บทที่ 5

การคำนวณ

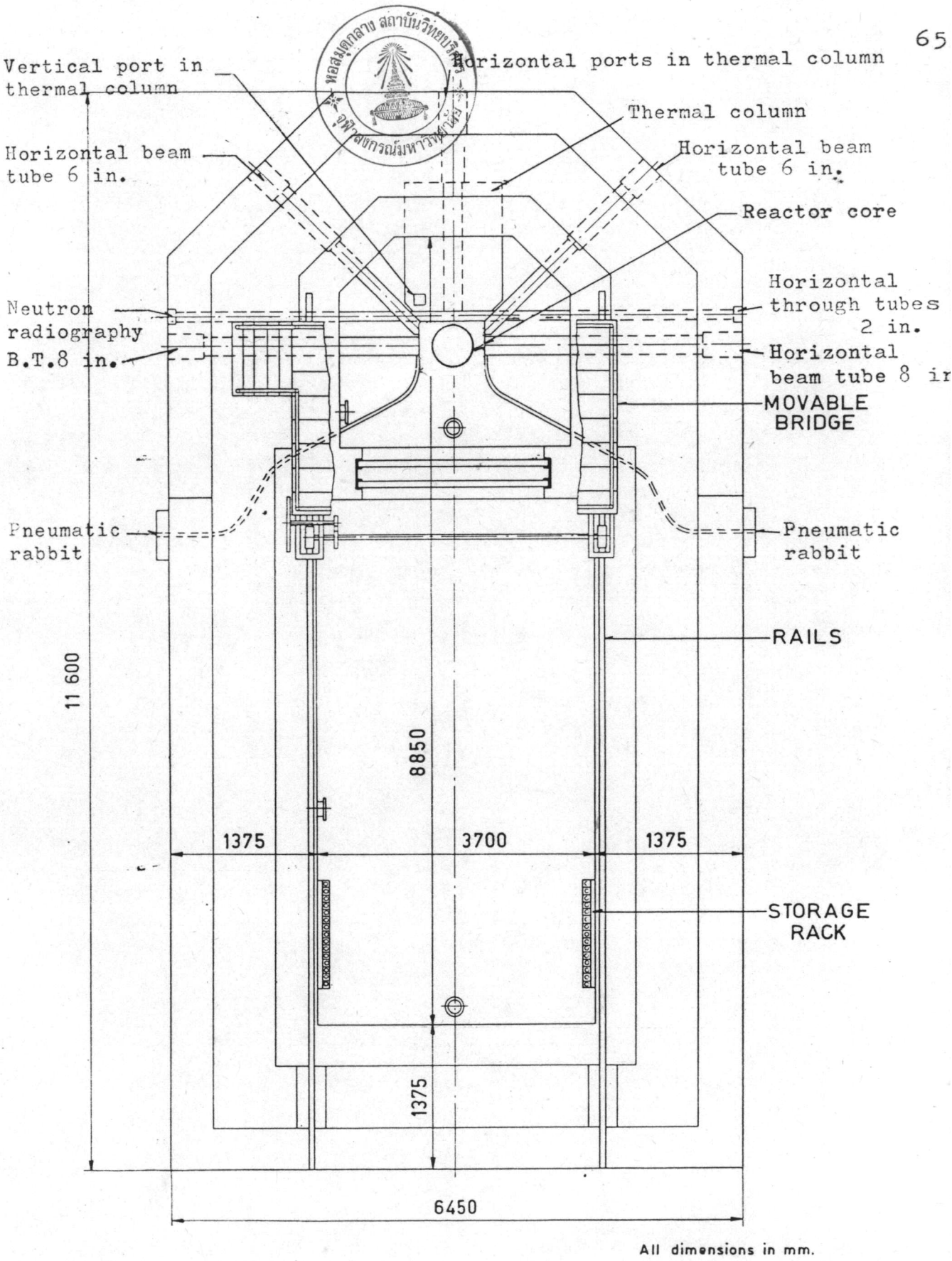
5.1 การคำนวณหาความเข้มของเทอร์มัลนิวตรอนตรงตำแหน่งที่จะใช้ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

จุดประสงค์เพื่อต้องการทราบค่าความเข้มของเทอร์มัลนิวตรอนโดยประมาณ ทั้งนี้เพื่อจะได้เป็นข้อมูลว่าสามารถนำมาใช้ในงานถ่ายภาพด้วยนิวตรอนได้หรือไม่

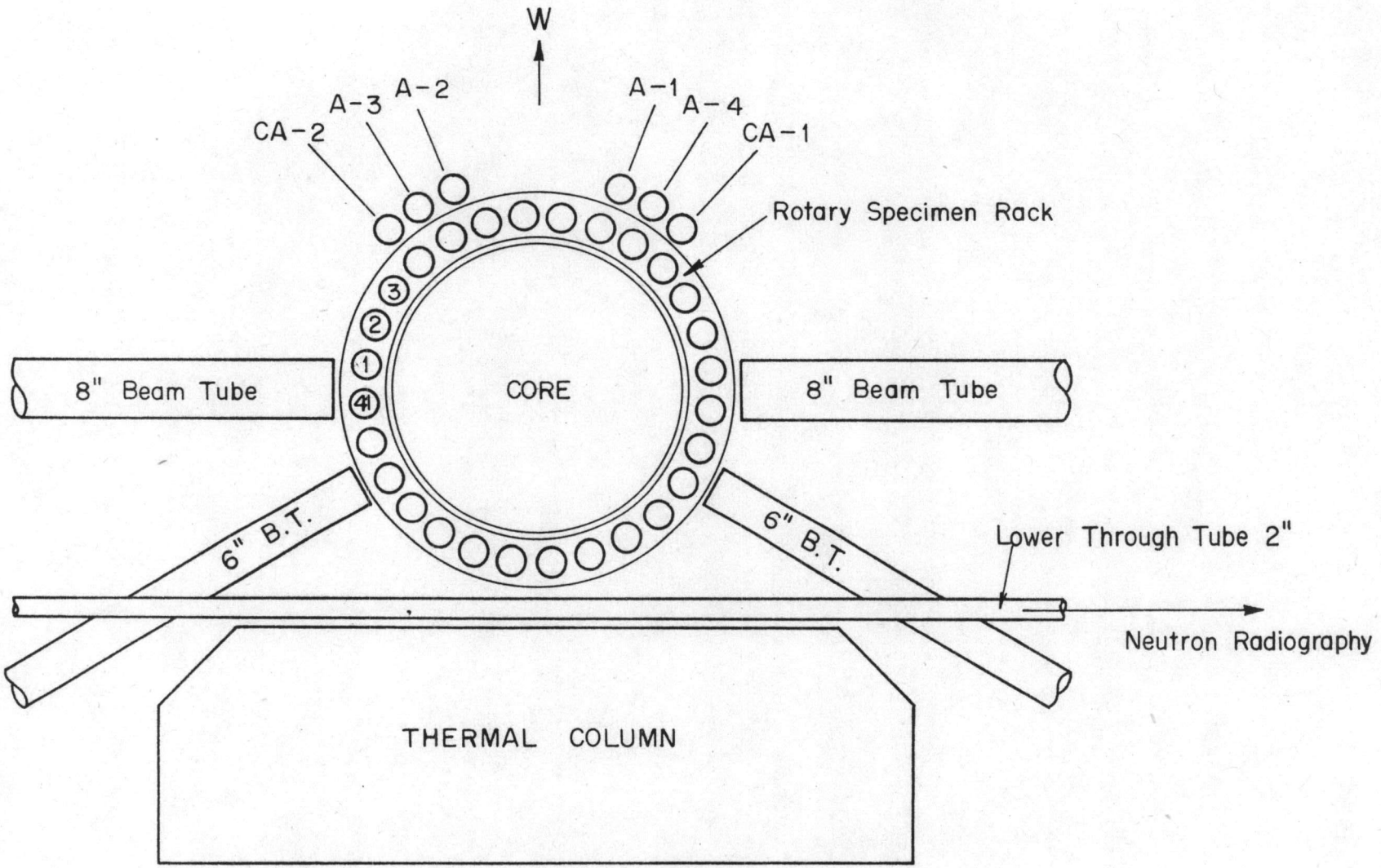
จากการรายงานของอนุกรรมการรักษาความปลอดภัยเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ถึงผลการวัดความเข้มของเทอร์มัลนิวตรอนที่ตำแหน่งต่าง ๆ รอบแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ ขณะที่เครื่องปฏิกรณ์ทำงานที่กำลัง 1000 กิโลวัตต์ แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความเข้มของเทอร์มัลนิวตรอนที่ตำแหน่งต่าง ๆ

อุปกรณ์อาบรังสี	ความเข้มของเทอร์มัลนิวตรอน นิวตรอน/ตารางเซนติเมตร–วินาที
LS no. 31-41	4.166×10^{11}
LS no. 11-22	1.7352×10^{11}
A-1	1.6217×10^{11}
A-4	1.8849×10^{11}
Thermal Column	9.90408×10^{10}



รูปที่ 5.1 แสดงภาพแผนผังของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย 1-ปรับปรุงครั้งที่ 1



รูปที่ 5.2 แกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1 ปรับปรุงครั้งที่ 1 เมื่อเดินเครื่องที่ตำแหน่ง Thermal Column

จะเห็นว่าไม่ได้ทำการวัดความเข้มของเทอร์มัลนิวตรอนตรงตำแหน่งที่ Lower Through Tube ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้ ๆ แกนเครื่องปฏิกรณ์ดูรูป 5.1 และ 5.2 แต่อย่างไรก็ตามดูจากรูปแล้วค่าความเข้มของเทอร์มัลนิวตรอนต้องมากกว่าที่ตำแหน่ง Thermal Column แน่นอน ซึ่งค่าความเข้มน่าจะใช้ค่าจาก A-1 ได้คือ 1.6217×10^{11} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที

การคำนวณเรื่องความเข้มของเทอร์มัลนิวตรอน (neutron intensity) ในกรณีท่อบีบลำนิวตรอนเป็นรูปกรวย สามารถใช้สูตรข้างล่างนี้ (9)

$$J_c = \frac{\phi/16}{\left(L/d_c\right)^2}$$

เมื่อ J_c = ความเข้มของเทอร์มัลนิวตรอนที่จุดถ่ายภาพที่ใช้ collimator เป็นรูปกรวย

ϕ = ความเข้มของเทอร์มัลนิวตรอนจากแหล่งกำเนิด

L = ระยะทางจากแหล่งกำเนิดมายังจุดที่จะทำการถ่ายภาพ 322 ซม.

d_c = เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องที่ใช้เทอร์มัลนิวตรอนออกไปตามท่อ (Circular aperture) = 5.08 ซม.

$$J_c = \frac{1.6217 \times 10^{11}}{16 \times \left(\frac{322}{5.08}\right)^2} = 2.52 \times 10^6 \text{ นิวตรอน/ซม}^2\text{-วินาที}$$

5.2 การคำนวณความเข้มของเทอร์มัลนิวตรอนโดยใช้แผ่นโลหะ

การวัดใช้เทคนิคการอาบรังสีแผ่นโลหะบาง ๆ โดยใช้แผ่นทองเปล่า และแผ่นทองหุ้มแคดเมียม ผลจากการวัดปริมาณรังสีจากทอง-198 สามารถคำนวณหาความเข้มของเทอร์มัลนิวตรอนได้จากสูตร

$$\phi_{th} = \frac{A_{th}}{E\,\sigma_a N(1-e^{-\lambda t})\,e^{-\lambda t}}$$ นิวตรอน ต่อ ซม^2–วินาที

เมื่อ A_{th} = ความแรงของรังสีภายหลังอาบนิวตรอนแล้ว เก็บไว้เป็นเวลา t จึงเริ่มนับ

E = ประสิทธิภาพของเครื่องวัด

σ_a = ค่าพื้นที่ภาคตัดขวางของนิวตรอนในการแอคติวิชัน (Activation Cross Section) มีหน่วยเป็น ซม^2 โดยปกติค่าพื้นที่ภาคตัดขวางมีหน่วยอยู่ในรูปของบาร์น (Barn), 1 บาร์น = 10^{-24} ซม^2

N = จำนวนอะตอมของธาตุก่อนอาบรังสี

$= \frac{mN_o}{M} \cdot f$

m = น้ำหนักทั้งหมดของธาตุที่นำไปอาบรังสี (กรัม)

N_o = ตัวเลขอาโวกาโดร (Avogadro Number) 6.025×10^{23} อะตอม/กรัม–อะตอม

M = น้ำหนักกรัม–อะตอม ของธาตุก่อนอาบรังสี

f = จำนวนไอโซโทปของธาตุก่อนอาบรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ

λ = ค่าคงที่ของการสลายตัว (Decay Constant)

$= \frac{0.693}{t_{\frac{1}{2}}}$ ($t_{\frac{1}{2}}$ = ครึ่งชีวิต)

T = เวลาที่ใช้ในการอาบนิวตรอน

t = เวลาหลังจากอาบนิวตรอนเสร็จแล้วจนถึงเวลาเริ่มนับรังสี

$A_{th} = A_b - A_c$

A_b = ความแรงของรังสีเมื่อไม่มีแคดเมียมหุ้ม, CPS

A_c = ความแรงของรังสีเมื่อมีแคดเมียมหุ้ม, CPS

แทนค่าในสูตร

$$\phi_{th} = \frac{4740-1188}{0.082 \times 98.8 \times 10^{-24} \times \frac{6.025 \times 10^{23}}{197} \times (1-e^{\frac{0.693 \times 5.75}{2.7 \times 24}}) \, e^{-\frac{0.693 \times 17.87}{2.7 \times 24}}}$$

$\phi_{th} = 2.91 \times 10^{6}$ นิวตรอนต่อ ซม^2–วินาที ที่กำลัง 1000 กิโลวัตต์

$$\text{Cadmium Ratio} = \frac{A_b}{A_c} = \frac{4740}{1188} = 3.99$$

5.3 การคำนวณหาเวลาในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

สิ่งจำเป็นที่ต้องทราบคือค่ามาโครสคอปิค ครอสเซคชัน ของธาตุต่าง ๆ ที่มีต่อเทอร์มัลนิวตรอน

สูตรที่ใช้คือ $I = I_o e^{-\varepsilon X}$

ตามทฤษฎีบทที่ 2 ซึ่งสูตรนี้จะเห็นว่าสำคัญ ตัวอย่าง ต้องการถ่ายภาพตรวจสอบโครงสร้างของลูกปืน โดยใช้วิธีถ่ายภาพทางตรง และใช้แผ่นเพิ่มความเข้มแกโดลิเนียม

จากกราฟรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นกราฟแสดงเส้นเทียบปรับ จะเห็นว่าถ้าต้องการความเข้มที่เกิดบนแผ่นฟิล์ม Kodak Industrex AA มีค่า 1.9 จะต้องใช้การอาบเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมาที่ปนมา มีค่า 4.365×10^{8} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตร เพราะฉนั้นเวลาในการถ่ายเท่ากับ 150 วินาที และเมื่อพิจารณาจากดินส่งกระสุนพบว่าดินส่งกระสุนมีค่า มาโคร–สคอปิค เท่ากับ 2.15 ซม$^{-1}$. และดินส่งกระสุนมีความหนา 0.4 ซม. ดังนั้นแทนค่าในสูตร

$I = 4.365 \times 10^{8} \; e^{-2.15 \times 0.4} = 1.847 \times 10^{8}$ นิวตรอนต่อ ซม.^{2}

ซึ่งนำค่านี้ไปดูในกราฟรูปที่ 4.5 และใช้เส้นกราฟที่มีทั้งเทอร์มัลนิวตรอนและรังสีแกมมา จะเห็นว่าดินส่งกระสุนจะมีค่าความเข้มที่เกิดขึ้นบนฟิล์มประมาณ 1.08 จากการที่ฟิล์มมีค่าความเข้ม (film density) ต่างกันจึงทำให้มองเห็นความคมของภาพถ่ายได้