

핀란드/소련 VVER-91 共同開發

VVER-91 프로젝트는 종전의 VVER 보다 안전하고 경제적인 것으로 단기간내에 실용화할 수 있는 원자로를 개발하는데 그 목적이 있다.

최초의 VVER-1000(소련형 1000MWe PWR)이 1980년에 운전을 개시한 이후 지금은 17기가 운전중에 있다. VVER-91은 VVER-1000의 경험을 살려 많은 개선된 설비를 포함하고 있다.

1990년초에 체결된 협정에 따라 소련의 Atomenergoproekt 설계연구소의 레닌그라드 분소는 핀란드의 Imatran Voima 전력회사(IVO)의 지원을 받아 VVER-91을 지금까지 개발해 왔다. 핀란드의 IVO사는 현재 Loviisa 원전에서 2기의 VVER-440을 운전하고 있는 회사다.

1977년과 1980년에 Loviisa원전의 2기의 VVER-440 유닛을 성공적으로 완성시킨 양국간의 공동노력은 이번의 VVER-91 설계에서도 지속되고 있다.

2중의 격납건물

VVER-91의 설계는 소련의 안전기준을 최대한 충족시킨다는 전제하에 이루어지고 있다. 또한 소련과 핀란드의 안전기준을 비교해 그중에서 높은 쪽을 VVER-91 설계에 적용하고 있다.

이 원자로의 격납건물은 2중으로 되어있는데

안쪽과 바깥쪽의 격납설비간에는 약간의 진공이 유지된다. 배출공기는 필터를 거쳐 굴뚝으로 배출된다. 1차격납건물은 Prestressed 콘크리트로 되어있고 내부표면은 강판으로 라이닝 되어 있다. 이 격납건물은 원통형으로 평면 기초슬라브와 둥근 루프를 가지고 있다.

격납건물의 內徑은 44m다. 안쪽 격납건물의 설계누설량은 24시간내에 전체 가스량의 1.2%를 넘지 않도록 되어있다.

2차격납건물은 콘크리트구조로 1차와 2차 격납건물 사이의 간격은 1.8m다.

1차격납건물의 설계압력은 0.55MPa, 설계온도는 155℃다. 사용후연료저장시설 용량은 10년분으로 격납건물내의 냉각풀속에 마련돼 있다.

기기운반 해치는 연료운반을 비롯해 증기발생기 반입도 가능하도록 충분한 크기로 되어있다. 원자로운전중에도 격납건물 출입이 가능하다.

안전설비

VVER-91의 전체건물부피는 603,000m³로 각각 다른 기능을 가진 몇개의 건물로 이루어져 있다. 안전관계 설비는 4개의 독립된 계열

로 형성돼 있다. 이 계열들은 서로 분리돼 있고 계열간의 경계면은 3시간 동안 화재확대를 방지할 수 있도록 되어있다. 전기배선이나 환기관이라 할지라도 계열간에 직접 연결되는 부분은 없다.

중대사고대비책

노심용융사고를 비롯한 중대사고를 설계시 감안했다. 노심용융사고가 나도 격납건물은 건전하게 유지된다. 중대사고발생시의 피해를 최소화시키기 위해 다음과 같은 대비책이 마련돼 있다.

- 단단한 암반이 기초슬라브와 맞닿아 있어 그 사이에는 공간이 없다.
- 격납건물 바닥의 강판 라이닝은 3m 두께의 콘크리트로 피복돼 있는데 이는 용해된 corium에 의한 침식을 막기 위한 것이다.
- 용해된 corium이 원자로 주변에 떨어져 증기로 인한 폭발이 일어날 경우에 대비해 원자로 주변의 구조물을 보강했다.
- 격납건물의 설계압력은 재래식 분석에서 나온 최대치 보다 30% 더 크게 잡았다.
- 격납건물에는 압력완화장치가 되어있어 사고시의 방출가스를 격납건물 밑으로 부터 배출하게 되어있다.

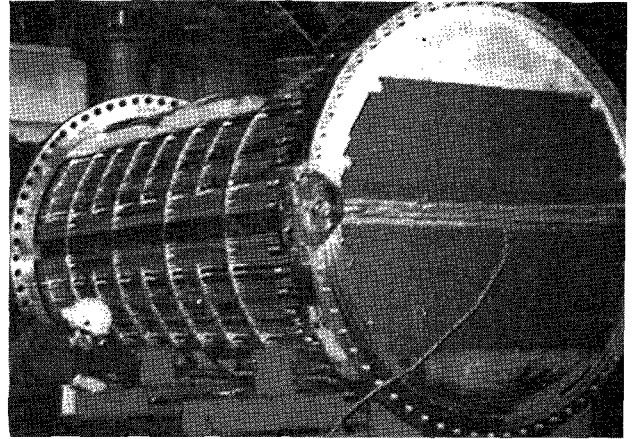
외부로 부터의 재해방지

이 원자로로는 항공기충돌사고에도 견디도록 설계돼 있다. 현재의 설계는 소형 항공기 충돌사고를 기준한 것이지만 대형 항공기 충돌사고에 대한 대비가 필요하다고 생각될 때는 약간의 설계변경으로 이것이 가능하게 되어있다.

이 원자로로는 지진에 대해서도 대비했는데 최대 0.1g까지의 수평가속도에도 견딜 수 있게 설계되었다.

외국설비 사용

VVER-91 노형은 보조기기들도 소련제를 사용하는 것을 기본으로 하고 있지만 소련에서 생산되지 않는 것은 외국의 것을 사용하도록 되어있다. 핀란드로 수출되는 VVER-91은 핀



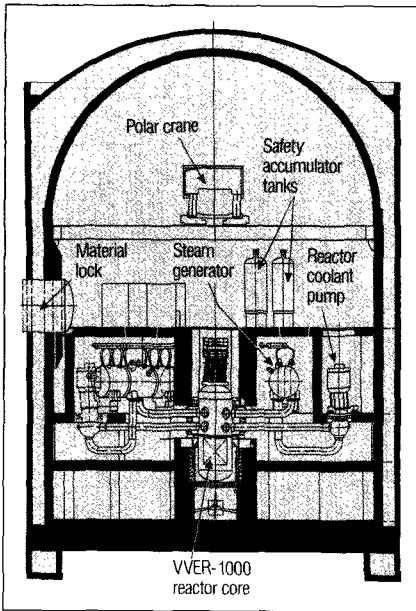
VVER-91 주요제원	
열출력	3000MW
1차계통압력	15.7MPa
온도, 입구/출구	290/320℃
연료장전량(UO ₂)	80t
제어봉수	121
평균연료농축도	4.4%
평균연소도	44Wd/kgU
누프수	4
증기발생기형식	Horizontal
터빈수	1
터빈출력	1100MW
터빈회전수	1500rpm

란드의 IVO사가 그들의 입지조건에 맞추어 이를 보완하고 있다. 이러한 보완설비는 입지나 고객이 바뀌는 경우 그들의 요구조건에 맞추어 재설계할 수 있게 되어있다.

핀란드 입장에서 본 VVER-91

VVER-91은 당초 핀란드의 필요에 의해 개발된 것이지만 수출의 잠재성을 비롯해 소련의 원자력전략에 큰 영향을 줄 것으로 핀란드의 IVO사는 전망하고 있다.

핀란드에 적합한 VVER형 원자로의 개발을 IVO사가 구상하기 시작한 것은 1980년대초로 당시 IVO사는 동사의 Loviisa 원전의 VVER-440원자로 2기가 매우 성공적으로 가동



VVER-88이란 개선된 PWR 노형을 개발해 가까운 시일내에 이를 건설하려고 했다. 소련은 또 VVER-92란 신세대 PWR를 개발하기 위한 장기적인 프로젝트에 착수했다. VVER-92의 중요한 아이디어는 물/공기 열교환기를 통해 증기발생기로 부터 직접 잔열을 제거하는 것이었다.

VVER-92는 안전성과 경제성의 개선을 약속했지만 핀란드에서 건설할 수 있을 정도까지는 아직 개발돼 있지 않아 1990년대 후반 전까지는 건설할 수 없을 것이라고 Palmgren씨는 말하고 「VVER-92의 새로운 시스템과 기기는 이의 운전성을 점검하기 위해 아직도 많은 시험을 거쳐야 한다」고 했다. 그는 또 「우리가 입수한 정보에 의하면 소련은 이미 일부 시험을 마쳤고 실제규모의 잔열제거시험을 현재 준비중에 있다. VVER-92의 개발은 혁신적인 것이라고 할 수 있을 것」이라고 했다.

되고 있었기 때문에 신규원자로 건설을 계획중이었다. 그러나 체르노빌사고로 이 프로젝트는 보류되었는데 그후 1990년초에 소련의 수출기관인 Atomenergoexport공사와 IVO International사간에 기술제휴협정이 체결됨에 따라 이 프로젝트는 다시 거론되기 시작했다.

「기술적인 면에서 볼 때 VVER-91 원자로는 핀란드의 상황에 잘 맞는다. 이 원자로는 개발과정에서 핀란드의 엄격한 안전기준을 전폭 수용하고 있을 뿐만 아니라 소련의 안전기준도 완전히 충족시키고 있다」라고 IVO사의 생산본부장이며 Perusvoima사(핀란드의 2개의 원자력발전회사인 IVO사와 TVO사가 핀란드의 원전 제5호기 건설을 위해 합작 설립한 회사)의 Palmgren 전무는 밝혔다.

이외에도 이 원자로는 건설, 운전면에서 기존의 유닛보다 경제성이 높도록 계획된 것으로 시장경제상황에 맞도록 건설원가를 조정하는데 큰 주의를 기울였다.

혁신형이 아닌 발전형의 VVER-91

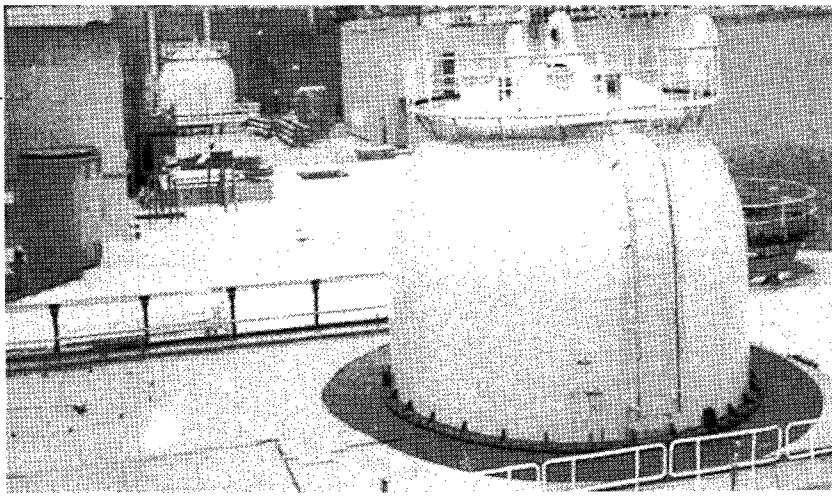
체르노빌사고를 계기로 소련은 재빨리

주요 개선사항

그러나 VVER-91 역시 VVER-88에 비해 많은 개선이 이루어졌다. 예를 들면 VVER-88에서는 원자로에 이상이 생겼을 때 사용되는 가장 중요한 장치가 원자로 아래에 설치돼 있는 반면에 VVER-91에서는 이러한 장치가 보다 더 신뢰성 있게 보호될 수 있는 떨어진 위치에 설치돼 있다. 화재발생시의 피해를 줄이기 위해 터빈설비도 별도의 건물로 옮겨졌다.

내진강도를 높이기 위해 VVER-91에서는 원자로의 중심을 되도록 낮게 잡았다.

대체적으로 VVER-91의 건설비는 표준형 VVER-88 보다 약 20% 낮아지고 건물의 부피도 약 1,000,000m³에서 약 600,000m³로 줄었다. VVER-88은 약 170,000m³의 콘크리트와 40,000톤의 강재가 소요되는 반면에 VVER-91은 110,000m³의 콘크리트와 18,000톤의 강재가 소요된다. 건설기간도 VVER-88이 7년이 걸리는데 비해 VVER-91은 6년 미만일 것이라고 IVO사에서는 예상하고 있다.



그외에 공기조절과 방사선방어관계도 개선되어 운전중 원자로구역의 출입도 허용된다. 따라서 원자로가 진출력으로 운전되고 있을 때 연료장전을 위한 停止작업을 시작할 수 있게 되었다. 연차보수기간도 VVER-88은 35일인데, VVER-91은 20일이 걸릴 것으로 IVO사에서는 예상하고 있다.

핀란드에 유리

핀란드가 VVER-91 설계에 크게 참여하고 있다는 것이 핀란드의 5호기 선정을 위한 현재의 경합상태에서 VVER-91이 크게 유리한 점이다(다른 경합 원자로로는 ABB사의 BWR-90, Siemens사의 1000MWe BWR, NPI사의 1000MWe PWR가 있다). Atomenergoproekt사의 자문역할을 하고 있는 IVO International사는 발전소레이아웃, 전기설계, 배관, 건설계획 등을 맡고 있고 프로세스설계도 일부 맡고 있으며 이외에 IVO사는 안전분석에 관한 조언도 하고 있다(외국에서의 VVER-91의 마케팅은 Atomenergoexport사가 맡고 있고 원자로 납품은 또 다른 소련 수출기관인 Zarubezhatomenergostoj사에서 다루고 있다.

당초부터 핀란드의 설계방식을 감안한 VVER-91은 Loviisa 원전을 참고로 개발된 것으로 Loviisa현장의 지리적 및 기상적 특성을 고려한 것이다.

「Loviisa원전의 건설과 운전을 통해 IVO사는 VVER 노형에 관해 많은 기술을 축적하고 경험을 쌓았다」고 Palmgren씨는 말하고 「VVER의 원자로, 압력용기, 증기발생기, 터

빈 등이 지금까지 Loviisa 원전에서 잘 운전되고 있다」고 덧붙였다.

이 소련형 원자로의 장점의 하나는 물용량이 큰 4대의 수평형 증기발생기를 사용한다는 것이다. 수평형 증기발생기는 수직형 증기발생기보다 과도적인 현상이 서서히 일어난다. 또한 가지 VVER의 장점은 사용후핵연료를 소련으로 返送시킬 수 있다는 것이다.

현재까지 VVER-91의 프로세스 설계, 원자로 레이아웃과 가장 중요한 안전설비의 개발을 끝냈고 전기, 건물 배관 설계도 금년중에 끝낼 것으로 보인다.

Kola원전

Palmgren씨에 의하면 VVER-91 원자로는 핀란드는 물론이고 소련과 제3국에도 매력적인 제안이 될 것이다.

VVER-91은 소련이 현재 Kola-5, 6호기로 계획중인 2기의 1000MWe급 PWR발전소에도 해당되는 원자로다. 이곳에는 이미 운전중인 4기의 VVER-440 원자로가 있는데 이 중에서 Kola-1, 2호기는 초기의 V-230형으로 이 2기는 대대적인 보완공사를 하던가 폐쇄하던가 하지 않으면 안되게 되어있다. 폐쇄하는 경우 이를 대체할 원자로가 가까운 장래에(1998년 전에 운전을 시작할 수 있도록) 필요하게 될 것이다.

「핀란드나 소련의 입장에서 보면 Kola-5, 6호기를 VVER-91로 하는 것이 유리하다」고 Palmgren씨는 말하고 「이렇게 되는 경우 IVO사도 원자로의 설계와 일부 설비의 공급 및 건설에 참여하게 될 것」이라고 했다.