

**한** 국은 수입석유 의존도감소, 에너지원의 다양화, 안정적인 공급, 경제성 측면의 경쟁력 및 환경보호 등의 주요한 이점 때문에 원자력 개발프로그램을 추진하고 있다. 그러나 1986년의 체르노빌사고 및 근래 한국 민주화 이후 원자력의 대중수용의 문제가 더욱 주요한 이슈가 되고 있다. 따라서 더욱 안전하고 신뢰할 만한 신형 원자력 발전시스템(ANPS)의 개발은 대중수용성의 제고를 위해 필요한 것으로 인식되고 있다. 한국정부는 ANPS의 개발을 국가적인 최우선 R&D과제 중의 하나로 선정하였다. 이러한 단기간의 개발프로젝트는 현재 산,학,연 합동으로 한국전력공사의 관리 및 자금지원하에 수행되고 있다. 사업자, 규제기관, 공급자, 연구기관 및 한국정부간의 업무조정수행 내용이 발표되었다. 한국정부의 관점에서 본 ANPS의 장래 및 이에 대해 한국이 기대하는 바도 발표되었다.

진행중인 원자력프로그램을 가지고 있는 대부분의 나라에서 국제협력의 필요성은 요구되는 자원의 자급자족의 정도, 사회기반 시설에 기반을 두며 또한 그 나라 고유의 요건에 의존한다. 한국은 그러한 새로운 시도의 비용과 리스크를 분담함으로써 ANPS개발이 적기에 이루어지도록 ANPS 개발을 위한 실제적인 국제협력 계획이 수립되기를 기대하고 있다.

단기적으로는 IAEA는 여러 기술회의, 심포지움 및 학술회의를 개최하고 ANPS설계를 위한 안전원칙 및 기준을 제정함으로써 개량형 경수로개발 및 차세대 수동형 원자력 발전시스템 개발을 위한 중재자역할 뿐만 아니라 추진자로서도 중요한 역할을 수행할 것으로 기대된다. 장기적으로는 한국은 고유 안전성과 비확산 핵연료주기특성을 가지는 선진형 액체금속원자로(ALMR)를 필요로 할 것으로 기대된다. 핵융합 개발프로젝트인 ITER와 같은 IAEA 또는 OECD/NEA 프로젝트

트로서 ALMR현실화라는 최종적인 과제에 착수할 것을 제안하였다.

## 서 언

한국은 현재 9기의 원전(8기의 PWR 및 1기의 CANDU)이 운전중에 있고 7기의 원전(4기의 PWR 및 3기의 CANDU)이 건설 중에 있으며 국내 총발전량의 43%를 원자력이 차지하고 있는데 21세기에는 한국에서 원자력은 주요 전력원이 될 것이다. TMI-2 및 Chernobyl 사고 이후

## 특집 1

차세대원자로개발에 대한 국제심포지움

1993년 10월 18일~20일

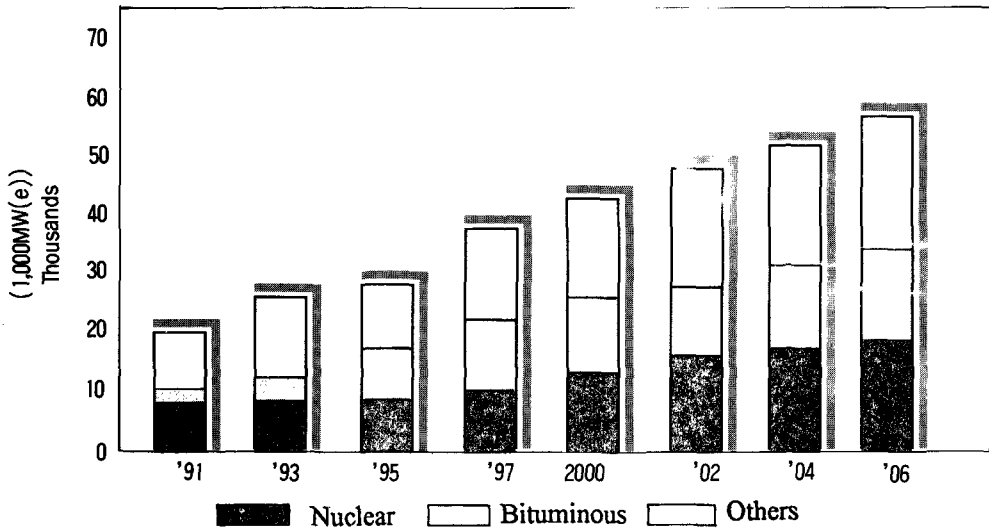
인터컨티넨탈호텔 그랜드볼룸

# 國際協力の 必要性에 대한 韓國의 見解

윤 용 구 (한국과학기술원 교수)

이 병 휘 (한국과학기술원 교수)

심 창 생 (한국전력공사 기술 본부장)



Year	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2006
Capacity(MWe)	24056	28726	34413	39218	44103	49323	58669
Peak Demand	20834	24758	28752	32532	36336	40199	48155
Reserve Ratio(%)	12.8	16.0	19.7	20.5	21.4	22.7	21.8

그림 1. 한국의 전력수요 증가 전망

원자력안전성에 대한 우려가 증대됨에 따라 세계 인류는 이제 대중수용성이 향상된 보다 안전하고 신뢰성이 높은 원전의 개발을 요구하고 있다. 한국정부는 ANPS개발을 선도기술개발을 위한 최우선 순위의 국가적 프로젝트 중의 하나로 선정하였다. ANPS개발의 단기적인 목표는 ① 첫단계에서 개량설계특성 구현을 통하여 LWR형의 표준원전설계를 개발하고 ② 2001년까지 그 설계를 완성하고 2007년 이후에 이를 상용한다는 최종 목표를 가지고 신형 LWR을 개발하는 것

이다. 장기적으로는 2025년 이후 한국은 고유 안전성을 가지고 비확산성이 보증되는 경제적인 핵연료주기를 갖는 ALMR을 필요로 하게 될 것으로 기대된다.

현재 진행중인 원자력프로그램을 갖고 있는 대부분의 나라들에 있어서는 신형 원자력발전기술의 성숙도에 관계없이 국제협력의 필요성은 필요한 자원 및 사회기반시설의 자금자족의 정도에 따라 매우 다르며 또한 그 나라의 세부적 요건에 좌우된다. 혁신적인 개념의 ANPS를 자기들만의 노력으로 개발할 능력이 있는

OECD국가들은, 그 산업화 또는 개발수준에 관계없이 증가하는 장래의 에너지수요에 부응하는 ANPS 적기개발을 보증하기 위해 그러한 모험적 사업의 비용과 리스크를 분담함으로써 ANPS개발을 위한 실제적인 국제협력계획이 수립되는 것을 보기를 원하고 있다. 이러한 회원국들은 이러한 비용 및 리스크의 상호분배에 근거한 공동노력을 경주하여 국제협력을 하고 싶어한다.

한국은 산업계-학계-연구기관 공동으로 ANPS개발 프로그램에 착수하였다. 한국의 시각에

서 ANPS의 미래 및 이에 대한 기대를 본고에 기술하였으며 국제기구의 역할에 대하여도 제안하였다.

### 한국의 전력수요 및 원자력프로그램

한국의 경제발전 진행과 국민 생활수준 향상에 따라 전력수요 증가율은 GNP의 증가율을 상회하였다. 국가적인 에너지자원이 무연탄과 수력으로 극히 한정적이며 원자력발전이 수입석유의 의존성 감소, 에너지원의 다양화 및 공급의 안정성, 경제성 측면의 비교우위 및 환경보호등의 주요한 이점을 제공함에 따라 한국은 주요한 원자력 개발프로그램을 추진하여 현재 9기의 원전이 운전되고 있다.

그림1은 한전이 1993년 10월 수행한 전력수요예측을 보여준다. 이 예측에 의하면 2006년까지 35,961MW(e)의 총시설용량의 72기의 신규 발전소가 건설될 것으로 예측되는데 현재의 시설용량은 26,424MW(e)이다. 현재 1000MW용량의 PWR 원전4기 및 CANDU PHWR형 원전3기가 건설중에 있는데 이 PHWR 원전은 그 자금성 핵연료주기, 뛰어난 이용율등의 이유때문에 로형을 다변화하여 PWR원전주도의 구조를 보완하기 위해 건설되는 것이다. 4기의 PWR형 원전중에서 2기(영광 3,4)는 각각 10

00MW의 시설용량으로서 1987년부터 건설되고 있는데 1995년, 1996년에 각각 상업운전 시작 예정이다. PHWR(월성 2, 3, 4)는 각각 700MW로서 차례로 1997년, 1998년, 1999년에 전력계통에 병입예정이다. 다른 2기(울진 3, 4)의 PWR형 원전의 상업운전은 각각 1998년과 1999년에 시작될 예정이며 2006년까지 7기의 원전이 추가 건설될 예정이다.

TMI-2 및 체르노빌 사고이후 원전의 안전성에 대한 대중의 우려에도 불구하고 원자력은 화석연료사용에 의해 발생하여 지구온난화에 일차적인 원인이 되는 CO2방출 및 석탄연소시 발생하는 SOx, NOx에 의해 야기되는 산성비등의 환경영향을 완화시킬 수 있는 주된 에너지원으로 인식되고 있다.

한국의 민주화이후 원자력에 대한 국민의 수용문제는 더욱 더 주요한 쟁점으로 부각되었으며 이에 따라 원전, 방사성폐기물 처분장 및 관련 시설을 수용할 수 있는 부지확보에 애로사항이 있을 것으로 예상된다.

### 한국의 국제협력 방법론과 경험

원전건설 및 운전분야, 안전규제 및 인허가, 그리고 R&D에 있어서의 국제협력은 두 개의 범주로 분류된다. 하나는 원전사업자 및 관련 산업체들을 위한 상업부문의 협력이며 또 하나는 안전성

관련 연구기관 및 정부기관을 위한 공공부문의 협력이다.

### 상업부문의 협력

한국의 전력 사업자 및 관련회사들 즉 한전, 한국전력기술, 한국중공업 등은 상업분야의 협력을 통하여 원전의 건설, 운전 및 설비공급에 요구되는 기술적, 공학적 역량을 획득하였다. 산업체 및 연구기관이 필요로 하는 전산코드 및 소프트웨어 등도 상업적인 협력채널을 통하여 구입하였으며 KEPCO는 최근 미국의 EPRI와 EPRI의 신형 경수로-수동형 원전프로그램이 설계인증 단계에 이르기까지 그 프로그램에 참여하는 협약서에 서명한 바 있다. 현재 16개의 미국 내 주요 전력사업자 및 9개의 외국 전력회사들이 이 프로그램에 참여하고 있다.

### 공공부문의 협력

#### IAEA기술지원 및 협력

IAEA의 기술지원 및 협력은 정부의 규제 및 인허가분야의 기술인력, 안전성 관련 연구기관의 기술인력의 기본 훈련 그리고 한국의 원자력 프로그램의 초기 시행단계에서 요구된 기술정보를 제공하는데 크게 기여하였다.

중요한 안전성관련 현안문제들에 대한 검토를 포함하는 IAEA 전문가서비스들은 과학기술처 및

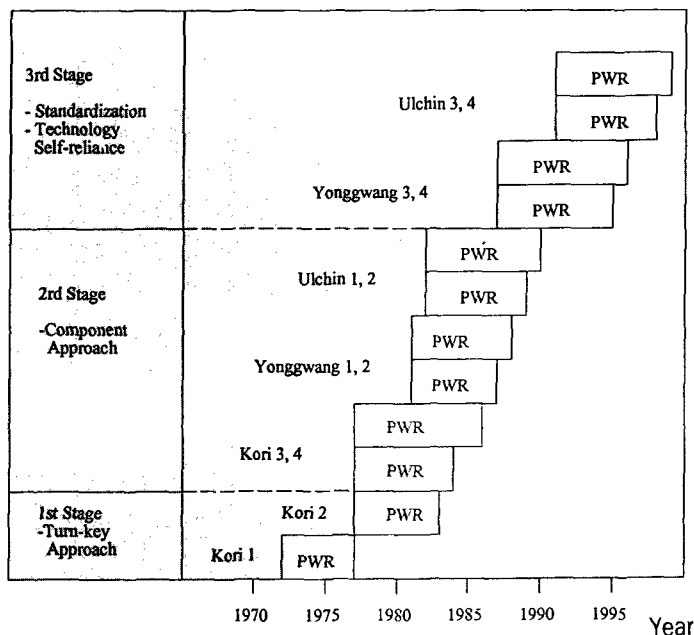


그림 2. 한국의 원전 건설사업 진행단계

한국원자력안전기술원 같은 한국의 규제기관 및 인허가 관련기관들에게 특히 많은 도움을 제공하였다.

한국의 기술능력이 향상됨에 따라 관련기술단체들은 국제원자력안전자문그룹(INSAG), 경수로 선진기술에 대한 국제실무그룹(INGATWCR) 및 고속로 선진기술 국제실무그룹(IWGFR) 등과 같은 IAEA의 여러 기술위원회, 전문가, 자문 및 실무그룹회의, 심포지움 및 국제회의 등에 참여함으로써 많은 것을 얻었다.

한국은 최근 경제협력개발기구의 원자력에너지기구에 가입하여

OECD/NEA 회원국들과 협력을 하게된 바 있다.

#### 정보교환 및 기술훈련 협력

한국이 미국원자력규제위원회의 규제 및 인허가 관행을 많이 참고로 하고 있기 때문에 인허가 관련 정보취득 및 안전요원 훈련에 있어서 NRC와 협조적인 관계가 유지되고 있다. 한국은 필요시에 USNRC의 안전성 관련 과제에도 참여하고 있다.

한국은 또한 기술정보 및 인력교환 그리고 훈련을 위해 캐나다, 프랑스, 독일, 일본, 미국 등 여러 선진국들과 양자간 협약을 체결

하였다. 그러나 이러한 양자간 협력은 소유권문제 발생소지가 없는 개방되고 기초적인 핵관련기술분야의 기술정보교환 및 협력으로 제한되고 있다.

#### 전력사업자, 규제자, 공급자, 연구기관 및 정부간 협력

한국의 원자력위원회(AEC)는 원자력의 평화적 이용에 대한 최고수준의 정책결정 및 조정업무를 수행한다. AEC의 주요활동은 원자력의 이용, 인허가 등의 규제, 원자력관련기관에 대한 연구비 배정, 관련기관의 원자력에너지이용의 조정등과 관련되어 있다. AEC는 현재 경제기획원장관이 겸직하는 부총리가 위원장이 되고 과기처장관, 상공자원부장관, 대통령 경제수석비서관이 위원이 되며, 한전사장이 비정부기관의 위원으로 그리고 2명이 비상임 위원으로 구성되어 있다.

정부가 관리하는 전력사업자인 한전은 현재 「ANPS개발」 과제를 재정지원 및 관리하고 있다. 한국전력기술(KOPEC), 한국원자력연구소(KAERI), 신형원자로 연구센터(CARR, 대학간 협력연구기관)들이 ANPS개발에 대한 연구를 공동수행하고 있다.

또한, 한국원자력안전기술원은 ANPS개발에 대한 새로운 규제요건을 연구할 책임을 갖고 있다. 사업자(IEPCO), 규제자(MOST), 공급자(KHIC KOPEC), 연구기

관(KAERI, CARR) 그리고 정부(MCLER, MOST)간 업무를 조정하는 2단계의 위원회가 있는데 첫째는 관리자급이며 둘째는 실무그룹 수준이다. 한국중공업은 원전부품 및 설비공급자이다.

### 신형원자력발전계통의 미래 및 기대에 대한 한국의 견해

#### 원자력기술의 개발단계 및 현황

한국의 원전건설 및 프로젝트 관리능력은 <그림 2>와 같이 3단계로 개발되었다. 첫단계는 1970년대로 최초의 원전(고리 1, 2호기, 월성 1호기)이 TUN-TURN 계약방식으로 건설되었는데 이는 전적으로 외국회사에 의존한 것이었고 한전과 국내건설회사는 이 단계에서 원자력관련기술 경험을 습득하였다.

두번째 단계는 1980년대로 우리나라의 기술개발에 힘입어 턴키계약방식이 아닌 방법으로 원전이 건설되었다. 이 NON-TURN KEY계약방식에서 한전은 프로젝트관리와 부품구매를 담당하였다. 공학설계는 국내의 여러 공학자들의 참여와 고용된 외국인 기술자의 협력하에 수행되어 왔다. 한국의 원자력기술자들에 있어서 이들 국내기술자들은 중요한 역할을 담당하고 있다.

3단계는 1990년대의 기술자립 및 원전표준화 기간이다. 이 목표달성을 위해서 한전에 의해 국내에 기술전수를 할 수 있는 외국

의 핵증기공급계통 공급자가 선정되었으며 주계약자로서는 국내회사가 선정되었다.

공학설계작업에 있어 국내기술인력의 참여는 영광 3, 4호기 프로젝트에서 극대화되었는데 이러한 노력의 결과로서 1996년 영광 3, 4호기 건설이 완료되는 시점까지 원전설계 및 설비제작의 국산화정도가 95%에 도달할 것이다. 정기적으로 개선되는 모든 기술들은 한국의 최초의 표준형 원전이 될 올진 3, 4호기 건설에 적용될 것으로 기대된다.

#### 신형, 개량형 및 피동형 원전

우크라이나의 체르노빌 참사 및 한국의 최근 민주화 진행 이후 원자력은 대중수용의 문제로 부상하고 있다. 따라서 보다 안전하고 신뢰성이 있는 신형원자력발전계통의 개발 및 실용화는 대중수용을 위하여 필요한 노력으로 인식되고 있다.

1991년 한국정부는 국가의 최우선 핵심선도기술개발과제 중의 하나로 신형원자력발전계통 개발을 선정하였다. 이 단기개발과제는 현재 한전의 관리 및 재정지원하에 산-학-연 합동으로 수행되고 있다. 이 과제에 부가하여 원자력기술에 있어서의 전반적인 기술능력 향상을 위하여 정부는 원자력에너지 연구 10년계획을 시작하였다.

이 계획은 원자력위원회의 승인을 얻어 ANPS개발과 연계하

에 수행되고 있다. 이 국내 원자력기술은 외국기술을 국내 프로젝트에 적용함으로써 습득된 것이다. 최근의 국내기술능력과 원자력기술개발의 국제동향을 고려할 때 한국이 종전의 방법론에서 탈피하고자 주요설계 및 공학적 작업이 국내인력에 의해 수행될 수 있도록 하는 자기개발로 이행할 적기라고 판단된다. 그러나 이러한 노력은 국제협력에 의해 보완될 필요가 있음을 강조해 두고자 한다.

예비연구결과 얻어진 ANPS에 대한 한전의 주요설계요건은 다음과 같다.

- 비상사고발생시에 대응조치가 시작되기 전에 운전원에게 충분한 시간을 주기위한 설계여유도가 보장되어야 함.

- 개선된 피동적인 또는 고유안전특성을 가져야 함.

- 중대사고시 핵분열 생성물의 유출방지가 보장되어야 함.

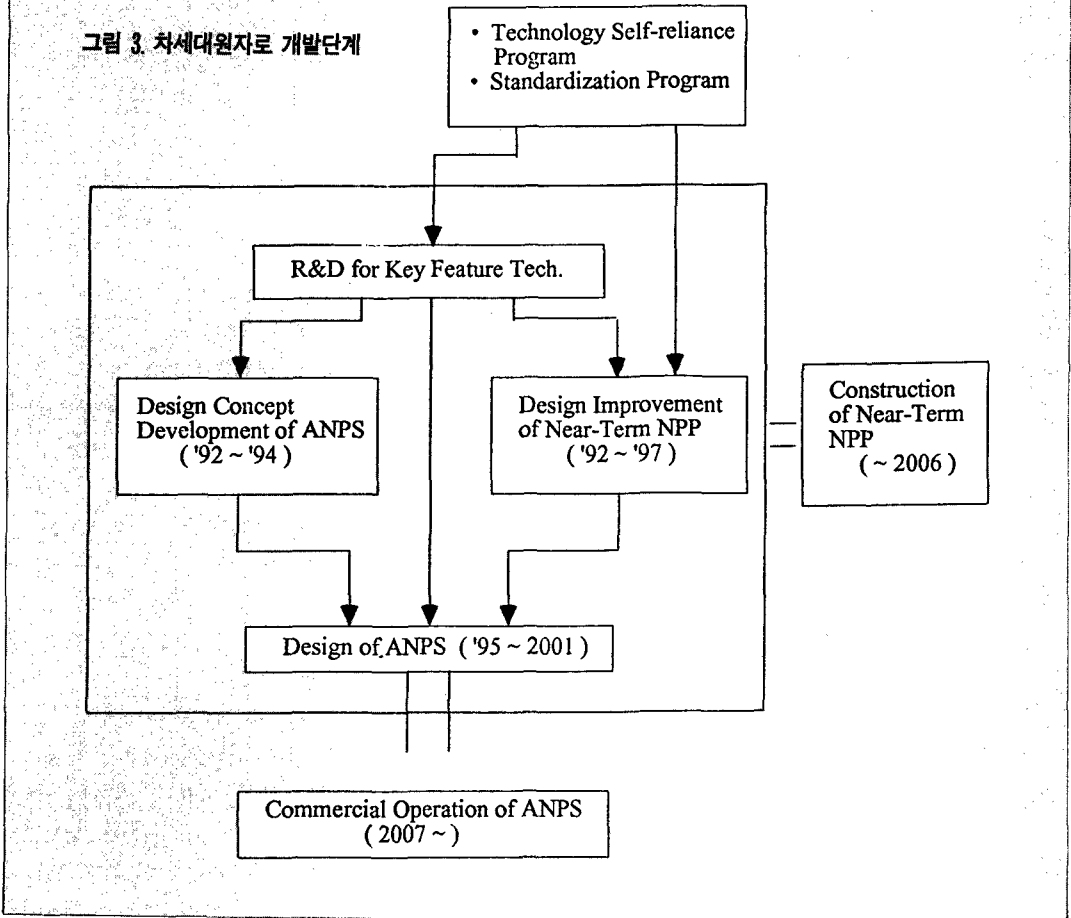
- 고장확률이 낮은 보다 단순한 계통 및 적은 수의 부품이 사용되어야 함.

- 건설공기단축, 원전이용률개선, 원전 장수명화 등을 이룸으로써 다른 에너지원과 비교하여 경쟁력이 있을 것.

- 사용 가능한 입증된 기술사용결과를 프로토타입 원자로가 필요없어야 함.

ANPS의 개발은 <그림 3> 처럼 3단계로 나뉘어진다. 첫단계로 ANPS로형 및 그 설계개념은 AB

그림 3. 차세대원자로 개발단계



B/CE의 System 80+EPRI의 A LWR개량형 및 피동형원전 등의 참조발전소에 대한 연구에 근거하여 1994년 말까지 확정될 예정이다. 2단계인 1995년부터 1998년까지, ANPS의 개념 및 기본설계가 수행될 예정이며 3단계는 1999년부터 2001년까지 상세설계 및 공학적인 제작작업으로 구성

되어 2007년의 ANPS의 상업운전을 목표로 2002년부터 2006년까지 건설작업이 수행될 예정이다.

개량형의 ANPS가 현재의 대용량 LWR형 원전을 기본으로하고 있기 때문에 상용화에는 큰 문제가 없을 것으로 기대된다. 미국의 에너지성과 EPRI의 지원을

받아 개발중에 있는 APWR 피동형 원전들이 중형용량의 원전이라고 할지라도 한전은 신규원전 부지확보와 규모의 경제 때문에 원전규모를 1000MW 또는 그 이상으로 할 것을 검토하고 있다.

**신형 액체금속로**

한전의 전력개발계획에 의하면

원자력은 2006년까지 한국의 총 발전시설용량의 35~40%까지 차지될 것으로 생각된다. 이러한 원자력비율은 2006년 이후까지 지속될 것으로 생각되나 2025년까지 가동원전의 기수는 약 50기 수준까지 이를 것으로 보인다. 한국의 우라늄수요는 비순환성 핵주기의 경우 세계의 우라늄공급의 거의 10%에 도달할 것으로 보이므로 액체금속원자로(LMR)의 이용은 우라늄 가격상승에 대비한 장기적인 확실한 대책이 될 것으로 생각되며 따라서 계속하나의 가능한 대안으로 남겨두어야 할 것이다.

더구나 신형 액체금속로(ALMR)는 Np-237 및 Am-241 같은 악티노이드계 핵종을 태우는 잠재력을 가지므로 장수명 악티노이드의 총량을 1/100로 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다. 이것은 핵심적인 대중수요의 문제인 방사성폐기물관리가 용이해질 수 있다는 것을 의미한다. 상기사실에 근거한 장기예측에 의하면 한국은 고유안전특성을 가진 ANL/IFR(금속연료 및 고온금속처리)같은 경제성 있고 증식이 일어나지 않는 핵주기특성을 갖는 ALMR을 필요로 할 것으로 기대된다. 세계의 우라늄자원, LMR의 경제성 및 세계적인 R&D 프로그램의 추세에 대한 평가에 근거하여 우리나라는 2025년 이후 ALMR의 이용을 고려하게 될 것으로 기대된다.

### 국제협력의 필요성 및 국제기구의 역할

한국이 원자력기술 및 공학적 기술능력에 있어서 자립하기 위해서 노력하고 있지만 그 R&D 및 실용화능력을 고려할 때, 또한 관련비용 및 위험도를 고려할 때 자체적인 ANPS설계를 독자적으로 개발, 시행하는 것은 어려울 것이다. 따라서 한국은 ANPS를 적기에 개발하기 위하여 그러한 모험적 사업의 비용과 위험도를 분담함으로써 ANPS개발을 위한 실제적인 국제협력이 수행될 것을 기대하고 있다.

#### ALWR의 개발을 위한 협력

우리는 IAEA가 ANPS개발의 조정자 역할 뿐 아니라 추진자로서 중요한 역할을 수행해 줄 것을 권고하며 이를 위하여 다음 사항을 확실히 수행해주시기 바란다.

- IAEA가 ANPS에 특별히 주안점을 두고 기술위원회, 전문가, 자문 및 실무그룹회의, 심포지엄 및 국제회의들을 적절한 주기로 개최할 것.

- 제안된 ANPS의 설계특성에 근거한 상호검토를 통하여 최신 기술에 대한 객관적인 평가결과를 관심있는 회원국들이 활용할 수 있도록 조치해 줄 것.

- ANPS설계의 안전원칙 및 기술개발을 위한 기술분야 전문

가 또는 실무그룹이 구성되어 국제적으로 규제의 조화를 이룰 수 있게 해 줄 것.

#### ALMR개발을 위한 협력

한국은 경제적인 핵연료이용 및 악티노이드 변환의 관점에서 2025년 이후에 ALMR을 필요로 할 것으로 기대되며 고유안전성과 증식되지 않는 핵주기특성을 갖는 ALMR의 개발에 관심을 가지고 있다. 지금까지 세계적으로 FBR개발에 250원자로·년의 미화 약 300억달러가 투자된 것으로 추정된다. 따라서 IAEA는 ALWR의 향에서 언급한 대로 ALMR의 개발에 있어서도 동이한 역할을 수행하여야 한다. 즉 ALMR 설계를 위한 기술회의, 심포지엄, 국제회의들을 개최하며 안전원칙 및 기술기준들을 제정해 주기를 바라는 것이다.

또한 ALWR보다 ALMR의 장기개발 전망의 관점에서 핵융합개발 프로젝트인 ITER같은 IAEA나 OECD/NEA의 주요 프로젝트로서 ALMR을 현실화하는 작업이 궁극적으로 수행될 것을 제안한다.

ITER프로젝트는 건설준비를 위한 공학설계활동 수행을 위해 종전에는 따른 작업을 수행하던 4개 주요 분야를 통합하였으며 IAEA의 주도적인 활동이 이 프로젝트를 위해 필요한 모든 전문 지식들을 통합하는 결과를 가져온 바 있다.