

日本 泊原電 1號機 建設 및 試運轉 經驗

일본 北海道電力(株)의 泊原電 1號機(579MWe, PWR)는 北海道電力(株)의 첫번째 원자력발전소이고, 일본 전체에서는 37번째 상업용 원자로가 된다. 이 原電은 일본 통상산업성과 전력회사·제작업체 등 민간이 중심이 되어 수행한 「輕水爐 改良標準化」의 성과를 적극적으로 도입하여 安全性과 信賴性 향상을 도모한 最新銳 원자력발전소로서 '84년 8월에 착공하여 약 58개월의 건설공기를 거쳐 '89년 6월에 商業運轉을 시작하였다.

1. 泊原電 1號機 概要

(1) 地 點

泊原電 1호기는 북해도 남서부 삿포루시 서방 약 70km의 거리에 있다.

(2) 全體配置

泊原電 1號機는 1991년 완공을 목표로 현재 건설중인 泊原電 2호기와 쌍둥이 발전소이고, 해안선에 거의 평행으로 북쪽에서부터 1호기 원자로건물, 1호기 원자로보조건물, 2호기 원자로보조건물, 2호기 원자로건물 순으로 배치했고, 또 터빈건물은 원자로건물과 간섭을 적게 하기 위해 순환수관 루트, 해수관 루트가 자리잡기 쉽고, 주증기관은 짧게 하고, 특히 터빈미사일대책 실시범위가 적으면 좋다는 이유 등으로 각각 원자로건물에 대해 직각으로 배치(I형 배치)했다.

복수기 냉각용 해수는 泊原電 전용 항만 중앙

부에 위치한 취수구에서 취수하고, 북쪽 방파호안의 방수구에서 바다로 수중 방수한다.

· 泊원전에서 생산한 전기는 1호기 터빈건물의 서쪽에 위치한 275KV GIS개폐소에서 도마리幹線을 통과해 삿포루 방면으로 송전한다. 또한 泊원전 직원의 관리사무소는 터빈건물로 둘러싸인 원자로 보조건물의 바다쪽에 배치했다.

(3) 設備仕様

泊원전 1호기의 주요설비사양은 표 1과 같다.

〈표 1〉 泊發電所 1號機 主要設備仕様

發電所全般	
· 原子爐形式	加壓水型
· 熱出力	1,650MWt
· 發電端電氣出力	579MWe
· 格納容器型式	鋼製円筒型
原子爐設備	

• 燃料集合體型式	14×14型
• 燃料集合體數量	121體
• 制御棒cluster數量	29體
• 冷却回路數	2루프
• 1次冷却材全流量	約30×10 ² t/h
• 主蒸氣運轉壓力	59kg/cm ² ·abs
• 原子爐容器型式	縱置円筒型
• 蒸氣發生器型式	51F型
• 1次冷却材 펌프 型式	100D型
터빈發電設備	
• 터빈型式	TC4F-44型
• 發電機容量	650MVA
• 터빈流入蒸氣量	約3,285t/h
• 터빈制御	EH 가바나
• 터빈바이패스	70%

(4) 設計上 特徵

원전 1호기는 설계상 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

① 발전소 효율 향상

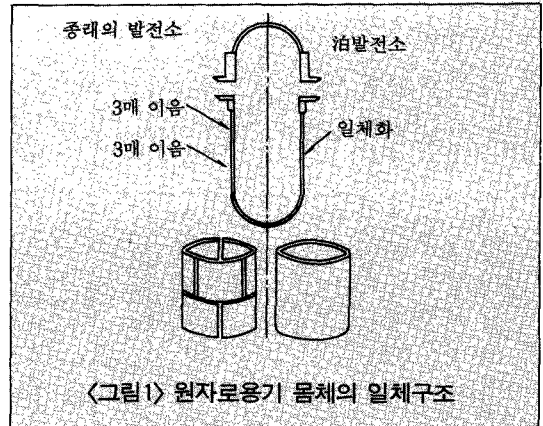
원전 1호기의 원자로 열출력은 1,650 MW 이나 고효율 44인치 저압 最終翼 채용, 슈퍼사이즈형 2단 재열식 습분분리가열기 채용, 抽氣段數의 증가 또는 공기추출기의 형식 변경 등에 의해 발전소효율의 한층 향상을 도모했고, 결과적으로 전기출력이 증대됐다.

② 원자로용기 몸체 一體化 채용

원자로용기 몸체(노심부)를 잇지 않고 一體構造로 하고 용접선을 감소시킴으로써 정기검사시 용접부 검사에 수반되는 방사선피폭선량의 저감을 시도했다. 원자로용기 몸체의 一體構造 개념도를 그림 1에 표시했다.

③ 신뢰성 향상대책 연료의 채용

원전 1호기에서는 사용하는 연료집합체에 과거의 문제점을 거울삼아 상부 노즐과 Clamp 部位를 종래의 나선구조에서 一體構造로 설계했고, 종래보다 높이가 낮은 펠렛트를 사용했으며, 특히 펠렛트·피복관 등의 불순물 규제, 펠렛트 밀도 등의 제조공차를 엄격히 하여 연료설계 전 반적으로 연료집합체 신뢰성을 향상시키기 위해 여러가지 대책을 실시한 신뢰성 향상대책 연료를



채용했다.

④ 신형 노내구조물의 채용

노내구조물에 있어서는 구조강도의 개선을 목표로 상부 노심지지판 형상을 변경하고, 노심 Baffle의 간격에 있어서의 측면 흐름(Baffle Jet)에 의한 연료파손을 방지하기 위해 Baffle 내에 냉각재 흐름방향을 종래의 하향(Down Flow형)에서 상향(Up Flow형)으로 신형 노심 구조물을 채용했다.

⑤ 개량형 증기발생기 채용

증기 발생기에 있어서는 전열관을 열처리하고, 전열관 지지판의 管穴形狀 및 재질의 개선을 목표로 했고, 또한 전열관 擴管法을 개량하는 등 응력 부식균열에 대한 신뢰성을 향상시킨 개량형 증기발생기(51F형)를 채용했다.

⑥ 100 D형 1차냉각재펌프 채용

북해도는 50 Hz 지역이기 때문에 일본 국내에서 처음으로 개발된 50 Hz용 1차 냉각재펌프를 채용했다. 이 펌프는 종래의 60 Hz용 1차 냉각재 펌프에 비해 회전수가 크게 되기 때문에 축길이를 짧게 해서 축의 剛性を 높였다.

⑦ 全 티탄管 복수기 채용

복수기로의 해수漏入을 방지하고, 복수기의 높은 성능을 유지하기 위해 복수기의 냉각재 재료로 종래의 알루미늄 황동관 대신에 전부 耐蝕性·耐漂砂性이 우수한 티탄管을 채용했다.

⑧ 개량형 주 제어반 채용

주 제어반에 있어서는 미국TMI발전소의 사고를 교훈으로 행해진 인간공학적 견지에서

Man-Machine Interface 검토결과를 반영하고, 계통의 흐름에 따라 밸브나 펌프의 스위치를 배열하고, 또는 CRT계산기 기술을 도입하는 등 操作性·監視性を 한층 개선한 개량형 주제어반을 채용했다.

⑨. 기기의 육내 배치

북해도 특유의 寒冷地 대책으로서 선형 발전소에는 옥외에 배치한 연료 교환용수 탱크, 1차 계통 순수탱크, 또는 순환수 펌프 등에 대해서도 육내 배치하고, 冬期 凍結방지 및 정기검사시 작업성 향상을 도모했다.

2. 建設工事의 特徵과 實績

(1) 建設工事의 特徵

泊원전 1호기의 건설공사에 있어서 적설 한냉 지인 관계로 여러가지 장애가 있었으나 다음과 같은 건설·시공상 개선을 도모함으로써 선형 2루프 발전소와 거의 변하지 않은 건설기간으로 상업운전이 가능했다.

① 대형 현장크레인 채용

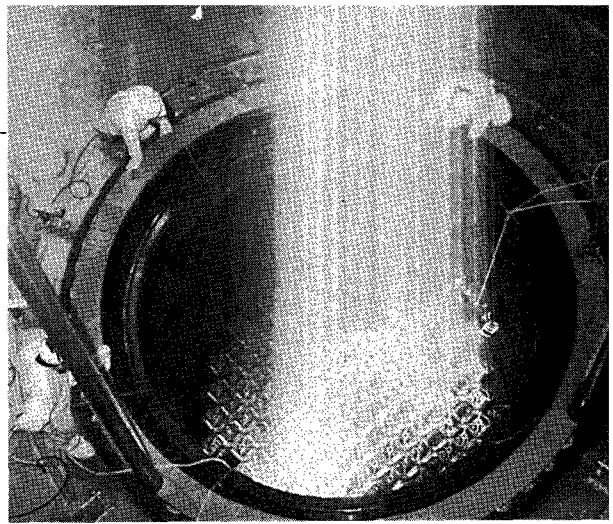
원자로 격납용기의 건설에 있어서 冬季 기상 조건이 나쁜 기간을 피해서 단기간에 효율종계 공사를 하기 위해 초대형(하중 91톤 X작업반경 102m) 自走式 클로라 크레인(서독제)를 채용해 강관을 종래보다 한층 큰 블록화함과 동시에 격납용기 내부의 철골이나 폴라크레인 설치 등을 격납 용기공사와 병행해서 할 수 있도록 했으며, 공사기간의 단축을 도모했다.

② 선형 철골공법의 채용

건물공사에는 콘크리트공사에 선행해서 철골을 조립하여 세우고, 바닥면에는 Deck Plate를 깔고, 철근조립과 형틀, 콘크리트 타설의 각 공사를 상하단에 각각 병행해서 추진하는 선형 철골공법에 채용하여, 공사기간의 단축을 도모했다.

③ Air Dome공법 채용

격납용기 Top Dome의 외부 차폐콘크리트의 타설에 있어서는 격납용기 도프돔을 완전히 덮는 에어돔(직경 47m×높이 14.2m, 케이블 보강 1重膜 공기구조로 송풍기에 의한 실내의 압력차



를 일정하게 제어함)을 설치하고 에어돔내를 冬季 風雪·凍結에서 보호하는 것에 의해 冬期間에 외부 차폐콘크리트의 타설공사를 가능케 하여 공사기간의 단축을 도모했다.

또 이 에어돔은 최대 45m/sec 풍속, 30cm의 적설(融雪을 前提)에 견딜 수 있는 강도를 갖고 있다.

(2) 建設工程實績

泊원전 1호기의 건설은 1984년 8월 제1회 공사계획인가를 기화로 본격 착공하여 다음 해인 1985년 4월에 원자로 기반검사후 원자로건물의 기초공사를 개시했다. 그해 10월에는 격납용기 건설을 시작했고, 다음 해인 1986년 8월 격납용기 내압검사후 내부 콘크리트타설공사가 진행되었다.

1987년 6월에는 원자로용기를 설치하고, 이후 증기발생기 등의 대형기기 설치를 순차적으로 수행했다. 또 이때부터는 2차계통 및 전기계통의 기기도 병행하여 설치하고 전원계통도 1987년 8월에 66KV, 11월에는 275KV를 각각 수전받았다.

기기설치후 차례로 계통의 Flushing 및 기능 시험을 실시하고, 다음 해인 1988년 4월에는 냉태수압시험(CHT), 6월부터 7월에는 온태기능(HFT), 나아가 8월에는 격납용기 누설을 시험을 실시했다.

1988년 10월에는 원자로에 연료를 장전하고, 원자력발전소로서의 본격적인 시운전에 돌입하여 1989년 6월에 상업운전을 개시했다.

泊원전 1호기의 건설실적공정은 그림2와 같다.

	1984		1985		1986		1987		1988		1989
	8/9	9/9	9/10	10/10	6/7	7/10	6/7	11/11	3/4	8/9	6/7
주요기일	착공										
건물		C/V 건설	C/V 내안시험		C/V 내기기개시		275KV 수전	C/H/T	H/F/T 연료장치		상온시험
원자로건물		기초콘크리트	적납용기	내부콘크리트	적납용기내 기기설치	기능시험	건물건축공사	시운전			
원자로보조건물			건물건축공사	기기·배관설치							
터빈건물		건물건축공사	터빈가대설치	기기·배관설치	Flushing						

〈그림2〉 泊원전소 1호기 건설실적공정

3. 試運轉 概要

泊원전 1호기의 시운전은 원자로에 연료를 장전하기 전에 각종 연동장치(Interlock)의 건전성 또는 펌프 등의 성능을 확인하는 계통기능시험과 원자로에 연료를 장전한 후 원자력발전소로서 안전성·신뢰성을 확보하고 있음을 확인하는 기능시험으로 크게 구별된다.

(1) 系統機能試驗

泊원전 1호기의 계통기능시험은 상온에 각종 Subsystem의 Interlock의 건전성 및 펌프, 팬 및 밸브 등이 소정의 성능을 갖고 있음을 확인하는 냉태기능시험(CFT)과 1차냉각계통을 昇溫·昇壓하고 통상의 운전상태와 같은 온도(286℃), 압력(157kg/cm²)상태에서 기기의 성능등을 종합적으로 확인하는 온태기능시험(HFT) 등 1986년 12월부터 1988년 9월까지 21개월에 걸쳐 231건의 시험을 실시했다.

또 계통기능시험은 아니지만 1988년 4월에는 1차냉각계통을 최고사용압력(175 kg/cm²)의

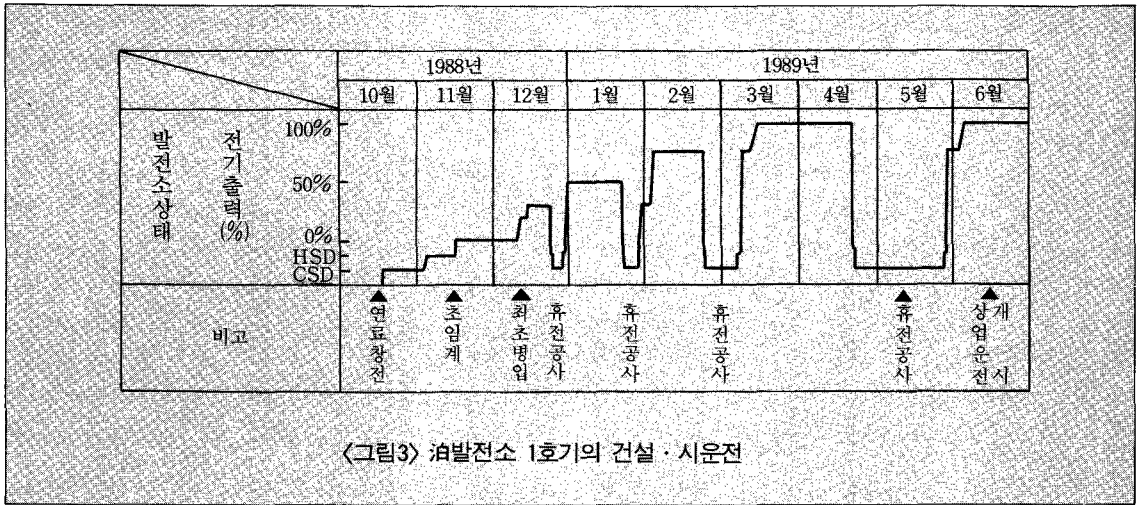
1.25배(약 219kg/cm²)로 가압하고, 그 건전성을 확인하는 냉태수압시험(CHAT)도 실시를 하였다.

泊원전 1호기에서 이 기간의 특징으로는 1차계 냉각계통 내면에 크롬보호피막의 형성을 촉진하고, 정기검사시 방사선평폭선량의 저감도 도모할 목적으로 온태기능시험(HFT)시에 1차 냉각재중으로 H₂+Li 첨가운전을 처음으로 실시했고, 터빈발전기로부터의 비틀림진동의 고유진동수를 측정해 설계대로 안전여유가 있음을 확인한 것 등을 들 수 있다.

(2) 起動試驗

기동시험은 1988년 10월의 연료장전에서 다음해인 1989년 6월 상업운전개시까지 약8개월에 걸쳐 수행되었고, 이 동안 72건의 기동시험을 실시했다.

연료장전후에는 常溫상태에서 원자로에 연료가 장전된 후가 아니면 불가능한 제어봉구동장치 관련시험 등을 수행하고, 그후 1차 냉각재펌프의 入熱에 의해, 1차냉각계통의 온도·압력을



상승시켜 286℃ · 157kg/cm²로 했다. 여기서 원자로를 임계로 하기 전에 최종적인 확인을 한 후, 1988년 11월에 1차냉각계통의 붕소농도 희석 및 제어봉의 인출조작에 의해 泊원전 1호기는 초임계를 달성했다. 초임계 달성후 원자로의 물리적 특성이 설계대로 안전성을 갖고 있음을 확인하기 위한 시험 등을 수행했다.

1988년 12월에는 원자로에서 발생한 열로 터빈발전기를 회전시켜 나온 전기를 도마리幹線을 통해 삿뽀루방면으로 송전하고, 북해도에서 처음으로 원자력 전등을 켜다. 그후는 전기출력을 30%, 50%, 75%, 100%로 단계적으로 순차 상승시켜 출력운전단계에서 각종 성능확인시험을 실시했다.

100% 전기출력에 있어서 송전선의 트립 등에 의해 발전기 부하가 급격히 감소한 경우에도 터빈우회밸브(용량70%)가 동작함으로써 원자로가 트립하지 않고, 또한 각종의 제어계통이 양호히 추종하는 것을 확인하는 시험을 실시하고 설계대로 성능을 갖고 있음을 확인했다.

각 출력운전후에는 원자로를 정지해 각 기기 상태를 점검하는 休戰期間을 만들어 다음의 출력운전을 염두에 둔 준비를 했다. 특히, 100% 출력운전후 休戰期間에 대해서는 泊원전 1호기가 앞으로 약 1년에 걸쳐 연속운전을 염두에 두고 점검을 하기 위해서 약 1개월의 休戰期間을

가졌다. 1989년 5월에는 상업운전을 향한 최후의 원자로 임계조작을 실시하여 100% 전기출력에 도달한 후에 발전소가 설계대로 성능을 갖고 安全 뿐만 아니라 安定하게 연속운전이 가능하도록 확인하는 시험을 실시하고, 1989년 6월에 통상산업성의 최종검사에 합격하여 상업운전을 개시했다. 이 사이에 발전발전량은 약 12억KWh에 도달했다. 기동시험 실적공정을 그림3에 표시했다.

4. 結 論

이상과 같이 북해도에서 첫 원자력발전소인 泊원전 1호기는 시운전중에 계획외의 원자로정지 등의 트러블도 없이 당초의 설계대로 安全性 · 信賴性 및 성능을 갖고 있음을 확인했다.

泊원전 1호기는 시운전중을 포함해 현재까지 북해도의 중요한 전원으로서 사명을 심분 다하고 있으나, 앞으로도 안전운전을 계속해 지역주민으로부터 신뢰받는 발전소를 목표로 하고 있다.

또한 향후 핵연료를 장전할 泊원전 2호기에 대해서도 1호기의 경험을 살려, 신중히 시운전을 실시할 예정이다.