

# Temelin原電에 西方基準 適用

소련으로 부터 독립한 후 현재 체코에서 건설중인 Temelin원전의 소련형 VVER-1000 PWR 2기는 광범한 개선이 이루어지고 있다. IAEA 조사단의 권고사항이 많이 적용되고 있고 발전소간부들도 안전성과 성능을 향상 시키기 위해 당초의 설계를 재검토하고 있다.

Ivan Simerka

〈체코 JADERNA ELEKTRANA TEMELIN 社〉

체코정부는 당초 4기의 소련형 VVER-1000 PWR를 체코 서부의 Temelin현장에 건설할 계획이었다. 현재 2기가 건설중에 있으나 나머지 2기의 건설은 원자로 설계와 입지의 재검토가 끝날 때까지 보류하기로 했다.

## 원자로 설계

각 원자로는 900MWe의 전력과 300MW의 열을 공급하도록 설계되었다. 각 유닛은 원자로계통, 터빈발전기, 전력시스템(디젤발전기 포함) 지역난방용 열교환시설 등으로 구성되었다.

이외에 보조건물은 4기 전부가 공용하도록 설계되어있는데 이것은 3부분으로 나뉘어진다.

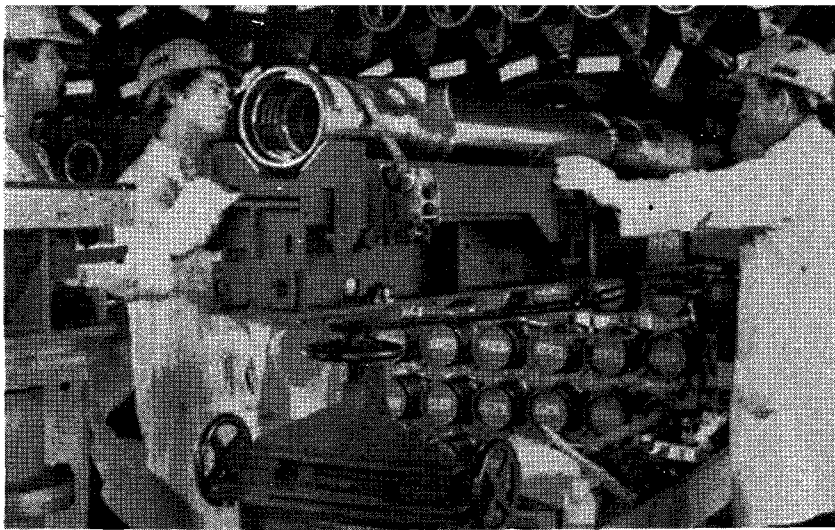
- 방사성폐기물처리시설
- 출입통제구역에 출입하는 종업원을 위한更衣실
- 방사성기기보수잡업장 및 핵연료저장소

발전소용수는 Vltava강과 통해있는 Hnevkovice호로 부터 취수되고 각 유닛은 2기

의 자연순환 냉각탑으로 냉각된다.

3,000MWt의 각 원자로에는 압력 15.7MPa의 냉각재 루프 4개를 갖고 있고 각 루프는 용량 21,200m<sup>3</sup>/h의 냉각재펌프(GCN-195M) 1대와 수평형 증기발전기(PGV-1000M) 1기를 포함하고 증기발전기는 시간당 1,470톤의 포화 증기(압력 6.3MPa)를 낸다. 가압기는 4개의 루프중 하나에 연결된다. 터빈은 1개의 고압터빈과 3개의 LP터빈으로 구성되고 1,000MWe 발전기와 직렬로 연결된다.

163개의 6각형 연료집합체에는 개당 317개의 연료봉(피복재 지르코늄합금)이 들어있다. 원자로의 제어는 연료집합체로부터 18개의 흡수봉(탄화붕소함유) Cluster를 삽입/인출함으로써 이루어진다. 각 원자로에는 10개의 rod bank로 나뉘어져 있는 61개의 Cluster가 있다. 정상운전시에는 9개의 rod bank가 노심으로부터 인출되고 나머지 1개가 원자로를 제어한다. 당초의 소련설계는 크세논 진동을 방지하기 위해 4개의 部分長의 흡수봉 Cluster로 1bank를 이루고 있었다.



Cluster는 원자로제어/보호장치로 조작되는 선형 제어봉구동장치를 갖고 있다. 장기적인 방사능의 영향은 일부의 새 연료집합체의 free cluster guide tube 내에 삽입된 可燃性 흡수봉(봉소)과 1차 냉각재에 함유돼있는 붕산에 의해 제거된다. 연료주기는 3년이고 연료집합체 농도는 2, 3 또는 4.4%다. 평균연료연소도는 약 40,000Mwd/t이 될 것으로 예상된다.

### VVER-440의 개선사항 이용

신형 VVER-440과 같이 VVER-1000은 완전히 독립·분리된 3개의 안전시스템을 가지고 있는 것 외에 보다 고도하고 여분의 노심내 측정시스템이 채용되고 있고 소련형 원자로로서는 처음으로 전압력의 단일 격납용기를 갖추고 있다.

이외에 VVER-440 보다 VVER-1000이 더 개선된 점을 살펴보면 냉각재 루프수 감소, 원자로 內裝부품 및 연료요소의 설계개선, 耐震강도 보강, 선형 제어봉 구동장치에 의한 Cluster 제어, 可燃性 흡수봉 채용 등이다. 원자로냉각재 압력과 포화증기압력을 높임으로써 효율을 33.3% 높였다.

연료요소의 길이를 3.5m로 늘리고 단위용적당 발열량을 111W/m<sup>3</sup>로 높여 노심을 개선했다. 연료집합체를 Sleeve 없는 설계방식으로 함으로써 노심내의 중성자 收支관계를 개선했다. Cluster제어방식은 노심내 스페이스를 보다 효율적으로 이용할 수 있고 집합체내의 연료요소를 더 길게 할 수 있는 이점이 있다.

### VVER-1000 건설공사

현재의 Temelin 원전건설현장은 1980년에 4기의 VVER-1000 발전소부지로 선정돼 다음해에 정부승인이 난 곳이다. 현재 진행중인 1, 2호기 건설공사는 체코와 소련간의 협력관계가 기본이 돼있는 것으로 소련측이 말았던 이 발전소의 설계·건설계약은 1982년에 이미 종결되었다. 이 계약은 원자로의 모든 시스템과 보조건물 및 디젤발전기 건물공사에 관한 것이었다. 그러나 이 계약은 그 이행과정에서 많은 어려움이 있었는데 그 이유는 소련측에서 체코의 기준과 규체에 맞지 않는 일반적인 설계를 체코측에 넘겨주었기 때문이다. Energoproject사가 소련의 설계를 재검토, 수정해서 재완성했다.

이 수정된 설계는 1984년 前연방정부의 연료·에너지성내 전문위원회에 의해 승인되었고 1986년 건설업체(CEZ 푸라하)의 투자위원회에 의해 승인되었다.

같은 해에 건설허가가 났는데 토건공사는 Vodni Stavby Praha사에 기기공급 및 설치공사는 Skoda사에 발주되었다.

이 두 원정업체는 일을 하도급했으며 소련에서 설계된 것을 포함해 대부분의 설비들이 체코에서 제작되고 있다. 1차계통의 주요설비중에서 소련에서 제작되고 있는 것은 원자로 냉각재펌프 뿐이다. BOP 설비는 모두 체코에서 설계·제작되고 있다.

1981년에 공사요원들을 위한 호스텔과 아파트가 건설되고 1983년에 부지정지작업이 시작

되었다. 1호기 원자로건물공사가 1987년에 시작되었다. 이 공사는 전력회사협조하에 이루어지고 있다.

## 공사현황

1, 2호기는 당초 1992년 12월과 1994년 6월에 준공될 예정이었으나 현재 1호기가 1994년 6월에 준공될 것으로 예상되고 있다.

1호기는 격납건물의 원통형부분이 이미 완료되었고 구조물은 13.6m 높이까지 설비를 설치할 수 있도록 완료되었다. 터빈실과 터빈발전기 기초공사도 끝났고 복수기, 관련배관, 급수탱크, 터빈구동 급수펌프도 설치되었다.

보조건물공사도 거의 끝나가고 있고 1호기의 디젤발전기도 설치가 끝났다. 1, 2호기의 4개의 냉각탑의 콘크리트구조물과 Vltava강변의 취수펌프장을 포함한 용수공급시설도 완료되었다.

2호기는 13m 높이까지 원자로건물이 완료되고 터빈실의 철골구조도 완료되었다. 현재 디젤발전설비공사가 진행되고 있다.

## 체코혁명후의 변경사항

체코혁명후 원자력발전의 지속적인 개발에 대한 반대운동은 대부분 다른 나라에서 일어났지만 체코도 예외는 아니었다. 그런데 이상하게도 체코에서는 이같은 반대운동이 Temelin 원전에 그들의 개선 아이디어를 관철시키려는 원자력관계자들을 돕는 결과를 가져왔다.

이같은 개선 아이디어는 50가지가 넘는데 그중 중요한 것은 들어보면 다음과 같다.

- 연료주기 3년
- 누설량이 적은 연료재장전방식
- 출력밀도 분포를 자동제어할 수 있도록 원자로제어시스템 변경
- 격납용기 압력완화설비에 필터장치 추가
- 비상노심냉각시스템의 열교환기의 鋼材 교체
- 콤팩트한 사용후연료 저장
- 방사성폐기물량 감소와 관리

- 티타늄 튜브로 되어있는 복수기 사용
- 不可燃性 케이블 사용
- 소련제 整流器, inverter, 변압기를 보다 더 신뢰성이 높은 것으로 교체
- 계장제어설비(I&C)를 통일된 최신형 시스템으로 교체

## IAEA 검토

이외에 1990년에 IAEA는 Temelin 원전에 대해 3번의 검토작업을 벌였다. IAEA 조사단은 발전소간부들이 제안한 변경사항을 대체로 시인하고 소련이 제공한 문서와 자료들이 불충분하다는 점을 지적했다.

IAEA의 첫번째 검토작업은 발전소입지에 관한 모든 문제를 다루었는데 그 결과 수문학에 관한 몇가지 권고사항을 제시했다. 2번째 검토작업은 예비적인 OSART평가작업이었다. 이 조사에서도 심각한 하자는 발견되지 않았으나 발전소기구와 업무분장, 문서처리 및 보관, 정보 및 제어시스템 개선, 품질보증(품질관리는 매우 양호한 것으로 밝혀졌다), 폐기물관리 등에 관해 권고사항이 제시되었다.

3번째 검토작업은 노심의 안정성과 안전시스템 및 안전분석이 다루어졌다.

노심 안전성에 대한 IAEA 권고사항은 다음과 같다.

- 部分長의 연료봉 뱅크는 없애고 크세논 진동방지방식을 변경할 것.
  - 노심내 자체가동 검출기에 대한 캘리브레이션 절차를 마련할 것.
  - 현장에서도 할 수 있도록 중성자 계산에 관한 정확한 코드를 마련할 것.
- 안전에 관해 조사단은 마음 사항을 권고했다.
- 안전만을 마련하고 증상중심의 운전절차를 마련할 것.
  - 적어도 한번 level-1의 완전한 PSA를 실시할 것.
  - 안전보고서에 분석·표기되는 사고 범위를 확대할 것.

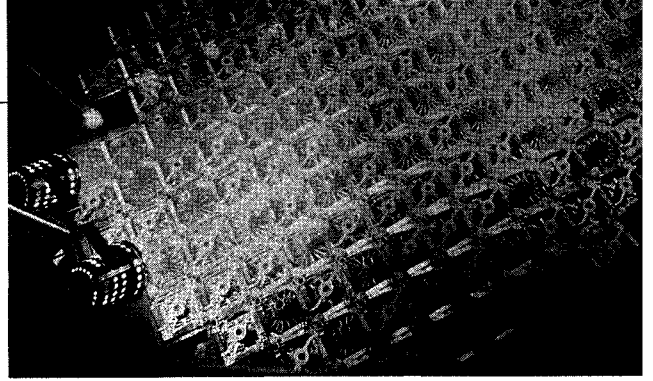
· 표기되는 사고는 이로 인한 결과에 따라 분류할 것.

현재 1호기의 I&C 시스템 교체준비를 하고 있지만 어느 정도로 교체할 것인지에 대해서는 아직 결정이 내려지지 않았다. 앞서 말한 권고 사항들은 그 결과가 중요하다. PSA를 시행하기 위한 절차가 마련되었고 현재 검토중인 내용은 다음과 같다. 즉 개량형 원자로의 제어·보호시스템(크세논 진동의 자동억제 등), 증상 중심의 운전절차 개발, 방사성폐기물 감소 및 관리 등.

Temelin원전 관계자들이 건의한 그외의 변경사항(티타늄 복수기 튜브, ECCS 열교환기의 2相 鋼材 사용 등)도 승인되었다. Temelin 원전 관계자들은 발전소를 서방기준에 맞도록 개선하는데 자신감을 가지고 있다.

#### VVER-1000 주요제원

원자로 열출력	3,000MWt
전기출력	1,000MWe
소내전력	80MWe
발전효율	32.4%
연료주기	3년
연료농축도	2 / 3 / 4.4%
노심출구 냉각재압력	15.7MPa
원자로입구 냉각재온도	289.8℃
원자로내 냉각재온도상승	30.3℃
원자로출구 냉각재온도	320.1℃
원자로냉각재유량	
루프당	21,200m <sup>3</sup> /h
원자로전체	84,800m <sup>3</sup> /h
증기유량	1,633kg /s
원자로노심	
연료집합체수	163
제어Cluster수	61
Cluster bank수	10
Cluster당 흡수봉수	18
집합체당 연료봉수	312
연료봉내 연료높이	3.55m



노심 직경	3.14m
노심내 연료중량	80.098t
원자로냉각재 펌프	
로터의 정상회전수	995rev /min
중 량	156t
정상유량	21,200m <sup>3</sup> /h
증기발생기	
열출력	750MWt
증기발생량	408.3kg /s
증기압력	6.3MPa
증기온도	278.3℃
급수입구온도	220℃
전열관수	11,000
최대길이	14.74m
몸통 직경	4.00m
가압기	
운전온도	346℃
운전압력	15.7MPa
전체용적	79m <sup>3</sup>
外 徑	3.33m
높 이	16.34m
중 량	193.4t
1000MWe 터빈	
증기발생기출력	1,633kg /s
터빈증기압력	1,478.3kg /s
터빈 출력	995.28MWe
증기온도	273.6℃
증기압력	5.824MPa
탈기기 압력	1.066MPa
냉각수 온도	21℃
터빈회전수	3,000rev /min