

SIR開發事業의 背景과 進陞狀況

최근 지속적인 電力需要의 증가와 温室効果 및 산성비 등 환경문제로 인하여 原子力發電에 대한 관심이 다시 고조되는 가운데 제2의 원전산업부흥기가 오리라고 기대하고 있다. 英國에서는 21世紀를 대비한 새로운 개념의 原子爐, Sir(Safe Integral Reactor)설계의 개발사업에 착수하였다. 다음은 英國 原子力公社(UKAEA)의 Mike Hayns박사가 Sir사업의 배경과 개요 및 그 개발진척상황을 Atom誌 6月號에 소개한 내용이다.

미국을 중심으로 한 세계의 원자력발전산업은 지난 10여년간 실로 바람직하지 않은 침체의 늪에 빠져 있었다. 그러나 최근 계속적인 電力需要의 증대와 특히 온실효과, 산성비 등 환경문제로 인하여 원자력발전에 대한 관심이 다시 高潮되고 있다. 世間에서는 이제 바야흐로 제2의 원자력발전산업 부흥기가 오지 않을까 하는 기대에 까지 부풀어 있을 정도이다.

이와 관련하여 미국 에너지省(DOE)은 산업계에게 次世代用 受動新型爐를 지원하겠으니 1989년 8월까지 기본설계와 함께 계획서를 제출하라고 했다. 그 결과 최근 WH社의 AP-600과 GE社의 SBWR이 DOE의 지원을 받는 것으로 최종 선정되었다. 한편, CE社 역시 MAP이라고 하는 원자로개념을 내놓았으나 몇가지 타당하지 못한 점이 있어서 결국 DOE의 지원을 받지는 못했다.

次世代 新型爐 개발을 위한 미국의 이같은 주도적인 입장과는 별도로 영국도 얼마전 부터 이 방면에 깊은 관심을 보이고 있었다. 영

국은 일찌기 GCR에 몰두하여 LWR, PHWR과 함께 독자적인 위치를 유지하여 왔다. 그러나 GCR개발 결과는 성공半, 실패半이라는 평가를 받게 되었다. 그리하여 영국이 용단을 내려 선택한 路線은 PWR이었다. 앞으로 당분간 세계적인 추세는 PWR일 것이기 때문이었다.

이와 함께 영국은 新型 PWR에도 관심을 기울이지 않을 수 없었다. 영국으로서도 次世代用 新型爐에 눈길을 돌리지 않을 수 없었기 때문이었다. 더구나 영국의 전력산업체(예컨대 CEGB)는 머지않아 民營化될 것이므로 21세기에 대비한 새로운 개념의 원자로를 조속히 내놓음으로써 앞으로 영국내에서는 물론 世界 原子力市場에서 경쟁력을 가져야만 했다.

그러나 영국으로서는 PWR설계에 대한 경험이 거의 없는 실정이며, 더구나 先進傾向인 小型受動爐에 있어서는 더욱 그러했다. 그래서 미국의 기존 PWR 설계기술을 차용키로 생각했고, 여기에 DOE로 부터 현재로서는 지

원을 받지 못한 CE社와 손잡기로 했다.

영국의 UKAEA와 미국의 CE社는 공동재단으로서의 조인트벤처를 설립했다. 이 재단에 미국의 Stone & Webster社와 영국의 Rolls-Royce社가 加勢했다. MAP의 경험이 있는 CE社는 NSSS쪽, UKAEA는 BOP쪽, Stone & Webster社는 T/G쪽, 그리고 Rolls-Royce社는 原子力容器쪽을 맡기로 했다. Stone & Webster社는 영국과 미국에서 A/E분야에 상당한 경험을 쌓은 회사이고, Rolls-Royce社는 자동차로도 유명하지만 실은 영국 원자력잠수함 12척의 원자로용기를 제조한 경험을 갖고 있는 회사이다.

1988년말 구성된 이른바 영·미 합작재단은 그동안 UKAEA를 중심으로 320MWe급 小型受動爐의 설계를 완성하기에 이르렀다. UKAEA는 이 새로운 원자로의 이름을 영국인 답게 SIR(Safe Integral Reactor)라고 했다. 영국에서는 次世代 PWR설계에 처음으로 본격도전했던 것이고, 그 결과가 훌륭하다고 자부하여 自祝하는 의미에서 작위라도 수여하고 싶었던 것 같다.

앞으로 남은 숙제는 실용화에 앞서 규제기관의 인허가에 부응하는 것이다. 이를 위해 英·美 합작재단은 NRC의 규제요건에 합당하는 설계보완을 서두르고 있다. 합작재단은 SIR의 실용화 시기를 빠르면 1990年代 말, 늦어도 21세기 초로 전망하고 있다.

英·美 합작재단의 또 한가지 특기할 戰略은 原型爐의 건설과정 없이 직접 實證爐단계로 들어간다는 것이며, 제1호기의 부지는 영국 Winfrith로 내정하여 놓았다.

SIR 프로젝트의 핵심개념은 이미 立證되고 상용화된 技術, 材料, Know-how에 완전히 기본을 두면서도 경제성, 인허가, 일반대중의 수용성 등 현안문제는 현실적 개념으로 새롭게 접근하는데에 두고 있다. 이같은 현안문제는

미국이든 영국이든 또는 일본이든 新型爐 개발의 先頭走者들이 공통적으로 당면하고 있는 것임은 말할 나위도 없다.

英·美 합작재단이 처음 新型爐 개발을 결정하였을때 安全性 다음으로 염두에 둔 목표는 경제성을 고려한 最適小型爐였다. 次世代에는 小型爐에 대한 주문이 많을 것으로 기대되므로 市場性을 생각해서 였다. 그래서 300 MWe 정도의 SIR가 구상되었던 것이다. 그 정도의 용량이면 경제성, 市場性, 기술적 타당성 등을 충분히 고려하면서도 종래의 PWR과는 전혀 다른 접근이 가능하다고 판단했기 때문이었다.

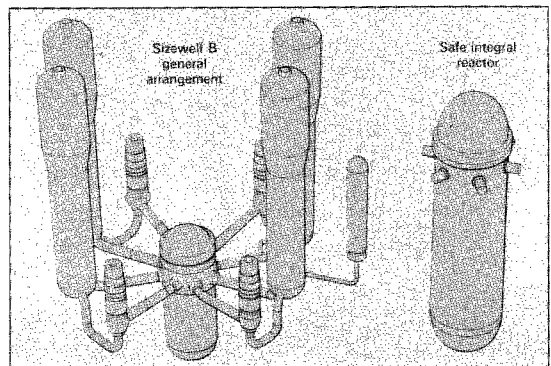
SIR의 技術的 特性

SIR는 集成的, 또는 安全 우선의 PWR이라고 할 수 있다. 爐心, 증기발생기, 主펌프, 加壓器 등이 모두 하나의 압력용기 안에 들어가도록 되어 있기 때문이다.

格納用器는 壓力쇄쇄型으로 壓力이 容器에 골고루 미치는 鐵製탱크타입으로서 종래의 것과는 다른 새로운 개념의 것이다. 다음에 각 시스템의 내용과 특성을 구체적으로 알아본다.

壓力容器

<그림 1>



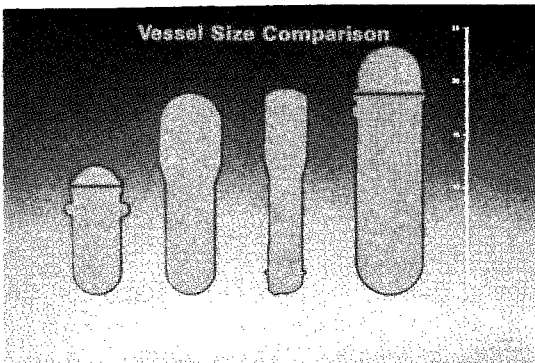
<그림 1>은 현재의 PWR(Sizewell B 등)과 SIR의 압력용기를 규모 면에서 비교한 것이다.

종래의 전형적인 PWR 설계에 있어서는 압력용기 안에 爐心부분만 들어가도록 되어 있다. 즉, 증기발생기, 主펌프, 加壓器 같은 것은 대형 파이프로 압력용기와 연결되어 있는 설계이다.

SIR의 설계에서는 이런 모든 주요시스템이 압력용기 안에 들어가도록 되어 있다. 이 점이야말로 SIR의 건설, 운전, 안전성과 관련된 모든 성능에 있어서 가장 중요한 특성이다.

언뜻 생각해 보면, 만일 그같은 주요시스템을 모두 하나의 압력용기 안에 넣는다면 압력용기의 규모가 엄청나게 커질 수 밖에 없을 것 같다. 그러나 SIR의 설계개념에서는 생각보다는 대형 압력용기가 필요없다. SIR 개발의 기본취지 중의 한가지는 건설을 비교적 쉽게 하자는 것이다. 이를 위하여는 되도록 소형 압력용기가 바람직하다. 더구나 현재의 것보다 엄청나게 큰 대형 압력용기를 실제로 제작하고 설치한다는 것은 현실성이 없는 일이므로 설계에서부터 모험할 필요는 없는 일이다.

<그림 2>



<그림 2>는 SIR 원자로압력용기와 표준형 PWR 설비의 크기를 비교한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 SIR의 압력용기는 다른 것에 비하여 별로 큰 것이 아니다. 따라서 현재의 기술로 충분히 제조할 수 있다. 그렇기 때문에 集畵의 개념의 설계가 가능했던 것이다. 현재의 기술로서 제조가 가능하다

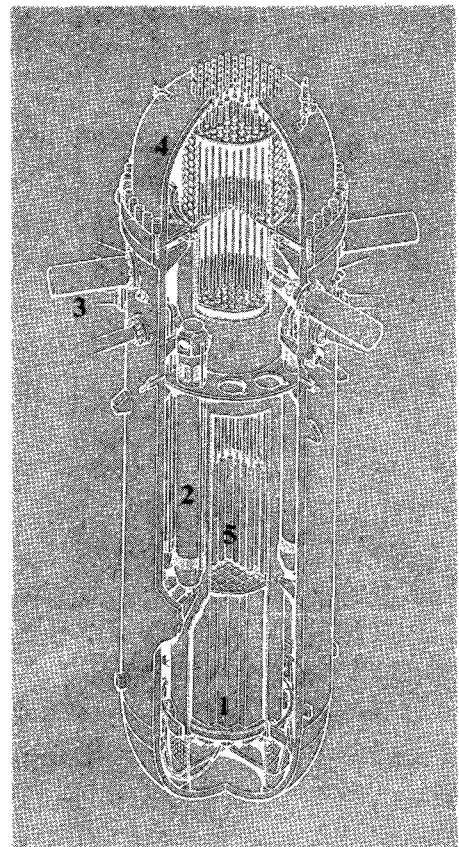
는 것은 다시 말하여 경제성이 있다는 의미와 같다.

SIR 압력용기의 본체는 길이 19.2m, 내부지름 5.8m, 벽면의 두께 0.28m이며, 전체 무게는 907톤이다.

가압기가 자리잡고 있는 압력용기의 윗부분, 돔형의 마개와 같은 용기의 높이는 4.6m이다.

内部配置 및 流體의 흐름경로

<그림 3>



압력용기 내부의 주요 시스템 배치는 <그림 3>과 같다.

爐心은 압력용기 중간 아랫부분에 위치한다. 爐心の 아랫 쪽은 물의 순환을 쉽게 하기 위하여 공간으로 두었다. 제어봉은 종래의 PWR

과는 달리 기다란 샤프트(軸)로 구동하게 되어 있다.

爐心の 윗부분에는 제어봉 구동장치와 유도장치 이외에는 없도록 했다. 핵연료 교체작업을 위해서는 爐心 윗부분에 충분한 공간이 필요했기 때문이다.

爐心부분의 바깥 둘레에는 증기발생기 12대를 둘러서 배치토록 하였다. 증기발생기의 크기와 용량은 모두 동일하다.

爐心 본체와 증기발생기 사이에도 간격을 충분히 두었다. 증기발생기 아랫부분에서는 中性子反應 정도가 높을 수 있기 때문에 이를 피하기 위해서이다. 증기발생기 윗쪽에는 6대의 펌프를 배치하였다. Glandless Rotor형 펌프로써 원자로용기에서 올라온 流體(물)가 위아래로 혼합하여 흐를 수 있도록 되어 있다.

압력용기 머리부분 돔형의 구조물에는 가압기가 들어간다. 가압기는 설계압력 15.5MPa를 유지할 수 있도록 전기적 가열방식을 채택하였다.

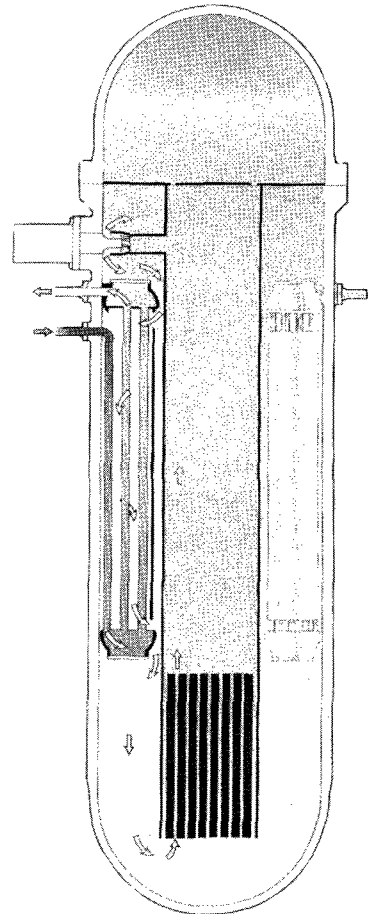
1차계통의 流體흐름경로는 爐心에서 뿜쳐진 물이 펌프(Glandless Rotor Pump)를 통하여 아랫쪽 증기발생기로 내려온 후 계속하여 爐心 아랫쪽 공간으로 되돌아 와서 다시 爐心을 통하여 위로 올라가는 방식이다. 말하자면 자연순환방식이다. 현재의 설계대로라면 이같은 자연순환시스템 만으로도 25%의 출력을 충분히 내며 운전될 수 있다. 流體의 흐름경로가 <그림 4>에 표현되어 있다.

爐心

爐心설계는 CE社의 표준설계방식을 기본으로 했다. 핵연료봉(또는 핵연료핀)의 피복관은 지르칼로이-4로 했다. 핀의 바깥지름은 9.7mm이며, 실제 길이는 3.47m로서 4각의 格子型 집합체를 이루도록 했다.

핵연료집합체 가운데 부분에는 몇개의 제어

<그림 4>



봉을 한데 묶은 이른바 제어봉다발(Control Element Assembly : CEA)를 넣을 수 있게 했다. SIR 원자로에서는 反應度 제어용으로 溶解 Boron을 사용하지 않는 것으로 했기 때문에 제어봉다발을 배치한 것이다.

제어봉다발 둘레에는 다른 핵연료 보다 농축도가 낮은 핵연료를 배치토록 했다. 제어봉다발을 들어올렸을때 갑자기 침투출력으로 되지 않도록 하기 위해서이다.

제어봉구동장치는 일반 PWR에서 사용하는 것과 같은 표준형이다. 압력용기의 꼭대기 부분 돔형의 구조물 안에 설치토록 되어 있다. 제어봉이 위에서 떨어져 내려와 핵연료집합체

가운데 부분에 정확히 들어갈 수 있도록 하기 위하여 제어봉다발이 들어가는 공간의 윗부분 입구를 아랫부분 공간 보다 조금 넓게 설계하였다. 1개의 핵연료집합체에는 432개의 핵연료편이 들어간다.

Boron을 反應度 제어용으로 장기간 이용하지 않도록 하는 데에는 몇가지 이점이 있다. 우선 원자로의 출력을 복잡한 화학물질로 제어하지 않아도 된다는 점이다. 이와 함께 1차 계통의 여러 회로(Circuit)부품에 대하여도 Boron으로 인한 화학환경적 문제를 우려하지 않아도 된다. Boron의 注入이 절대적으로 필요한 경우에 대비하여 Boron을 미리 적당한 곳에 저장해 두었다가 최종 섯다운용으로 사용할 수도 있게 하였다.

뿐만 아니라 Boron 代용으로 가연성 毒性물질(Poison)을 사용할 수도 있게 하였다. 反應度 제어목적으로 毒性물질을 사용하는 것은 일반적인 방식이다. 毒性물질은 핵연료를 교체할 때에 새로운 핵연료要素에 부착하여 놓을 수도 있으며, 제2 運轉週期 이후에는 재장전에 앞서 미리 넣어둘 수도 있다.

爐心에서의 평균 出力密度는 54.6kW/1에 지나지 않는다. 현재의 대형 발전소에 비하여 거의 半 정도 밖에 되지 않는 것이다. 出力密度는 발전소의 安全마진을 높히거나 또는 운

전 적용성(Flexibility)를 높히는데 상당히 중요한 기여를 하는 것이다. SIR의 평균 出力密度가 그와 같다는 것은 핵연료 재장전 週期가 高比率의 爐心 보다 길다는 것을 뜻한다. 기존 PWR에서는 핵연료 재장전 週期가 보통 12~15개월이만, SIR의 경우에는 2년(24개월)까지 유지할 수 있다. 이로써 SIR는 현재 가장 능률적인 負荷率 목표로 설정해 놓은 87%보다도 더 높은 수치를 기록할 수 있다고 전망된다.

〈표 1〉은 SIR爐心の 出力密度와 기타 원자로 주요 시스템의 파라메타를 기존의 원자로와 비교한 것이다.

爐心은 爐心지지체로 받쳐져 있다. 이것 역시 CE社의 표준설계방식을 따른 것이다. 爐心은 또 위에서 매단 형식의 장치에 의하여 지탱되도록 하였다. 이 장치는 압력용기 꼭대기 부분 돔형의 구조물에 연결되어 있다.

爐心내에서의 핵연료 교체시에는 제어봉흡수체(제어봉다발)를 핵연료집합체에 그대로 놓아둔채 할 수 있다. 이렇게 하면 Boron을 용해하여 사용할 필요없이 섯다운·마진을 충분히 보장할 수 있기 때문이다.

SIR 爐心은 감속재負의 溫度係數를 유지하도록 설계되어 있다. 이렇게 되면 원자로를 안정되게 운전할 수 있으며, 원자로 과도상태

〈표 1〉

Plant Parameter	Oconec(B&W)	Calvert Cliffs(CE)	H.B. Robinson(W)	SIR(CE/RR&A)
Rated core power(MWth)	2568	2700	2300	1000
Number of core fuel assemblies	177	217	157	65
RCS fluid volume (m ³)	342	314	257	402
Pressuriser volume (m ³)	42.5	42.5	36.8	80
Effective PORV area (m ²)	6.05×10 ⁻⁴	1.40×10 ⁻³	1.97×10 ⁻³	8.9×10 ⁻³
Ratio of RCS volume to core power (m ³ /MWth)	0.133	0.116	0.112	0.402
Ratio of pressuriser volume to core power (m ³ /MWth)	0.017	0.016	0.016	0.080

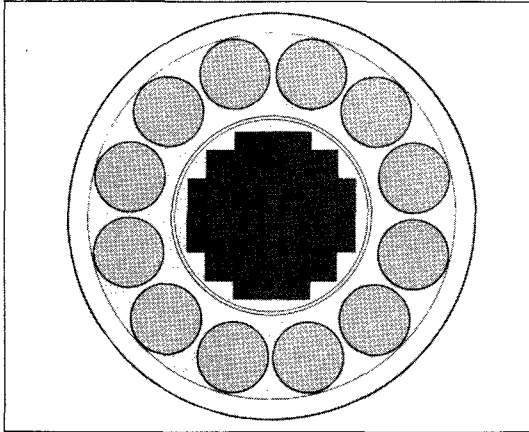
또는 사고조건에서 반응하는 시스템의 안전성을 높힐 수 있다.

蒸氣發生器

SIR에는 성능과 용량이 동일한 증기발생기가 12대 설치된다. 증기발생기는 爐心 윗부분 압력용기 내의 공간에 마치 고리 처럼 배치된다.

<그림 3>은 원자로압력용기 내에 증기발생기가 어떻게 배치되는지를 보여 주는 것이며, <그림 5>는 증기발생기와 원자로와의 관계를 단면으로 볼 수 있는 것이다.

<그림 5>



이렇게 배치한 것은 핵연료를 재장전할 때에 증기발생기 때문에 있을 수도 있는 불편을 덜기 위한 것이다. 뿐만 아니라 증기발생기를 교체할 때에도 충분한 공간이 있어서 爐心을 설치해 놓은채 할 수 있다는 이점이 있다.

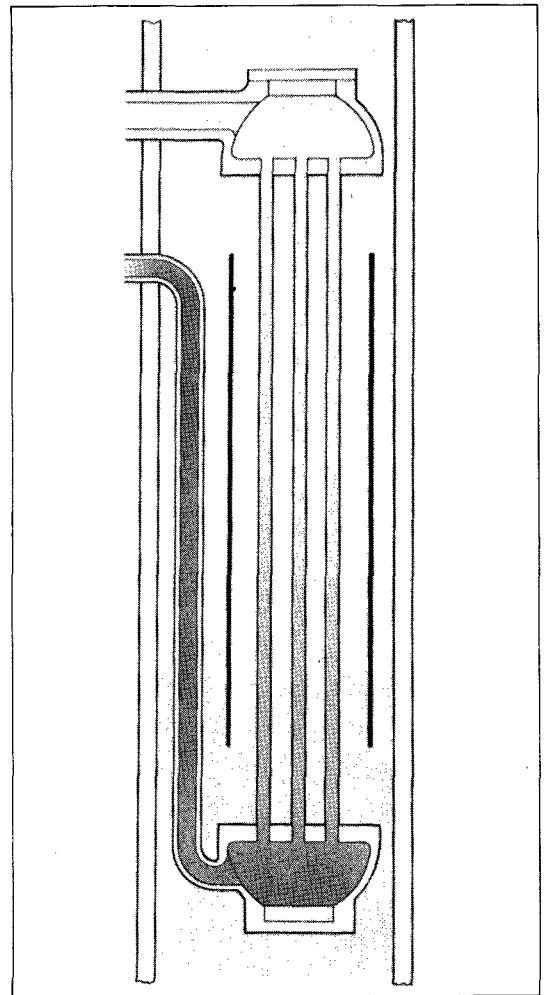
증기의 流入은 상단의 증기母管에서 일정한 수준을 이루도록 되어있고, 給水의 流入은 조금 아래쪽에 있는 내부 파이프를 통하여 하단의 母管으로 보내도록 되어있다.

2차계통의 물은 튜브내에서만 순환되도록 했다. 그래서 2차계통에서 화학물질이 새어나오지 못하도록 했다. 튜브의 용접은 응압시험을 거치도록 했기 때문에 종래와는 달리 튜

브에 어떤 결함이 생겼을 경우 균열로 까지 확대될 수 없게 하였다.

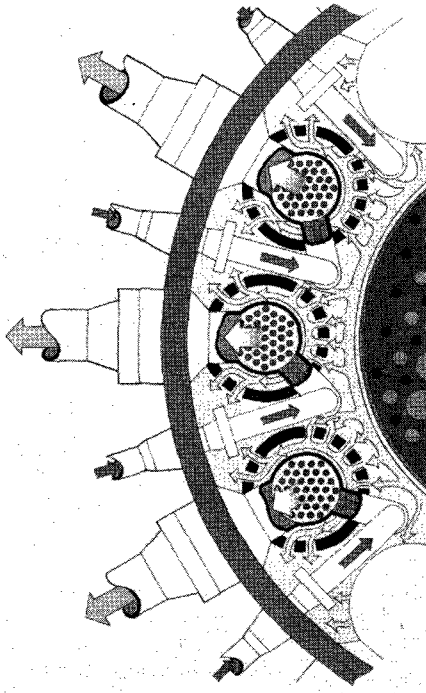
증기발생기는 부식을 최대로 방지하기 위하여 인코넬 690으로 제조토록 했다. 증기발생기를 각각 격리설치토록한 것은 어떤 하나의 증기발생기에 문제가 생겼다고 해도 다른 것에는 아무런 영향을 주지 않으면서 높은 出力에서도 가동될 수 있게 하기 위해서이다.

<그림 6>

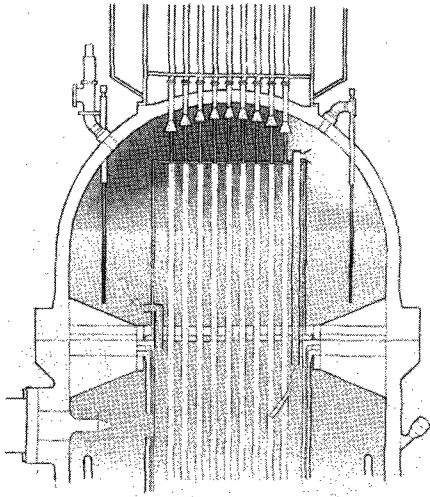


<그림 6>과 <그림 7>은 튜브와 流體흐름경로의 내용을 설명해 주는 것이다. 이 그림을 통하여 상단 母管의 위치도 확인할 수 있다.

<그림 7>



<그림 8>



加壓器

<그림 3>에서 원자로압력용기 상단에 있는 가압기의 위치를 찾아 볼 수 있다. <그림 8>에는 좀더 자세한 배치도가 설명되어 있다.

가압기는 압력용기의 머리부분에 있으며 汽泡를 가열 또는 냉각함으로써 1차계통회로의 압력을 유지하는 역할을 한다. SIR의 가압기는 종래의 표준PWR 설계와는 달리 외부 분사 line이나 급격한 流入 line이 설치되어 있지 않다. 분사와 急流入 거동은 모두 1차계통회로 용량의 변화로 일어나며 따라서 전적으로 수동이 된다.

가압기와 1차회로의 볼륨은 하부 분리막막에 있는 와동Diode로 서로 연결되어 있다. 그래서 流入되는 유체는 분사노즐을 통해 증기지역으로 들어오며, 流出되는 유체는 물지역으로 부터 들어오도록 되어 있다.

流體는 정상적인 경우, 가열상태의 물이든지 또는 증기기포로 있든지 같은 수준으로써 40평방미터의 공간을 차지하게 된다. 이것은 容積 對 出力比를 생각하더라도 표준설계에 비하여 상당히 넓은 것이다. <표 1>에서 그 비 교치를 다시 확인할 수 있다.

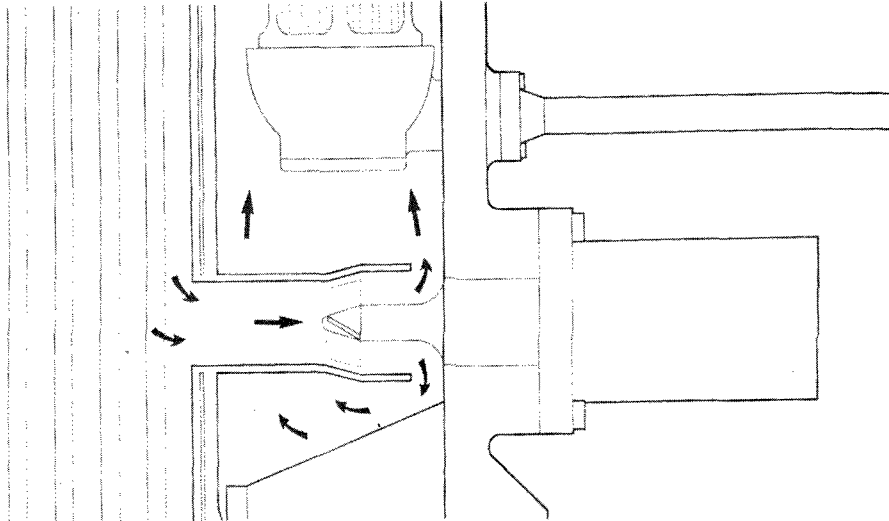
原子爐冷却펌프

냉각펌프는 완전밀봉형(Glandless)이며, 가동시간을 연장하기 위하여 관성을 부가했다. 펌프는 1차계통 냉각수의 準位를 낮추고 나서 중심으로부터 바깥쪽으로 옮겨 보수를 하거나 교체작업을 할 수 있도록 했다. 이때에 압력용기의 윗부분 돔형의 마개부분을 옮길 필요는 없다. 충분한 공간이 있기 때문이다. 한편 1차계통 물의 자연순환으로 증기발생기를 통해 붕괴열을 계속 제거할 수 있도록 펌프있는 곳의 아랫쪽 길쭉한 벽면에 와동Diode를 설치토록 했다.

펌프 스피드는 50헤르츠, 최대 1,100kW 출력에서 1,750rev / min이다. <그림 9>는 펌프의 위치와 流體흐름경로를 보여주는 것이다.

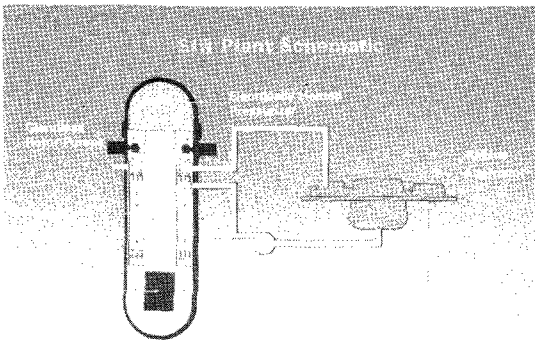
증기발생기에서 만들어진 증기는 일반 표준 발전소에서와 마찬가지로 터빈발전기를 돌려

<그림 9>



전기를 생산하게 된다. 증기발생기 설계에서 조금 다른 점이 있다면 一方進行式 Once-through 설계지만, 그렇다고 해도 특기할 만한 것은 아니다. <그림 10>은 2차계통 증기회로에 대한 것이다.

<그림 10>



安全特性과 安全시스템

SIR의 安全특성설계 중에서 두드러진 사항 중 하나는 爐心과 1차계통회로의 견고성을 강조한 것이다. 이렇게 함으로써 급작스런 出力

변화와 流體흐름의 변화에도 충분히 견딜 수 있도록 했다.

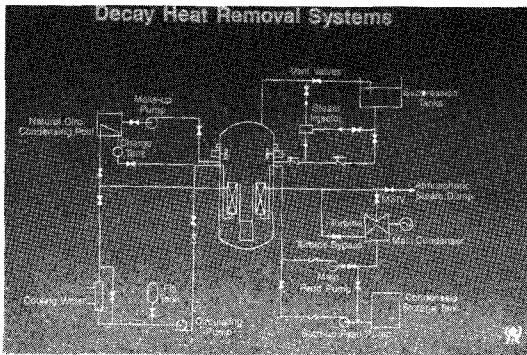
<표 1>에서 볼 수 있듯이 爐心과 熱性能파라메타의 주요사항은 전형적인 大容量 PWR 보다도 우수한 것으로 계산되어 있다. 따라서 低出力密度爐心으로 핵연료를 최대 115%까지 運轉마진이 허용하는 범위내에서 과출력 활용할 수 있다. 한편 이같은 현상은 감속재 負溫度係數와 연관성이 있다. 즉, 원자로에서 어떤 과도상태의 사고가 일어난다고 하더라도 115% 마진 내에서 자체 제어할 수 있는 능력이 있다는 것을 의미한다.

더구나 과냉각의 과도상태가 일어난다고 하더라도 2차계통의 저장각 인벤토리와 負出力係數 때문에 그 상태가 완화되도록 되어 있다. 다시 말하여, SIR에서는 爐心の 상태를 위협하는 어떠한 과도상태의 사고도 일어나지 않을 것으로 예상된다. 때문에 기본적인 것 이외의 다른 어느 비상셋다운시스템도 필요치 않다.

어느 원자로든지 붕괴열을 제거하는 시스템과 비상냉각수를 공급하는 시스템이 있어야

한다. SIR의 경우에도 예외는 아니다. 그런데 실제로 지금까지의 PWR 운전경험을 비추어 보면 너무 복잡한 안전시스템이 별로 필요치 않은 것으로 입증되고 있다. 그래서 최근의 안전시스템 설계개념은 복잡다단한 시스템을 되도록 감소하는 방향으로 가고 있다. SIR에서는 불필요한 안전시스템의 요건을 상당히 단순화 하였다. <그림 11>은 SIR 원자로 안전시스템의 기본 개요를 보여주는 것이다.

<그림 11>



• ECCS : 대형 1차계통 파이프 설치를 용기의 바깥쪽에서 모두 제거하는 것은 이미 논의된 바 있다. 안전시스템의 견지에서 본다면 이것은 매우 중요한 영향을 미치는 것이다. 1차계통회로에서의 가장 큰 파이프 파열은 직경 70mm라고 계산되고 있다. 일정량의 화학물질과 제어시스템을 공급하는 파이프이다.

통상적으로 다량의 비상냉각수를 신속히 쏟아내기 위하여는 主容器를 급히 비워야 한다. SIR에서는 그렇게 할 필요가 없도록 했다. 더구나 높이가 제일 낮은 注入口라고 해도 爐心으로부터 8.9m 높이에 관통하여 있으므로 爐心用 냉각수가 상당량 남아있게 된다. 증기를 상실하는 것은 냉각수를 상실하는 것보다 에너지를 제거하는 효과적인 방법이다. 따라서 비상노심냉각에 필요한 지금까지의 요건을 감소시킬 수 있다.

냉각수注入은 통상적인 방법 처럼 저낙차로

다량 주입할 필요가 없다. 완전히 수동의 증기주입으로 고압력 注入이 가능하기 때문이다. 즉, 1차계통의 증기를 이용할 수 있다. 냉각수는 격납용기의 압력폐쇄폴로 부터 공급받을 수 있다. 이 시설은 원자로용기의 윗쪽에 있기 때문에 만일 시스템의 압력이 상실되더라도 중력에 의하여 냉각수가 아래로 떨어지게 되어 있다. 이와 같이 SIR에서의 비상냉각수 注入시스템은 단순하면서도 완전히 受動的이며, 냉각수의 양도 많을 필요가 없다.

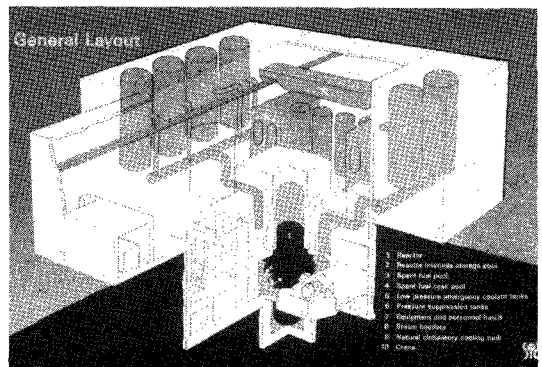
• 붕괴열제거 : 일반적으로 원자로를 補修하거나 핵연료를 재장전하기 위하여 원자로를 점차 냉각할 때에는 터빈 바이패스와 함께 증기발생기를 이용하도록 했으며, 이로써 열제거는 복수기를 통해 될 수 있게 하였다. 이 과정은 1차계통측의 자연순환으로도 달성될 수 있다.

이때에는 2차계통의 급수펌프와 기타 설비가 이용된다. 즉, 온도와 증기압력이 상당히 낮으면 순환수를 이용하여 열제거가 될 수 있도록 한 것이며, 냉각은 콤포넨트냉각수시스템으로 하도록 했다.

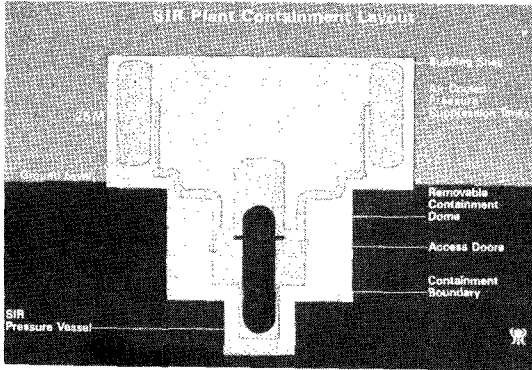
이같은 과정에서 만일 AC전력의 사용이 어철제 탱크안에 설치토록 했다. 철제 탱크는 8개이며, 다음과 같은 몇가지 장점이 있다.

<그림 12>는 일반적인 발전소 배치의 단면도이고,

<그림 12>



〈그림 13〉



〈그림 13〉은 자연순환냉각의 흐름도이다.

• 철제 탱크가 8개나 된다는 것은 그만큼 표면 용적비를 크게 확대한 것이다. 따라서 자연순환만으로도 충분히 열제거를 할 수 있

다. 앞서서도 언급했듯이 열제거는 운전원의 특별한 조작 없이도 72시간 계속 진행될 수 있다.

• 압력쇄쇄풀(Pressure Suppression Pool)은 증기안에 포함되어 있을 수도 있는 핵분열성 생성물을 정화하는 가스洗淨器 역할을 할 수 있다. 매우 효과적인 필터인 셈이다.

• 철제 탱크는 콘크리트에 비하여 증기의 누출 가능성이 거의 없다.

• 철제 탱크는 제조, 운송, 설치가 비교적 쉽다. 따라서 발전소의 建設性(Constructibility)을 높힐 수 있다.

SIR 발전소에 관한 모든 安全시스템 기술자료는 〈표 2〉에 수록되어 있다.

〈표 2〉

Plant data		control element
Design lifetime	60 years	assemblies, no soluble boron
Power output (design)	320 MWe	Clad material
Reactor power	1000 MWth	Zircaloy-4
Reactor type	Pressurised water reactor (PWR)	Power density
Plant style	Integral primary circuit	55kW / litre
Primary circuit		Minimum DNBR
Design pressure	19.4MPa (194 bar)	2.6
Operating pressure	15.5MPa (155 bar)	Refuel cycle
Coolant flow	7500kg / s (7.38t / s)	24 months
Core inlet temperature	295°C (563°F)	Steam generators (SGS)
Core outlet temperature	318°C (604°F)	Number
Reactor core		12
Moderator	Light water	Type
Fuel	Low enriched UO ₂	Modular once through
Fuel enrichment	3.3~4.0 per cent	Steam temperature
Reactivity control	Fuel loading, burnable poison,	298°C (568°F)
		Steam pressure
		5.5MPa (55bar)
		Superheat
		28°C (82.4°F)
		Feedwater temperature
		224°C (435°F)
		Feedwater flow
		516kg / s (1138lb / s)
		Tube bundle length
		8.5m (27ft 10in)
		Heat transfer area
		11 140m ² (13 323 sq.yards)
		Material
		Inconel 690
		Pressuriser
		Type
		Integral with reactor vessel (in head)

Volume	80m ³ (2825ft ³)	Decay heat removal	Passive, through SGS using natural convection boiling / condensing cycle
Reactor coolant pumps			
Number	6		
Type	Glandless, wet winding		
Power (design)	1100 kW	Emergency cooling injection	Passive, steam injectors powered by pressuriser steam
Operating power	700 kW		
Instrumentation and control		Construction schedule	
Control complex	Based on CE nuplex 80+™	Site work to first concrete	6 months
Containment		First concrete to commercial operation	30 months
Type	Passive, pressure suppression	Order to commercial operation	54 months
Safety systems			

經濟性 (建設費)

SIR 설계가 기술적인 면에서 설득력이 높다고 하더라도 경제성이 결여되어 있다면 사업자로서 선뜻 건설하려 하지 않을 것이다. 어떤 원자로든지 새로 설계할 때에 가장 깊이 고려해야 할 사항은 바로 건설비를 포함한 경제성이다.

화력이든 원자력이든 일반적으로 발전소 비용은 다음 세가지로 나눌 수 있다. 첫째 資本費, 둘째 燃料費, 셋째 利子負擔 (특히 건설중이자 : IDC)이 그것이다.

원자력발전소의 경우에는 건설비와 건설중이자가 핵연료비에 비하여 상당히 큰 몫을 차지한다. 그러나 SIR의 경우에는 어떤 항목이 가장 큰 몫이라고 단정하기가 어렵다. SIR는 일반 PWR에 비하여 전혀 새로운 개념으로 시스템을 설치하는 것이므로 단순히 종래의 PWR설계를 축소한 개념으로 비교할 수는 없기 때문이다. SIR의 비용절감내용중 특기할 만한 것인 폐쇄주기, 자연대류, 비등 및복수 시스템으로 열제거를 할 수 있도록 했다. 이

경우 처음의 밸브를 작동하기 위해 배터리전력만 있으면 된다. 이같은 시스템을 통한 열제거는 운전원의 조작없이도 최소한 72시간 계속될 수 있도록 설계되어 있다.

한편 붕괴열 제거는 증기발생기를 전혀 이용하지 않고서도 가능토록 했다. Safety Relief Valve 라인과 Containment Pressure Suppression Tank를 이용하는 것이다. 이상과 같이 붕괴열제거는 어떤 경우에는 능동시스템으로, 어떤 경우에는 완전히 수동시스템으로, 또 어떤 경우에는 능동과 수동을 혼합한 시스템으로 가능할 수 있게 되어 있다. 물론 이들 시스템은 多重개념으로 설치되고 작동되도록 되어 있다. 이러한 붕괴열제거시스템이야말로 次世代 원자로에서 당연히 예상할 수 있는 安全특성이다.

格納容器 安全시스템

표준형 PWR의 설계에서 격납용기를 중요하게 여기는 것은 1차계통의 대형 냉각파이프가 파열될 수도 있다는 가능성 때문이다. 직

경 30인치나 되는 초냉각파이프가 파열된다면 1차계통회로에 포함되는 각종 설비가 손상될 수 있다. 그래서 튼튼하고도 콤팩한 격납용기가 필요한 것이다.

표준형 PWR에서는 대형 건식(dry) 격납용기가 전형으로 되어 있다. SIR의 경우에는 대형 파열에 상응하는 개념이 없으므로 다른 각도에서 격납용기를 설계해야 했다. SIR의 격납용기 요건은 직접 사이클의 비등수형원자로와 흡사하다고 생각할 수 있다. 압력비가 낮으므로 최대의 파이프 파열사고가 일어난다고 해도 그 영향은 대단한 것이 되지 못한다. 즉, 파열이 일어난다고 해도 남아있는 에너지는 단순한 압력폐쇄개념으로 제거될 수 있다. 증기를 대형 수조에서 응집시킬 수 있기 때문이다.

SIR의 규모가 생각보다는 작기 때문에 이러한 이점을 충분히 살려서 압력폐쇄시스템을 만든 것은 다음과 같다.

- 규격화(Modularisation) : SIR의 경우에는 원자로압력용기(RPV), 증기발생기, 펌프 등 주요 설비를 일정한 규격으로多數 제작하여 현장에 가져와서 조립식으로 맞추어 설치하기만 하면 된다. 따라서 핵수준급 용접과 같은 현장 요건이 현저하게 줄어든다.

- 일괄공장제조 : 1차계통회로의 모든 부품설비는 품질보증이 철저하게 확보된 공장에서 우수한 생산공정기술로서 일괄제조된다. 격납용기의 주요 설비도 마찬가지이다.

- 현장건설의 신속성 : 원자로 본체와 격납용기의 압력폐쇄구조물만이 핵수준급이며, 다른 모든 부품설비는 일반 PWR발전소의 경우와 다를 바가 없다. SIR의 경우에는 주요 부품설비를 현장에 적기에 조달함으로써 표준건설공기를 36개월로 단축할 수 있다. 이렇게 함으로써 건설중이자(IDC) 부담을 경감할 수 있을 뿐만 아니라 투자자의 입장에서도 보다

신속한 상황이 보장된다.

이상 몇가지 사항은 모두 경비절감에 큰 기여를 할 수 있는 것이다. 만일 SIR를 시리즈로 발주한다면 현재의 대형 용량에 비하여 분명히 경제성이 있다. 즉, 경쟁력이 있다.

適用性 (Flexibility)

〈그림 12〉는 單一원자로로 구성된 SIR 발전소의 일반적인 layout이다. 이같은 구성은 경제성에 기본을 둔 비용산출에 의한 것이며, 또 영국의 부지요건에 맞도록 한 것이다.

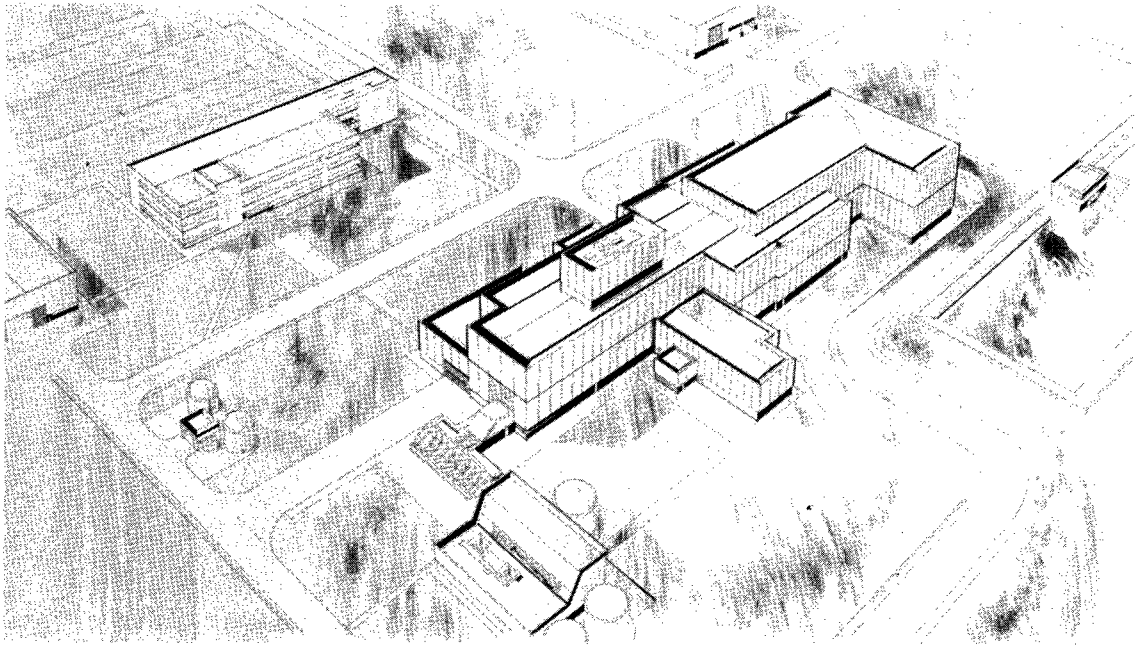
미국의 원자력발전소 市場은 600MWe급을 표준용량으로 선호하는 입장이다. SIR가 300MWe급이므로 미국 市場에 적합하기 위하여는 2기의 SIR 원자로를 單一 터빈에 연결하는, 즉 1발전소 2 원자로의 쌍동이 설계개념이 바람직하다. 이렇게 하는데에는 비단 비용절감뿐만 아니라 여러가지 장점이 있다.

SIR의 경우, 300MWe급에서도 이미 경제성이 충분히 입증되고 있으므로 설계가 보완된 300MWe급 2기를 單一발전소에 적용하는 개념은 더욱 경제성이 있다고 할 수 있다. 〈그림 14〉는 4기 (1,200MWe) 단일 발전소의 개념을 보여주는 것이다. 이와 같이 300MWe급을 몇기든지 단일 발전소에 적용할 수 있다.

認許可 및 大衆의 認識問題

SIR 프로젝트의 기본목적중 한가지는 안전성에 대한 일반대중의 우려를 안심시켜 주는 그러한 설계에 있다. 물론 SIR가 아직은 실용화되지 않았으므로 일반대중의 신뢰를 얻을 수 있는지는 미지수이다. 그러나 지금까지 SIR에 대한 언론의 태도는 매우 호의적이었으므로 대중적 합의에 그리 큰 걱정은 하지 않고 있다. SIR의 安全性과 經濟性에 대하여 다음과 같은 내용은 일반대중의 우려를 해소해 줄 수 있는 기본항목이다.

〈그림 14〉



• 만일 비정상 상태가 일어난다고 하더라도 사태 완화를 운전원에게만 의지하지 않아도 된다. 受動爐의 특성 때문이다.

• 원자로 응답시간(response time)을 줄이기 위하여 폭넓은 熱관성을 이용하게 되어 있다.

• 소형 발전소이므로 환경영향이 매우 미약하다.

• 건설기간이 짧으므로 인근 지역에 대한 불편을 덜어줄 수 있다.

• 소형이므로 수명이 끝난 후 폐로가 용이하다.

SIR가 아직까지는 영국의 규제기관인 NII (Nuclear Installations Inspectorate)나 미국 NRC에 인허가 목적으로 제출된 바는 없다. 그러나 인허가에 앞서서 SIR의 우수한 장점을 계속 소개하고 설명할 방침이다. SIR 설계의 인허가 신청은 모든 자료가 완벽하게 구비되고 부지까지 결정되어 전문적 판단을 내릴 수 있

을 시점까지는 제출하지 않을 계획이다.

일반적으로 영국과 미국의 규제요건은 몇가지 입장에서 약간의 차이가 있다. 그러나 新型爐에 대한 인허가 원칙은 아직 실적이 없기 때문에 두 나라가 모두 생소한 입장이다. 인허가에 대비한 新型爐 안전기준이 아직까지 마련되어 있지 않은 실정이다.

민간단체에서 新型爐에 대한 안전지침을 준비한 경우가 있다. 미국 EPRI가 次世代 원자력발전소 지침서를 작성한 바 있다. 현재로서는 이 지침서가 SIR 판단에 척도로 사용할 수 있는 가장 유용한 것이다. 어쨌든 SIR의 최종 판단을 내릴 곳은 정부의 규제기관이다.

앞으로의 展望

UKAEA를 비롯한 英·美 합작재단은 두가지 平行的이면서도 集合的인 활동을 추진하고 있다. 첫째는 미국의 인허가에 부응하는 설계

보완작업이다. 미국 NRC의 인허가 방침은 우선 설계에 대하여 일반적인 인허가를 내어주고, 그후 실제로 발전소를 건설할 때에 특별히 짚고 넘어가야 할 사항을 항목별로 인허가 해 주는 형태이다.

특히, 미국에서는 건설단계에 있어서 州정부나 지방행정기관의 입김이 크게 작용한다. 어쨌든 SIR의 설계에 대한 인허가 걸림들은 현재로서 쉽게 넘어갈 수 있을 것 같다. 설계 보완이 끝나는 시점은 1990年代 중반으로 보고 있다.

미국과는 달리 영국에서의 실제 건설사업은 보다 빨리 진척될 수 있다고 보고 있다. 사실 영국전력공급산업(ESI)과 기타 관련된 원자력산업계가 지원만 충분히 해준다면 어려운 문제가 아니다. UKAEA는 SIR 1호기의 건설 부지로 Winfrith를 내정해 놓았다. SIR 정도 규모의 발전소는 별문제없이 건설할 수 있는 구조와 여건이 이미 마련되어 있는 지역이다. 뿐만 아니라 이 지역은 전력수요가 매우 높은 곳이므로 어차피 발전소의 신규건설이 필요한 곳이다.

結 論

새로운 개념의 新型爐 설계를 위하여 英·美 합작재단은 다음과 같은 원칙적인 목표를 세워놓은 바 있다.

- 經濟性이 있어야 한다.
- 기존의 技術을 이용할 수 있는 것이어야 한다.
- 新型爐로서 내세울 수 있는 安全특성이 확실히 있어야 한다.

첫번째 목표는 혁신적인 설계방법으로 달성되었다고 할 수 있다. 현대의 제조기술과 건설공기의 단축으로 경제성을 입증할 수 있다. 뿐만 아니라 단일 발전소에 여러 기의 SIR 원

자료를 설치하는 것도 확실히 경제성이 있는 것으로 계산되었다. 물론 300MWe급 1기를 단독 건설하는 경우에도 현재와 비교하여 경제성이 분명히 있는 것으로 되어 있다.

둘째 문제와 관련하여 SIR의 모든 설계가 지금까지 충분히 입증된 기술(설비, 재료, 제어시스템, 기자재제조 등)에 전적으로 의존하는 것이므로 새로운 모험과 투자를 하지 않아도 된다는 것이다. 다만, SIR가 새롭다고 하는 것은 현재 기술의 모든 정수를 한데 묶는 시도를 했다는 사실에 있다.

세째로 SIR의 경우에는 原型爐(또는 試驗爐)를 굳이 건설해야 할 필요가 없을 정도로 安全특성이 확인되어 있다. 또 상용화를 위해 장기간에 걸쳐 開發프로그램을 추진할 필요도 없다. Sir의 安全특성은 최초로 있었던 몇몇 사고에서 얻은 교훈을 최대 반영했을 뿐만 아니라 오늘날 일반대중이 논쟁으로 삼고 있는 安全관련 사항도 폭넓게 참고했다는 데에 있다. 그러나 安全性이야말로 앞으로의 설계보완에 있어서 더욱 가다듬고 개선해야 할 분야임에는 틀림없다.

토 · 막 · 상 · 식

의료기기와 放射線

유럽의학이 병원세균을 발견하고, 그의 가열살균이 이런 疫病을 예방하는 방법임이 알려지고 나서야 인류는 疫病의 공포에서 풀려나게 되었다.

특히, 사람몸 속에서 직접 접촉하게 되는 의료용구 등은 완전하게 무균이 되지 않으면 안된다. 병원에서 사용되는 주사기나 주사바늘, 수술에 사용되는 명주나 플라스틱의 縫合糸, 수술용 고무장갑 등은 코발트60의 감마선에 의한 방사선멸균이 시행되고 있다.

방사선에 의한 멸균법은 가열함으로써 못 쓰게 되는 재질로 된 용구에 이용할 수가 있으며, 또 가스에 의한 멸균 보다도 유독물의 잔류 걱정도 없다. 또한 포장한 상태대로 멸균이 된다는 등의 이점도 있다.