

세계 각국의 차세대 원자로 개발 동향

World Status of Research and Development
on the Next Generation Reactors

최영상, 박기철
한전 기술연구원

1. 서론

영국의 산업혁명을 발판으로 중세의 정체시대로부터 근대 문명으로 재도약을 시작했던 1800년 무렵만 해도 지구상의 인구는 오늘날 중국의 인구와 비슷한 수준인 10억에 불과했다. 그러나 급속한 과학과 의학의 발달로 인구는 급속히 증가하기 시작하여 1930년 20억의 인구가 1975년에 40억이 되었고 52억에 이르게 된 현재의 인구 또한 40년후면 100억이 넘어설 것으로 추정되고 있다.

그렇다면 이렇게 급속히 증가하는 인구의 젓줄이랄 수 있는 에너지의 형편은 어떠한가.

현재 세계적으로 주종을 이루고 있는 에너지 자원은 화석연료. 매장량이 확인된 지구상의 화석연료는 석유가 7천여억 배럴로 가채년수가 35년정도이고 천연가스가 100여조입방미터로 50년 조금 넘게 쓸 수 있는 양이며 비교적 석유가 있다는 석탄은 7600억톤으로 200년정도는 쓸 수 있으나 일부지역에 편중되어 있어 수송의 어려

움이 있고 온실효과, 대기오염 등으로 사용에도 많은 문제점을 안고 있다. 이렇듯 화석연료만으로는 인류가 당면한 에너지 위기를 해결할수 없는 상황에서 에너지의 주역으로 새롭게 등장한 것이 바로 원자력이다. 원자력은 가장 유망한 에너지원으로 인정되면서 미국을 비롯한 기술선진국을 중심으로 급속히 개발되어 상업화 이후 불과 30년만에 세계 전력수요의 약 17%(에너지 총수요의 약 8%)를 충족하게 되었으며 계속 증가추세를 보이고 있다.

우리나라 또한 60년대 이후 경제구조가 커지고 에너지 수요가 급증하면서 대부분의 에너지를 해외로부터의 수입에 의존하게 되자 에너지 자립 노력의 일환으로 원전 건설에 주력하여 '89년말 현재 국내 전력수요의 50.1%를 원자력발전으로 공급하였는데 이는 전체 에너지수요의 5% 이상을 원자력으로 조달한 셈이다.

원자력의 주된 이용분야는 원자력발전인데 원자력발전은 발전원가중 연료비 비중이 매우 작아 발전소 건설 및 핵연료 제작기술까지 자체 기

솔로 해결할 경우 95% 이상 국산화가 가능하므로 에너지 자원이 부족한 나라에 매우 적합한 에너지 원이다.

그밖에도 원자력은 산업공정열, 지역난방 및 해수 담수화 등에 열원으로 이용되고 있으며 방사선으로 질병의 진단과 치료, 농작물의 품질개량, 멸균소독, 식품보존, 공업제품의 비파괴검사, 골동품의 검사와 고고학의 연구 등의 분야에서 폭넓게 활용되고 있다.

그러나 이 세상에 존재하는 모든 것이 야누스적 양면성을 지니듯이 인간에게 많은 혜택을 주는 청정 에너지 원인 원자력도 방사선 폐기물의 처리처분 및 방사능 유출사고 등의 문제 때문에 적지 않은 사람들의 외면을 받고 있는 것 또한 사실이다. 특히 지난 '86년 4월 소련의 체르노빌 원전사고는 막대한 피해를 가져 왔고 일부 국가에서는 원전 개발을 중지하거나 아예 포기하는 사례까지 생기게 되었다.

그렇지만 계속 늘어만 가는 에너지 수요에 대한 마땅한 공급대안이 원자력 외에는 없는 현실에 있어 유일한 해결방안은 기술산업인 원자력의 특성을 살려 기술개발에 의해 원자력의 부정적인 면을 극소화하고 이용분야를 다양화시키는 방법뿐이라는 것이 에너지 전문가들의 일반적인 의견이다.

이러한 노력의 일환으로 미국을 비롯한 기술선진국들은 혁신적인 설계개념 변경을 통해 안전성을 획기적으로 고양시키고 설비간소화, 표준화, 모듈(Module)화 등 설계변경이 비용절감으로 이어질 수 있는 차세대 원자로(일반적으로 신형원자로로 통용되고 있음) 개발에 노력을 경주하고 있다.

원전의 안전성에 대한 일반대중의 관심이 높아진 가운데 각국의 안전요건 또한 강화될 움직임이어서 자원빈국에서 에너지 수요의 많은 부분을 원자력에 의지할 수 밖에 없는 우리로서는 이러한 차세대 원자로 개발동향에 관심을 갖지 않을 수 없다.

따라서 개발되는 주요 차세대 원자로의 특성

및 각국의 개발동향을 살펴 보는 것이 향후 국내 에너지 수급정책, 특히 전원개발 정책에 많은 참고가 될 것으로 생각한다.

2. 차세대 원자로의 특성

가. 안전성

세계 각국에서 개발중인 차세대 원자로로는 일 반대중 및 전기사업자의 욕구를 동시에 만족시키고 대체 에너지 원으로서의 이용도를 높이기 위해 안전성 및 경제성을 혁신적으로 개선하는 것을 개발목표로 하고 있다. 지금까지의 상업용 원자로로는 개발과정중 경제성 향상을 위하여 매우 조밀한 설계방법을 채택하여 왔다. 이러한 설계방법이 경제성 향상에 기여한 것은 부인할 수 없으나 대신 운전여유폭이 좁아져서 원자로가 정상상태를 벗어날 경우 곧바로 관련기구나 계통의 동작에 의한 조치가 요구된다. 다시 말하면 원자력발전소의 운전원은 비정상상태를 제어할 수 있는 고도의 운전기술을 갖추고 있어야 한다는 사실을 말하며 비정상상태에서의 실수는 곧 큰 사고로 이어질 수 있다는 것을 의미한다. 특히 문제되는 것은 원자력 발전소가 재량 보급되어 보편화되는 경우인데 운전원의 근무요건은 국가적, 사회적, 전력사업별 여건에 따라 각기 달라지므로 모든 운전원에 대하여 항상 일정수준이상의 Performance를 기대하기가 매우 어려워지기 때문이다. 따라서 차세대 원자로에서는 운전원 의존도를 최소화하고 비정상 상태에서도 충분한 시간을 가지고 대처할 수 있도록 하기 위하여 핵연료 출력밀도를 낮추는 방안, 일차계통의 열처리 능력 증대를 위한 원자로 용기, 가압기, 증기발생기 등의 용량을 확대시키는 방안, 그리고 핵연료에서 발생된 열을 증기발생기에 전달해 주는 냉각재가 보유하는 출력상승 억제특성을 극대화하는 방안 등을 설계에 반영시키고 있다.

원자력발전소의 안전성은 대체로 핵연료 발열

반응을 중지시키는 원자로 정지제통과 정지후 아직 적지않은 핵연료를 냉각시켜 주는 잔열 제거 제통의 설계개념을 토대로 이야기할 수 있는데 기존 경수로에서의 원자로 정지제통 사고확률은 10만분의 1 수준으로 평가되고 있으며 잔열제거 제통의 사고확률은 이보다 낮은 것으로 나타나 있다.

그러나 일반대중의 원자력발전소의 안전성에 대한 기대수준이 점점 높아지고 있고 전기사업자 또한 원전사고로 인한 투자위험이 최소화되기를 바라고 있으며 대부분의 국가가 차세대 원자로에 적용될 안전성 요건을 강화할 움직임을 보이고 있어 앞으로의 원자로로는 10^{-7} Failure/Challenge 수준의 원자로 정지기능 및 잔열제거 기능을 구비하여야 할 것으로 판단되나 설비의 구성으로 볼 때 기존의 설계개념을 변경시키지 않은 상태에서 잔열제거 제통의 신뢰도를 이런 수준으로 향상시키기는 매우 어려운 것으로 판단된다.

따라서 향후 개발될 차세대 원자로는 일차적으로 잔열제거 제통에 피동 안전성 (Passive Safety) 또는 고유 안전성 (Inherent Safety) 의 설계개념을 반영시켜 신뢰도를 고양시키고 궁극적으로는 원자로 정지제통까지 동 개념이 적용될 수 있도록 하는 노력들이 진행되고 있다.

나. 경제성

기존의 원자력발전소는 TMI 사고 이후 규제 지침의 과도한 증가 및 석탄 및 석유가격의 하락으로 경제적 경쟁력이 약화되어 왔다. 이러한 원자력발전소의 경제성 약화는 안전성에 대한 일반 대중의 우려와 더불어 세계의 원자력 시장을 침체에 빠지게 한 주요 원인이 된 것이 사실이다.

따라서 새로운 원자로를 개발하고 있는 각국은 원전의 경제성 제고를 위한 여러가지 방안을 설계에 도입하고 있으며 그 하나가 제통의 단순화 및 표준화이다.

원자력발전소의 단순화는 경제성 측면뿐만 아

니라 안전성 측면에서도 매우 중요하다. 동력의 존 기기 (Active Component)의 사용을 최소화하고 불필요한 제통이나 기기들을 배제함으로써 직접적인 건설비의 절감뿐만 아니라 정상운전이나 사고시 효율적으로 대처할 수 있기 때문이다.

또한 차세대 원자로에서는 단순화, 표준화와 더불어 Module화 개념을 도입, 건설 공기를 최소화하려고 시도하고 있는데 원자력의 발전단계는 자본요소가 60% 이상을 차지하며 자본의 지출은 건설비와 직접 비례하므로 건설공기의 단축은 원전의 경제성 제고에 매우 중요한 역할을 하게 될 것이다.

원전의 이용률 또한 경제성에 상당히 중요한 영향을 미치는데, 차세대 원자로에서는 고연소 핵연료 개발을 통한 교체주기 연장, 정기보수기간 단축, 기기 및 제통의 개선, 운전원의 실수에 의한 불시정지 요소 등을 극소화하는 방안을 설계에 반영함으로써 이용률을 높이려는 노력을 하고 있다.

그밖에 원자력발전소의 설계수명을 연장시키는 방안, 유지 및 보수 효율화를 위한 설계개선 등에도 많은 노력을 기울이고 있다.

다. 기술특성

원자력 선진국들은 원전 운전의 안전성에 대한 신뢰도를 높이기 위하여 다각도의 첨단기술을 차세대 원자로 설계에 접목시키고자 주력하고 있다. 이러한 노력중 가장 팔목할만한 기술의 진전이 I&C 분야에서 이루어질 것으로 보인다. 현재의 원자력발전소 설계는 대부분 자동화에 의해 안전요건을 만족시키고 있음에도 불구하고 운전사고의 50% 이상이 인간 실수에 의하여 발생하였고 모든 고장의 50~70%가 인간 오류에 기인하였으며 TMI 및 Chernobyl 사고도 인적 요소가 주 사고원인이었음을 감안할 때 보다 효과적인 Man-Machine Interface의 해결방안이 필요한 것으로 나타났다.

따라서 차세대 원자로에서는 인간공학을 최대한 반영한 정보전달 체계와 과부하 상태나 사고

발생시 운전원의 대응조작 능력을 극대화시킬 수 있는 방안 등을 설계에 반영시키고자 하고 있다.

또 하나의 두드러진 특징은 대부분의 신형원자로 설계개념들이 피동 안전성 또는 고유안전성을 설계에 반영하면서도 그 적용방법에 있어 실증기술에 기반을 두려한 점이다.

이러한 노력은 특히 피동형 신형원자로 설계 개념에서 두드러지는데, 이는 상업화를 앞당길 수 있는 요소가 될 수 있을 것으로 판단된다.

라. 차세대 원자로의 주요 개발목표
(표 1 참조)

3. 각국의 연구개발 동향

가. 안전기능에 따른 원자로 분류

세계 각국의 연구개발 동향을 검토해 볼때 차세대 원자로 노형개발 전략은 안전기능에 따라 다음과 같이 크게 3개 유형으로 구분할 수 있으며 개발중인 대부분의 차세대 원자로가 물을 냉각재로 사용하는 경수형 원자로이다.

한편 핵연료 자원의 활용 극대화를 꾀할수 있는 고속중식로도 안전성 개념에서 고유안전특성을 보유한 방향으로 발전될 것으로 판단된다.

○기존 대용량로의 개량, 개선 (개량형 경수로)
○설계간소화를 포함한 피동안전성 기술적용 (Passive Reactor)

○고유안전성 기술의 개발 및 적용 (Inherently Safe Reactor)

각국에서 개발중인 주요 차세대 원자로를 상기 3개 유형으로 구분해 보면 표 2와 같다.

〈표 1〉

내 용	기존 가압경수로	신 형 안 전 로
1. 안전성 • 노심손상 확률 • 설계기준 사고시 운전원 대처시간 • 전 전원상실 사고시 노심 손상 대처시간 • 안전 계통 • 인간공학적 요소	연 10E - 4 이하 10분~3시간 30분~8시간 능동형 애널로그식 계측제어로 미비	연 10E - 5 이하 72시간 무 한 고유 / 피동형 디지털 방식으로 운전편의 극대화
2. 인허가	Plant별 개별적 적용 (건설허가, 운영허가)	Design Certification 획득을 전제한 One Step Licensing
3. 성능 • 이용률 • 수 명 • 불시 운전정지 빈도	80% 40년 약 10회 / 년	87% 60년 < 1회 / 년
4. 노심주기 • 핵연료 교체 주기	1년	2년
5. 경제성 • 건설기간 (콘크리트 타설 ~핵연료 장전) • 계통 단순화	56개월 100% (기준)	36개월 < 50%

〈표 2〉 안전기능에 따른 원자로 분류

	개량형 경수로	신 형 로	
		피동안전성 원자로	고유안전성 원자로
비정상상태 대처 여유	-저출력 밀도 -일차계통 열대처 능력 증대	-저출력 밀도 -일차계통 열대처 능력 증대	-저출력 밀도 -일차계통 열대처 능력 증대
원자로 정지계통	-기존제어계통 개선	-기존제어계통 신뢰도 향상	-자동 정지기능
잔열제거계통	-기존 잔열제거계통 신뢰도 개선	-자동 잔열제거기능 -외부전원 불요	-자동 잔열제거기능 -외부전원 불요
원자로 종류	-Sys. 80+ (미국) -Sizewell B (영국) -N4 (프랑스)	-AP-600(미국) -SBWR (미국) -SIR(미, 영)	-PIUS (스웨덴) -ISER (일본) -LMR (미국)

나. 개발동향

(1) 미 국

미국은 개량형 경수로 개발계획으로부터 고유 안전성 원자로 개발계획에 이르기까지 매우 방대한 연구개발을 추진중에 있다.

미국 에너지 정책보고서(NEPP-V)에 나타나 있는 미국 에너지 정책의 3대 요소는 석탄, 원자력, 에너지 절약으로 원자력 에너지를 주 에너지 원으로 계속 개발할 것으로 보인다.

(가) 개량형 경수로

개량형 경수로는 앞으로도 계속 발전설비로서 큰 몫을 담당할 것으로 판단된다. 미국 정부(US DOE)는 그동안 미국전력연구소(EPRI)의 개량형 경수로 개발계획(ALWR Program)을 지원해 왔으며 현재에는 상세설계 및 건설 추진단계로서 EPRI와 원자로 사업자 그리고 전기사업자 간의 협력방안이 모색되고 있다.

(나) 피동안전성 원자로(Passive Reactor)

EPRI는 ALWR Program 초기의 중소형 원전 개발계획을 현재의 Passive Plant Program으로 변경하여 피동안전특성을 보유한 중소형

원전 개발을 추진하고 있는데, 이는 비교적 투자위험이 낮고 전력수요에 대한 탄력성이 큰 중소형 원전의 용량감소에 따른 경제성 저해 요인은 피동안전 특성이 갖는 장점으로 극복될 수 있다는 확신이 생긴 것으로 해석된다.

특기할 점은 미국 정부가 Passvie Plant 상세설계 및 DC(Design Certification)에 소요되는 비용의 50%(노형당 5천만불)를 지원키로 한 사실로서 Passive Plant의 상용화에 정부차원의 강인한 의지가 있음을 표현한 것으로 볼 수 있다. 지원대상 원자로로는 웨스팅하우스의 AP-600 및 GE사의 SBWR이 각각 선정되어 연구개발이 진행중에 있다.

(다) 고유안전성 원자로(Inherently Safe Reactor)

미국이 추진하고 있는 고유안전성 원자로 개발사업으로는 MHTGR과 PRISM의 연구를 꼽을 수 있다.

MHTGR의 경우 단기적으로 군사용, 장기적으로는 민간용으로 사용하고자 개발하고 있으며 PRISM은 고유안전 특성을 갖춘 고속증식로서 동 원자로가 상용화될 경우 우라늄 자원 이용 극대화에 크게 기여하리라 판단된다.

미국은 이러한 기술개발계획과 병행하여 규제 제도의 개선, 인허가 절차의 간소화 등 제도적 개선방안도 모색하고 있으며 상기 계획에 포함되어 있는 노형 이외에도 연구소 단위 또는 민간산업 차원에서 연구되고 있는 노형들도 많은 것으로 알려져 있다.

(2) 영국

영국은 대용량 원전으로서 Sizewell B수준의 개량형 경수로를 개발, 건설중에 있고 차세대 원자로로서 SIR을 개발하고 있는데 SIR은 2000년대에 자국내 가동을 목표로 미국과 컨소시엄을 형성하여 연구개발을 추진중에 있다.

(3) 일본

일본은 일찍부터 개량형 경수로인 APWR과 ABWR 개발을 추진하였으며 중소형 규모의 새로운 원자로 연구개발에도 다방면에서의 활동을 전개하고 있는데, 아직은 초기 연구단계에 머무르고 있지만 앞으로 설계개발 및 실증분야에 많은 활동이 기대되고 있다. 일본 원자력연구소의 고유안전성 원자로에 관한 설계 및 고온 가스로 연구와 동경대학의 ISER 원자로 연구가 그 대표적인 예로 실험로를 건설하는 등 적극적인 연구개발을 추진하고 있다. 산업계에서는 미국의 AP-600, SBWR의 용량을 증대시킨 AP-900, TSBWR-900, HSBWR-900 등의 개발에 관심을 보이고 있다.

(4) 서독

서독은 고온 가스 냉각로인 발전용 실험로 AVR과 원형로 THTR-300을 건설, 가동한 바 있으며 이러한 기술 기반을 바탕으로 BBC/HRB사가 HTR-500, IA사가 MRS-HTR의 설계를 추진중이다. 또한 BBC/HRB사는 AVR의 실증결과를 최대한 활용하여 개발도상국에 적합한 노형인 HTR-100개발도 추진하고 있는데, 현재 서독 국내에는 수요가 없어 동구제국 및 개도국에 개발중인 고온 가스 냉각로의 직접수출 또는

기술협력에 의한 건설유도 등을 꾀하고 있다.

(5) 프랑스

프랑스는 그동안 추진하여 온 개량형 경수로 N4 표준화계획을 계속 추진할 것으로 보이며 서독과 공동으로 안전특성을 강화한 새로운 원자로의 개발 추진을 계획중인 것으로 알려지고 있다.

(6) 스웨덴

국민투표 결과 2010년까지 원자력을 중지하기로 한 스웨덴 정부의 입장에도 불구하고 ABB-ATOM사는 고유안전특성을 지닌 지역난방용 열공급 원자로인 SECURE-H 연구개발을 핀란드와 공동으로 추진해 왔으며 현재에는 동일 설계개념의 발전용 원자로 PIUS 개발에 노력을 쏟고 있다.

그러나 PIUS 원자로 개발계획은 민간기업 차원에서 수행하기에는 너무 막대한 사업인데다 또한 자국내 원전건설이 허용되지 않고 있어 개발을 진전시키기 위한 국제협력을 모색하고 있는 실정이다.

(7) 기타

스위스는 전체 에너지 소비량 중 열 에너지 사용량이 40%에 달하며 에너지 자원면에서 원자력 에너지에 의존할 수 밖에 없는 상황으로 저온 열공급용 원자로인 SHR(Swiss Heating Reactor), GEYSER(New Heating Reactor of High Inherent Safety) 등을 연구하고 있으나 기초단계에 머무르고 있다.

캐나다는 중수형 원자로 CANDU 3, 6 등 개량형 CANDU를 개발 추진중에 있으며 지역난방용으로 고유안전성 원자로인 SLOWPOKE를 개발하여 2MWt 용량의 실증로를 운전하고 있으며 동 경험을 토대로 국내의 시장을 대상으로 10MWt 용량의 SLOWPOKE 원자로 상업화를 모색중에 있다.

소련은 지역난방용으로 이미 고유안전성 원자

로인 AST-500를 개발, 건설하고 있으며 고온 가스 냉각로를 소비지 인접지역에 건설할 목적으로 많은 노력을 기울이고 있는데, 소련 원자력이용 위원회는 서독 HRB 및 IA사의 기술을 도입하여 HTR-100, MRS-HTR과 유사한 펄블래드 가스 냉각로인 VIL형 VTR-265 (265 MWth)와 SBS형 VTR-250 (250 MWth) 원자로를 건설하여 실증로로 활용할 계획으로 있는 등 대체 에너지 원으로서의 원자력 개발에 매우 적극적이다.

중국은 가압경수로 건설노력과 함께 청화대학 핵능기술연구소에서 고유안전성 원자로인 LTR 실증로 (5 MWth)를 운전중인데, 원자력에 의한 지역난방을 위하여 LTR에 대한 실증실험후 핵공정 설계연구원 주관으로 국내 7개소에 실용로를 건설, 운영할 예정이다.

또한 석유정제 등을 위한 산업공정열 생산을 목적으로 고온 가스 냉각로의 개발을 위해 서독의 기술지원을 요청중인 것으로 알려졌다.

그밖에 국제원자력기구 (IAEA)가 안정성이 높은 중소형 원자로 개발에 많은 관심을 가지고 개발도상국 또는 특정 조건하의 공업선진국들의 중소형 원자로 개발을 지원하고 있으며 이러한 노력은 고유안전특성을 갖는 신행원자로 분야 및 고전환로 등으로 확대되고 있다.

4. 결 론

차세대 원자로 개발은 각 국가별로 자국의 기술수준, 재원 조달능력, 원자로의 활용목적, 연구개발의 난이도 등에 따라 각기 다르나 전체적인 개발추세를 보면 개량형 경수로와 피동안전성 원자로 (Passive Reactor)를 개발하는 국가가 주류이고 일부가 고유안전성 원자로 (Inherently Safe Reactor)에 관심을 가지고 연구를 계속하고 있으며 상업화 관점에서 보면 약간의 시차를 두고 개량형 경수로, 피동안전성 원자로, 고유안전성 원자로 순으로 개발이 이루어질 것으로 판단된다.

원자력 에너지 이용확대를 위한 노력도 계속되고 있어 현재 세계적으로 실용화가 이루어졌거나 연구중인 원자력분야는 발전 (Power Generation), 열병합 발전 (Cogeneration), 증기공급 (Steam Production), 지역난방 (District Heating), 중유회수 (Heavy Oil Recovery), 석탄 기체화 및 액체화 (Coal Gasfication and Liquefaction), 수소 생산 (Hydrogen Production), 담수화 (Desalination), 선박 추진동력 (Ship Propulsion), 우주선 추진동력 (Space Shuttle Power Source) 등이 있다. 이러한 각각의 목적을 달성할 수 있는 원자로의 개발이 필요한가는 그 나라의 산업구조와 산업구조내에서의 특수산업이 차지하고 있는 비중에 따라 결정될 문제이다. 그러나 이러한 목적의 원자로는 중소용량이어야 하며 모든 사람이 다루기 쉬운 편리하고 안전한 원자로이어야 한다는 점을 감안할 때 현재 개발중에 있는 차세대 원자로 기술이 그 주요한 역할을 할 것으로 전망된다.

우리나라에서의 차세대 원자로 개발은 현재 추진중인 개량형 경수로 이후의 대안으로서 필요하다고 판단되는데, 그 이유로는 외국에서 새로운 원자로가 상용화되었을 때 우리나라에서만 개량형 경수로로 고집할 수 있겠느냐는 근본적 문제가 있으며 또한 새로운 차세대 원자로의 안전성 및 경제성이 훨씬 뛰어나서 입증되었을 경우 일반대중이나 전기사업자 모두에게 개량형 경수로는 더 이상 받아들여지지 않을 것이기 때문이다.

그밖에도 차세대 원자로의 개발은 향후 우리나라에서도 필요할 것으로 예상되는 원자력 에너지 이용의 다양화를 위한 기술기반 구축에 초석이 될 수 있으며 해상원전으로서의 가능성 등 발전소 건설을 위한 부지요건에 융통성을 부여함으로써 발전소의 일부지역 편재를 방지하여 전력계통 운용면에서의 효율성 도모도 기대할 수 있다고 본다.

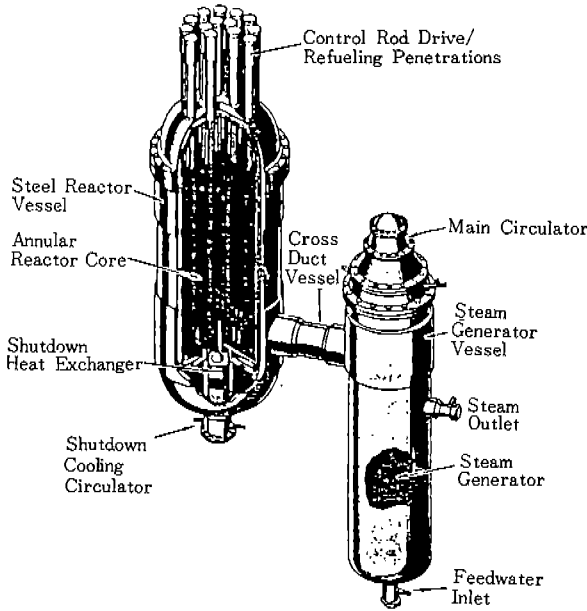
에너지의 대부분을 외국으로부터의 수입에 의존하고 있는 우리로서는 에너지의 국산화율이

높은 원자력의 개발은 필수적이며 2000년대에는 원자력분야에서도 기술선진국으로 올라설 수 있도록 우리 실정에 적합한 차세대 원자로 개발에

초기단계에서부터 범국가적인 노력이 경주되어야 할 것으로 생각된다.

붙임 : 차세대 원자로 주요 개발노형 개요

○MHTGR



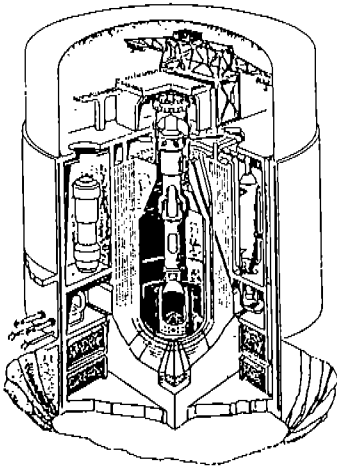
- 개발사 : 미국 General Atomics
- 제 원
 - 용 량
 - 135MWe/Module
 - 350MWth/Module
 - 1 차계통
 - 압력 : 6.39MPa
 - 온도 : 259/687°C
 - 2 차계통 (Steam)
 - 압력 : 17.3MPa
 - 온도 : 541°C
 - 핵연료
 - Type : UCO+ThO₂ (TRISO Coating)
 - 농축도 : 19.9% (U-235)
 - 장전량 (U/Th) : 1,726/2,346kg
 - 교체주기 : 18Months
- 원자로 용기
 - 높이 : 22m
 - 내경 : 6.5m
- 건설공기 (First Concrete to Fuel Load) : 29 months

-MHTGR 개발주안점

항 목	MHTGR
- Core Power Density	- 5.9kW/L
- Fuel	- TRISO Coated Fuel (UCO+ThO ₂) - Triso Coating : Fission Product Retention Barrier Under 1600°C
- Reactor Trip	- Strong Negative Doppler Feedback Coefficient
- Decay Heat Removal • RHR	- Reactor Cavity Cooling System with Vessel Surface Heat Transfer

항 목	MHTGR
• ECCS	- No ECCS
• Longterm Cooling	- Same as RHR
-Development Target	- C.M Frequency $\leq 10^{-4}$ /R.Y - Radiological Dose Limit • Whole Body Dose ≤ 1 Rem with Frequency of $\leq 10^{-4}$ /R.Y - Inherent Low Power Critical Capability - Indefinite Ultimate Heat Sink

○PIUS



-개발사 : 스웨덴
ABB-ATOM

-제 원

- 용 량
 - 640MWe
 - 2000MWth
- 1 차계 통
 - 압력 : 9 MPa
 - 온도 : 290/260℃
- 2 차계 통 (Steam)
 - 압력 : 5 MPa
 - 온도 : 260℃

• 핵연료

- Type : UO₂
- 농축도 : 3.5%
- 장전량 : 91.3 TU
- 교체주기 : 24Months

• 원자로 용기

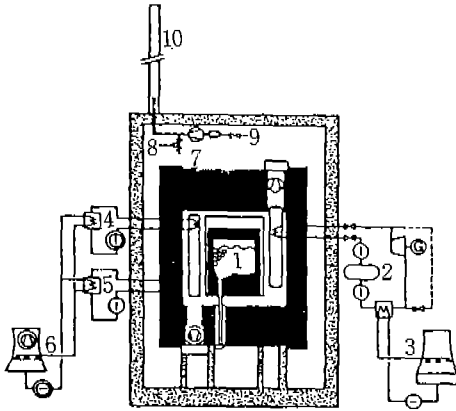
- 높이 : 45m
- 내경 : 12m
- 외경 : 26m

-건설공기 (First
Concrete to Fuel
Load) : 39Months

-PIUS 개발주안점

항 목	PIUS	비 고 (Conventional 600MWe PWR)
- Core Power Density - NSSS Configuration	- 72.3 kW/L - Pool Type Integral Reactor with S/G Outside Pool	- 107kW/L
- Pressure Vessel - RCP - Density Lock	- Prestressed Concrete Vessel - Centrifugal Pump with Variable Speed Control - Reactor Coolant and Pool Water Interface	- Steel Vessel - Centrifugal Pump with Shaft Seal
- Reactor Trip	- High PPM Boron in Pool Water through Density Lock	- Conventional Control Rod
- Decay Heat Removal • RHR • ECCS • Longterm Cooling	- Natural Recirculation Pool Cooling System - Pool Water Inventory (1 Week Ultimate Heat Sink) - Additional Make-up Beyond 1 Week	- Low Pressure Active RHR - High Pressure S.I - Accumulator - RHR Recirculation with Component, Cooling Water Available
- Development Target	- C. M Frquency $\leq 10^{-6}$ /R. Y - Radiological Dose Limit • Whole Body Dose ≤ 1 Rem with Frequency of $\leq 10^{-6}$ /R. Y - Inherent Reactor Trip - 1 Week Ultimate Heat Sink	

○HTR - 500



-개발사 : 독일 HRB

-제 원

- 용량
 - 550MWe
 - 1390MWh
- 1 차계통
 - 압력 : 5.5MPa
 - 온도 : 266/723°C
- 2 차계통 (Steam)
 - 압력 : 18MPa
 - 온도 : 525°C
- 핵연료
 - Type : UCO+ThO₂

(TRISO Coating)

- 농축도 : 8% (U-235)
- 장전량 (U) : 2,394kg
- 교체주기 : Daily
- 원자로 용기
 - 높이 : 32m
 - 내경 : 26.5m
- 건설공기 (First Concrete to Fuel Load) : 63months

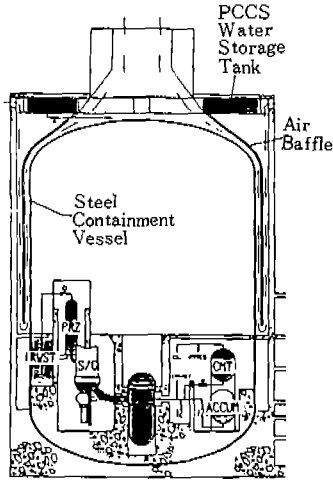
- | | |
|------------------------------|---|
| 1. Reactor core | 6. Cooling water system |
| 2. Steam/feedwater circuit | 7. PCR safety valve |
| 3. Main heat sink | 8. Reactor containment pressure relief system |
| 4. Decay heat removal system | 9. Exhaust air system |
| 5. Liner cooling system | 10. Ventilation stack |

◎ Components supplied by emergency power

-HTR - 500 개발주안점

항 목	HTR - 500	비 고
- Core Power Density	- 6.6 kW/L	
- Fuel	- Triso Coated Fuel (UCO+ThO ₂) - Triso Coating : Fission Product Retention Barrier Under 1600°C	
- Reactor Trip	- Reflector Rod+Incore Rod	
- Decay Heat Removal <ul style="list-style-type: none"> • RHR • ECCS • Longterm Cooling 	- Decay Heat Removal Sys. +Liner Cooling Sys. - No ECCS - Same as RHR	- Active RHR (AC Power needed)
- Development Target	- C. M Frequency $\leq 10^{-6}/R \cdot Y$ - Radiological Dose Limit • Whole Body Dose ≤ 0.045 Rem with Frequency of $\leq 2 \times 10^{-6}/R \cdot Y$ - 10 hour Ultimate Heat Sink	

○AP-600



-개발사 : 미국 W

-제 원

- 용 량
 - 600MWe
 - 1812MWh
- 1 차계통
 - 압력 : 15.5Mpa
 - 온도 : 378/312℃
- 2 차계통 (Steam)
 - 압력 : 6.2Mpa
 - 온도 : 278℃

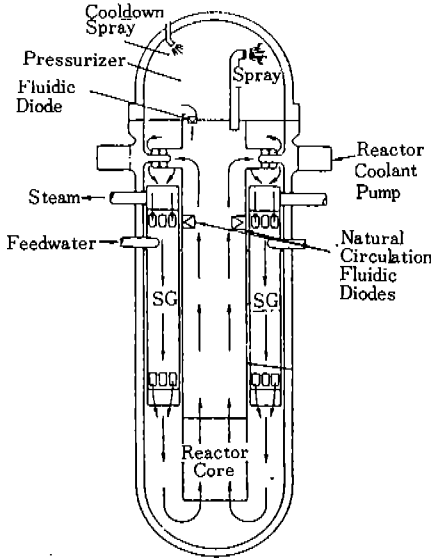
• 핵연료

- Type : UO₂
- 농축도 : 3.58%
- 장전량 : 61.02TU
- 교체주기 : 18Months
- 원자로 용기
 - 높이 : 10.8m
 - 내경 : 3.99m
- 건설공기 (First Concrete to Fuel Load) : 36Months

- AP - 600 개발주안점

항 목	AP - 600	비 고 (Conventional 600MWe PWR)
- Power Density	- 74 kW/L	- 107 kW/L
- Reactor Vessel	- Three Loop Vessel in Two Loop Configuration	
- PZR	- 36.8 m ³	- 28.3 m ³
- RCP	- Canned Motor Pump	- Centrifugal Pump with Shaft Sealed
- Reactor Trip	- Conventional Control Rod	- Conventional Control Rod
- Decay Heat Removal		
• RHR	- Full Pressure Natural Circulation	- Low Pressure Active RHR
• ECCS	- Full Pressure Core Makeup Tank	- High Pressure SI
	- Accumulator	- Accumulator
	- IRWST	
• Longterm Cooling	- Containment Vessel Surface Heat Transfer with Atmospheric Air Draft	- RHR Recirculation with Component Cooling Water Available
- Development Target	- C. M Frequency $\leq 10^{-5}$ /R. Y - Radiological Dose Limit • Whole Body Dose ≤ 25 Rem with Frequency of $\leq 10^{-6}$ /R. Y - No Safety Dependence on AC Power - 3 Day Ultimate Heat Sink	

○SIR



- 개발사 : 미국 Combustion Engineering
- 핵연료
 - Type : UO₂
 - 농축도 : 3.3%
 - 장전량 : 92.2 TU
 - 교체주기 : 24 Months
- 계 원
 - 용 량
 - 320M We/Module
 - 1000MWh/Module
 - 1 차계통
 - 압력 : 15.5MPa
 - 온도 : 295/318℃
 - 2 차계통 (Steam)
 - 압력 : 5.5MPa
 - 온도 : 298℃
- 원자로 용기
 - 높이 : 23.8m
 - 내경 : 5.8m
- 건설공기 (First Concrete to Fuel Load) : 30 Months

-SIR 개발주안점

항 목	SIR	비 고 (영광 3, 4 호기)
- Power Density	- 55 kW/L	- 96.4 kW/L
- NSSS Configuration	- Pool Type Integral Reactor	- Loop Type
- RCP	- Canned Pump Attached to Reactor Vessel	- Centrifugal Pump with Shaft Seal
- Steam Generator	- Once Through Type	- U Tube
- Reactor Trip	- Conventional Control Rod	- Conventional Control Rod
- Decay Heat Removal		
• RHR	- Secondary Condensing System (Full Pressure Natural Recirculation Sys. 포함)	- Low Pressure Active RHR
• ECCS	- Emergency Coolant Injection System (Reactor Vessel Water Inventory + Suppression Tank Water)	- High Pressure SI - Accumulator
• Longterm Cooling	- Primary Containment (Suppression tank) Surface Heat Transfer	- RHR Recirculation with Component Cooling Water Available
- Development Target	- C. M Frequency $\leq 10^{-5}$ /R. Y - Radiological Dose Limit • Whole Body Dose ≤ 25 Rem with Frequency of $\leq 10^{-6}$ /R. Y - No Safety Dependence on AC Power - 3 Day Ultimate Heat Sink	