

原子爐 制御를 爲한 計測裝置 (I)

金 東 勳*

3. 原子爐 制御裝置

1) 原子爐의 動特性

原子制御用 計測回路 및 制御裝置를 理解하기 爲해서 原子爐內의 中性子線束이 爐의 反應度에 따라 時間的으로 어떻게 變하는가를 알 必要가 있다.

1 個의 核分裂에서 平均 2.5 個의 中性子が 放出하는데 그中 다음의 核分裂에 寄與하는 中性子數를 Effective multiplication factor(實効増倍係數) Keff 라고 한다. 그런데 2.5 個의 中性子が 모두 瞬間的으로 放出되는 것은 아니며 約 0.7%의 分裂生成物은 若干 늦어서 放出한다. 이러한 遲發 中性子는 分裂生成物의 半減期에 따라 몇個의 群으로 나누어 지지만 簡單히 하기 爲하여 한 個의 群으로 平均하여 생각하기로 한다. 爐의 中性子線束의 時間的變化와 遲發 中性子の 平衡式은 各各

$$\left. \begin{aligned} \frac{dn}{dt} &= \frac{\delta k - \beta}{l} n + \lambda c \\ \frac{dc}{dt} &= \frac{\beta}{l} n - \lambda c \end{aligned} \right\}$$

로 表示된다. 여기에서 $\delta k = K_{eff} - 1$, l 는 中性子の 平均 壽命, c 와 λ 는 各各 遲發 中性子를 放出하는 分裂生成物의 密度와 崩壞定數, β 는 全放出中性子數에 對한 遲發 中性子の 比이다. 이의 一般解는

$$\frac{n(t)}{n(0)} = \frac{\beta}{\beta - \delta k} e^{\left[\frac{\lambda \delta k}{\beta - \delta k} \right] t} - \frac{\delta k}{\beta - \delta k} e^{-\left[\frac{\beta - \delta k}{l} \right] t}$$

이며 數分之一秒後에는 둘째 項은 無視할 程度가 되며 첫째 項만 남게 된다. 即

$$\frac{n(t)}{n(0)} = \frac{\beta}{\beta - \delta k} e^{\frac{t}{T}} \quad T = \frac{\beta - \delta k}{\lambda \delta k}$$

여기에서 T 를 原子爐의 週期라고 말하며 特別히 둘째 項과 區別하기 爲하여 stable period 라고 부를때도 있다.

그림 15는 $l=10^{-4} \text{ sec}$ 일때 δk 의 step變化에 따른 中性子線束의 時間的變化를 表示한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 出力의 上昇率(週期)은 δk (또는 $\rho = \frac{\delta k}{K_{eff}}$)

Reactivity(反應度)로 表示할 때 도 있다)와 密接한 關係가 있음을 알 수 있다. 反應度 ρ 와 週期와의 關係를 表示한 例를 보면 表 1과 같다.

表 1.

ρ	T
0.001	60
0.003	10
0.007	0.2
0.01	0.04

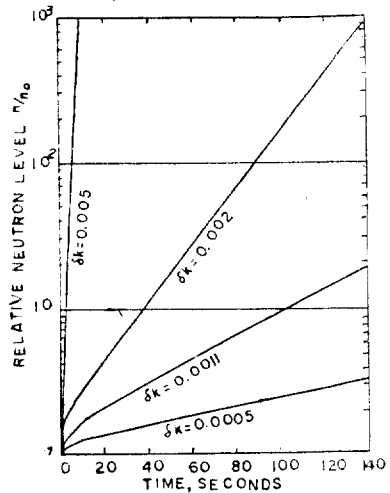


그림 15. δk 段 入力에 對한 爐出力의 時間的 變化

2) 制御裝置

原子爐의 計測裝置에서 얻은 모든 情報는 原子爐의 制御目的에 適時에 利用하지 않으면 안된다. 爐出力은 反應度에 따라 上昇 또는 下降하므로 反應度를 調節하여 出力을 制御하게 된다. 또한 이 反應度の 調節은 制御棒의 位置를 調節하므로써 할 수 있다. 이 出力의 制御뿐만 아니라 表 1에서 보는 바와 같이 反應도가 너무 크면 爐週期가 빨라 미처 制御할 時間餘裕도 없이 爐를 破壞시킬 可能性이 있으므로 適切한 週期로 上昇할 수 있도록 反應度を 調整해야 한다. 따라서 出力과

* 原子力研究所 原子爐工學研究室 · 正會員

週期를 同時에 制御해야 한다.

出力과 週期를 各各 別個의 裝置로 制御할 수도 있으나 그림 16 은 出力과 週期를 同時에 制御하는 例를 表示하였다. 이것을 說明하기 爲하여 몇가지 數字를 利用하기로 한다.

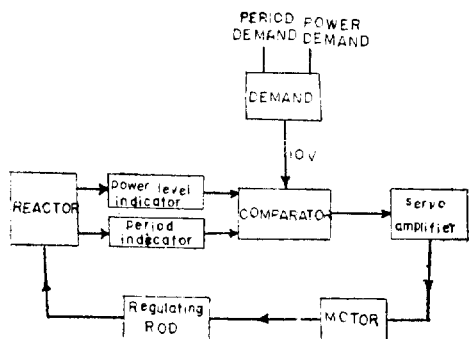


그림 16. 自動制御 裝置의 略圖

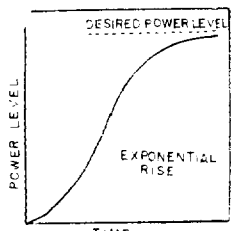


그림 17. 出力의 上昇 모양

Demand 電壓 0~100 V를 full power의 0-100%에 該當하고 週期 ∞ -10 sec 變化를 이 電壓 0-10 V 變化에 該當한다고 假定한다. 따라서 demand가 10 V 라면 이것은 full power의 10%와 同時에 週期 10 sec에 該當하게 된다. Comparator에서 나오는 error 信號가 自動制御裝置를 驅動시켜 制御棒을 움직이게 한다. 低出力인 初期에서는 出力信號는 아주 적어서 無視되며 週期信號만이 自動裝置를 支配한다. 週期信號가 10 V에 該當하는 10 sec가 될때까지 error 信號가 나와 制御棒을 驅動시킨다. 週期信號 10 V가 되면 error는 零으로 되며 驅動은 停止된다. 萬若 10 V가 넘는다면 驅動의 方向은 逆轉되며 制御棒은 爐心으로 挿入하는 方向으로 움직인다. 이렇게하여 10 秒의 週期를 維持하면서 願하는 出力에 接近하면 出力信號가 커져서 이 出力信號와 週期信號를 合成 信號가 comparator에 들어가서 demand 電壓과 比較하게 되므로 error 信號는 制御棒을 挿入하는 方向으로 나오게 될 것이다. 따라서 週期는 길어지며 漸次로 週期信號는 적어져서 出力信號만이 自動裝置를 支配하게 된다. 이렇게 하여 出力은 願하는 處에서 維持하게 된다. 그림 17은 이러한 自動裝置를 使用한 爐出力의 上昇形態를 나타낸 것이다. 하나의 demand

電壓으로서 出力과 週期를 制御할 수 있는 裝置를 magic number system 이라 한다.

3) 安全裝置

原子爐는 다른 普通發電所나 化學工場에서 보다 事故의 規模가 크며 公衆의 安全問題와도 關係가 크므로 이 安全問題는 嚴格히 다루어진다. 따라서 安全裝置는 爐制御에서 重要な 部分으로 다루어 진다. 爐運轉에서 可能的 事故의 主原因은 (1) 過度한 出力 (2) 過度한 짧은 週期 (3) 冷却水循環의 缺陷等이며 其他 計測回路의 缺陷, 運轉士의 不注意나 失手로 因한 事故일 것이다. 爐週期の 限度는 出力이 낮을 때에 더욱 重要하며, 出力의 限度는 높은 出力에서 重要하게 된다. 萬若 爐制御가 困難한 만큼 危險狀態가 된다면 爐는 完全히 shut-down 해야 한다. 爐의 繼續 運轉이 不可能한 경우 強制的으로 完全히 shut-down 시키는 것을 scram 이라 부른다. 原子爐에는 여러個의 scram 裝置가 있으며 危險한 狀態에서 自動적으로 scram 하게 되어 있다.

爐의 shut-down은 普通 制御棒을 잡고 있는 電磁石의 電流를 遮斷하므로써 制御棒을 爐心으로 떨어트리는 것이다. 어느程度로 빨리scram 하는가는 이 裝置의 應答時間에 달려 있으며 10^{-2} 秒以內로 挿入하는 것은 困難할 것이고 普通은 10^{-1} 秒乃至 1 sec가 걸린다고 보아야 한다. 그림 18은 full power의 120%에서 scram 되도록 한 安全裝置에서 0.1 秒의 週기로 上昇할 때의 時間的인 變化를 表示한 것이다.

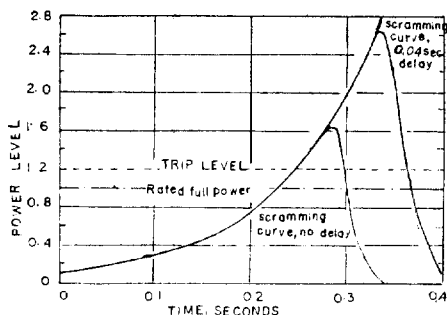


그림 18. Scram 作動後의 爐出力의 時間的 變化.

Scram 裝置의 應答時間: 40 msec, 週期: 0.1 sec

40 msec의 應答時間을 가진 scram 裝置로서도 出力은 250%의 overshoot를 한다.

scram 裝置는 여러가지 回路가 있다. 그림 19는 그중 relay type의 scram 裝置를 代表하는 그림이다. 어느 하나의 scram 信號가 들어와도 電磁石의 電流를 끊는다.

그림 20-a는 電子回路를 利用한 裝置이며 그림 20-b에 表示한 sigma 回路를 여러 channel마다 쓴 것이다. Sigma 回路의 cathode를 다 連結한 것을 sigma

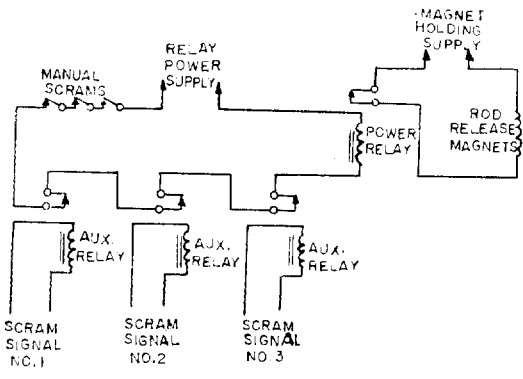
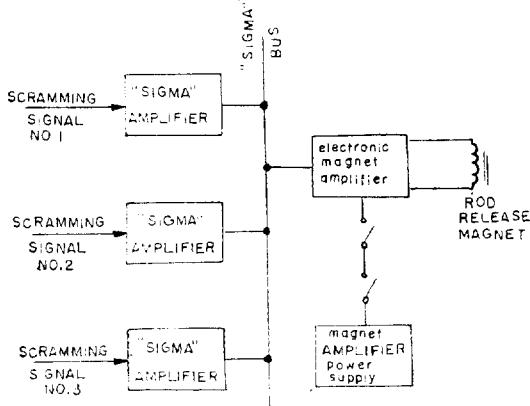
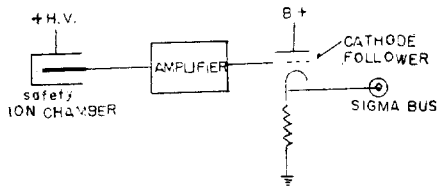


그림 19. Relay 를 利用한 scram 裝置



(a) 電子回路를 利用한 scram 裝置의 略圖



(b) Sigma 回路

그림 20.

bus 라고 한다. 여러 入力中에 하나의 scram 信號가 들어와서 cathode 電壓은 一定하게 變動되며 이 變動은 增幅器를 거쳐 電磁石의 電流를 끊게 한다.

TRIGA 原子爐에는 出力 scram 2 個, 週期 scram 1 個, 中性子檢出器의 H.V. scram 1 個 合計 4 個의 自動

Scram 裝置와 運轉士의 判斷에 의해서 shut-down 시키는 手動 scram 이 있다. 또한 運轉士의 失手나 不注意로 인한 危險狀態를 事前防止하는 方法으로 一定한 起動順序에 依하여 原子爐를 起動시키게끔 interlock system 이 되어 있다.

(1965 年 5 月 4 日 授受)

參 考 文 獻

1. W.J. Price: "Nuclear Radiation Detection" Mc Graw-Hill Book Co. (1958)
2. W.C. Elmore & M. Sands: "Electronics Experimental Techniques," Mc Graw-Hill Book Co. (1949)
3. T.E. Cole: Design of a control system for a low-cost research reactor, nucleonics 11, No. 2 32(1953)
4. J.M. Harrer: controlling a power-producing nuclear reactor, nucleonics 6, No. 3 58(1950)
5. B. Rossi, H. Staub. "Ionization chambers and counters" Mc Graw-Hill Book Co. (1949)
6. W.H. Jordan, P.R. Bell: A general purpose Linear Amplifier Rev. Sci. Instr. 18. 703 (1947)
7. E.H. Cooke-yarborough: Proc. Inst. Elec. Engrs, 98: 191 (1951)
8. TRIGA MARK II Reactor instrumentation maintenance manual. GA-1821 (1960)
9. S. Glasstone: "The principles of Nuclear Reactor Engineering" Mc Graw-Hill Book Co.
10. M.A. Schultz: "Control of Nuclear Reactors and power" plants Mc Graw-Hill Book Co. (1955)
11. R. Stephenson: "Introduction to Nuclear Engineering" Mc Graw-Hill Book Co. (1958)
12. E.J. Wade: Instrument Used with Experimental Reactors "Convention Record of the IRE 1954 National convention" pt. 9. IRE (1954)
13. J.D. Trimmer and W.H. Jordan: Instrumentation and Control of Reactors. Nucleonics, Vol 5. No 22(1951)
14. W.M. Breazeale: The "Swimming Pool" a Low-cost Reactor. Nucleonics, Vol. 10, No. 11(1952)
15. R.V. Moore: The control of a Thermal Neutron Reactor. Proc. Instr. Elec. Engrs. Vol. 100, pt. (1953)