

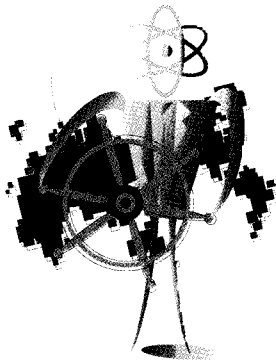
원자력 시스템 연구 개발의 청사진

# 미래 원자력 시스템 개발 장기 추진 계획

임채영

한국원자력연구원 정책연구부 원자력정책팀장

### 들어가는 말



작년 12월 22일 정부는 국무총리 주재로 제255차 원자력위원회를 개최하여 「미래 원자력 시스템 개발 장기 추진 계획(이하 '추진 계획')」을 심의·확정하였다.

이 추진 계획은 2030년까지 미래 원자력 시스템의 개발에 대한 청사진을 제시한 것으로, 개발에 장기간이 소요되는 미래 원자력 시스템 연구 개발을 일관되고 체계적으로 추진하기 위한 시스템별 추진 일정 등 기본 방향을 제시하였다는 점에서 큰 의의가 있다.

본고에서는 추진 계획 수립의 배경과 주요 내용을 간략하게 소개하고 계획 수립의 의의와 향후 과제에 대해 논의하고자 한다.

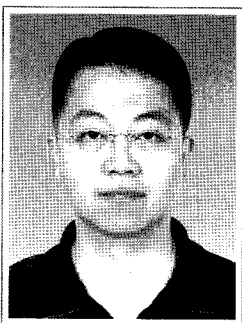
및 에너지 공급 불안에 대비하기 위하여 원자력의 이용 확대를 적극 추진하고 있다. 특히, 지난 30년간 원전 건설이 없었던 미국을 비롯하여 러시아·중국·인도 등에서도 대규모의 원전 추가 건설을 추진하고 있다. 또한 그동안 원자력에 대해 유포적인 입장을 취하고 있던 유럽의 주요국들도 원전 건설을 논의하고 있다.

우리나라의 경우 원자력 발전은 국내 전력의 36%(2007년 기준)를 생산하고 있어 이미 전력 공급원의 주축을 이루고 있지만 향후에도 지속적인 경제성장을 달성하고 화석 에너지 고갈과 기후 변화에 대비하기 위해서는 원자력의 이용 확대가 필요한 실정이다.

이러한 상황을 반영하여 정부는 2008년 8월, 2020년까지의 장기 에너지 계획인 「국가에너지 기본계획」을 심의·확정하였다.

### 계획 수립 배경

세계 각국은 고유가, 기후 변화



KAIST 원자력공학과 박사  
한국원자력연구원(1998~)

이 계획에서 정부는 고유가와 온실가스 감축 등에 대응하기 위해 원자력의 역할 강화는 불가피한 선택임을 강조하며, 2030년까지 원전을 추가 건설하여 원자력 발전량 비중을 36%에서 59%까지 높일 것임을 밝힌 바 있다.

한편, 원자력 이용 확대와 더불어 주요 원자력 선진국들은 현재 원전 기술의 한계를 극복하고 원전 이용 확대에 따른 문제점을 해결하기 위해 제4세대(Generation-IV) 원자력 시스템<sup>1)</sup> 개발에 박차를 가하고 있다. 이들 국가들은 연구 개발 투자의 효율성을 높이고 위험을 분산하기 위해 자체적인 연구 개발과 병행하여 국제 공동 연구를 진행하고 있다.

이러한 국제 공동 연구 개발 체제의 대표적인 사례가 미국을 중심으로 원자력 활동이 활발한 주요 9개국이 2000년에 결성한 제4세대 원자력 시스템 국제 포럼(GIF)이라 할 수 있다.

2002년 GIF는 각국 전문가들의 검토를 거쳐 제4세대 원자력 시스템으로 유망한 6개의 시스템을 선정하고 공동 연구를 추진하고 있다.<sup>2)</sup> 2008년 12월 현재 6개 시스템 중 4개 시스템에 대한 약정이 체결되어 회원국 간 국제 공동 연구가 진행중인데 이 가운데

에서도 소듐냉각고속로(SFR)<sup>3)</sup>와 원자력 이용 수소 생산 시스템(VHTR)에 대한 참여가 가장 활발하다.

국제 공동 연구와 병행하여 미국, 일본, 프랑스, 중국 등은 제4세대 원자력시스템 개발을 위해 국가별 장기 추진 일정을 수립하여 추진하고 있다.

미국은 차세대 원전 개발을 위해 「국제 원자력 에너지 파트너십(GNEP; Global Nuclear Energy Partnership)」과 「원자력 이용 수소 생산 시스템 개발 사업(NGNP; Next Generation Nuclear Plant)」을 추진중이다.

이 계획에 의하면 2020년까지 사용후핵연료에 포함된 고독성 장수명 핵종 문제를 해결하기 위한 제4세대 고속로(ABR; Advanced Burner Reactor)의 실증로 건설을 추진하고 2018년까지 원자력 이용 수소 생산 시스템과 이를 이용한 수소 생산 공정(NHI; Nuclear Hydrogen Initiative)을 병행하여 개발할 예정이다.

일본은 고속로 개발 프로젝트(FaCT; Fast Reactor Cycle Technology Development) 및 원자력 수소 상용화 추진을 위해 2015년까지 고속로(SFR) 개념 설계를 완료하고 2025년까지 고

속로 운전을 개시할 계획이며, 2015년까지 원자력을 이용한 수소 생산 공정의 하나인 열화학 수소 생산 기술의 실증을 완료할 계획이다.

프랑스는 2020년에 고속로 원형로를 운전 개시하고, 2025년 상용화를 목표로 원자력 수소 생산 시스템의 핵심 기술인 초고온 가스로의 개발을 추진하고 있다.

중국은 2013년까지 2기의 초고온가스로 건설을 목표로 현재 인허가 심사중이며 2020년까지 실증용 고속로의 운전을 개시할 계획이다.

우리나라도 2005년에 GIF에 가입하고 제4세대 원자력 시스템을 개발중이다. 현재 우리나라는 제4세대 원자력 시스템 중 사용후핵연료 문제의 기술적 해결 능력 확보와 전력 공급을 위한 소듐냉각고속로(SFR), 미래 청정 에너지원인 수소의 대량 생산·공급을 위한 원자력 이용 수소 생산 시스템(VHTR)의 2개 시스템 개발에 참여하고 있다.

또한 사용후핵연료를 소듐냉각고속로의 연료로 재활용하기 위한 파이로(Pyro) 건식 처리<sup>4)</sup> 기술을 2002년부터 미국과 국제 원자력 연구 프로그램을 통해 공동 개발중이다.

1) 제4세대 원자력 시스템(Generation-IV nuclear energy system) : 현재의 원전(제3세대)보다 지속 가능성, 안전성, 경제성, 핵비확산성이 획기적으로 향상된 미래의 원자력 시스템으로 2030년대 상용화를 목표로 개발중임.

2) 6개 시스템은 소듐냉각고속로(SFR; Sodium-cooled Fast Reactor), 초고온가스로(VHTR; Very High Temperature Reactor), 초임계압수냉각원자로(SCWR; Supercritical Water-cooled Reactor), 가스냉각고속로(GFR; Gas-cooled Fast Reactor), 납냉각고속로(LFR; Lead-cooled Fast Reactor), 용융염원자로(MSR; Molten Salt Reactor)가 선정되었음

3) 소듐냉각고속로(SFR, Sodium-cooled Fast Reactor) : 고속의 중성자로 핵분열반응을 일으켜, 여기에서 생산된 열과 에너지를 이용하는 제4세대 원자로. 고속의 중성자를 이용하기 때문에 사용후핵연료에 남아 있는 고준위 방사성폐기물인 초우라늄 원소를 소각할 수 있어 고준위 방사성폐기물을 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 물을 냉각재로 사용하는 기존의 원자로와 달리 나트륨(소듐)을 냉각재로 사용하기 때문에 이런 이름이 붙었다.

그러나 이와 관련한 장기 연구 개발 계획의 부재로 전략적인 국제 공동 연구 추진에 한계를 가지고 있었다. 특히 우리나라가 역점을 두고 참여중인 소듐냉각고속로 연구 개발의 경우 사용후핵연료를 재활용하기 때문에 관련 기술과 물질을 평화적인 목적으로만 이용한다는 것에 대한 국제 사회의 신뢰 획득이 연구 개발의 추진에 필수적이다. 그러나 그동안 장기 계획의 부재로 인해 국제 사회에 우리의 연구 개발 의지와 객관적이며 투명한 연구 개발 추진 일정을 제시하기에 어려움이 있었다.

이에 정부는 장기적인 미래 원자력 시스템 연구 개발의 기본 방향을 제시하여 국제 사회로부터의 불필요한 의혹과 오해를 불식시키고 국내 관련 연구를 일관되고 체계적으로 추진하기 위해 미래 원자력 시스템 개발 장기 추진 계획을 수립한 것이다.

### 추진 계획의 주요 내용

이번에 정부가 마련한 추진계획에는 제4세대 원자로 가운데 세계에서 가장 각광을 받고 있는 원자로 종류 중의 하나인 소듐냉각고속로(SFR)와 이를 연계한 핵비확산성이 보장된 파이로 건식 처리에 대한 기술 개발을 담고 있다.

사용후핵연료를 파이로(Pyro) 건식 처리를 통해 재가공한 후 소

듐냉각고속로에 연료로 재활용하는 이른바 '순환형 원자력 시스템'을 완성하면 높은 연료 효율성과 고준위 폐기물을 감축시킬 수 있는 일거양득의 효과가 있다.

이 기술을 적용하면 연료 활용성이 60배 이상 높아지고, 방사성 독성은 1000분의 1 수준으로 줄이고, 고준위 처분장의 크기를 100분의 1로 대폭 줄일 수 있어 경제, 사회, 환경에 미치는 효과가 매우 클 것으로 기대된다.

각각의 기술별로 개략적인 개발 일정을 살펴보면 다음과 같다. 소듐냉각고속로의 개발 일정은 크게 고유 개념 개발(~2011년)과 기술 실증 및 건설(~2028년)의 2단계로 추진될 예정이다.

우선 고유 개념 개발을 위해 제4세대 소듐냉각고속로 고유 개념을 2009년까지 선정하고 고속로 고유 개념 구체화 및 실용 가능성을 2011년까지 입증할 계획이다. 이후 개념 설계 (2012~2013년), 표준 설계(2014~2017), 표준 설계 인가 및 예비 설계 (2018~2021년)를 완료하여 최종적으로 2028년에 실증로를 건설, 운영할 계획이다.

고속로에 사용할 사용후핵연료를 처리하는 기술인 파이로 건식 처리 기술의 경우, 파이로 건식 처리 핵심 기술 개발 및 검증(~2011년)과 파이로 건식 처리 실용화 시스템 개발(~2030년)의 2단계 추진 계획을 확정하였다.

우선 천연 우라늄 및 모의 사용후핵연료를 사용하는 건식 처리 원천 기술을 개발하기 위해 핵심 기술을 2009년까지 개발 완료하고 2011년까지 공학 규모의 모의 실험 시설을 구축할 예정이다.

다음 단계로 사용후핵연료를 대상으로 한 파이로 건식 처리 시설 완성을 위해 2016년까지 공학 규모의 실증 시설을 완료하여 관련 실험을 수행하며 2025년까지 준상업 시설 규모의 실용화 시설을 건설, 운영하는 목표를 설정하였다.

기술 개발이 완료되면 핵비확산성이 확보된 사용후핵연료의 재활용 기술 능력을 확보할 수 있어 사용후핵연료 문제 해결을 위한 하나의 기술적 대안을 제시할 것으로 기대된다.

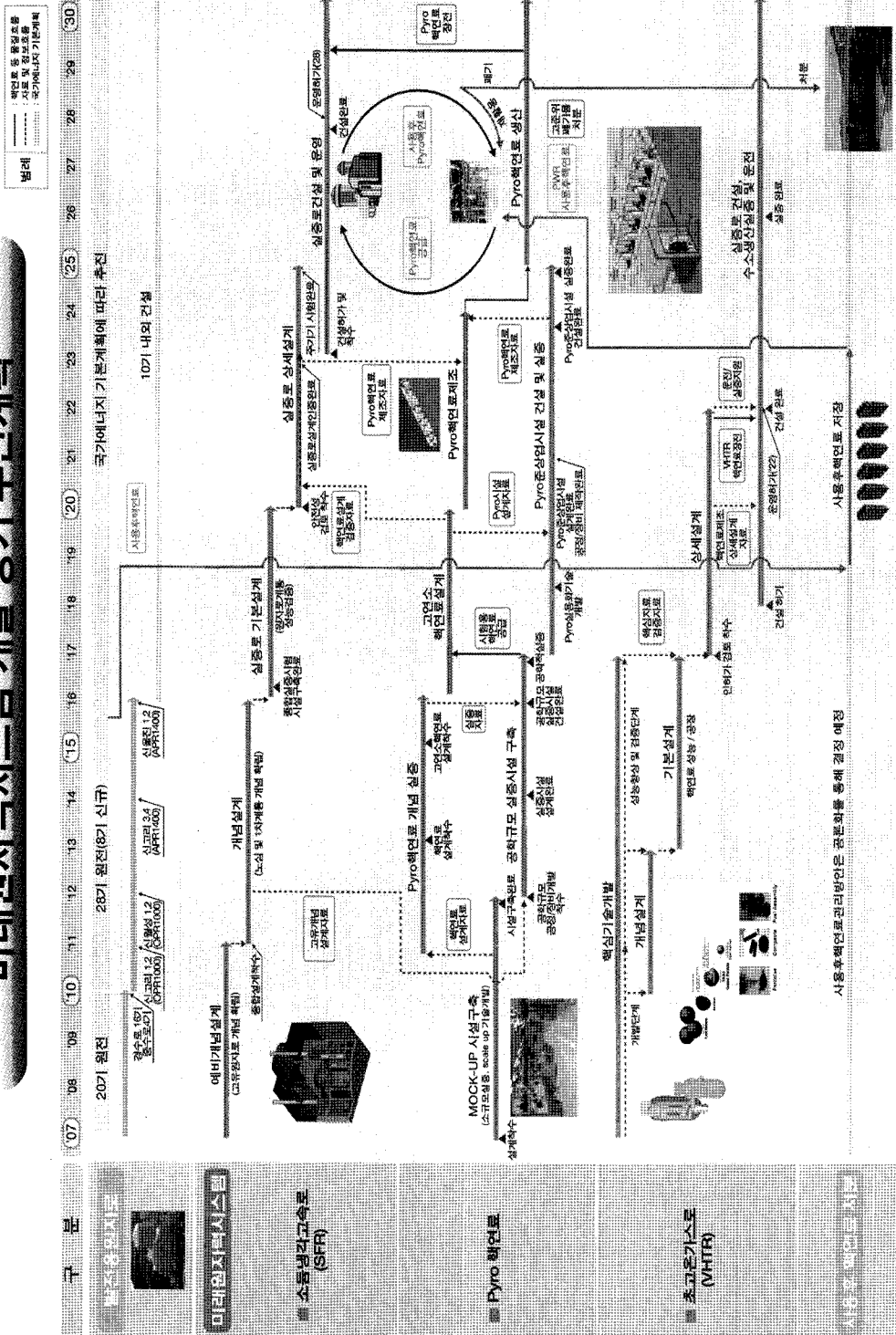
아울러 이번 추진 계획에는 수소 경제 시대를 대비하기 위한 원자력 이용 수소 생산 시스템 개발 계획도 포함되어 있다. 원자력 이용 수소 생산 시스템은 우라늄을 연소시켜 얻은 900℃ 이상 고온의 열을 이용하여 물을 분해함으로써 수소를 경제적으로 대량 생산한다는 개념이다.

이를 완성하기 위해서는 고온의 열을 공급할 수 있는 초고온가스로와 여기서 생산된 열을 이용하여 수소를 생산할 수 있는 열화학 공정의 개발이 필요하다.

이와 관련된 기술 개발 일정을 살펴보면, 2011년까지 원자력 이용 수소 생산 시스템의 핵심·원

4) 파이로(Pyro) 건식 처리 : 사용후핵연료로부터 핵물질을 분리·정제하는 기술로서 기존 사용후연료 처리 기술에 비하여 핵확산 금지 대상인 고순도 플루토늄의 추출을 원천적으로 배제할 수 있어 핵비확산성이 뛰어난 기술

미래 원자력 시스템 개발 장기 추진 계획



※ 원자력의 평화적 이용(2009.12.23)

<그림> 미래 원자력 시스템 개발 장기 추진 계획

사용후핵연료관리방안은 공론화를 통해 결정 예정

천 기술을 확보하고, 2017년까지 시스템 핵심 기술의 성능 검증 및 기술 현안을 해소하여 2022년에 실증로를 건설하는 것을 목표로 하고 있다.

이 기술이 완성되면 수소의 경제성 대량 생산으로 수소 경제 시대의 진입이 가능하게 되어 국가 에너지 문제 해결에 기여하고, 석유 대체와 이산화탄소 배출 감축으로 고유가와 기후변화협약에 대응할 수 있게 될 것으로 기대된다.

### 계획 수립의 의의와 향후 과제

올해는 우리나라가 원자력 연구를 시작한 지 50년이 되는 해로 새로이 다가올 우리나라 원자력의 나아갈 길을 밝히는 중·장기적인 연구 개발 추진 계획을 수립하였다는 데 큰 의미가 있다.

이러한 상징적인 의미와 더불어 국제적으로는 미국, 일본, 프랑스 등 원자력 선진국과의 제4세대 원자력시스템 공동 연구 개발 수행시 국가 계획을 제시함으로써 대등한 차원의 협력이 가능하게 하는 실질적인 효과도 기대된다.

또한 미국과의 원자력 협력에 있어서도 기술 개발의 타당성과 연구의 투명성 확보에 대한 우리의 의지를 보임으로써 관련 현안을 해결하고 협력 방안을 도출하는 데에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

국내적으로는 장기간의 연구 개발이 필요한 미래 원자력 시스템 분야의 개발 청사진과 이정표가 제시되어 일관성 있는 연구 개발을 위한 기반이 마련되었다고 할 수 있다.

또한 멀지않은 시기에 사회적 관심사가 될 사용후핵연료의 환경 친화적인 관리를 위한 하나의 기술적인 대안을 국민에게 제시함으로써 원자력에 대한 국민 수용성의 증진에 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

이번에 수립된 「미래 원자력 시스템 개발 장기 추진 계획」은 그 이름에도 나와 있듯이 향후 20년 이상의 장기간의 미래 연구 개발 방향을 제시하는 기본 계획이라 할 수 있다. 따라서 이 계획을 실현하기 위해서는 빠른 시일 내에 실행을 위한 구체적인 세부 계획이 마련되어야 할 것이다.

세부 계획에서는 추진계획에서 제시된 목표와 일정에 맞추어 기술 개발을 달성하는 데 필요한 인력, 자원, 시설 등의 투입 요소에 대해 상세하게 파악하여 이를 적기에 확보할 수 있는 구체적인 방안이 제시되기를 희망한다.

아울러 향후 예상되는 기술적, 정치·외교적, 사회적 장애 요인에 대해서도 종합적이며 심층적인 검토가 이루어지고 이에 대한 해결 방안이 제시되기를 기대한다.

또한 추진계획의 실효성을 높이기 위해서는 이를 원자력진흥 종합계획과 원자력연구개발 5개년계획 등과 같이 기존에 이미 수립, 시행되고 있는 계획과 어떻게 연계해 나갈 것인가에 대한 고민이 필요할 것이다.

마지막으로 장기 계획의 특성을 고려할 때 현재의 추진계획에 제시된 일정과 목표는 일정 부분 불확실성을 가질 수밖에 없다. 따라서 이를 보완하기 위해서는 주기적으로 혹은 적절한 시기에 기술 개발 추이와 국내외 여건 변화를 반영하여 계획을 수정, 보완하는 것이 필요할 것이다.

