

# 原子爐의 反應度 測定에 關하여

## (Reactivity Measurement of Reactor)

\* 高 丙 俊  
(Koh, Byung Joon)

### 要 約

原子爐에서 急激한 負荷變動은 出力의 偏差를 크게 만드는 要素가 되므로 原子爐 安全制御上 그 限度를 正確히 알 必要가 있는 것이나 實際 原子爐가 可動되고 있을 때는 매우 測定하기 困難한 것이다. 故로 實際로 測定할 수 있는 裝置를 아나로그 計算機로 模倣하여 이 값을 精密히 測定하고 그것이 理論値와 一致됨을 論하였다.

### ABSTRACT

In the reactor control system, it is one of important part to know the accurate reactivity variability in order to keep the safe operation of the reactor which has the high flux neutron density, a short neutron life time and a large sudden reactivity insertion.

For this problem, the reactivity measurement study is described by the analog computing method using the characteristics of the reactor kinetic equation.

### 序 論

1970년에 建立될 Advanced Argonne Research Reactor에 依하여 주어진 諸 parameter를 가지고 그림1-a와 1-b와 같은 block圖를 만들어 75°C<sup>1)</sup>의 反應度 step을 加했을 때 中性子 密度의 目標値와 中性子 密度 (出力)間의 偏差 즉 反應度の 實際와 測定値間의 差를 analog computer로 解析測定하고자 하였다. 이때 加해주는 反應度の 限界値가 적어도 β값보다 훨씬 작아야 되며 또 中性子 수명(ℓ)의 값에 따라 그 差度를 調整할 수 있으나 over-shoot가 發生하는 難點으로 可及의 中性子 수명(ℓ)의 값을 一致시킬 必要가 있는 것이다.

### 理論的 解析

原子爐의 動特性 方程式<sup>2)</sup>은

\* 原子力研究所 電子工學研究室  
Electronic Div. Atomic Energy Research Institute  
接受日存 1967年11月30日

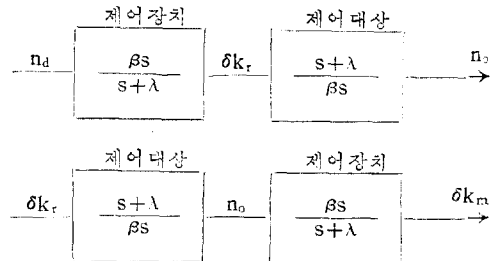


그림1 中性子密度 및 反應度測定을 爲한 block 圖

- n<sub>d</sub>: 中性子密度의 目標値
- n<sub>o</sub>: 中性子密度 (出力)
- δk<sub>r</sub>: 實際反應度
- δk<sub>m</sub>: 測定反應度

$$\frac{dn}{dt} = \frac{\delta k - \beta}{\ell^*} n + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i}{\ell^*} n - \lambda_i C_i \dots\dots\dots (2)$$

로 表示되며 이 式에 依해서 核反應의 傳達函數를 求하면

$$G_R(S) = \frac{1}{\beta} \left( 1 + \frac{\lambda}{S} \right) \dots\dots\dots (3)$$

을 얻게된다. 단 (3)式은 速發中性子が 瞬間의으  
로 全部 지연없이 發生하고 式의 非線型을 近似  
의으로 線型化 시킬수 있다고 가정하였다.

뒷 (3)式을 逆數로 換算하면

$$G_i(\beta) = \frac{1}{G_R(S)} = \frac{\beta S}{S + \lambda} \dots \dots \dots (4)$$

를 얻는다. (3)과 (4)式에 依하여 中性子 密度의  
目標値와 中性子 密度인 出力值間의 關係를 圖  
解하면 그림1과 같이 된다.

그림 1-b에서 中性子 密度의 目標値( $n_a$ )를  
step로 變化시켰을 때 反應度를 計算하면

$$\delta k = \frac{1}{2\pi j} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\beta S}{S + \lambda} \frac{e^{st}}{S} ds = \beta e^{-\lambda t} \dots (5)$$

와 같은 값을 얻게된다. (그림2 참조)

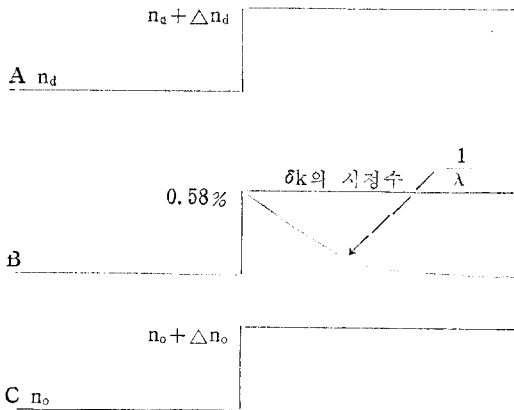


그림2 中性子密度와 그目標値 그리고 反應度의 波形

이때  $\delta k$ 의 時定數는  $\frac{1}{\lambda}$ 로 나타내며 中性子密  
度(出力)  $n_0$ 는  $n_a$ 와 같이 一致됨을 보여준다. 그  
러나 上記 (1) (2)式에서의 非線型을 그대로 고  
려한다면  $n_0$ ,  $n_a$ 間에는 偏差가 생긴다. 지금 原  
子爐의 Steady State 狀態를 고려하면

$$\frac{dn}{dt} = 0, \quad \delta k = 0$$

이기 때문에

$$\sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i = \frac{\beta}{\ell^*} n_0 \dots \dots \dots (6)$$

을 얻는다.

이때 a step 인 75¢의  $\delta k$ 를 原子爐에 印加하면  
原子爐의 n의 variable portion과 steady state로  
나누는 式을 얻게된다. 즉

$$n = n_0 + \delta n \dots \dots \dots (7)$$

따라서 (6), (7)式을 (1)式에 代入하면

$$\begin{aligned} \frac{d(\delta n)}{dt} &= \left( \frac{\delta k - \beta}{\ell^*} \right) (n_0 + \delta n) + \frac{\beta}{\ell^*} n_0 \\ &= \frac{\delta k}{\ell^*} n_0 - \frac{\beta - \delta k}{\ell^*} \delta n \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

이 된다. (8)式을 풀면

$$\begin{aligned} \frac{d(\delta n)}{dt} + \frac{\beta - \delta k}{\ell^*} \delta n &= \frac{\delta k}{\ell^*} n_0 \\ \left( D + \frac{\beta - \delta k}{\ell^*} \right) \delta n &= \frac{\delta k}{\ell^*} n_0 \text{ 여기서 } D = \frac{d}{dt} \end{aligned} \dots \dots \dots (9)$$

단  $\delta k \ll \beta$ 이다.

$$\therefore \delta n = A e^{-\frac{\beta - \delta k}{\ell^*} t} + \frac{\delta k}{\beta - \delta k} n_0 \dots \dots (10)$$

을 얻는다. 여기서 初期條件  $t=0$  일때의 (10)式은

$$0 = A e^0 + \frac{\delta k}{\beta - \delta k} n_0$$

故로

$$A = -\frac{\delta k}{\beta - \delta k} n_0$$

따라서 (10)式은

$$\delta n = \frac{\delta k}{\beta - \delta k} n_0 (1 - e^{-\frac{\beta - \delta k}{\ell^*} t}) \dots \dots (11)$$

이 된다. 따라서 우리가 要求하는 偏差는  $t = \infty$   
일때의  $\delta n$ 의 값이므로 (11)式에서 求하면

$$\delta n |_{t=\infty} = \frac{\delta k}{\beta - \delta k} n_0 \dots \dots \dots (12)$$

와 같다.

이것은 中性子 密度가 最初와 最後에 있어서  
偏差가 있다는 結果이다. 故로 誤差는  $\delta k$ 의 값에  
따라서 定해지며 그 값은 可及的  $\beta$ 보다 훨씬 적  
어야 됨을 알게된다.  $A^2R^2$ 에서는 平均 0.58%  
(=75¢)의 反應度를 取할 수 있었다.

實驗結果 原子爐의 物理的 特性을 나타내고 있  
는 (1)과 (2)式을 가지고 反應度를 實際測定하  
기 爲하여 (15)式과 같이 變形하고 그리고 이를  
Analog Computer (그림 3 참조)로 computing  
하기 爲하여 편의상 各 parameter를 機械的 數  
值로 代置하였다.

$$k_{ex} = \left[ \ell \frac{dn}{dt} + n\beta - \sum_{i=1}^6 \ell \lambda_i C_i \right] \frac{1}{(1-\beta)n} \dots (13)$$

$$k_{ex} = \left[ 10^{-5} \frac{dn}{dt} + 77.76 \times 10^{-4} n - \sum_{i=1}^6 10^{-5} \lambda_i C_i \right]$$



Potentiometer setting

No.	Item	Setting Value	Gain
2	IC <sub>1</sub>	0.205	1
3	IC <sub>2</sub>	0.5573	1
4	IC <sub>3</sub>	0.136	1
5	IC <sub>4</sub>	0.1022	1
6	IC <sub>5</sub>	0.0489	1
7	IC <sub>6</sub>	0.0107	1
22	10 <sup>-3</sup> β <sub>1</sub>	0.0255	1
23	10 <sup>-3</sup> β <sub>2</sub>	0.17	1
24	10 <sup>-3</sup> β <sub>3</sub>	0.152	1
25	10 <sup>-3</sup> β <sub>4</sub>	0.308	1
26	10 <sup>-2</sup> β <sub>5</sub>	0.896	1
27	10 <sup>-2</sup> β <sub>6</sub>	0.325	1
28	λ <sub>1</sub>	0.1244	1
29	λ <sub>2</sub>	0.03051	1
30	λ <sub>3</sub>	0.1114	1
31	λ <sub>4</sub>	0.3014	1
32	λ <sub>5</sub>	0.1136	10
33	λ <sub>6</sub>	0.3014	10

기서 첫째로 制御對象과 制御裝置와의 兩 各 parameter가 같다고 할때 ㉠의 경우 測定 反應 度가 實驗 反應度보다 1.2msec 지연 되었다는 것이고 (사진1 참조) ㉡의 경우 그림 2-B와 相 等한 模樣의 反應度를 얻었음을 알았다. (사진 IV 참조) 그러나 둘째로는 첫째의 實驗과 같은 條 件에서  $l_1$ 의 값을  $2 \times 10^{-5}$ 와  $l_m$ 의 값을  $1 \times 10^{-5}$  로 다르게 條件을 주었을 때를 관찰하여 보았다. 이때는 ㉠의 경우 사진 II와 같이 30mS의 큰 差 位の 지연을 가졌을 뿐 ㉡의 경우는 첫째것과 같 은 現態로 나타났었다. (사진 V 참조) 셋째로는 上記의 경우와 같은 條件에서  $l_1$ 의 값을  $1 \times 10^{-5}$  와  $l_m$ 의 값을  $2 \times 10^{-5}$ 으로 두번째 경우와 反對 로 取하였을 때를 고려하였다. ㉠의 경우는 두 번째 보다 짧은 反應度の 지연(2.5msec) (사진 III)을 가졌으나 over-shoot를 하는 結晶을 보여 주었다. 넷째로는 첫째, 둘째, 셋째의 달리 β<sub>m</sub> (0.00776)과 β<sub>r</sub>(0.8×0.00776)를 差있었다고 할 경우의 反應度の 應答를 觀察하여보았다. 이때 는 사진VI와 같이 너무 크게 그 偏差가 심하게 나타났음을 알았다.

neutron lifetime and delayed neutron의 定 數值

$l = 1 \times 10^{-5}$	$\sum_{i=1}^6 \beta = 7776 \times 10^{-4}$
$\lambda_1 = 0.01244$	$\beta_1 = 2.55 \times 10^{-4}$
$\lambda_2 = 0.03051$	$\beta_2 = 14.00 \times 10^{-4}$
$\lambda_3 = 0.1114$	$\beta_4 = 15.2 \times 10^{-4}$
$\lambda_4 = 0.3014$	$\beta_4 = 30.80 \times 10^{-4}$
$\lambda_5 = 1.136$	$\beta_5 = 8.96 \times 10^{-4}$
$\lambda_6 = 3.014$	$\beta_6 = 3.25 \times 10^{-4}$

그림3은 참고로 그림 1-b에서 보여준 制御裝 置에 해당한 部分만 表示하였다. ㉠의 경우 그림 1-b와 ㉡의 경우 그림 1-a와 같은 System에 있어서 反應度를 75¢ step로 加해 주었고 中性 子 密度가  $10 \frac{\delta n}{n_0}$ 로 變하였다고 가정 하였다. 여

結 論

위에서 記述한 바와 같이 理論과 實驗에 있어 서 反應度の 測定值가 各 parameter를 ㉠의 경 우와 같은 條件에서 取한다면 恒常 작은 偏差를 갖은 反應度を 正確히 測定할수 있음을 알게 되 었고 이 偏差가 萬一 크다고 할경우에는 制御裝 置의 parameter를 調整하면 그 값을 작게 할수 있음을 알았다. 그리고 實際 power의 feed back 되는 反應度を 利用한 逆傳達函數制御를 考慮한 다면 더욱 적은 偏差를 갖는 安全制御를 講究할 수도 있는 것이다.

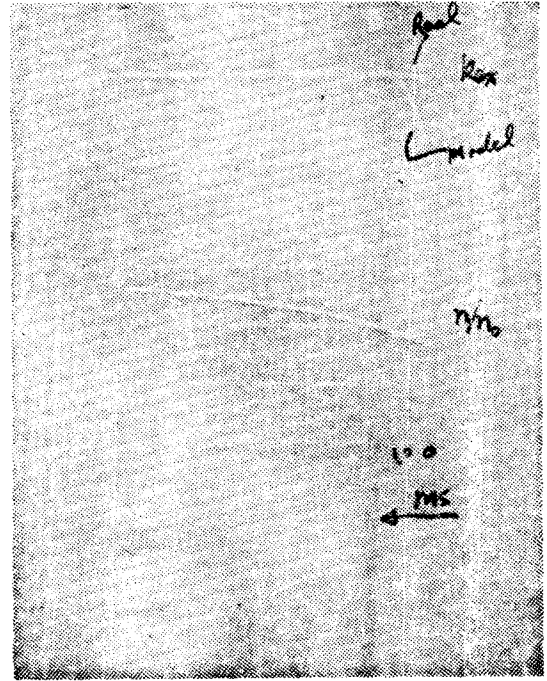
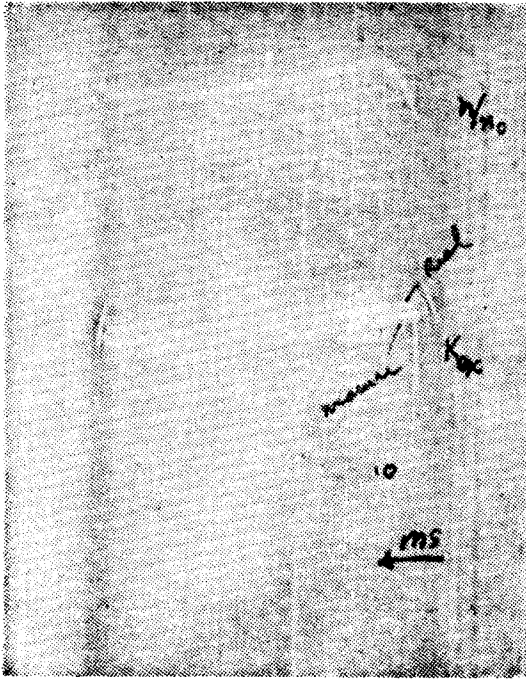


사진 I

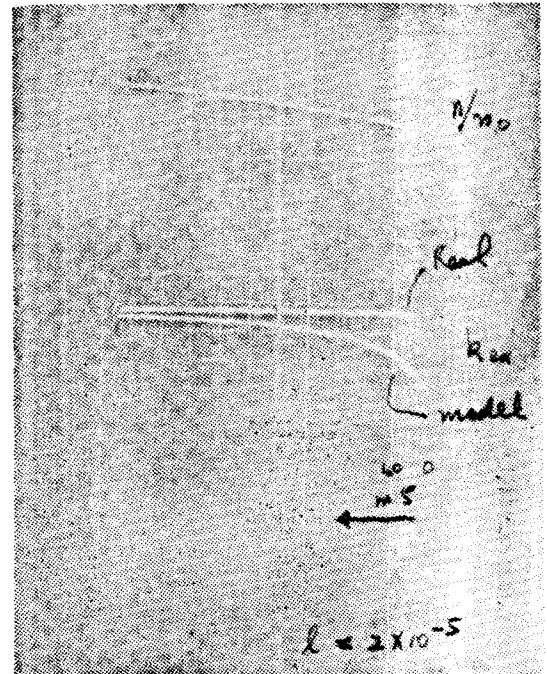
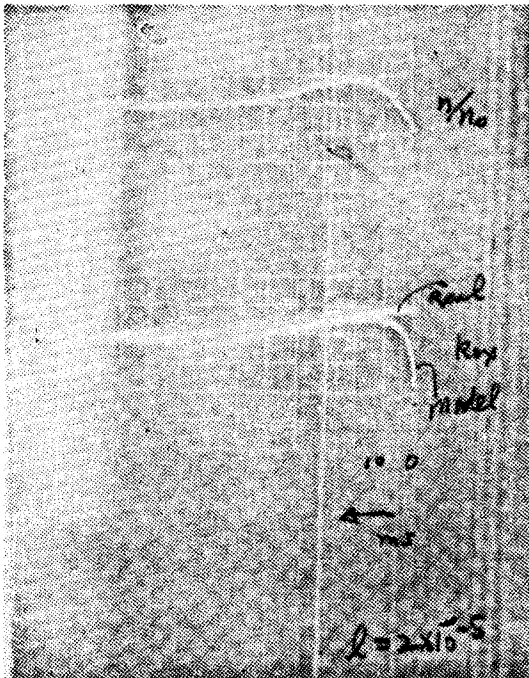
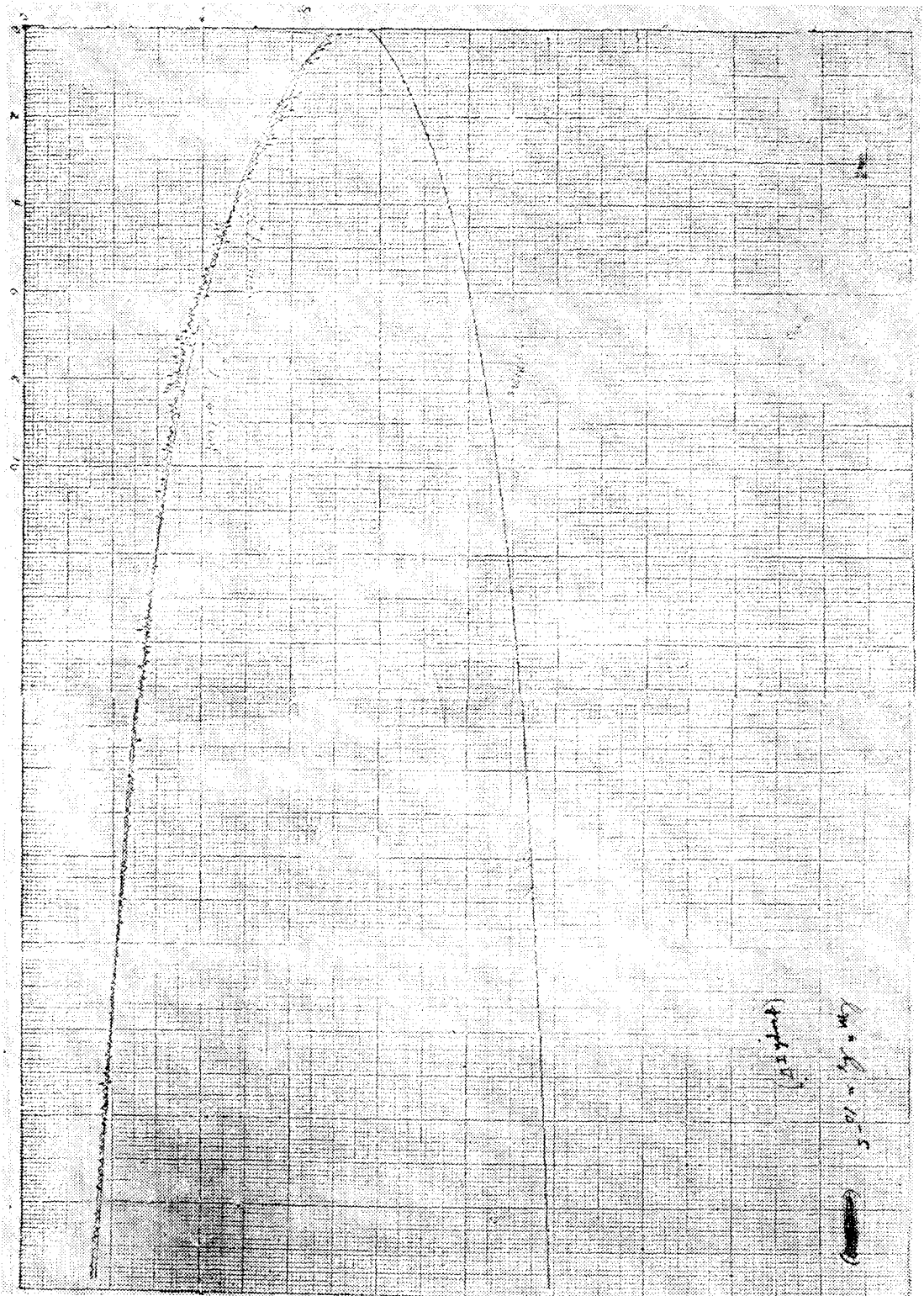
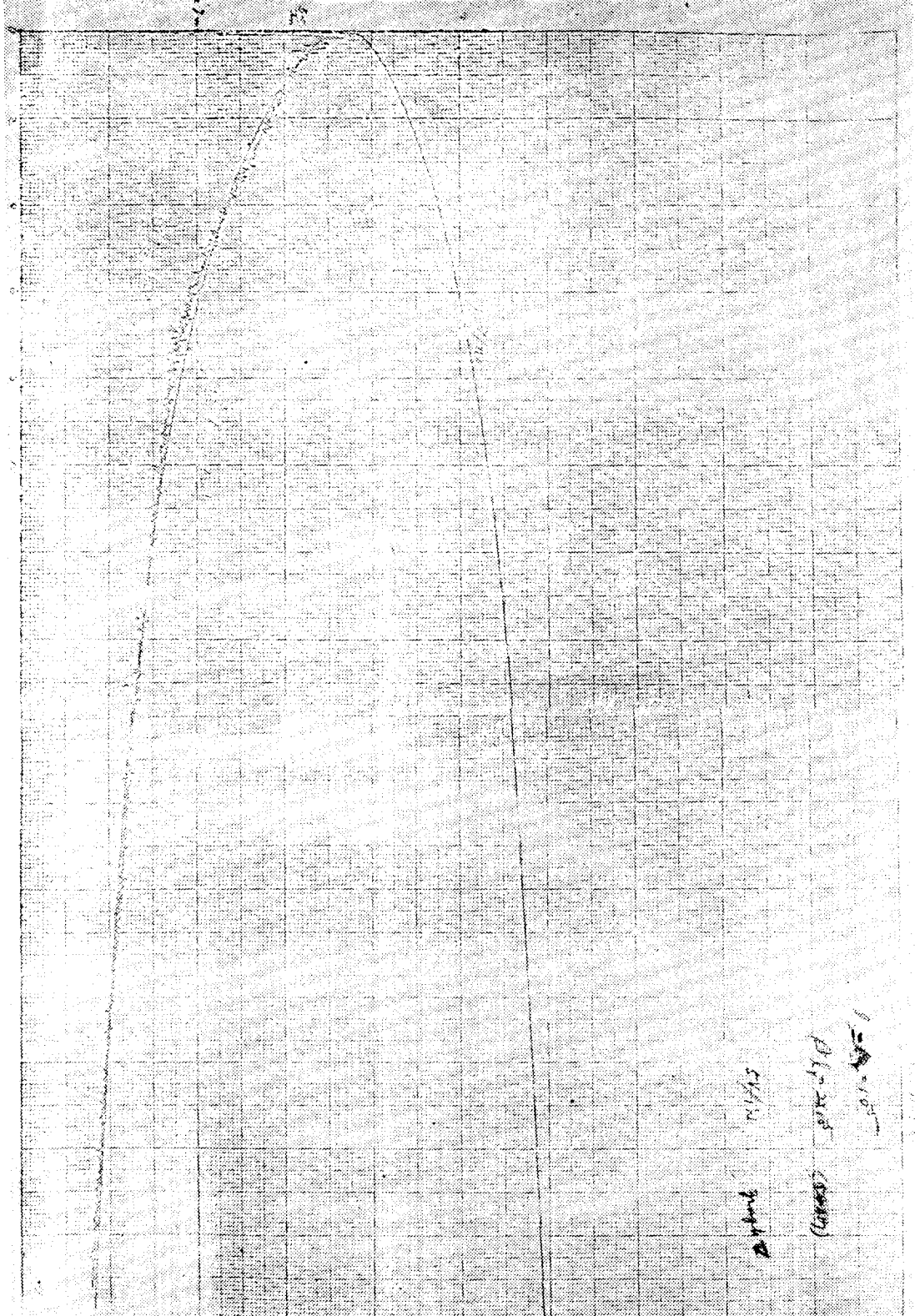


사진 II









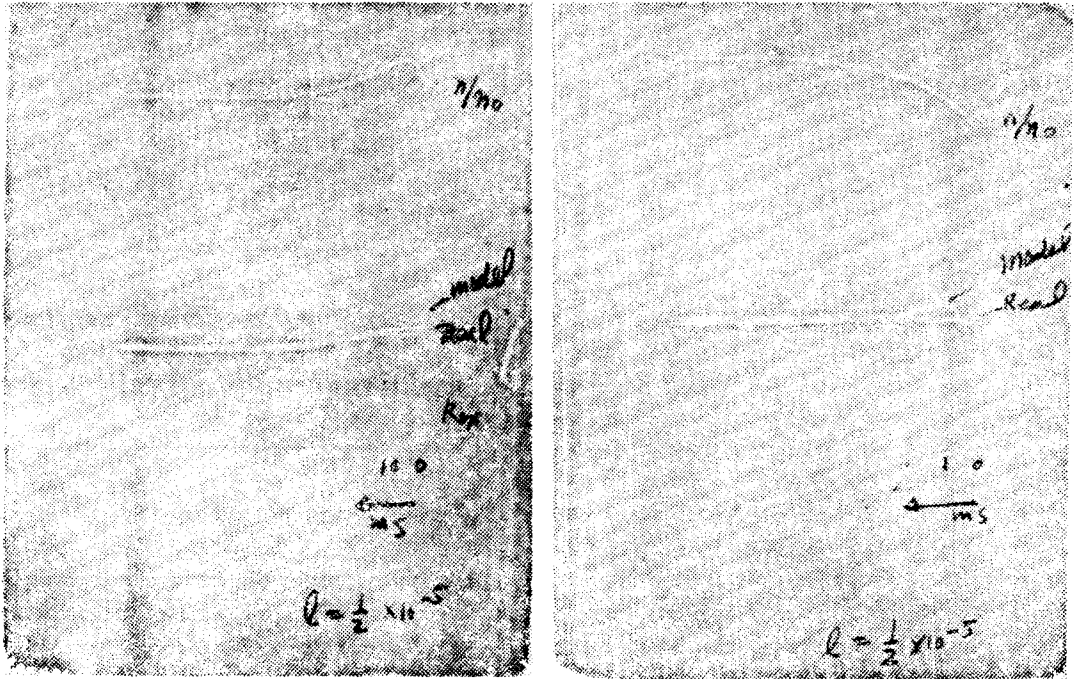


사진 II

- n: total number of neutron density
- $\delta_n$ : total number of neutron density perturbation
- $\beta$ : delayed neutron fraction (total)
- $\beta_m$ : delayed neutron fraction (total) of the simulating reactor
- $\beta_r$ : delayed neutron fraction (total) of the real reactor
- $\beta_i$ : fraction of the delayed neutrons of the  $i^{\text{th}}$  group
- $C_i$ : Neutron precursor concentration of the  $i^{\text{th}}$  type
- $\lambda_i$ : decayed constant for the neutron emitter of the  $i^{\text{th}}$  type
- $\delta_k$ : reactivity
- $R_{ex}$ : excess multiplication factor
- $\ell^*$ : mean effective life time of the neutron

참고 문헌

- 1) Argonne Advanced Research Reactor preliminary safety analysis report, volume 1&2.
- 2) M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants.
- 3) D.K. Cheng. Analysis of linear system.

사용 기기

- 1) Analog computer (pace) except divider (Reac analog computer 550)
- 2) Memo scope type 104
- 3) Recorder type pace
- 4) Digital voltmeter series 5000