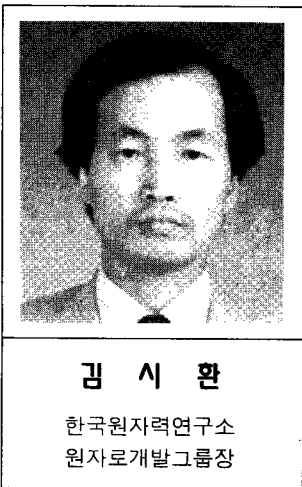


원자력열병합 플랜트의 개발

그 현황과 전망



김시환

한국원자력연구소
원자로개발그룹장

원자력열병합 플랜트는 원자력을 이용해 전기생산은 물론 지역냉난방과 해수 담수화를 동시에 해결할 수 있는 다목적 열병합-담수화 플랜트이다.

열병합발전은 1,000MWe급의 대형원전에 비해 규모가 작은 중소형(300~600MWe급) 원전을 활용할 수 있으며, 원전근처에 담수화시설을 함께 설치하여 발전에 사용되고 남는 막대한 양의 고온증기를 이용, 해수의 담수화와 지역 냉난방에 활용할 수 있다.

원자력열병합 플랜트의 개발현황과 전망 등을 들어본다.

인

류 최초의 문명의 발상지가 4대강 유역이고, 현재에도 대부분의 대도시가 풍부한 수량을 가진 강이나 호수를 끼고 형성된 것과 마찬가지로 앞으로도 인류의 번영은 물의 효과적인 이용에 달려 있다고 하여도 과언이 아니다.

현재에도 물 부족현상이 심각한 북부 아프리카지역과 중동지역에서는 해수의 담수화를 통하여 필요한 물을 보충하고 있다.

특히 이 지역은 2000년경에는 매일 1,200만톤 이상의 물이 부족할 것으로 전망되며, 이들 지역 이외에도 서남아시아·중국·중남미 등에서도 매일 1,000만톤 이상의 물이 부족할 것으로 전망되고 있다.

따라서 2000년경에는 세계 담수시설 운전규모는 1일 약 2,000만톤이 될 것으로 전망되며, 2010년경에 이르러서는 세계 담수설비는 현실비용량(91년 현재 1,560만톤/일)의 5배로 증가할 것으로 전망된다.

현재까지의 해수 담수화 시설은 주로 석유와 같은 화석연료를 사용하고 있는 바, 이에 따라 1일 100만톤의 담수생산을 위하여 연간 20만톤의 탄산

가스과 2,000톤의 아황산가스를 배출하고 있다.

그러므로 화석연료 대신 원자력을 활용할 경우 이에 상응하는 배출억제 효과가 있으며, 화석연료는 기본 인류 생활에 필요한 공업목적에 유용하게 활용할 수 있다.

개발현황

1. 배경

국제원자력기구(IAEA)는 원자력을 이용한 해수 담수화에 대한 타당성 연구를 수행하였으며, 연구결과에 의하면 원자력 열병합 규모가 300~600MWe이면 화석연료 사용 경우와 경제성이 유사한 것으로 알려져 있다.

따라서 화석연료 사용시 수반되는 환경오염 및 생태계 파괴 등의 문제점을 해결할 수 있는 무공해 에너지원으로 원자력기술의 지속적인 개발을 촉구하고 있다.

우리나라의 경우에는 급격한 산업화와 인구의 도시집중에 따른 용수의 수요는 증가하는데 비하여, 기상이변에 따른 극심한 가뭄으로 인하여 물의 공급량이 줄어들게다가 생활폐수 및

공해에 의한 강물의 오염 등으로 가용 용수 공급에 더욱 한계를 보이고 있어 만성적인 물부족 현상에 시달릴 우려가 있다.

임시로 급한대로 관정을 뚫거나 공장폐수를 재처리하여 용수를 공급하고 있으나, 이는 어디까지나 임시방편에 지나지 않으므로 장기적으로 해수의 담수화를 통하여 필요한 용수를 공급하는 방법을 심각하게 고려할 필요가 있다.

삼면이 바다로 둘러싸인 좋은 여건을 가진 우리나라는 향후 사회적인 문제로 대두될 수 있는 생활용수 및 공업용수의 부족현상에 보다 적극적으로 능동적으로 대처할 필요가 있다.

지구환경을 보호할 수 있고 값싼 원자력에너지를 단순 전력생산 뿐만 아니라, 나아가 선박의 동력원, 지역난방 및 해수 담수화 등의 에너지원으로 활용하기 위한 연구·개발이 전세계적으로 활발히 진행되고 있다.

우리나라에서도 원자력에너지의 산업적 활용 다변화를 위해서는 단순 전력생산 외에 해수 담수화, 지역난방 등에 활용하기 위한 원자력기술 개발이 필요하다.

원자력열병합 플랜트를 건설하여 국내 도서지역 및 대단위 공업지역에 전력과 용수공급, 냉난방 및 식수문제를 해결함으로써 원자력에 대한 지역주민의 공감대를 형성할 수 있을 뿐만 아니라, 무분별한 지하수 개발에 따른 국토의 피폐화를 막고, 온실가스의 배

출을 방지하기 위한 방법으로서도 해수 담수화 등을 위한 다목적 원자력열병합 플랜트 개발이 절실히 필요하다.

원자력열병합 플랜트 개발은 가자립된 상용원전기술의 활용을 통해 원자력기술을 더욱 고도화시킬 수 있는 계기를 제공할 뿐만 아니라, 에너지원으로 안전성이 더욱 제고된 중소형 원자로개발이라는 핵심기술 개발로 이어져 궁극적으로 원자력선진국과의 기술경쟁력을 확보할 수 있다.

또한 원자력기술을 다변화 및 고도화하여 확보된 경쟁력으로 원자력기술을 수출산업화하여, 세계시장에 우리의 원자력기술을 수출할 수 있는 기반을 구축할 수 있게 될 것이다.

2. 해외개발 및 활용현황

가. 러시아

러시아는 다양한 형태의 중소형 원자로를 개발하여 이 부문에 있어서는 세계 최첨단이라고 할 수 있다.

옛소련 시절에 카자흐스탄의 아랄해 연안에 있는 악타우지역에 건설한 열병합발전소 BN-350은 지금까지 20년동안 가동중에 있으며, 여기에 사용하는 원자로는 액체 나트륨을 냉각재로 사용하는 원형 고속로(520 MWt)이며, 특히 93년에는 80MWe의 전력생산 및 1일 80,000톤의 담수를 생산하였다.

또한 현재 개발이 완료되었거나 개발중인 AST-500, RUTA, RKM-150 등을 활용하여 시베리아 등 오지

에 산재한 도시 및 마을에 대한 전기 및 난방열 공급을 계획하고 있다.

이와는 별도로 선박용으로 개발된 KLT-40 원자로를 쇄빙선에서의 전기, 냉난방, 그리고 해수 담수화에 의한 용수공급에 활용하고 있으며, 현재까지 110,000시간 이상 가동중이다.

러시아의 지역적 특수성으로 인해 열병합 원자로의 지속적인 건설 및 운영이 전망된다.

나. 중 국

중국은 청화대학이 개발한 NHR-5를 지역난방용으로 운전중이고, 이보다 규모가 큰 NHR-200은 대경지역에 2기가 건설중이며, 대련지역에도 1기의 건설계획이 수립중에 있다.

또 이러한 지역난방용 원자로를 담수화 에너지원으로 활용할 예정이다.

다. 국제원자력기구(IAEA)

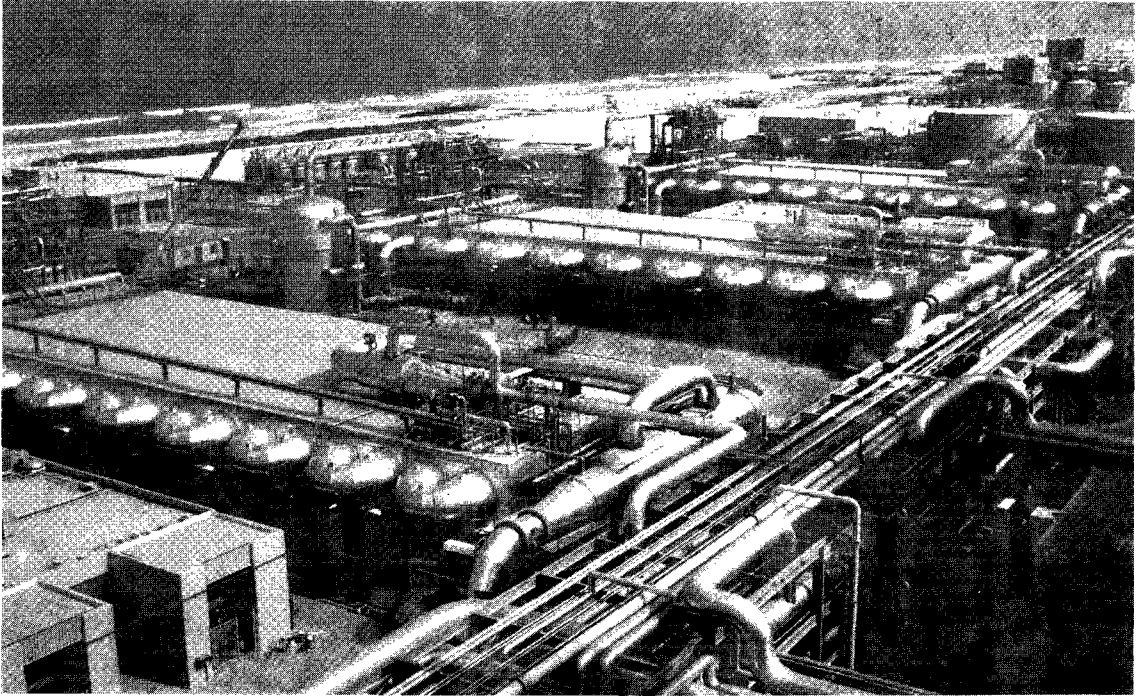
국제원자력기구에서도 원자력을 이용한 해수 담수화와 관련하여 기술성 및 경제성 타당성연구를 2년간(92~94) 수행하였고, 95년부터 2년간 실증용 원자력열병합 플랜트 선정 프로그램을 추진중이다.

또한 지구환경 보호와 더불어 원자력에너지의 활용다변화와 원자로기술의 지속적인 발전을 도모하기 위해 중소형 원자로 기술개발에 노력을 기울이고 있다.

3. 국내 기술현황

가. 원자로 건설 및 개발

우리나라는 원자력기술이 도입된지



〈사진 1〉 아랍에미리트의 Jebel-Ali 해수 담수화 플랜트

37년이 되었으며, 이제 우리의 원자력기술은 성숙단계에 접어 들어가고 있다. 이미 상용원자로 설계와 건설에 필요한 기술의 자립도는 95%에 이르고 있으며, 한국형 표준원자로도 기술 개발을 완료하여 현재 독자적으로 설계와 건설이 진행중이다.

기술자립과정에서 축적된 원전연료 설계·제조, 원자로 계통설계, 발전소 종합설계, 기자재 국산화 등 핵심기술을 바탕으로 2007년 건설 완공을 목표로 차세대원자로의 설계가 추진중이다.

또한 금년 4월에는 다목적 연구용

원자로인 하나로를 독자적으로 설계·건설 완료함으로써 비발전용 원자력기술까지 확보하게 되었다.

나. 담수화설비 개발 및 건설

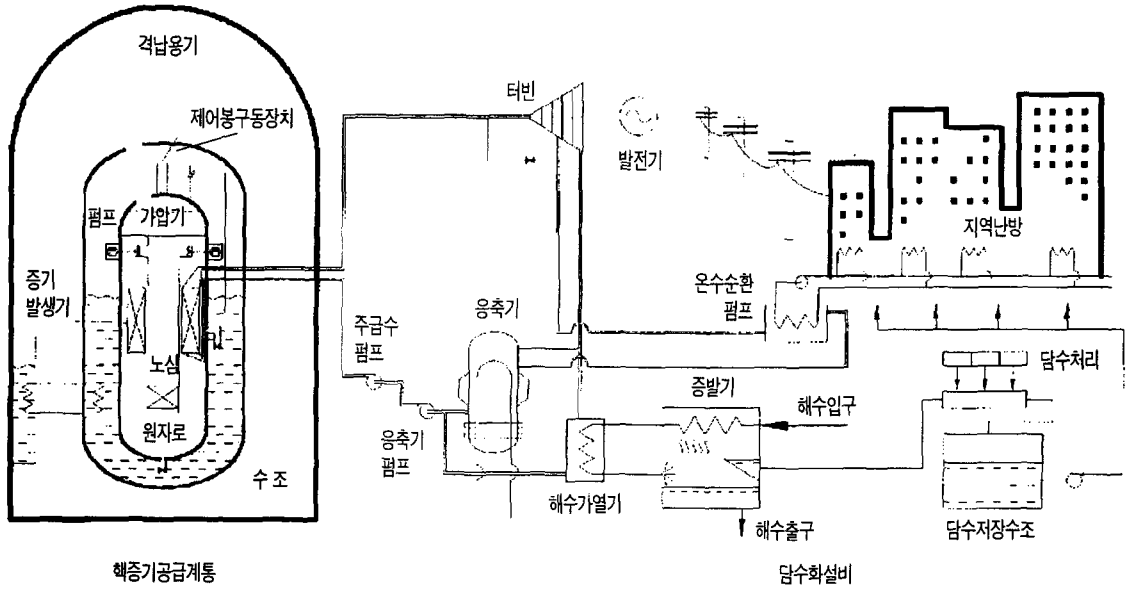
우리나라의 담수화 플랜트로서 비교적 규모가 큰 시설로는 시간당 2,916톤의 담수를 생산하는 대산석유화학단지의 설비가 대표적이라 할 수 있다.

그러나 이 설비는 삼교호의 염도가 낮은 물을 처리하여 공업용수를 공급하는 역할을 하며, 해수 담수화 플랜트로는 규모가 너무 작다.

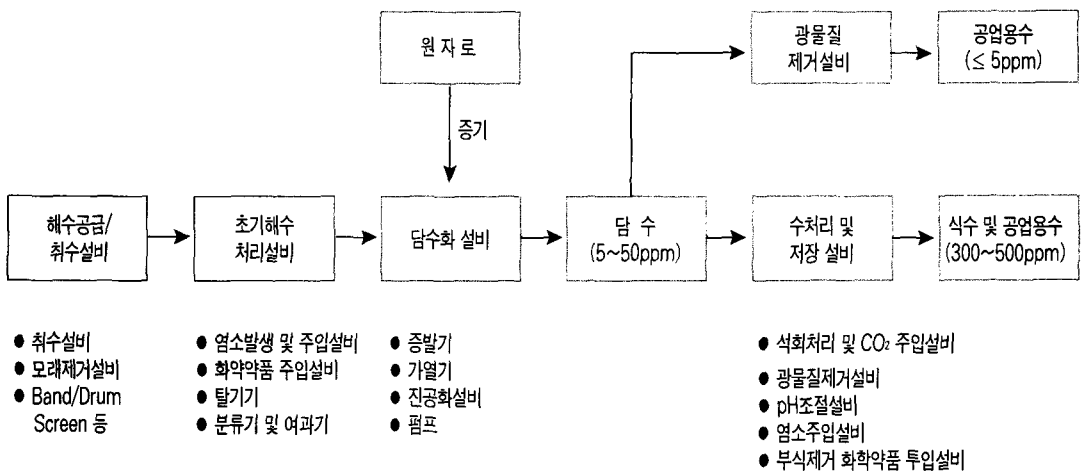
이에 비하여 외국에 대한 담수화 플

랜트 공급은 매우 활발하다. 현재 국내 유일의 원자력발전소 주기기 공급회사인 한국중공업(주)는 70년대부터 담수화 플랜트 기술개발을 시작하여, 담수화 설비와 관련하여 설계로부터 기자재 제작, 시공, 그리고 성능시험에 이르기까지 전단계에 걸쳐 능력을 확보하고 있다.

한국중공업(주)는 78년부터 사우디아라비아에 설치된 해수 담수화 플랜트에 일부 기자재를 납품한 이래 기술자립에 주력하여, 88년에는 아랍에미리트에, 그리고 89년에는 사우디아라비아에 일괄계약방식으로 해수



〈그림 1〉 원자력열병합 플랜트 개념도



〈그림 2〉 해수 담수화 공정개요

담수화 플랜트를 공급하였다.

〈사진 1〉은 한국중공업(주)가 아랍에미레이트의 Dubai Electricity & Water Authority에 일괄계약방식으로 공급한 Jebel-Ali 해수 담수화 플랜트를 보여주고 있다.

한국중공업(주)는 현재 사우디아라비아로부터 담수화설비(시간당 약 19,000톤 생산)와 발전설비(105 MWe×5기)를 갖춘 열병합 플랜트를 수주하여 제작중이다.

그러나 이들 시설은 모두 석유를 에너지원으로 하고 있다.

현대중공업(주)도 담수화 설비의 주요기기 제작, 설치 및 시공능력을 확보하고 있으며, 대우중공업(주)는 1~2개 소형 플랜트의 주요기기 제작 공급 경험을 가지고 있다.

개발전망

1. 원자력열병합 플랜트 개념

원자력열병합 플랜트는 〈그림 1〉의 개념도에서 보여주고 있는 바와 같이 원자력을 이용해 전기생산은 물론 지역냉난방과 바닷물 담수화를 한꺼번에 해결할 수 있는 다목적 열병합—담수화 플랜트이다.

열병합 원전은 현재 국내 표준형인 1,000MWe급의 대형 원전에 비해 규모가 작은 중소형(300~600MWe급) 원전을 활용할 수 있으며, 원전 근처에 담수화 시설을 함께 설치하여 발전에 사용되고 남는 막대한 양의 고온증

기를 바닷물의 담수화와 함께 지역난방에도 활용할 수 있는 시설이다.

열병합 플랜트에 사용될 원자로는 중력·자연대류·기체압력 등의 자연적인 물리현상을 이용한 안전개념을 접목하여 안전성이 획기적으로 제고된 중소형 가압경수로가 사용된다.

특히 원자로와 증기발생기를 한개의 압력용기 내에 설치하는 일체형의 경우 피동형 안전개념 및 고유안전성을 최대한 확보할 수 있는 개념도입이 가능하고, 대형 냉각재 상실사고를 배제시킬 수 있어서 대형 원전에 비해 노심손상빈도($\sim 10^{-7}/\text{노} \cdot \text{년}$)를 10배 이상 감소시킬 수 있다.

이와 같은 중소형 원자로는 단순 전력생산 뿐만 아니라 원전 폐열을 이용한 해수 담수화 등 활용분야가 대용량 원자로에 비해 다양하고 신기술개발 여지가 많다.

안전성이 한층 제고된 원자로는 원전에 대한 일반인의 거부감을 완화하는데도 크게 기여할 것으로 평가된다.

열병합 원자로에는 저농축 핵연료를 사용하며, 계통 및 기기를 단순화하고 모듈화하여 On-shop Fabrication이 가능하도록 하여 건설기간을 단축함으로써 경제성을 향상시키고, 폐기물 발생량을 감소시키도록 설계하여 환경오염을 감소시킬 수 있다.

또한 이 원자로는 바지선에 적재도 가능할 것이다.

2. 원자력을 이용한 해수 담수화

원자력 해수 담수화시설은 원자력 발전소 터빈에서 사용한 폐증기를 사용하여 해수를 담수화하여 고순도의 식수 및 공업용수를 생산한다.

〈그림 2〉은 이러한 해수 담수화 설비에 대한 공정개념을 나타낸 것이다.

담수화 설비는 염도가 낮은 염수나 해수에서 공업용수 및 식수를 생산하는 설비이다.

해수의 담수화 방법에는

△ 해수를 가열한 후 물의 증발 및 응축을 이용한 증발법

△ 고압 펌프를 이용하여 해수에서 담수를 분리시키는 역삼투압방법

△ 해수에 기계적인 힘을 가하여 증기를 발생시켜 이를 응축, 담수를 얻는 증기압축방법

△ 해수의 전기분해법 등이 있다.

담수화 공정에는 해수공급 및 취수설비, 초기 해수처리 설비, 가열기 및 증발기 등의 담수화 설비, 생산된 담수의 광물질 제거 설비, 물처리 및 저장설비 등이 필요하다.

원자력을 이용한 담수화 공정에는 기존의 보일러 대신에 원전의 폐열이 가열기 및 증발기 등의 담수화 설비에 에너지원으로 사용된다.

3. 활용방안

원자력열병합 플랜트 개발을 통해 원자력열병합 플랜트의 상용화기술을 확보함으로써 원자력산업기술의 고도

화를 이루고, 고도화된 기술을 바탕으로 원자력기술의 수출기반을 구축할 수 있으며, 무공해 공업용수 및 국민이 안심하고 마실 수 있는 식수원을 제공할 수 있다.

또한 안전성이 확보된 열병합 원자력이 국민생활과 함께 함으로써 원자력에 대한 국민의 신뢰도 및 사회성을 증대시킬 수 있다.

원자력열병합 플랜트 개발을 한국 원자력연구소의 연구용 원자로인 하나로 후속 프로젝트로 개발·건설을 추진하여, 개발된 플랜트를 도서지방과 대단위 공업지역에 전력·공업용수 및 식수공급 에너지원으로 활용이 가능하도록 할 예정이다.

또한 물이 부족한 중동, 서남아시아 및 북부 아프리카 국가에 수출용으로 활용할 수 있다.

약 600MWe급 중형 원전 2기의 건설시 화석연료 사용 발전소의 경우에 비해 발전단가가 약 20% 저렴하며, 원자력열병합 플랜트개발을 통해 기대되는 경제적 효과는 600MWe급 원전 1기 건설비를 약 1조원으로 추정할 경우, 600MWe급 2기 수출시 약 2,000억원의 이익발생이 예상된다.

따라서 600MWe급 2기 수출시 실증용 원자력열병합 플랜트 개발에 소요된 자금의 회수가 가능하다.

술 개발과 함께 원자로심 및 핵연료, 원자로계통, BOP, 원자로계통 주기기 및 보조기기 등 발전설비의 개념설계를 완료할 계획이다.

또한 해수취수계통, 해수증발계통, 화학처리계통 등 담수설비 개념설계를 수행할 계획이며, 원자력열병합 플랜트 건설에 대비한 예비환경영향평가도 수행될 것이다.

나아가 원자력열병합 플랜트가 선적할 수 있는 바지선에 대한 개념설정도 추진할 계획이다.

나. 제2단계(90~2000)

원자력열병합 플랜트 기본설계를 수행할 계획이다.

설계요건서를 작성하고 원자로심 및 핵연료, 원자로계통, BOP, 원자로계통 주기기 및 보조기기 등 발전설비의 설계를 최적화하고 원자로계통 종합열수력 검증시험도 수행할 예정이다.

해수취수계통, 해수증발계통, 화학처리계통 등 담수설비 기본설계를 수행하고 그 설계를 최적화할 것이며, 열병합 원자로 건설허가도 획득할 계획이다.

또한 원자력열병합 플랜트의 실제 건설에 대비한 환경영향평가도 수행할 예정이다.

다. 제3단계(2001~2005)

원자력열병합 플랜트의 상세설계를 수행하고 원자로, 발전설비 및 담수설비를 제작·설치하며, 원자력열병합 플랜트에 대한 운전허가를 획득할 계

국내 개발계획

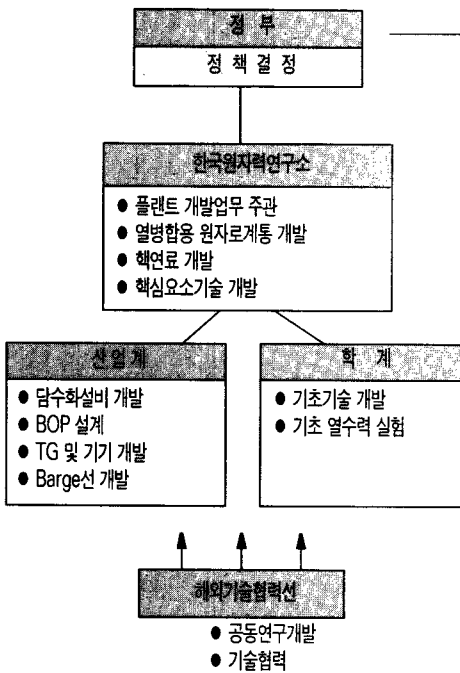
1. 개발목표

본 개발계획의 최종목표는 2005년까지 원자력열병합 플랜트의 설계·건설을 완료하는 것이다.

이러한 최종목표를 달성하기 위하여 97년까지 개념설계를 완료하고, 2000년까지 기본설계 및 핵심기술 개발을 완료할 계획이다.

2. 개발내용

가. 제1단계(96~97)
원자력열병합 플랜트 개발방향을 수립하고 기초기



(그림 3) 원자력열병합 플랜트 개발체계

획이다.

2005년에는 원자력열병합 플랜트 건설 및 시운전을 완료할 예정이다.

3. 개발추진전략

원자력열병합 플랜트 개발사업은 국내의 자립된 상용원자로 기술을 활용하고, 외국의 열병합 원자로 기반 기술을 최대한 활용하여, 개발 소요시간 단축 및 비용을 절감하는 Mid-Entry 전략개념으로 추진하되, 국내 기술진이 주도적으로 개발하고, 개발 기술의 파급효과를 증대시키기 위해 관·산·학·연이 참여하는 추진체계를 확립하여 공동협력으로 개발할 계획이다.

정부의 적극적 정책지원으로 협력체계를 구축하고, 원자력산업계의 투자 및 기술을 참여시켜 공동개발방법으로 추진할 것이며, 참여기관간 체계적인 업무분장을 통해 원자력산업계 및 학계의 보유자원 활용을 극대화할 것이다.

국내의 취약한 기술을 보완하기 위해 원자로개발 및 열병합기술 경험이 풍부한 외국과의 기술협력을 강화하여 선진기술을 접목할 예정이다.

이를 위하여 IAEA의 원자력 해수담수화 실증로 건설 프로그램에 참여하여 주도적인 역할을 할 것이며, 영국의 AEA Technology사와는 일체형 원자로 기술협력을, 미국의 CE사와는 원자로계통설비 개발기술협력을 추진할 예정이다.

원자력열병합 플랜트는 발전에 적재가 가능하도록 개념설계단계부터 발전 설비 설계 요구조건을 반영하여 원자로 및 시설 설계개발이 고려되고 있으며, 하나로 후속프로그램으로 추진하여 우리 고유모델 원자력열병합 플랜트를 개발하여 기술수출을 추진할 것이다.

4. 개발추진체계

중소형 원자로를 에너지원으로 사용하는 열병합 플랜트의 개발은 한국 원자력연구소가 개발총괄 주관기관이 되고 국내기업체가 참여하는 산·학·연 협동체제로 개발사업을 추진할 계획이다(그림 3).

한국원자력연구소는 중소형 원자로의 원자로계통 및 핵연료, 핵심요소 기술개발을 수행하고, 담수화설비 및 발전설비 등은 산업계가 참여하여 개발할 계획이다.

결 언

급격한 산업화와 기상이변에 따른 극심한 가뭄, 강물의 오염 등으로 공업용수 및 식수원의 부족현상에 시달리고 있는 우리나라의 물 부족현상을 해결하는 일차적인 방법으로 지하수 개발, 댐 및 수로건설 등이 있으나 이는 이미 한계에 도달하였다.

따라서 이를 해결할 수 있는 방법은 지구상에 무진장한 바닷물을 담수화하여 용수 및 식수로 공급하는 것

이다.

해수담수화 기술은 잘 발달되어 있으나 해수담수화의 에너지원으로 석유 등 화석연료를 사용할 경우에는 많은 공해물질의 배출로 온실효과, 지구환경오염 등 또 다른 문제를 야기한다.

따라서 지구환경을 보호할 수 있고 값싼 원자력에너지를 해수담수화의 에너지원으로 활용할 수 있는 원자력열병합 플랜트의 개발이 필수적이다.

우리나라에서도 원자력에너지의 산업적 활용 다변화를 꾀하며 장차 심각한 물 부족현상을 해결하기 위해서는, 단순 전력생산 외에 해수담수화, 지역 냉난방 등에 활용할 수 있는 다목적 열병합 플랜트의 개발이 절실히 필요하다.

원자력열병합 플랜트를 개발하여 국내 도서지역 및 대단위 공업지역에 전력과 용수공급, 냉난방, 식수문제를 원자력에너지로 해결함으로써 원자력에 대한 지역주민의 공감대를 형성할 수 있을 것이다.

원자력열병합 플랜트 개발은 자립 상용발전 기술의 활용을 통해 에너지원으로 안전성이 더욱 제고된 중소형 원자로개발이라는 핵심기술개발로 이어져, 궁극적으로 원자력선진국과의 기술경쟁력을 확보하여 세계 시장에 우리의 원자력기술을 수출할 수 있는 기반을 구축할 수 있게 될 것이다. ☞