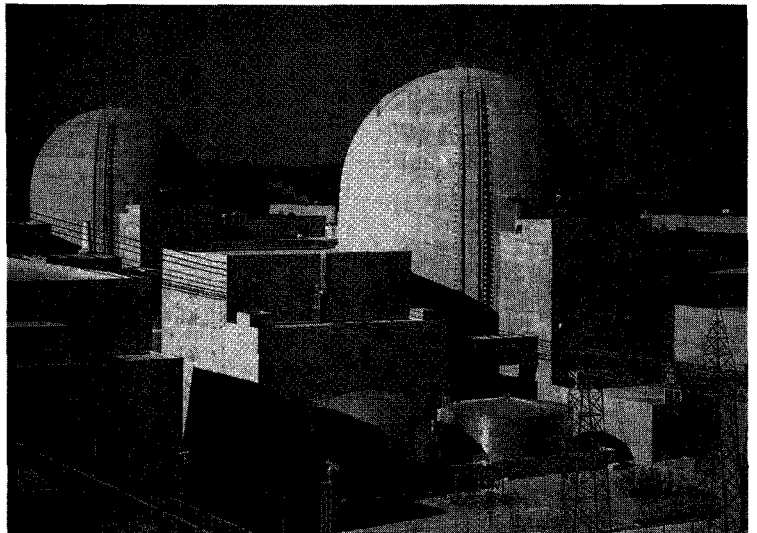
원자력 발전은 대기 오염의 주역이 되고 있는 질소산화물과 황산화물, 그리고 지구 온난화의 주범으로 지목되고 있는 이산화탄소를 배출하지 않아 그 자체로서 환경 친화적이라 할 수 있다.

그러나 핵분열 반응에 의해 에너지를 얻고 나면 그 부산물로서 방사성 붕괴를 하는 다량의 핵종들이 생성되므로 원자력발전소에서 방출되는 사용후 핵연료에는 초우라늄 원소·핵분열 생성물 등 반감기가 긴 방사성 핵종이 다량 포함되어 있으며, 이들이 환경에 노출될 때 또 다른 환경 문제를 유발시킬 수 있다. 이 문제는 환경 단체에서 원자력의 문제점으로 지적하고 있는 핵심 요소이기도 하다.

따라서 시스템 자체적으로 환경에 유해한 물질들을 적게 생성하거나 또는 핵변환 등을 통하여 이들을 환경 위험이 보다 작은 물질로 변환하여 시스템의 환경 친화성이 높아지도록 해야 할 것이다.

나. 안전성

원자력은 다른 기술들에 비해 비교적 안전하게 운영되어 온 것이 사



한국 표준형 원전 울진 3·4호기. 21세기에 있어서도 우리 나라 원자력 기술은 에너지 안보 및 환경 보전에 중요한 역할을 할 것이다. 원자력에 대한 우리나라의 비전은 이미 1980년대 원전 기술 자립 노력에서 볼 수 있었으며 1990년대 초반 수립되어 시행되고 있는 원자력 연구 개발 중장기 계획에 구체화되어 있다.

실이다. 그러나 미국의 TMI(Three Mile Island) 원전 사고, 옛 소련의 체르노빌 원전 사고, 일본의 JCO 핵임계 사고 등으로 인하여 원자력의 안전성에 대한 일반 국민의 신뢰가 떨어져 있는 것이 현실이며, 환경 단체들의 집중적인 공격 요소가 되고 있다. 이는 일반 대중의 원자력에 대한 이해가 부족하여 발생한 문제이므로 꾸준히 국민 이해를 증진해 나가는 것이 필요하다.

이와 동시에 기술 개발을 통해 원자력의 안전성을 획기적으로 향상시키는 것이 또한 적절한 돌파구가 될 수 있을 것이다.

다. 에너지 효율성

에너지 자원이 고갈될 것에 대비하여 21세기 원자력 시스템은 에너

지 자원을 최대한 효율적으로 활용할 수 있어야 한다.

한정된 자원으로부터 최대한의 에너지를 뽑아낸다면 그만큼 자원의 고갈을 늦출 수 있다. 에너지가 자원과 기술의 결합에 의해 생성된다고 보면 이러한 에너지 자원의 최대 효율성은 자원의 재활용 등 기술 집약적인 시스템 개발을 통해 달성될 수 있다.

라. 경제성

21세기 원자력은 타발전원과 경쟁하여 경쟁력이 확보되어야 이용의 확대가 가능하다. 경제성이 확보되지 않고서는 아무리 기술적으로 우수한 시스템이라 하더라도 상용화되기 어렵다.

경제성도 안전성과 같이 반원자

력 단체들이 줄곧 반대 요소로 지목해 온 요소이다. 원자력은 타발전원에 비해 안전 규제가 심하고 자본비용이 커 일부 선진국에서는 경제성이 떨어져 있는 상태이다.

원자력 이용 개발 증진을 위해서는 원자로 건설 및 운영, 방사성 폐기물 처리·처분, 제어 및 해체 등 전주기에 걸쳐 경제성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 원자력 시스템의 개발이 요구되고 있다.

마. 핵비확산성

핵비확산성이란 평화적 목적의 원자력 시스템이 핵무기 개발에 전용되기 어렵게 만드는 시스템 자체의 특성을 말한다.

평화적 목적의 원자력 시스템도 군사적 목적으로 전용될 수 있는 가능성이 있기 때문에 시스템 자체적으로 전용을 어렵게 한다면 이러한 시스템은 국제적인 핵비확산 신뢰성을 높일 수 있어 정치·외교 측면에서 이용 개발이 용이할 것이다. 특히 핵비확산성이 제고된 원자로 및 핵연료 주기 기술의 개발은 향후 주요한 과제가 될 것이다.

3. 원자력 연구 개발 분야 및 내용

미래 원자력 시스템이 갖추어야 할 필요 조건을 만족시키는 원자력 시스템 개발을 위하여 현재의 「원자력 연구 개발 중·장기 계획」은 <표 1>과 같이 원자로 및 핵연료,

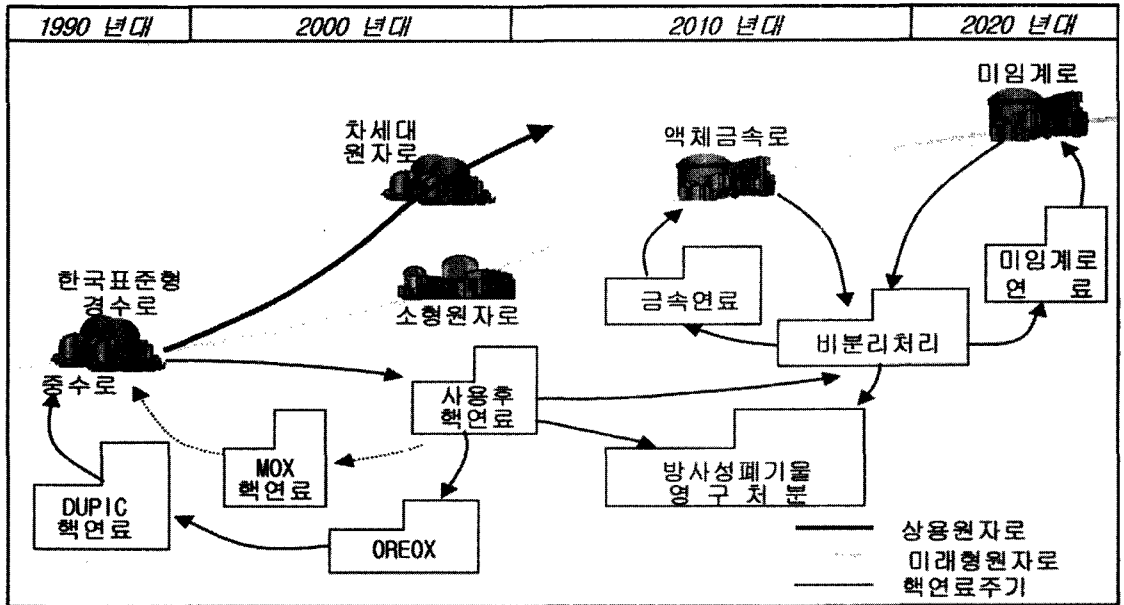
<표 1> 원자력 연구 개발 중장기 계획 연구 과제(대과제)

연구 분야	연구 개발 과제
원자로 및 핵연료	<ul style="list-style-type: none"> · 일체형 원자로 설계 기술 개발 · 미래형 핵연료 개발 · 경수로용 신형 핵연료 기술 개발 · 액체금속로 설계 기술 개발 · 경·중수로 연계 핵연료 주기 기술 개발
원자력 안전	<ul style="list-style-type: none"> · 원자력 안전성 향상 기술 개발 · 원자력 열수력 실증 실험 및 평가 기술 개발 · 중대 사고 실증 실험 및 평가 기술 개발 · 원자력 안전 규제 기술 개발 · 방사선 안전 규제 기술 개발
방사성 폐기물관리	<ul style="list-style-type: none"> · 사용후 핵연료 관리·이용 기술 개발 · 장수명 핵종 소멸 처리 기술 개발 · 방사화학 기반 연구 · 고준위 폐기물 처분 기술 개발
방사선 이용 및 방호	<ul style="list-style-type: none"> · 방사성 동위원소 생산·이용 기술 개발 · 방사선 식품·생명 공학 기술 개발 · 방사선의 공업적 이용 기술 개발 · 방사선의 의학적 이용 기술 개발 · 방사선의 환경 방호 기술 개발 · 방사선 의료 기기 산업화 기술 개발
원자력 기반	<ul style="list-style-type: none"> · 원자력 재료 기술 개발 · 원자력 산업용 레이저 응용 기술 개발 · 연구로 이용 기술 개발 · 원전 계측·제어 시스템 개발
원자력 현안 지원	<ul style="list-style-type: none"> · 가동 원전 성능 향상 기술 개발 · 원전 주기적 안전성 평가 기술 개발 · 가동중 중수로 원전 안전성 향상 기술 개발 · 차세대 원자로 설계 검증 및 핵심 기술 개발

원자력 안전, 핵연료, 방사성 폐기물 관리, 방사선 이용 및 방호, 원자력 기반, 원자력 현안 지원 등 원자력의 모든 분야를 망라하고 있으며, 이들 6개 분야에 대해 28개 대과제 및 14개의 단위 과제를 포함하고 있다.

우리 나라의 원자력 연구 개발 현황 및 전망

21세기 초 우리 나라의 원자력 기술을 원자력 선진국 수준으로 높이기 위하여 한국원자력연구소는 창조적이고 혁신적인 원자력 연구 활동 수행을 통하여 원자력 연구 개



〈그림〉 핵확산성 원자력 기술 개발 옵션

발 중장기 계획의 이행에 있어 중추적인 역할을 담당하고 있다.

여기에서는 우리 나라의 다양한 원자력 연구 개발 활동 중에서 원자로 및 핵연료, 방사성 폐기물 관리, 방사선 및 방사성 동위원소 이용 분야만 살펴보기로 한다.

1. 선진 원자로 및 핵연료 분야

향후 우리 나라가 취할 수 있는 원자로 및 핵연료 주기 옵션을 살펴보면 〈그림 1〉과 같다.

1980년대부터 꾸준히 추진해온 한국 표준형 원전의 독자 설계·건설 능력 확보를 통한 기술 자립 계획은 올진 3·4 호기의 성공적 건설과 운전애 이어 6기(영광 5·6, 올진 5·6, KEDO 2기)의 한국 표준형 원전 건설로 착실히 진행되고 있다.

이에 기초한 1,400MWe급 신형 경수로 1400(APR 1400)의 기초 설계가 1999년 완료되었으며, 표준 설계에 대한 설계 인증을 위해 새로운 설계 개념에 대한 검증 및 핵심 기술 개발 연구가 활발히 이루어지고 있다.

원자력 이용의 다양화를 위한 중 소형 원자로의 개발 및 이용에 세계적인 관심이 증대하고 있는 가운데, 국내에서는 다목적 중소 규모의 신형 원자로 기술 확보를 위해 1997년에 착수한 330MWt급 일체형 원자로(SMART) 기본 설계 개발 연구의 제2 단계가 2002년 초까지 완료될 계획이다.

SMART는 지역 냉난방, 소규모 전력 생산, 열병합, 해수 담수화, 선박 동력원 등 원자력 이용의 다양한 가능성 실현에 적합한 중소형 원자로

로서 관련 산업체가 참여하여 산·학·연 공동으로 개발될 것이다.

고유 안전성과 핵비확산성을 갖춘 국내 고유 모델의 액체금속로(KALIMER)는 2000년 1단계 연구가 완료되었으며, 2007년 초까지 150MWe 원형 실증로급의 기본 설계 기술을 개발할 예정이다.

액체금속로 개발은 상세 설계에 앞서 향후 국제 개발 동향, 확보 가능한 재원 규모 등을 고려하여 환경 변화에 융통성 있는 전략 핵심 기술의 고도화에 집중할 것이다.

에너지 생산과 방사성 폐기물 소멸 처리 복합 기능을 갖는 가속기구동 미임계로(HYPER)의 핵심 기반 기술이 개발중이다.

장기 개발 계획 수립에 필요한 미임계로 개념 개발 설계 연구는 2007년까지 수행하여 국제적 환경

변화에 능동적으로 대처할 수 있는 기술 능력을 확보할 것이다.

안전성과 경제성 향상 및 국내 독자 기술 소유권을 갖는 신형 핵연료가 개발중이며, 중수로용 개량 핵연료인 CANFLEX-NU 핵연료는 개발이 완료되고 현재 실용화 연구 단계에 있다. 고연소도 핵연료의 개발은 경제성 제고와 사용후 핵연료 감량에 크게 기여할 것으로 예상된다.

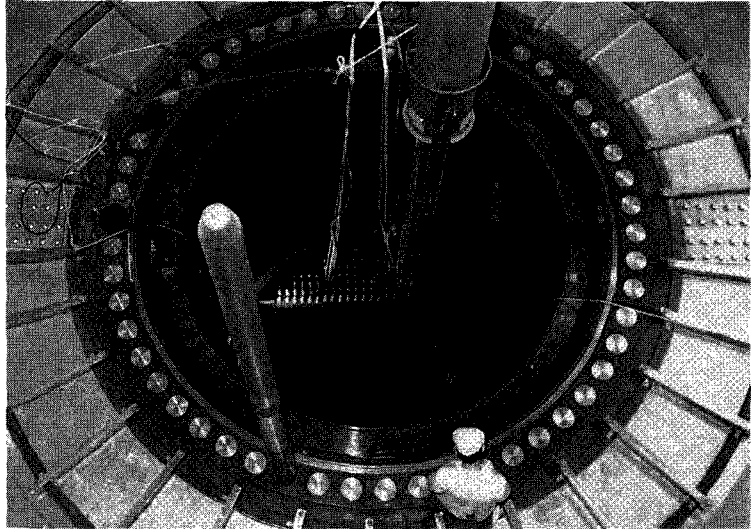
경·중수로의 연계 핵연료 주기 기술(DUPIC)은 경수로와 중수를 동시에 갖고 있는 우리나라의 특성을 반영하여 우라늄 자원을 효율적으로 재활용하고 방사성 폐기물을 크게 감축시킬 수 있는 기술로서, 2002년까지 DUPIC 핵연료소결체·연료봉 시험 제조 및 성능을 평가하고, 2006년까지 DUPIC 핵연료 다발 시험 제조 및 성능을 입증할 계획이다.

2. 방사성 폐기물 관리 분야

우리 나라의 방사성 폐기물 관리 기본 방향은 고준위 폐기물의 발생량 감축 등 환경 보호 차원에서의 관리를 추구하며, 사용후 핵연료의 핵비확산성 재활용 및 안전 관리 기술을 적극 개발하는 것이다.

우리 나라는 사용후 핵연료의 평화적 이용을 기본 방향으로 하고 있으나 구체적인 노선의 결정은 아직 유보하고 있다.

후행 핵연료 주기의 여러 옵션에



에너지 확보라는 빛을 더욱 밝게 하고 오염이라는 그림자를 줄이는 유일한 지혜는 극미의 세계에 감추어 둔 두뇌 의존의 원자력을 이용하는 것이다. 유일한 대체 에너지이자 또한 두뇌 한국에서 가질 수 있는 유일한 우리 에너지원인 원자력의 기술 자립이야말로 바로 우리 후손을 위한 것이라 할 것이다.

대한 안전성·경제성·기술성과 이에 대한 국내외 추진 환경을 검토한 후에 사용후 핵연료에 대한 구체적인 정책 결정이 내려질 것이다.

이전까지는 사용후 핵연료를 안전하게 중간 저장하는 것을 원칙으로 하고, 중간 저장 시설 가동 전까지는 원전별로 발전소 내에 임시 저장하고, 중간 저장 시설의 규모·방식 등은 후행 핵연료 주기 정책, 기술 수준 및 국제 정세 등을 충분히 검토하여 결정하도록 되어 있다.

이에 따라 우리나라의 핵연료 주기 분야 연구 개발은 가능한 핵연료 주기 옵션에 대한 연구 개발이 병행되어 추진될 수밖에 없다.

병행 추진의 효율성을 높이기 위

해서는 핵연료 주기의 모든 옵션에 공통적으로 필요한 기술을 중점적으로 개발하고, 향후 각 옵션이 선택되었을 경우를 대비하여 어느 정도의 기술력이 필요한지 따져보아야 할 것이다.

현재 중·저준위 폐기물의 발생량 저감화 및 안전 관리 기술 개발이 적극적으로 추진되어 방사성 폐기물 관리 기술의 선진화가 달성될 전망이다. 고준위 폐기물 처리·처분, 사용후 핵연료 관리 및 이용 분야의 기술 개발이 중점 추진되어 국내 여건에 적합한 핵비확산성 핵연료 주기 고유 기술이 개발될 전망이다.

또한 연구용 원자로 및 우라늄 변환 시설 해체 사업과 연계하여 원자

력 시설의 제염·해체 기술 및 안전 관리 기술이 개발되고 국내외 원자력 시설의 해체 사업에 이용될 전망이다.

3. 방사선 및 방사성 동위원소 이용 분야

방사선 및 방사성 동위원소의 이용 분야는 산업 발전 및 생활 수준 향상으로 인해 지속적으로 확대되고 있으며, 의료·공업·환경·식품·농업·생명공학 등의 연구 및 상용화에 광범위하게 이용되고 있다.

최근 선진국에서는 원자력 이용이 성숙기에 들어서면서 방사선 및 방사성 동위원소 이용 기술 개발을 활발히 추진하고 있으며, 미국 및 일본의 경우 이미 비원전 분야의 산업 규모가 원전 산업을 앞지르고 있는 실정이며, 우리 나라도 점진적으로 이러한 추세를 따라 갈 것으로 보인다.

이에 대비하기 위하여 우리 나라는 원자력 연구 개발 중장기 계획에 방사선 및 방사성 동위원소 이용 기술의 개발을 포함시키고 이에 주력하고 있다.

이러한 연구 개발 성과의 일부를 살펴보면, 간암·류마티스·피부암·자궁경부암 등 난치성 질환의 방사선 치료제 및 기구의 다수 실용화가 완료되었으며, 병원성 대장균 등 주요 식중독 세균 살균, 원형벼 등 4개의 벼 품종 개발 등 방사선을

이용한 식품의 위생화 및 우수 돌연변이 품종 개발이 완료된 상태이다.

2001년부터 추진될 가칭 「첨단 방사선응용연구센터」가 설립되면 방사선 및 방사성 동위원소를 이용한 공업·농업·식품·환경 등의 연구가 가속화되고 관련 산업 육성도 촉진될 전망이다.

향후 난치성 질환(암·알츠하이머 등) 진단 및 치료용 방사성 의약품, 멸균용 대단위 Co-60 선원 및 이를 이용한 저염/저칼로리/무방부제의 새로운 육제품 가공 기술, 방사선을 이용한 내환경성 신식품종 및 기능성 고분자 개발 등 다양한 새로운 선진 기술의 개발에 주력할 것이다.

결론

20세기가 화석 에너지에 근거를 둔 대량 생산 및 소비의 시대였다면 21세기는 자연과의 조화를 꾀하는 재활용의 시대가 될 것으로 전망되고 있다. 인류의 생존을 위해서는 과학 기술이나 원자력에 있어서 패러다임의 근본적인 변화가 요구되고 있다.

21세기의 지구 환경 문제, 자원 고갈 문제 등을 해결하고 지속 가능한 성장을 달성하기 위해 세계는 새로운 원자력 기술 개발을 위해 많은 노력을 하고 있다.

세계적으로 값싸고 환경 친화적인 에너지의 안정적 공급책으로 원

자력을 선택하는 분위기가 형성되고 있고, 이는 바로 제2의 원자력 르네상스의 도래를 기대하게 하고 있다.

아름다운 국토를 가졌으나 에너지 자원이 거의 전무한 우리나라로서는 산업화 및 국민 '삶의 질' 향상을 위하여 기술 에너지원인 원자력에 의존할 수밖에 없을 것이다.

따라서 우리 나라도 세계적인 새로운 원전 시스템과 신핵연료 기술의 개발 움직임에 대응하여, 새천년의 새기술, 이제 우리의 기술로 승부한다는 마음가짐으로 원자력 연구 개발에 임해야 할 것이며, 이를 주도할 젊은 원자력 과학자의 배양에도 많은 관심을 가져야 할 것이다.

빛과 그림자는 과학 기술이 숙명적으로 안고 있는 문제이다. 대량 소비·대량 폐기물에 신음하는 지구촌을 변화시켜 조화로운 21세기 문명 사회로 바꾸는 방법은 그림자를 줄이고 상대적으로 빛을 더 밝게 하는 것이다.

에너지 확보라는 빛을 더욱 밝게 하고 오염이라는 그림자를 줄이는 유일한 지혜는 극미의 세계에 감추어 둔 두뇌 의존의 원자력을 이용하는 것이다.

다시 말해서, 유일한 대체 에너지이자 또한 두뇌 한국에서 가질 수 있는 유일한 우리 에너지원인 원자력의 기술 자립이야말로 바로 우리 후손을 위한 것이라 할 것이다. ☞