บทที่ 5

การเทียบปรับ (calibrate) เครื่องไมนิเตอร์บริเวณรังสีเอ็กซ์

การใช้เครื่องไมนิเตอร์บริเวณรังสีเอ็กซ์ในห้องปฏิบัติการหรือห้องวินิจฉัยโรคที่ใช้รังสีเอ็กซ์เพื่อตรวจสอบจำนวนหรือปริมาณรังสีที่แพร่กระจายอยู่ภายในห้อง หรือบริเวณที่มีการใช้รังสีว่าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานหรือไม่ ซึ่งระดับรังสีที่ถือว่าปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีถูกกำหนดโดยองค์การระหว่างประเทศ ICRP (International Commission on Radiological Protection) โดยถือหลักว่าความสัมพันธ์ระหว่างผลทางชีววิทยา เนื่องจากรังสีกับปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับจะเป็นเส้นตรง ซึ่งก็หมายความว่า ปริมาณรังสีไม่ว่าจะมากหรือน้อยเพียงใดก็ก่อให้เกิดอันตรายได้ จากข้อสมมติฐานนี้การจะอ้างถึงระดับรังสีที่ถือว่าปลอดภัยจะต้องมีการคำนึงถึงสภาพสมดุลย์ระหว่างอันตรายที่เป็นไปได้ที่สังคมมีการยอมรับ กับผลประโยชน์ที่สังคมจะได้รับจากการใช้รังสีนั้น จึงมีการกำหนดค่าปริมาณรังสีที่ยอมให้ผู้ทำงานเกี่ยวกับรังสีได้รับมีค่าไม่เกิน 5 เรม (rems) ต่อปี ซึ่งเป็นค่าจำกัดสูงสุด (upper limit) แต่อย่างไรก็ตามในการทำงานเกี่ยวกับรังสี จะต้องถือหลักว่าควรได้รับรังสีน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้

ในการตรวจวัดบริเวณรังสีมักใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เซอร์เวย์มิเตอร์ (Survey Meter) ซึ่งจะวัดออกมาในหน่วยมิลลิเรม/ชั่วโมง (mR/hr) ซึ่งจากข้อกำหนดที่ว่าผู้ทำงานเกี่ยวกับรังสียอมให้ได้รับรังสีรวมแล้วไม่เกิน 5 เรมต่อปี หมายความว่าจะได้รับครั้งเดียว 5 เรมไม่ได้ จะต้องเฉลี่ยไปเรื่อย ๆ เช่น ใน 3 เดือนแรกต้องไม่เกิน 3 เรม แล้วที่เหลืออีก 9 เดือน เฉลี่ยไม่เกิน 2 เรม ซึ่งในการหาค่าอัตราปริมาณรังสีเป็นมิลลิเรม/ชั่วโมง สามารถคำนวณหาได้จากจำนวนเวลาของการทำงานใน 1 ปี ซึ่งเท่ากับ 50 สัปดาห์ ใน 1 สัปดาห์ทำงานเพียง 5 วัน และใน 1 วันทำงานเพียง 8 ชม. ดังนั้นในเวลา 1 ชม. ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับจะเท่ากับ $\frac{5 \times 1,000}{50 \times 5 \times 8}$ = 2.5 มิลลิเรม/ชม. ซึ่งเป็นค่าที่ใช้โดยทั่วไปในการตรวจวัดบริเวณรังสี ค่านี้จะมีความหมายว่าถ้าภายในห้อง ซึ่งสามารถตรวจวัดโดยใช้เซอร์เวย์มิเตอร์ได้ค่าเท่ากับ 2.5 มิลลิเรม/ชม. แล้วจะสามารถเข้าไปทำงานได้ 8 ชม. ใน 1 วัน, 5 วันใน 1 สัปดาห์ และ 50 สัปดาห์ใน 1 ปี โดยที่จะได้รับรังสีไม่เกินค่าที่กำหนดไว้

ในการเทียบปรับ เครื่องไบนิเดอร์บริเวณรังสีเอ็กซ์ดังกล่าวจะใช้ค่า 2.5 มิลลิเรม/ชม. เป็นจุดสูงสุดที่ตั้งไว้เพื่อเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานได้ทราบว่า ขณะนี้ระดับรังสีถึงจุดที่จะไม่ปลอดภัย จะเทียบปรับออกมาเป็นค่าจำนวนนับ/นาที โดยการเทียบจากเส้นเทียบปรับ (calibration curve) ซึ่งเป็นเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสี (Dose rate) ในหน่วยมิลลิเรม/ชม. กับค่าจำนวนนับ/นาที ที่สมนัยกัน

5.1 <u>การหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีกับค่าจำนวนนับ/นาที</u>

ทำการวัดในบริเวณห้องที่มีการใช้เครื่อง Deep X-ray Therapy-Unit ซึ่งใช้สำหรับคนไข้โดยมีคนไข้เทียม (phantom) วางอยู่บนแท่นโดยวางให้อยู่ในแนวเดียวกับลำรังสีปฐมภูมิ (primary beam) ที่จะมาตกกระทบ ทำการวัดอัตราปริมาณรังสีเอ็กซ์ซึ่งเป็นรังสีสะท้อนมาจากคนไข้เทียมในแนว 45° จากรังสีปฐมภูมิโดยจัดวางเครื่องมือดังรูป 5.1

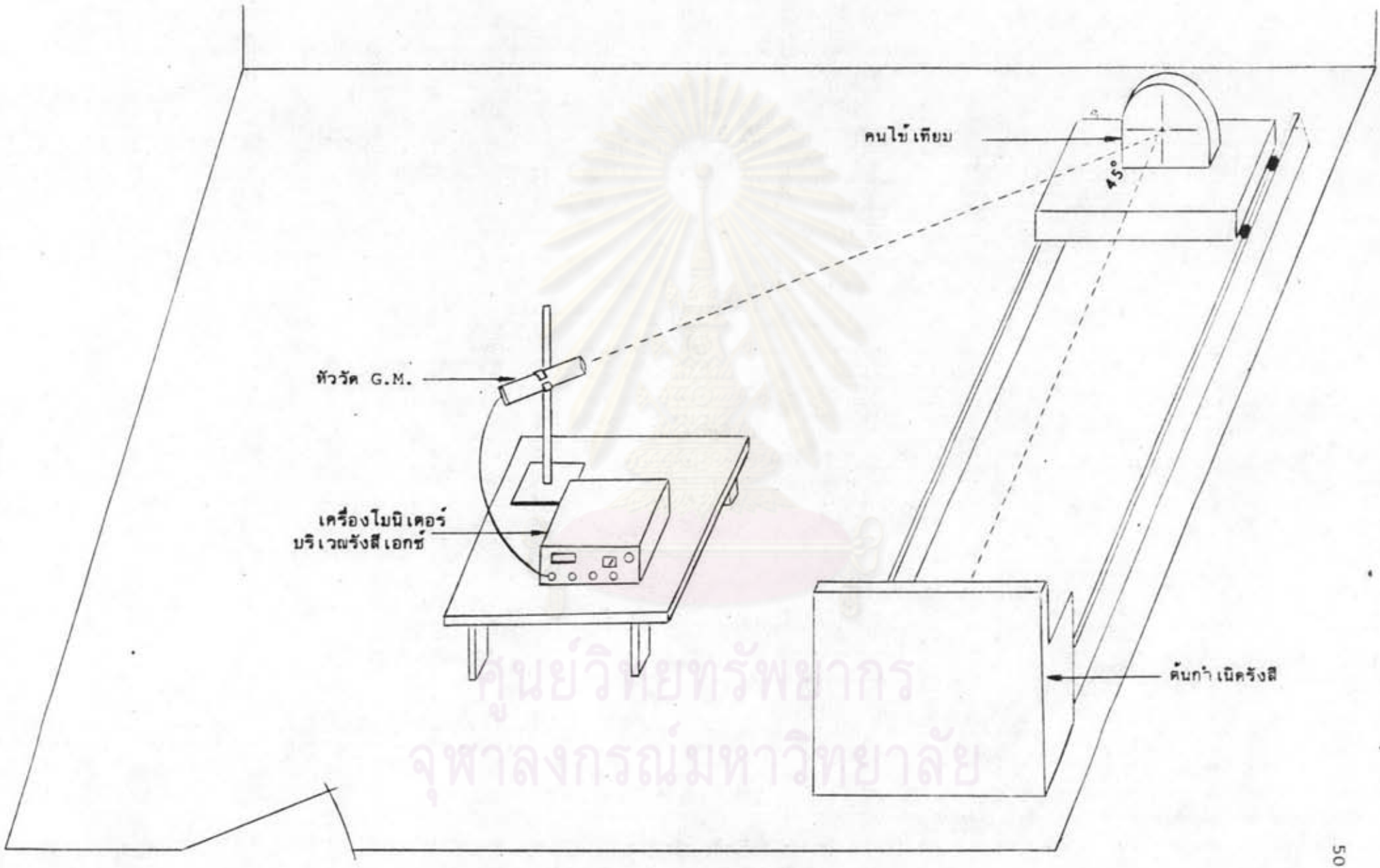
5.1.1 <u>เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัด</u>

- เครื่อง Deep X-ray Therapy-Unit
  รุ่น STABILIPAN
- KEITHLEY Radiation Survey Meter
  Model 36600 X-ray/Gamma
- หัววัดแบบ GM.
- เครื่องไบนิเดอร์บริเวณรังสีเอ็กซ์
- คนไข้เทียม

5.1.2 <u>วิธีการวัด</u>

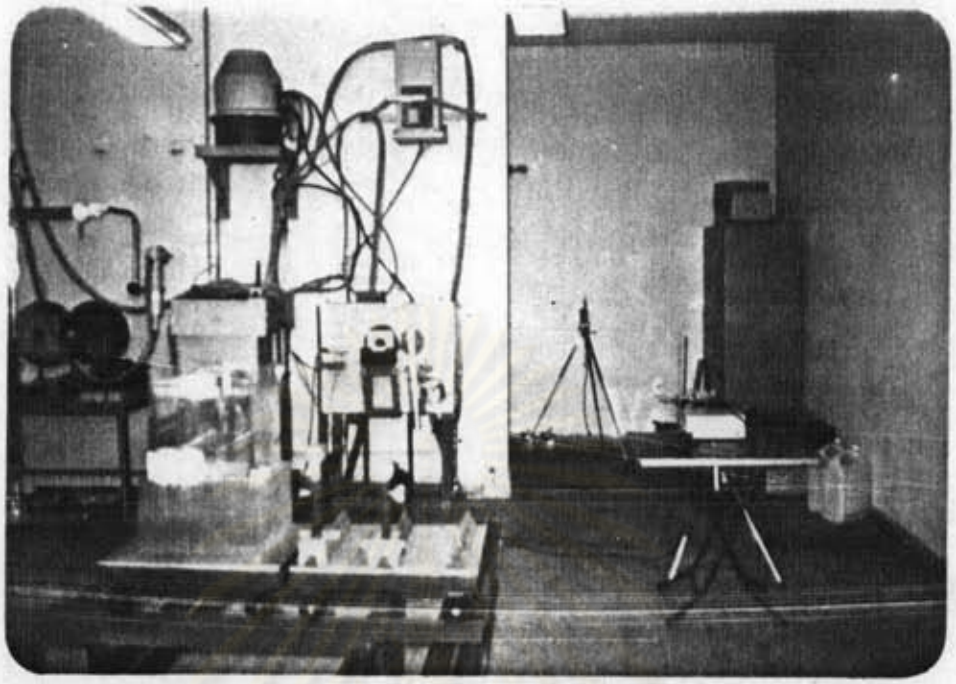
- จัดวางอุปกรณ์และเครื่องมือดังกล่าวตามรูป 5.1
- เปิดเครื่องไบนิเดอร์บริเวณรังสีเอ็กซ์แล้วค่อย ๆ เพิ่มค่าศักดาไฟฟ้าแรงสูงไปที่ 910 โวลท์
- เปิดเครื่อง Deep X-ray Therapy แล้วปรับค่าศักดาไฟฟ้าไปที่ 75 กิโลโวลท์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

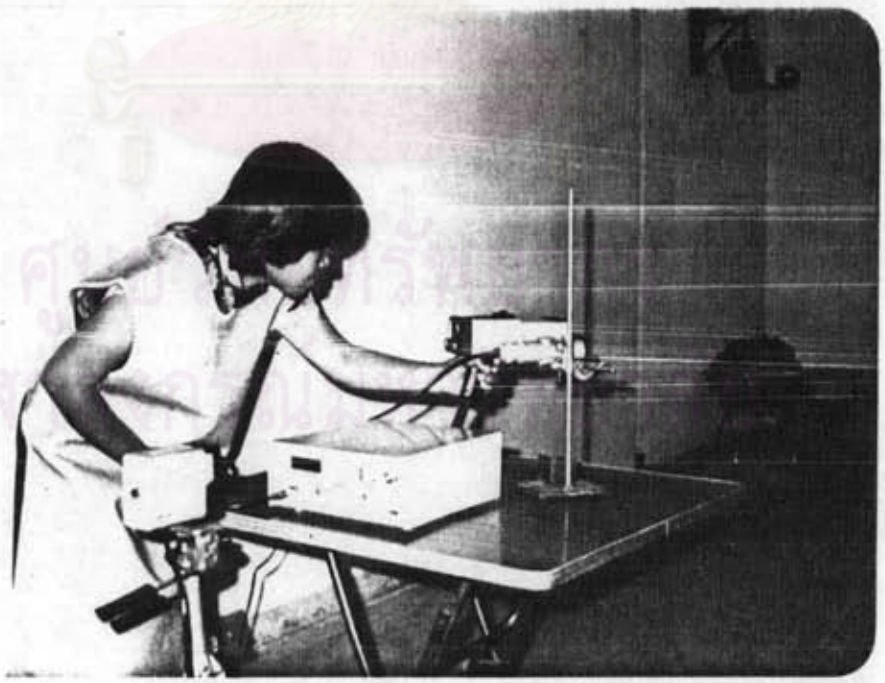


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 5.1 แสดงทิศทางของรังสีในการวัด เพื่อเทียบปรับเครื่องไมนิเตอร์บริเวณรังสีเอ็กซ์



รูป 5.3 ลักษณะบริเวณห้องที่ทำการวัด



รูป 5.4 ลักษณะการจัดวางเครื่องมือในการวัด เพื่อเทียบปรับ

รูป 5.5 เครื่อง Deep X-ray Therapy-Unit.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ผู้ทำการวัดสวมเสื้อตะกั่วใช้เซอร์เวย์มิเตอร์วัดอัตราปริมาณรังสีสะท้อนที่มาเข้าหัววัดพร้อมทั้งบันทึกค่าจำนวนนับ/นาที จากเครื่องไมนิเตอร์บริเวณรังสีเอ็กซ์พร้อมกันไปด้วย
- เปลี่ยนตำแหน่งของหัววัดให้ห่างออกไปอีก 2 จุด แล้วทำการวัดเหมือนเดิม โดยระยะทางที่เปลี่ยนตำแหน่งของหัววัดจะอยู่ในช่วงที่ห่างจากคนไข้เทียบ ประมาณ 2.65 เมตร - 3.5 เมตร

5.1.3 <u>ผลที่ได้จากการวัด</u>

<u>จุดที่ 1</u> เมื่อวัดอัตราปริมาณรังสีสะท้อนที่หัววัดได้ = 4.1 มิลลิเรม/ชม. จะได้ค่าจำนวนนับ/นาที ดังนี้

<u>ตารางที่ 1</u>

ครั้งที่	จำนวนนับ/นาที
1	9,598
2	9,392
3	9,303
4	9,554
5	9,364
6	9,185
7	9,489
8	9,455
9	9,135
10	9,252

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดที่ 2 เมื่อวัดอัตราปริมาณรังสีสะท้อนที่หัววัดได้ = 3.6 มิลลิเรม/ชม.
จะได้ค่าจำนวนนับ/นาที ดังนี้

ตารางที่ 2

ครั้งที่	จำนวนนับ/นาที
1	8,768
2	8,445
3	8,349
4	8,851
5	8,828
6	8,823
7	8,351
8	8,815
9	8,863
10	8,718

จุดที่ 3 เมื่อวัดอัตราปริมาณรังสีสะท้อนที่หัววัดได้ = 2.9 มิลลิเรม/ชม.
จะได้ค่าจำนวนนับ/นาที ดังนี้

ตารางที่ 3

ครั้งที่	จำนวนนับ/นาที
1	7,630
2	7,986
3	7,725
4	7,787
5	7,656

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3

จุดที่ 3 เมื่อวัดอัตราปริมาณรังสีสะท้อนที่หัววัดได้ = 2.9 มิลลิเรม/ชม. จะได้ค่าจำนวนนับ/นาที ดังนี้

ครั้งที่	จำนวนนับ/นาที
6	7,858
7	7,498
8	7,999
9	7,460
10	7,360

5.1.4 การทิ้ง (reject) ค่าจำนวนนับ/นาทีบางค่าออกจากข้อมูล (data)

เนื่องจากเครื่องไมนิเตอร์บริเวณรังสีเอ็กซ์ใช้เวลาในการนับเพียง 1 วินาที แต่ค่าที่ได้จะเป็นจำนวนนับ/นาที ดังนั้นอาจมีบางค่าที่ผิดพลาด จึงจำเป็นต้องสุ่มวัดถึง 10 ค่า ซึ่งจะต้องหาว่า ค่าจำนวนนับ/นาทีค่าใดที่ถูกต้องมากที่สุด โดยการกำจัดค่าที่ผิดพลาดออกแล้วหาค่าเฉลี่ยก็จะได้ค่าจำนวนนับที่ถูกต้องใกล้เคียงมากที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 1 คำนวณหาค่าจำนวนนับต่อนาทีที่ถูกต้องโดยการทิ้งค่าที่ผิดพลาดออกจากข้อมูล สำหรับค่า 4.1 มิลลิเรม/ชม.

ตารางที่ 4

ครั้งที่	N	$N-\bar{N}$	$\frac{N-\bar{N}}{\sigma} = \tau$
1	9,598	225.3	2.32
2	9,392	19.3	0.19
3	9,303	- 69.7	0.72
4	9,554	181.3	1.87
5	9,364	-8.7	0.09
6	9,185	- 187.7	1.94
7	9,489	116.3	1.2
8	9,455	82.3	0.85
9	9,135	- 237.7	2.45
10	9,252	- 120.7	1.24

ค่าจำนวนนับ/นาทีเฉลี่ยในการนับ 10 ครั้ง $\bar{N} = \frac{93727}{10} = 9372.7$

ค่าความบ่ายเบนมาตรฐาน (Standard deviation) $\sigma = \pm\sqrt{\bar{N}}$

$= \pm\sqrt{9372.7}$

$= \pm 96.81$

จากตารางสำหรับ Chanvenet's Criterion (n.6) กำหนดว่าสำหรับการทดลอง 10 ครั้ง ค่า $\tau = 1.96$ และค่าจำนวนนับใดก็ตามที่มีค่า τ มากกว่า 1.96 จะเป็นค่าที่ใช้ไม่ได้

สำหรับค่าจำนวนนับ/นาที ในตารางที่ 1 ที่ถูกทิ้งคือ 9598 และ 9135 ดังนั้นค่าจำนวนนับ/นาทีที่ถูกต้อง สำหรับอัตราปริมาณรังสี 4.1 มิลลิเรม/hr. จะเท่ากับ 9374.25

จากตารางที่ 2 คำนวณหาค่าจำนวนนับ/นาทีที่ถูกต้อง โดยการทิ้งค่าที่ผิดพลาดออกจากข้อมูล สำหรับค่า 3.6 มิลลิเรม/ชม.

ตารางที่ 5

ครั้งที่	N	$N - \overline{N}$	$\frac{N - \overline{N}}{\sigma} = \tau$
1	8,768	86.9	0.93
2	8,445	-236.1	2.53
3	8,349	-332.1	3.56
4	8,851	169.9	1.82
5	8,828	146.9	1.57
6	8,823	141.9	1.52
7	8,351	-330.1	3.54
8	8,815	133.9	1.44
9	8,863	181.9	1.95
10	8,718	36.9	0.39

ค่าจำนวนนับ/นาที เฉลี่ยในการนับ 10 ครั้ง $\overline{N} = \frac{86811}{10} = 8681.1$

ค่าความบ่ายเบนมาตรฐาน $\sigma = \pm\sqrt{\overline{N}} = \pm\sqrt{8681.1}$

$= \pm 93.17$

สำหรับค่าจำนวนนับ/นาที ใน ตารางที่ 2 ที่ถูกทิ้ง คือ 8445, 8349 และ 8351

ดังนั้นค่าจำนวนนับ/นาที ที่ถูกต้องสำหรับอัตราปริมาณรังสี 3.6 มิลลิเรม/ชม. จะเท่ากับ 8809.43

จากตารางที่ 3 คำนวณหาค่าจำนวนนับ/นาทีที่ถูกต้อง โดยการทิ้งค่าที่ผิดพลาดออก จากข้อมูล สำหรับค่า 2.9 มิลลิเรม/ชม.

ตารางที่ 6

ครั้งที่	N	$N - \bar{N}$	$\frac{N - \bar{N}}{\sigma} = \tau$
1	7,630	- 65.9	0.75
2	7,986	290.1	3.31
3	7,725	29.1	0.33
4	7,787	91.1	1.04
5	7,656	-39.9	0.45
6	7,858	162.1	1.85
7	7,498	-197.9	2.25
8	7,999	303.1	3.45
9	7,460	-235.9	2.68
10	7,360	-235.9	3.82

ค่าจำนวนนับ/นาที เฉลี่ยในการนับ 10 ครั้ง $\bar{N} = \frac{76959}{10} = 7695.9$

ค่าความบ่ายเบนมาตรฐาน $\sigma = \pm\sqrt{\bar{N}} = \pm\sqrt{7695.9}$

$= \pm 87.73$

สำหรับค่าจำนวนนับ/นาที ในตารางที่ 3 ที่ถูกทิ้งคือ 7986, 7498, 7460, 7999 และ 7360

ดังนั้นค่าจำนวนนับ/นาที ที่ถูกต้องสำหรับอัตราปริมาณรังสี 2.9 มิลลิเรม/ชม. จะเท่ากับ 7731.2

5.1.5 <u>การสร้างเส้นเทียบปรับ จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสี เอ็กซ์กับค่าจำนวนนับ/นาที</u>

จากผลของการคำนวณเพื่อหาค่าจำนวนนับ/นาทีที่ถูกต้องสำหรับอัตราปริมาณรังสีที่วัดได้ ณ จุดต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปรวมเป็นตารางเปรียบเทียบเพื่อนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามิลลิเรม/ชม.กับจำนวนนับ/นาที ได้ดังนี้

มิลลิเรม/ชม.	จำนวนนับ/นาที
2.9	7,731.2
3.6	8,809.43
4.1	9,374.25

จากค่าในตารางข้างบนเมื่อนำไปเขียนกราฟให้ค่าจำนวนนับ/นาทีอยู่บนแกนตั้งและค่าอัตราปริมาณรังสีในหน่วยมิลลิเรม/ชม. อยู่บนแกนนอน โดยกำหนดมาตราส่วนบนแกนตั้งมีค่าเท่ากับ 1,000 เท่า ของมาตราส่วนบนแกนนอน ดังรูป 5.2 ซึ่งการจะหาเส้นตรงที่ใช้แทนความสัมพันธ์ระหว่างจุดทุกจุดบนแผ่นกราฟให้อยู่ในลักษณะต่อเนื่อง (linearity) สามารถทำได้โดยการคำนวณเพื่อหาค่าความชันและระยะตัดแกนตั้ง ด้วยวิธี least square fit ดังนี้

จากสมการเส้นตรง $Yi = a + bXi$ ..... (5.1)

เมื่อ Yi = ค่าทางแกนตั้งเป็นจำนวนนับ/นาที

Xi = ค่าทางแกนนอนเป็นมิลลิเรม/ชม.

a = ระยะตัดแกนตั้ง

b = ความชันของเส้นตรง

จาก (5.1) $\Sigma Yi = na + b \Sigma Xi$ ..... (5.2)

(5.1) x Xi $YiXi = aXi + bXi^2$ ..... (5.3)

จาก (5.3) $\Sigma YiXi = a \Sigma Xi + b\Sigma Xi^2$ ..... (5.4)

(5.2) x X_i

$$\Sigma Yi\ \Sigma Xi = na\ \Sigma Xi + b(\Sigma Xi)^2 \quad \ldots\ldots (5.5)$$

(5.4) xn $\quad n\ \Sigma YiXi = na\ \Sigma Xi + nb\ \Sigma Xi^2 \quad \ldots\ldots (5.6)$

(5.5) - (5.6) $\Sigma Yi\ \Sigma Xi - n\ \Sigma YiXi = b(\Sigma Xi)^2 - nb\ \Sigma Xi^2$

$$= b\left\{(\Sigma Xi)^2 - n\ \Sigma Xi^2\right\}$$

$$\therefore\ b = \frac{\Sigma Yi\ \Sigma Xi - n\ \Sigma YiXi}{(\Sigma Xi)^2 - n\ \Sigma Xi^2} \quad \ldots\ldots (5.7)$$

(5.2) x ΣXi^2, $\quad \Sigma Yi\ Xi^2 = na\ \Sigma Xi^2 + b\ \Sigma Xi\ \Sigma Xi^2 \quad \ldots\ldots (5.8)$

(5.4) x ΣXi $\quad \Sigma YiXi\ \Sigma Xi = a(\Sigma Xi)^2 + b\ \Sigma Xi\ \Sigma Xi^2 \quad \ldots\ldots (5.9)$

(5.8) - (5.9) $\Sigma Yi\ \Sigma Xi^2 - \Sigma YiXi\ \Sigma Xi = a\left\{n\ \Sigma Xi^2 - (\Sigma Xi)^2\right\}$

$$\therefore\ a = \frac{\Sigma Yi\ \Sigma Xi^2 - \Sigma YiXi\ \Sigma Xi}{n\ \Sigma Xi^2 - (\Sigma Xi)^2} \quad \ldots\ldots (5.10)$$

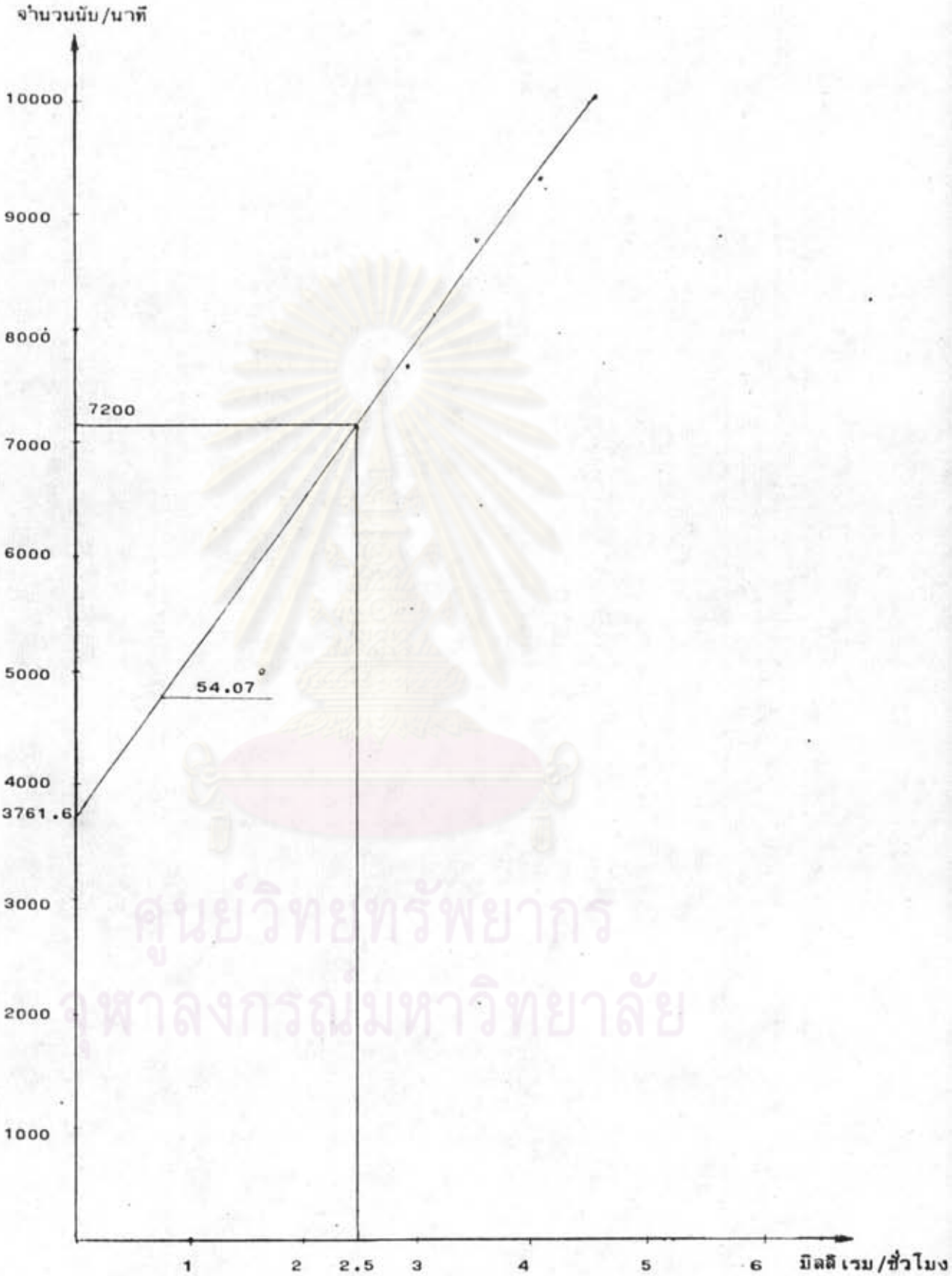
ตารางที่ 7

Yi	Xi	XiYi	Yi^2
7731.2	2.9	22420.48	8.41
8809.43	3.6	31713.95	12.96
9374.25	4.1	38434.42	16.81
ΣYi = 25914.88	ΣXi = 10.6 $(\Sigma Xi)^2$ = 112.36	$\Sigma XiYi$ = 92568.85	ΣYi^2 = 38.18

จาก (5.10) $\quad a = \dfrac{(25914.88 \times 38.18) - (92568.85 \times 10.6)}{(3 \times 38.18) - (10.6)^2}$

$$= \frac{8200.3}{2.18} = 3761.6$$

เพราะฉะนั้นเส้นกราฟจะตัดแกนตั้งที่ระยะ 3761.6 จำนวนนับ/นาที ตามมาตราส่วน



รูป 5.2 calibration curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามิลลิเรม/ชั่วโมง กับจำนวนนับต่อนาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จาก (5.7) $b = \frac{(25914.88 \times 10.6) - (3 \times 92568.85)}{112.36 - (3 \times 38.18)}$

$= \frac{-3008.83}{-2.18}$

เนื่องจากมาตราส่วนทางด้านแกนตั้งเท่ากับ 1.000 เท่าของมาตราส่วนทางด้านแกนนอน

เพราะฉะนั้น ความชันของเส้นตรง $= \frac{3.00883}{2.18} = 1.38$

$\therefore \tan \theta = 1.38$

$\theta = 54.07$ องศา

ดังนั้นเส้นตรงเส้นนี้จะเอียงทำมุมกับแกนนอน = 54.07 องศา

จากกราฟในรูป 5.2 เมื่อลากเส้นตรงที่มีความชัน = 1.38 และมีระยะตัดแกนตั้งที่ 3761.6 จำนวนนับ/นาทีแล้ว เส้นตรงเส้นนี้จะเป็นเส้นเทียบปรับ ใช้แทนความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราปริมาณรังสี และจำนวนนับต่อนาทีที่สมนัยกัน (Equivalent) ดังนั้นเมื่อต้องการทราบค่าจำนวนนับ/นาที ที่อัตราปริมาณรังสีเท่าไรก็สามารถทราบได้โดยการลากเส้นตั้งฉากจากค่ามิลลิเรม/ชม. ไปยังเส้นกราฟแล้วลากไปตั้งฉากกับแกนตั้ง ก็จะทราบค่าจำนวนนับต่อนาทีได้ ซึ่งในการเทียบปรับเครื่องไมนิเตอร์บริเวณรังสีเอ็กซ์ในครั้งนี้ก็เพื่อต้องการหาค่าจำนวนนับต่อนาทีที่สมนัยกับค่าอัตราปริมาณรังสี 2.5 มิลลิเรม/ชม. ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ยอมให้ผู้ทำงานเกี่ยวกับรังสีได้รับดังได้กล่าวแล้ว ดังนั้นจากเส้นเทียบปรับในรูป 5.2 จะได้ค่า 7200 จำนวนนับ/นาที ที่ 2.5 มิลลิเรม/ชม. แต่มิได้หมายความว่าค่า 7200 จำนวนนับ/นาที ที่ได้จากเส้นเทียบปรับจะเป็นค่าที่คงที่ตายตัวสำหรับปริมาณรังสีที่จะไม่ปลอดภัย เพราะค่าที่ใกล้เคียงกับ 7200 แม้จะเป็นค่าที่มากกว่าหรือน้อยกว่า ก็เรียกได้ว่าขณะนั้นมีปริมาณรังสีในบริเวณที่ต้องการตรวจวัดอยู่ในช่วงที่จะไม่ปลอดภัยด้วย ซึ่งผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีภายในห้องหรือบริเวณนั้น ควรจะได้รับการเตือนให้ทราบจากเครื่องซึ่งมีระบบเตือน (alarm) เมื่อระดับรังสีถึงจุดที่ตั้งไว้ ดังนั้นในการตั้งค่าที่ทัมบ์วิลสวิทช์ของเครื่องไมนิเตอร์บริเวณรังสีเอ็กซ์ดังกล่าว ก็ควรจะตั้งให้อยู่ในช่วง $7200 \pm 20\%$ ด้วยสาเหตุดังได้กล่าวแล้ว