

## Loviisa原電의 VVER-440

핀란드가 20년전에 VVER-440 원자로를 주문했을 때 안전기준은 서방의 기준에 맞추어야 한다는 것이 조건부로 되어있었다. 이에 따라 최신식 서방기술이 도입됨으로써 높은 수준의 안전성이 확보되었다. Loviisa원전 2기(1977년과 1980년에 운전개시)는 VVER-440형이 기본으로 되어있지만 설계내용은 독특한 것이었다.

Bjarne Regnell

〈핀란드 Imatran Voima 社〉

독일통일로 신생독일은 현행 원자력안전기준을 재조정하지 않을 수 없게 되어 구동독 원자력발전소의 안전수준 평가작업에 착수했다. 구동독의 발전소는 VVER-440 원자로의 2가지형으로 되어있는데 하나는 구형인 V-230형(Greifswald원전 1~4호기)이고 또 하나는 신형인 V-213형(Greifswald원전 5~8호기)이다. 이 두가지 형은 현재 소련과 일부 동유럽국가에서 사용되고 있다.

이 2가지 형의 VVER-440 원자로는 안전특성이 다르다. 구형인 V-230형은 신형인 V-213형 보다 몇가지 기본적인 안전특성(나중에 V-213형에 적용된)이 결여돼 있다. V-213형은 1980년에 처음으로 상업운전에 들어간 모델이다. 이 신형 모델은 많은 안전시스템을 가지고 있는데 여기에는 1차계통의 고/저압주입시스템과 스프레이시스템이 포함되고 이외에 원자로건물 옆에 bubbler/condenser tower를 세워 1차계통 대형파이프의 파열사고

에 대처할 수 있게 해놓았다.

### Loviisa원전 원자로의 특성

그러나 20년전에 핀란드가 VVER-440 원자로의 구매교섭을 벌였을 때는 소련에서 구입할 수 있는 모델은 V-230형 밖에는 없었다. 이 모델은 당시의 핀란드 안전기준에 못 미치는 것이었다. 당시의 핀란드 안전기준은 미국 기준을 많이 본딴 것이었기 때문에 핀란드기준에 맞는 독특한 모델을 개발할 필요가 있었다. 이 모델의 일부 특성은 나중에 V-213형에 적용되었다.

Loviisa 원자로를 설계할 당시 가장 중요시했던 문제는 1차계통의 설계기준 누설량을 어느 정도로 잡느냐 하는 것이었다. 오랜 논의끝에 핀란드기준에 맞추기로 합의하고 1차계통에서 가장 큰 파이프의 파열사고를 기준해 설계하기로 결정했다. 이 결정에 따라 비상용 노심

냉각시스템과 격납용기를 추가하게 되었다.

### 비상용 노심냉각시스템

고/저압 주입시스템으로 이루어지고 core flooding accumulator를 갖춘 충분한 용량의 분리된 비상용 노심냉각시스템이 설계되었다. 이것은 V-230형과는 큰 대조를 이루는데 V-230형의 경우는 32mm 파이프(실제적으로는 유량제한장치를 갖춘 100mm 파이프)의 파열을 기준해 설계한 고압주입시스템만 가지고 있다.

### 격납용기

이와 함께 설계기준 파이프파열사고에 대처할 수 있는 격납용기도 설계하지 않으면 안되었다. Westinghouse형의 ice condenser가 선정되었는데 그 주된 이유중의 하나는 사고시 압력용기내에 낮은 온도와 압력이 유지되므로 주요기기의 환경적인 요건을 완화시킬 수 있다는 것이었다. 중대사고가 일어나는 경우를 가상하면 격납용기의 낮은 설계압력은 단점이 될 수 있고 ice condenser도 운전상의 결함이 있다고 할 수 있다.

그러나 V-230형의 경우는 폐쇄설비의 氣密성이 제한되었고 더우기 설계압력을 초과하는 경우 대기로 직접 방출할 수 있게 설계된 밸브를 갖추고 있다.

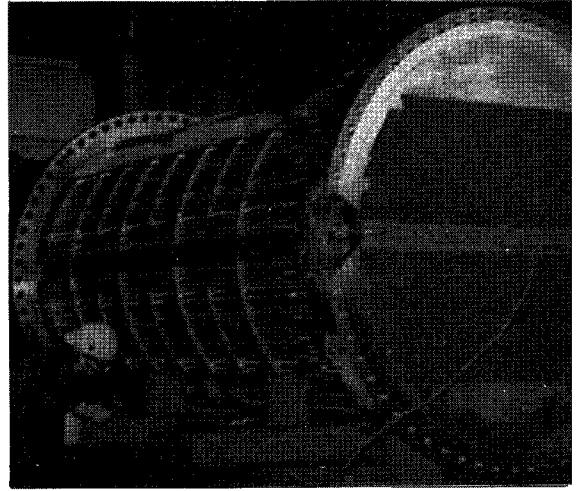
### 計裝/ 제어시스템

오리지널 설계를 변경한 또한가지 부분은 계장/제어시스템이다. 이 시스템은 원자로보호시스템과 2차측의 일부 시스템을 제외하고는 모두 설계변경되었다. 설계변경된 계장/제어시스템은 Siemens사가 공급했다.

이 원자로의 컴퓨터와 컨트롤 룸은 서방공업체인 Nokia사와 Ferranti사가 설계/공급했는데 이 설계는 당시로서는 최신형의 것이었다.

### 안전평가

구동동의 V-230형인 Greifswald원전 1~4호기에 대해 서독의 원자로안전공사가 안전평



가를 실시했는데 그 결과 많은 설계상의 결함이 발견되었는데 그중의 중요한 것을 들어보면 다음과 같다. 즉 불충분한 격납설비와 안전시스템, redundant 시스템의 불충분한 여유도와 redundant system간의 분리, 안전시스템과 운전시스템간의 상호작용, 장기적인 붕괴열제거를 위한 독립적인 시스템의 결여등이다. 이러한 결함때문에 화재가 났을 때는 이를 관리하기가 어려워진다.

Greifswald원전 1~4호와 그의 핀란드 밖의 VVER-440의 안전평가는 Loviisa원자로의 안전설계를 2중으로 체크하는데 기준이 되었으나 이러한 평가작업에서는 근본적인 취약점은 발견되지 않았다.

### 개선사항

Loviisa원자로는 현행 여유도 및 분리요건에 맞게 설계되었다. 과거의 경험과 현재의 강화된 기준때문에 이것을 개선하지 않을 수 없었다. 최근에 추가된 중요한 안전설비로는 완전히 독립되고 여유용량을 가진 디젤엔진으로 구동되는 비상용 보조급수시스템을 들 수 있다. 이 시스템은 터빈실에 화재가 발생하는 경우 급수를 공급하기 위한 것으로 정상 및 비상용(화재에 대한 방어가 잘 돼있다)급수계통에 이상이 생겼을 경우 이를 대신할 수 있게 되어 있다.

### 압력용기 脆性化

VVER-440 원자로 압력용기의 취성화는 특히 중요한 문제다. 이 문제는 Loviisa 원자로의 초기 운전단계에서 이미 인식이 되어 취성화 진행속도를 줄일 수 있는 효과적인 대책이 강구되었다. 즉 가장 바깥쪽의 연료요소를 강철제 dummy로 대체하고 가압상태하에서의 열충격을 줄이기 위한 몇가지 보완책이 강구되었다.

취성화에 대한 근본적인 해결책은 annealing 처리방법인데 지금까지 이 방법으로 최소한 9기의 VVER-440 원자로가 처리되었다. 이 방법은 효과적인 것으로 생각되므로 Loviisa 원자로의 압력용기의 수명 연장을 위해 필요하다면 이를 적용해 볼만 하다.

### VVER-440 원자로의 안전평가

VVER-440의 안전성을 검토할 때에는 비교적 잘 알려져 있지 않은 이원자로의 몇가지 특성을 감안해야 하며 이렇게 함으로써 이 원자로의 안전성도 높일 수 있다. 그 특성이란 1,

2차계통의 물용량이 크다는 것이다. 이에 따른 이점은 1975년 Greifswald-1호기 화재시에 입증되었는데 당시 증기발생기의 급수가 장시간 완전히 상실되었는데도 원자로 손상을 입지 않았다.

1차 루프의 오스티나이트 재질(파열이 잘 일어나지 않는), 루프 격리밸브, 상당한 여유도를 준 재래식 설계방식 등은 모두 안전에 도움이 되는 요인들이다.

그러나 Loviisa 원자로의 안전도를 더 높이기 위해 계속적인 노력이 기울여지고 있다. 현재 진행중인 확률론적 안전분석(PSA) 프로젝트나 중대사고 축소방안 검토 등이 그 예이다. PSA 작업은 아직도 남아있는 취약점을 발견해 이를 보완하기 위한 것이며 중대사고 축소방안은 노심용융사고가 일어나더라도 격납용기를 보존하기 위해서다. 이를 위해 압력용기의 강철 Shell을 외부로 부터 냉각시키기 위해 용기외부에 냉각시스템을 설치하는 것도 검토되고 있다.

## 科 · 學 · 常 · 識

### 그린란드와 방사선

덴마크령 그린란드는 북극에 가까운 세계최대의 섬이다. 일본의 약 6배나 되는 면적이지만 인구는 겨우 4만밖에 안된다. 지도에서 보면 하얀 섬으로 그려져 있는 경우가 많다. 이 섬의 85%가 얼음으로 덮여있기 때문이다. 식물은 가장 기후가 좋은 남서부 해안에 드문 드문 침엽수림이 있을 뿐이다.

하얀 얼음섬에 왜 Greenland라는 이름이 붙여졌을까. 10세기경에 이 섬을 발견한 탐험가가 유럽사람들을 끌어내기 위해 「綠地」라는 이름을 붙였다고 한다.

이 섬 남단에 가까운 해안지대(북위 61도, 서경 46도)에는 수천평방미터에 걸쳐 대지로 부터의 감마선이 매우 높은 곳이 발견되었다. 조사에 의하면 이곳의 암석에는 우라늄, 토륨(thorium)이

매우 높은 농도로 함유되고 있는 것으로 밝혀졌다.

장래에는 우라늄광이 채굴될 가능성이 있다고 한다. 따라서 이곳에서의 대지로 부터의 감마선 수준은 만약 사람이 1년중 이곳에 있다고 가정하면 연간 약 10~20밀리시버트의 선량을 받게 된다고 한다. 가장 높은 기점에서는 연간 60밀리시버트에 달한다고 한다.

이 지역에는 사람이 살고 있지 않기 때문에 실제로 이같은 선량을 받는 사람은 없지만 앞으로 만약 이 지역에서 우라늄광의 채굴이 시작된다면 사람과의 관계가 이루어질 것이다. 「綠地」라고 하는 이름의 이 얼음섬은 지금은 사냥과 어업에 종사하는 소수의 사람들에 의해 영위되고 있는데 지나지 않는 미개발의 대지인 것이다.