

<해설>

核燃料에 관한 考察 (계속)

— 成形加工編 —

李 昌 健 · 李 宜 謙

原子研究所 · 韓國電力 原子力部  
(1970. 10. 26 접수)

IV. 核燃料 成形加工

核燃料 週期中의 燃料加工

核燃料 週期中의 燃料加工 部門은 重要한 몫을 차지할 뿐 만이 아니라 他 要素와의 關聯度도 높기 때문에 本週期要素가 確定되어야만 他 要素들도 明確한 計劃이 樹立될 수 있다는 相關性을 內包하고 있다.

따라서 核燃料 加工은 爐心 燃料度 管理와 密接한 關聯이 있으므로 燃料度 保證을 包含시키는 것이 現在까지의 實情이었다.

獨自的인 核燃料 週期 確立을 위해서는 各 週期要素 즉 우라늄 原鑛確保, 爐心 管理技術, 再處理, Plutonium 需給, Pu. 燃料加工, Pu. 爐心設計 등을 自力으로 解決할 段階에 이르러야 한다.

核燃料 週期 全般에 걸쳐 以上과 같은 獨自的인 位置에 설 수 있으려면 國家마다 核資源 및 諸般 技術 發展程度에 따라 複雜하고 어려운 點이 많다.

小規模 加工工場을 國內에 建設한다 하더라도 그것의 企業으로서의 成功與否는 原子力 發電設備에 대한 에너지 政策과 核燃料 週期の 獨自的인 方向이 確立되었느냐에 따라 크게 影響을 받을 것으로 본다.

國際的으로는 輕水爐型 原子力 發電方法이 1980年代에 이르기까지는 原子力 發電 分野에 있어서 主軸을 이루리라는 것과, 國內 最初의 原子力 發電所가 輕水爐型이라는 點을 勘案하여 本欄에서는 主로 PWR와 BWR에 관하여 言及키로 한다.

IV-1. PWR(Pressurized Water Reactor) 燃料

PWR 燃料 製造技術은 美國에서 開發되었으므로 美國의 技術을 導入해야 하는데 WEICO社(Westinghouse Electric International Corporation)나 CE社(Combustion Engineering)와의 技術提携가 先行됨과 同時에 國內 實情으로 보아 政府投資로 Pilot Plant가 建設되어야 할 것으로 본다.

同 工場이 建設되는 경우 이 施設에 관한 安全審査를 施行하여 濃縮우라늄을 取扱하는 作業場의 安全 및 周圍民家에 대한 安全등을 廣範하게 考慮해야 하며 最新 製造技術이 適用되어야 할 것이다.

一般的으로 燃料製造 工場敷地에는 그 中央에 工場 本棟이 設置되고 그 안에는 Pellet 加工設備, 燃料棒 組立設備, 檢査設備 및 燃料集合體 加工設備등이 있게 된다(日本의 例를 보면 總 敷地面積 約 6萬 m<sup>2</sup>, 工場本棟 40m×170m인).

普通 工場 建設期間은 約 2년이던 充分하므로 原子力 發電所 建設期間을 5年 程度로 보고 計劃만 잘 세우면 燃料 需要增大에 대해서는 充分히 對處할 수 있을 것으로 본다.

普通 工場 建設期間은 約 2년이던 充分하므로 原子力 發電所 建設期間을 5年 程度로 보고 計劃만 잘 세우면 燃料 需要增大에 대해서는 充分히 對處할 수 있을 것으로 본다.

核燃料 加工工場의 建設에 따라 그 근방에 變換工場(UO<sub>2</sub> 變換)의 建設計劃도 並行하는 것이 좋을 것이다. 燃料 加工過程에서 取扱하는 우라늄은 高價이므로 作業 中の 金利를 생각하여 可能한 限 製作期間을 短縮시켜야 하며 이런 點에서 變換과 加工工程間에 긴밀한 連絡을 要한다. 즉 Pellet 製造工程에서 要求하는 UO<sub>2</sub> 粉末이 週期에 供給되어야 하나 實際 工程 計劃上 實現되지 못하는 경우가 많다. 製作上의 또 하나의 問題는 Zircaloy tube 供給이다. 이 被覆管은 品質自體에 대해서도 高度의 技術을 要할 뿐더러 그 價格이 燃料價格에 直接的으로 影響을 미치므로 이를 專擔하는 工場에서 開發 供給되어야 하고 國產製品의 採用與否에 따라 生産計劃과도 重大한 關聯이 있을 것으로 본다. 國內에는 Zircon sand를 包含하는 重砂가 많기 때문에 이 分野의 技術開發은 극히 바람직한 일이다.

被覆管 製造工場의 規模로서는 적어도 年間 30萬m에

시 50萬 m로 推定되는데 이는 同材料의 需要 및 生産 計劃에 直結되는 問題點이라 하겠다.

또 하나의 問題를 첨가한다면  $UO_2$  Scrap 回收 精製 이다. 同 工場의 設備은 커야하므로 처음 몇年間은 Pilot plant를 建設하여 充分한 技術的 및 經濟的 檢討를 해야 한다.

以上과 같이 核燃料 製造에 關聯되는 工場計劃을 갖고 PWR 燃料의 國産化 計劃을 檢討하여 보았다. 이것은 將次 國內 原子力 發電 需要成長과 核燃料 週期の 國産化에 關한 政府施策에 依存하여야 될 것이나, 이 일은 처음부터 完全國産化를 期할 것이 아니라 自動車 國産化의 例에서 처럼 처음엔 外製資材를 導入하여 組立하는 作業부터 시작하여 段階的으로 自力으로 生産하는 方式을 취해야 될 것으로 본다.

**IV-1-1. 燃料 加工技術 및 品質保證**

開發途上 國家에서의 燃料 製造技術 開發 傾向을 보면 先進國의 技術을 옮겨오는 것이 一般的인 趨勢이다.  $UO_2$  粉末로써  $UO_2$  Pellet를 製造하여 이것을 Zircaloy 被覆管에 삽입 및 端栓 熔接하여 하나의 燃料棒을 製作하는데 이런 燃料棒을 正方配列(14×14 配列)로 支持構造臺에 固定시키고 여기에 Nozzle을 부치면 核燃料 集合體가 되는 것이다.

그러나 燃料 製造技術은 다음과 같은 몇 가지 特殊性을 包含한다. 예를 들면 Pellet는 Ceramic 이어서 그 치수의 精密度는 他 部分品에 비해 더 嚴格하며 燃料 製造工程中的  $UO_2$  粉末의 品質管理, 成形加工 管理 및 研削工程 管理는 重要하다.

核燃料의 性能을 決定하는 最小單位가 核燃料棒이므로 燃料棒 製造 管理가 가장 重要하며 또한  $UO_2$  Pellet를 넣을 被覆管(Zircaloy-4)의 健全性 및 兩端 熔接部의 健全性은 充分해야 한다.

이러한 健全性 確保를 위해 被覆管 檢査方法으로 超音波(Ultrasonic Wave) 技術이 發達되어야 한다. 核燃料棒 熔接部의 健全性은 普通 X-線 透過試驗 및 Helium leak test로 檢査하고 있는데 實質的으로 이 두가지 檢査로서 充分하다. 그러나 이 檢査는 自動 熔接法 確立과 아울러 確實히 遂行 되어야 한다.

다음에 核燃料 集合體 組立과 檢査는 4m 길이에 mm order의 치수 精密度가 要求되는 特殊性이 있어 이 精密度는 時計工業과 比較될 程度이다. 이런 點에서 組立用 工具와 檢査用 工具는 特殊한 것이어야 한다.

이렇게 組立 製作된 核燃料은 輸送途中에도 考慮해야 할 問題點이 있다. 즉 燃料 輸送時의 事故對策, 事故時

에도 周邊에 放射性 物質이 汚染되지 않는 輸送容器를 使用해야 한다. 이에 對備해서 輸送容器의 安全基準이 制定되고 規程을 徹底히 嚴守하도록 해야 한다.

主要 仕様 :

1. Fuel Pellet
  - a) 形態 圓筒形
  - b) 化學的 組成  $UO_2$
  - c) 지름, mm 9.29
  - d) 길이, mm 15.24
2. 燃料棒
  - a) 被覆物質 Zircaloy-4
  - b) 外徑, mm 10.72
  - c) 被覆두께, mm 0.617
  - d) diametral Gap, mm 0.19
3. 燃料 集合體
  - a) 가로(또는 세로), cm 19.72
  - b) 燃料 길이, m 3.65
  - c) 全體길이, m ~4.06
  - d) 燃料棒數 179
  - e) 總裝填 集合體數 121
  - f) grid 數 7
  - g) pitch, cm 19.82
  - h) 燃料棒 配列 14×14 正방配列
  - i) 燃料棒 pitch, cm 1.412
4. 燃焼 特性
  - a) 初期爐心, 平均 23,900 MWD/MTU
  - b) 平衡爐心
5. 濃縮度(豫備設計值) 31,500 # 일때
  - a) 初期爐心, 平均 2.8 w/o  $U_{235}$
  - b) 平衡爐心 3.4 #

**IV-2. BWR(Boiling Water Reactor) 燃料**

**IV-2-1. 核燃料의 設計**

構成 :

發電用 BWR 燃料 集合體는 燃料 Channel과 燃料 Bundle로 構成된다.

燃料 Channel은 Zircaloy 製의 角筒으로서 燃料 Bundle의 위에서 부터 붙이도록 되어 있고 또 땀 수 있도록 만들어진 構造다.

燃料 Channel은 原子爐內에서 冷却水의 流路를 個別的으로 形成시키고 燃料 取扱時에는 燃料 Bundle을 保護하는 役割을 한다. 原子爐內에서는 過度의 腐蝕 및 水素 吸着을 防止하고 長期間의 構造의 安全性을 確保하며 再使用이 可能토록 한다.

燃料 Bundle은 Stainless 鋼의 精密 鑄造와 機械加工

에 따라 製作된 上下 支持板(Tie Plate)에 燃料棒 49個가 7×7 正分配列로 된 것이다. 核燃料棒은 二酸化우라늄의 燒結 研削 Pellet 를 Zircaloy-2 被覆管에 内部 Spring 과 같이 裝填하고 Helium gas 를 채워 上下端을 熔接 密封한 構造이다.

燃料 Pellet 는 酸素와 우라늄의 原子比가 約 2.0, 理論 密度比가 94% 程度의 燒結 研削品이고 Pellet 直徑은 被覆管 內壁과의 設計上 餘有를 考慮하여 決定한다. 被覆管은 ASTM-B 353 相當의 Zircaloy-2로서 應力 除去處理를 하고 Autograph 處理에 의해 酸化物的 保護被膜이 生成되어 있다. 核燃料 Bundle 內의 出力分布 平坦化를 위해 各 燃料 Bundle 마다 3~4種의 서로 다른 濃縮度를 갖는 燃料棒을 配列하게 된다.

主要仕様 :

Pellet	燒結 UO <sub>2</sub> 지름 12.4 m/m 密度, 理論密度的 約 94%
被覆管	Zircaloy-2 內徑, 12.7 m/m 두께, 0.8 m/m
燃料棒	外徑, 14.3 m/m 有効길이, 3,658 m/m Premium 길이, 406 m/m
Bundle	全體길이, 4 467 m/m 棒數 49 Pitch(燃料棒) 18.8 m/m Spacer 個數 7 바깥 치수 134 m/m U 重量 195 kg
Channel	Zircaloy-4 바깥 치수 138 m/m 두께 2 m/m 길이 4,240 m/m
Fuel Assembly 의 무게, 熱 特性(定格)	310 kg 爐心平均出力密度 51 kw/l Linear Power Density(平均), 23 kw/m " " " (最高) 61 kw/m 燃料溫度(平均), 600°C " " (最高), 2,440°C 最少限界熱流束比, ≥1.9 (MCHFR)
出力 Peaking 係數	燃料集合體 相對出力 1.4

燃料集合體 局部出力	1.24
" 軸方向 "	1.5

燃料 特性

初期爐心, 平均	21,000 MWD/MTU
----------	----------------

平衡爐心	27,500 "
------	----------

濃縮度

初期爐心, 平均	2.2 w/o U <sub>235</sub>
----------	--------------------------

平衡爐心	2.6 "
------	-------

#### IV-2-2. 設計 基準

BWR 燃料 集合體는 正常 運轉條件에서 核分裂 生成物이 冷却系統에 流出 안 되도록 設計한다. 즉 原子爐 起動時, 定格出力 運轉時 및 燃料 取扱時에 核燃料에 損傷이 생기지 않도록 爐心設計, 核計數裝置, Process 計數裝置 및 安全防護系를 包含해서 設計한다.

그럼에도 不拘하고 核燃料 損傷이 일어날 可能性이 있으며 그 直接的인 Mechanism 은 다음과 같은 두가지를 들 수 있다.

##### a) 被覆管의 過熱損傷

이것은 冷却系에 異常이 있는 경우로서 그 하나는 MCHFR 가 最惡 正常 運轉時에 1.0 以下가 되도록 設計된 경우다. 또 하나는 燃料 被覆管의 溫度現狀인데 腐蝕 增大나 機械的 強度上 적은 餘有로 設計된 것이다

##### b) 被覆管의 過歪損傷

이것은 Pellet 와 被覆管의 相互作用에 의해 被覆管材料에 過大한 Distortion이 생겨서 損傷되는 現狀이다.

Pellet 膨脹에는 熱的 要因과 放射線의 照射의 要因이 있는데 過度의 Distortion 損傷을 避하려면 燃料度과 熱流束分布의 適切한 設計는 물론이고 Pellet 被覆管의 Gap 設計도 考慮해야 한다.

#### IV-2-3. 燃料製造 工程

BWR 燃料의 成形加工 工程을 보면 低濃縮 UF<sub>6</sub>를 UO<sub>2</sub>로 變換한 다음, UO<sub>2</sub> 粉末을 水素(還元容器) 속에서 高溫으로 加熱, 高密度 燒結體를 만들어 所定の 尺寸에 맞는 Pellet 를 만든다.

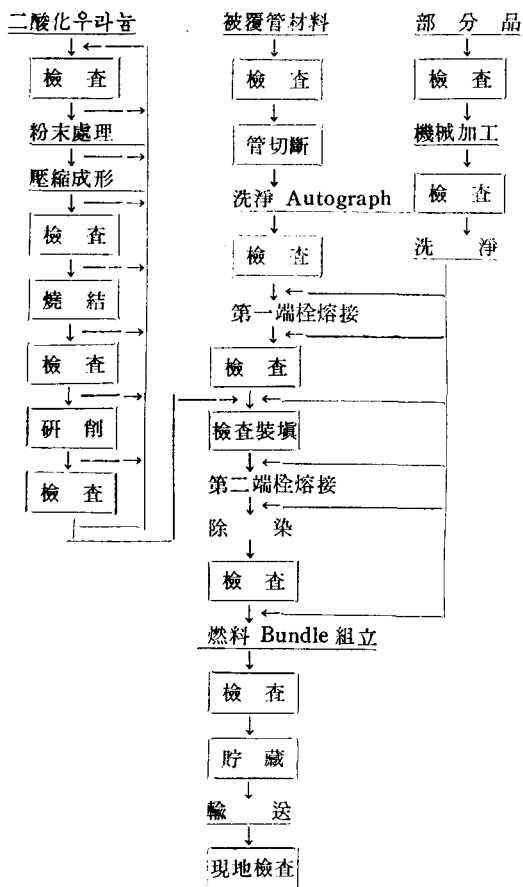
製作過程에서 發生되는 Scrap 은 乾式法이나 濕式法에 의해 다시 UO<sub>2</sub> 粉末로 만들어 同 工程에 供給한다.

被覆工程에서는 Zircaloy 被覆管을 所定の 길이로 잘라 洗淨 및 Autograph 處理를 하여 管表面에 保護被膜을 생성시켜 한 쪽 끝을 熔接하고 Pellet 및 Spring 을 裝填한다. 그 다음에 Helium 을 넣은후 다른 끝을 熔接하면 燃料棒이 된다. 組立工程에는 燃料設計에 따라 濃縮度가 다른 3~4種의 燃料棒을 配置하고 上下支持板(Tie plate)에 固定시켜 소정의 間隔을 갖는 燃料

Bundle 이 最終的으로 組立된다(그림 9 參照). 最終 檢査에 合格된 燃料 Bundle 은 얼마동안 貯藏庫에 保管되 었다가 輸送容器에 담겨 發電所에 輸送된다.

燃料 輸送容器는 金屬材의 안쪽 容器와 木材의 바깥 容器로 되어 있는데 普通 燃料 Bundle 두 個를 넣는다. 이 容器는 輸送中의 振動, 衝突, 轉倒 및 落下事故등의 機械的 衝擊에 견디고 浸水事故에서도 核的 臨界를 避하고 火災의 加熱事故에도 견딜 수 있도록 充分한 安全 設計가 되어 있다.

그림 9. 核燃料 主要加工工程圖



核燃料 製造工程에는 UO<sub>2</sub> 粉末, Zircaloy Cladding, 端栓加工用 主要 原材料 外에 Spacer用 Zircaloy 板 Spring, 燃料 Bundle 用, Inconel Spring, Stainless 鋼 Tie plate 등의 部分品 材料가 必要하다. 이러한 部分品 이 設計仕樣에 合格되려면 缺陷이 없어야 하며 高度의 加工技術과 嚴格한 品質管理를 要한다. Zircaloy Cladding 燃料棒은 爐心內 冷却水 流速에 因한 振動에 도 견디어야 하므로 充分한 信賴性이 있는 堅실한 材料를 使用해야 한다. UO<sub>2</sub> 燃料는 不純物 및 水分등이 設計值 以下로 되고 소정의 寸수 精密度, 密度, O/U 比

도 考慮하여야 한다. 核燃料 製作工場을 見學한 本人의 觀察에 의하면 아직도 機械化되어 있지 않은 것이 많으며 檢査過程에 상당한 人員과 裝備를 配置하고 있었다. 따라서 各 工程에 多年間 經驗이 있는 熟練工과 監督者가 있어야 할 것이라고 느꼈다.

IV-2-4. 燃料의 品質管理

燃料 加工工場內 品質管理는 材料引受時 부터 製品引渡時 까지의 모든 工程中의 檢査, 材料 供給業者의 能力 機器 檢定, 作業者의 訓練 및 資格檢定, 檢査 要領書의 作成 및 檢査 結果의 評價등을 包含한다. 上記 諸業務 즉 化學分析, 金屬試驗, 計量管理 및 諸般 檢査를 適切하게 遂行하려면 最新 機器를 設置해야 한다.

表 14에 提示된 主要 檢査項目은 材料 構成要素(核燃料 包含)의 濃縮度, 化學成分, 不純物, 缺陷 및 物理的 性質, 熔接部의 健全性, 構成要素 및 製品의 寸수에 관한 說明을 나타내고 있다.

濃縮度 管理에서는 濃縮度 表識點檢 및 濃縮度別 識別을 徹底히 해야한다. 材料 및 構成要素의 破壞檢査 즉 化學成分, 不純物 分析 및 機械的 性質에 관한 檢査는 Sampling Base 로 하며 精密度가 높은 機器를 使用 해야 한다.

發電所 現場에서도 輸送中의 燃料 Bundle 의 事故 有

표 14. 主要 檢査項目

對象品目	檢査 工程	檢査 項目
UO <sub>2</sub> 粉末	受入 檢査	濃縮度, 化學成分, 不純物
UO <sub>2</sub> Pellet	壓縮成形후 檢査	密度
	燒結후 檢査	濃縮度, 密度, 化學成分, 不純物
	研削후 檢査	外觀, 寸수, 蒸發性 不純物
被覆管材料	受入 檢査	化學成分, 不純物, 缺陷, 寸수, 顯微鏡 組織, 機械的 性質
	Autograph후 檢査	外觀
	第一端栓후 檢査	外觀, 寸수, X-線
部分品材料	受入 檢査	化學成分, 機械的 性質, 缺陷
	機械加工후 檢査	寸수
燃料 棒	Pellet裝填中의 檢査	Pellet重量, Premium 길이
	第二端栓熔接, 除染 후 檢査	寸수, 外觀, 表面汚染
燃料 Bundle	Bundle組立후 檢査 (工場最終檢査)	Helium Leakage Detection, 外觀, 寸수
	現地 檢査	輸送中의 健全性, 外觀, 寸수

無, 치수 및 外觀을 檢査한 후 合格品에 限해서 燃料 Channel에 넣어 原子爐에 裝填하게 된다.

**IV-2-5. 燃料의 計量 및 安全管理**

BWR 燃料은 濃縮도가 2~3%인 低濃縮 우라늄이지만 그 取扱에는 國際間的 安全規制를 받는다. 그리고 成形加工 工程에 있어서는 原料 引受時부터 製品의 引渡時까지에 걸치는 모든 Process 要素 要素에 適切한 計量管理를 하며 納入品の 質과 量을 正確하게 把握한다.

燃料 加工狀況에 따라서 形狀 및 質量管理, 反應度 管理등의 安全技術을 구사하여 最惡의 外部條件에도 核的 臨界가 일어나지 않도록 安全 設計를 해야하며 各種 廢棄物에 대한 處理 設備도 갖추고 工場 出入 人員 및 모든 材料에 대한 常時 monitoring을 하여야 한다.

**IV-2-6. 燃料의 運轉管理**

Process 計算機에 의한 運轉管理 :

原子爐 運轉中 燃料의 最適燃燒 安全性을 把握하기 위하여 最高 熱出力, 最高 熱流束, 最小限界 熱流束比 및 水質基準등의 運轉條件을 設定하고 Process 計算機로 監視하게 된다. 同 計算機는 發電所 檢出器 및 爐心內 中性子 檢出器에서 나오는 資料를 正確, 신속하게 處理하여 發電所 特性, 爐心部의 核特性 및 熱流動 特性을 把握, 發電所 運轉을 補佐한다. 燃料을 包含한 爐

心特性計算은 原子爐 運轉上 重要한 部分을 차지하고 있으며 이 部分의 資料를 提供하는 中性子 檢出器는 그림 10과 같으며 이로써 爐心全體의 出力分布를 알 수 있다.

出力分布 制禦 :

爐運轉中の 燃料 燃燒에 따른 出力分布 制禦는 出力 分布를 平坦하게 하여 燃料棒의 最高 熱流束 및 最少 限界 熱流束比가 燃料 壽命中에 熱的 制限을 超過하지 않고 燃燒도를 될 수 있는대로 增加시키기 위하여 制禦棒 Pattern을 면밀히 계획한다. 出力分布의 平準化를 위한 制禦棒 Pattern에는 두 가지 制禦棒 Sequence를 設計하고 1~2個月 間隔으로 交代로 使用한다. BWR 運轉 實績에 의하면 出力分布 Peaking 因子는 設計上의 許容 範圍內에 있는 것으로 確認되었다.

燃料 交替計劃 :

燃料 交替計劃은 爐心の 反應度 特性, 出力分布, 燃料 特性, 運轉狀況 및 發電所 經濟性을 考慮하여 樹立해야 한다.

燃料 交替方法으로는 分散方式(Scatter)을 適用하는 네 制禦棒에 隣接된 4個의 燃料 集合體를 서로 다른 時期에 裝填하는 基本 分散方式을 改良하여 實際 燃燒도에 따라 燃料集合體의 一部를 爐心內에 適切히 移動시키는 方式을 適用한다. 이런 方式은

가) 爐心の 核的 特性을 爐心 全體에 걸쳐 거의 均一

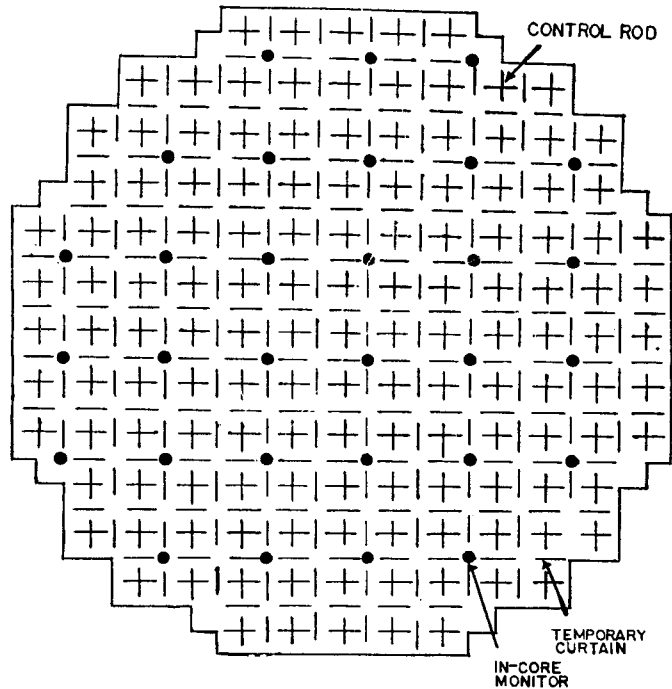


그림 10. BWR 로심 배치에

표 15. BWR 燃料 交替計劃 例

燃料交替時의 Cycle	Cycle 期間(年)	交替時燃料 集合體數	平均燃料度 (MWD/T)
1	2	(1:0)	(15,000)
2	1	190	20,000
3	1	90	23,000
4	1	90	25,000
5	1	90	28,000
6	1	90	28,000
7	1	90	28,000

註: ( )는 交替후 一時 貯藏, 再裝填燃料임.

하게 한다.

나) 出力分布의 平準化를 期한다.

다) 制禦棒 Pattern 을 均一하게 分散시켜 制禦棒 1個當 反應度가 적어진다.

라) 燃料 交替時 移動하는 燃料 集合體數가 적다.

마) 實際 運轉이 計劃에서 벗어 날 경우에도 容易하게 燃料 交替計劃의 修正이 可能하다.

以上과 같이 爐心에 裝填된 燃料는 發電所 計測裝置 및 中性子 計測裝置에다 Process 計算機의 도움을 받아 適切한 出力分布 制禦 및 燃料 交替計劃에 따라 安全하고 經濟的인 運轉管理가 이룩되는 것이다.

IV-2-7. 核燃料 保證

核燃料의 燃燒度 設計 및 管理는 高度의 專門知識과 經驗을 要할 뿐더러 獨自의으로 開發한 Computer Code 를 所有해야 하므로 지금 까지는 核燃料 製造者가 擔當해온 實情이었다.

그러나 燃燒度 保證을 燃料의 成形加工費에 包含시키는 경우, 燃燒度 達成에 관한 Risk 를 加工業者가 負擔하게 되므로 加工費가 높아지는 것이다.

核燃料 加工契約에 保證條項을 어느 程度 規定하느냐 하는 것은 쉬운 일이 아니다. 왜냐하면 保證의 幅이 넓으면 넓을 수록 燃料 加工費가 增加되고 供給者가 爐運轉에 깊이 干涉하게 되며 交替燃料를 他 供給者로 부터 購入하기 어려운 點이 많기 때문이다. 過去에는 燃料度 設計 및 管理一切를 燃料 加工者가 專擔해온 實情이나 原子力 事業者들이 漸次 經驗을 쌓아 감에 따라 燃料 保證의 幅을 줄이는 傾向이고 原子力 發電施設을 많이 所有하게 될 大電力會社는 燃料度 設計 및 그 責任을 直接 擔當할 姿勢를 取하고 있다.

燃料 保證에는 燃料 加工者에게 燃料 週期費를 保證시키는 方法, 燃料度 設計 및 管理一切를 맡기는 Full Fabrication Package, 燃料度 保證에 局限시키는 方法과 단지 製作 責任만 묻는 Mechanical Integrity 등이 있다.

가. Cycle Cost Warranty

核燃料 Maker 가 核燃料 週期 全般을 擔當하는 경우로서 電力會社는 完成燃料를 引受, 運轉하는 方式이다. 일단 使用이 끝난 既使用 燃料는 燃料 Macker 에게 買却 處分하게 되며 契約에 明示된 週期費 單價(Mills/Kwh 單位)의 滿足 與否를 따지면 되는 것이다. 燃料 Maker 의 所管에 屬하지 않는 發電所 負荷率과 金利에 關係서는 契約條項에 明示된 것으로 規格化시키면 될 것이다.

過去 TVA 社가 Brown Ferri 發電所에 이 方式을 12 年間 採擇키로 했으나 最近에는 이 方式을 適用하지 않는다.

Fuel Cycle 保證에 對해서는 英國 原子力公社가 Service 提供을 잘 하는 것으로 알려 지고 있다. Fuel cycle 全般에 걸친 責任을 製作業者에게 一任하면, 核燃料 調達 및 管理面에 比較的 經驗이 不足한 小規模 電力會社側 으로서는 便利한 方式이 되겠지만 대신 供給者에게 負課될 Risk 負擔이 크므로 燃料費가 높아져서 非經濟的이 되어 버림다.

나. Full Fabricatilon Package

燃料 Maker 가 燃燒度 設計, 燃料製作, 引渡, 燃燒度 管理 Service 및 燃燒度 保證등 一切를 擔當하는 方式을 Full Fabrication Package 라고 말하는데 여기서는 最少限度 다음과 같은 일을 包含해야 한다.

a, NSSS(原子爐 蒸氣 供給系) 條件에 맞는 Nuclear Thermal Hydraulic 및 Mechanical Design.

b, 濃縮工場에서 부터 燃料 加工工場까지의 輸送(輸送 容器 및 保險 包含).

c, 濃縮 UF<sub>6</sub>를 UO<sub>2</sub>에로의 變換.

d, pellet, rod 및 Assemblies 製作과 이에 必要한 檢査.

e, 輸送容器 및 保險料를 包含해서 發電所 現場까지의 輸送.

f, Nuclear Calculation, Technical Data 提供 및 事故 分析.

g, 爐心 管理

① 裝填量, 同位元素 造成(loading discharge 燃料)

② 燃燒度 設計, 實燃燒度 計算方法

③ 出力分布, 燃燒度比, Shutdown Margin.

④ 燃料裝填 및 交替計劃

⑤ 運轉條件

⑥ Computer Programmer 訓練

⑦ 實運轉 狀態를 考慮한 Management Scheme修正

h, 爐心 裝填

i, 燃燒度 保證

다. 燃焼度 保證(Burnup Warranty)

前述한 內容 全部를 燃料 加工業者에게 擔當시킬 수도 있으나 契約 供給 條件에 그 一部를 電力業體가 分擔하는 方式도 생각할 수 있다. 特히 交替燃料 供給者에겐 最少限度 “나”項中 c, d, f, g 및 i만을 包含되어야 한다. 이것은 最近 Fuel Management Code를 所有하고 있지 않는 小規模 電力會社에 많이 適用되는 方式이라 할 수 있다.

라. Mechanical Integrity

核燃料 供給市場이 世界的으로 넓어짐에 따라 TVA社(Tennessee Valley Authority)나 Commonwealth Edison社와 같은 大規模 電力會社는 燃料 Maker에게 一任해 오던 核燃料의 Fuel Fabrication Package中 Software를 獨自的으로 開發 運營키 위하여 United Nuclear Corp와 같은 有能한 用役會社와 技術 提携를 맺고 燃料管理 Code開發에 着手하였다. 將次 原子力 事業을 重點的으로 取扱하게 될 電力會社들에겐 커다란 關心事가 아닐 수 없다. 隣接 日本의 動力爐・核燃料

開發團에서도 이에 對하여 各의 解決段階에 이르고 있다.

核燃料 週期要素 全部를 外國의 資源 및 技術에 依存해야 하는 우리나라 原子力 事業體도 큰 資金을 隨伴치 않는 이 分野의 技術水準만은 적어도 國內 技術陣으로 解決해야 마땅할 것으로 본다. 原子力 事業體가 燃焼度 設計 및 管理 問題를 自力으로 解決할만한 水準에 도달하면 核燃料 供給은 材質과 加工技術에 관한 責任만 問題가 되므로 燃料加工業者의 應札 範圍가 넓어져 보다 저렴한 核燃料을 購入할 수 있다는 經濟的인 利點이 생기기 된다.

結論的으로 大規模 原子力 事業者는 核燃料 燃焼度 管理技術을 獨自的으로 開發해야 하고 小規模 事業體는 燃料加工 供給者로부터 燃焼度 保證을 包含한 核燃料 保證을 받는 것이 바람직한 일이다. 小規模 事業體라도 將次 原子力發電을 重點的으로 取扱할 計劃이 있고 그 需要 增加를 考慮할때 燃料管理 技術開發이란 필수적인 課題가 되리라 본다(계속).