



ประสิทธิภาพหัววัด

การคำนวณประสิทธิภาพแท้จริงเฉพาะผลึกโดยคิดว่าแหล่งกำเนิดเป็นจุด

ประสิทธิภาพแท้จริงของผลึก (intrinsic efficiency) คือ อัตราส่วน  
จำนวนรังสีแกมมาที่ถูกวัดโดยผลึก กับจำนวนรังสีแกมมาที่ตกกระทบผลึก

ค่าประสิทธิภาพแท้จริงของผลึกแตกต่างกันออกไปตามขนาดของหัววัด(ผลึก) ระยะเวลาการวัด และพลังงานของรังสีแกมมา

ในงานวิจัยนี้ หัววัดเป็นผลึกโซเดียมไอโอไดด์มีแคลเซียมเป็นตัวกระตุ้น

[NaI(Tl)] รูปทรงกระบอกขนาด 1" x 1"

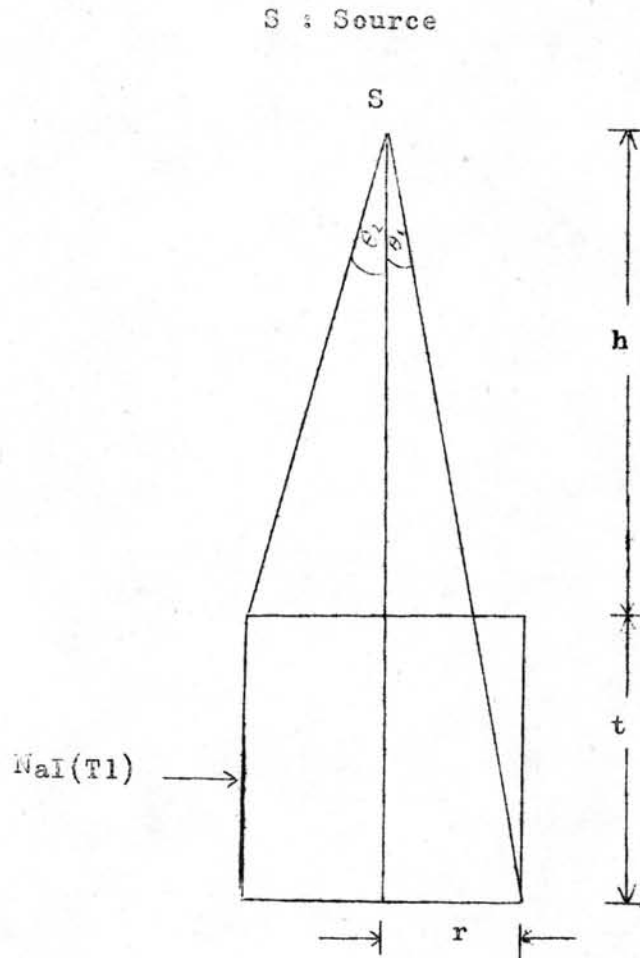
เมื่อนำสารกัมมันตรังสีที่มีขนาดเล็กเป็นจุด วางอยู่ในตำแหน่งแนวแกนกลางของหัววัดรูปทรงกระบอกชนิดผลึกโซเดียมไอโอไดด์ ดังรูป 3.1 จะได้ความสัมพันธ์ต่างๆดังนี้.-

$$\text{ประสิทธิภาพแท้จริงของผลึก} = \frac{1}{2} \left\{ \int_0^{\theta_1} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\tau t}{\cos \theta}\right) \right] \sin \theta d\theta + \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left[ 1 - \exp\left(-\tau \left(\frac{r}{\sin \theta} - \frac{h}{\cos \theta}\right)\right) \right] \sin \theta d\theta \right\} \quad (3.1)$$

โดยที่

- $r$  : รัศมีของผลึก มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
- $h$  : ระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดรังสีและผิวหน้าของผลึก หน่วยเป็น ซม.
- $t$  : ความหนาของผลึก หน่วยเป็นเซนติเมตร
- $\theta_1$  : มุมที่ขอบล่างของผลึกทำกับแนวแกนกลาง หน่วยเป็น เรเดียน

- $\theta_2$  : มุมที่ขอบบนของผลึกทำกับแนวแกนกลาง หน่วยเป็น เรเดียน
- $\tau$  : สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีของผลึกที่วางอยู่ หน่วยเป็น  $(\text{ซม.})^{-1}$



รูป 3.1 แสดงระยะต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพแท้จริงของผลึก

สำหรับหัววัดโซเดียมไอโอไดน์ขนาดผลึก  $1" \times 1"$  ค่าวนหาประสิทธิภาพแท้จริงของผลึก  
โดยแทนค่า  $r = 1.27$  ซม.  $t = 2.54$  ซม.

$$\tau \text{ สำหรับไอไอไดน์-125 (0.035 MeV)} = 95 \text{ (ซม.)}^{-1}$$

$$\tau \text{ สำหรับไอไอไดน์-131 (0.364 MeV)} = .45 \text{ (ซม.)}^{-1}$$

ในสูตร (3.1) จะได้ออกค่าตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าประสิทธิภาพแท้จริงเฉพาะผลึกขนาด  $1" \times 1"$  ณ ระยะ  
ต่างๆ กัน เมื่อจุดกำเนิดรังสีคือ ไอไอไดน์ - 125 และ ไอไอไดน์ - 131 ตามลำดับ

h (ซม.)	$\theta_1$ (เรเดียน)	$\theta_2$ (เรเดียน)	ค่าประสิทธิภาพแท้จริงเฉพาะผลึก	
			สำหรับ I-125	สำหรับ I-131
1	.9038	.3345	.188163	.0694
2	.5658	.2728	.077003	.0309
3	.4005	.2253	.03916	.01729
4	.3074	.1918	.02325	.01103
5	.2487	.1669	.01528	.00764
6	.2086	.1476	.01077	.0056
7	.1795	.1323	.00798	.00429
8	.1574	.1199	.00615	.00338
9	.1402	.1096	.00488	.00274
10	.1263	.1009	.00397	.00227

ถ้าให้จำนวนรังสี ณ จุดกำเนิดรังสีเป็น  $I_0$  จำนวนรังสีที่ตกกระทบผิวผลึก  
เป็น  $I'$  แล้ว

$$I' = I_0 \exp(-\mu h) \quad (3.2)$$

เมื่อ  $\mu$  เป็น ส.ป.ส. การดูดกลืนรังสี สำหรับตัวกลางระหว่างจุดกำเนิดรังสีและตัววัด  
หน่วยเป็น (ซม.)<sup>-1</sup>

$$\therefore \text{ประสิทธิภาพของการวัด} = \epsilon I' \quad (3.3)$$

$\epsilon$  : ประสิทธิภาพแท้จริงของผลึก

แทนค่า  $\epsilon$  จากตารางที่ 3.1 ในสูตร(3.3) ตามค่า  $h$  ต่าง ๆ

ค่า  $\mu$  สำหรับ I-125 ตัวกลางเป็นอากาศ =  $1.04 \times 10^{-3}$  (ซม.)<sup>-1</sup> เป็นน้ำ = .27 (ซม.)<sup>-1</sup>

ค่า  $\mu$  สำหรับ I-131 ตัวกลางเป็นอากาศ =  $3.54 \times 10^{-4}$  (ซม.)<sup>-1</sup> เป็นน้ำ = .108 (ซม.)<sup>-1</sup>

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าประสิทธิภาพการวัด ณ ระยะ  $h$  ต่าง ๆ กัน เมื่อหัววัดผลึก

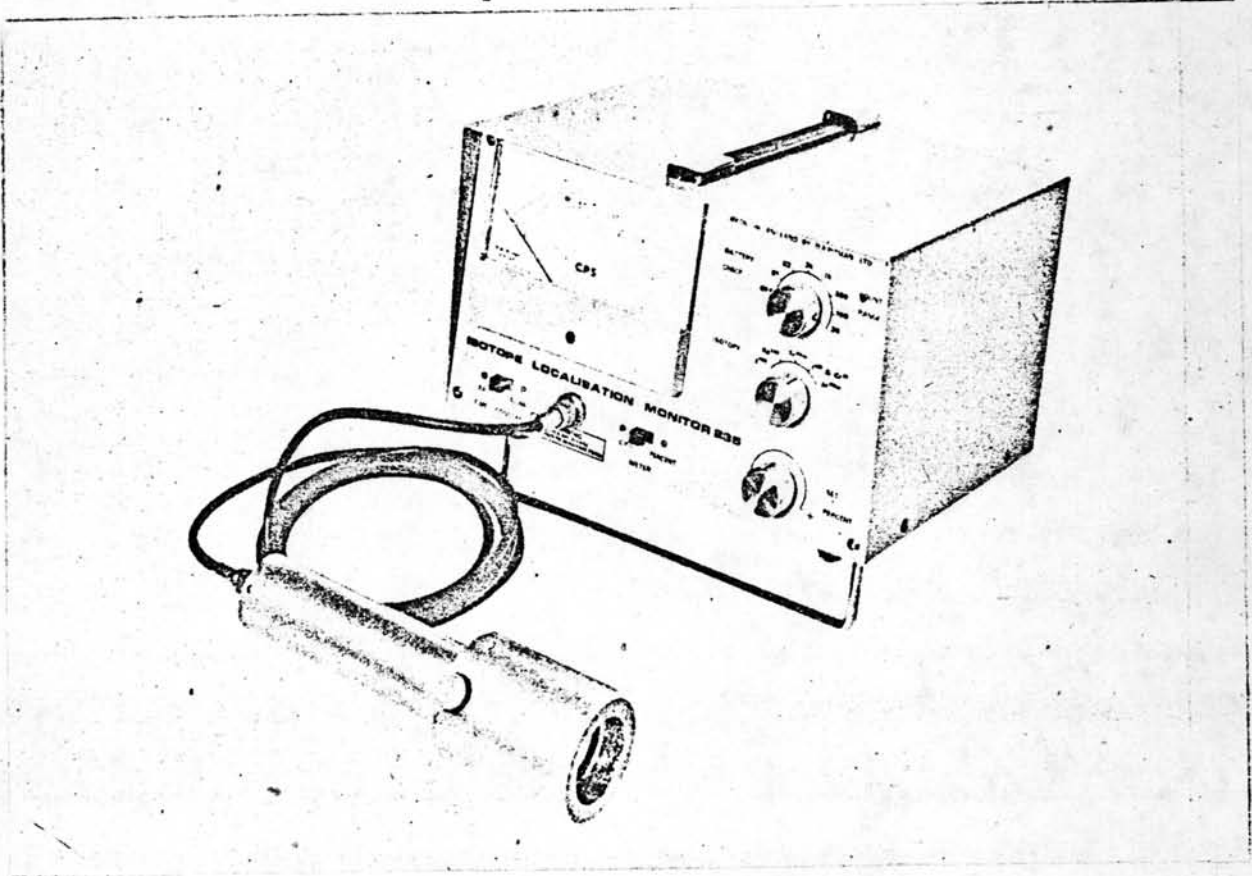
โซเดียมไอโอไดด์ขนาด 1" x 1" จุดกำเนิดรังสีคือ I-125 และ I-131 ตามลำดับ

h (ซม.)	ค่าประสิทธิภาพการวัด ( $I/I_0$ ) x 100			
	สาร I - 125		สาร I - 131	
	อากาศ %	น้ำ %	อากาศ %	น้ำ %
1	18.88	14.36	6.94	6.05
2	7.68	4.49	3.09	2.49
3	3.90	1.74	1.73	1.25
4	2.32	0.79	1.10	0.72
5	1.52	0.39	0.76	0.45
6	1.07	0.21	0.56	0.29
7	0.79	0.12	0.43	0.20
8	0.61	0.07	0.33	0.14
9	0.48	0.04	0.27	0.10
10	0.39	0.03	0.23	0.08

006437

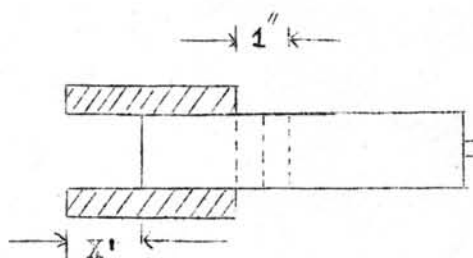
เครื่อง Isotope Localization Monitor, Model 235 ของบริษัท D.A.Pitman

เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจวัดสารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีแกมมาพลังงานต่ำ ๆ เป็นเครื่องวัดแบบซินทิลเลชัน ( Scintillation counter ) หัววัดทำด้วยผลึกโซเดียมไอโอไดด์ที่มีทาลเลียมเป็นตัวกระตุ้น NaI(Tl) ต่อกับหลอดโฟโตมัลติพลาย ( photomultiplier tube ) สัญญาณที่ได้ถูกขยายด้วยเครื่องขยายสัญญาณ ( Amplifier ) ก่อนส่งไปยังเครื่องวิเคราะห์ซึ่งจะยอมรับสัญญาณเฉพาะในช่วงพลังงานหนึ่ง ๆ ที่กำหนดไว้เพียงช่วงเดียว ( Single Channel Analyzer ) ส่งไปยังเครื่องวัดอัตรา ( Rate Meter ) รูป 3.2



รูป 3.2 เครื่อง Isotope Localization Monitor

หัววัดมีผลึกขนาด  $1" \times 1"$  คอลลิเมเตอร์ (Collimator) มี 2 ชนิดคือ  
 ทำด้วยตะกั่ว และอลูมิเนียม ความหนา 1.1 ซม. ระยะความลึกของคอลลิเมเตอร์ ( $X'$ )  
 ปรับได้เป็น 3 ระยะในช่วง 0 ถึง 1 นิ้ว ดังรูป 3.3



รูป 3.3 ภาพหัววัดพร้อมคอลลิเมเตอร์แสดงระยะ  $X'$

เมื่อต้องการวัดสารกัมมันตรังสีชนิดใด เพียงปรับสวิตช์ให้ตรงกับข้อสารชนิดนั้น  
 ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ตำแหน่ง ตามช่วงพลังงานของรังสีแกมมาที่สารกัมมันตรังสีนั้น ๆ ปล่อย  
 ตัว ช่วงพลังงานทั้ง 5 มีดังนี้ .-

ไอโอดีน-125 พลังงานเฉลี่ย 30 keV. ช่วงกว้างของพลังงาน (window width )  
 $\pm 15$  keV.

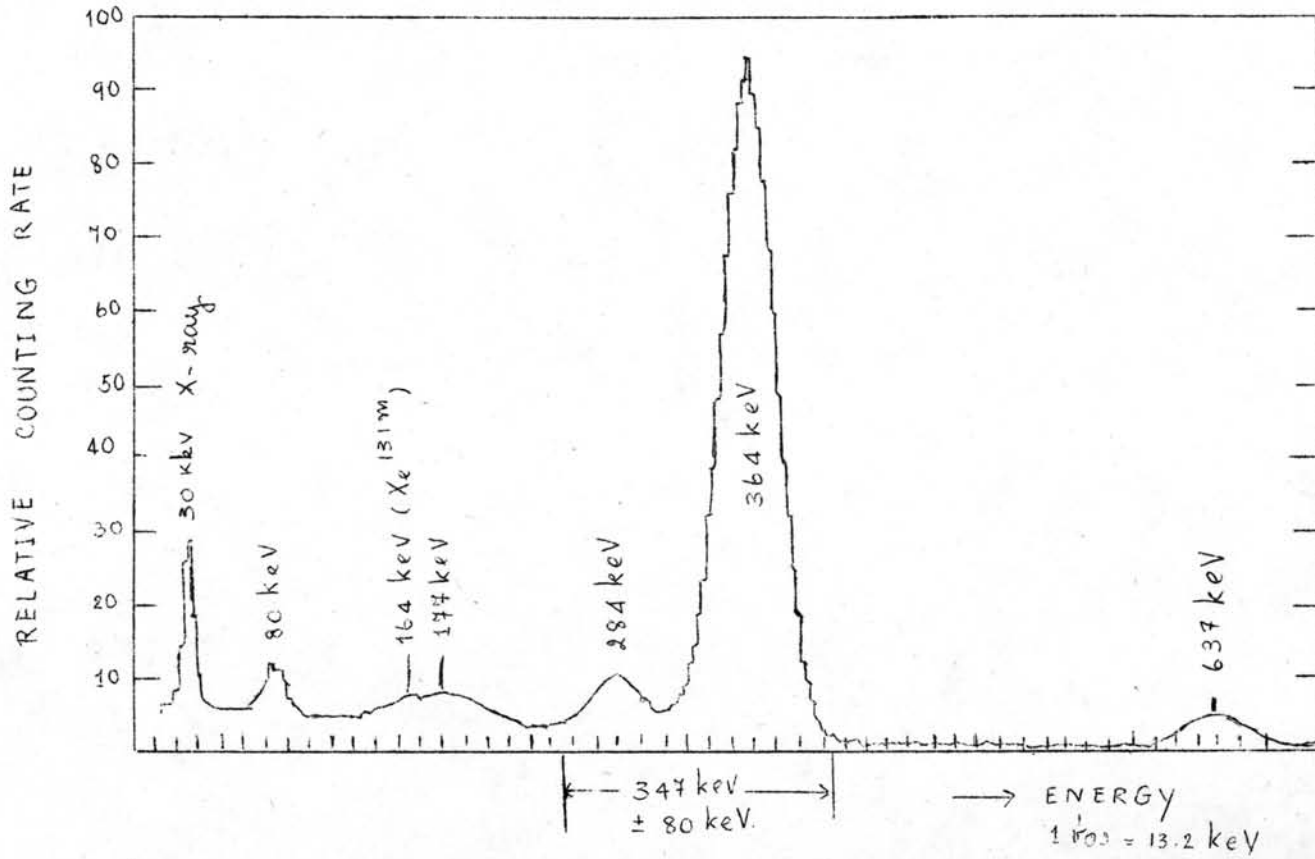
ซีซอน (Xe) -133 พลังงานเฉลี่ย 81 keV. ช่วงกว้างพลังงาน  $\pm 20$  keV.

เทคนิเทียม (Tc) -99m พลังงานเฉลี่ย 141 keV. ช่วงกว้างพลังงาน  $\pm 20$  keV.

โครเมียม (Cr) -51 หรือไอโอดีน-131 มีพลังงานใกล้เคียงกันคือ 320 และ 364 keV.

ตามลำดับ จึงตั้งค่าพลังงานเฉลี่ยไว้ที่ 347 keV. ช่วงกว้างพลังงาน 80 keV. รูป 3.4

อินเดียม (In) -113m พลังงานเฉลี่ย 392 keV. ช่วงกว้างพลังงาน 60 keV.



รูปที่ 3.4 แสดงสเปกตรัมของสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131

เครื่องวัดอัตรา แบ่งเป็น 2 สเกล คือจำนวนนับต่อวินาที และเปอร์เซ็นต์  
ใช้สเกลใดขึ้นกับการเลือก ( Selection mode ) สเกลเปอร์เซ็นต์ใช้เมื่อต้องการ  
เปรียบเทียบความแรงของสารกัมมันตรังสี โดยให้สารมาตรฐานมีจำนวนนับเป็น 100 % ใน  
การวิจัยนี้ใช้แค่สเกล จำนวนนับต่อวินาที ซึ่งมีช่วงระหว่าง 0 ถึง 3,000 จำนวนนับต่อ  
วินาที

เครื่องมือนี้เดิมใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ( D.C. ) จากแบตเตอรี่ ความต่าง  
ศักย์ รวม 18 โวลต์ เปลี่ยนเป็นใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ( A.C. ) ความต่างศักย์ 220  
โวลต์

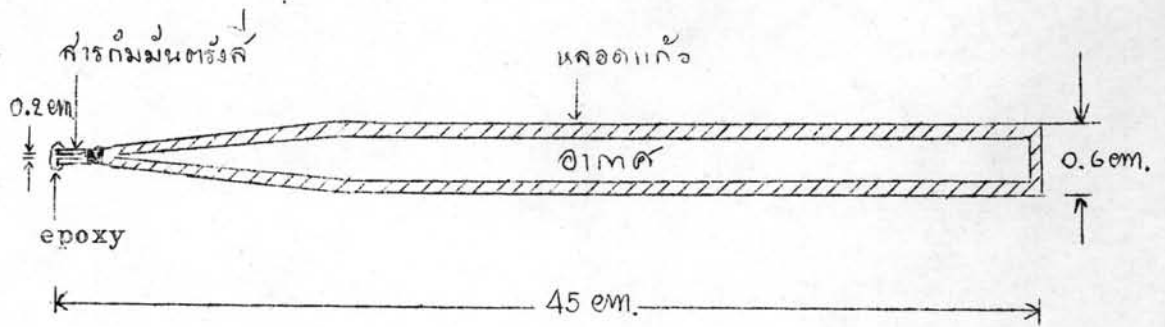
### เส้นปริมาณรังสีที่วัดได้เท่ากัน ( Isoresponse Curve )

ปริมาณรังสีที่ถูกกลืนโดยตัวกลางใด ๆ โดยที่จุดสังเกตนั้นอยู่นอกแกนกลางออก  
มา อธิบายโดยภาพเส้นปริมาณรังสีที่เท่ากัน ( Isoresponse Curve ) การหาปริมาณ  
รังสีภายในร่างกายคนนั้น โดยทั่วไปคาดคะเนจากข้อมูลทั่วๆ จากตัวกลางที่เป็นเนื้อเดียวกัน  
( homogeneous medium ) เช่น หุ่นจำลองใส่น้ำเป็นต้น เนื่องจากร่างกายส่วนที่ไม่ใช่  
กระดูกประกอบด้วยน้ำประมาณ 70 % ปฏิกริยากันรังสีของเนื้อเยื่อจึงใกล้เคียงกับปฏิกริยา  
ที่เกิดกับน้ำ

### วัสดุ

1. เครื่อง Isotope Localization Monitor, Model 235, D.A. Pitman
2. หุ่นจำลองขนาดคนสร้างจากกระบอกแก้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว ปริมาตร  
4 ลิตร บรรจุ น้ำเกือบเต็ม
3. จุดกำเนิดรังสี ใช้สารละลายที่มีสารกัมมันตรังสีเจือปน ปริมาตร 1 ไมโคร  
ลิตร (  $\mu\text{l}$  ) บรรจุในกระเปาะแก้ว ปลายหลอดแก้วยาวซึ่งปลายปิด ปลายกระเปาะปิดด้วย  
กาว epoxy กังรูป 3.5 สารกัมมันตรังสีมีความแรง 1 ไมโครคูรี

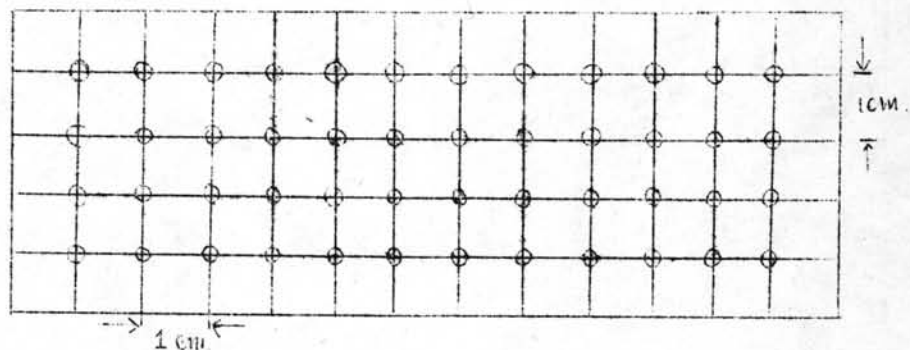




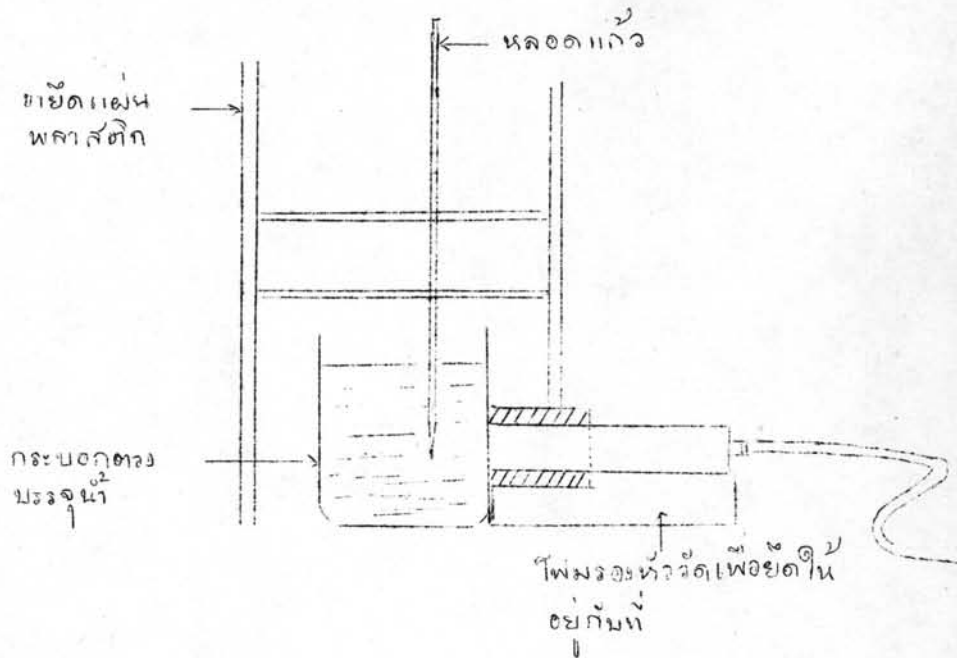
รูป 3.5 หลอดแก้วซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดกำเนิดรังสี

วิธีดำเนินการทดลอง

วางหัววัดชนิดผิวแก้ว จุดกำเนิดรังสีอยู่ในกระบอกลูกแก้วชนิดผิวแก้ว ให้ระยะระหว่างจุดกำเนิดรังสีและหัววัดห่างกัน 1 เซนติเมตร ให้บริเวณกระเปาะอยู่ในแนวแกนกลางของหัววัด จุดนี้เป็นจุดอ้างอิง ( reference point ) เปลี่ยนระยะการวัดครั้งละ 1 เซนติเมตร ตามแนวขวาง และตามแนวยาวของหัววัด โดยใช้พลาสติกเจาะรูขนาดเท่าหลอดแก้ว ซึ่งทำหน้าที่เป็นจุดกำเนิดรังสี แต่ละรูห่างกัน 1 เซนติเมตร สองแถวห่างกัน 10 เซนติเมตร เพื่อยึดหลอดแก้วให้ตั้งตรง และสะดวกแก่การเปลี่ยนระยะการวัด ดังรูป 3.6 และ รูป 3.7



รูป 3.6 แผ่นพลาสติกเจาะรู ห่างกันรูละ 1 เซนติเมตร ขนาด 19 x 34 เซนติเมตร



รูป 3.7 แสดงภาพจำลองการวางเครื่องมือขณะทำการทดลอง

### วิธีคำนวณ

สมมติจำนวนนับที่ได้ ณ จุดอ้างอิงเท่ากับ  $I_0$  และเท่ากับจำนวนที่ควรจะเป็นจริง ปริมาณรังสีที่วัดได้ ณ จุดนี้เป็น 100 % ที่จุด  $x_i$  ใด ๆ ค่าจำนวนที่ควรจะเป็นจริง  $I(x_i)$  หาได้จากสมการ

$$I(x_i) = I_0 \exp(-\mu x_i - \lambda t) \quad (3.4)$$

โดยที่

- $\mu$  : สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีของตัวกลาง หน่วยเป็น  $(\text{ซม.})^{-1}$
- $x_i$  : ระยะทางจากจุดอ้างอิง หน่วยเป็น ซม.
- $\lambda$  : สัมประสิทธิ์การสลายตัวของสารรังสี หน่วยเป็น  $(\text{วินาที})^{-1}$

$t$  : ระยะเวลา นับจากเริ่มทำการวัด ณ จุดอ้างอิง หน่วยเป็น วินาที

$$\text{ปริมาณรังสีที่วัดได้ที่จุด } x_i = \frac{\text{จำนวนนับที่ได้}}{I_0 \exp(-\mu x_i - \lambda t)} \times 100 \% \quad (3.5)$$

นำผลที่ได้มา เขียนกราฟเส้นปริมาณรังสีที่วัดได้เท่ากัน

การเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่วัดได้ในการวัดสารกัมมันตรังสี 2 ชนิด

เนื่องจากปริมาณรังสีที่วัดได้ รอบเส้นแนวแกนหัววัดเท่ากันทุกด้าน (Symmetry about the axis) สำหรับหัววัดอันเดียวกัน การเปรียบเทียบการวัดสารกัมมันตรังสี 2 ชนิด ใช้เส้นแกนกลางเป็นเส้นแบ่งครึ่ง ด้านหนึ่งเป็นเส้นปริมาณรังสีที่วัดได้เท่ากันจากสารกัมมันตรังสีชนิดที่ 1 ด้านหนึ่งเขียนเส้นปริมาณรังสีที่วัดได้เท่ากันจากสารกัมมันตรังสีอีกชนิดหนึ่ง ทำให้การเปรียบเทียบชัดเจนขึ้น การวิจัยนี้ใช้สารกัมมันตรังสีไอโอดีน-125 และไอโอดีน-131 เป็นจุดกำเนิดรังสีในหุ่นจำลอง และมีอากาศเป็นตัวกลาง

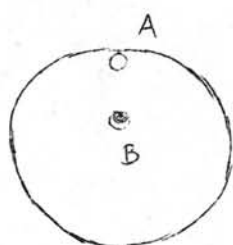
ปริมาณรังสีที่วัดได้เมื่อปริมาณของสารกัมมันตรังสีเปลี่ยนแปลง

เมื่อสารกัมมันตรังสีอยู่ในกระแสลึทธิจะกระจายไปตามหลอดเลือดต่าง ๆ ตามการไหลเวียนของเลือด เมื่อนำหัววัดไปแตะบริเวณผิวหนังผู้ป่วยเพื่อตรวจวัด (Surface count) ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นจำนวนนับรวมของสารกัมมันตรังสีที่ไหลในหลอดเลือดในระบบเล็ก การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหิตที่ไหลผ่านบริเวณใด ๆ จึงมีผลถึงปริมาณรังสีที่วัดได้ ณ บริเวณนั้น แยกพิจารณาได้เป็น 3 กรณีดังนี้ .-

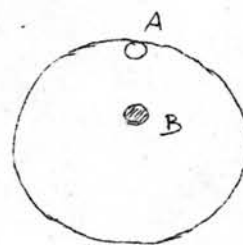
1. คนปกติ ปริมาณโลหิตที่ไหลผ่านในหลอดเลือดในระบบคั่น และระบบเล็ก เป็นปกติ

2. ผู้ป่วยที่มีลิ้มเลือดอุดตันหลอดเลือดในระบบเล็กก่อนการฉีดไฟบริโนเจนติก ฉลากสารกัมมันตรังสี เลือดไหลผ่านบริเวณนั้นน้อยลง ปริมาณรังสี ณ บริเวณนั้นจึงน้อยลงตามไปด้วย มากน้อยขึ้นกับขนาดของลิ้มเลือดว่าอุดตันเพียงบางส่วน (รูป 3.8ก) หรือเต็ม

หลอดเลือดดำ (รูป 3.8 ข)



(ก)



(ข)

A : Superficial Vein

B : Deep Vein

รูป 3.8, ก ลิ่มเลือดอุดตันบางส่วน

ข. ลิ่มเลือดอุดตันเต็มหลอดเลือด

3. ผู้ป่วยที่เกิดลิ่มเลือดภายหลังการฉีดไฟบริโนเจนที่ฉีดจากสารกัมมันตรังสีแล้ว ไฟบริโนเจนที่ประกอบอยู่ในลิ่มเลือดที่เกิดขึ้นนี้ มีบางส่วนเป็นไฟบริโนเจนที่ฉีดจากสารกัมมันตรังสี ทำให้ปริมาณรังสีในบริเวณนั้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ขึ้นกับปริมาณของไฟบริโนเจนที่ถูกนำไปใช้ และขนาดของลิ่มเลือดที่เกิด

การทดลองภายนอกในร่างกายไม่สามารถให้สารกัมมันตรังสีไหลเวียนตลอดเวลาได้ จึงใช้จุดกำเนิดรังสี 2 จุดแทน ให้จุดที่ 1 อยู่ห่างจากแนวกึ่งกลางหัววัด 1 เซนติเมตร แทนสารกัมมันตรังสีที่ไหลผ่านหลอดเลือดดำระบบต้น (เนื่องจากหลอดเลือดดำระบบต้นอยู่ใต้ผิวหนัง อาจเทียบได้กับระยะทางประมาณ 1 เซนติเมตรจากหัววัด) และจุดที่ 2 อยู่ห่างจากจุดที่ 1 , 3 และ 4 เซนติเมตรตามลำดับ แทนสารกัมมันตรังสีในหลอดเลือดดำระบบลึก เพื่อสังเกตถึงการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนับที่วัดได้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีในหลอดเลือดดำระบบลึก จึงให้สารกัมมันตรังสีจุดที่ 1 มีปริมาณของสารกัมมันตรังสีที่ สารกัมมันตรังสีจุดที่ 2 มีปริมาณเปลี่ยนแปลงไป โดยมีปริมาณสารกัมมันตรังสีเท่ากับจุดแรก แล้วเพิ่มขึ้นและลดลง 20% , 50% และ 70% ของปริมาณสารกัมมันตรังสีจุดที่ 1 ตามลำดับ แทนปรากฏการณ์ทั้ง 3 กรณีดังกล่าวข้างต้น

ตารางที่ 3.3 ระยะการวัด ณ จุดต่างๆ

ระยะ (ซม.) $\frac{y}{x}$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	1	-	-	-	-	-	-
1	1	1.41	2.24	3.16	4.12	-	-	-
2	2	2.24	2.83	3.61	4.47	5.39	-	-
3	3	3.16	3.61	4.24	5.0	5.83	6.71	-
4	4	4.12	4.47	5.0	5.66	6.40	7.21	8.06
5	5	5.1	5.39	5.83	6.40	7.07	7.81	8.60
6	6	6.08	6.33	6.71	7.21	7.81	8.49	9.22
7	7	7.07	7.28	7.62	8.06	8.60	9.22	9.9
8	8	8.06	8.25	8.54	8.94	9.43	10.0	10.63
9	9	9.06	9.22	9.49	9.85	10.30	10.82	11.40
10	10	10.05	10.2	10.44	10.77	11.18	11.66	12.21
11	11	11.05	11.18	11.40	11.71	12.08	12.53	13.04

ตารางที่ 5.4 ปริมาณรังสีที่ได้รับ ณ จุดต่างๆในอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงเมื่อสารกัมมันตรังสี ไอโอดีน - 125 เป็นจุดกำเนิดรังสี

ระยะ (ชม.) แกน x y	0	1	2	3	4	5	6	7
0	100	66.74	-	-	-	-	-	-
1	42.71	39.23	22.56	8.36	2.01	-	-	-
2	25.89	23.81	15.46	8.62	3.35	1.43	-	-
3	14.46	14.21	10.88	7.70	3.77	2.1	1.18	-
4	10.29	9.88	8.37	6.54	3.35	2.6	1.6	0.84
5	7.54	6.7	6.45	4.44	3.10	2.18	1.68	1.35
6	6.29	5.03	4.03	3.53	2.77	2.02	1.6	1.26
7	4.11	3.86	3.44	3.02	2.44	1.93	1.52	1.1
8	3.28	2.94	2.86	2.44	2.10	1.85	1.35	1.01
9	2.61	2.52	2.44	2.19	1.85	1.43	1.1	0.93
10	2.36	1.94	1.77	1.69	1.43	1.35	1.01	0.84
11	1.85	1.6	1.52	1.52	1.27	1.18	0.93	0.76

ตารางที่ 3.5 ปริมาณรังสีที่ได้รับ ณ จุดต่างๆของหุ่นจำลองเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงเมื่อสารกัมมันตรังสี ไอโอดีน - 125 เป็นจุดกำเนิดรังสี

ระยะ (ซม.) แกน x y	0	1	2	3	4	5	6	7
0	100	81.02	-	-	-	-	-	-
1	45.27	39.93	24.15	12.6	4.7	-	-	-
2	22.94	22.98	17.58	9.64	5.78	1.95	-	-
3	14.72	16.01	10.85	9.15	5.61	3.07	1.11	-
4	8.84	8.85	8.21	6.32	4.61	2.56	2.55	-
5	7.37	6.13	6.24	4.83	4.1	0.61	1.5	-
6	4.6	5.17	5.53	3.9	2.55	-	-	-
7	3.01	3.07	3.25	1.42	1.6	-	-	-
8	1.58	0.80	0.84	-	-	-	-	-
9	1.03	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 3.6 ปริมาณรังสีที่ได้รับ ณ จุดต่างๆในอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงเมื่อสำรวจกับผนังรังสี ไอโอคีน - 131 เป็นจุดกำเนิดรังสี

ระยะ (ซม.) แกน x y	0	1	2	3	4	5	6	7
0	100	88.55	79.16	22.31	3.4	3.24	2.66	2.59
1	62.51	58.12	52.51	38.00	9.39	2.59	2.01	1.95
2	42.78	42.80	38.79	33.16	17.16	6.16	2.14	1.75
3	30.68	28.44	27.48	23.94	18.13	9.24	3.89	2.21
4	22.94	22.30	21.02	20.39	16.84	11.02	6.33	2.76
5	18.1	17.79	18.12	17.16	14.42	11.35	6.65	4.22
6	14.87	14.56	13.92	13.93	12.80	10.38	6.82	5.03
7	12.29	12.30	12.07	11.66	11.02	8.27	6.65	5.20
8	10.36	10.36	10.37	10.05	8.56	7.46	6.49	5.04
9	9.39	8.10	7.94	7.62	7.46	7.08	6.17	4.71
10	7.13	7.13	7.07	6.97	6.82	6.33	5.85	4.72



ตารางที่ 3.7 ปริมาณรังสีที่ได้รับ ณ จุดต่างๆของหุ่นจำลองเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงเมื่อสารกัมมันตรังสี ไอโอดีน - 131 เป็นจุดกำเนิดรังสี

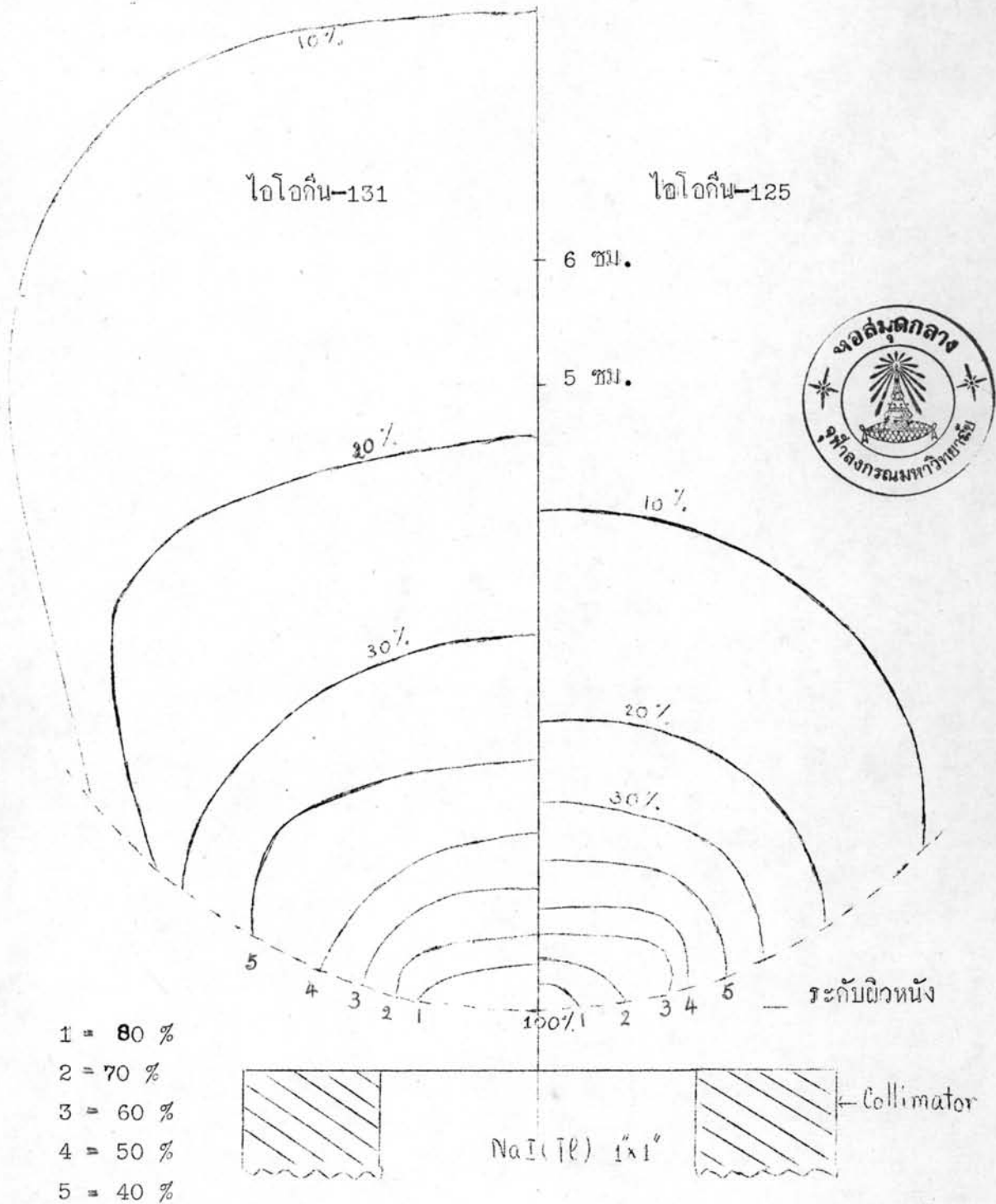
ระยะ (ซม.) แกน $\frac{x}{y}$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	100	89.55	-	-	-	-	-	-
1	55.73	47.90	42.00	33.26	12.86	-	-	-
2	33.36	31.95	32.42	26.7	15.16	10.86	-	-
3	24.97	25.42	24.61	20.61	15.01	10.44	6.82	-
4	16.94	18.61	18.25	16.30	13.32	10.91	7.72	5.56
5	13.42	14.27	14.46	13.75	11.91	9.23	7.65	5.64
6	12.05	11.97	12.01	10.95	10.47	7.64	6.71	5.89
7	9.99	9.21	9.09	8.52	8.45	7.43	6.44	5.31
8	8.02	8.20	7.88	7.12	7.3	6.86	6.11	5.27
9	6.93	6.98	6.56	6.62	6.59	5.85	5.37	5.03
10	6.24	6.43	6.23	6.09	5.99	5.42	4.99	4.92
11	5.30	5.50	5.24	5.02	5.02	5.04	4.70	3.52

ตารางที่ 3.8 แสดงค่าจำนวนนับต่อวินาทีของสารกัมมันตรังสี ไอโอดีน-125 ซึ่งเป็นจุดกำเนิดรังสี 2 จุดในหุ่นจำลอง จุดแรกห่างจากกึ่งกลางหัววัด 1 ซม. มีปริมาณสารกัมมันตรังสีคงที่ จุดที่สองมีปริมาณต่างๆ กัน คือ เท่ากับจุดแรก เพิ่มและลด 20, 50 และ 70 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณจุดแรกตามลำดับ

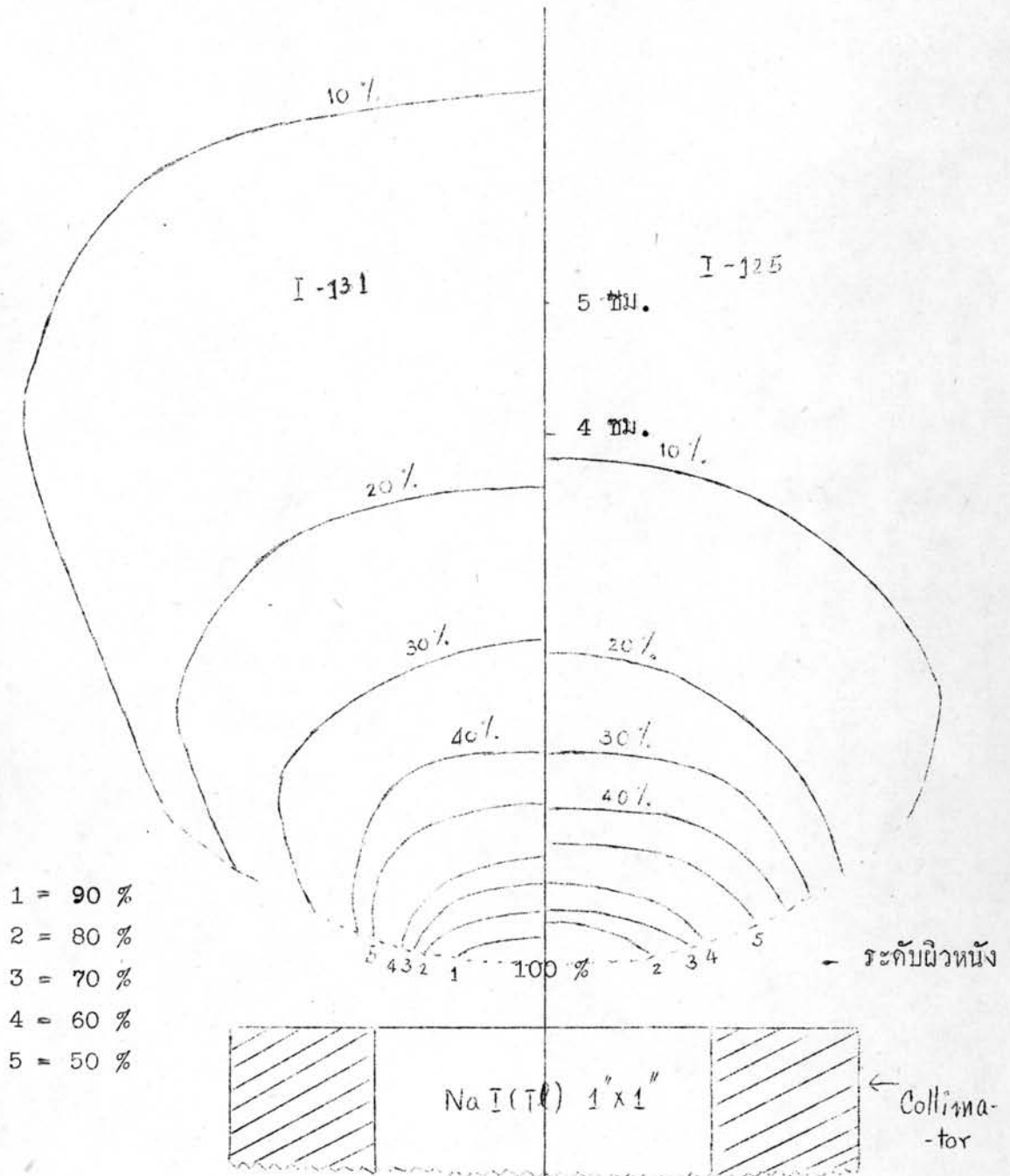
วันที่สังเกต	ระยะ ห่างจาก จุดแรก (ซม.)	เท่ากับ จุดแรก	ความแรงจุดที่สองเทียบกับจุดแรก					
			ลดลง 20%	ลดลง 50%	ลดลง 70%	เพิ่มขึ้น 20%	เพิ่มขึ้น 50%	เพิ่มขึ้น 70%
1	3	1563	1539	1543	1531	1625	1641	1671
	4	1531	1511	1511	1515	1581	1591	1597
2	3	1411	1388	1398	1383	1476	1530	1564
	4	1380	1370	1383	1375	1443	1476	1504
3	3	1248	1225	1212	1182	1226	1235	1262
	4	1227	1207	1195	1169	1202	1202	1205
4	3	1292	1275	1265	1263	1318	1349	1373
	4	1269	1255	1252	1242	1277	1291	1302
5	3	1088	1095	1121	1127	1195	1227	1265
	4	1061	1083	1109	1126	1078	1096	1216
6	3	927	955	988	983	1066	1108	1153
	4	907	947	986	980	1044	1047	1067

ตารางที่ 3.9 แสดงค่าจำนวนนับต่อวินาทีของสารกัมมันตรังสี ไอโอดีน-131 ซึ่งเป็นจุดกำเนิดรังสี 2 จุด จุดแรกห่างจากกึ่งกลางหัววัด 1 ซม. มีปริมาณสารกัมมันตรังสีคงที่ จุดที่สองมีปริมาณต่างๆ กัน คือ เท่ากับจุดแรก เพิ่ม และลด 20, 50 และ 70 % ของปริมาณจุดแรก ตามลำดับ

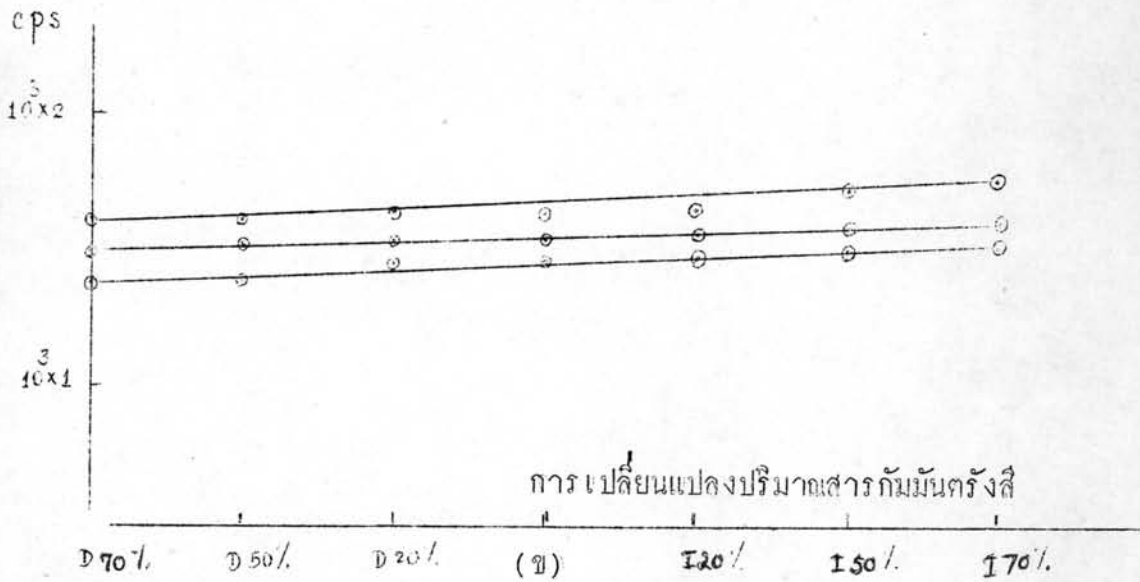
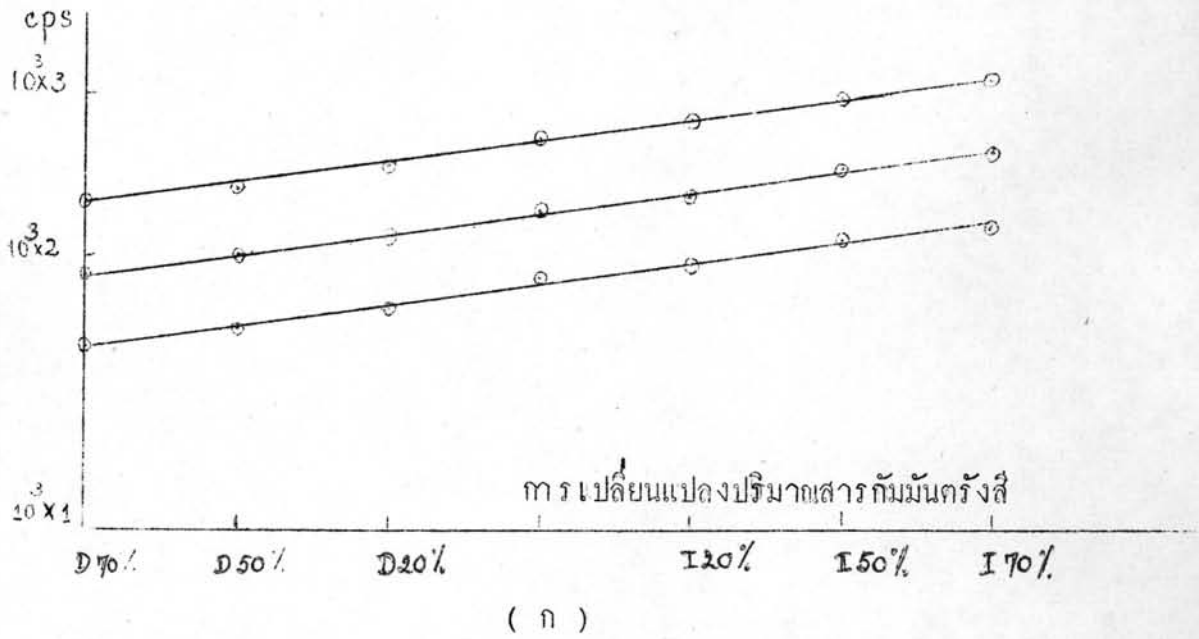
วันที่ สังเกต	ระยะ ห่างจาก จุดแรก (ซม.)	เท่ากับ จุดแรก	ความแรงจุดที่สองเทียบกับจุดแรก					
			ลดลง			เพิ่มขึ้น		
			20%	50%	70%	20%	50%	70%
1	3	2730	2557	2405	2299	2807	2984	3094
	4	2552	2420	2330	2242	2598	2740	2829
2	3	2450	2249	2149	2061	2533	2706	2800
	4	2302	2143	2087	2009	2373	2465	2539
3	3	2071	1981	1893	1807	2218	2390	2479
	4	1938	1896	1820	1770	2078	2189	2250
4	3	2058	1928	1813	1745	2121	2246	2373
	4	1921	1841	1740	1713	1986	2083	2130
5	3	1924	1801	1702	1630	1987	2139	2200
	4	1800	1727	1650	1587	1850	1947	2009
6	3	1702	1602	1520	1462	1815	1931	1990
	4	1605	1539	1468	1430	1680	1762	1833



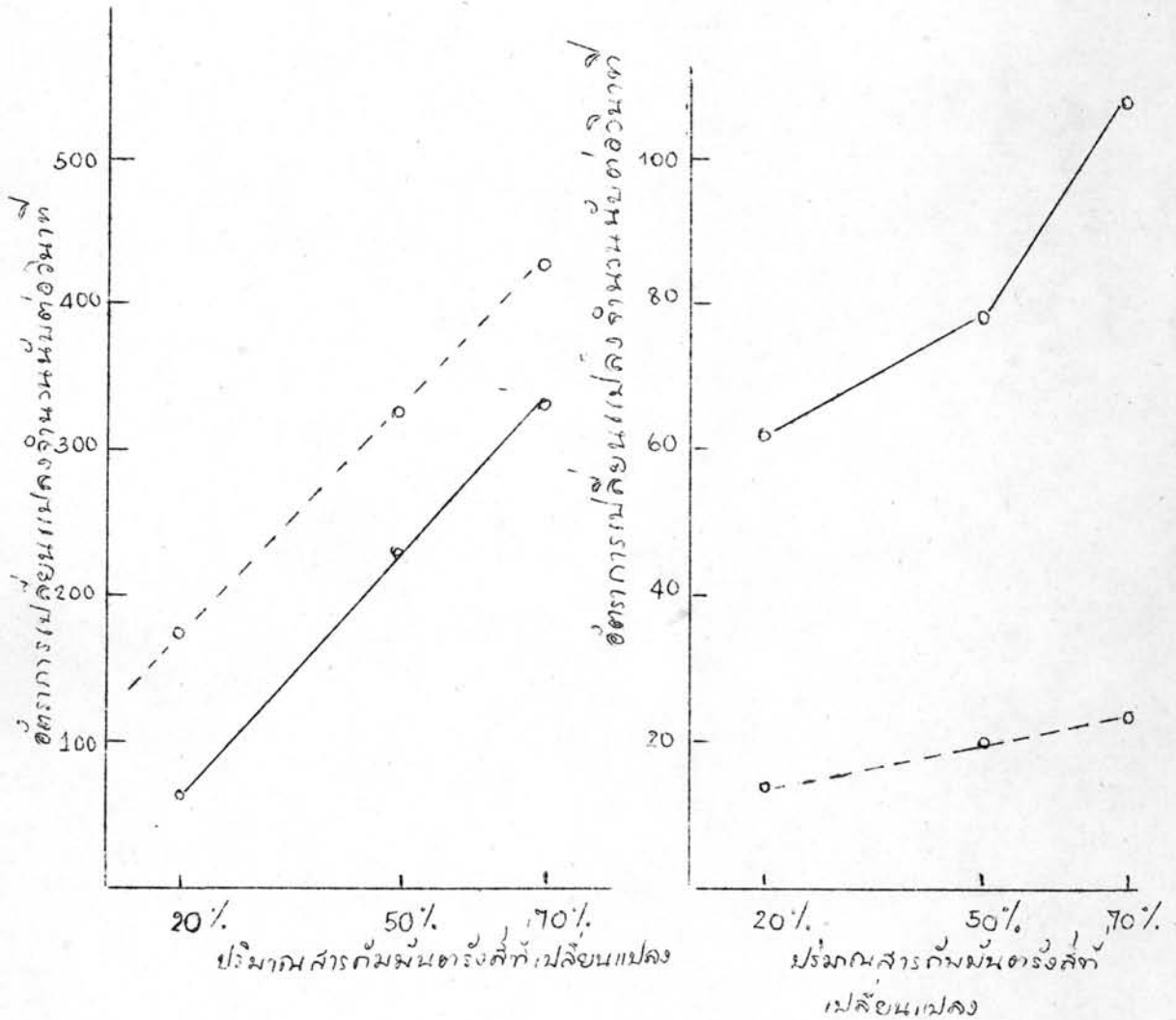
กราฟที่ 3.1 เส้นปริมาณรังสีที่วัดได้เท่ากันในอากาศ เปรียบเทียบระหว่าง ไอโอดีน-125 และ ไอโอดีน-131



กราฟที่ 3.2 เส้นปริมาณรังสีที่วัดได้เท่ากันในหุ่นจำลอง เปรียบเทียบระหว่างไอโอดีน-125 และ ไอโอดีน-131



กราฟที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีที่วัดได้ต่อเวลา เมื่อปริมาณสารกัมมันตรังสีเปลี่ยนแปลง : D หมายถึง ปริมาณลดลง, I หมายถึง ปริมาณเพิ่มขึ้น: (ก) สารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131, (ข) สารกัมมันตรังสีไอโอดีน-125



(ก) ไอไอคีน-131

(ข) ไอไอคีน-125

กราฟที่ 3.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงจำนวนนับต่อวินาที เมื่อปริมาณสารกัมมันตรังสีเปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์จากจุดมาตรฐาน  
 — ปริมาณสารกัมมันตรังสีเพิ่มขึ้น ; - - - - ปริมาณสารกัมมันตรังสีลดลง