



บทที่ 4

การทดสอบสมรรถนะและการปรับเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น ออกแบบให้เหมาะกับการใช้งานทางด้านความปลอดภัยทางรังสี เมื่อประกอบวงจรและอุปกรณ์ลงในกล่องบรรจุแล้วได้ทำการทดสอบคุณสมบัติการทำงานและเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานกับเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศตลอดจนการปรับเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล เพื่อหาพิกัดการทำงานของเครื่องดังนี้

4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ และการปรับเทียบประกอบด้วย

1. เครื่องกำเนิดรูปลักษณ์ (research pulser)
ORTEC model 448
2. เครื่องอ่านรูปลักษณ์ (oscilloscope)
TEKTRONIX model 2445 B
3. แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (power supply)
HEWLETT-PACKARD model 721 A
4. มิลลิเมตรวัดสัญญาณระบบเชิงตัวเลข (digital multimeter)
YOKOGAWA model 7534-02
5. โพรบวัดไฟฟ้าศักดาสูง (H.V. probe)
FLUKE model 80K-40
6. * ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน (OB6) Cs-137
7. * ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน (LS01) Cs-137, Co-60
8. * เครื่องกำเนิดรังสีมาตรฐาน (ISO 4037) X-ray
9. เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น (NT 1401)
10. เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลจากต่างประเทศ ALNOR model RAD-21L
* ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

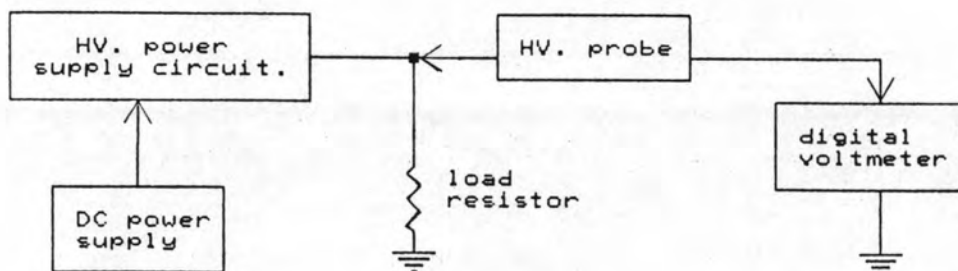
4.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

4.2.1 การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงกระแสตรง

การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงกระแสตรง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสของวงจร และความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำกับไฟฟ้าศักดาสูง เพื่อนำข้อมูลไปปรับค่าศักดาไฟฟ้าต่ำสุดของวงจรตรวจสอบสมรรถนะศักดาไฟฟ้าต่ำ ที่ยังคงทำให้ผลการวัดปริมาณรังสีคลาดเคลื่อนไม่เกินข้อกำหนดมาตรฐาน

4.2.1.1 การทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้า

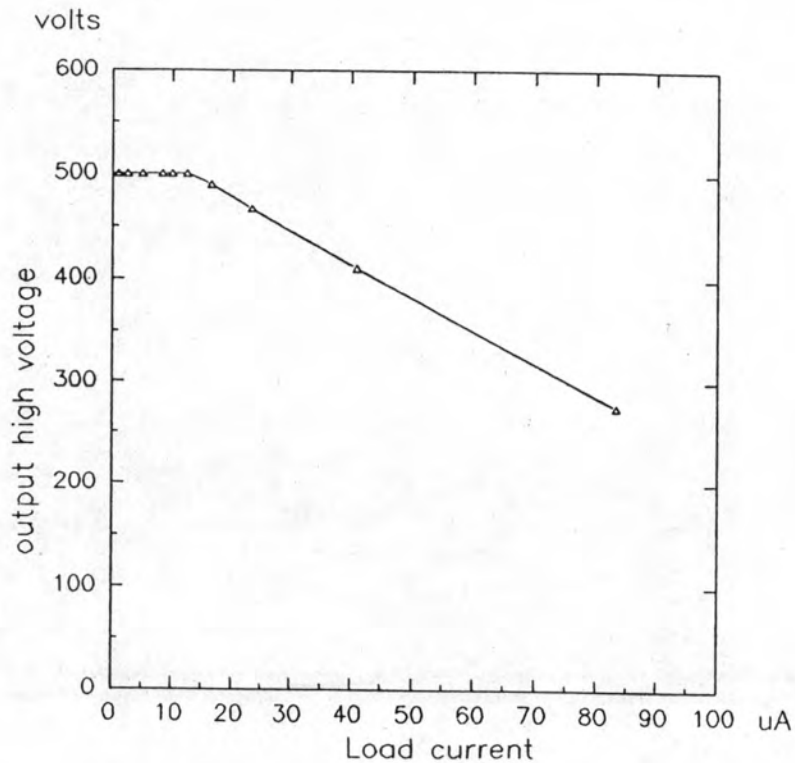
การทดสอบทำโดยจัดอุปกรณ์ทดสอบตามแผนภาพรูปที่ 4.1 ปรับศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำสำหรับทดสอบ (รายการที่ 3 ในข้อ 4.1) ให้มีศักดาไฟฟ้า 5 โวลต์ ปรับค่า VR_1 ของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่ทำการทดสอบให้ได้ค่าศักดาไฟฟ้า 500 โวลต์ จากนั้นแปรเปลี่ยนค่าตัวต้านทานที่ทำหน้าที่เป็นโหลดและอ่านค่าความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงกับกระแสไฟฟ้า ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.1 และเส้นกราฟ รูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของกระแสที่จ่ายให้โหลดกับศักดาไฟฟ้าของวงจรแหล่งจ่าย
ไฟฟ้าศักดาสูงกระแสตรง

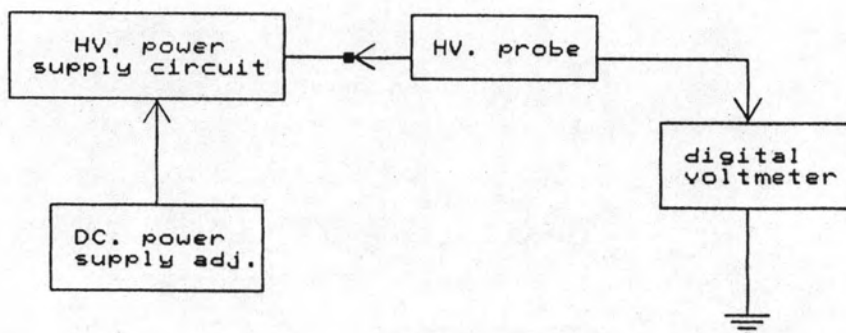
output high voltage (volts)	load current (μA)
500	1.00
500	2.50
500	5.00
500	8.30
500	10.00
500	12.50
490	16.50
467	23.35
411	41.10
275	83.30



รูปที่ 4.2 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้ากับกระแสที่จ่ายให้กับโหลด

4.2.1.2 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าต่ำและศักดาไฟฟ้าสูงของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงกระแสตรง

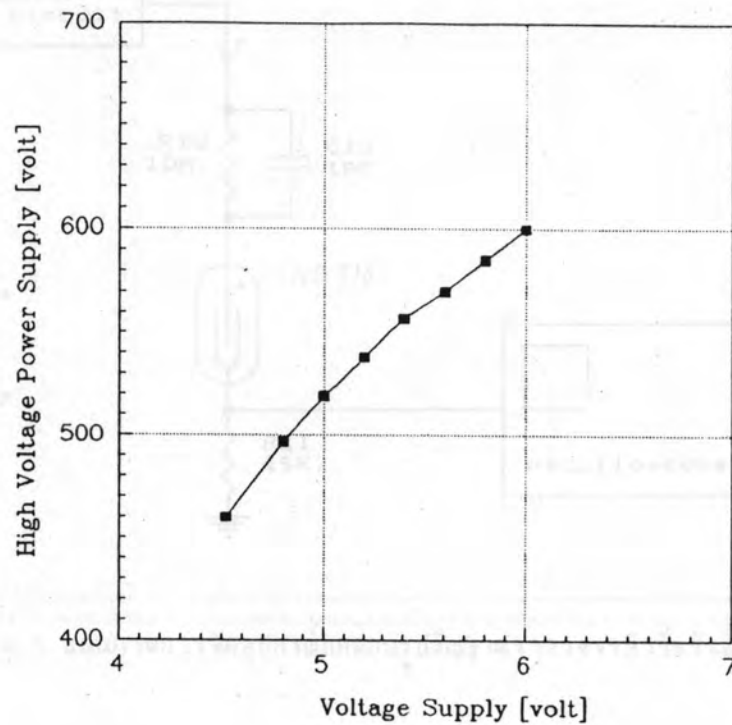
จัดอุปกรณ์ทดสอบตามแผนภาพที่ 4.3 โดยให้ความต้านทานโหลดเท่ากับ 500 เมกกะโอห์ม ปรับศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำสำหรับทดสอบให้ได้ 6 โวลต์ จากนั้นแปรเปลี่ยนค่าไฟฟ้าศักดาต่ำของแหล่งจ่ายทดสอบ และอ่านค่าความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าสูงของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงและค่าศักดาไฟฟ้าต่ำที่ทดสอบ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.2 และเส้นกราฟรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 แผนภาพการจับคู่อุปกรณ์เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าต่ำและศักดาไฟฟ้าสูง

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าต่ำและศักดาไฟฟ้าสูงของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

DC. power supply (volts)	output high voltage (volts)
4.52	460
4.80	497
5.00	519
5.20	538
5.40	557
5.60	570
5.80	585
6.00	600



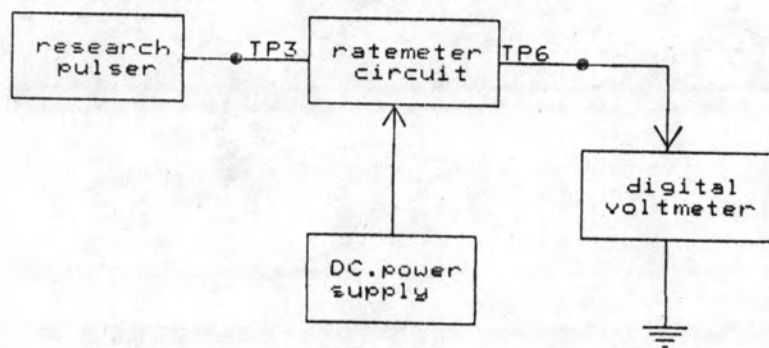
รูปที่ 4.4 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำกับวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงกระแสตรง

4.2.2 การทดสอบรูปสัญญาณจากหัววัดรังสีไอเกอร์

การทดสอบรูปสัญญาณนี้เป็นการตรวจสอบการทำงานของวงจรหัววัดรังสี ซึ่งไบอัสด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงภายในเครื่องวัดปริมาณรังสี เพื่อตรวจสอบสัญญาณรบกวนและสัญญาณพัลส์รูปเข็ม โดยจัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.5 ปรับค่าศักดาไฟฟ้าสูงที่ 550 โวลต์ ใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 ความแรง $1\mu\text{Ci}$ ทดสอบ อ่านค่ารูปสัญญาณด้วยเครื่องอ่านรูปสัญญาณ ผลการทดสอบ พบว่า สัญญาณจากวงจรส่งผ่านสัญญาณแบบทางตรง (DC coupling) ให้สัญญาณขนาดประมาณ 20 โวลต์ ค่า dead time ประมาณ $25\mu\text{s}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ไม่พบสัญญาณรบกวนจากวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงกระแสตรง

4.2.3 การทดสอบวงจรเรทมิเตอร์

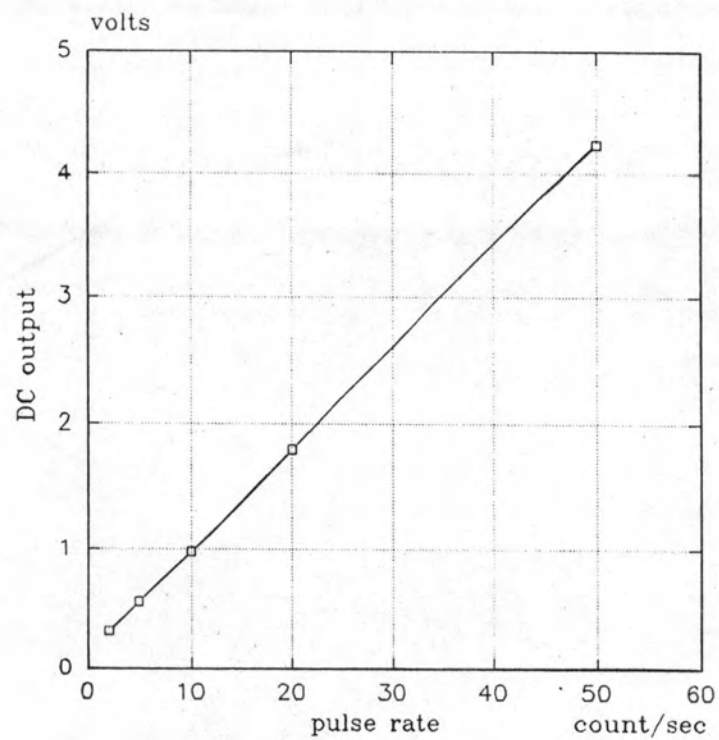
การทดสอบวงจรเรทมิเตอร์เป็นการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของการแปลงปริมาณนับรังสีให้เป็นระดับศักดาไฟฟ้า เพื่อความถูกต้องในการอ้างอิงระดับปริมาณรังสี สำหรับระบบส่งเสียงเตือน การทดสอบทำโดยจัดอุปกรณ์ทดสอบตามแผนภาพรูปที่ 4.7 ใช้แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าต่ำ 5 โวลต์ ป้อนสัญญาณพัลส์ขนาด 5 โวลต์ ความกว้างของพัลส์เท่ากับ $100 \mu\text{S}$ จาก research pulser แปรเปลี่ยนอัตราสัญญาณพัลส์ (pulse rate) จาก 2, 5, 10, 20, และ 50 count/second และอ่านค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัลส์กับศักดาไฟฟ้าทางออกของเรทมิเตอร์ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.3 และเส้นกราฟรูปที่ 4.7 โดยมีความเป็นเชิงเส้น 0.9988



รูปที่ 4.7 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบการทำงานของวงจรเรทมิเตอร์

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัลส์และศักดาไฟฟ้าทางออกของเรทมิเตอร์

อัตราสัญญาณพัลส์ (pulse rate) (cps)	ศักดาไฟฟ้าทางออกของเรทมิเตอร์ (โวลต์)
2	0.255
5	0.590
10	1.007
20	1.860
50	4.210



$$y = 0.1675 + 0.0814X$$

$$R^2 = 0.9988$$

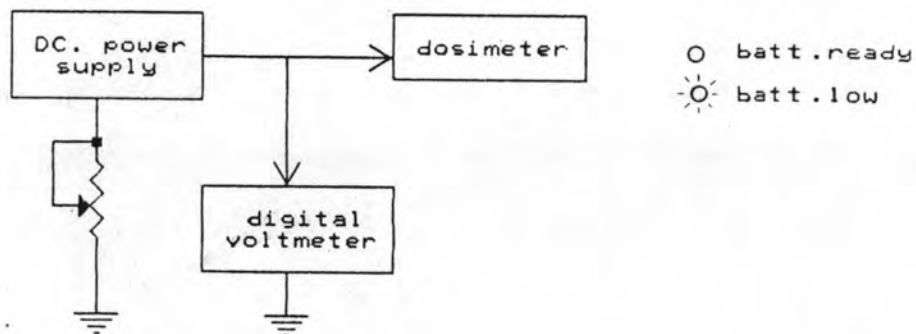
รูปที่ 4.8 เส้นกราฟความสัมพันธ์ของอัตราพัลส์และศักดาไฟฟ้าทางออกของเรทมิเตอร์

4.2.4 การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์

การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การทดสอบวงจรตรวจสอบสถานะสัปดาห์ไฟฟ้าต่ำของแบตเตอรี่ การสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสีและระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่

4.2.4.1 การทดสอบวงจรตรวจสอบสถานะสัปดาห์ไฟฟ้าต่ำของแบตเตอรี่

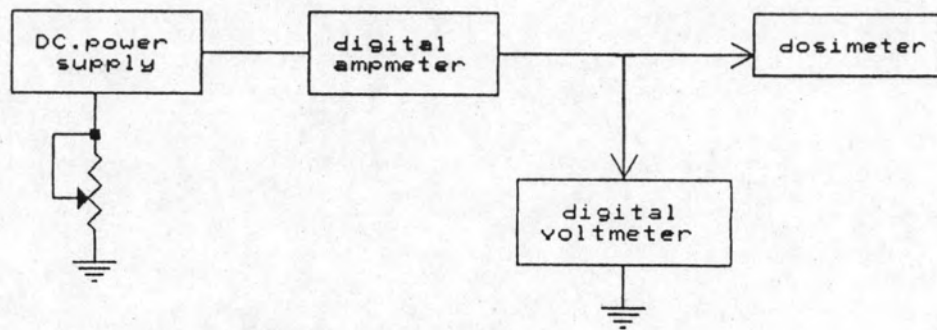
การทดสอบการทำงานของวงจรตรวจสอบสถานะสัปดาห์ไฟฟ้าต่ำ เป็น การทดสอบความถูกต้องของการทำงานของวงจรเปรียบเทียบสัปดาห์ไฟฟ้าที่ปรับไว้ที่ค่า 4.53 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าสัปดาห์ต่ำสุดที่ยังสามารถใช้เครื่องวัดปริมาณรังสีได้ โดยค่าวัดคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 15\%$ การทดสอบทำโดยจัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.9 แปรเปลี่ยนค่าสัปดาห์ไฟฟ้าของแหล่งจ่ายสัปดาห์ไฟฟ้าทดสอบระหว่าง 4-5 โวลต์ อ่านผลการทำงานจากไดโอดเปล่งแสงของเครื่อง (batt.ready และ batt.low) ผลการทดสอบพบว่าไดโอดจะเตือน batt.low ที่ 4.53 ± 0.05 โวลต์



รูปที่ 4.9 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรตรวจสอบสถานะสัปดาห์ไฟฟ้าต่ำ

4.2.4.2 การทดสอบการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสี

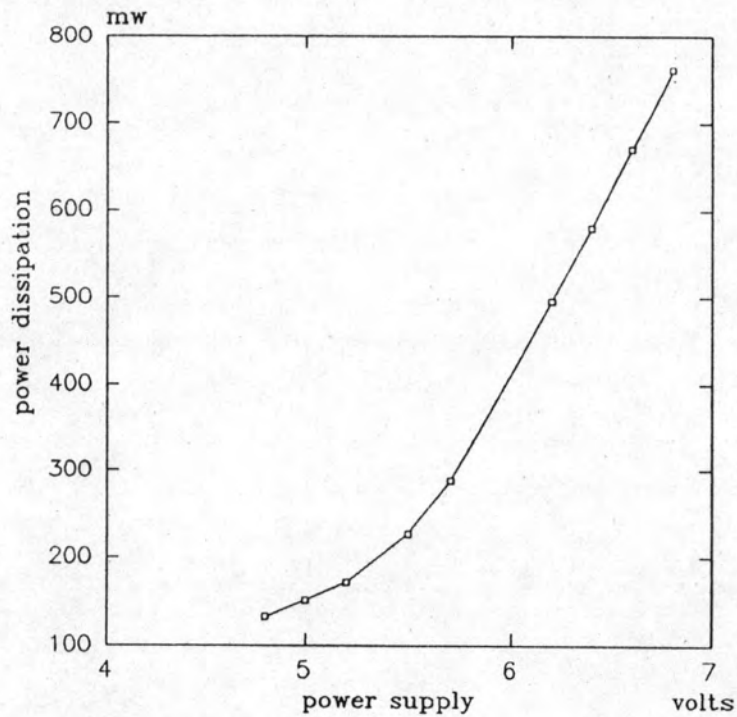
จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.10 แปรเปลี่ยนค่าสัปดาห์ไฟฟ้าของแหล่งจ่ายสัปดาห์ไฟฟ้าทดสอบจาก 4.8-6.8 โวลต์ อ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากการใช้สัปดาห์ไฟฟ้าแต่ละค่าและคำนวณ การสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.4 และเส้นกราฟรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 แผนภาพการวัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าต่ำและการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสี

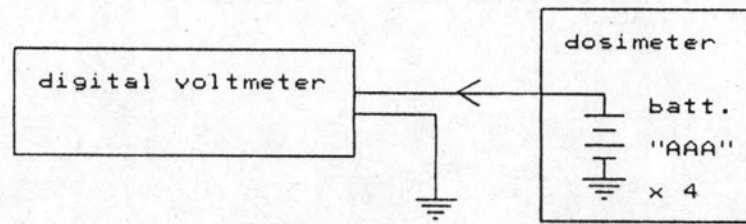
แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ (โวลต์)	กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (มิลลิแอมป์)	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (มิลลิวัตต์)	
4.8	27.56	132.20	<----ศักดาปกติ
5.0	30.18	150.90	Ni-Cd
5.2	33.00	171.60	
5.5	41.30	227.15	
5.7	50.50	287.85	<----ประจุเต็ม
6.2	80.00	496.00	
6.4	90.60	579.84	
6.6	101.60	670.56	
6.8	112.00	761.60	



รูปที่ 4.11 เส้นกราฟความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าต่ำและการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสี

4.2.4.3 การทดสอบระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่

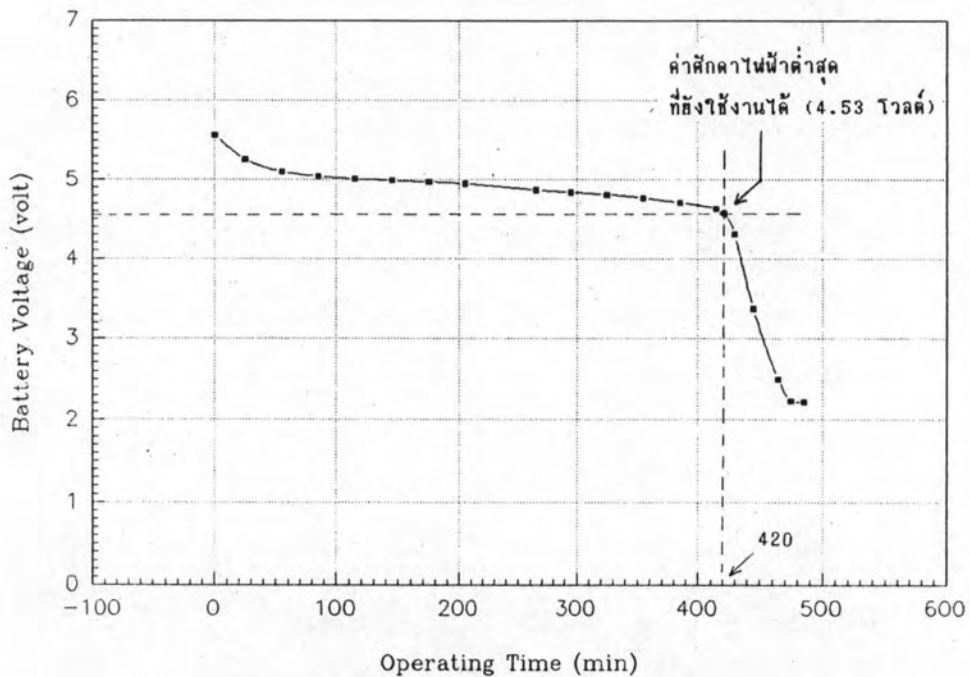
เครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้นออกแบบให้ใช้กับแบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม ขนาด 1.2 โวลต์ ขนาด AAA 4 ก้อน มีความจุ 180 mAh การทดสอบระยะเวลาใช้งานทำโดยจัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.12 ใช้แบตเตอรี่ที่ประจุไฟฟ้าเต็มที่บันทึกเวลาการทำงานของเครื่องและศักดาไฟฟ้าเริ่มต้น จนกระทั่งถึงสภาวะศักดาไฟฟ้าต่ำกว่าพิกัดทำงาน ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.5 และเส้นกราฟรูปที่ 4.13 พบว่าสามารถใช้งานได้เต็มที่ประมาณ 7 ชั่วโมง



รูปที่ 4.12 แผนภาพการจัตุอุปกรณ์ทดสอบระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของระยะเวลาใช้งานและศักดาไฟฟ้าของแบตเตอรี่

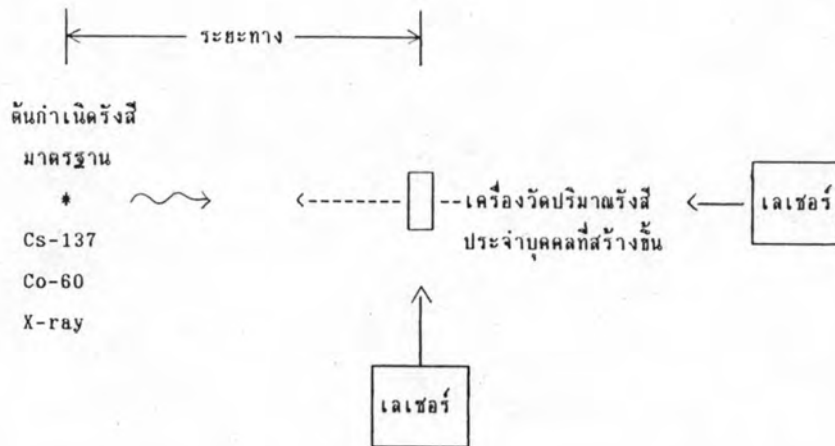
เวลาใช้งาน (นาที)	ศักดาไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (โวลต์)
0	5.57
25	5.26
55	5.10
85	5.04
115	5.01
145	4.99
175	4.97
205	4.95
265	4.87
295	4.84
325	4.81
355	4.77
385	4.71
415	4.63
430	4.31
445	3.37
465	2.50
475	2.23
485	2.22



รูปที่ 4.13 เส้นกราฟความสัมพันธ์ของระยะเวลาใช้งานและศักดาไฟฟ้าของแบตเตอรี่

4.3 การปรับเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

การปรับเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การปรับเทียบระดับเดือนอัตราปริมาณรังสี (dose rate) และปรับเทียบปริมาณรังสีสะสม (accumulated dose) ด้วยเครื่องควบคุมต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL) ของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยจัดอุปกรณ์ปรับเทียบตามแผนภาพรูปที่ 4.14 ก่อนทำการปรับเทียบจะต้องเปิดฝาครอบกล่องเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล ด้านแผ่นวงจรปรับเทียบปริมาณรังสีออก เพื่อสะดวกในการปรับค่า



รูปที่ 4.14 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ปรับเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

4.3.1 การปรับเทียบระดับเดือนอัตราปริมาณรังสี

ขั้นตอนการปรับเทียบ

1. เลือกสวิตช์ SW_6 ตามตำแหน่งที่ต้องการปรับเทียบได้แก่ 1, 2, 3 ซึ่งเป็นระดับสีกดาอ้างอิงของอัตราปริมาณรังสีในการปรับเทียบแต่ละค่าที่ 2.5, 10 และ 25 mR/hr ตามลำดับ
2. ทำการรีเซ็ตเครื่องให้มีสภาพพร้อมเริ่มต้นทำงานและนำเครื่องวางไว้ในตำแหน่งปรับเทียบมาตรฐาน ซึ่งทำเครื่องหมายด้วยลำแสงเลเซอร์
3. ปรับค่า VR_2 จนกระทั่งเสียงเตือนอัตราปริมาณรังสีแต่ละค่าทำงานใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงมากที่สุด

ผลการปรับเทียบพบว่าการทำงานของระบบส่งเสียงเตือนอัตราปริมาณรังสีในแต่ละค่า มีความคลาดเคลื่อนจากค่าอ้างอิงน้อยกว่า $\pm 15\%$

4.3.2 การปรับเทียบปริมาณรังสีสะสม

ขั้นตอนการปรับเทียบ

1. รีเซ็ตเครื่องวัดปริมาณรังสีให้มีสภาพพร้อมเริ่มต้นทำงาน และนำไปวางไว้ในตำแหน่งปริมาณรังสีปรับเทียบมาตรฐานที่ 577, 883.32, 1403.13, 2479.34 mR/hr ตามลำดับ

2. ปรับเทียบค่าที่อ่านด้วยสวิตช์ตัวหาร SW_2 และ SW_3 (รายละเอียดในภาคผนวก ข.)

3. แปรเปลี่ยนสวิตช์ SW_2 และ SW_3 จนกระทั่งค่าที่อ่านได้มีความผิดพลาดน้อยกว่า $\pm 20\%$

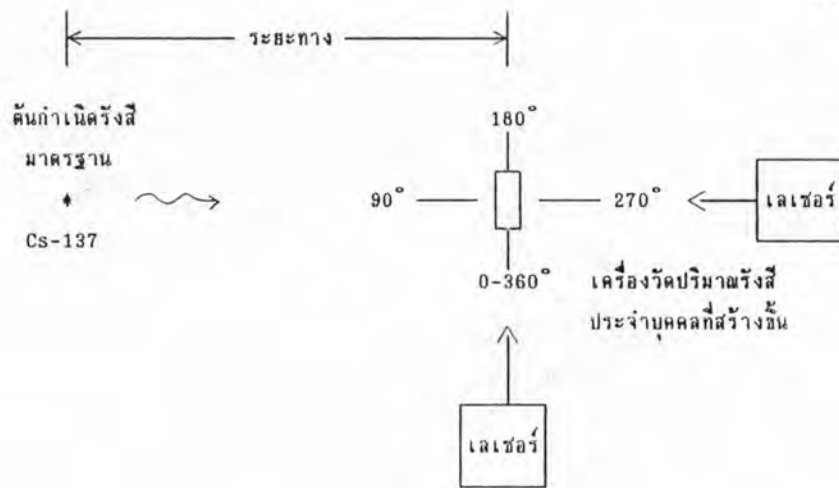
ผลการปรับเทียบแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการปรับเทียบปริมาณรังสีสะสม

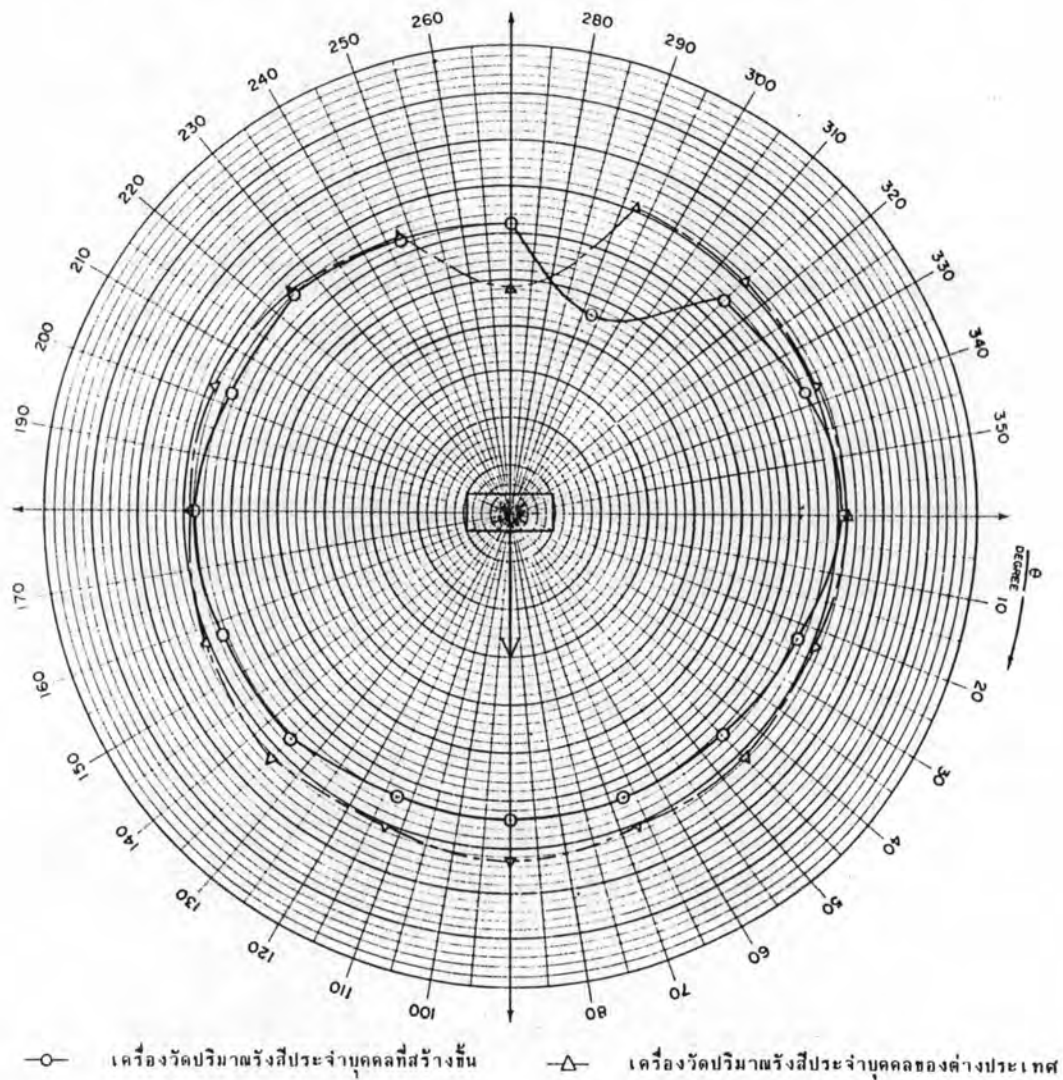
ปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งปรับเทียบ (Cs-137) mR/hr	เวลา (นาฬิกา): (วินาที)	ปริมาณรังสีสะสม (mR)	ค่าที่อ่านได้แต่ละครั้ง (mR)				\bar{X} (mR)	ความคลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
			1	2	3	4		
			577.00	10:00	96	97		
883.32	13:35	200	225	225	220	227	224.25	12.12
1403.13	8:33	200	220	210	208	222	215.00	7.50
2479.34	4:50	200	199	198	195	201	198.25	-0.87

4.4 การทดสอบการตอบสนองต่อทิศทางการวัดปริมาณรังสีของเครื่อง (directional dependence)

การทดสอบการตอบสนองต่อทิศทางการวัดรังสีของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องวัดปริมาณรังสีของ Alnor รุ่น RAD-21L โดยจัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.15 ด้วยเครื่องควบคุมต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่จุดปรับเทียบมาตรฐาน อัตราปริมาณรังสี 577 mR/hr ใช้เวลาวัด 5 นาที แปรเปลี่ยนมุมทดสอบของเครื่องทั้งสองครั้งละ 22.5 องศา จนครบ 360 องศา ผลการทดสอบทิศทางการวัดปริมาณรังสี เปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ แสดงในตารางที่ 4.7 และเส้นกราฟเปรียบเทียบรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการตอบสนองต่อทิศทางการวัดรังสี



รูปที่ 4.16 เส้นกราฟเปรียบเทียบการตอบสนองต่อทิศทางการวัดของเครื่องวัดปริมาณรังสี ประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นและของต่างประเทศ (Alnor รุ่น RAD-21L)

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบผลการทดสอบการตอบสนองต่อทิศทางการวัดปริมาณรังสีระหว่าง
เครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ

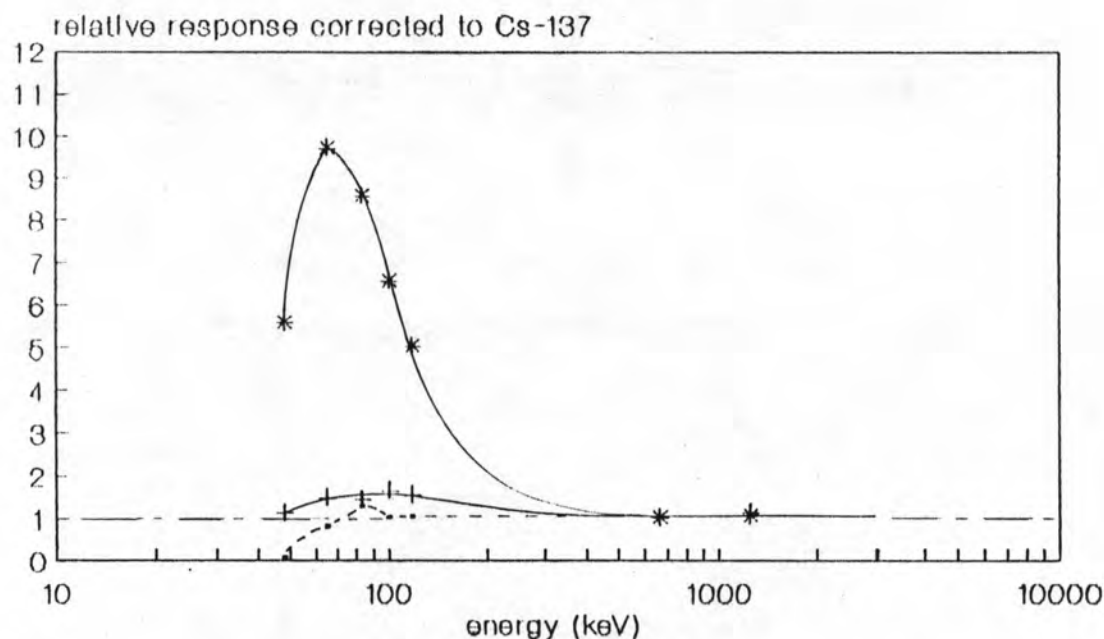
ทิศทางการวัด (องศา)	acc.dose (mR) A	ค่าที่อ่านได้ (x) mR			\bar{X} (mR)	response \bar{X}/A
		1	2	3		
0,360.0	48	48	48	49	48.33	1.01
		(49)	(49)	(49)	(49.00)	(1.02)
337.5	48	47	48	46	47.00	0.98
		(49)	(49)	(48)	(48.67)	(1.01)
315.0	48	45	46	46	45.67	0.95
		(49)	(49)	(48)	(48.67)	(1.01)
292.5	48	37	36	37	36.67	0.76
		(48)	(48)	(49)	(48.33)	(1.01)
270.0	48	44	45	44	44.33	0.92
		(37)	(38)	(38)	(37.67)	(0.78)
247.5	48	45	45	44	44.67	0.93
		(45)	(45)	(46)	(45.33)	(0.94)
225.0	48	45	46	47	46.00	0.96
		(47)	(47)	(46)	(46.67)	(0.97)
202.5	48	46	45	46	45.67	0.95
		(48)	(48)	(47)	(47.67)	(0.99)
180.0	48	47	47	48	47.33	0.99
		(47)	(48)	(48)	(47.67)	(0.99)
157.5	48	46	46	47	46.33	0.97
		(48)	(49)	(48)	(48.33)	(1.01)
135.0	48	46	46	47	46.33	0.97
		(49)	(49)	(50)	(49.33)	(1.03)
112.5	48	45	45	46	45.33	0.94
		(48)	(49)	(49)	(48.67)	(1.01)
90.0	48	45	45	45	45.00	0.94
		(49)	(49)	(50)	(49.33)	(1.03)
67.5	48	45	45	46	45.33	0.94
		(49)	(48)	(49)	(48.67)	(1.01)
45.0	48	45	46	46	45.67	0.95
		(49)	(49)	(49)	(49.00)	(1.02)
22.5	48	46	46	47	46.33	0.97
		(49)	(48)	(49)	(48.67)	(1.01)

() = ค่าที่วัดจากเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดเดียวกันจากต่างประเทศ

4.5 การทดสอบการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่ พลังงานของ Cs-137 (energy dependence)

การทดสอบการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับเครื่องของ Alnor รุ่น RAD-21L ทดสอบโดยนำเครื่องวัดวางในตำแหน่งต่างๆ ที่อ่านค่าปริมาณรังสีมาตรฐาน 200 mR แปรเปลี่ยนพลังงานค่าต่างๆ ด้วยการใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137, Co-60 และเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ผลการทดสอบการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีของเครื่องที่พัฒนาขึ้น แบ่งเป็นผลตอบสนองเมื่อยังไม่มีกำบังค่าตอบสนองต่อพลังงานที่หัววัดรังสี และหลังจากกำบังแล้วเปรียบเทียบกับเครื่องจากต่างประเทศ ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และเส้นกราฟเปรียบเทียบผลการวัดรูปที่ 4.17

ENERGY DEPENDENCE



- * : เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นไม่ได้แก้ค่าการตอบสนองต่อพลังงาน
- : เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นแก้ค่าด้วยตะกั่วหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร
- + : เครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดเดียวกันจากต่างประเทศ

รูปที่ 4.17 เส้นกราฟเปรียบเทียบการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น และที่ผลิตจากต่างประเทศ (Alnor รุ่น RAD-21L)

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการทดสอบการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องวัด
ปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้นและเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ

พลังงาน (keV)	acc. dose (mR) A	ค่าที่วัดได้ (X)				$\bar{x} \pm SD$ (n = 4) mR	relative response corrected to Cs-137
		mR					
48	200	10	10	10	10	10.00 \pm 0000	0.0488
		(224)	(227)	(227)	(226)	(226.00) \pm 1.225	(1.1229)
		[1115]	[1125]	[1110]	[1113]	[1115.75] \pm 5.629	[5.5030]
65	200	158	159	160	160	159.25 \pm 0.829	0.7777
		(297)	(298)	(297)	(295)	(296.75) \pm 1.089	(1.4745)
		[1942]	[1946]	[1940]	[1942]	[1942.50] \pm 2.179	[9.5807]
83	200	250	251	253	254	252.00 \pm 1.581	1.2307
		(286)	(286)	(285)	(286)	(285.75) \pm 0.433	(1.4198)
		[1715]	[1710]	[1708]	[1712]	[1711.25] \pm 2.586	[8.4401]
100	200	202	202	203	203	202.50 \pm 0.500	0.9890
		(329)	(330)	(330)	(330)	(329.75) \pm 0.433	(1.6385)
		[1319]	[1310]	[1307]	[1309]	[1311.25] \pm 4.603	[6.4673]
118	200	205	206	206	207	206.00 \pm 0.707	1.0061
		(309)	(308)	(308)	(309)	(308.50) \pm 0.500	(1.5329)
		[1013]	[1008]	[1001]	[1007]	[1007.25] \pm 4.264	[4.9679]
662	200	202	210	199	208	204.75 \pm 4.437	1.0000
		(202)	(202)	(201)	(200)	(201.25) \pm 0.829	(1.0000)
		[204]	[203]	[202]	[202]	[202.75] \pm 0.829	[1.0000]
1250	200	223	213	220	218	218.50 \pm 3.640	1.0671
		(228)	(229)	(227)	(228)	(228.00) \pm 0.707	(1.1329)
		[213]	[212]	[210]	[209]	[211.00] \pm 1.581	[1.0406]

: ค่าที่วัดจากเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ค่าการตอบสนองต่อพลังงานของหัววัด โดยใช้ตะกั่วหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร หุ้มหัววัดรังสี

() : ค่าที่วัดจากเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดเดียวกันจากต่างประเทศ

[] : ค่าที่วัดจากเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่สร้างขึ้น วัตถุประสงค์ยังไม่ได้นำค่าการตอบสนองต่อพลังงาน

4.6 การทดสอบการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของเครื่องวัดปริมาณรังสี
(dose rate dependence)

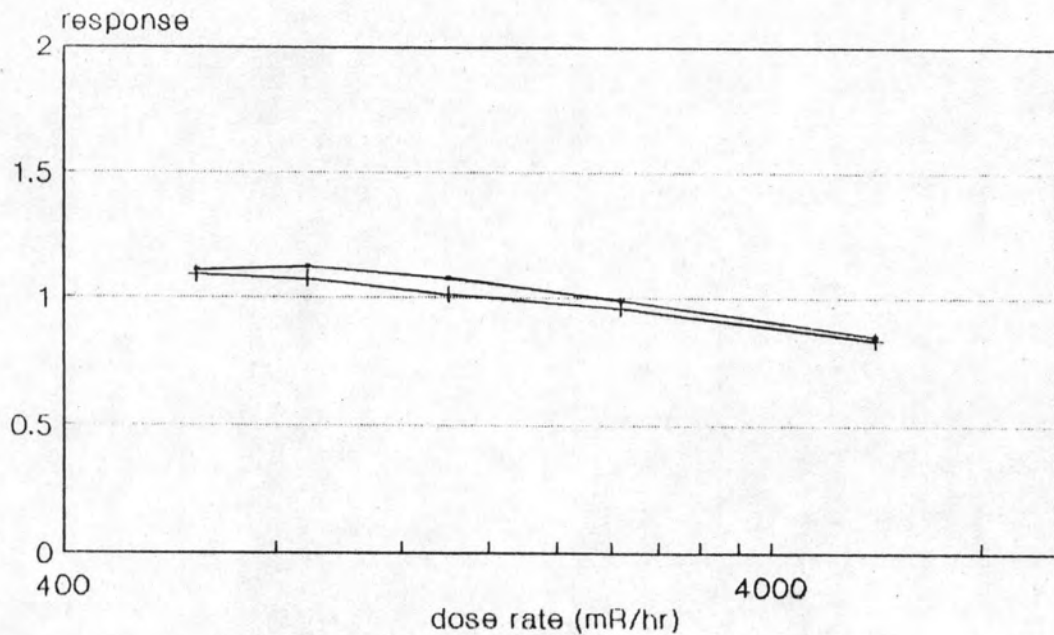
การทดสอบการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับเครื่องวัดปริมาณรังสี Alnor รุ่น RAD-21L ทดสอบโดยนำเครื่องวัดวางในตำแหน่งต่างๆ ที่อ่านค่าปริมาณรังสีมาตรฐาน 200 mR แปรเปลี่ยนอัตราปริมาณรังสีของเครื่องความคมปริมาณรังสี Cs-137 ผลการทดสอบการตอบสนองอัตราปริมาณรังสีของเครื่องวัดปริมาณรังสี เปรียบเทียบกัน แสดงในตารางที่ 4.9 และเส้นกราฟเปรียบเทียบรูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบผลทดสอบการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของเครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้นและเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ

ค่า dose rate (mR/hr)	ค่า acc.dose (mR) A	ค่าที่อ่านได้ (x) mR				$\bar{x} \pm SD$ (n = 4) mR	response \bar{x}/A
		1	2	3	4		
617.07	200	220	225	219	222	221.50 \pm 2.291	1.108
		(217)	(218)	(217)	(218)	(217.50) \pm 0.500	(1.088)
883.32	200	225	225	220	227	224.25 \pm 2.586	1.121
		(214)	(214)	(215)	(215)	(214.50) \pm 0.500	(1.072)
1403.13	200	220	210	208	222	215.00 \pm 6.082	1.075
		(202)	(203)	(202)	(203)	(202.25) \pm 0.500	(1.011)
2479.34	200	199	198	195	201	198.25 \pm 2.165	0.991
		(192)	(193)	(191)	(192)	(192.00) \pm 0.707	(0.960)
5625.65	200	170	167	165	175	169.25 \pm 3.766	0.850
		(166)	(168)	(166)	(167)	(166.75) \pm 0.829	(0.834)

() : ค่าที่วัดจากเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดเดียวกันจากต่างประเทศ

DOSE RATE DEPENDENCE



-- : เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น

-+- : เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลของต่างประเทศ

รูปที่ 4.18 เส้นกราฟเปรียบเทียบผลการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีระหว่างเครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้นและเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ

4.7 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลเมื่อวัดแบบต่อเนื่อง (integral linearity)

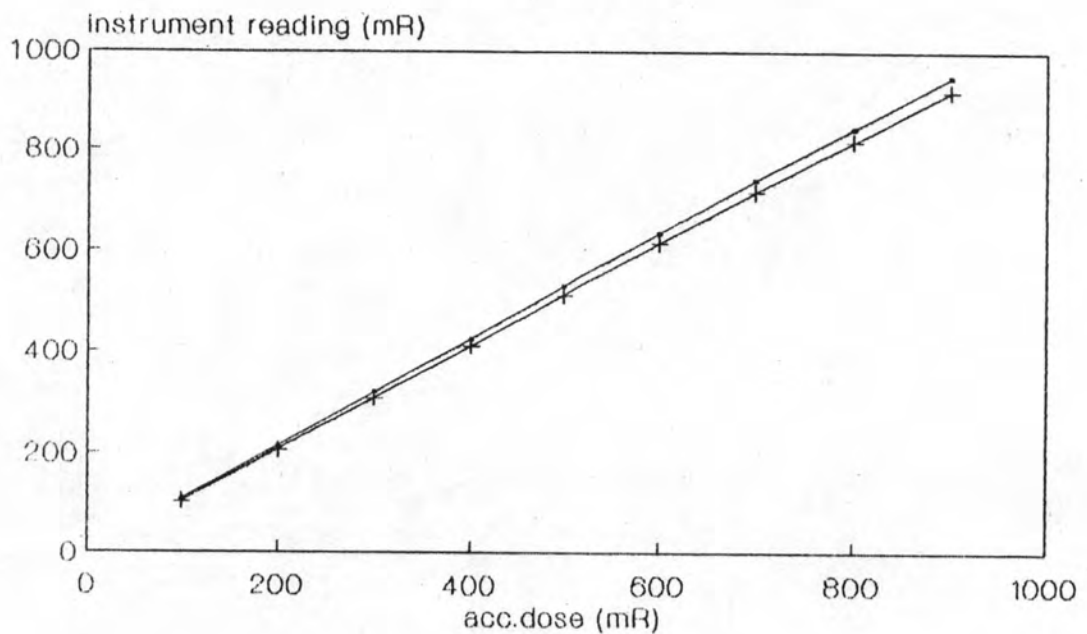
การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลของ Alnor รุ่น RAD-21L ทดสอบโดยนำเครื่องวัดปริมาณรังสีวางไว้ที่ตำแหน่งอัตราปริมาณรังสี 1500 mR/hr อ่านค่าปริมาณรังสีทุกๆ นาที ผลการทดสอบ แสดงผลในตารางที่ 4.10 และเส้นกราฟเปรียบเทียบรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบผลทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำ
บุคคลที่พัฒนาขึ้นและที่ผลิตจากต่างประเทศ

เวลานับวัด (นาที)	acc.dose (mR)	ค่าที่อ่านได้(x) mR				$\bar{x} \pm SD$ (mR)
		1	2	3	4	
4	100	107	106	108	104	106.25 \pm 1.479
		(102)	(102)	(103)	(103)	(102.50) \pm 0.500
8	200	213	212	216	208	212.25 \pm 2.861
		(204)	(205)	(207)	(206)	(205.50) \pm 1.118
12	300	319	318	324	311	318.00 \pm 4.637
		(306)	(307)	(310)	(308)	(307.75) \pm 1.479
16	400	426	423	431	414	423.50 \pm 6.185
		(408)	(408)	(413)	(410)	(409.75) \pm 2.046
20	500	532	528	538	516	528.50 \pm 8.047
		(510)	(509)	(516)	(512)	(511.75) \pm 2.681
24	600	638	633	645	618	633.50 \pm 9.912
		(612)	(611)	(618)	(614)	(613.75) \pm 2.681
28	700	743	737	752	720	738.00 \pm 11.683
		(713)	(712)	(720)	(716)	(715.25) \pm 3.112
32	800	848	841	858	822	842.25 \pm 13.160
		(814)	(813)	(822)	(818)	(816.75) \pm 3.562
36	900	953	945	963	923	946.00 \pm 14.731
		(916)	(915)	(923)	(920)	(918.50) \pm 3.202

() = ค่าที่วัดจากเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดเดียวกันจากต่างประเทศ

Integral linearity



-- : เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น $y = 2.667 + 1.0498x$

$$R^2 = 0.9999$$

+- : เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลของต่างประเทศ $y = 1.5486 + 1.0194x$

$$R^2 = 0.9999$$

รูปที่ 4.19 เส้นกราฟเปรียบเทียบผลทดสอบความเป็นเชิงเส้นของค่าปริมาณรังสีจากเครื่องวัดที่พัฒนาขึ้นและเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศ

4.8 การทดสอบความแม่นยำ (accuracy)

การทดสอบความแม่นยำ ทำโดยควบคุมต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ให้ได้ปริมาณรังสีสะสม 200 mR คงที่ เปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องวัดไปตามจุดปรับเทียบปริมาณรังสีมาตรฐานที่ตำแหน่งอัตราปริมาณรังสี 617.07, 883.32, 1403.13, 2479.34, 5625.65 mR/hr ตามลำดับ ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลทดสอบความแม่นยำของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

dose rate (mR/hr)	acc.dose (mR)	ค่าที่วัดได้ (mR)				ความแม่นยำ (เปอร์เซ็นต์)
		1	2	3	4	
617.07	200	220	-	-	-	10.0
		-	225	-	-	12.5
		-	-	219	-	12.0
		-	-	-	222	9.5
883.32	200	225	-	-	-	12.5
		-	225	-	-	12.5
		-	-	220	-	10.0
		-	-	-	227	13.5
1403.13	200	220	-	-	-	10.0
		-	210	-	-	5.0
		-	-	208	-	4.0
		-	-	-	222	11.0
2479.34	200	199	-	-	-	- 0.5
		-	198	-	-	- 1.0
		-	-	195	-	- 2.5
		-	-	-	201	+ 0.5
5625.65	200	170	-	-	-	-15.0
		-	167	-	-	-16.5
		-	-	165	-	-17.5
		-	-	-	175	-12.5

4.9 การทดสอบความเที่ยงตรง (precision)

การทดสอบความเที่ยงตรงของเครื่องทำได้โดยควบคุมเครื่องควบคุมต้นกำเนิดรังสีให้ได้ปริมาณรังสีสะสม 200 mR คงที่ เปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องวัดปริมาณรังสีไปตามจุดปรับเทียบอัตราปริมาณรังสีที่ตำแหน่ง 617.07, 883.32, 1403.13, 2479.34, 5625.65 mR/hr ตามลำดับ อ่านค่าปริมาณรังสีซ้ำกัน 4 ครั้ง เพื่อทดสอบความเที่ยงตรง ผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงผลความเที่ยงตรงของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

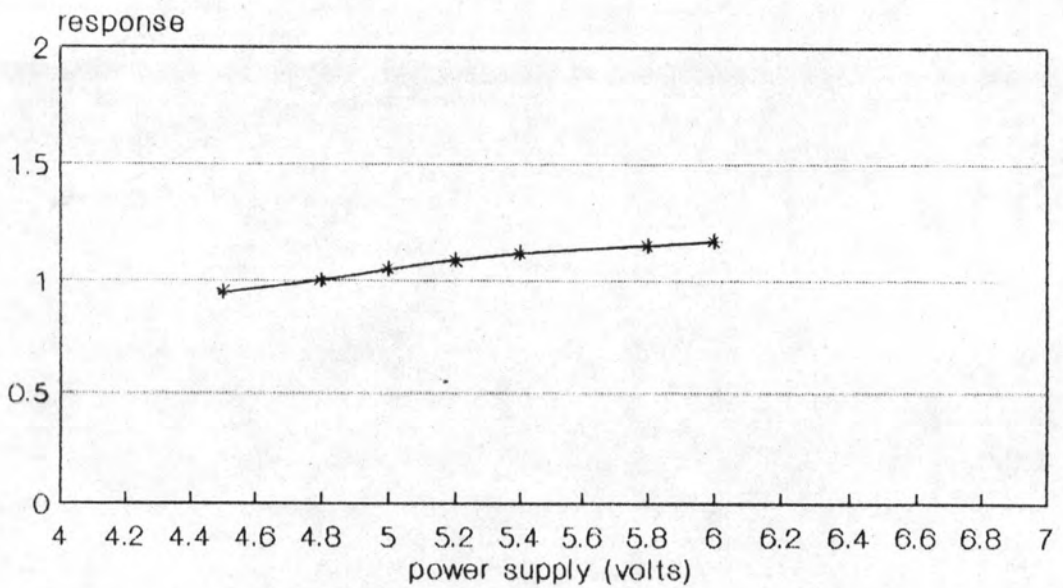
ค่า dose rate (mR/hr)	ค่า acc. dose (mR)	ค่าที่อ่านได้ (x) mR				$\bar{X} \pm SD$ (mR)	coefficient of variation $CV = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100\%$
		1	2	3	4		
617.07	200	220	225	219	222	221.50 \pm 2.291	1.034
883.32	200	225	225	220	227	224.25 \pm 2.586	1.153
1403.13	200	220	210	208	222	215.00 \pm 6.082	2.828
2479.34	200	199	198	195	201	198.25 \pm 2.165	1.092
5625.65	200	170	167	165	175	169.25 \pm 3.766	2.225

4.10 การทดสอบผลตอบสนองต่อสีกาไฟฟ้าต่ำ

การทดสอบผลตอบสนองต่อสีกาไฟฟ้าต่ำจากแบตเตอรี่ ทำโดยการจ่ายสีกาไฟฟ้าต่ำด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้า ทดสอบและแปรเปลี่ยนค่าสีกาไฟฟ้าต่ำ เพื่ออ่านค่าปริมาณรังสีมาตรฐาน 100 mR จากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนเป็นไปตามตารางที่ 4.13 และเส้นกราฟรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.13 ค่าคลาดเคลื่อนจากผลของศักดาไฟฟ้า

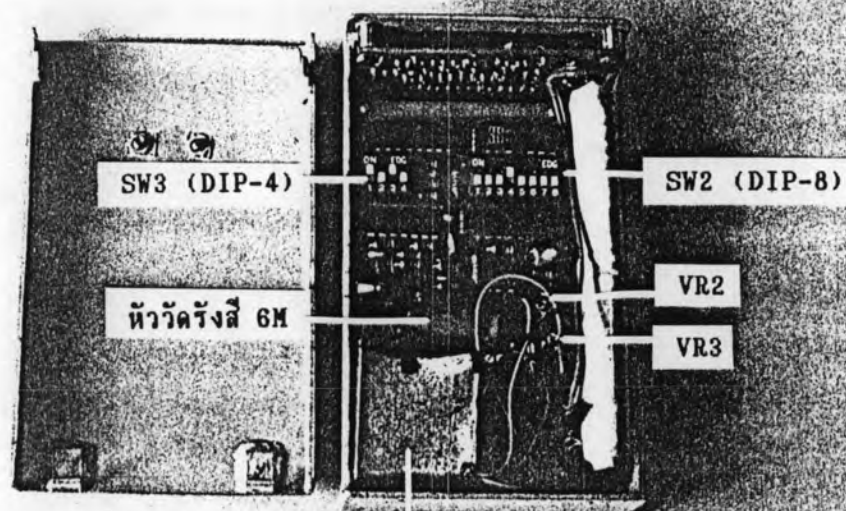
ศักดาไฟฟ้าต่ำ (v)	acc. dose (mR) A	ค่าวัดได้ (mR)			X (mR)	response X/A
4.5	100	95	95	95	95	0.95
4.8	100	100	100	100	100	1.00
5.0	100	105	105	105	105	1.05
5.2	100	109	109	109	109	1.09
5.4	100	112	112	112	112	1.12
5.8	100	115	115	115	115	1.15
6.0	100	117	117	117	117	1.17



รูปที่ 4.20 เส้นกราฟความสัมพันธ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำและผลตอบสนองของค่าที่อ่าน

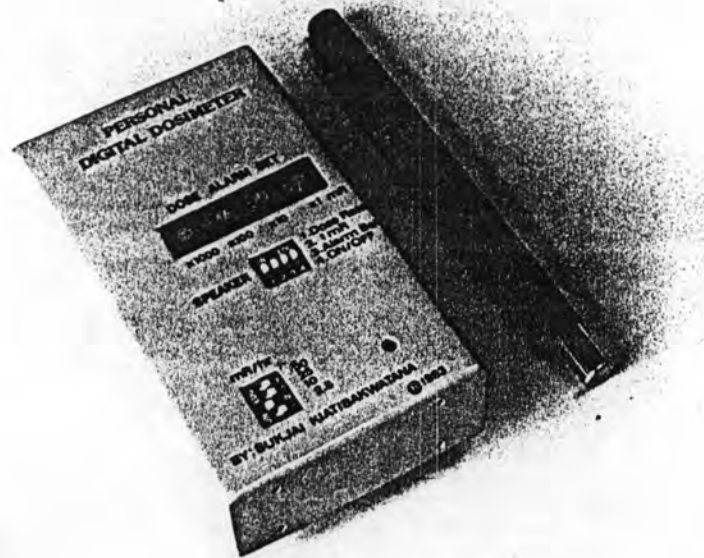


รูปที่ 4.21 เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผลเชิงตัวเลขที่สร้างขึ้น NT 1401



แหล่งกำเนิดไฟฟ้าสีกคาสุง

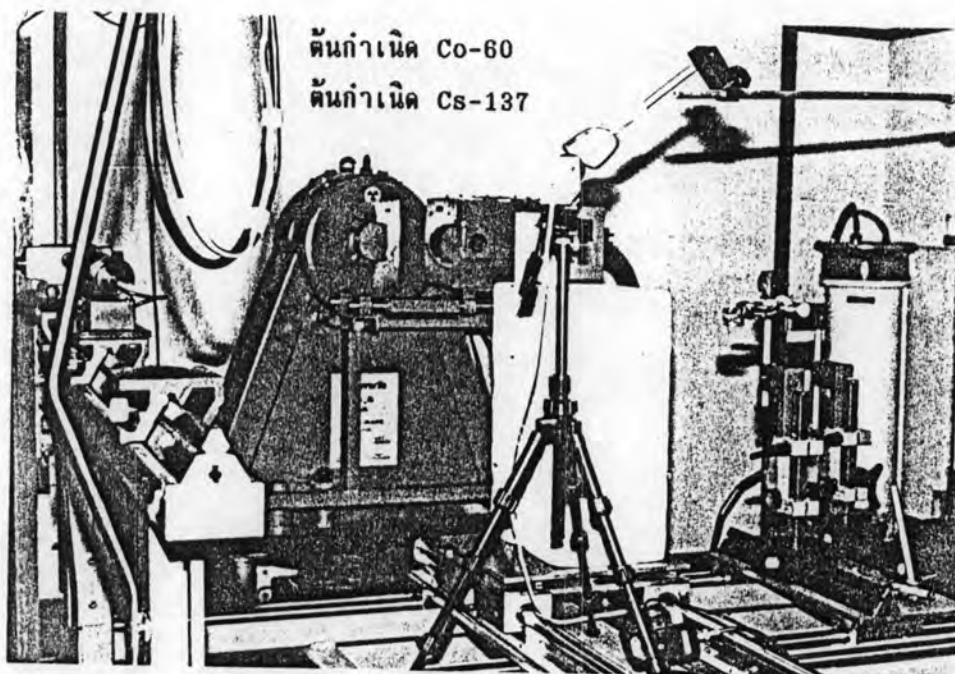
รูปที่ 4.22 ภายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่สร้างขึ้น



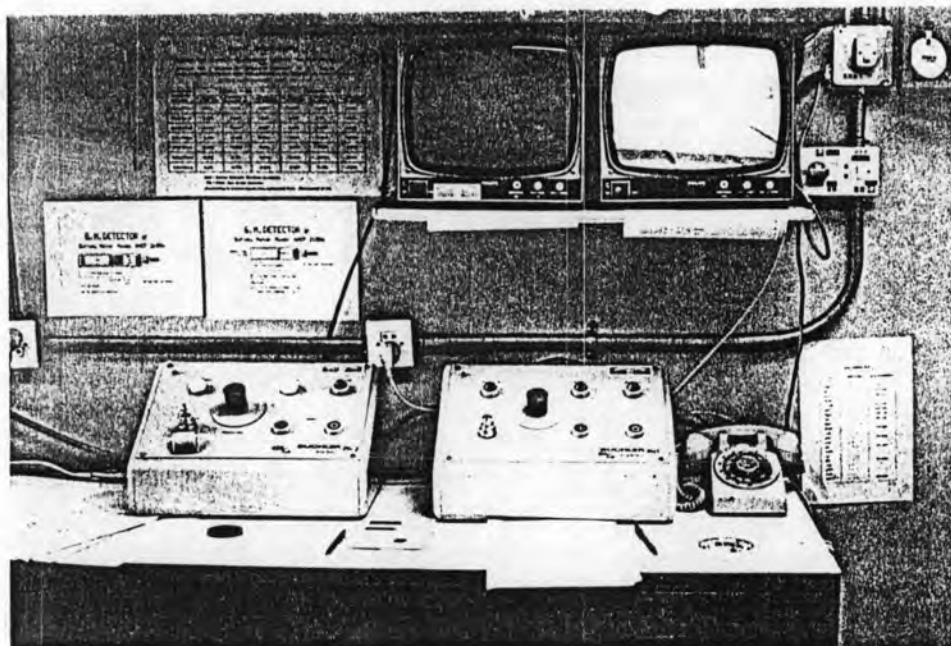
รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบขนาดเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่สร้างขึ้นกับปากกา



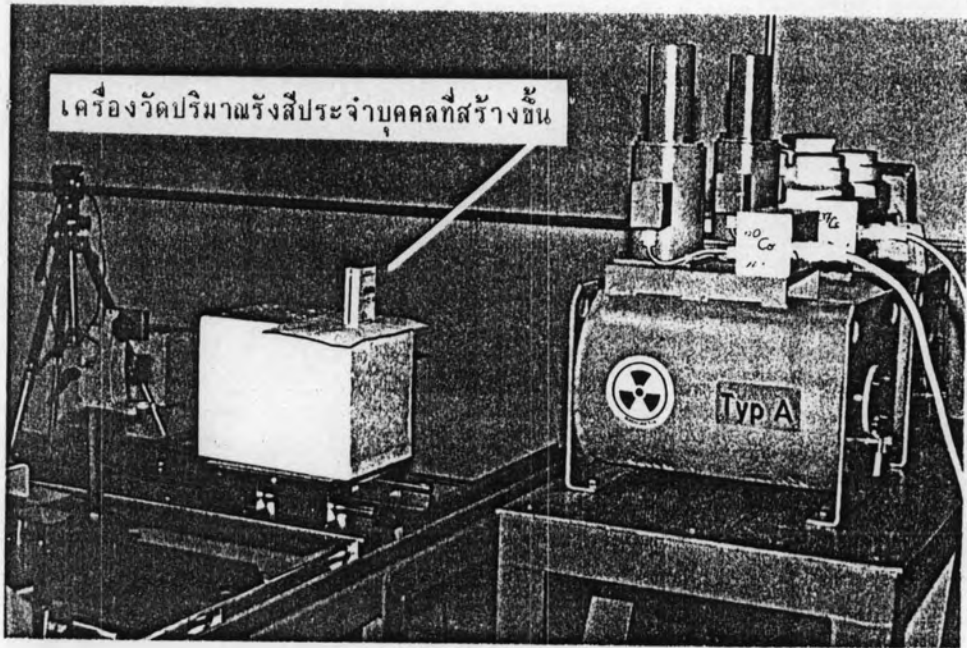
รูปที่ 4.24 เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผลเชิงตัวเลขที่สร้างขึ้นกับเครื่องวัดชนิดเดียวกันจากต่างประเทศ



รูปที่ 4.25 ภายในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ



รูปที่ 4.26 ชุดควบคุมห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ



รูปที่ 4.27 อุปกรณ์ปรับเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผลเชิงตัวเลข