

蘇聯의 原子力開發과 VVER型原電

加壓水型 輕水爐(VVER)의 概要

蘇聯 Voronezh市 近郊에 蘇聯 50週年을 記念하여 Novo-Voronezh原子力發電所가 着工되어 1964年 9月 運轉을 開始하였다. 이 原電은 電氣出力 21萬 KW의 輕水爐로서 減速材와 冷却材로 보통의 물(輕水)을 使用하였다. 1號機의 發電開始後 2號機의 設計에 着手, 1號機의 問題點을 피드·백(Feed Back)하여 1969年 12月 2號機가 運轉을 始作하였다. 電氣出力은 36萬 KW로 上昇하였고 發電코스트는 1號機보다 40%이하 信賴性이 確認되어 火力發電보다 經濟性 優位가 認定되 蘇聯邦發電電化省이 正式 爐型으로 採擇하게 되었다. 그後 設備改良을 거듭하여 電氣出力 44萬 KW(VVER-440)를 標準으로 하였으며, 現在는 出力을 增加시켜 100萬 KW(VVER-1000)와 같이 蘇聯 輕水爐(PWR)의 主力設備로 되었다. 다음은 VVER의 主要設備概要이다.

1. 電氣出力 440MWe의 VVER-440

VVER-440은 Novo-Voronezh原子力發電所를 改良하여 近代化한 것이다. 이 原電의 프로세스系統은 2重回路方式이며, 1次回路는 熱出力 1,370MW의 輕水爐 1基와 6個의 循環루프를 포함하고 있다. 各 루프는 主循環펌프, 蒸氣發生器, 電動式 停止밸브 2個, 內徑 500mm의 austenite鋼製配管으로 되어있다. 이 回路方式에서는 各 루프의 分離, 加熱, 冷却, 물빼기와 冷却

水 充填을 할 수 있도록 되어있다.

減速材 및 冷却材로서 普通의 加壓脫鹽水가 사용되고 있다. 爐心出口의 運轉壓力은 125kg/cm², 冷却材의 淨化는 熱交換器와 이온交換樹脂 필터裝置로 行한다. 使用한 이온交換樹脂는 水壓輸送으로 液體廢棄物貯藏所에 廢棄된다. 漏洩水와 除染用 溶液의 淨化는 蒸發器, 이온交換樹脂 필터와 活性炭吸着劑裝置에 의해서 行해진다.

燃料交換은 爐를 停止시켜 水中에서 한다. 燃料交換과 併行해서 豫防保全作業을 할 수 있도록 되어있다.

2次回路는 蒸氣發生器의 蒸氣發生部, 터빈發電機 및 機械室의 補助設備로 되어있다. 2次回路系統에는 建物과 여러 施設의 暖房用 물의 加熱裝置도 포함되어 있다.

蒸氣發生器는 壓力 47kg/cm²의 乾燥飽和蒸氣를 1시간에 3,000톤 生産한다. 採用된 프로세스回路方式에 의해 여러가지의 條件下에서 原子力發電所의 起動, 停止 및 正常運轉이 된다.

原子力發電所의 制御로는 集中監視와 주요한 運轉프로세스의 遠隔制御, 自律調節器 原理에 의한 自動制御, 補助系統의 局所監視와 制御가 고려되고 있다. 電氣出力 440MW의 輕水爐 2基를 갖는 原子力發電所에는 定格出力 各 220MW의 터빈 4基를 설치하도록 되어있다. 터빈은 出力 220MW의 發電機를 구동시킨다. 固定

자와 回轉자의 冷却은 水冷却式이다. 補修의 편의와 配管의 길이를 단축시키기 위해 터빈은 高壓, 低壓 실린더가 機械室의 中心을 向해서 배치되도록 되어있다.

原子力發電所의 主建物內에 있는 爐室은 爐유니트 2基와 補助裝置中央유니트 1基, 合計 3基의 유니트로 되어있다. 爐유니트 中央의 콘크리트製 피트에 爐가 있고, 피트의 周圍에는 蒸氣發生器, 配管, 循環루프用 펌프, 附屬器具類가 있다.

爐周圍의 遮蔽는 우라늄의 核分裂프로세스에 따르는 強力한 電離放射線束의 減衰에 도움이 되고있다. 차폐의 선택에 있어서는 中性子の 吸收時의 감마量子 發生의 2次效果를 고려하고 있다. 이 차폐는 環狀水 탱크, 中性子 遮蔽 및 鐵筋콘크리트製 環狀構造物로 되어있다. 透過性放射線은 爐心 바로 위에 있는 물層과 爐上部의 鋼板 및 콘크리트로 被覆한 鋼製氣密커버에 의해서 減衰된다.

爐의 回路에서 우라늄核分裂時 發生하는 放射性가스狀態生成物이 放出될 수 있는 室內의 空氣는 排氣筒을 통해서 외부로 放出되기 전에 aerosol 필터 및 물필터로 淨化한다. 原子力發電所로 부터 放射能放出量의 設計制限値는 平均 1回 800쿠리이다. 한편 실제로 原子力發電所內의 굴뚝에서 放出되는 最大年間線量은 15 mrem이며, 周邊地域의 接地大氣層에서의 平均濃度는 自然백그라운드 범위내에 있다.

직경 2.88m, 높이 2.5m의 爐心은 타원형 底板과 球狀 輻射열교환기를 가진 圓筒形爐容器內에 놓여져 있다. 爐心은 349個의 六角型 集合體에 의해서 組立되어 있는데, 이중 276個는 燃料集合體이고 나머지는 可動制御棒이다. 可動制御棒의 集合體는 爐의 制御와 安全保護 機能을 하고 있다. 이들 集合體를 爐心에서 빼내거나 裝入함으로써 安全保護, 所定範圍의 出力制御, 反應度의 補償 등을 行한다. 各 燃料集合體는 직경

9.1mm의 燃料다발 126個로 되어있다. 集合體의 中心에는 파이프가 있는데, 이것은 燃料다발의 spacer構造物로 되어있다. 集合體의 두께는 2mm, 燃料다발被覆管의 두께는 0.6mm로 모두 지르코늄합금이다.

核燃料은 우라늄-235를 3.3% 濃縮한 燒結 2酸化우라늄이다. 初期裝填에는 이것보다 낮은 濃縮度(1~2%)의 燃料을 사용한다.

燃料集合體를 部分交換하는 定常狀態의 作業은 100% 出力運轉을 270日間 行한 후에 輻射열교환기蓋를 열고 行한다. 交換時에는 集合體의 3분의 1이 교환된다. 이 爐心에서 可能한 연료의 平均燃燒期間은 약 3년이다.

VVER-440爐는 球形 輻射열교환기를 갖는 縱型圓筒形容器의 모양을 하고 있다. 鍛造한 環狀外板을 용접해서 만든 爐容器는 高強度 低合金炭素鋼製로서 內面의 防鏽clad는 없다. 爐는 콘크리트製 피트內에 설치되어 있다. 爐의 支持는 콘크리트를 放射線으로 부터 보호하기 위해 물을 채운 環狀의 탱크이다. 爐容器와 球形 輻射열교환기와의 主接合部 密閉는 나사에 의해서 밀봉되는 圓形金屬팩킹에 의해서 확보된다. 容器內壓의 應力은 主seal의 締附나사에 의해서 받아지고 있다.

出力 各 440MW의 發電유니트를 2基 갖춘 原子力發電所를 자세하게 알아보았는데, 그것은 이 型의 原子力發電所가 蘇聯에서 建設되고 있으며 또한 政府間 協定에 의해서 이 型의 原子力發電所가 불가리아, 헝가리, 東獨, 쿠바, 루마니아, 체코 및 기타 여러나라에서 建設중에 있기 때문이다.

Armenia의 山속 海拔 1,100m의 Oktembery-an에 VVER-440型 輕水爐를 가진 Armenia原子力發電所가 建設되어 1976년에 운전을 개시했다. 이 原子力發電所는 승인된 계획에 따라서 이미 수년간 Armenia電力網에 電力을 供給하고 있으며, 第2 유니트가 1980年 5월에 運轉을 시

작하여 Armenia原子力發電所의 電氣出力은 800 MW가 되었다.

근란한 地震條件下에서 確實하고 安全한 운전의 확보라는 重大한 문제의 해결을 필요로 했던 것은 이 發電所의 立地條件에 起因하고 있다. 계산에 의하면 Armenia原子力發電所는 震度 8~9bar*의 地震에 견딜 수 있다. 그러나 이것이 世界最初의 경우는 아니다. 즉, 日本에서 모든 原子力發電所가 高度의 耐震性을 구비할 것을 必須條件으로 건설되고 있다.

1977년에 Armenia原子力發電所地域에서 6bar의 地震이 기록되었다. 原子爐主設備에 대해서 特殊耐震裝置를 사용하였기 때문에 구조물이나 建物の 強度 및 운전에 지장이 없었다.

2. Kola原子力發電所

北極의 蘇聯유럽部 邊境 Kola半島에 發電유닛 2基를 가진 總出力 880MW의 大型原子力發電所가 發電을 開始했다.

이 原子力發電所의 起動까지는 Kola 半島의 電力은 주로 水力資源에 의존하였으며, 또 一部는 高價로 輸送되어 온 燃料에 의해 發電해 왔다. Kola半島地域의 燃料資源은 실제로 全無하다.

Kola半島에서의 原子力發電所 建設과 運轉經驗은 計測할 수 없을 만큼 큰 뜻을 가지고 있다. 이 發電所는 極東과 시베리아僻地의 特有한 혹심한 北方條件下에서 加壓水型輕水爐의 운전 到 필요한 經驗을 蓄積하는 것을 가능하게 하고 있다. 시베리아에는 사실 여러 基의 大型水力發電所가 가동하고 있는데, 單一 시베리아電力系統에 들어가지 않는 獨立發電所를 건설할 必然性도 여전하다. 문제는 시베리아와 極東에는 電力需要가 끊임없이 增大하는 地區가 대단히 많다 는 點에 있다. 大森林의 근란한 조건하에서 高壓送電線을 부설하는 것은 大부분의 經

* 蘇聯의 震度는 自由陣營과는 달리 12等級이 있다.

우 經濟性이 없다. 그래서 原子力發電所를 單獨으로 건설하는 것은 대단히 有利할 뿐더러 또한 필요하다.

3. 電氣出力 1,000MWe의 VVER-1000

出力 1,000MW級의 大型發電유닛의 建設에 관한 技術的·經濟的構想은 무엇보다도 먼저 大型原子力發電所(原子力發電所 뿐만 아니라 다른 發電所도 포함)를 받아들일 수 있는 能力이 있고 또한 1,000MW라는 大型의 發電容量이 不意로 運轉不能狀態가 되어도 혼란을 일으킬 걱정이 없는 巨大한 電力系統이 설치되어 있는 地域에서 實現하는 것이 가장 適合하며 또 有利하다. 蘇聯에는 大容量의 電氣系統이 가동하고 있으므로 電氣出力 1,000MW의 大型發電유닛의 建設을 결정한 것이다.

Novo-Voronezh原子力發電所에서는 出力 1,000MW의 加壓水型輕水爐를 가진 第5 유닛가 운전을 개시함으로써 이 原子力發電所의 出力은 2,000MW에 달한다.

VVER型爐는 그 運轉開始年代와 技術指標로 보아 實驗用商業爐인 VVER-210과 VVER-365, 出力 440MW의 中間出力標準型爐 VVER-440과 出力 1,000MW의 大容量標準型爐 VVER-1000 등 3世代로 분류할 수 있다.

VVER型爐는 蘇聯에서의 原子力發電所 建設에 있어서 特히 중요한 뜻을 가지고 있다. 蘇聯에서 發電規模와 設備容量은 대단히 크므로 이와 같은 大型爐없이 是 1980年 以後의 原子力發電을 想定하기가 곤란하였다(특별한 경우에는 일부의 經濟地區에서 약간 낮은 爐를 사용할 수는 있다).

VVER型爐 3世代中 어떤 설계와 구조를 선택할 것인가는 무엇보다도 工場에서 만든 容器를 鐵道로 輸送해서 사용하는 것이 가능한 것을 前提條件으로 하여 결정했다. 工場에서의 제조는 長期間에 걸친 운전조건하에서의 製造品質과 構

造의 信賴性에 對한 高度의 要求를 만족시키는 것이 가능하다. 철도수송의 가능성은 蘇聯 各地區 및 여러 外國에서 VVER-1000 原子力發電所의 建設을 容易하게 한다.

보다 높은 出力의 VVER爐로의 移行은 주로 爐容器內體積의 利用率 向上에 따라서 行해졌다. 설계와 제작기술의 개량에 의해서 爐容器內의 壓力 上昇과 이에 대한 熱力學的 效率의 向上이 行해져서 이것이 動力플랜트의 主設備 大型化와 함께 原子力發電所의 경제성 向上을 가능하게 하였다.

VVER-1000에서는 化學的制御法과 組合시켜 “1段式”의 吸收棒集合體로 移行한 결과 爐容器 內容積의 利用效率이 向上되었다(VVER-210과 VVER-365型爐의 反應度補償은 “2段式”制御體制에 의해서 行한다). 中性子束分布의 平坦化와 燃料의 燃燒度 向上에 의해서 爐心의 出力 密度가 上昇했다. 高性能 펌프의 採用에 의해서 1次冷却材의 파라미터가 向上됨과 동시에 1次回路 主要設備의 유니트容量이 增大되었다. 이들 爐에서는 더욱 높은 蒸氣條件에서 作動하는 強力한 터빈設備가 사용되고 있다.

VVER-1000爐에서는 다른 VVER型和 마찬가지로, 爐心의 높이와 같은 길이의 니오브 1%含有 지르코늄合金製 被覆管에 封入된 密度約 10.4g/cm²의 燒結 2酸化 우라늄을 燃料로 사용하고 있다. 爐心은 6角形의 集合體로 組立되어 있다.

VVER-1000型爐의 燃料交換間隔은 2年 내지 3年이고, 이때 燃料의 燃燒度는 이에 따라서 27,000 내지 40,000MWD/t이다.

安全確保를 위해 放射性의 加壓冷却材를 內藏하는 설비는 모두 遮蔽格納容器內에 배치되어 있다. 發生의 가능성이 있는 緊急事態로는 직경 850mm인 1次系統 配管의 全斷面에 걸친 瞬間破斷이 고려되고 있다.

새로운 燃料은 爐心의 周邊部에 裝填되며, 그

後 中心部로 옮겨진다. 이와 같은 燃料移動法에 의해 爐心內의 熱發生을 平坦化하고 또한 傳熱面의 擴大對策과 組合시켜 熱條件을 안전한 범위內에 유지하면서 所要의 爐心熱出力을 얻을 수 있다. 이와 동시에 除去된 燃料의 燃燒度 平均值와 最大値의 差가 적어진다. 燃料교환과 燃料교환사이의 連續運轉時間 設計値는 6,500~7,000時間인데, 이에 의해서 發電所의 良好한 設備利用率이 보장되며 또한 年 1回, 봄이나 여름 蘇聯의 電力系統에 여유가 있는 시기에 燃料교환을 하는 것이 가능하다.

交換時 燃料를 周邊에서 中心部로 이동하는 方式은 爐心周邊部에서의 増倍特性을 높이고 또한 低溫狀態에서 臨界狀態가 發生하는 위험성을 增大시킨다. 이와 같은 事情은 初期反應度 余裕의 增大와 관련해서 制御安全保護系統의 補償能力을 增大시킬 필요가 있었다.

吸收體의 補償能力은 주로 그 크기와 爐心內에서의 배치간격에 의해서 정해진다. 이들은 吸收體의 追加挿入없이 爐를 臨界未滿狀態로 유지하기 때문에 充分한 효과를 가지고 있다. 調整棒의 型이 同一하다는 것, 燃料를 포함하지 않은 緊急爐停止用特殊棒을 사용하지 않음으로써 爐心容積을 完全히 이용하여 傳熱面을 增大하고 負荷를 높이며 爐心의 中性子 밸런스를 개선할 수 있다. 이런 것들이 機能的으로 統一화된 制御機構를 만드는 것을 가능하게 하여, 이로 인해서 電動機의 電壓이 끊어졌을 때에 燃料와 연결한 吸收體가 自動으로 아래로 高速으로 떨어짐으로써 爐의 緊急停止를 確保하고 있다. 制御棒驅動裝置의 구조는 爐內의 吸收體가 어떠한 위치에 있는 緊急保護에 응할 수 있도록 설계되어 있다.

VVER-1000型爐 制御棒의 기계적 구조는 2개의 要因에 의해 결정된다. 즉, 爐容器의 높이를 더욱 合理的으로 이용한 것과 실질적으로 各 燃料집합체內에 배치되고 또한 特殊案內管

内に 挿入되는 곳의 吸收棒클러스터形으로 된 spacer가 없는 制御棒을 사용하는 것이다.

서서히 변화하는 反應度 效果를 補償하기 위해서 冷却材에 硼酸溶液을 사용한다. 이 液은 정지한 爐를 臨界未滿狀態로 유지하기 위해서도 사용된다.

VVER-1000型爐의 構造設計에는 다음과 같이 3世代에 공통된 基本的 事項이 포함되어 있다.

○크기와 重量을 되도록 적게 해서 鐵道輸送이 가능하도록 爐容器에 高強度의 低合金 鋼을 사용할 것.

○爐容器는 銲接이음이 없는 一體鍛造의 環狀板으로 제조하여 爐運轉의 信賴度를 높일 것.

○爐心을 설치하는 爐心容器의 下部는 구멍이 없는 塔원형 底板이 붙은 一體圓筒形을 하고 있다. 冷却材의 主循環系統 配管의 入口노즐과 出口노즐 및 기타 貫通部는 爐心上部에서 부터 적어도 1m이상 높은 곳에 배치한다. 이로써 應力余分の 集中場所가 없어지므로 높은 強度가 유지되며 또한 1次回路의 氣密破損과 관련된 사고에 있어서 爐心을 確實하게 유지시킬 수 있다.

○爐容器內的 장치가 分離할 수 있게 되어 있으므로 수리, 교환 및 爐容器內壁의 檢사가 가능하다.

○制御安全保護系統, 爐의 運轉監視系統(爐心出口의 水温, 出力分布 등)은 爐의 上部에 배치된다.

○爐容器의 支持構造는 그 中間部에 위치하고 있으므로 爐가 低溫狀態에서 高溫狀態로 移行할때 온도에 의한 變位를 최소로 할 수 있다. 爐容器의 지지구조는 용기의 벽과 一體가 環狀 벨트이다.

○爐容器의 塔원형 底板은 1枚의 縱方向 銲接이음이 없는 一體型鍛造品으로 제작함으로써 보다 높은 신뢰성을 확보할 수가 있다.

○爐容器內 장치는 上部를 固定한 圓筒形爐心容器 속에 설치된다. 이 爐心容器는 爐內에 들어오는 冷却材와 나오는 冷却材를 區分하는 역할을 한다.

○燃料다발은 그 下部를 固定하고 또한 平面上에 바르게 배치역할을 하는 支持格子를 分離하는 것이 가능한 바스킷트 속에 배치된다. 연료다발은 spacer가 붙어있는 장치를 사용해서 위에서 支持格子로 확실하게 固定된다.

○爐心の 연료다발 出口에서의 冷却材 溫度測定은 爐의 윗덜개에 설치된 채널內에 있는 교환가능한 溫度센서에 의해서 이루어진다.

VVER-1000型爐의 윗덜개는 球面狀이다(1次回路의 壓力이 160kg/cm²인 경우 平板의 윗덜개는 두께를 현저하게 두껍게 할 필요가 있으므로 사용이 곤란하다). 이로 인해서 余分の 引張應力이 생기지 않으며 또한 容器頭部에 벨트를 감을 필요가 없는 seat seal구조가 정해졌다.

VVER-1000型爐의 制御棒은 가벼우므로 第1世代 및 第2世代 爐의 경우와 같이 大型의 驅動裝置와 機械裝置를 필요로 하지 않는다. VVER-1000型爐에서는 step式과 plunger式의 空冷式電磁驅動裝置의 적용이 고려되었다. VVER-1000型 原子力蒸氣發生플랜트는 原子爐(容器, 容器內設備), 蒸氣式體積補償器, 各各 蒸氣發生器 1臺, 循環펌프 1臺와 制御밸브 2個를 포함한 循環루프 4개, 設備의 氣密破壞時에 사용하는 緊急爐心冷却系統 및 制御監視系統으로 되어있다.

爐는 容器와 分離가 가능한 上部블록이 있는 縱型容器이다. 塔원형의 底板과 半球形의 윗덜개를 갖고 있는 爐容器는 크롬·몰리브덴·바나듐低合金鋼製이다. 容器의 內面은 防鏽을 위해 austenite鋼으로 lining되어있다.

爐容器(윗덜개를 除外한 容器의 크기는 外徑 4,500mm, 높이 11,000mm)는 蘇聯國內의 鐵道輸送이 가능한 크기이다.

VVER-1000型爐의 主接合部에는 管狀seal이 사용되고 있다. 윗덮개의 flange를 爐容器 flange로 지지하고 있으므로 핀의 屈曲應力이 감소하여 seal間的 溫度差가 적어져서 조임볼트가 必要없다. 다른 부분은 VVER-440型 爐의 爐容器와 본질적으로 같다.

물은 入口노즐을 통하여 爐容器內로 들어와서 爐容器와 爐容器內裝置 사이의 環狀隙間을 따라 아래로 흘러내려 下部plenum과 콘트롤·실린더를 거쳐 出口노즐로 나온다.

爐容器內裝置는 바닥에 붙은 爐心容器, 保護管블록과 爐心壁으로 되어있다. 爐容器內에는 바닥에 爐心容器가 놓여지며, 그 內部에 爐心이 설치된다. 爐心容器的 下部에는 8개의 移動防止器가 붙어있는데, 이것은 爐의 組立時에 붙여지는 것으로서 橫方向으로 이동하지 못하도록 爐心容器를 고정시킨다.

保護管블록은 위를 鋼板으로, 아래를 格子로 相互連結시킨 109개의 파이프의 集合體이며, 燃料다발의 頭部를 固定시켜서 燃料다발들이 떠오르지 못하게 유지하며 또 制御棒과 制御安全保護系統의 驅動用rod가 冷却材의 흐름에 견디도록 한다. 保護管블록에는 爐內測定設備가 설치되어 있다.

爐心은 서로 교환가능한 燃料다발 151개로서 각 다발은 燃料棒 317개, 制御棒用案内管 12개, 出力測定器用채널 1개로 되어있다.

燃料다발은 간격 12.6mm의 3角格子狀으로서 燃料봉의 束으로 되어있으며, 頭部와 尾部를 가진 6角形의 有孔케이스속에 들어있다. 燃料봉 사이의 간격은 중앙의 파이프에 고정된 15개의 spacer grid에 의해서 고정된 頭部의 上端은 制御棒클러스터用案内管 12개가 있고, 頭部의 側面에는 窓이 몇개 있는데 冷却材는 燃料다발속에서 이 窓을 통해서 밖으로 나온다.

制御棒클러스터는 특수한 가로lug에 매달린 12개의 棒으로 되어있으며, 그 役割은 (爐心에

吸收材를 신속하게 挿入-落下시킴으로서) 爐內核反應의 迅速確實한 停止와 爐를 所定の 出力水準으로 유지시키든가, 신속한 反應度變化를 補償하는 것을 목적으로 하는 自動制御에 있다.

燃燒와 완만한 反應度變化의 補償은 冷却材속의 硼酸濃度を 變化시킴으로서 행한다. 爐心은 3개의 濃縮度領域으로 分割되어 있으므로 爐心全體에 걸쳐 中性子束을 均等히 分布시키고 또한 그와 같은 裝填에 의해서 最適出力을 얻을 수 있다. 出力의 測定은 爐心內에 설치된 31개의 채널內에서 행한다. 冷却材의 溫度測定은 各 燃料다발의 出口와 爐의 入口에서 행한다. 上部블록은 制御保護用 電磁驅動裝置가 붙어있는 109개의 파이프狀커버가 있는 爐容器 윗덮개, 出力測定用 노즐 31개, 溫度監視用 센서노즐 6개, 中性子源領域監視노즐 3개, 緊急硼酸液注入노즐 및 空氣排出노즐로 구성되어 있다.

爐容器裝置와 燃料다발은 대규모 事故(직경 850mm인 主循環配管의 破斷)에 의한 緊急事態時 일어날 수 있는 最大負荷를 고려해서 설계되어 있다. 이 경우, 容器內裝置와 燃料의 幾何學的形態의 不變性이 유지되므로 爐心の 緊急冷却을 행할 수 있다. 爐의 側面遮蔽는 콘크리트로 이루어지며 空氣로 冷却한 遮蔽內에는 爐의 狀態監視用채널이 설치되어 있다.

1次回路 주요부분의 하나는 蒸氣發生器로서의 확실한 運轉 여부가 대부분의 경우 爐系統全體의 安全運轉을 左右한다. 蒸氣發生器의 型을 선택하는데 있어서는 다음과 같이 構造上, 熱工學上 및 運轉上의 特性에 대한 여러 요구가 모두 검토되었다.

○蒸氣發生器는 유니트式이며 또한 工場에서 組立可能할 것과 모든 종류의 檢査試驗을 행하는 것이 가능할 것.

○組立시킨 蒸氣發生器를 設置現場까지 鐵道로 輸送할 수 있을 것.

○建設時에 設置가 간편하여야 하며 또한 現

場에서 加工하기 쉬운 것과 銲接作業量이 적을 것.

- 機器의 確實한 自然冷却이 가능할 것.
- 蒸氣發生器의 운전이 간단하고 쉬운 것.

VVER型爐를 갖고 있는 原子力發電所用으로 採用된 蒸氣發生器는 單一容器式橫型으로써 separator를 內藏하고 液浸式傳熱面을 가지고 있다. 증기발생기의 管은 液浸式이다. 管사이의 공간은 물이 自然循環方式으로 管에 대해 가로 方向으로 흐른다. 給水의 溫度는 沸騰點 보다 낮게 한다. 爐心을 통과하는 1次回路의 冷却水는 傳熱管内를 순환한다. 管板은 圓形 collector形을 하고 있으며, 低合金鋼製로서 스텐레스鋼으로 lining되어 있다. collector에 모든水管을 固着시키고, 管끝을 銲着하여 collector에 管을 固定시키고 있다.

蒸氣發生器의 上部에는 separator장치가 있으며, 蒸氣를 받아들이는 多孔板이 붙어있다. 이 장치는 蒸氣領域內에서 重力分離된 蒸氣를 최종적으로 乾燥시킨다. 증기발생기의 容器에 붙어있는 支持構造物에 의하여 主配管이 熱에 의하여 팽창했을 때에 증기발생기가 어떤 方向으로도 水平移動할 수 있도록 되어있다.

이 型의 蒸氣發生器는 Novo-Voronezh原子力發電所 第1~第4號機 및 Kola原子力發電所 2基 등에서의 운전경험을 참고로 하여 끊임없이 개량되고 있다. Novo-Voronezh原子力發電所 第1號機에서는 1964年이후 蒸氣生産量이 各 230 t/h인 증기발생기가 운전되고 있으며, 第2號機에서는 증기생산량이 325t/h인 증기발생기, 第3號機와 第4號機에서는 증기생산량 450t/h인 증기발생기가 운전되고 있다(이 型의 蒸氣發生器는 Kola原子力發電所에도 설치되어 있다). Novo-Voronezh原子力發電所 第5號機에는 蒸氣生産量이 各 1,469t/h인 증기발생기가 설치되어 있다.

VVER-1000型爐의 1次回路에 冷却材를 循

環시키는 데는 容量 19,000m³/h인 循環用軸封型 遠心펌프가 사용된다. 이에 의해서 定常條件, 過度條件 및 緊急事態下에서 爐心の 冷却을 확보할 수 있다.

內徑 850mm인 主配管은 스텐레스鋼으로 lining을 한 低合金炭素鋼製이다. 主配管의 “低溫”配管과 “高溫”配管 모두 각각 電氣驅動裝置가 붙어있는 停止밸브 1개가 설치되어 있다.

VVER-1000型爐 1次回路의 壓力을 유지시키기 위해서 內徑 3,000mm, 體積 77m³인 圓筒型的 從型蒸氣體積補償器가 사용된다. 體積補償器의 容器는 炭素合金鋼이다.

1次回路에 漏水(漏洩)가 일어났을 때 爐心을 主配管破斷의 原因이 되는 極端의 加熱로부터 보호하기 위해서 사용되는 緊急爐心冷却系統은 다음 2부분으로 되어있다. 즉, 爐心으로의 給水에 어떠한 動力源도 필요로 하지 않는, 소위 受動的인 것과 豫備電源에 의해 作動하는, 소위 能動的인 것이 있다. 受動的 裝置는 非常用貯水탱크 4개로 되어있다. 非常用탱크에서 爐의 給水는 탱크間的 가스쿠슨에 의해서 이루어진다. 能動的 裝置는 硼酸溶液의 緊急爐心注入用펌프와 余熱除去用的 低壓펌프이다.

爐心の 比熱負荷가 높으므로(110kW/1 까지) 定常運轉, 過渡運轉 및 가장 確率이 높은 緊急運轉條件下에서 爐의 확실한 冷却을 확보하는데 많은 注意를 기울이고 있다. 확실한 爐心冷却의 規準으로 다음의 것이 採用되고 있다. 즉, 燃料表面의 熱交換이 限界以下일 것, 燃料被覆의 온도가 許容限度를 넘지 않을 것, 主配管의 破斷에 의한 緊急事態를 除外하고 플랜트가 어떠한 條件에서 운전되더라도 연료의 熔融을 일으키지 않을 것, 主配管破斷의 경우에는 爐心の 保全(熔融防止)과 放射性生成物의 大氣放出防止가 과제가 된다.

VVER-210, VVER-365, VVER-440型 原子爐의 운전경험을 기반으로 하여 개발된 VVER

-1000型爐는 이들 爐의 진보적이고 우수한 面, 즉 蘇聯 및 外國에서의 輕水爐 건설과 운전의 장기실적에 의해서 採用되고 實證된 것을 모두 받아들이고 있다.

原子力發電所의 복잡한 大型유니트設備의 제작경험에서 얻은 교훈에 의하면 주요한 集合體와 機械裝置의 標準化와 規格化가 필요하다는 것이다. 이것은 기계제조공장에서 설비를 제작할 때 뿐만 아니라 運轉, 修理, 部品製造의 경우에도 해당되며 또한 有利하다. 그외에 集合體와 主要기계장치의 표준화와 規格통일은 설비의 質의 向上을 가져온다. 일련의 原子爐, 그중에서도 加壓水型輕水爐의 規格統一에 관해서 여러 提案이 나오는 것은 이 때문이다.

현재 VVER-1000型爐를 베이스로 해서 電氣出力 500MW의 動力유니트에 대한 기술개발이 行해지고 있다.

VVER-1000型爐는 4루프식이다. 各 루프의 熱出力은 750MW이다. VVER-1000型爐는 出力 各 500MW의 터빈 2기에 蒸氣를 공급한다. 이와 같은 사정에서 VVER-1000型的 規格化된 설비의 기계장치와 出力 500MW의 터빈發電機를 베이스로 해서 2루프식 VVER-500型爐를 개발하자는 제안이 나왔다. 설계변경을 요하는 것은 爐容器的 구조인데, 그것도 冷却材의 入口와 관련하는 부분에 불과하다. 즉, 爐의 높이와 직경은 거의 변하지 않으므로 爐容器構造의 變更은 실질적으로 1개의 環狀板에 한정되고 있다. 또한 爐設備은 1次系統루프의 主停止밸브가 필요없으므로 簡素化된다. 2루프식 爐에는 이와 같은 停止밸브가 필요없다. 즉, 한쪽 루프설비가(어떤 원인으로) 정지했을 때 單-루프에 의한 운전은 좋지 못하므로 爐를 정지시키지 않으면 안되기 때문이다. VVER-1000型 爐에서는 1개의 루프가 정지했을 때 이 루프 이외의 나머지 3개의 루프로 운전을 계속할 수 있다.

VVER-1000型爐 各 루프의 電氣出力은 250 MW이다(電氣出力 各 250MW인 루프가 4개). 이와 같이 充分히 운전을 해보아서 우수성이 증명된 VVER-1000型 루프(蒸氣發生器, 主循環 펌프, 停止밸브 등을 포함)를 가지고 있으므로 2루프로 電氣出力 500MW인 爐, 또는 3루프로 750MW인 爐를 建設할 수 있다.

全體的으로 VVER-500型爐는 VVER-1000爐와 비교해서 약 85~90%정도 規格化되어 있다. VVER-500型爐에서는 制御保護系統驅動裝置, 燃料다발과 模擬다발, 隔離bellows, 支持型 틀, 新燃料과 使用後燃料의 交換裝置 및 移送用設備, 爐容器檢査裝置, 體積補償器, 직경 850 mm인 配管, 緊急爐心冷却탱크, 蒸氣發生器, 爐윗 덩개接合部の 볼트조임장치외에 爐容器, 蒸氣發生器, 1次回路의 大口徑配管, 主循環펌프, 爐心冷却系統탱크 등의 支持 등 VVER-1000型爐의 主要集合部와 기계장치가 완전히 規格化되어 있다.

이와 같이 VVER-1000型爐를 베이스로 해서 VVER-500型爐의 原子力發電所를 建設할 때 動力機械製造工場은 VVER-1000型爐의 原子力發電所用인가, VVER-500型爐의 原子力發電所用인가에 관계없이 설비를 제작할 수 있는 것이다.

VVER-500型爐를 갖는 原子力發電所 建物の 경제적 효과는 當該 經濟地區의 具體的인 여러 조건과 비교하여 결정되어야 할 것이다. VVER-500型爐를 갖는 原子力發電所가 모든 지역에서 사용하더라도 경제적 효과가 올라간다고 할 수는 없기 때문이다. 이와 같은 發電所는 電力系統의 容量이 不充分하여 出力 1,000MW의 原子力發電所가 不意의 사태로 운전을 정지했을 때에 電力系統이 “崩壞”할 우려가 있는 지역에서 有效하다.

이와 같이 1,000MW 및 500MW級의 強力한 原子爐를 여러곳에 建設함으로써 蘇聯의 原子動力은 需要를 充分히 충족시킬 수 있다.