

# 우리나라 원전기술 자립현황과 당면과제

이 창 건

원자력위원회 위원



**우** 리나라는 에너지 자급률이 너무 낮아 일단 유사시에 에너지 수급면에서 독립국가를 자처하기 힘들 것으로 본다. 그것은 현재 우리의 에너지 해외의존도가 96%를 넘어 섰기 때문이다(표 1).

다만 원자력발전만은 대외의존 에너지라기 보다는 머리로써 창출가능한 준국산 에너지원이라는 점에서 기술만 제대로 개발하면 외국의 굴레에서 벗어날 수 있는 에너지라고 자부해도 될 것이다.

즉 우리의 능력보유 여하에 따라 자립도를 높일 수 있는 에너지이다.

가스·석유·석탄의 경우 발전단가 중 연료비 비중이 77.4, 75.8, 45.9%를 점하는데 비해, 원자력은 14.7%밖에 되지 않는다.

그것도 그중 많은 부분을 기술로써 충당할 수 있으므로 국산화율을 최고로 올릴 수 있는 에너지이다.

또한 원자력은 공해배출요인이 가장 적은 발전방식이다(표 2).

용은 원자력홍보에 결정적 구실을 하고 있다.

1991년도에 미국 원자력계가 방사성물질 이용과 원자력발전으로 창출한 부가가치는 총 3,300억달러였고, 종사인원은 410만명에 이르렀다.

원자력계의 경제규모는 방사성물질 거래액이 원자력발전의 3.52배이고, 종사인원수는 무려 9.35배이다.

또한 1991년도 미국에서의 방사성물질 사업은 기업에 100억달러의 이익을 초래하였고, 기업은 연방정부·주정부 및 지방자치단체에 450억달러의 세금을 납부하였다.

## 방사성동위원소 이용

원자력발전과 방사성동위원소(RI)는 상호보완 관계에 있고, 특히 RI 이

〈표 1〉 한국의 에너지 수입의존도

연 도	1985	1990	1991	1992	1993	1994
총소비에너지 (백만TOE)	56.3	93.2	103.6	116.0	126.9	137.2
수입에너지 (백만TOE)	42.9	81.9	94.5	108.6	120.3	132.3
해외의존도(%)	76.2	87.9	91.3	93.6	94.8	96.4

〈표 2〉 발전소 연료별 탄산가스 배출량

연 료	석탄	석유	가스	태양광	조력	풍력	지열	원자력	소수력
CO <sub>2</sub> /kWh(g)	295	204	181	55	35	20	11	8	6

1994년 3월 1일 현재 우리나라의 방사성동위원소 이용기관은 901개소였고, 이중 산업체 점유율은 64%, 571회사였는데 지난 10년간 그 수는 연평균 15%의 증가세를 보였다.

금년도의 방사성동위원소 취급면허 소지자수는 3,567명이다.

한편 일본의 RI이용 기관수는 1993년 현재 5천기관이었다.

원자력발전소에서는 Zircaloy (Zirconium alloy)를 많이 쓰는데 그 이유 중의 하나가 중성자 흡수율이 작기 때문이다.

Zirconium 동위원소중 반 이상을 차지하는 Zr-90의 중성자 흡수 단면적은 0.014barn 밖에 안되어 아주 이상적이지만, Zr-91핵종은 Zr-90의 100배 이상이다.

따라서 Zr-90만을 레이저 분리법으로 골라내면 좋을 것이다.

봉소의 경우도 마찬가지다. 즉 발전용 원자로에서 중성자 흡수용으로 냉각재 안에 풀어서 쓰는 Boric Acid ( $H_3BO_3$ )는 산성이기 때문에 물속에 너무 많이 용해시키면 원자로의 구조재나 기기의 부식을 유발할 수 있다.

따라서 중성자 흡수 단면적이 극히 큰 B-10만을 분리해 쓰면 이런 애로를 크게 완화할 수 있다.

특히 B-10의 존재비는 20% 미만이므로 그 효과는 대단히 크다.

이렇게 할 경우 원자로제어의 안전성 향상은 물론 방사선 방출과 작업자에의 피폭량도 줄일 수 있게 된다.

경수로에서는 농축우라늄을 쓰기 때문에 초기노심의 경우 反應度價 (Reactivity Worth)가 너무 높아, 이를 억제키 위하여 핵연료안에 중성자를 많이 흡수하는 가연성 독극물을 넣으며 그 중의 하나가 Gadolinium이다.

그러나 그 동위원소 중 특히 존재비가 16% 정도인 Gd-157의 중성자 흡수 단면적이 유난히 크기 때문에 이것만을 분리하여 쓰면 아주 효과적이다.

Titanium-50은 고속중성자 흡수 단면적이 적어서 (n, p) Reaction이나 (n,  $\alpha$ ) Reaction이 적다.

따라서 존재비가 크고 중성자를 많이 흡수하는 Ti-48을 제거하거나, 중성자 흡수가 적은 Titanium-50만을 분리해 쓰면 방사선 방출을 줄이는데 크게 기여하게 된다.

만일 우리가 특정핵종의 농축도를 높이는 기술을 개발하면 의료용 핵종을 분리하여 그것을 고가로 판매할 수 있다.

뇌에 붕소를 주입하고 거기에 중성자를 투입하여 뇌종양을 치료하는 BNCT(Boron Neutron Capture Therapy)는 대단히 호평을 받고 있는 기술이다.

미국에서는 매일 이 방법으로 수십 명씩 치료하고 있고 환자의 병완패로 보험료 지불이 많이 절약된다 하여 보험회사들이 적극적으로 지원하는 치료법이기도 하다.

또한 우리나라에서도 많이 사용하고 있는 Tc-99m은 반감기가 짧아

Tc-99m Generator에 의존하는 것이 이상적인데 그러려면 Fission Moly 기술이 필수적이다.

그러나 이것을 재처리기술과 직결될지도 모른다는 의혹 때문에 우리가 이것을 실용할 수 있을지는 불확실하다.

현재 우리나라의 Tc-99m 연간 판매량은 2,000Ci에 약 20억원에 이른다.

6개월 내지 12개월 동안 50만달러 내지 100만달러를 투입하여 배관계통의 누설을 찾아내는 작업에 RI를 쓰면, 불과 며칠 또는 몇주안에 25,000~50,000달러만 가지면 된다.

물론 배관계통 정지시간을 줄이는 데도 크게 기여한다.

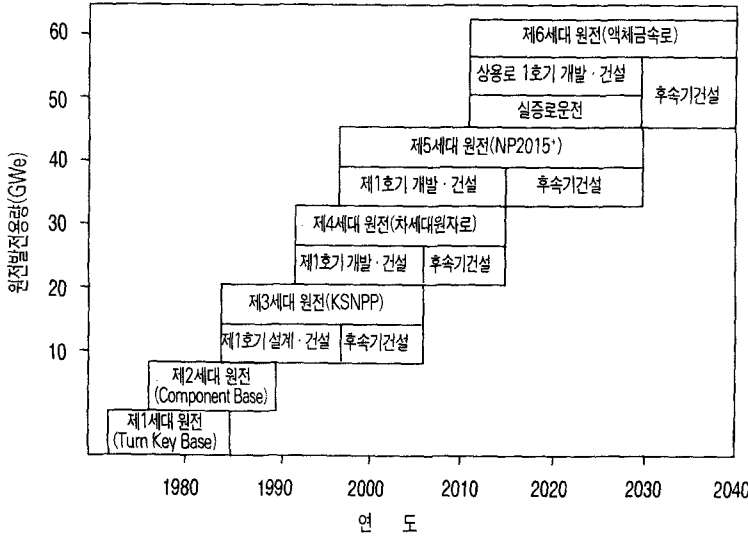
이처럼 RI 이용은 산업·의료·토목·지질·농업 등 여러 분야에서 큰 몫을 싸게 담당할 수 있다.

## 원자로개발

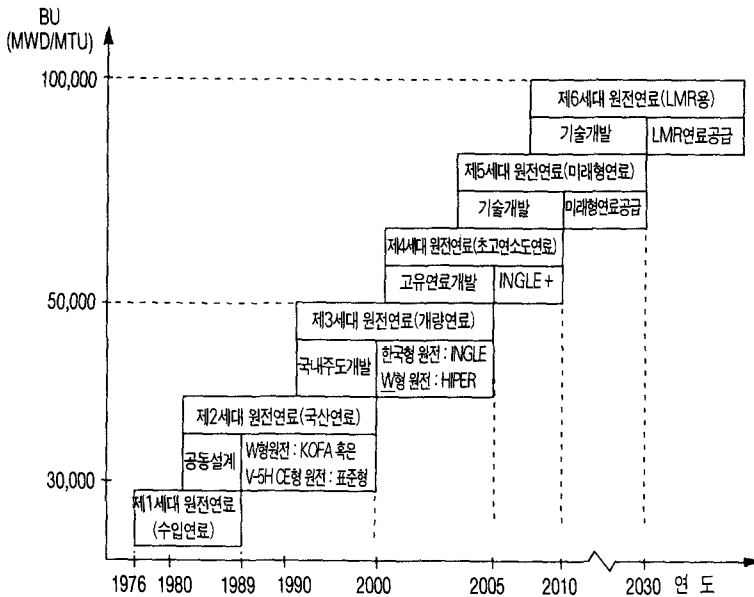
<그림 1>은 21세기 초까지 개발하려는 원자로형을 보여주고 있는데, 이것은 현재 우리가 설계중인 한국형 가압경수로 기술을 바탕으로 하여 앞으로 제4세대, 제5세대, 제6세대까지 추진할 목표이다.

<그림 2>는 <그림 1>의 노형을 뒷받침할 핵연료 개발계획이며, <그림 3>는 중수로핵연료개발계획을 나타내고 있다.

전산 프로그램은 영광 3·4호기 착수 이전에는 엔지니어링 설계용 98종, 사업관리용 10종, CAD용 31종



(그림 1) 원자로개발전략



(그림 2) 원전연료(PWR/LMR용)개발전략

등 총 139종 등만 보유하고 있으나, 기술도입 및 자체개발 프로그램을 통하여 현재는 설계용·사업관리용·

CAD용 포함 408종을 확보하여 설계에 사용하고 있다. 또한 전산프로그램의 효율화를 위

하여 자체 기술진이 PC 및 W/S용 프로그램으로 Down Sizing을 추진함으로써 전산프로그램의 사회적 변화에 적응하고 있으며, 영광 5·6호기에서는 효율성이 제고된 전산프로그램을 사용하게 될 것이다.

### 차세대원자로 기술개발

(표 3)은 우리가 개발하려는 차세대원자로의 설계기본요건을 안전성 목표, 경제성 향상목표 등의 관점에서 나열한 것이다.

차세대원자로의 노심손상빈도는  $10^{-6}/\text{노} \cdot \text{년}$ 를 목표로 하고 있으나, 실제로는 이보다 10분의 1 낮추는 것을 목표로 하고 있다.

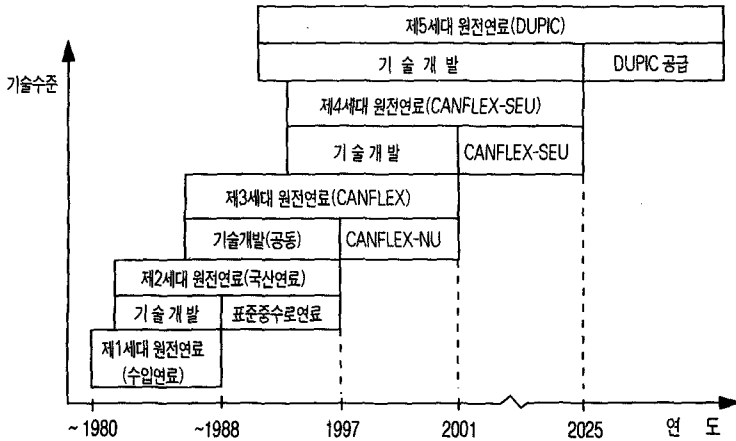
격납용기 손상확률은 노심손상빈도의 10분의 1로 책정하고 있다.

차세대원자로는 경제성 향상을 위해 용량을 1,350MWe, 수명을 30년에서 60년으로, 건설공기를 5년에서 4년으로 책정하고 있으며, 아울러 이용률 90% 달성과 핵연료 주기비를 낮추기 위해 핵연료의 교체주기를 1.5~2년을 목표로 하고 있다.

차세대원자로는 한국형원자로 제 5·6호기 즉 우리나라의 20번 및 21번체의 발전로가 될 것이다.

### 고유안전로 설계기술개발

고유원자로(Inherently Safe Reactor)는 이론적으로는 충분히 가능



(그림 3) 원전연료(중수로용)개발전략

〈표 3〉 차세대원자로 기본설계개념

기존 발전소에 비해 안전성·경제성·성능운전 보수성이 획기적으로 향상된 계통구성
○ 사고저항력 향상 : 설계단순화, 설계여유도 확보 및 인간공학설계
○ 노심손상빈도 최소화 : 다중의 비상노심냉각 계통 및 잔열제거계통 압력증대
○ 대량 방사능 누출 가능성 극소화 : 강건한 격 납건물 설계, 원자로 공동침수 계통, 수소 점 화기 등의 중대사고 완화설비 채택
○ 이용률 제고 : 각종 계통의 신뢰도 향상
○ 설계수명 연장 : 원자로 용기 재질개선 및 주 요기 기교체방안 확보
○ 작업자 방사선 피폭저감 : 각종 절차 및 설비 개선
○ 방사성폐기물 발생량 최소화 : 각종 폐기물계 통설계 개선

하고 또 우리의 희망사항이긴 하나 이것을 실현시키기 위해서는 공학적으로 해결해야 할 사항이 너무 많다.

즉 이 노형을 우리나라 단독으로 개발하기에는 예산·인력 및 기술면에서 부담이 너무 크다.

따라서 외국과 연대하여 공동추진한다면 어느 정도의 설계국산화율 달성할 것으로 본다.

충분한 예산과 인력을 투입하면 금세기내에 NSSS의 설계기술의 고도화와 고유모델 설계기술 확보가 가능할 것으로 본다.

1. 국외 기술현황

세계각국의 고유원전모델(대용량 개량경수로)의 개발현황은 다음과 같다.

미국은 ABB-CE사의 System 80+ ALWR(1,350MWe)과 웨스팅 하우스사의 APWR(1,360MWe) 등

이 에너지성(DOE)의 ALWR 프로그램에 의해 원전표준화작업이 수행되고 있다.

프랑스는 1,300MWe의 표준화 P-4 시리즈를 개선한 N4 모형을 건설중에 있으며, 정부 주도의 강력한 개발체제로 일원화되어 있는 것이 특징이다.

또한 영국의 Sizewell-B, 옛소련의 VVER-1000, 일본의 APWR(1,400 MWe)과 각각 2000년과 2003년에 상업운전 예정인 Tsuruga 3·4호기가 고유원전모델로 개발되고 있다.

이와 같이 세계 원자력산업계는 상호협력에 의한 표준화와 단순화방향으로 나아가고 있다.

2. 국내 기술현황

1986년부터 영광 3·4호기 계통설계 및 핵연료설계사업에 참여 이후 약 8년 동안 외국회사와 기술전수 및 공

동설계를 통하여 기술자립단계에 도달하여 부분적으로 기술개량 및 개발이 가능하다

기존 한국형 표준원전 설계기술은 기술도입업인 ABB-CE사의 System 80을 근간으로 설계개선하여 국산화시킨 복제설계기술 수준이다.

그러나 우리나라의 고유 원전기술, 고유 브랜드가 없어 원전설계기술에 대한 국제적 신뢰가 미흡하고, 원전기술의 수출산업화의 관건인 설계기술의 완전자립과 독창적 한국형 고유모델 개발의 초보단계이다.

3. 개발목표

우리나라의 고유안전로 개발목표는 첫째, 한국형 표준원전 설계기술의 고도화, 둘째, 우리 고유의 독창적 원전 설계기술 모델의 확보, 셋째, 국제적

(표 4) 차세대원자로 설계기본요건

구분	중요요소	기본요건	설정방향	항
안전성목표	안전성목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>노심온상빈도 : 10<sup>7</sup>/RY 이하</li> <li>격납건물온상빈도 : 10<sup>6</sup>/RY 이하</li> <li>토양오염방지를 위한 장수명핵종 Cs-137 누설량 제한(2,700Ci 이하)</li> <li>중대사고관련조건 : 25rem 이상 방사능 누출빈도 10<sup>6</sup>/RY 이하</li> <li>설계기준 : 15cm 이하 배관 전면파괴시 노심온상 방지</li> <li>주요설비 관련조건                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- RCS</li> <li>- 안전주입계통(4Train 주입, 원자로용기 직접주입)</li> </ul> </li> <li>격납건물(콘크리트 이중격납건물)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 중대사고인화 설계(수소재, 격납건물 직접기열 방지 및 노심용융물 냉각)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>차세대원전은 기존 원전보다 한 차원 높은 안전성 확보 필요</li> <li>해위개발 차세대원자로와 대등한 수준</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>차세대원전에서는 중대사고 대처설비 고려                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 세계적인 규제요건 동조화현상에 대비</li> </ul> </li> <li>노심온상방지에 여정</li> <li>기존원전의 취약점 보완</li> <li>중대사고현상 설계 고려</li> </ul>
	인허가조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>중대사고인화 설계(수소재, 격납건물 직접기열 방지 및 노심용융물 냉각)</li> <li>원전정전사고 대처능력 : 8시간 동안 안전성 유지, 대체 교류전원 확보</li> <li>운전원조지 여유시간 : 30분 이상</li> <li>인공학조건 : 허용식 설계방식에 의한 최신 인간공학 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>TMI 사고 등에서의 경험을 고려 인적실수를 최소화할 수 있는 설계개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 운전원 판단이 용이한 설계, 충분한 조치 여유시간 제공, 운전원 실수를 허용할 수 있는 설계</li> </ul> </li> <li>Plant Level의 종합 신뢰도 확보가 가능토록 체계적 관리개발 운영</li> </ul>	
	심층평가개념강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>인공학조건 : 허용식 설계방식에 의한 최신 인간공학 적용</li> <li>기기신뢰도 유지 : RAP 개발운영</li> <li>설계정보의 체계적 종합관리 및 이용 : IMS 개발운영</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>타 원전 대비 경제적 우위 확보</li> <li>경제성 향상을 위한 요소를 종합적으로 고려</li> <li>기자부하 발전소 중 최상의 경제성 확보</li> </ul>	
	인간실수최소화	<ul style="list-style-type: none"> <li>수명기간목표 : 60년</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>응광각상</li> </ul>	
	기동차최소화	<ul style="list-style-type: none"> <li>단기목표 : 기존원전 대비 비용절감</li> <li>용량 : 1,350MWe</li> <li>건설공기 : 48개월</li> <li>설계인성률 : 기본설계(20%) + 상세설계(40%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내의 실적감안 최단공기 목표설정</li> <li>설계표준화를 극대화</li> <li>설계에 건설성 적극 반영</li> </ul>	
	경제성목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>모듈공법 : 대형 모듈화</li> <li>설계단순화 : 현실적 Source Term, OBE 분석제거, LBB 확대적용 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내의 운전경험 반영, 가동을 목표를 더욱적으로 설정</li> </ul>	
	규모의경제성	<ul style="list-style-type: none"> <li>가동률 목표 : 운전중 90% 이상</li> <li>재정전 주기 : 18~24개월</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>설계시 보수편의성 적극반영</li> <li>해외 차세대원전과 대등한 수준</li> <li>안전성과 경제성 향상 효과 동시 추구</li> </ul>	
	건설공기	<ul style="list-style-type: none"> <li>보수성 : 기기 및 부품의 표준화</li> <li>설계수명 : 60년</li> <li>설계단순화                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 충분한 설계여유도 확보</li> </ul> </li> <li>인공학기술 적용                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 임종기술 적용</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내외 운전경험 반영</li> <li>해외 차세대원전과 대등한 수준으로 설정</li> </ul>	
	가동률	<ul style="list-style-type: none"> <li>설계여유도 : 열적여유도 10~15%</li> <li>기동률 : 90% 이상</li> <li>일일부하추종능력 확보</li> <li>MOX 연료 장전가능</li> <li>불시정지 회수 : 0.8회/년</li> <li>직업자 피폭선량 : 5년 평균 개인 2rem/년 이하</li> <li>폐기물발생량 : 고체 50m<sup>3</sup>/년, 액체 0.05Ci/년, 기체 200Ci/년 이하</li> </ul>		
	안전비용절감			
가동면허연장				
설계원칙				
기타				

(표 5) 고유안전로 개발추진내용

<b>핵연료설계분야</b>
○미래형핵연료개발분야
○핵연료기계분야
○핵연료집합체분야
○핵연료제조 및 QA분야
○노심설계분야
<b>계통설계분야</b>
○냉각계통분야
○안전계통분야
○화학제적제어계통분야
○원전안전공학분야
○유체계통개발분야
○열수력분야
○과도해석분야
○성능해석분야
○사고해석분야
○계통기계분야
○원자로기계분야
○계통안전평가분야
<b>전산코드분야</b>
○노심설계분야
○사고해석분야
○기계설계개발분야
○감시계통분야
○보호계통분야
○제어계통분야
○개량형 CFMS 분야
○MMIS 개발분야
○차세대/ADONIS 개발분야
<b>종합조정분야</b>

인 경쟁력을 갖춘 원전설계기술 수출 기반구축 등이다.

**결 론**

**1. 부정적인 측면**

첫째, 우리나라의 경우 기술의 줄

기·잎·꽃은 무성하나 뿌리는 약하다. WTO 체제에서는 뿌리가 약한 나무는 쓰러질 것이므로 이에 대한 대책이 시급하다.

둘째, 부처간·기관간·부서간에 할거주의가 팽배하여 기술개발에 투입해야 할 인력·시간·노력을 낭비하고 있는 것이 안타깝다.

셋째, 부처장·기관장·프로젝트 책임자들의 빈번한 교체로 기술개발 정책에 대한 일관성이 결여되어 있다.

즉 높은 사람이 바뀔 때마다 모든 것을 다시 시작해야 하니 대부분의 경우 제1장, 제1절에 머물러 있는 경우가 허다 하다. 또 순환보직으로 기술능력의 깊이가 얕다.

넷째, 너무 첨단기술에만 치중하여 기반기술과 기초가 약하다.

다섯째, 인력동결과 예산부족, 우수한 신입사원 확보난 등이 우려된다.

마지막으로 기술을 개발하면 같은 기술을 외국서 수입하는 정책은 지양하여야 한다.

**2. 긍정적인 측면**

서구사회가 원자력발전을 기피하고 있는 동안 우리는 꾸준히 사업을 추진해와 상대적인 지위향상을 기할 수 있었다. 그것은 원자력이 Buyer's Market를 형성하여 그 호기를 포착할 수 있었기 때문이기도 하다.

중견급 이상의 인력은 극히 우수하고 또 현신적이다. 따라서 업무수행에

서는 물론 외국과의 교섭에서도 유리한 고지를 점할 수 있다. 또한 후발개도국의 원자력발전 사업에 참여가 가능하다.

기후변화와 온난화 방지를 위해서는 원자력발전이 필요불가결의 수단임이 점차 인식되어 가고 있다.

앞으로 기후변화협약이 공식 발표되면 원자력발전의 르네상스를 맞이하게 될 가능성도 엿보인다.

그리고 대북 경수로지원에서 한국표준형이 채택됨으로써 원자력계의 위상이 외교경로를 통해 높아졌다.

**3. 대 책**

첫째, 원자력위원회 또는 협의기구를 통하여 부서 및 기관할거주의를 억제해야 하며, 기관의 상호협력강화책 모색이 절실하다.

둘째, 우수인력 확보를 위해 인센티브를 부여해야 한다.

셋째, 홍보활동을 강화해야 한다.

넷째, 안전문화의 정착이 절실하다.

다섯째, 방사선과 RI이용을 통한 간접홍보 이용 즉, 환자치료에 성공할 경우 대대적 홍보추진방안 등의 수립이 필요하다.

여섯째, 원자력으로 지구를 살리자는 캠페인을 벌여 에너지의 안정 확보와 환경보전 및 경제성 향상면을 부각시켜야 한다.

일곱째, 원자력 평화이용이 방해받지 않도록 원자력외교를 펴야 하며, 자체 인력개발에 힘써야 한다.