

# 沸騰式 輕水爐로 각광받는 스웨덴의 原子力技術

1981년도 스웨덴인의 1人當 原子力발전 소비량은 4,400 Kwh였는데 이것은 세계 최고치를 기록하는 것이다. 同國 원자력발전소 9基의 총 시설용량은 650만Kwe로 이 9基에서 공급된 연간 총전력량은 36 Twh였다. 스웨덴 전체의 발전량이 100 Twh이므로 원자력의 점유율은 36%에 달하고 있다.

9基중 7基는 ASEA-ATOM社가 공급한沸騰式輕水爐(BWR)인데 이 7基의 총시설 용량은 470만Kwe이며 이들로 부터의 총 발전량은 29.5 Twh를 보이고 있다. 基當용량은 72년도에 상업가동에 들어간 Oskarshamn 1호기의 44만Kw급서 부터 80, 81년도에 각각 투입된 Forsmark 1호와 2호기의 90만 Kw 급까지 여러 級이 있다.

운전허가를 받은 나머지 2基의 원자력발전소는 美國웨스팅하우스社가 공급한 加壓式輕水爐(PWR)이다. 지금까지 결정된 스웨덴의 原子力발전소는 총 12基에 이른다.

스웨덴 산업계는 오래된 原子力과학기술의 傳統을 기반으로 自主性확립이라는 목적을 달성키 위해 전력을 기울여온 결과 그간 괄목할만한 성공을 거두었다. 제한된 人力資源과 資本의 限界性을 극복하여 이제는 거의 自給상태에 이른 原子力계획을 개발 확보케된 것이다.

스웨덴産業은 다 그렇지만 原子力발전소의 운전에서 특히 높은 신뢰성을 유지하고 고도의 안전성을 확보하는데 전력을 다하고 있으며 또한 원자력발전소 放射性폐기물 관리에 대한 장기대책에 있어서는 특이한 계획을 개발해 왔다.

또한 이와 같은 밀접한 관계가 있는 각각의 관련산업과 商業분야도 성숙단계에 이르고 있다.

原子力발전을 뒷받침하고 있는 下部구조로는, 우선 우수한 原子力과학기술을 들 수 있고 또한 원자력발전에 대한 제반 기술用役 기관과 補修전담회사 및 원자력안전성과 방사선防渠, 품질관리 및 원자력안전조치대책을 담당하는 관계당국 등을 열거할 수 있다. 스웨덴은 이러한 여러 분야에서 오랜 경험을 축적하면서 기술적 전통을 쌓아오고 있다.

原子力발전소의 계획, 機資材공급 및 建設監理分野에 있어서 스웨덴 기술과 工業能力에 관한한 전적으로 自主的인 단계에 도달하고 있다. 스웨덴은 원자력발전소운전요원 養成에 있어서 각 發電工社 소유의 훈련시설 및 源子爐 제작회사와 發電會社가 공용으로 운영하는 實物大의 시뮬레이터訓練施設을 포함하여 스웨덴 특유의 능력을 보유하고 있다. 스웨덴이 개발한 시뮬레이터는 세계 最尖端級의 것이고 이것은 運轉要員에 대한 원자력발전소의 최초운전 훈련은 물론 이들에 대한 再訓練用으로도 이용되고 있다.

스웨덴의 富藏埋藏量은 세계최대급의 하나로 손꼽히고 있다. 현재 시범규모로 이에 대한 探鑛활동을 진행하고 있다. 스웨덴 鑛業界는 이와 관련된 여러 가지 기술을 철두철미하게 개발하였고 동시에 각종 문제점들을 잘 파악하고 있다. 현재 스웨덴의 原子力發電회사들은 富藏濃縮役務만은 해외에 의존하고 있다. 그러나 스웨덴은  $UF_6$ 를  $UO_2$ 로 變換하고 工程과 核燃料의 成型加工을 자급자족하고 있다.

核燃料의 後行週期에 대한 스웨덴의 公式입장

은 “事態의 進展을 觀望하는 태도”를 취하고 있다는 사실이다. 그러나 再處理機기물의 終末處分이나 사용후 핵연료를 폐기물로 취급하는데 대한 세부계획은 이미 作成해두고 있다. “事態의 進展을 觀望하는 政策”과 관련하여 스웨덴은 세계최초로 使用後核燃料를 발전소의 “領外에 貯藏”(Away From Reactor) 하기 위한 시설설계를 완료하여 목하 그것을 건설중에 있다.

스웨덴의 原子力산업 構成要員中의 하나는 ASEA-ATOM社인바, 이 회사의 株式은 國家와 ASEA AB社 공동소유로 되어 있다. 스웨덴의 原子力산업을 살펴보면 그간 가장 놀란만한 업적을 이룬것으로 ASEA-ATOM社가 개발한 沸騰式輕水爐(BWR)를 들 수 있다. ASEA-ATOM社는 이 爐型을 개발함에 있어서 전혀 外國技術에 의존함이 없이 전적으로 독자적으로 개발과 설계에 임하여 온 결과 오늘에 이르러서는 세계의 最尖端기술로 성장하게 되었고, 그간 총 40 爐-年(reactoryears)의 商業稼動 실적을 이룩하는 동안 이 爐가 신뢰성과 효율성에서 가장 훌륭하다는 것을 입증하였다.

輕水爐는 그간 기술과 商業面에서 성숙단계에 도달하였고 그 결과 여러 나라에서 이 爐型에 의한 발전점유율이 상당한 수준에 달하였다. 원자력발전소에 대한 요구조건과 需要는 시대변천과 더불어 변하게 마련이다. 원자력발전소는 전적으로 基底負荷를 담당하는 지금까지의 개념도 변해야 할 때를 맞이하게 되었다. 따라서 원자력발전소의 制禦, 운전 및 核燃料관리에 대한 需要도 새로이 定立해야 할 것이고 또한 그러한 요구는 점차적으로 중요한 의미를 지니게 되었다. 이와 더불어 原子爐의 安全性확보에 대한 大衆의 관심과 전문가의 역할은 重且大하여 앞으로 더욱 더 깊고 넓게 파고 들게 되었다.

沸騰式輕水爐는 위에서 언급한 여러 가지 새로운 요구조건을 만족시키고 부응하는 특별한 기능을 가진 爐型이다. BWR원자력 발전소가 지닌 주요 특기사항을 열거하면 輕水는 冷却材와 減速材 구실을 한다. 또 蒸氣는 爐心內의 沸騰하는 물에서 생긴다. 蒸氣循環系統은 직접 터빈

으로 들어간다. 原子力계통의 구성요소는 원자로 壓力容器와 그 안에 들어 있는 機器 즉 爐心과 爐心支持用 部品들이며 그밖에 減速材탱크와 그 支持物과 뚜껑, 핵연료支持板, 上部爐心 그 리드 제어봉의 導管과 爐心內 計測器, 蒸氣分板器, 증기乾燥器가 있고 최신設計의 BWR에서는 内部再循環펌프 등이 있다. 일반적으로 制禦棒과 제어봉驅動裝置도 원자로계통에 포함 시키는 것이 상례이다.

핵연료는 二酸化농축우라늄으로 구성되어 있고 Zircaloy-2를 被覆材로 쓰고 있다. 운전초기에는 대부분의 熱이 U-235 原子核의 分裂시에 발생하는 에너지에 起因하지만 照射가 진행됨에 따라 U-238 원자핵이 플루토늄으로 變換하므로 核分裂로 말미암은 에너지의 寄與分도 상당한 몫을 차지하게 된다. 원자로의 핵연료 再裝填은 年中 行事로 하도록 설계되어 있다. 일반적으로 爐心의 20~25%를 해마다 交替하는 것을 관례로 하고 있다.

沸騰式輕水爐의 스팀 사이클은 간단하고 순수하다. 노심에서 발생한 스팀은 직접 터빈으로 가게 되고 다음으로는 復水路를 거쳐 원자로 안으로 供給水로서 되돌아 온다.

BWR발전소의 스팀 사이클은 여러가지 면에서 재래식 火力발전소의 경우와 유사한 점을 갖고 있다. 초기의 火力발전소에서는 冷却材의 自然對流에 의존하고 있었으나 시대가 바뀌어 기술개발이 활발해짐에 따라 後期의 발전소에서는 強制循環式을 채택하게 되었는데 그 이유는 沸騰과정에서의 熱出力을 높이기 위한 목적때문이다. 마찬가지로 이유로 최근의 BWR設計에서 強制再循環系統을 도입하고 있는 이유는 爐心內의 出力密度를 높이기 위해서이다.

爐心은 원자로용기안에 들어 있는데 최신식 BWR에서는 이밖에도 蒸器分離器, 증기乾燥器, 供給水撤布器와 再循環입펠라가 收容되어있다. 이렇게 하므로써 核蒸氣供給계통을 될수록 간편하게 설계 하고 또한 壓力容器에 부착되는 大口徑의 파이프 數를 줄이는 효과를 거두게 되었다. 뿐만아니라 核蒸氣공급계통을 이처럼 간단하게 만들었기 때문에 原子爐의 格納容器도 굉장히

단순하게 설계할 수 있게 되었다.

ASEA-ATOM社의 원자로 설계개념에는 蒸氣發生器도, 加壓器도 再循環用配管系統도 없기 때문에 爐內에서 생긴 에너지가 직접 증기로 變換되어 전기에너지를 생산하게 되어 있다.

原子力을 대규모 발전용으로 이용하기 시작한 지 벌써 25년 이상의 세월이 흘렀다. 그간 核分裂時에 생기는 熱을 蒸氣로 만들어 이것으로 여러 분야에 응용하려고 各樣色의 아이디어가 제시되었고 시도되었다. 그중 어떤 것은 實用面이 결여되어 끝내는 應用에 失敗하였고, 또 어떤 것은 그간 開發이 잘 되어 商業稼動에 이를 정도로 성숙단계에 이른 것도 있다.

輕水를 中性子減速材와 冷却材로 사용하는 加壓式輕水爐(PWR)는 여전히 활발하다. 이 爐型은 원래 미국 海軍에서 선박推進용으로 개발된 것으로서 여러가지 機器 모두가 증기생산용으로 설치되어 있다. 예를 들면 壓力容器, 一次系統 펌프類, 몇개의 증기발생기와 복잡한 구조의 配管系統을 들 수 있다.

重水를 減速材와 冷却材로 사용하는 加壓管式重水爐도 마찬가지다. 지금은 압력용기 대신에 복잡한 구조의 壓力管들을 쓰고 있다. 그러나 이 爐型에서는 加力器, 一次系統펌프類, 증기발생기, 一次系의 配管系統이 여전히 필요하다.

沸騰式輕水爐에서도 輕水를 감속재와 冷却材로 사용하지만 原子爐容器外部廊에 순환 계통이 있고 내부에는 젓펌프가 있어서 한단계 앞서 있는 爐型이다. 따라서 가압기와 증기발생기는 불필요하므로 除去되어 있다. 그러나 再循環 配管 계통은 있어야 한다.

ASEA-ATOM社의 沸騰式輕水爐는 輕水를 감속재와 냉각제로 쓰고 있지만 궁극적으로는 設計의 單純化를 최종목적으로 하고 있다. 이 목적을 구체화하기 위하여 원자로용기안에 냉각재 再循環펌프를 收容하므로써 재순환배관 계통도 제거하게 되었다.

ASEA-ATOM社製의 BWR 75型에는 원자로內裝펌프(RIP)가 원자로용기 안에 收容되어 있는데 이 爐型이 지닌 이같은 고유의 단순성으로 말미암아 경제성, 안정성, 신뢰성, 제어문제

기동성 및 보수면에서 전반적인 間利點을 갖게 되었다.

外部의 재순환계통을 제거하였기 때문에 재순환계통이 지닌 壓力降下문제를 피하게 되고 또한 低出力의 펌프만 설치하면 되고 더욱이 負荷追後需要에 즉각적으로 副應할 수 있는 高效率의 直接再循環流動제어가 가능하게 된다. 원자로 압력용기 下端部에는 重量級 파이프를 연결하지 않기 때문에 원자로安全性이 向上되고 또한 어떠한 파이프파열사고가 발생해도 원자로심이 再冠水되도록 설계되어 있다. RIP계통의 簡便때문에 설치와 보수작업이 용이하고 또한 제 1 차格納容器的 크기를 현격하게 줄일 수 있게 된다.

ASEA-ATOM社가 개발한 RIP계통은 余他的 BWR 供給會社로 부터도 높이 평가받아 그들은 이것을 次期世代의 원자로계통에서 하나의 주요 특징으로 채택키로 하였다. 이 RIP 技術은 ASEA-ATOM社가 제네랄 일렉트릭社(GE)와의 특허권사용계약체결로 그 使用를 허가하게 되었고 GE社는 다시 日本에서 改良型 BWR (ABWR) 개발에 몰두하고 있는 그들의 特許使用權者인 도시바(東芝)와 히다찌(日立)에게 이의 再許可를 승인했다. ABWR 계통의 도입을 계기로 하여 RIP를 內裝한 원자로는 바야흐로 이제부터 공식적으로 “BWR 설계의 궁극적인 單純化 성취와 성능향의 關鍵”의 간판구실을 하게 되었으며 동시에 스웨덴 技術이 원자력분야에서 세계의 지도적 역할을 하고 있음을 공인받기에 이르렀다.

ASEA-ATOM社는 BWR用 機器 및 部品の 공급과 더불어 항상 原子力領域 전반(Nuclear Island)에 대한 기술용역 업무도 책임지고 있으며, 또 어떤 경우에는 원자력발전소 전반에 대한 일괄 都給引渡契約(full scope turn-key delivery)에 응하기도 한다. 따라서 ASEA-ATOM社는 이 회사의 자매회사인 터빈系統 분야전담의 STAL-LAVAL社, 기타 각분야의 소유회사 및 운영회사와 긴밀한 협조하에 균형이 잘 잡힌 적정화된 완전한 원자력발전소 설계를 발전시킬 수 있게 되었다.

지난 10년간 ASEA-ATOM社의 BWR設計는 팔목할 만하게 개발되고 개량되어 왔다. 그결과 오늘날에는 성숙단계에 이른 발전소로서 신뢰성이 높고 극히 안전하며 경제성이 우수한 상징적인 標本으로 자라게 되었다. 그리고 原子爐에 펌프를 內裝하는 設計概念을 도입하므로써“궁극적인 설계의 단순화”를 기하게 되었다.

발전소를 더욱 융통성있게 운전할 수 있도록 설계해야 한다는 새로운 요구사항을 만족시키기 위하여 앞으로 더욱 더 많은 연구개발이 이루어야 할 것이다. 그중의 하나는 어떤 운전조건하에서도 발전소 운전요원들을 지원할 수 있는 프

로세스 컴퓨터(process computer)를 더 많이 사용해야 한다는 과제가 ASEA-ATOM社가 당면한 연구개발 업무이기도 하다.

아마 앞으로는 많은 나라에서 원자력 발전소를 負荷追後用으로 운전해야 할 필요성에 직면케 되리라고 본다. ASEA-ATOM社製의 BWR원자로에서는 펌프를 원자로 용기안에 內裝하므로써 負荷水需에 즉각적으로 응할 수 있는 능력을 과시케 되었는데, 이제는 이것이 이 회사가 설치한 발전소의 初期稼働에서는 하나의 기준운전절차로 채택되어 있다.

## 승용차 屋上에 太陽電池패널

西獨엔지니어들은 새로운 型의 승용차옥상용 선반을 실험하고 있다. 이 실험은 22㎡尺의 光電地式 太陽電池用의 이 패널은 車의 電氣裝備用 電流源을 공급하여 연료를 절약하는 것이다.

이 太陽電池는 日光을 직접 전기로 전환시켜 발전기 대신 거치한 자동차용 재래식 蓄

電池를 充電한다는 것이다. 그리고 발전기를 제거함으로써 보통 승용차에 대한 연료소비를 약 5% 절약할 수 있다고 보고있다. 이런 型의 태양력발전시스템은 에어컨디셔너와 같은 옵션의 전기장비를 장치한 승용차의 연료도 더 절약할 수 있을 것이라는 것이다.

## 파라듐化合物은 強力한 抗癌劑

루이지니아 州立大學의 化學者들은 有機파라듐化合物이 현재 癌治療藥으로 사용되고 있는 重金屬化合物보다 抗癌作用이 훨씬 강력하고 毒性은 매우 적다는 사실을 발견하였다.

美科學財團의 협조아래 연구하고 있는 George R Nekome 은 炭化水素反應을 위한 촉매로서 사용되는 有機파라듐化合物이 수년전부터 抗癌藥으로 이용되는 시스프티늄(白金化合物)과 그 구조가 매우 유사하다는 것을 발

견하고 항암작용을 연구하게 되었는데, 典型的인 惡性腫瘍細胞의 急速分裂을 파괴하는 능력이 현재 臨床的으로 응용되는 白金化合物보다 더욱 강력하다는 것을 발견하게 되었다. 抗癌作用 즉, DNA를 開裂시키는 능력은 白金化合物보다 약 1만배 이상 강력하며 현재 治療價를 측정중에 있다.

(Chemicalweek, 6 Jan., 1982)