

# PWR의

# 核設計方法

開 發 部

## 目 次

1. 概 要
  - 1.1 核設計手法의 概要
  - 1.2 計算 code의 概要
2. 少數群組定數의 作成
  - 2.1 燃料 pellet實効(Doppler)溫度
  - 2.2 NULIF計算体系
3. 出力分布, 出力 peaking 係數
  - 3.1 出力分布
  - 3.2 出力 peaking 係數
4. 反應度係數
  - 4.1 Doppler 係數
  - 4.2 減速材溫度 係數
  - 4.3 減束材 壓力係數
  - 4.4 減速材 void 係數
  - 4.5 出力係數
5. 制御棒 反應度 効果
  - 5.1 制御棒 反應度效果
  - 5.2 制御棒 所要反應度 制御能力
  - 5.3 停止餘裕
6. 參考文獻

- I) 出力分布 및 燃燒度分布(徑方向)
- II) 出力分布 및 燃燒度分布(軸方向)
- III) 爐心燃燒度
- IV) 制御棒效果
- V) 反應度係數

이들의 5項目的 計算에 있어서 使用하는 主要한 計算 code는 NULIF code(文獻 1), SHARP-A code(文獻 2) 및 SHARP-XY code(文獻 3)이다.

核設計 計算과 이들 code와의 關係를 第 1.1 圖에 표시한다. SHARP-A 및 SHARP-XY code는 各各 1次元 및 2次元 燃燒計算 code이며, 어느것이든 少數組擴散 方程式을 풀어서 中性子束分布 및 出力分布를 계산한다. 이들의 code의 人力으로서 少數組定數가 必要한 것인데 이것은 NULIF code에 의해서 算出된다.

이들의 計算 code는 여러 實驗에 의해 그 妥當性이 確認된 것이다.(文獻 4)

## 1.2 計算 code의 概要

### (一) NULIF code(文獻 1)

少數群組定數의 計算에는 NULIF code가 使用된다. NULIF code의 計算內容은 高速中性子 spectrum計算, 熱中性子 spectrum計算, 燃燒計算의 3개로 大別할 수가 있다.

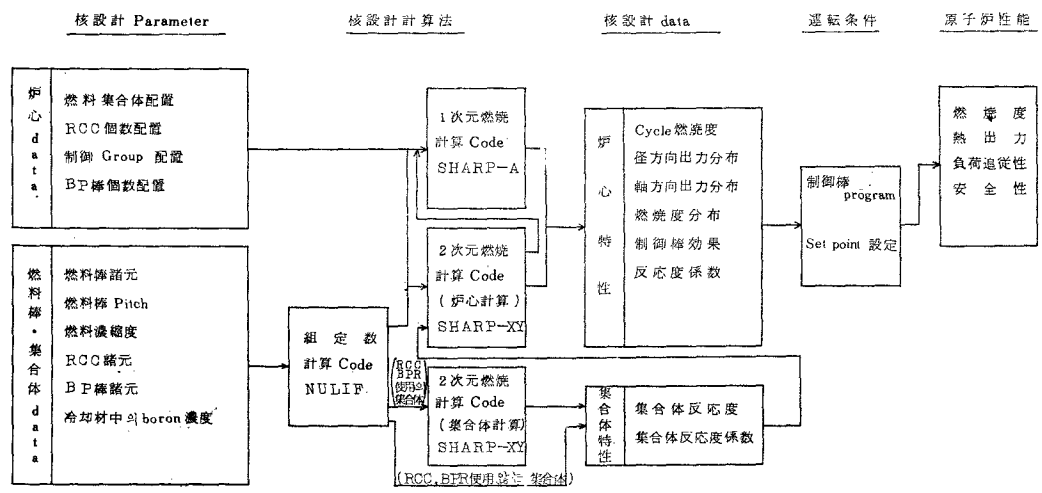
高速中性子 spectrum計算(中性子 energy

## 1. 概 要

### 1.1 核設計 手法의 概要

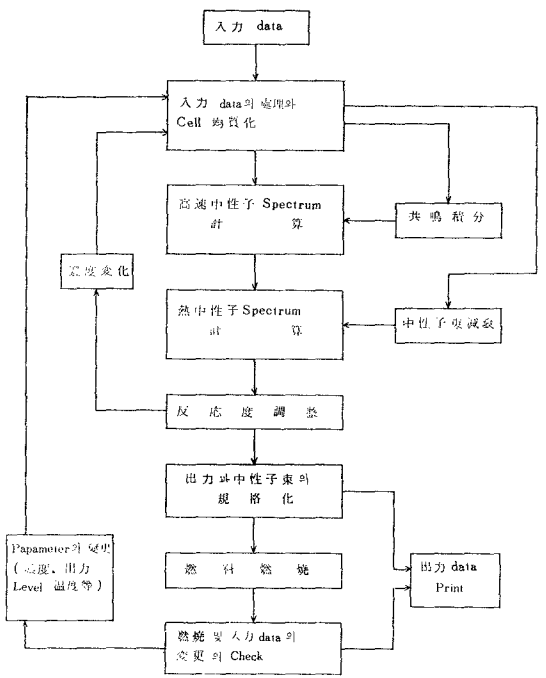
核設計 計算을 計算項目의 點에서 分類하며는 다음과 같이 된다.

第 1.1 圖 核設計計算法の概要圖



1.855eV)은 잘 알려져 있는 MUFT code와 같은 방법에 따라行한다. 計算은 無限均質系에 대해서 中性子 energy spectrum 計算을 行한다. 体系가 有限임으로인한 中性子の 누설 効果는, 幾何學的 buckling에 의해 고려한다. 얻어진 energy spectrum를 바탕으로 각각의 組마다 energy 荷重平均을 行하여 少數組定數를 計算한다.

第 1.2 圖 NULIF 計算의 block圖



實際의 体系가 非均質인 効果는 速中性子組의 경우, 共鳴吸收가 있는 물질에서 문제가 된다. 이 경우, 特히 중요한 것은 우라늄-238와 우라늄-235이다. MUFT code에서는 非均質 效果를 熱中性子 利用率은 計算할때의 中性子 損失 因子와 비슷한 方法으로서 넣을 수가 있다.

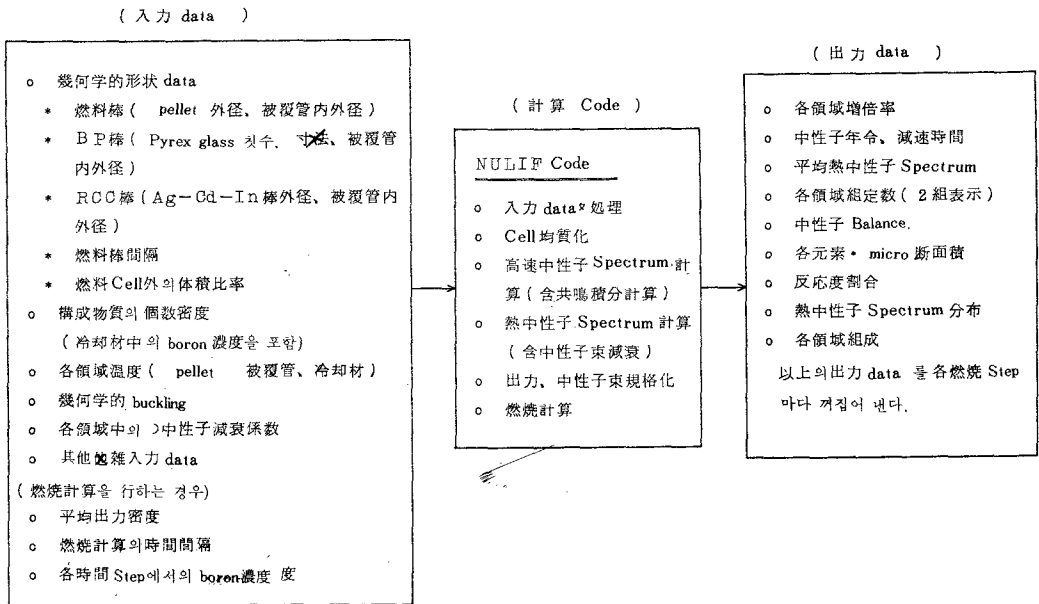
燃焼計算은 우라늄系의 同位元素 및 Xenon 系의 燃焼계산을 行한다. 燃焼計算을 行하는 경우는 spectrum계산과 燃焼計算과를 熱焼 step 數만큼 되풀이해서 行한다.

熱中性子 spectrum계산(中性子 energy < 1.855 eV)에는 이와 같은 목적의 code로서 널리 알려져 있는 SOFOCATE code와 같은 方法을 사용한다. SOFOCATE code는, 吸收性 物質과 물 分子의 均質 混合物에 對한 減速의 方程式을 풀고 그 結果 얻어진 熱中性子 spectrum를 기초로 energy 荷重平均에 의해서 熱中性子組定數를 계산한다.

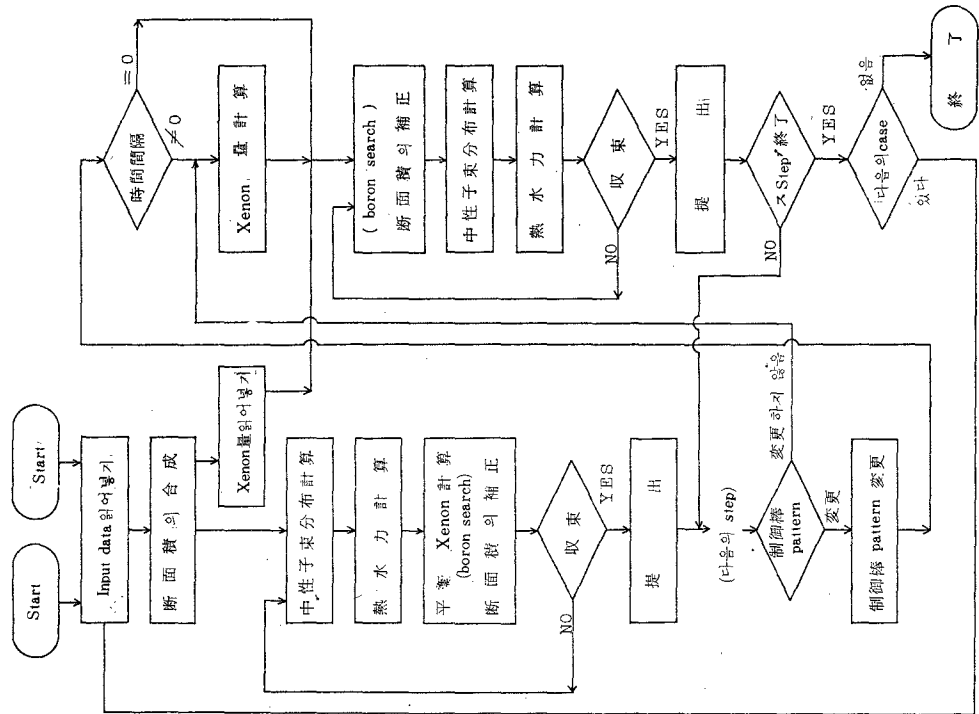
NULIF code의 計算 flow圖 및 入力, 出力 data에 대해서 各各 第 1.2圖, 第 1.3圖에 표시한다.

SOFOCATE code는, 均質系의 spectrum를 計算하는데, 熱中性子 領域에 대한 非均質 效果는 Amouyal & Benoist의 方法에 의한 中性子 損失 因子를 넣으므로써 고려한다. 이 Amouyal & Benoist의 補正은 他의 解析과 잘 一致되고 있음이 報告되고 있다.

第 1.3 圖 NULIF Code 的入力 및 出力 data



第 1.4 圖 SHARP-A 計算의 block 圖



以上 記述한 少數郡 組定數 解析法은 臨界 實驗과 照射 燃料의 同位体 分析等과의 比較에 의해서 그 妥當性이 확인되어 있다. (文獻 4)

(2) SHARP-A code (文獻 2)

SHARP-A code는 1次元 擴散計算을 기초로 한 PWR의 軸方向 爐心解析 code이며, 大別해서 다음의 二種의 目的에 사용된다. 하나는 靜特性 解析, 즉 定常狀態에서의 軸方向 出力分布 및 燃燒度分布, 制御棒 特性 및 爐心反應度 特性이며, 他의 하나는, 動特性 解析 즉 xenon 振動에 따르는 出力分布變化, actual offset 變化 및 反應度 變化등의 解析을 行하는 것이다.

또, actual offset一定制御 運轉의 解析이 行할 수 있도록 指定된 actual offset의 值의 許容 범위를 채우도록 制御棒 D bank, P/L bank의 位置의 移動을 自動적으로 模擬하는 계산이 가능하다.

計算은 2組擴散 方程式을 풀어서 中性子束分布 및 出力分布을 求한다. 組定數는 適當한 燃燒度 범위에 걸쳐서 燃燒度에 對한 關數로서 表形式으로서 入力된다.

이들의 組定數는 前述의 NULIF code에 의해서, 또 다음의 半徑方向 2次計算 code SHARP-XY에 의해서 연어진 것을 사용한다.

또, 半徑方向 buckling도 SHARP-XY code에 의해서 求해진것을 使用한다.

減速材 密度, xenon濃度, Doppler 效果의 空間分布의 出力分布에의 영향도 고려할 수가 있다.

SHARP-A code의 計算의 flow圖 및 入力, 出力 data에 대해서 各各 第 1.4圖, 第 1.5圖에 표시한다.

以上の 解析의 精度는 實測值와의 比較에 의해 확인되고 있다. (文獻 4)

(3) SHARP-XY code (文獻 3)

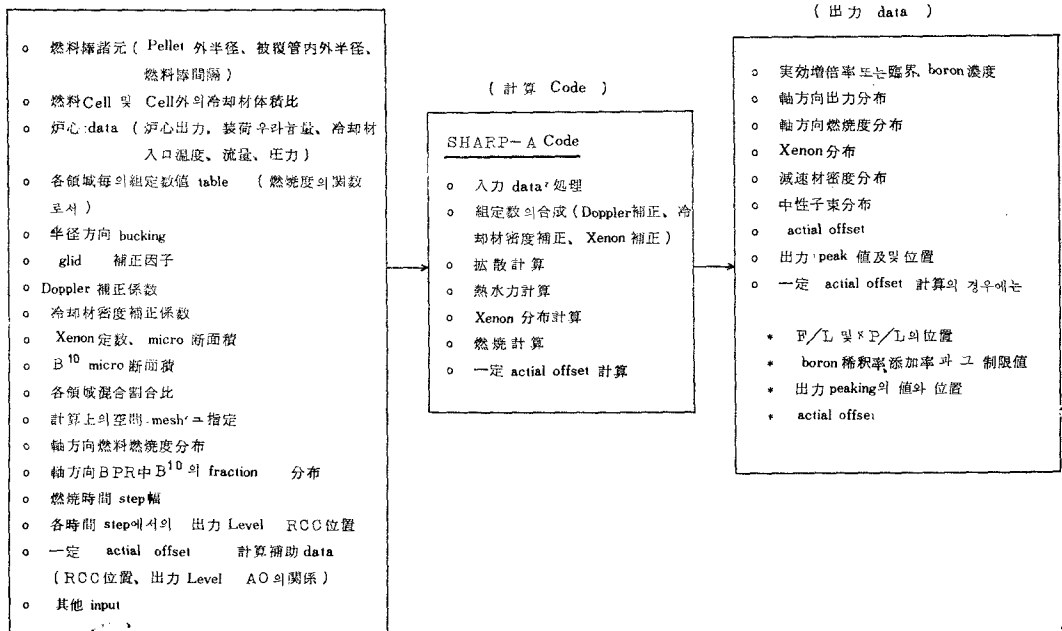
SHARP-XY code는, 2次元 擴散計算을 기초로 한 PWR의 徑方向 爐心解析 code이며, 主로 徑方向의 出力分布, 燃燒度分布, 爐心燃燒度 및 制御棒 效果의 計算에 사용된다. 또, 徑方向의 xenon振動 特性도 解析할 수 있다.

擴散方程式에 사용하는 組定數는 燃燒度의 關數로서 表形式으로서 入力된다. 이들의 組定數는 NULIF code에 의해 연어진다. 軸方向 buckling는 SHARP-A code에 의해서 求해진다.

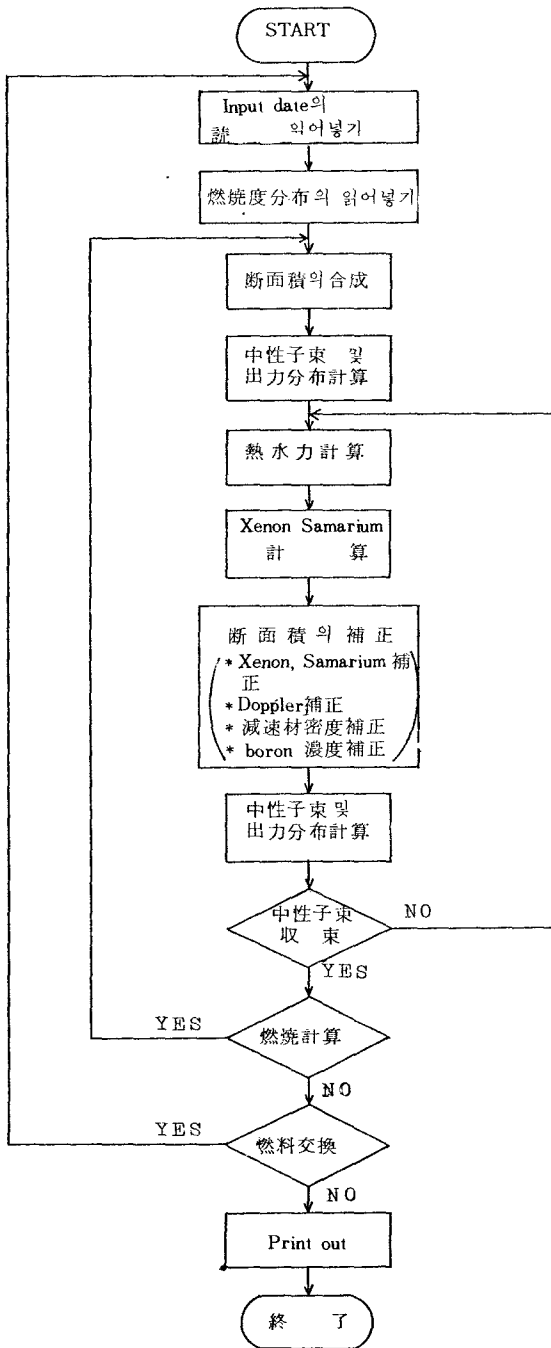
또, 減速材 密度, xenon濃度, Doppler 效果의 空間 分布의 出力 分布에의 영향도 고려할 수가 있다.

燃料 및 burnable poison棒의 교환은 適當한 入力を 주게하므로써 平行移動, 回轉을 포함하

第 1.5圖 SHARP-A Code의 入力 및 出力data



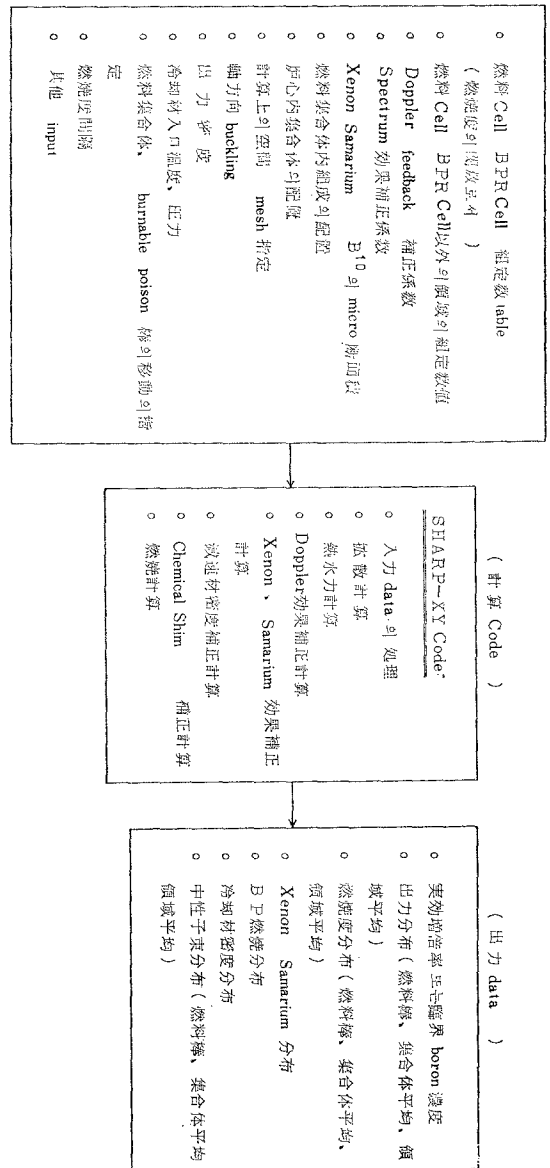
第 1.6 圖 SHARP-XY 計算의 block 圖



여 集合体 單位로서 自動적으로 行할 수가 있다.

SHARP-XY code의 計算의 flow圖 및 入力 出力 data에 대해서는 各各 第 1.6圖, 第 1.7圖에 표시한다.

이상의 解析의 精度는 實測值와의 比較에 의해서 확인되고 있다. (文献 4)



第 1.7 圖 SHARP-XY Code의 入力 및 出力 data

## 2. 少數郡組定數의 作成

第 2.1 圖 燃料 Pellet 實効 (Doppler) 溫度計算의 block 圖

少數郡組定數의 作成에는 NULIF code가 사용된다.

NULIF code에 필요한 入力 data는 第 1.3圖에 표시했으나 여기서는 이 중에서 특히 중요한 pellet實効溫度 및 計算體系 model에 대해서 記述하겠다.

### 2.1 燃料 pellet實効 (Doppler) 溫度

연료 pellet실효 온도는 Doppler 效果를 정확하게 求하는데 중요하다. 연료 pellet內的 온도분포 계산에는 연료棒 설계 code FPAC(文献 5)가 사용된다. FPAC code는 pellet의 熱傳導率 열膨脹率, 發熱率의 半徑方向의 位置依存을 고려할 수가 있으며, 被覆管 및 pellet의 照射에 의한 錫수變化, 또 初期加壓 gas壓 등을 고려한 gap熱傳導率을 사용하여 pellet內的 온도 分布를 燃燒度마다 계산하는 것이다.

pellet內的 연소에 따르는 出力分布는 LASER code에 의한 計算值가 入力 data로서 사용된다.

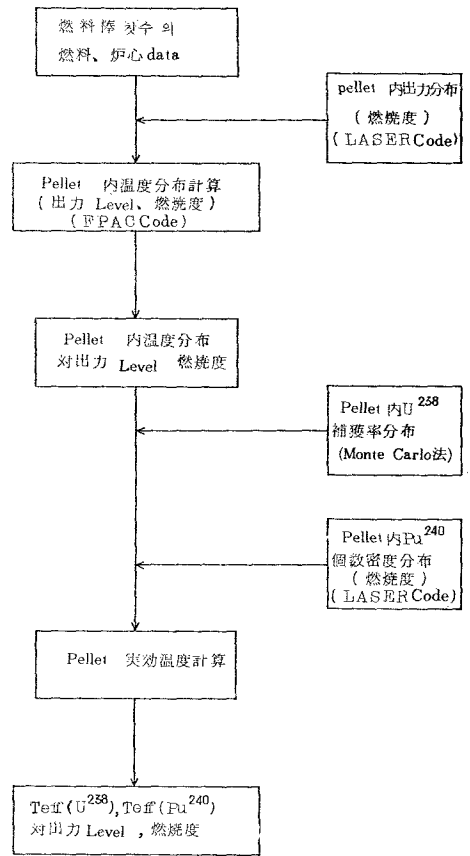
共鳴吸取에 대한 實證U-238온도는, FPAC에서 얻어진 pellet內 온도分布를 徑半方向 依存의 무게로서 平均하므로서 求해진다. 여기서 사용되는 무게는 pellet內的 U-238에 의한 共鳴吸取率이며, 이것은 Monte Carlo 計算에 의해서 求해지는 것이다.

共鳴吸取에 대한 實効Pu-240溫度는 LASER code에서 얻어진 연소에 따르는 Pu-240의 半徑方向의 個數密度分布로서 pellet內 溫度 分布를 平均하게 하므로서 求해진다.

以上の 順序를 第 2.1圖에 표시한다.

### 2.2 NULIF 計算體系

NULIF code는 연료봉 cell의 組定數뿐만 아니라, burnable poison cell, 制御棒 cell, buffer, 反射體의 各領域의 組定數의 作成에 사용된다. 이들의 計算에 사용되는 體系의 model 및 계산조건을 第 2.2圖에 표시한다.



## 3. 出力分布, 出力 peaking 係數

### 3.1 出力分布

水平方向 出力分布의 계산은, 2次元 計算 code SHARP-XY에 의해서, 또 軸方向 出力分布의 계산은 1次元計算 code SHARP-A에 의해서 行한다. 全長制御棒 cluster가 部分 插入되었을 경우, 또는 部分長制御棒 cluster가 사용되고 있을 경우에는 全制御棒 cluster 引拔 및 制御棒 cluster 插入의 2개의 水平方向 出力 分布를 爐心平均軸方向 出力分布로서 合成하는 方法으로서 行한다.

第 2 2 圖 NULIF 計 算 体 系

Cell	計 算 体 系	備 考
燃料棒 Cell 制御棒案内 管 (G/T) Cell 計測用案内 管 (I/T) Cell 물 gap Cell		(1) boron 濃度를变化시킨 燃燒 計算→燃料內個數密度算出 (2) (1)에서 求한個數密度를 使用하여 * 燃燒度 * boron 濃度 (ppm) * 減速材溫度 * 燃料溫度 를 parameter로 하여 $\sigma$ 및 $\Delta$ table를 作成한다.
burnable poison (BPR) Cell		(1) * BPR內 B <sup>10</sup> 割合 * boron 濃度 (ppm) * 減速材溫度 를 parameter로 하여 $\sigma$ 및 $\Delta$ table를 作成한다. (2) 輸送理論補正를 行한다.
制 御 棒 (RCC) Cell		(1) * boron 濃度 (ppm) * 減速材溫度 를 parameter로 하여 $\sigma$ 및 $\Delta$ table를 作成한다. (2) 輸送理論補正를 行한다.
反射体 Cell 反射体 Cell		* boron 濃度 (ppm) * 減速材溫度 를 parameter로 해서 $\sigma$ 및 $\Delta$ table 을 作成한다

이 合成方法은 水平方向出力 分布와 軸方向出力 分布의 分離를 前提로하고 있으나, 이것은 여러 가지의 制御棒 cluster 挿入 pattern을 模擬한 3次元 出力分布 計算結果와 合成法에 의한 결과를 對照하므로써 비로소 그 妥當性이 확인되고 있다. (文獻 7)

### 3.2 出力 peaking 係數 $F_0$

出力 peaking 係數  $F_0$ 는 通常運轉時 및 運轉時의 異常한 過渡變化時에 대해서 各各 1, 2 次元合成法에 의한 次式으로서 계산된다.

通常運轉時의 경우

$$F_0 \cdot P = \text{Max} \{F_z(Z) \cdot F_{xy}(Z)\} \cdot F_0^E \cdot F_0^U \cdot P$$

運轉時의 異常한 過渡變化時의 경우

$$F_0 \cdot P = \text{Max} \{F_z(Z) \cdot F_{xy}(Z) \cdot S(Z)\} \cdot F_0^E \cdot F_s^U \cdot P$$

여기서,

- P 相對出力
- $F_{0.5}^E$  工學的 熱流束熱 水路係數. 1.03
- $F_{0.5}^U, F_{0.5}^N$ 의 測定에 따르는 不確定性을 考慮하는 係數. 1.05(文獻 6)
- $F_z(Z)$  軸方向 Z에서의 相對軸方向 平均出力.
- $F_{xy}(Z)$  軸方向 Z에서의 半徑方向 peaking 係數.
- $S(Z)$  燃料調密化에 의한 spike factor .

또, 사용해야 할  $F_{xy}(Z)$ 는 다음과 같이해서 決定된다.

$F_{xy}(Z)$ 는 制御棒이 없는面 및 制御棒 插入面 (bank D插入面, bank P/L插入面, bank D 및 P/L插入面)에 대해서 半徑方向 2次元 計算code SHARP-XY에 의해 계산한다.

但, 계산에서 얻어진  $F_{xy}(Z)$ 는 다음의 式에 따라서 비교되며, 최종적으로는 制御棒이 없는面에서는  $F_{xy}^{ARO}$ 가, 또 制御棒 插入面에서는  $F_{xy}^{ROD}$ 가 合成計算에 사용된다.

(a) 制御棒이 없는面에서는 (BU라 함은 燃燒度를 意味한다.)

$$F_{xy}^{ARC} = \text{Max} \{ 1.435, \text{Max} \{ (F_{xy}^{ARO}(BU) \cdot 1.03, F_{xy}^{ARO}(BU=0) \} \}$$

\*BU ≥ 150 MWD/MTU

(b) 制御棒 插入面에서는

$$F_{xy}^{ROD} = \text{Max} \{ 1.58, \text{Max} \{ (F_{xy}^{ROD}(BU) \cdot 1.03, F_{xy}^{ROD}(BU=0) \} \}$$

\*BU ≥ 150 MWD/MTU

여기서 1.03은 xenon의 過渡상태의  $F_{xy}$ 에의 効果를 고려한 因子이다.

$F_z(Z)$ 는, 軸方向 1次元計算 code SHARP-A에 의해 정상운전時 및 異常한 過渡變化 상태에 대해서 각각 다음의 條件으로 計算하여 산출한다.

通常運轉時的 計算은 actual offset 定值制御 運轉法에 따르는 日負荷 追從運轉 條件에서 行한다. 負荷追從의 運轉 mode로서는, 出力 level의 變化量, 變化率 및 高出力, 低出力時的 時間比率 등을 여러가지로 組合시켜 變化시켜서 行한다.

異常한 過渡變化 상태로서는, 制御棒 引拔事故와 boron濃度添加 및 希釋事故에 대해서 行한다.

事故的 發生은 通常運轉時부터 일어난다고 하

며, 制御棒 bank는 運轉의 技術仕樣에서 定해진 插入限界를 넘어서 插入되는 것이라고 한다.

出力分布 計算은 制御棒 bank D나 P/L의 위치를 여러가지로 組合시킨 狀態로서 어떤 時點에서의 xenon 分布가 保存되어 있다고 해서 行한다.

## 4. 反應度係數

### 4.1 Doppler係數

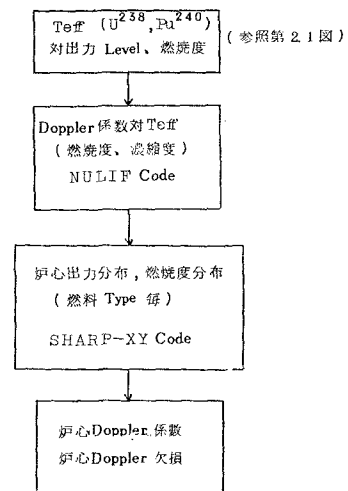
Doppler 係數는 燃燒實効 溫度가 上昇하면은 U-238, Pu-240의 共鳴吸收의 量이 넓어져서 反應度가 감소하므로써 生진다.

Doppler 係數의 計算은, 半徑方向 2次元 計算 code SHARP-XY에 의해서 行해진다.

計算은 감속재 온도는 一定으로하고 出力 level를 變化시켜서 行한다. 燃料實効 溫度는 2.1에서와 같이 出力 level, 燃燒度 및 연료의 初期濃縮度에 의해 變化한다.

따라서, SHARP-XY code의 入力 data로서는 各연료 type마다에 出力 level, 燃燒度の 關數로서 Doppler 係數가 들어가 있다. 이들의 Doppler 係數의 data는 SHARP-XY로서 計算된 出力 分布로서 더욱 무게를 가지게 되어 爐心平均으로서의 Doppler 係數가 얻어진다. 이 計算의 flow를 第 4.1圖에 표시한다.

第 4.1圖 Doppler 係數 計算의 flow圖





## 4.2 減速材 溫度係數

減速材 溫度係數는, 감속재의 온도변화에 따르는 反應度 變化이다. 감속재온도 계수의 계산은, 半徑方向 2次元 계산 code SHARP-XY에 의해 出力 level는 一定으로 하고 감속재 온도를 평균 온도에 대해서  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  변화시켜서 이에 따르는 爐心反應度 變化부터 求한다.

SHARP-XY code의 入力 data로서는 감속재 온도 변화에 의한 감속재密度 效果를 補正하기 위해서 사용되는 물의 micro斷面積의 外에 감속재 온도 변화에의 spectrum效果의 補正도 行할 수 있게 고려되어 있다.

또, 減速材 溫度係數는 chemical shim boron 濃도에 크게 依存하나, 여기에 대해서는 入力 data로서 들어가 있는 boron의 micro斷面積 및 boron농도를 사용해서 정확히 고려할 수 있다.

## 4.3 減速材 壓力係數

減速材 壓力係數는 감속재의 壓力변화에 따르는 감속재밀도 변화에 의한 反應度 變化이다.

이 係數는 감속재 온도 계수에 比해서 대단히 적다.

이 係數의 산출은 前述의 온도계수의 결과를 기초로해서 감속재壓力 變化에 의한 감속재 밀도와 감속재 온도 변화에 의한 감속재 밀도의 相關부터 求한다.

## 4.4 減速材 void 係數

감속재 void 계수는, 감속재中の void量 變化에 의한 反應度 變化이다. PWR에서는 냉각재中の void量은 대단히 적으므로 이 계수는 특히 중요하지는 않다.

이 계수의 산출도 壓力係數와 같이, 온도계수의 결과를 기초로해서 void에 의한 감속재 밀도의 변화와 감속재 온도변화에 의한 감속재 밀도의 相關을 기초로해서 산출한다. 이 산출법은 실제로는 爐心 上部에서 발생하는 void를 爐心內에서 一定하게 발생한다고하여 취급하도록 되어 있는데 이것은 void가 局所的으로 發生한다고 해서 취급했던 경우와 같은 결과가 얻어지기 때문이다.

## 4.5 出力係數

출력 계수는 爐心出力 level변화에 따르는 反應度 變化이다. 이것은 前述의 Doppler 계수, 감속재온도 계수를 出力 level에 對應시켜서 結合시키므로써 얻어진다.

# 5. 制御棒反應度 效果計算

## 5.1 制御棒反應度 效果

제어봉 bank 및 개개의 제어봉의 積分價値는 半徑方向 2次元計算 code SHARP-XY에 의해서 계산한다.

또, 제어봉의 微分價値 및 제어봉 높이 位置와 積分價値에 대해서는 軸方向 1次元計算 code SHARP-A code에 의해 계산을 행한다.

## 5.2 制御棒 所要反應度 制御能力

원자로를 高温全出力부터 高温停止로 유도함에 필요한 제어봉의 反應度 제어능력의 계산 방법에 대해 다음에 記述한다.

### (1) Doppler效果

高温全出力부터 高温零出力까지의 Doppler 效果는 第4章에 있다. Doppler係數를, 高温全出力부터 高温零出力까지 積分하고 여기에 계산에 의한 不確定 因子를 加해주므로써 求한다.

계산에 의한 不確定 因子로서는, 實測値와 계산차와의 비교결과부터  $\pm 0.2\% \Delta \rho$ 를 보며는 충분하다.

### (2) bite效果

5%/分, 10%/step出力 變化등의 제어에 필요한 最小의 反應度 變化率을 保有함에는 一部의 제어봉을 全出力에서도 爐心에 넣어두지 아니하며는 아니된다.

制御上 필요한 最小의 반응도 변화율은 3pcm/秒(2.5pcm/step)이다. 이 반응도 변화율에 對應하는 제어봉 挿入度를 cycle壽命間에서 가장 엄한 제어봉 bank微分價値 曲線부터 求하고, 이 挿入度에 對應하는 積分價値를 bite效果로 한다.

**(3) 運轉範圍**

제어봉의 삽입허용 범위를 운전범위로서 定하고 이 反應度 效果에 相當하는 反應도를 所要反應度로서 보아 둘 需要가 있다. 이것도 上述의 bite 效果의 경우와 같이 全出力時에 插入해서 얻는 제어봉 bank 및 그 插入도와 積分價值 曲線부터 cycle 壽命中 최대가 되는 反應도를 求하고 이것을 所要反應도로 한다.

**(4) void 效果**

PWR 爐心에서는 void의 發生은 局所的이며 最大로 보더라도 爐心內 冷却材 體積의 0.5% 이하이다.

void 量의 계산은 熱水力 解析 code, 改良 COBRA-3C에 의해 102% 出力, 95% 流量 條件에서 산출한다. 계산에 사용되는 연료봉 및 연료集合體 每 出力 分布는 SHARP-XY code에 의해 얻어지는 것이다.

void 反應度 效果를 산출할 때에는 void 分布는 爐心內 一樣하다고 하며, 上述의 方法에 의해 求한 void 量에 對應하는 감속재 밀도 變化에 相當하는 감속재 온도 사이에서 감속재 온도계수를 積分하므로써 求한다.

**(5) 減速材溫度**

원자로를 高溫全出力부터 高溫零出力까지 變化시켰을 時의 減速材 平均 溫度는, 蒸氣發生器에서 定해지는 全負荷에서의 平衡值부터 無負荷에서의 平衡值까지 變化한다.

감속재 온도변화에 따르는 反應도 變化는 감속재 온도 계수를 이 온도변화 外에 溫度 制御系의 不感帶 및 測定의 誤差로해서 2.2℃를 加한 범위에서 積分함으로서 求한다.

다시, 계산에 의한 不確定性을 고려하기 위해서 實測値와 계산치와의 오차로서  $\pm 4 \text{ pcm}/^\circ\text{C}$ 를 감속재 온도 係數에 加한 것이 上記의 積分 계산에 사용된다.

**(6) 中性子束 再分布**

원자로를 高溫全出力부터 高溫零出力으로 유도하며는 감속재 온도 分布가 一定하게 되기 위해 비교적 연소가 進行되고 있지 않은 爐心 上部에 中性子束 分布의 peak가 이동함으로서 爐心 反應度는 증대한다.

이 中性子束 再分布의 效果는 軸方向 1次元

계산 code SHARP-A 에 의해 行한다.

운전許容 범위내의 여러가지의 운전상태 부터의 원자로停止의 계산을 行하고 그때의 再分布 效果의 最大値를 찾는 方法이 取해진다.

**5.3 停止餘裕**

정지여유의 계산에는 半徑方向 2次元 계산 code SHARP-XY가 사용된다.

계산은 정지여유의 點에서 가장 엄한 條件이 되는 cycle 壽命末期에서 高溫零出力 狀態에서 行한다.

우선, 全制御 棒插入 狀態에서의 제어봉 全反應度 效果를 求하고 安全側으로 評價하기 위해서 이 值부터 ㉠ 가장 反應度 效果가 큰 제어봉이 全引拔 狀態에서 固着했다하고, 이 固着한 제어봉에 對應하는 反應度 效果를 減하고 ㉡ 다시 그 值에 계산에 對하는 不確定性 因子로서 10%를 감하는 方法이 취해진다.

최대의 反應도 效果를 가지는 제어봉의 選拔은 全制御棒 插入時의 出力 分布를 기초로 해서 試行錯誤에 의해서 行한다.

**6. 參考文獻**

(1) 「NULIF code」	NFK-7003 8
原子燃料工業, 1976	
(2) 「SHARP-A code」	NFK-8004
原子燃料工業, 1976	
(3) 「SHARP-XY code」	NFK-8005
原子燃料工業, 1976	
(4) 「PWR의 核設計 方法의 信賴性」	
原子燃料工業, 1976	NFK-8006
(5) 「燃料棒性能解析 code (FPAC)」	
原子燃料工業, 1976	NFK-8011
(6) 「實測 peaking factor (F <sub>0</sub> )에서의 不確定 因子의 評價」	NFK-8007
原子燃料工業, 1976	
(7) 「FLAME code」	NFK-8031
原子燃料工業, 1976	

作成者 張基鎭