

2溫度 FEED BACK을 가진 原子爐의 安定度에 對하여

朴 進 吉

On the relative stability of a nuclear reactor with two feedback paths of temperature

Park Jingil

目 次	
要 約	2-1-2) 原子爐의 Block Diagram
記號說明	2-2) 根軌跡과 安定度
1. 序 論	2-2-1) 特性方程式의 根軌跡
2. 本 論	2-2-2) 安定度分析
2-1) 原子爐의 傳達函數과 Block Diagram	3. 結 論
2-1-1) 運轉中인 原子爐의 傳達函數	參考文獻

Abstract

The root-locus method has many merits compared with other methods such as the Nyquist vector diagram and Routh-Hurwitz criterion in analysis of a transient characteristics of feed back systems.

In this paper, the relative stability of a nuclear reactor with changing parameters is examined by the root-locus method.

We found that a nuclear reactor is rather stabler at large gain and time constant of feed back transfer function than at small gain and time constant from the root loci of solutions obtained by the digital computer.

記號說明

- β : 遲發中性子の 生成比率
- l : 中性子の 生成時間(sec)
- λ : 遲發中性子の 崩壞定數(n/sec)
- ρ : 反應度
- P : 核燃料의 單位體積當出力(kw/cm³)
- T_f : 核燃料의 時定數(sec)

- T_m : 減速材의 時定數(sec)
- H_f : 核燃料의 溫度 feed back 傳達函數의 利得
- H_m : 減速材의 溫度 feed back 傳達函數의 利得

1. 序 論

Nyquist 線圖, Routh-Hurwitz의 條件등에 依한 原子爐의 安定性에 關한 論文은 많이 發表 되 었으나¹⁻⁴⁾, 根軌跡法에 依하여 安定性을 研究한 論文은 찾기 힘들다. 이는 特性方程式이 四次以上이 면 解析的인 方法으로는 根을 求할 수 없고 또 大部分 工學系統에서 取扱하는 것은 次數가 높기 때 문인것으로 생각된다. 그러나 根軌跡은 安定性의 判別이 지극히 容易하고 根만 求하면 理論的으로 過渡解를 計算할 수 있고, 振動의 경우 振幅의 減衰度, 周期등을 알수 있는 長點들이 있다.⁵⁻⁶⁾

本論文에서는 2溫度 feed back을 가진 原子爐에서 時定數와 利得이 變할 때, 여러 出力에서 五次 의 特性方程式의 根들을 Newton-Raphson 方法에 依하여 電子計算機로 求하고 그 代表根의 軌跡 으로 부터 運轉中인 原子爐의 安定度를 分析해 보고져 한다.

2. 本 論

2-1 原子爐의 傳達函數와 Block Diagram

2-1-1 運轉中인 原子爐의 傳達函數

遲發中性子를 모두 考慮했을 경우 原子爐의 傳達函數는 (1)式과 같다.⁷⁾

$$G_R(s) = \frac{\delta P(s)}{\delta \rho(s)} = \frac{P_0}{1s + \beta - \rho_0 - \sum_{i=1}^6 \frac{\lambda_i \beta_i}{s + \lambda_i}} \dots\dots\dots(1)$$

6群의 遲發性原子를 2 群近似 시킬 경우 (1)式은 (2)式과 같이 된다.

$$G_R(s) = \frac{\delta P(s)}{\delta \rho(s)} = \frac{P_0(s + \lambda_1)(s + \lambda_2)}{(1s + \beta - \rho_0)(s + \lambda_1)(s + \lambda_2) - \{(s + \lambda_2)\lambda_1\beta_1 + (s + \lambda_1)\lambda_2\beta_2\}} \dots\dots\dots(2)$$

原子爐의 核燃料과 減速材의 溫度變化에 對한 feed back 傳達函數는 아래와 같다.⁷⁾

$$G_F(s) = \frac{\delta \rho_F(s)}{\delta P(s)} = \frac{H_f}{T_f s + 1} \dots\dots\dots(3)$$

$$G_M(s) = \frac{\delta \rho_M(s)}{\delta P(s)} = \frac{H_m}{T_m s + 1} \dots\dots\dots(4)$$

2-1-2 原子爐의 Block Diagram

위 (1)~(4)式에 依하여 運轉中인 原子爐의 Block Diagram을 그리면 그림 · 1과 같다.

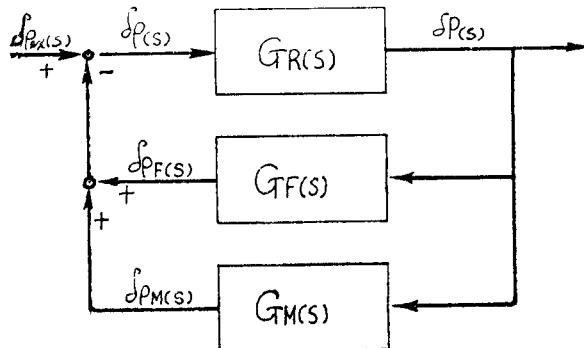
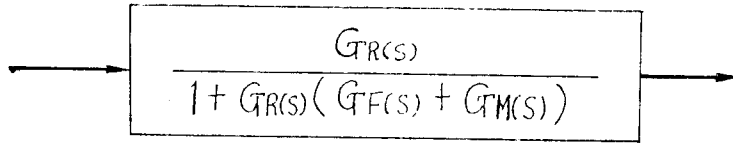


그림 · 1 運轉中인 原子爐의 Block Diagram

위 Block Diagram를 간략히 하기 위하여 等價變換하면 運轉中인 原子爐의 傳達函數는 (5)식과 같이 되고, 이를 Block Diagram으로 表示하면 그림·2와 같아진다.

$$\frac{\delta P(s)}{\delta \rho_{ex}(s)} = \frac{G_R(s)}{1 + G_R(s) \{G_F(s) + G_M(s)\}} \dots\dots\dots (5)$$



그림·2 等價變換한 후의 原子爐의 Block Diagram

(5)式에 (1)~(4)式을 代入하여 이를 整理하면 (6)式과 같이 된다.

$$\frac{\delta P(s)}{\delta \rho_{ex}(s)} = \frac{P_0(s + \lambda_1)(s + \lambda_2)(T_f s + 1)(T_m s + 1)}{AS^5 + BS^4 + CS^3 + DS^2 + ES + F} \dots\dots\dots (6)$$

여기에서

- A: $T_f T_m l$
- B: $[(\lambda_1 + \lambda_2)l + \beta - \rho_0] T_f T_m + l(T_m + T_f)$
- C: $[\lambda_1 \lambda_2 l + (\lambda_1 + \lambda_2)(\beta - \rho_0) - (\lambda_1 \beta_1 + \lambda_2 \beta_2)] T_m T_f$
 $+ [(\lambda_1 + \lambda_2)l + (\beta - \rho_0)](T_m + T_f) + l + P_0(H_m T_f + H_f T_m)$
- D: $[\lambda_1 \lambda_2 l + (\lambda_1 + \lambda_2)(\beta - \rho_0) - (\lambda_1 \beta_1 + \lambda_2 \beta_2)](T_m + T_f)$
 $+ (\lambda_1 + \lambda_2)l + (\beta - \rho_0) + P_0(\lambda_1 + \lambda_2)(H_m T_f + H_f T_m)$
 $+ P_0(H_f + H_m)$
- E: $\lambda_1 \lambda_2 l + (\lambda_1 + \lambda_2)(\beta - \rho_0) - (\lambda_1 \beta_1 + \lambda_2 \beta_2)$
 $+ P_0(\lambda_1 + \lambda_2)(H_m + H_f)$
- F: $P_0(\lambda_1 \lambda_2)(H_f + H_m)$

2-2 根軌跡과 安定法

2-2-1 特性方程式의 根軌跡

(6)式의 特性方程式은 (7)式과 같다.

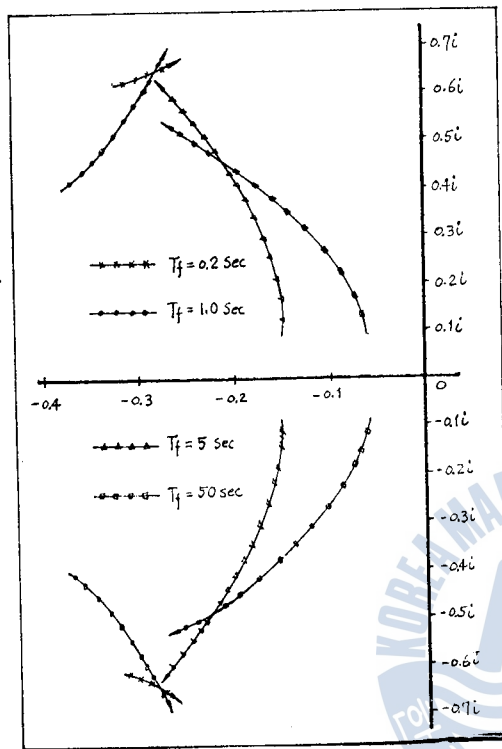
$$AS^5 + BS^4 + CS^3 + DS^2 + ES + F = 0 \dots\dots\dots (7)$$

U-235 4% 濃縮의 核燃料를 使用한 原子爐의 運轉中의 Parameter는 表·1과 같으며⁽⁸⁻⁹⁾ 이들값을 (7)式에 代入하여 時定數, 利得, 出力等이 變化할 경우 電子計算機로 各 特性方程式의 根들을 求하여 代表根들의 軌跡을 그려보면 그림·3 및 그림·4와 같다.

<表·1>

- l: $10^{-7} \sim 10^{-3}$ sec
- β : 6.4×10^{-3}
- P_0 : $0 \sim 3.432 \times 10^2$ kcal/cm³
- H_m : $+1 \times 10^{-2} \sim -1 \times 10^2$ /°C
- H_f : $0 \sim 500 \times 10^{-3}$ /°C
- T_m : 0.5~500 sec
- T_f : 0.1~50 sec

$$\begin{aligned}\lambda_1 + \lambda_2 &: 4.605 \text{ n/sec} \\ \lambda_1 \times \lambda_2 &: 4.34 \times 10^{-5} \\ \lambda_1 \beta_1 + \lambda_2 \beta_2 &: 2.602 \times 10^{-3}\end{aligned}$$

그림 3 T_f, P_0 가 변할 경우 대표根的軌跡

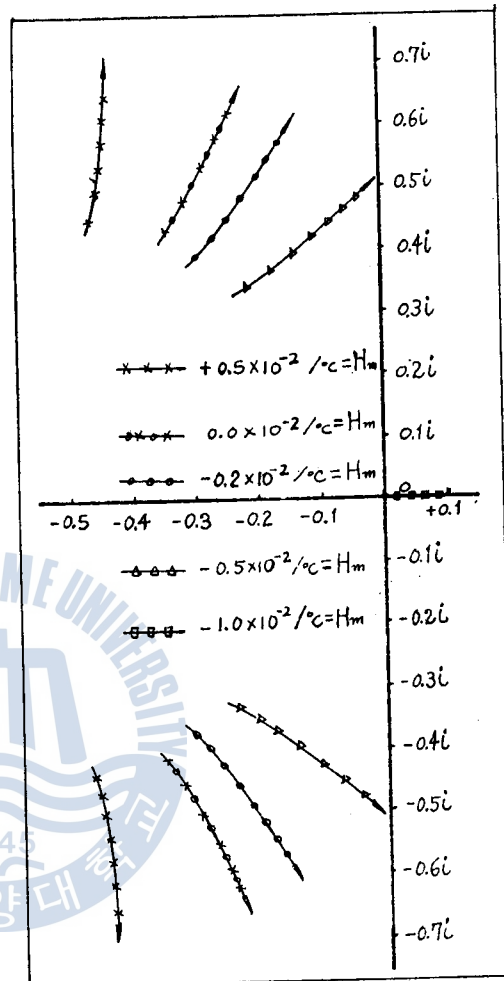
2-2-2 安定度分析

根軌跡에서 實數部는 振動의 減衰率에 虛數部는 振動의 周期에 比例한다. 普通 虛數部와 實數部의 比를 減衰率라 하여 制御系統의 設計에 많이 使用 된다.⁶⁾ 그러나 安定度는 振動의 減衰率에 크게 關係하므로 根軌跡의 實數部に 比例한다.

그림 3은 核燃料의 時定數(T_f)와 爐出力(P_0)가 變할 경우의 代表根의 軌跡으로, 時定數(T_f)가 작은 값일 경우에는 爐出力(P_0)가 增加하면 軌跡은 虛軸에 接近하므로 安定度는 多少減少하나 虛數部는 增大에 므로 振動은 長周期로 되어 危險하지는 않다.

時定數(T_f)가 큰값일 때는 위와 反對로 爐出力(P_0) 增加하면 虛數部 및 實數部가 모두 增加하므로 安定度는 크게 增大한다.

그림 4는 減速材의 溫度 feed back 傳達函數의 利得(H_m)과 爐出力(P_0)이 變動할 경우의 代表根의 軌跡으로 利得이 減少하면 實數部가 작아져서 安定度는 減少하나 虛數部는 增大하므로 振動은 長周期로 되어 크게 危險하지는 않다. 그러나 利得이 큰 陰의 값을 가질 경우에는 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 代表根은 右側으로 移動하여 出力이 增加하면 根이 複素平面의 右側에 存在하여 爐는 不安定하게 되므로 陰의 利得은 갖는 GAS 冷却爐(G.C.R. 혹은 A.G.R)등은 爐運轉에 細心한 注意를 기울여야 한다는 것을 알수 있다. 다음, 같은 實數部에서 虛數部の 값은 利得이 클수록 增大하므로 安定度는 같은 減衰率에서는 長周期의 편이 크다고 볼 수 있으므로 安定度는 利得이 陽의 값일

그림 4 H_m, P_0 가 변할 경우의 代表根의 軌跡

수록 크고 陰의 값일수록 작아진다. 따라서 큰 陽의 利得을 가지고 있는 加壓輕水冷却爐(P. W. R.)는 安定度가 커서 陸上産業用뿐만 아니라 船用으로 많이 使用되고 있다.

3. 結 論

溫度 feed back 傳達函數의 利得과 時定數가 크면 클수록 安定度는 增大하고 작으면 減少한다. 따라서 原子爐設計時 運轉中の 각종 Parameter가 決定되면 制御系統은 可能하면 代表根이 實軸에 接近하고 虛軸으로 부터는 멀리 떨어져서 安定度가 크도록 設計해야 된다.

參 考 文 獻

- 1) J. Chernick "Dependence of reactor kinetics in temperature" B. N. L. -173. 1951.
- 2) H. B. Smets "Stability in large in Heterogeneous power reactors" Bull, Acad. Sci. Belique, 47. 382~405. 1961
- 3) J. Miida & N. Suda "General stability criteria for a nuclear reactor with two feed back paths of Single time constant" Nucl. Sci. & Eng. 11. 55~60, 1961.
- 4) Suda, N & J. Miida "Stability Analysis of control System for British type power reactors." Jaeri -1042. 1963
- 5) I. Elgerd "Control system theory" 196-224 p. 1967, McGraw-Hill
- 6) 河注植 "自動制御工學" 239~224, 1974. 海大海事圖書出版部
- 7) 須田信英 "原子爐の動特性と制御" 215~216, 1969. 同文書院
- 8) M. A. Schultz "Control of nuclear reactors and power plants" 21~23, 1911. McGraw-Hill
- 9) 7)과 同一文獻 101 page

