

日本・ATR原型爐 FUGEN

設計의 特徵과 運轉에서 確認된 特性

企 劃 室

資源리사이클의 動力爐, 運轉順調

일본의 國產動力爐인 新型 轉換爐 原型爐「FUGEN」이 1978년 11월 13일 오전 9시 3분에 100% 電氣出力을 達成하고 첫 稼動에 들어간 후 一年余가 지났다. 出力 16萬 5千kW의 同爐는 그동안 별다른 事故도 없이 순조로히 運轉(送電)하였으며 여러가지의 性能시험도 만족하게 끝맺었다. 여러가지의 特色을 가진 爐이다.

國產技術의 集大成

그 特長

1967년 일본 動燃事業團의 設立에서 당시의 일본원자력위원회는 高速增殖爐에 先行하는 爐型을 求하여 되도록 농축우라늄을 필요로 하지 않고 既사용연료를 再處理하여서 얻어지는 減損우라늄과 플루토늄을 사용해서 運轉할 수 있는 등 연료사이클 特性이 훌륭한 爐로서 重水減速沸騰 輕水冷却爐에 의한 直接사이클 원자력 발전소의 개발을 결정하였다.

이 型의 매력은

① 核연료를 효율이 높게 연소시키는 重水減速 沸騰爐이다.

② 중간에 증기발생기를 두지 않으므로 심플하다.

③ 所要重水量이 적고 그러면서도 加壓되는 系에서 重水を 사용하지 않기 때문에 그 漏洩量이 극히 적다.

④ 輕水爐기술이 活用되는 부분이 많기 때문에 리스크가 적고 早期에 개발할 수 있다 等인데, 이와 같은 매력을 가지는 ATR原型爐「FUGEN」의 설계를 특징있게 하는 것은 일본 特유의 환경안전대책의 엄한 사고방식, 설계·保守·運轉관리에 대한 일본 特유의 엄한 안전기준에 적합시키고 또한 일본인 기술자 特유의 상세한 조심성에 의해 실험데이터나 輕水爐의 경험을 반영시켰던 것이라 하겠다.

이 「FUGEN」의 건설은 일본사람으로서 是 苦難에서 成功한 例이기도 하다. 1970년에 380억圓이라는 예산 認可額(이중 기계장치費 220억圓)에 대해 메이커에서 提出된 기계장치 建設總액이 예산의 2배가 되었다. 그러나 이 프로젝트를 추진하는 責務를 가진 일본의 動燃事業團은 어떠한 일이 있어도 계약을 成立시켜야 했다. 이와같은 상식을 넘은 設計合理化의 작업속에는 다음의 사항들이 포함되어 있었다.

즉 見積仕樣의 설계에서는 증기드럼이 4개 있고 원자로 냉각계통은 4루우프로 나누어졌으며 각각의 루우프는 서로 독립한 원자로 냉각재 壓力바운더리를 형성하고 있었다. 이것을 두개씩 정리해서 壓力管流路 120本을 하나의 루우프로 하는 2루우프 2드럼 설계로 하면 상당한 코스 트다운이 가능하게 된다.

그런데 여기에는 안전성의 문제가 있었다. 일본이나 미국, 서독 등에서의 원자로 냉각계통의 最大口徑配管이 瞬時に 破斷되는 것을 고려해서 이 냉각재 상실사고에 대한 안전성이 충분히 확보되어야 한다는 조건이 있다. 天然우라늄 또는 微농축 우라늄의 경우 이 냉각재 상실사고의 경우 이 냉각재 상실사고시에 爐心部로부터 냉각재인 輕水가 빠져나가면 원자로의 반응이 보다 증대해 가는 효과가 격심하며 (正의 보이드係數), 4루우프로 해서 냉각재 상실사고의 영향범위를 爐心部の 4분의 1의 영역을 한정시킨다든가 농축도가 높은 우라늄을 사용하지 않으면 出力의 異常上昇으로 인해 연료의 온도가 그 基準値를 넘어버린다.

마침 이때 플루토늄 混合연료를 사용하면 爐心の 보이드增에 의해서 反應度增이 되는 현상이 억제되는 것이 計算 및 實驗으로부터 확인되었다. 플루토늄 混合의 경우 냉각재 상실사고시에 보이드 反應度 效果가 負이며 出力上昇이 발생하지 않는 것을 알게 되었다.

이와같이 해서 계약 成立을 위한 價格低減을 어떻게 해서라도 실현시켜야 한다는 막다른 골목의 要因에서 발전용 원자로에서 다른 나라에 앞서서 플루토늄을 富化시킨 혼합연료를 사용한다라는 決단이 내려졌다. 이로서 충분히 안전성을 확보하면서도 2루우프, 2드림이라는 設計合理化가 달성되었다. 또, 그 이전부터 並行해서 검토를 진행하고 있던 일본 動燃事業團의 核燃料部 東海사업소에서 플루토늄富化 혼합 酸化物 연료를 生産라인으로서 제조할 수가 있다는 전망도 얻어졌다.

미국의 카터 대통령이 核擴散을 두려워하는 플루토늄이 平和利用에 도움이 되도록 연구해보면 안전확보를 위한 有用한 특성을 가지는 것을 알게 되었으며 일본에서는 新型轉換爐 ATR의 원자로 특성을 안전한 것으로 하는 중요한 역할을 한다는 것은 아이러니칼한 일이다.

그 후 시운전을 겪고서 이 2루우프 2드림 설계로의 合理化의 決단이 또 하나의 중대한 뜻을 가지고 있음을 알게 되었다. 起動, 정지, 過渡의 變動, 出力變更 등을 할 때에 플랜트 운전에서 증기드림의 水位制御가 얼마나 중요한 포인트이며 또한 상세한 배려가 필요한 것인가, 만약

동시에 배려를 해야 할 증기드림이 네개나 있었다면 플랜트 운전이 얼마나 어려운 것이 되었을까, 아니 운전이 一体可能했을까라고 하는 등이다.

예산과 見積提示額의 큰 갭으로 인해 막다른 골목에 쫓겼을 때의 決斷이 오늘날의 운전의 성공, 그리고 푸을·버너實證의 길을 열어주기도 했던 것이다.

世界第一의 든든한 燃料 集合体 安全설계의 여러가지

원형爐(FUGEN)의 설계·건설의 일은 일본의 安全基準에 따르는 안전설계와 이것을 올바르게 실시한 品質管理의 일이라해도 과언이 아닐 것이다. 모든 실험, 解析, 시험, 검사, 설계검토, 설계변경 등 그 태반이 안전확보를 위한 노력이었다고 그들은 말하고 있다. 以下에 일본이 自主개발한 ATR의 안전설계면에서 토목적인 것을 들어보기로 한다.

燃料 케렛트와 被覆管의 相互干涉을 피하기 위해서 그 갭을 크게 하고 피복관을 든든히 하기 위해 살의 두께를 두껍게 하였으며 燃料棒의 굴곡을 막기 위해서 스페이서·그릿의 수를 많게 했으며 그 그릿을 용수철特性 등 耐久性을 좋게 하기 위해 인코넬製로 하는 등, 이 연료集合体는 영국의 어느 연료전문가가 세계의 各爐의 연료仕樣을 비교하여 세계에서 가장 든든한 것이라고 평했다는 뒷이야기도 있다.

壓力管 압력관의 설계·제작에서는 특히 상세한 배려를 했다고 하는데 殘留應力을 제거하기 위해 열처리한 것(질코늄과 니오브의 合金)을 사용하고 있을 뿐만 아니라 그 延長部 스텐리스材와의 로울조인트의 방법으로는 특히 세심한 배려를 했으며 로울조인트部에는 應力除去 作業을 追加하고 있다. 224本中 4本の 연료는 壓力管材 질코니오브 合金의 中性子 照射에 의한 特性變化를 實爐에서 照射시키면서 適時에 끄집어내어 材料試驗에 제공하도록 照射시험片을 中心部에 두어 되도록 高레벨의 中性子束이 당도록 연구를 한 특수연료체로서 이것도 輕水爐에서 본을 딴 일본의 특유의 사고방식으로서 壓力管의 健全성을 확인하면서 爐의 運轉을 해나가는 구조로 되어

있다.

爐心特性 壓力管型 重水減速爐의 설계에서 그 냉각재중의 증기体積(보이드라고 부른다)의 증가에 따라서 원자로의 반응이 증가하거나 감소하는 원자로 自体의 특성을 결정하는 문제가 있다. 이 보이드 反應度係數가 크게 正의 值인 경우, 正의 휘이드백 效果가 甚한 爐가 되어 制御가 곤란하게 된다. 이미 앞에서도 말한 바와 같이 플루토늄 混入연료가 이 보이드 反應度係數를 負로 하는 특성이 있음으로서 그 採用을 결정한 것이라고 한다.

強制循環型 非常爐心 冷却系統 원자로냉각系統配管의 파손에 의한 냉각재 상실사고의 발생을 고려하여 설치되어 있는 비상로심 냉각계통의 설계가 강제순환형으로 되어 있다. 원자로 냉각계통의 大口徑配管은 下部렛더 까지로서 下部렛더 이후는 2인치徑의 가는 管으로서 各 壓力管에 연락되고 있으며 下部렛더 自体는 容器的 기준으로서 설계·제작되고 있다. 大口徑配管의 下部렛더 入口부에 체크밸브를 설치해서 非常用 爐心冷却 계통의 물을 下部렛더로 壓入하기 때문에 물은 직접 破斷口로 向함이 없이 강제적으로 원자로 연료부로 흘러 들어가게 되는 구조로 되어 있다.

器機의 開發 일본은 「FUGEN」계획을 국산 기술로서 成就시킨다는 기본 방침에서 종래는 수입에 의하였던 것을 국산화하였는데 이 중에서 主되는 것은 原子爐 再循環펌프, 制御棒 驅動機構, 希가스 홀더업裝置, 長壽命인코어 모니터 및 密閉도가 높은 主蒸氣隔離밸브 등이 있다.

予想外로 적었던 壓力變動 運轉特性

약 1년간의 「FUGEN」운전에 의해서 많은 知識을 얻을 수 있었는데 以下에 그 특징적인 것을 列擧해 본다.

爐內出力分布 爐內 全피킹係數(軸方向피킹, 半徑方向피킹, 局所피킹)의 全因子를 고려한 值가 2.0以下로 된다. 이와 같은 사실은 爐心有効 利用率이 높고 燃料燃燒가 均一하게 얻어지는 原子爐임을 알 수 있다.

爐心出力動搖 원자로의 中性子 減速機能이

조용한 重水에 의해서 확보되며 또한 보이드 反應度係數가 제로에 가까우므로 核반응이 조용히 유지되며 정상운전時의 爐心中性子束 動搖가 플러스 마이너스 0.8%이하임을 알게 되었다. 이것은 원자로가 운전하기 쉬울 뿐만 아니라 燃料材에 있어서도 바람직한 特性일 것이라고 생각되고 있다.

停止後의 余熱 원자로 정지후의 崩壞熱의 일부는 中性子線이 감마線의 형태로서 연료밖으로 나와서 열이 된다. 輕水爐의 경우, 그것이 직접 冷却材 中에서 熱이 되더라도 원자로 냉각재를 통해서 除熱할 수 있으나 ATR에서는 中性子線이나 감마線에 의해서 운반된 상당한 熱이 重水中에 발생하는 것 및 플루토늄의 붕괴열은 우라늄 235의 核分裂의 경우보다도 적다는 것, 또 壓力管으로부터 重수로의 放熱과 壓力管 延長部로부터 鐵, 水 차폐체로의 傳熱로 인해 원자로 停止후 냉각계통(余熱除去系統 등)의 부담이 30%정도 적다는 것을 알게 되었다.

過渡時 壓力變動 負荷상실, 터빈트립, 所內常用電源상실, 給水상실, 隔離밸브急閉 등의 通常 운전중에서 생각되는 각종 過渡現象 發生時의 원자로系의 壓力上昇이 예상외로 적다는 것을 알게 되었다. 이 이유는 보이드 反應度係數가 제로 근방인 것과 余熱이 적기 때문이다.

最小限界熱流束比(MCHFR) 「FUGEN」의 설계에서는 BWR의 기준치에 일치시켜서 MCHFR가 1.9보다도 크거나 同等하게 했으나 試運轉에서의 각종 과도현상 시험의 결과 이 원자로의 특징으로서 MCHFR가 低下하는 과도현상은 거의 없을 뿐만 아니라 余力운전시에도 설계值를 대폭적으로 上回하여 MCHFR=2.7이 되었다.

이와 같은 것은 원자로가 그 熱除去의 면에서 定常운전시에도 또 過渡현상 발생시에도 큰 安全 余裕를 가지고 있음을 나타내는 것이다.

에너지自立에 역할 結語

ATR 「FUGEN」의 설계, 건설, 운전을 통해서 얻어진 知識은 실로 중요하고도 또한 풍부한 것이었다고 일본 사람들은 말하고 있다. 처음으로의 것을 설계, 건설한다는 일을 위해서 많은 변

경, 訂正을 행했는데 이것은 값진 경험인 것이다.

현재, 이 原型爐 「FUGEN」의 설계의 장점을 살려서 그 운전에 의해서 얻어진 지식을 反映시켜서 電力出力 60만kW의 ATR 實證爐의 설계가 추진되고 있다.

輕水爐가 濃縮우라늄을 수입해서 電氣를 만들며 그 既使用연료를 일본국내에서 再處理하면 그 재처리 플랜트의 프로덕트로서 1%弱의 타고남은 우라늄 235를 포함한 소위 減損우라늄이 얻어지며 또한 약간의 플루토늄이 얻어진다. ATR 는 이 재처리 프로덕트를 적당히 혼합해서 연료로 사용하는 프로덕트로서 말하자면 既使用 연료라고 하는 『일본국내자원』으로서 전기를 만드는 원자력발전소로서 最適의 特性을 갖춘 것이다. 이 자원을 곧바로 活用하도록 노력해서 수입연료가 아닌 『일본 국내에서 發生하는 것』에 의해서 에

너지源으로 하므로 에너지自立에 역할을 다하고 싶다고 한다.

ATR燃料사이클의 특징

ATR 연료 사이클에는

① 그 既使用 연료중에 남아있는 우라늄 235가 우라늄농축 플랜트의 末尾로부터 나오는 劣化우라늄 (0.2%~0.25%)이하가 될 때까지 우라늄 235가 有効하게 이용된다.

② 輕水爐의 既使用연료의 減損우라늄에는 남아있는 우라늄 235에 대해 3대 1 정도의 비율로서 우라늄 236이 混在하고 있어서 이것을 原材料로서 농축우라늄을 제조하면 이 中性子吸收性的의 우라늄 236의 농축도가 높은 우라늄일수록 많이 混在하게 되어버리므로 減損우라늄을 富化시켜 ATR에서 사용하는 것이 바람직하다— 라는 등의 특징이 있다.

放射医学

脚光받는 粒子線利用

癌診療 장래를 占치는 重要과제

化學요법, 수술과 암치료에 유력한 수단이 되는 것으로 放射線法이 있는데 이 치료에서 가장 중요한 것은 주위의 정상조직을 손상시키지 않고 충분한 殺癌線量을 암의 조직에 주는 것이다. 사실 방사선 치료는 장치를 근대화한 線量分布의 개선을 기반으로 하는 방사선 物理學의 진보에 의해서 발전해 온 것이다.

한편 암 방사선치료 수준이 향상됨에 따라 엑스선, 감마선 등 종래의 방사선으로서는 根絶하기가 곤란한 종류의 암의 존재도 명백해졌다. 그것은 ① 본질적으로 방사선 感受性이 낮은 암으로서 惡性黑色腫이나 骨肉腫 및 ② 局所進行腫이라는 早期일 때는 방사선으로서 根治가능함에 도 불구하고 발견시기가 늦어졌기 때문에 治癒가 곤란하게 된 암— 이다.

이들의 難治性 암의 主役을 演出하고 있는 것이 低酸素癌세포일 것이라고 推定되었으므로 速中性子線을 위시한 低酸素 암세포에 강력하게 작용하는 입자線에 의한 치료가 각광을 입게 되었다. 이들의 粒子線은 高LET(리니어·에너지·트랜스퍼) 방사선이라고 불리워지며 生体内에서의 電離作用이 훨씬 큰 것이 특징이다.

速中性子線에 의한 치료는 線量分布가 종래의 방사선과 같으므로 正常조직에 주는 손상은 무시할 수 없다. 따라서 速中性子線에서 보여진 치료효과를 보다 더 확실하게 하기 위해서는 線量分布가 보다 훌륭한 粒子線의 採用이 不可欠한 것인데 그 연구개발이 장래의 방사선 치료의 行方을 占치는 重要한 과제가 되어 있다.

이미 陽子線에 대해서는 스웨덴, 소련, 미국에

서 使用이 시도되고 있으며 일본에서도 최근에 와서 陽子線 치료의 준비가 갖추어졌다. 파이中間子에 의한 치료는 미국의 로스아라모스에서, 또 방사선 치료의 궁극의 자태라고 생각되는 重粒子線에 의한 치료는 미국의 버크레이 研究所에서 진행되고 있는 등 세계각국의 연구자들의 손에 의해서 검토가 진행되고 있다.

이들의 다음 代를 짊어질 高에너지의 粒子線을 사용하므로써 生体内的의 암조직에 局限시켜 방사선을 주게 하는 것이 가능하게 되었으며 速中性子線에 의해서 얻어진 치료성적을 다시 향상시킬 수가 있는 것으로 예측되었다.

그러나, 이들 3개의 粒子線에도 치료상에 得失이 있다. 즉, 陽子線의 線量分布는 가장 훌륭하며 선명한 陽子촬영에 의해서 암이라고 진단할 수가 있으며 비임을 콘트롤하여 암조직에 형태 그대로 線量을 集中시킬 수 있는 利點이 더해지나 生物効果는 종래의 방사선과 거의 變함이 없는 점에 하나의 弱點이 있다. 파이中間子線에는 線量分布와 生物효과의 두가지의 利點이 兼備되어 있으나 파이中間子에 의한 암진단은 不可能하다. 그리고 파이中間子는 陽子, 電子 등의 1차

加速粒子를 標의 물체에 충돌시켜서 발생하는 二次粒子이므로 出力이나 비임을 患部に 集中시키는 시스템 工學上으로 해결해야 할 문제가 있다.

重粒子線에는 훌륭한 線量分布, 生物效果, 진단의 三種의 방사선 치료상 필요한 능력을 갖추고 있는 외에 비임이 정확하게 患部に 集中하고 있는가 어떤가를 외부로부터 모니터되는 利點이 더해진다. 사실상 重粒子線 치료에는 탄소粒子, 또는 네온의 입자가 이용되게 될 것이다.

그러나 암의 치료는 방사선 뿐만 아니라 수술, 암의 化學요법, 암 면역 등 최신의 기술을 集中해야만 발전할 것이며 水準이 向上할 것이 예측된다.

이와 같이 암을 집중적으로 치료하는데 있어서 방사선 치료의 기술을 向上시키는 것은 암치료에 있어서도 극히 중요한 과제이며 십년후의 암 발생 頻度を 예측해서 치료기술의 개선에 노력하며 粒子線 치료의 實用化의 연구를 진행시켜야 할 것이다. 특히 重粒子를 위시한 粒子선이용에 관한 연구는 1980년대에서의 암치료의 가장 중요한 과제의 하나라고 생각하고 있다.

原子力의 躍進에 貢獻하는



原子力用



高純度化學藥品·工業藥品

◆ 同位元素

- 硼素同位元素
- 리튬同位元素

◆ 硼素二次製品

- PWR Chemical Shim用

● PWR ICRS用

- 汚染處理用

◆ 高純度 化學藥品

- 燃料再處理用
- 燃料轉換用
- 燃料 成型加工業

◆ 再處理用 工業藥品

◆ 放射能 除染劑

- 放射性 廢棄物 洗濯用
- 實驗器具 除染

宝星商社

서울시 중구 입정동 175-1
전화: 261-3308