

原子爐 動特性 Simulator 에 관한 考察 (第 2 報)

論 文
14-5-1

—Xenon Simulator—

(The Analysis of the Xe¹³⁵ Poisoning in a Nuclear Reactor by Electronic Analog Computer Techniques)

韓 萬 春* 金 興 壽**

(Han Man Choon · Kim Heung Soo)

ABSTRACT

Using "Yonsei¹⁰¹ Analog Computer" the poisoning of the Xenon¹³⁵ in a thermal homogeneous nuclear reactor is analyzed.

The simulator is constituted of high gain D.C. operational amplifiers and operational impedances.

During the nuclear reactor operation, the Xenon poisoning increases against time until the equilibrium state reaches. After the reactor shut-down, it increases remarkably until the maximum value and then decreases.

The simulated curves agree with theoretical values satisfactorily.

The accuracy of the analog computer solution is 0.4387 per cent during the nuclear reactor operation and 6.7 per cent after the nuclear reactor shut-down respectively.

1. 序 論

原子爐 動特性 simulator 에 대하여 筆者의 一人이 本學 會誌에 發表한 바 있는 第 1 報¹⁾에 있어서는 原子爐의 毒特性이나 溫度效果를 考慮하지 않았었다. 周知하는 바와 같이 原子爐의 動特性的의 完全한 解析은 이들 毒特性 및 溫度效果의 歸還으로서 얻어지는 것이다. 本稿에서는 延世大學校 理工大學에서 試作한 延世101 相似型 電子計算機²⁾를 利用하여 原子爐 毒作用에 對한 解析을 하려는 것이다.

*延世大學校 理工大學長 · 工博 正會員
Dean, College of Science & Eng.
Yonsei University

**首都工高 教師

2. 原子爐 分裂生成物の 毒作用

原子爐의 運轉中 分裂生成物은 燃料의 崩壞에 따라 繼續 生成된다. 이때 直接 分裂生成物로서 生成되는 分裂生成物 自體의 崩壞 放出으로서 다른 分裂生成物(間接 分裂生成物)로의 轉換이 繼續된다.

이러한 直接 分裂生成物과 間接 分裂生成物中에는 中性子の 吸收 斷面積이 큰 物質이 存在하므로서 毒作用이 招來된다. 萬一 이런 毒素들이 多量으로 生成된다면 이들은 原子爐의 增殖係數 k를 減少시켜 原子爐의 運轉을 不可能하게 할 것이다. 또 어떤 毒素는 原子爐 停止後에도 分裂生成物의 放射崩壞로서 繼續 形成되어 原子爐 停止後의 毒素의 密度를 一旦 最大로 上昇하게 한다.

分裂生成物中에서 主要한 것은 熱中性子 吸收 斷面積이 큰 Xe¹³⁵와 Sa¹⁴⁹이다. Nd¹⁴⁹를 母體 物質로 하는 Sa¹⁴⁹의 熱中性子 吸收 斷面積(5.3×10⁴ barns=5.3×10⁻²⁰cm²)은 Xe¹³⁵의 吸收 斷面積(3.5×10⁶ barns=3.5×10⁻¹⁸cm²)에 比하여 작으므로 原子爐에 미치는 毒作用은 Xe¹³⁵가 거의 全部이고 Sa¹⁴⁹는 無視할 수 있다.

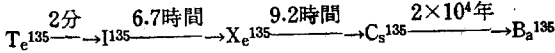
本稿에서는 比較的 經濟的이라고 볼 수 있는 濃縮 Uranium을 燃料로 하고, 물을 減速劑로 하는 熱中性子 均質爐를 假定하고 原子爐의 動特性에 큰 影響을 미치는 Xe¹³⁵의 毒作用을 解析하려는 것이다.

Xe¹³⁵의 毒作用은 原子爐 動特性에 主要한 影響을 미치는 原子爐 運轉中과 原子爐의 再 稼動時間을 左右하는 原子爐 停止後로 나누어서 생각할 수 있다.

A. 原子爐 運轉中 Xe¹³⁵의 毒作用

熱中性子の 吸收 斷面積이 큰 Xe¹³⁵의 一部는 生成率 0.3%로 直接 生成되지만 大部分은 生成率 5.6%로 生成되는 Te¹³⁶를 母體 物質로 하여 生成된다. Te¹³⁶는 半 減期가 2分에 지나지 않으며 다음과 같은 崩壞系列을

찾는다.



$X_{e^{135}}$ 의 母體 物質인 I^{135} 는 강한 中性子 吸收體는 아니지만 $T_{e^{135}}$ 의 崩壞로부터 多量이 形成되고 毒素인 $X_{e^{135}}$ 로 崩壞한다.

$T_{e^{135}}$ 의 半減期는 짧으므로 $X_{e^{135}}$ 의 毒作用의 解析은 I^{135} 가 0.056의 生成率로 分裂에서 直接 生成된다고 假定해도 큰 誤差가 없다.

I^{135} 의 任意 時間에서의 純 形成率은 다음과 같이 된다³⁾.

$$\frac{dI}{dt} = -\lambda_i I - \sigma_i I \phi + \gamma_i \Sigma_f \phi \quad (II-1)$$

여기서 $I=I^{135}$ 의 密度, $\lambda_i=I^{135}$ 의 崩壞常數
 Σ_f =燃料의 巨視的 分裂斷面積, $\sigma_i=I^{135}$ 의 微視的 熱 中性子 吸收 斷面積, $\gamma_i=I^{135}$ 의 直接 生成率, ϕ =熱中 性子束
 이다.

式(II-1)의 第2項에서 σ_i 의 값이 6 barn으로 他項에 比해서 작으므로 無視하면

$$\frac{dI}{dt} = -\lambda_i I + \gamma_i \Sigma_f \phi \quad (II-2)$$

로 되고 I^{135} 의 平衡狀態의 密度 I_0 는

$$I_0 = \frac{\gamma_i \Sigma_f \phi}{\lambda_i} \quad (II-3)$$

으로 된다.
 $X_{e^{135}}$ 의 任意 時間에서의 純 形成率은 式(II-4)와 같다. 여기서 添字 x 는 $X_{e^{135}}$ 密度를 意味한다.

$$\frac{dX}{dt} = -\lambda_x X - \sigma_x \phi X + \lambda_i I + \gamma_x \Sigma_f \phi \quad (II-4)$$

마찬가지로 $X_{e^{135}}$ 의 平衡狀態의 密度 X_0 는

$$X_0 = \frac{\lambda_i I_0 + \gamma_x \Sigma_f \phi}{\lambda'_x} = \frac{(\gamma_i + \gamma_x) \Sigma_f \phi}{\lambda'_x} \quad (II-5)$$

로 된다. 여기서 $\lambda'_x \equiv \lambda_x + \sigma_x \phi$ 이다.
 任意時間 t 에서 $X_{e^{135}}$ 의 巨視的 吸收 斷面積은 $X(t) \cdot \sigma_x$ 로 되고 任意 時間에서의 毒作用 $P(t)$ 는 다음의 式(II-6)으로 定義된다.

$$P(t) = \frac{X(t) \cdot \sigma_x}{\Sigma_u} \quad (II-6)$$

여기에 式(II-4)를 代入하고 整理하면

$$\frac{dP}{dt} + \lambda_x P = \frac{\sigma_x}{\Sigma_u} \lambda_i I + \frac{\Sigma_f}{\Sigma_u} \sigma_x \gamma_x \phi - \sigma_x P \phi \quad (II-7)$$

로 되고 平衡狀態의 毒作用 P_0 는

$$P_0 = \frac{X_0 \sigma_x}{\Sigma_u} = \frac{\sigma_x (\gamma_i + \gamma_x) \Sigma_f \phi}{\lambda'_x \Sigma_u} \quad (II-8)$$

로 된다. Uranium-235에 對한 分裂斷面積 Σ_f 와 吸收 斷面積 Σ_u 는 各各 0.0415 cm⁻¹, 0.0494cm⁻¹이고 또 $\gamma_i=0.056$, $\gamma_x=0.03$, $\sigma_x=3.5 \times 10^6$ barns = 3.5×10^{-18} cm², $\lambda_x=2.1 \times 10^{-5}$ sec⁻¹이므로 式(II-8)에 이들의 값을 代

入하면 平衡狀態의 毒作用 P_0 는

$$P_0 = \frac{1.735 \times 10^{-10} \phi}{(2.1 \times 10^{-5}) + (3.5 \times 10^{-18} \phi)} \quad (II-9)$$

로 되고 여기에 定常狀態의 中性子束 ϕ 를 代入하면 表 1과 같이 된다.

表 1. $X_{e^{135}}$ 毒作用의 平衡值

熱 中 性 子 束 (ϕ)	毒 作 用 (P_0)
10 ¹²	0.00708
10 ¹³	0.03095
10 ¹⁴	0.04695
2.5 × 10 ¹⁴	0.04840
10 ¹⁵	0.04925

B. 原子爐 停止後 $X_{e^{135}}$ 의 毒作用

I^{135} 의 半減期는 $X_{e^{135}}$ 보다 짧으므로 $X_{e^{135}}$ 의 密度는 原子爐 停止後 一旦 上昇한 後에 自體의 崩壞로서 減少한다. 原子爐 停止後 任意時間 t 에서 I^{135} 와 $X_{e^{135}}$ 의 密度에 關한 方程式은 式(II-2)와 式(II-4)에서

$$\frac{dI}{dt} = -\lambda_i \cdot I \quad (II-10)$$

$$\frac{dX}{dt} = -\lambda_x \cdot X + \lambda_i \cdot I \quad (II-11)$$

로 된다.
 原子爐를 停止시키는 瞬間을 $t=0$ 으로 잡으면 I^{135} 의 初期密度 $I(0)$ 는 原子爐 運轉中에서의 平衡值로 되므로 式(II-3)에서 求한 I_0 와 같게 된다.

$$I(0) = \frac{\gamma_i \Sigma_f \phi}{\lambda_i} \quad (II-12)$$

$X_{e^{135}}$ 密度의 初期值 $X(0)$ 도 마찬가지로

$$X(0) = \frac{(\gamma_i + \gamma_x) \Sigma_f \phi}{\lambda'_x} \quad (II-13)$$

이다.
 毒作用의 初期值를 $P(0)$ 라 하면 式(II-6)으로 부터

$$P(0) = \frac{X(0) \sigma_x}{\Sigma_u} = \frac{\Sigma_f}{\Sigma_u} \cdot \frac{(\gamma_i + \gamma_x) \sigma_x}{\lambda'_x} \cdot \phi \quad (II-14)$$

로 되어 式(II-8)에서 求한 原子爐 運轉中의 毒作用의 平衡值와 같게 된다.

原子爐 停止後 任意時間 t 에서의 毒作用 $P(t)$ 는 式(II-6)을 式(II-11)에 代入하면

$$\frac{dP(t)}{dt} = -\lambda_x P(t) + \frac{\sigma_x}{\Sigma_u} \lambda_i \cdot I \quad (II-15)$$

로 된다.

3. Simulator의 構成

A. 原子爐 運轉中의 simulator의 構成

式(II-2)과 式(II-7)에 各 常數의 값을 代入 整理하면 다음과 같다.

$$\frac{dI}{dt} + 2.9 \times 10^{-5} I = 2.32 \times 10^{-3} \phi \quad (\text{II}-1)$$

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dt} + 2.1 \times 10^{-5} P \\ = 2.055 \times 10^{-21} I + 8.82 \times 10^{21} \phi - 3.5 \times 10^{-18} P \phi \end{aligned} \quad (\text{II}-2)$$

方程式에 나오는 物理的인 量을 計算機의 出力電壓 (100 V)으로 換算하기 爲하여 다음과 같이 各變數에 스케일 因子를 擇한다.

$$\begin{aligned} \alpha_\phi &= 10^{-13} \\ \alpha_P &= 20 \\ \alpha_i &= 10^{-15} \\ \alpha_t &= 1/3.6 \times 10^4 \end{aligned}$$

이들 스케일 因子를 式(II-1)과 式(II-2)에 代入하여 計算機 方程式을 誘導한다.

먼저 式(II-1)에 代入하면

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{10^{15}} \frac{dI}{dt_p} \right) &= -2.9 \times 10^{-5} \left(\frac{I}{10^{15}} \right) \\ &+ 2.32 \times 10^{-3} \left(\frac{\phi}{10^{13}} \right) \cdot 10^{13} \cdot \frac{1}{10^{15}} \\ \left(\frac{1}{10^{15}} \frac{dI}{dt_c} \right) &= -1.043 \left(\frac{I}{10^{15}} \right) + 0.835 \left(\frac{\phi}{10^{13}} \right) \\ \frac{dV_i}{dt_c} &= -1.043 V_i + 0.835 V_\phi \end{aligned} \quad (\text{III}-3)$$

여기서 t_p, t_c 는 各各 問題時間과 演算時間이며 V_i, V_ϕ 는 I^{135} 의 密度와 熱中子束을 演算器의 出力電壓으로 轉換한 값이다.

式(III-2)에 代入하면

$$\begin{aligned} \left(20 \frac{dP}{dt_p} \right) &= -2.1 \times 10^{-5} (20P) + 2.055 \\ &\times 10^{-21} \cdot 20 \left(\frac{\phi}{10^{13}} \right) \cdot 10^{13} - 3.5 \times 10^{-18} (20P) \left(\frac{\phi}{10^{13}} \right) \cdot 10^{13} \\ \left(20 \frac{dP}{dt_c} \right) &= -0.756 (20P) + 1.48 \left(\frac{I}{10^{15}} \right) \end{aligned}$$

$$+ 0.0634 \left(\frac{\phi}{10^{13}} \right) - 1.26 (20P) \left(\frac{\phi}{10^{13}} \right)$$

$$\frac{dV_p}{dt_c} = -0.756 V_p + 1.48 V_i + 0.0634 V_\phi - 1.26 V_p V_\phi \quad (\text{III}-4)$$

表 2. 그림 1에 대한 演算 素子

演算器 番號	係數 사이의 關係	演算素子 ($R: M\Omega$) 의 值 ($C: \mu F$)
1	$\frac{a_1}{R_1 C_1} = 0.835$	$a_1: 0.835$ $R_1: 1.0$ $C_1: 1.0$
	$\frac{a_2}{R_2 C_1} = 1.043$	$a_2: 0.5265$ $R_2: 0.5$ $C_1: 1.0$
2	$\frac{a^3}{R_3 C_3} = 1.48$	$a_3: 0.74$ $R_3: 0.5$ $C_3: 1.0$
	$\frac{a_5 a_6}{R_4 \cdot C_3} = 0.0634$	$a_5: 0.634$ $a_6: 0.1$ $R_4: 1.0$ $C_3: 1.0$
	$\frac{1}{R_5 C_3} = 20$	$R_5: 0.05$ $C_3: 1.0$
	$\frac{a_4}{R_6 C_3} = 0.756$	$a_4: 0.756$ $R_6: 1.0$ $C_3: 1.0$
3	$\frac{R_8}{R_7} = 1.0$	$R_7: 1.0$ $R_8: 1.0$
4	$\frac{a_7 \cdot R_{10}}{R_9} = 6.3$	$a_7: 0.63$ $R_9: 0.1$ $R_{10}: 1.0$

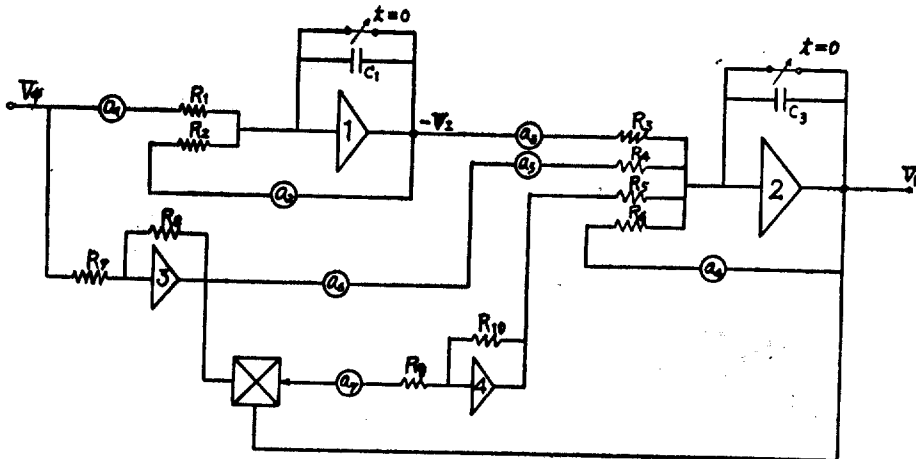


그림 1. 原子爐 運轉中 simulator의 接續圖

여기서 V_p 는 毒作用 P 를 演算器 出力으로 換算한 것이다.

式(III-3)과 式(III-4)의 計算機 方程式을 演算回路로 表示한 것이 그림 1이다.

各 演算 素子는 表 2에 주어져 있다.

B. 原子爐 停止後 Simulator의 構成

原子爐 停止後에는 Xe^{135} 密度의 增加가 豫想되므로 ϕ 의 값을 10^{15} 束數/cm²·sec로 놓고 스케일링을 行하면 ϕ 의 값 10^{11} 束數/cm²·sec에 該當하는 毒作用은 微少電壓으로 되어 記錄이 困難하므로 ϕ 의 값 2.5×10^{14} 束數/cm²·sec를 最大値로 잡는것 以外에는 原子爐 運轉中에서와 같은 方法으로 다음과 같이 스케일 因子를 擇한다.

- $\alpha_i = 5 \times 10^{-15}$
- $\alpha_p = 10^2$
- $\alpha_i(0) = 5 \times 10^{-15}$
- $\alpha_p(0) = 10^2$
- $\alpha_\phi = 4 \times 10^{-13}$
- $\alpha_i = 1/3.6 \times 10^4$

여기서 $\alpha_i(0)$ 와 $\alpha_p(0)$ 는 各各 原子爐 停止後 I^{135} 密度의 初期値와 毒作用 P 의 初期値를 演算器의 出力으로 換算한 값이다.

이들 各 變數의 스케일 因子를 式(III-10), 式(III-12), 式(III-14) 및 式(III-15)에 代入하여 計算機 方程式을 誘導하면 다음과 같다.

먼저 式(III-10)에 代入하면

$$\left(\frac{5}{10^{15}} \frac{dI}{dt}\right) = -2.9 \times 10^{-5} \left(-\frac{5}{10^{15}} I\right)$$

$$\left(-\frac{5}{10^{15}} \frac{dI}{dt}\right) = -1.043 \left(-\frac{5}{10^{15}} I\right)$$

$$\frac{dV_i}{dt_c} = -1.043 V_i \quad (III-5)$$

式(III-15)에 代入하면

$$\left(10^2 \frac{dP}{dt_p}\right) = -2.1 \times 10^5 (10^2 P)$$

$$+ 2.055 \times 10^{-21} \cdot 10^2 \cdot \left(\frac{5}{10^5} I\right) \cdot \frac{10^{15}}{5}$$

$$\left(10^2 \frac{dP}{dt_c}\right) = -0.756 (10^2 P) + 1.48 \left(-\frac{5}{10^{15}} I\right)$$

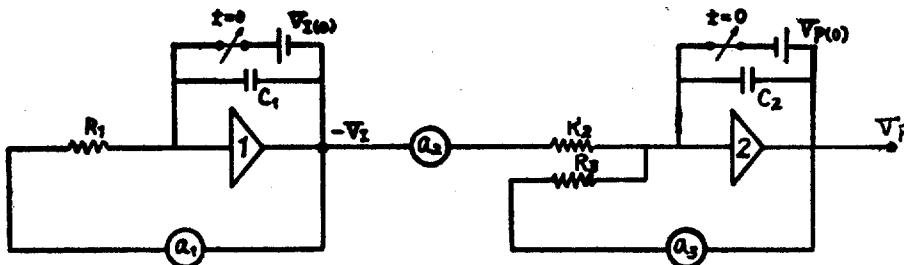


그림 2. 原子爐 停止後 Simulator의 計算機 接續圖

$$\frac{dV_p}{dt_c} = -0.756 V_p + 1.48 V_i \quad (III-6)$$

式(III-12)에 代入하면 I^{135} 密度의 初期値는

$$\left[\frac{5}{10^{15}} I(0)\right] = 80 \cdot \frac{5}{10^{15}} \left(\frac{1}{2.5 \times 10^{12}} \phi\right) \cdot 2.5 \times 10^{12}$$

$$= \left(\frac{1}{2.5 \times 10^{12}} \phi\right)$$

$$V_i(0) = V_p \quad (III-7)$$

式(III-14)에 代入하면 毒作用 P 의 初期値는

$$\left[10^2 P(0)\right] = \frac{10^2 \left(\frac{\phi}{2.5 \times 10^{12}}\right) \cdot 2.5 \times 10^{12} \cdot 1.735 \times 10^{-19}}{2.1 \times 10^{-5} + \left(\frac{\phi}{2.5 \times 10^{12}}\right) \cdot 2.5 \times 10^{12} \cdot 3.5 \times 10^{-18}}$$

$$V_p(0) = \frac{4.34 \times 10^{-5} V_\phi}{2.1 \times 10^{-5} + 8.75 \times 10^{-6} V_\phi} \quad (III-8)$$

로 된다.

式(III-5), 式(III-6), 式(III-7) 및 式(III-8)의 計算機 方程式으로 simulator를 構成하면 그림 2와 같이 되고 各 演算 素子의 값은 表 3과 같다.

表 3. 그림 2에 대한 演算 素子

演算器番號	係數 사이의 關係	演算素子 ($R: M\Omega$ $C: \mu F$)의 值
1	$\frac{a_1}{R_1 C_1} = 1.043$	$a_1: 0.5215$ $R_1: 0.5$ $C_1: 1.0$
	$\frac{a_2}{R_2 C_2} = 1.48$	$a_2: 0.74$ $R_2: 0.5$ $C_2: 1.0$
2	$\frac{a_3}{R_3 C_2} = 0.756$	$a_3: 0.756$ $R_3: 1.0$ $C_2: 1.0$

C. 記錄

1. 原子爐 運轉中

그림 3은 原子爐 運轉中 Xe^{135} 毒作用의 記錄으로서

(a), (b), (c), (d)는 각각

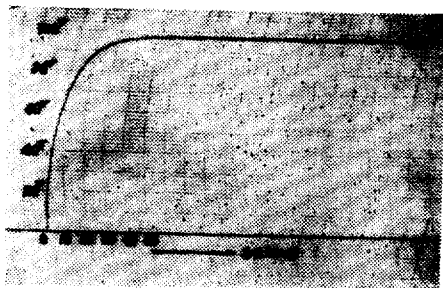
$$\phi = 10^{15} \text{ 束數/cm}^2 \cdot \text{sec.}$$

$$\phi = 2.5 \times 10^{14} \text{ // ,}$$

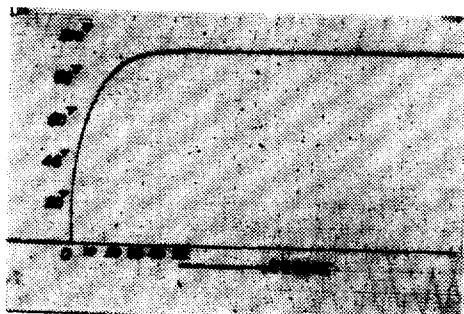
$$\phi = 10^{14} \text{ // ,}$$

$$\phi = 10^{13} \text{ // 인데}$$

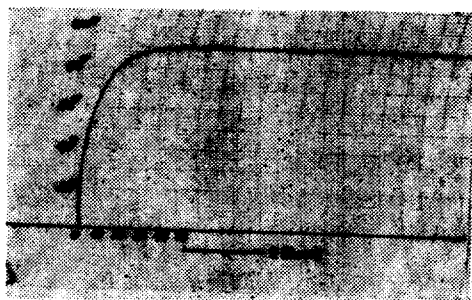
이다.



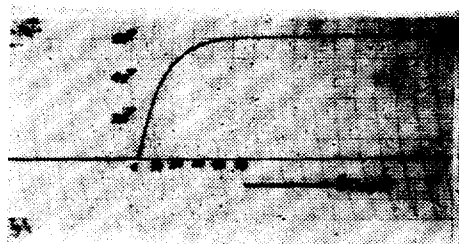
(a) $\phi = 10^{15}$ (運轉中)



(b) $\phi = 2.5 \times 10^{14}$ (運轉中)



(c) $\phi = 10^{14}$ (運轉中)



(d) $\phi = 10^{13}$ (運轉中)

그림 3.

2. 原子爐 停止後

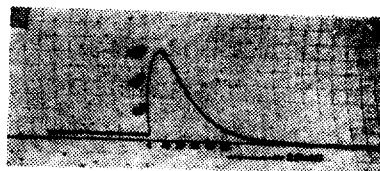
이 때의 記錄은 그림 4 로서

(a), (b), (c)는 각각 $\phi = 2.5 \times 10^{14}$ 束數/cm²·sec,

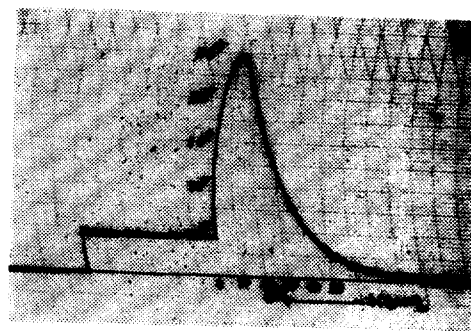
$$\phi = 10^{14} \text{ //}$$

$$\phi = 10^{13} \text{ //}$$

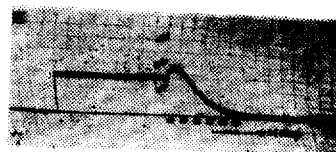
에 대한 것이다.



(a) $\phi = 2.5 \times 10^{14}$ (停止後)



(b) $\phi = 10^{14}$ (停止後)



(c) $\phi = 10^{13}$ (停止後)

그림 4.

4. 結果 檢討

Xe^{135} 와 I^{135} 의 密度에 關한 方程式은 非線型이어서 一般解를 求하기가 어려우므로 熱中性子束 ϕ 를 一定하다고 假定하고 近似值 計算으로 얻은 理論解와 計算解를 比較 檢討한다.

A. 原子爐 運轉中

初期 始動後 任意時間 t 에서의 I^{135} 와 Xe^{135} 의 密度는 式(Ⅱ-2)와 式(Ⅱ-4)에서 初期值를 零으로 놓고 積分

하면 求할 수 있다. 卽 式(II-2)의 兩邊에 積分常數 $e^{\lambda_i t}$ 와 dt 를 곱하고 熱中性子束 ϕ 를 一定하다고 假定하면 다음과 같이 된다.

$$d(Ie^{\lambda_i t}) = \gamma_i \cdot \Sigma_f \cdot \phi \cdot e^{\lambda_i t} dt$$

이 式을 $t=0$ 에서 t 까지 積分하면

$$I(t) = \frac{\gamma_i \Sigma_f \phi}{\lambda_i} (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (IV-1)$$

를 얻는다.

X_e^{135} 에 對해서는 式(II-4)를 整理하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{dX}{dt} + \lambda'_x X = \lambda_i I + \gamma_x \Sigma_f \phi \quad (IV-2)$$

兩邊에 積分常數 $e^{\lambda'_x t}$ 와 dt 를 곱하고 熱中性子束 ϕ 를 一定하다고 假定하면 다음과 같이 된다.⁴⁾

$$d(X \cdot e^{\lambda'_x t}) = (\lambda_i \cdot I + \gamma_x \Sigma_f \phi) e^{\lambda'_x t} dt$$

여기서 $\Sigma_f \phi$ 는 一定하므로 $t=0$ 에서 부터 t 까지 積分하면

$$X(t) = e^{-\lambda'_x t} \left[\int_0^t (\lambda_i \cdot I + \gamma_x \Sigma_f \phi) e^{\lambda'_x t} dt \right] \quad (IV-3)$$

$$= \gamma_x \Sigma_f \phi \left(\frac{1 - e^{-\lambda'_x t}}{\lambda'_x} + \frac{e^{-\lambda'_x t} - e^{-\lambda_i t}}{\lambda'_x - \lambda_i} \right) + \frac{\gamma_x \Sigma_f \phi}{\lambda'_x} (1 - e^{-\lambda'_x t})$$

$$= X_0 (1 - e^{-\lambda'_x t}) + \frac{\lambda_i I_0}{\lambda'_x - \lambda_i} (e^{-\lambda'_x t} - e^{-\lambda_i t}) \quad (IV-4)$$

로 된다.

式(IV-4)에 式(II-5) 및 式(II-3), 代(II-6)을 代入 整理하면 다음의 式(IV-5)에서 始動後 任意時間 t 에서의 毒作用을 얻는다.

$$P(t) = \frac{\Sigma_f}{\Sigma_n} \sigma_x \phi \left[\frac{(\gamma_i + \gamma_x)}{\lambda'_x} (1 - e^{-\lambda'_x t}) + \frac{\gamma_i}{\lambda'_x - \lambda_i} (e^{-\lambda'_x t} - e^{-\lambda_i t}) \right] \quad (IV-5)$$

이 結果는 그림 5와 같이 되며 計算機 解 曲線과 比較한 것이 그림 6이다.

全體 平均 誤差는 0.4387%로서 거의 理論解와 一致하였다.

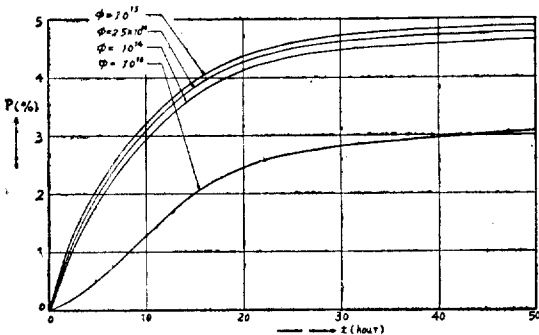
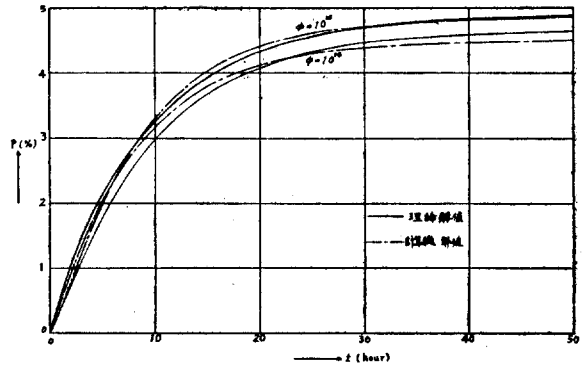
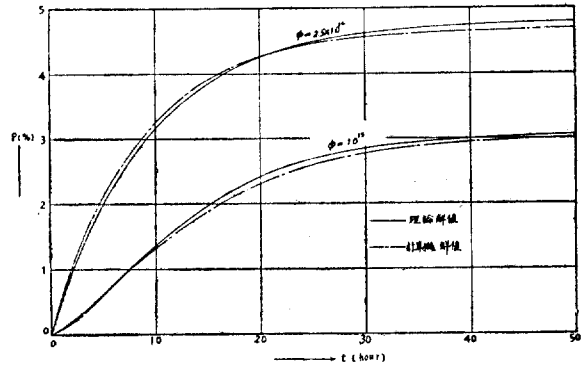


그림 5. 原子爐 運轉中의 毒作用 理論曲線



(a) 原子爐 運轉中 毒作用의 計算機解와 理論解와의 比較



(b) 原子爐 運轉中 毒作用의 計算機解와 理論解와의 比較

그림 6.

B. 原子爐 停止後

原子爐 停止後의 毒作用은 式(IV-3)에 初期值 $X(0)$ 를 挿入하면 다음 式으로 된다.

$$X(t) = e^{-\lambda'_x t} \left[\int_0^t \lambda_i I e^{\lambda'_x t} dt + X_0 \right] \quad (IV-6)$$

式(II-10)으로 부터 I 를 求하면

$$I = I_0 e^{-\lambda_i t} \quad (IV-7)$$

로 된다. 式(IV-7)를 式(IV-6)에 代入 整理하면 다음과 같이 된다.

$$X(t) = \frac{\lambda_i}{\lambda_x - \lambda_i} I(0) (e^{-\lambda'_x t} - e^{-\lambda_i t}) + X(0) e^{-\lambda'_x t} \quad (IV-8)$$

右邊 第1項은 原子爐 停止後 I^{135} 의 崩壞에 따르는 X_e^{135} 의 崩壞量이고 第2項은 原子爐 停止時 原子爐 內部에 存在하던 X_e^{135} 의 崩壞量을 나타낸다.

式(IV-8)에 式(II-6), 式(II-12), 式(II-13)을 代入 整理하면 다음과 같이 된다.

$$P(t) = \frac{\sum f}{\sum u} \cdot \frac{\sigma_x \cdot \gamma_i}{\lambda_x - \lambda_i} \phi (e^{-\lambda_i t} - e^{-\lambda_x t}) + \frac{\sum f}{\sum u} \frac{\sigma_x (\gamma_i + \gamma_x)}{\lambda_x'} \phi e^{-\lambda_x t} \quad (IV-9)$$

式(IV-9)를 graph로 나타내면 그림 7과 같다.

그림 7의 計算機解 曲線에서 보면 中性子束이 10^{13} 束數/cm²·sec 以下인 境遇에는 毒作用의 增加는 거의 無視할 程度이지만 中性子束이 높아지면 毒作用은 重要하게 된다. 即 中性子束이 2.5×10^{14} 束數/cm²·sec 인 境遇에는 原子爐 停止後 大略 11時間後에 生기는 最大 毒作用은 0.638 로서 原子爐 運轉中의 毒作用 0.0377 과 比較하면 거의 19 倍로 된다. 中性子束이 10^{15} 束數/cm²·sec 일때에는 Xe¹³⁵의 最大 毒作用이 約 2.0로 된다. 이 값은 너무 커서 原子爐 停止後 數時間 혹은 數日 以內에 再稼動이 實際적으로 不可能하게 된다. 또한 反應度의

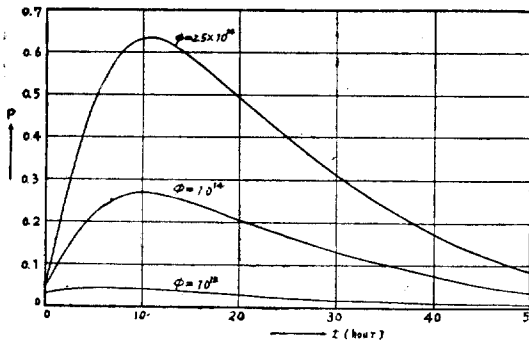


그림 7. 原子爐 停止後의 毒作用 理論曲線

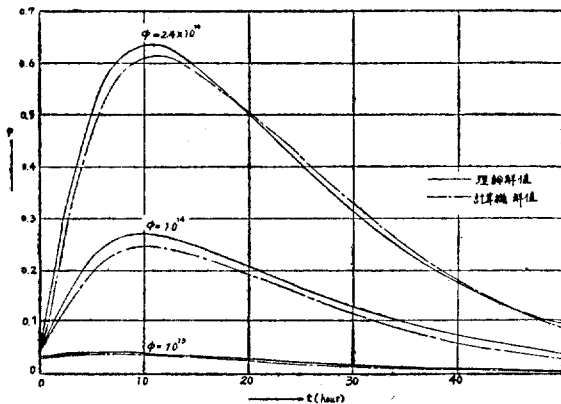


그림 8. 原子爐 停止後 毒作用의 計算機解와 理論解의 比較

減少는 毒作用의 增加와 거의 一致하므로 高中子束 原子爐를 停止한 後 다시 稼動시키려면 燃料를 더 供給하므로서 充分한 超過 反應度를 마련해야 한다.

그림 8은 計算機解 曲線과 理論解 曲線을 比較한 것이다. 全體 誤差는 6.7%인데 이것은 熱中子束 ϕ 의 값에 따라서 定해지는 初期條件 $V_i(0)$ 와 $V_p(0)$ 의 電壓值가 작아서 100 V 定格 電源으로는 리플(ripple)이 發生하고 작은 應答을 記錄하기 爲하여 記錄計의 前段 增幅器의 利得을 올렸기 때문이라고 생각된다.

5. 結 論

原子爐 動特性에 큰 影響을 미치는 Xe¹³⁵의 毒作用을 相似型 電子計算機를 利用하여 解析하였고 理論值와 거의 一致하는 解를 求할 수 있었다. 今後에는 原子爐 動特性에 影響을 미치는 또 하나의 要素인 溫度效果를 解析하고 또 Xe¹³⁵의 毒作用과 溫度效果를 歸還시켜 完全한 原子爐 動特性 Simulator 를 構成할 豫定이다.

6. 謝 意

本 研究는 原子力院 研究補助費와 United Board for Christian Higher Education in Asia 의 研究補助費에 依하여 이루어진 것으로 原子力院과 United Board 當局에 對하여 깊은 謝意를 表한다.

또 貴重한 記錄器를 貸與하여 주신 延世大學校 醫科大學 李炳熙, 洪馮基 兩教授에게도 深甚한 謝意를 表한다.

參 考 文 獻

1. 韓萬春, 李柱根 :
原子爐 動特性 Simulator 에 關한 考察(第1報)
大韓電氣學誌 第12輯, p.p. 1~4, 1963年 12月
2. 韓萬春 : 延世 101 Analog Computer, 延世大學校八十週年紀念論文集, 自然科學編, 1965年 5月
3. Samuel Glasstone:
Principle of Nuclear Reactor Engineering, D. Van Nostrand Co. Inc. p.p. 261~269, 1960
4. William Ted Martin and Eric Reissner:
Elementary Differential Equations, Addison-Wesley Publishing Co. Inc, p.p. 40, 1956
(1965年 11月 11日 授受)