

PWR과 CANDU型發電所의  
系統化學 및 破損評價 研究



梁 慶 麟

(韓國에너지研究所 原子炉化學研究室長)

1. 破損豫防 및 破損評價 研究

輕·重水爐 蒸氣發生器, 터빈, 復水器의 腐蝕, 應力腐蝕龜裂(Stress Corrosion Cracking) 및 腐蝕疲勞(Corrosion Fatigue) 等으로 인한 破損豫防과 破損評價를 하기 위한 技術을 確立하기 위하여 다음과 같은 研究를 遂行하고 있다.

첫째, 外國에서의 PWR 관련부품의 破損事例 및 脆弱部分을 把握하고 있고, 둘째, 國內 稼動 중인 原子力 1號機 熱交換器의 性能監視를 하기 위하여 PSI, ISI Eddy Current 檢査資料, 海水의 流入과 같은 非定常狀態의 水質關聯資料 및 一部 破損試片을 分析 評價하고 있으며, 셋째, 原子力 1號機의 Denting의 進行을 抑制하기 위한 方案으로 Boric Acid Soaking을 실시 하는데 硼酸 使用으로 인한 2次系統 材質의 劣化 및 防止技術을 把握하기 위한 研究를 하고 있고, 넷째, 蒸氣發生器 U-tube의 應力腐蝕龜裂로 인한 破損豫防 및 破損評價技術을 確立하기 위한 研究를 遂行하고 있다.

또한, 앞으로 原子力 2, 3, 5, 6號機를 비롯한 輕·重水爐 熱交換器의 性能監視 關聯資料를 分析評價하고, 外國에서의 蒸氣發生器를 비롯한 關聯部品の 破損程度에 따른 措置現況을 把握하며, Westinghouse PWR, Framatome PWP 및 CANDU 蒸氣發生器 및 關聯部品 材料의 破損問題點을 比較分析하고, 蒸氣發生器와 復水器의 破損豫防과 破損防止技術을 確立하기 위하여 蒸氣發生器 Support Plate의 應力腐蝕龜裂과 復水器의 破損으로 인한 海水流入事故가 蒸氣發生器의 Crevice나 Sludge가 쌓인 부분에 미치는 影響 및 復水器 Tube의 Pitting 및 應力腐蝕龜裂 等에 관한 關聯研究를 遂行할 예정이다.

2. 原子力發電所에서 發生되는 氣相物 濾過 吸着材의 放射性 요오드 檢査

空氣 또는 氣流內에 含有되어 있는 氣相의 放射性 요오드 및 放射性 요오드 化合物을 除去할 수 있는 效率을 活性炭素 吸着材(새로운 것 또는 稼動環境下에서 使用中에 있는 것)에 關하여서 確立하고자 ANSI/ASTM에 記述되어 있는

標準檢査法을 調査檢討하였다. 1983年度에는 韓國電力의 支援下에 標準 檢査實驗室이 韓國 에너지研究所內에 設置될 豫定에 있다. 各 發電所에서는 韓國에너지研이 開發한 檢査技術에 따라서 現地檢査를 遂行하게 될 것이다.

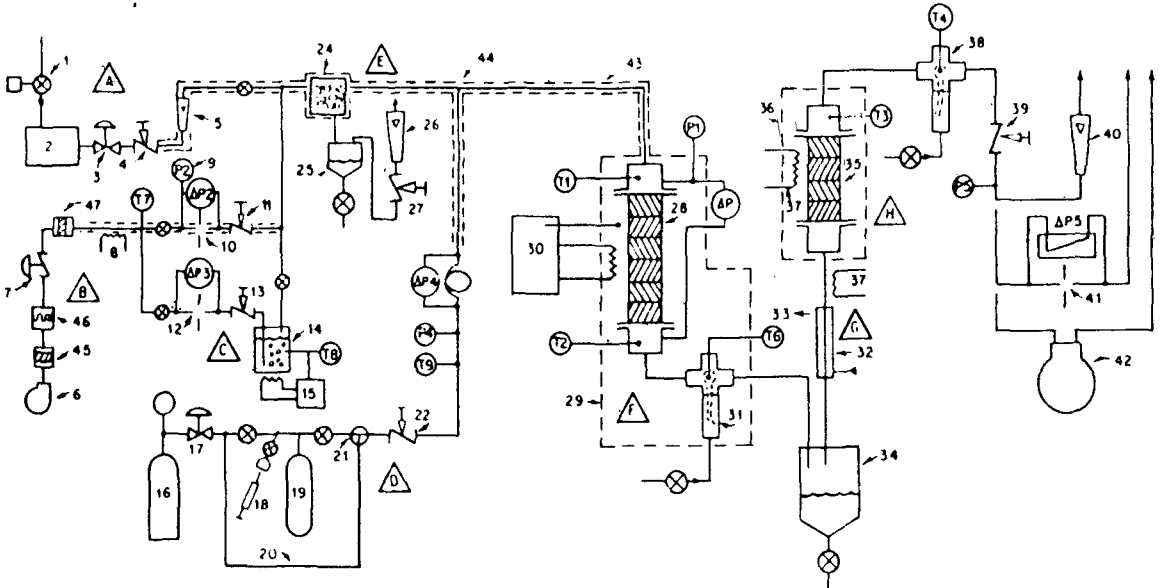
요오드 및 放射性 요오드化 메틸 등의 放射性 요오드 追跡子化合物이 韓國에너지研에서 製造되고 있으며 가까운 時日內에 이들 化合物이 韓國에너지研自體 實驗室 및 韓國電力 現地 檢査實驗室에 分配될 豫定에 있다.

現在 實用되고 있는 檢査用 追跡子化合物의 範疇를 벗어 나서 原子炉 格納容器內 環境 氣流中에 生成되고 있는 各種 요오드 化合物들을 調査하고 이들 化合物을 吸着材를 使用하여 空氣 또는 氣流로부터 除去하는 效率를 檢査하는 方法을 確立시키고자 調査된 化合物들을 檢査用 追跡子로 使用하는 方式을 아울러서 研究檢討하

고자 하고 있다.

檢査實驗室裝置는 各 發電所의 施設規準(code)을 基準으로 하여 個別的으로 設計製作될 것이지만 韓國에너지研에서는 ANSI/ASTM D 3803-79'에 依據하여 標準的인 檢査裝置를 設置할 豫定에 있다. 이 裝置의 基本的인 內容을 그림에 概略 圖示하였다.

銀 表面處理한 알미나 吸着材는 湿度가 높은 氣流中에서 요오드를 吸着하는 能率이 가장 높은 것으로 알려져 있으며 이 吸着材에 對한 需要가 가까운 將來에 있을 것이 豫見되고 있다. 따라서 效率的인 요오드 吸着材를 開發하기 爲한 研究가 遂行되어 갈 것이며 韓國에너지研 實驗室에서는 將次 이러한 새로운 吸着材들의 效率를 檢査하는 方法을 確立 및 標準化시켜 나가 고자 하고 있다.



圖面 凡例

- (6) 콤프레사
- (2) 水蒸氣 發生器
- (16) He 개스
- (35) 分析 筒

- (26)(40) 流速計
- (8)(19)(21) 放射性 追跡子 注入裝置
- (28) 檢査試料 筒
- (30)(37) 恆溫槽
- (42) 循環 펌프

- (92) 壓力計
- (T<sub>1</sub>) 熱電對
- (45)(47) 檢査裝置 濾過系
- (×) 벌프, Needle 벌프

### 3. 1次冷却系統의 放射能 On-line Monitoring 技術開發

原子炉의 運轉에서 惹起되는 核燃料破損은 使用者側에서 치루어야 할 값비싼 問題點中의 하나라고 볼 수 있으며 이는 原子炉運轉의 安全性 뿐만 아니라 經濟性 側面에서 보더라도 잘 管理되어야 한다. 이러한 觀點에서 볼 때 一次冷却水中에 含有하고 있는 放射能은 核燃料狀態에 關한 많은 情報을 가지고 있기 때문에 매우 貴重한 情報源이 되어 原子炉 運轉期間中 定期的으로 試料를 採取하여 이를 測定하고 있다.

그러나 現在까지 使用되고 있는 測定方法으로는 手動式 試料採取 및 不連續的인 測定으로 인해 冷却水中에 含有되어 있는 放射性同位元素의 濃度만 分析될 뿐 運轉中 核燃料의 破損狀態를 直接 監視할 수 있는 "Iodine spike" 現象과 같은 決定的인 情報을 얻기 어려우며 또한 手動式 試料採取 및 處理로 測定誤差增加와 作業從事者의 被曝 및 人力의 增加를 招來하게 된다. 따라서 本事業은 上記 問題點들을 解決할 수 있는 核分裂生成物의 放射能濃度 連續測定用 自動化監視裝置를 開發利用하는데 目標을 두고 82년부터 2년 동안에 걸쳐 완성하게 된다. 一次年度엔 裝置의 詳細設計와 이에 必要한 各系統의 基本實驗을 遂行하였으며 2次年度엔 裝置製作 및 現場에서의 特性實驗을 遂行하게 된다.

自動化監視裝置는 試料採取 및 交換裝置와 測定 및 解析裝置의 두가지로 大分할 수 있다. 試料採取 및 交換裝置는 一次冷却水를 Hot Leg에서 VC Tank로 連結하는 閉回路를 構成하므로서 測定後 試料의 處理·處分問題를 解決하도록 하고 또한 試料의 連續的인 測定이 可能하도록 하였다.

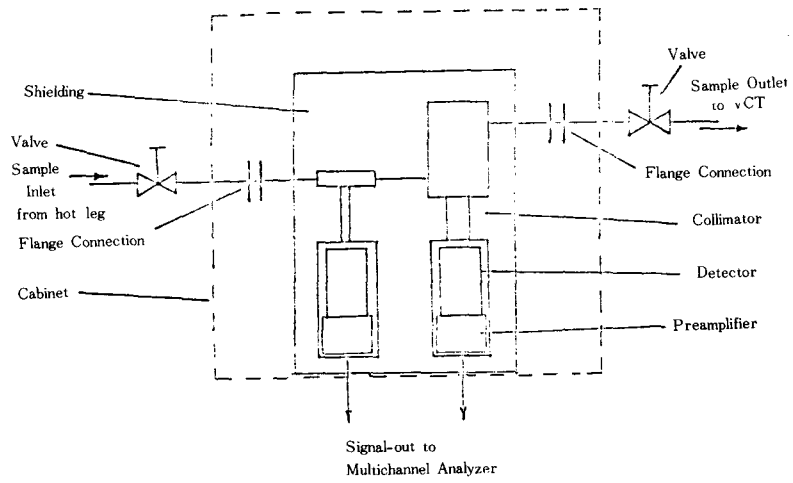
連續순환되는 測定試料의 容量은 10%의 檢出效率를 갖는 Ge(Li)-檢出器를 使用할 때 冷却水中에 含有되어 있는  $I^{131}$ 의 放射能이  $10^{-3} \mu Ci / gr$ 에서  $10 \mu Ci / gr$ 까지 測定할 수 있도록 100cc로 하였다. 試料採取裝置 및 測定器가 設置될 化學試料採取室은 周邊放射能 準位가 매우 높으

며 이를 最大 30mrem/hr로 가정하여 Background를  $10^{-3} \mu Ci$  이하로 하기 위해서 檢出器 및 試料採取裝置를 15cm 두께의 납으로 차폐하였다. 또한 試料採取裝置에서의 放射能측정問題를 解決하기 위해 裝置汚染이 基準值 以下이 될 때 利用할 증류수除染루프를 설치하였으며 아울러 장기간 사용후에 惹起될 長壽命放射性物質의 측정에 對備하여 試料採取管을 交換可能토록 하였다. 에서

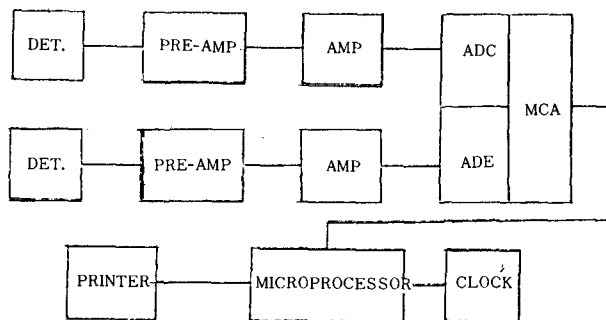
測定 및 解析裝置는 技能面을 考慮하여 두가지 方式으로 設計하였다. 하나는 一次冷却水中에 含有되어 있는 核分裂生成物質 및 腐蝕生成物質의 放射性核種 및 濃度測定을 위한 分析用裝置와 다른 하나는 一次冷却水中에 含有되어 있는 核分裂生成物質中 Iodine 同位元素만을 連續的으로 測定·分析하여 運轉中 核燃料 狀態에 對한 情報을 얻을 수 있게 하는 監視用裝置이다.

分析用裝置는 小型電算機 PDP-11/23에 의해 制御되는 MCA, DISK DRIVE, PRINTER 등으로 構成되어 있는 Ge(Li)- $\gamma$ 線 分光器를 利用하도록 하였으며 一次冷却水로부터 放出되는  $\gamma$ 線에 의해 放射性物質의 核種과 濃度を 分析하게 된다. 이 장치는 試料採取裝置에서 數拾m 떨어진 制御室에서 運營할 수 있도록 遠隔操縱되고 또한 收集된 모든 資料는 自動으로 處理되며 連續運轉할 수 있다. 즉  $\gamma$ 線의 Spectrum을 連續的으로 每一定時間동안 測定·分析하여 核種 및 濃度を 記錄하게 된다. 또한 特定 核分裂物質의 上限強度值를 設定하도록 하여 만일 原子炉運轉中 異常이 發生하여 冷却水中의 放射線強度가 이 上限值를 超過할 때 即時核種分析을 短時間 間격으로 反復 遂行하여 核燃料破損에 關한 보다 仔細한 情報을 얻을 수 있도록 Software를 開發하였다.

또한 監視用으로 設計된 測定 및 解析裝置는 測定原理 및 運用面에서는 分析用 裝置와 비슷하나  $I^{131}$ ,  $I^{133}$ ,  $I^{135}$ 의 強度만을 測定하여 Iodine ratio, Iodine spike 등에 의한 核燃料損傷度를 原子炉運轉時間 및 出力에 따라 監視할 수 있도



SAMPLE HOLDER



BLOCK DIAGRAM OF THE COMPUTER BASED MONITORING SYSTEM

록 하였다.

以上에서 言及된 試料採取 및 交換裝置는 實驗室規模의 基本實驗을 이미 完了하였으며 現場에서 特性實驗用 裝置가 製作中에 있다. 또한 測定 및 解析裝置는 分析用 및 監視用 모두에 對해 系統構成에 必要한 各種 Interface를 設計·製作하였으며 連續運轉에 必要한 모든 software를 開發 完了하였다.

現場에서 特性調査用으로 製作될 測定 및 解析裝置는 分析用 및 監視用 모두 運用目的에 따라 特徵이 있겠으나 長期間 連續인 核燃料狀態과악을 위해서는 監視用이 有利할 뿐만 아니라 利用面에서도 더욱 간단하며 製作費用면에서도 分析用의 約 1/3 程度로 生産可能하므로 現在 監視用裝置를 製作中에 있으며 83年 5月頃에

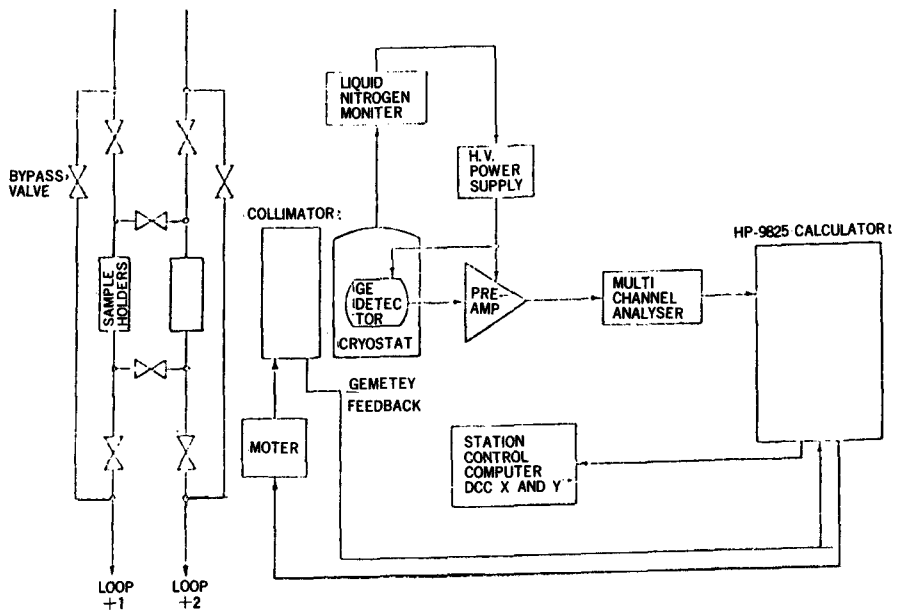
는 現場에서의 特性實驗이 可能할 것으로 判斷된다.

#### 4. CANDU-PHW 原子炉의 系統化學에 關한 研究

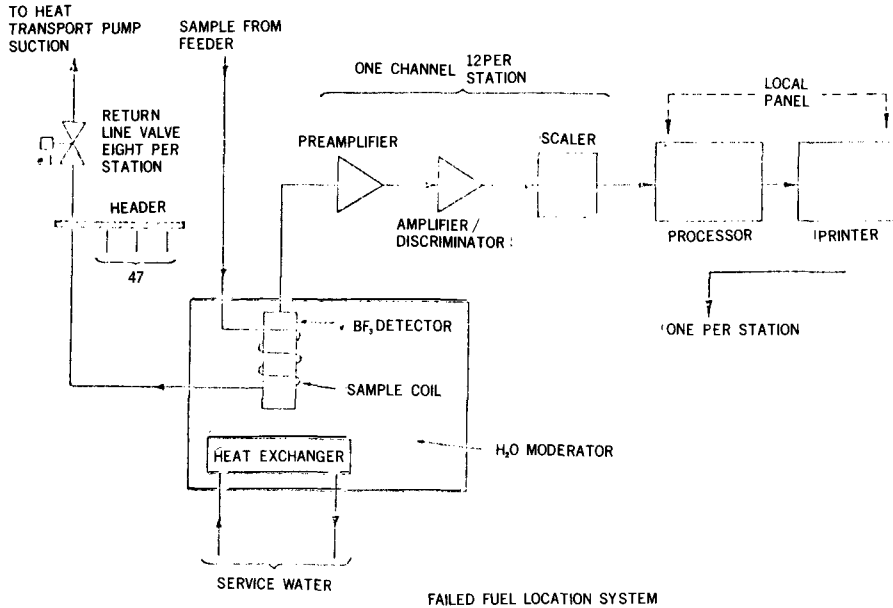
CANDU-PHW原子炉의 系統化學분야에 있어서 한국에너지연구소의 研究활동은 다음과 같다.

첫째, 月城原子力發電所의 一次 冷却系統의 核分裂生成物 및 부식生成物 등의 核種과 농도를 分析하여 原子炉의 安全運轉에 必要한 정보를 얻는다.

둘째, 손상핵연료 검출 및 위치감시계통의 신뢰도를 확인하기 위해서, 핵분열生成물 방출방식에 관한 연구, 가스상태의 분열生成물 감시계통 및 지발중성자 감시계통의 자료를 분석한다.



GASEOUS FISSION PRODUCTS MONITORING SYSTEM

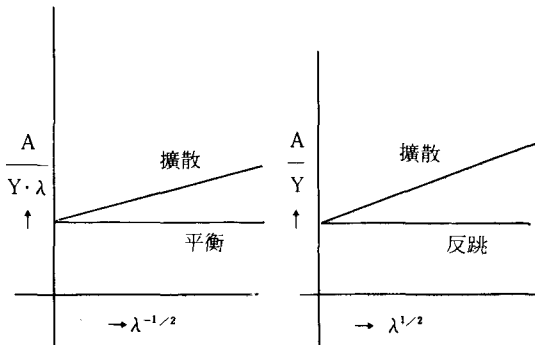


5. 核燃料棒으로부터의 核分裂生成物の 放出類型 究明

F. J. BRUTSCHY는 AECL-1265에서 核燃料棒으로부터 冷却水로 放出되는 核分裂生成物の 放出樣式을 反跳, 擴散 및 平衡으로 分類하고 있다.

反跳 :  $A_R = K \cdot Y \cdot \lambda$        $A_R / Y \cdot \lambda = K$   
 擴散 :  $A_D = K \cdot Y \cdot \lambda^{1/2}$        $A_D / Y \cdot \lambda = K \cdot \lambda^{-1/2}$   
 平衡 :  $A_E = K \cdot Y$        $A_E / Y = K$

但 A=放射能濃度, Y=生成核種의 收率,  
 $\lambda$ =生成核種의 崩壞定數



核分裂生成物の 放出類型

反跳인 경우에 물側의 放射能濃度는 收率 및 崩壞定數에 비례하여 증가하고 原子炉의 出力에 의존한다. 이 경우는 제조시의 燃料表面에 附着된 尿酸에 의하는 것으로 初期運轉時에 많이 볼 수 있다. 運轉이 계속되어 冷却水의 放射能濃度가 增加해 가는 段階에서는 擴散 및 平衡의 條件이 成立된다. 擴散은 被覆管에 相當한 구멍이 있어서 燃料棒과의 流通이 相當히 自由로운 狀態로서 물側의 放射能濃度는  $Y \cdot \lambda^{1/2}$ 에 비례한다.

이 경우도 原子炉의 出力 즉 燃料棒의 表面溫度에 의존한다. 被覆하지 않은 燃料棒의 경우는 이 分類에 속한다. 平衡의 경우는 바늘구멍 정도의 아주 적은 구멍이 被覆管에 뚫렸을 경우로 이때에는 正常運轉 條件에서는 核分裂生成氣體는 燃料棒中에 保有되어 放射能의 生成速度가 減衰速度와 같아 진다. 물側의 放射能濃度는 收率에 비례하고 核種의 半減期 및 炉出力과의 관계가 없어진다. 20밀 이하의 구멍을 뚫은 人工破損燃料의 實驗은 이 放出樣式에 따른다.

原子炉冷却水에 대하여 適用시킨 結果는 다음 그림에서 보여주는 바와 같이 放出樣式이 擴散類型임을 確認할 수 있었다.

