

บทที่ 5

การวิเคราะห์เครื่องวัดการรับรังสีดวงอาทิตย์

คำนำ

สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ตลอดจนลักษณะการทำงานของเครื่องวัดการรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยจะแบ่งขั้นตอนของการวิเคราะห์ออกเป็น

- ก. แหล่งจ่ายไฟ
- ข. ภาค A/D Converter
- ค. Accuracy ของการวัดการรับรังสีของดวงอาทิตย์
- ง. Accuracy ของภาคเฉลี่ยค่าการรับรังสี
- จ. ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าการรับรังสีของดวงอาทิตย์ที่วัดได้
- ฉ. ผลของ Cosine effect และ edge effect ของเซลล์แสงอาทิตย์
- ช. ลักษณะการทำงานของเครื่องวัดการรับรังสี

แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

เนื่องจากเครื่องวัดนี้ประกอบด้วยวงจรไอซีแตกต่างกันหลายชนิด ซึ่งต่างก็ใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าแตกต่างกัน ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟจึงต้องมีหลายชุด สำหรับระดับความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้นี้แบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ

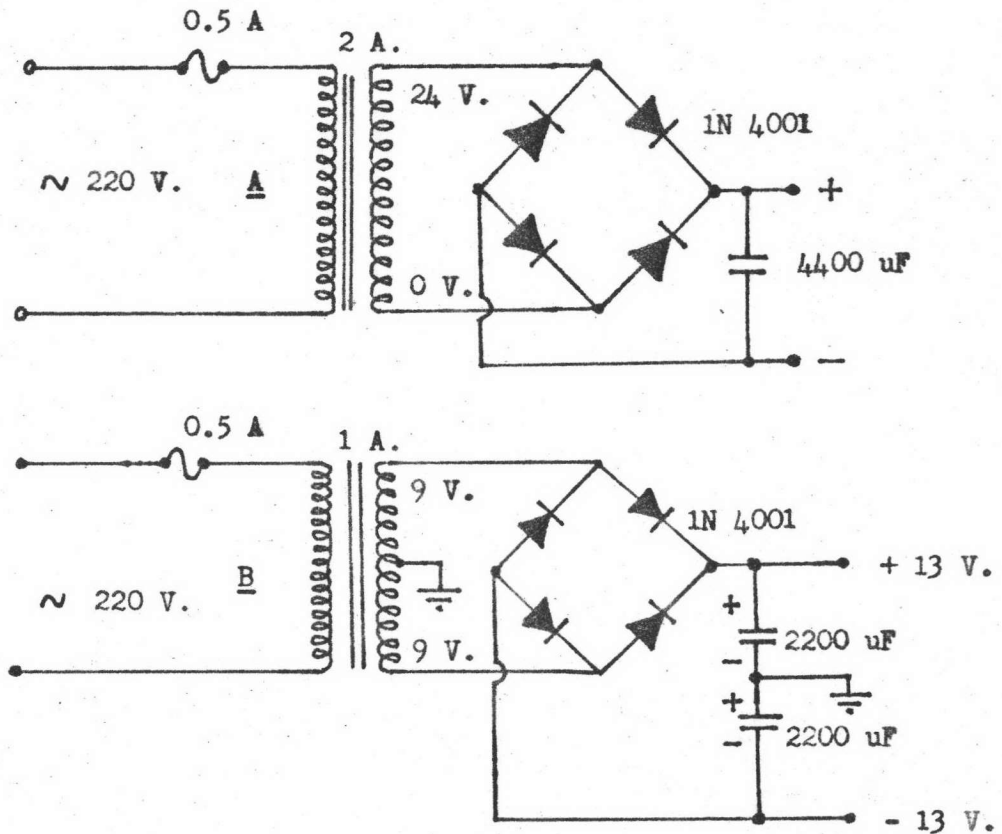
ก. แรงดันไฟฟ้าที่ใช้เลี้ยงวงจรไอซีต่างๆ ระดับของแรงดันชนิดนี้จะมีค่าประมาณ 5 โวลต์

ข. แรงดันไฟบวก ลย เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ใช้เลี้ยงวงจรไอซีจำพวกออปแอมป์ ซึ่งจะมีค่าตั้งแต่ 6 ถึง 18 โวลต์

สำหรับแหล่งจ่ายไฟภายในเครื่องวัดนี้ พอดีจะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แหล่งจ่ายไฟภายใน และแหล่งจ่ายไฟภายนอก

ก. แหล่งจ่ายไฟภายใน แหล่งจ่ายไฟแบบนี้ได้จากแมคเคอร์รี่หรือถ่านไฟฉายขนาด 1.5 โวลต์ จำนวน 8 ก้อน ซึ่งจะจ่ายไฟให้กับวงจรไอซีที่ว่างไป และถ่านแมคเคอร์รี่ขนาด 9 โวลต์ จำนวน 2 ก้อน เพื่อจ่ายไฟบวก ลบ ให้กับวงจรออปแอมป์

ข. แหล่งจ่ายไฟภายนอก แหล่งจ่ายไฟแบบนี้ประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าและวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ ลักษณะการต่อวงจรจะเป็นดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

จากรูปจะเห็นว่าประกอบด้วยหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า 2 ชุดมีขนาด 2 แอมป์และ 1 แอมป์ โดยหม้อแปลงขนาด 2 แอมป์จะจ่ายไฟให้กับวงจรไอซีธรรมดาคา และหม้อแปลงขนาด 1 แอมป์จะจ่ายไฟบวก ลบ ให้แก่วงจรรอบแอมป์ สำหรับแหล่งจ่ายไฟชุด A นั้นจะมีค่าแรงดันไฟเอาต์พุตประมาณ 24 โวลต์ ซึ่งแรงดันนี้จะต้องผ่านวงจรไอซีเรกกูเลเตอร์อีกครั้งหนึ่งเพื่อลดขนาดให้เหลือเพียง 5 โวลต์ สำหรับไอซีเรกกูเลเตอร์นั้นได้ใช้ไอซีเบอร์ LM 340T05 ซึ่งได้ตัดวงจรไว้เรียบร้อยแล้วภายในเครื่องวัด ส่วนแหล่งจ่ายไฟชุด B นั้นสามารถต่อใช้กับวงจรรอบแอมป์ได้โดยตรง ซึ่งจะมีค่าแรงดันไฟบวก ลบ ประมาณ 13 โวลต์

สำหรับแรงดันไฟ(กระแสตรง)ชุด A แรงดันที่ปลายไมควรมีค่าต่ำกว่า 9 โวลต์ในขณะที่มีโหลด ถ้าแรงดันปลายมีค่าต่ำกว่านี้แล้วจะทำให้เครื่องหยุดทำงาน เนื่องจากวงจรคริสตอลสำหรับผลิตความถี่ไม่สามารถทำงานได้ และแรงดันไฟก็ไม่ควรมีค่าเกินกว่า 30 โวลต์ เพราะจะทำให้วงจรไอซีเรกกูเลเตอร์เกิดเสียหายได้

สำหรับแรงดันไฟ(กระแสตรง)ชุด B แรงดันปลายบวก ลบควรมีค่าเท่ากัน แรงดันนี้ไม่ควรต่ำกว่า 5 โวลต์หรือสูงกว่า 18 โวลต์

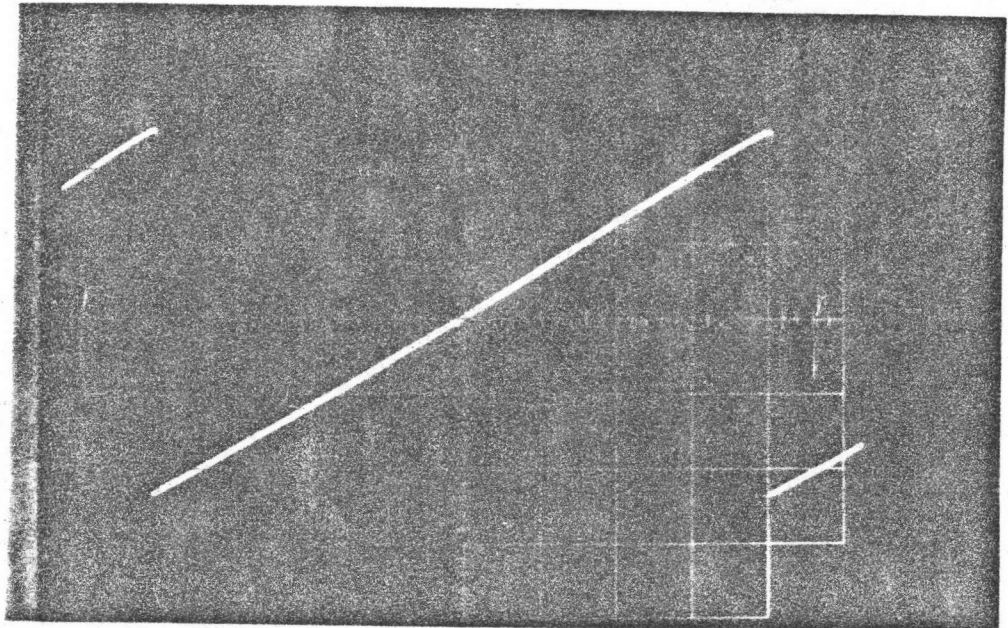
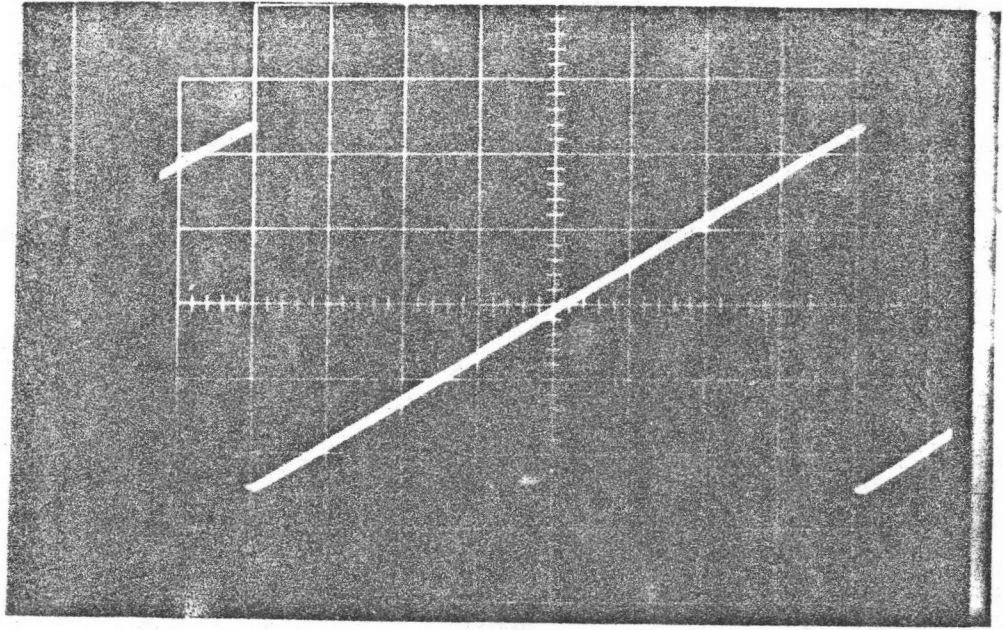
สำหรับแหล่งจ่ายไฟที่สร้างขึ้นมาได้ถูกออกแบบมาให้สามารถจ่ายแรงดันไฟได้อย่างเพียงพอ ถึงแม้ว่าทางคานแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะมีค่าลดลงเหลือเพียง 150 โวลต์หรือมีค่าสูงถึง 250 โวลต์เครื่องวัดก็ยังคงสามารถทำงานได้อย่างปกติ

สำหรับแหล่งจ่ายไฟภายในนั้นเมื่อถูกใช้ในการเก็บข้อมูล จะสามารถใช้งานได้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และถ้าใช้เพื่อการเก็บรักษาข้อมูลในหน่วยความจำ จะสามารถเก็บข้อมูลได้เป็นเวลา 4 ชั่วโมงครึ่ง

ภาค Analog-to-Digital Converter

เนื่องจากระดับของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงนี้ มีค่าน้อยมากเป็นมิลลิโวลต์ ดังนั้นเพื่อให้การวัดสามารถกระทำได้อย่างละเอียดหรือให้ได้ค่าใกล้เคียงนั้น วงจรภาค A/D จึงต้องมีความละเอียดเพียงพอด้วย ดังนั้นวงจรในภาค A/D จึงควรมีค่า resolution สูงเพียงพอ สำหรับภาค A/D ในเครื่องวัดนี้ได้ถูกออกแบบให้มีค่า Resolution เท่ากับ 12 บิต ซึ่งสามารถวัดได้ถึง 0.0244 % ของค่า full scale แต่ค่า resolution นี้ก็ไม่ได้ออกถึงความถูกต้องในการวัดค่าของภาค A/D นี้ สำหรับหัวข้อนี้จะกล่าวถึง linearity ของภาค A/D นี้ซึ่งจะเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงความถูกต้องแม่นยำต่อค่าที่วัดได้จากเครื่องมือนี้

สำหรับการทดสอบ linearity ของภาค A/D นี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ แบบแรกนั้นกระทำการทดสอบโดยการป้อนสัญญาณนาฬิกาความถี่สูงเข้าไปยังวงจร A/D แล้วใช้สโคปตรวจสอบลักษณะของสัญญาณที่ออกมา(ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 5.2) จากรูปที่ 5.2 นี้จะเห็นเป็นลักษณะคล้ายฟันเลื่อย ส่วนที่เป็นสไลปนั้นแท้จริงประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้ารูปซึ้นบันได แต่เนื่องจากมีจำนวนซึ้นบันไดมากเกินไปจึงทำให้ไม่สามารถเห็นได้ชัดเจน จะเห็นเป็นเพียงเส้นตรงเท่านั้น วิธีนี้เป็นการทดสอบอย่างคร่าวๆ เท่านั้นซึ่งยังไม่สามารถบอกรายละเอียดได้ชัดเจนเพียงพอ ส่วนแบบที่สองกระทำโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปยังเครื่องวัด(แทนแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์) แล้วอ่านค่าที่ได้จากหน้าปัทม์ของเครื่องโดยตรง สำหรับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปจะเริ่มตั้งแต่ศูนย์ มิลลิโวลต์ไปจนถึง 200 มิลลิโวลต์(การทดสอบนี้จะกระทำในช่วงแรงดันที่อยู่ในขอบเขตการใช้งานจริงๆ ซึ่งมีค่าไม่เกิน 200 มิลลิโวลต์สำหรับตัวเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงอันนี้) แต่เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปนี้ต้องผ่านวงจรขยายซึ่งมีอัตราขยายค่าหนึ่งก่อน ดังนั้นค่าที่อ่านได้จะมีค่าเท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปคูณกับอัตราขยายสัญญาณนั้น ดังนั้นการทดสอบนี้จะรวมถึง linearity ของวงจรขยายสัญญาณด้วย สำหรับการทดสอบจะเริ่มจากการปรับค่าอัตราขยายของวงจรขยายสัญญาณให้คงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่งก่อนแล้วจึงทำ



รูปที่ 5.2 ลักษณะของสัญญาณแรงดันรูปซันบันไก

การทดลองโดยป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าไป วิธีนี้จะทำให้เราสามารถทราบถึง linearity ตลอดจนความแม่นยำในการวัดค่าของเครื่องมือได้ ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 และเมื่อนำผลที่ได้มาเขียนเป็นกราฟแล้วจะเห็นว่า เป็นเส้นตรงซึ่งมีค่าความชันค่าหนึ่ง ซึ่งค่าความชันนี้ก็คืออัตราขยายของวงจรขยายสัญญาณนั่นเอง จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า วงจร A/D นี้มี linearity อยู่ในเกณฑ์ที่พอใช้สำหรับในช่วงแรงดันไฟฟ้าขนาดนี้

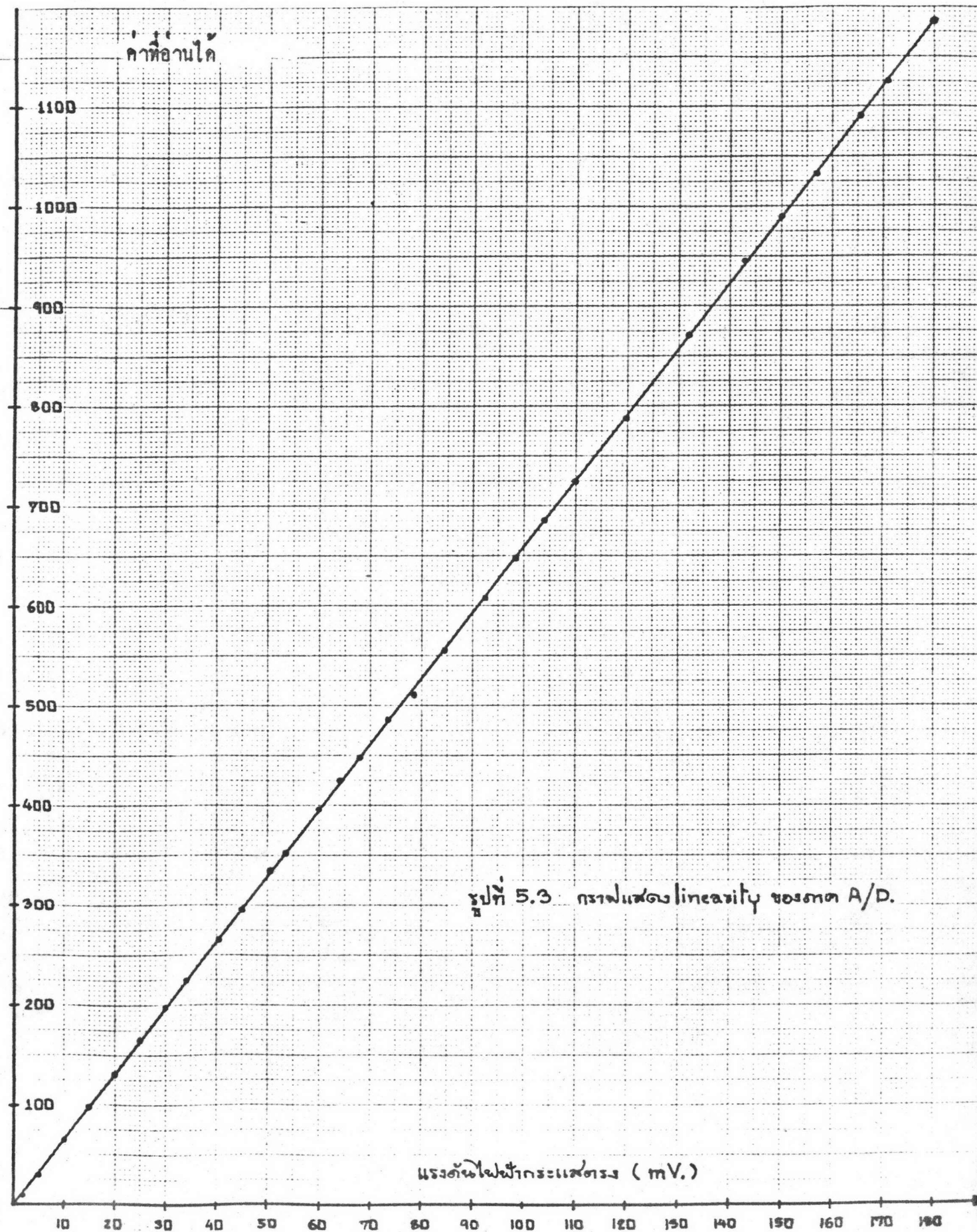
สำหรับตารางที่ 5.1 ได้แสดงผลของการทดลองเมื่อทำการป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเข้าไปแล้วอ่านค่าที่วัดได้จากเครื่อง สำหรับค่าที่อ่านได้นี้จะไม่มีหน่วย เพราะค่าที่ได้อ่านจะไม่ใช่ค่าของการรับรังสีของดวงอาทิตย์จริงๆ.

ตารางที่ 5.1 แสดงผลระหว่างค่าแรงดันไฟกระแสตรงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่อง

ลำดับ	แรงดันไฟฟ้า (mV)	ค่าที่อ่านได้ (ไม่มีหน่วย)	ลำดับ	แรงดันไฟฟ้า (mV)	ค่าที่อ่านได้ (ไม่มีหน่วย)
1	1.0	5	21	21.0	138
2	2.0	11	22	22.0	144
3	3.0	17	23	23.0	151
4	4.0	24	24	24.0	158
5	5.0	31	25	25.0	164
6	6.0	38	26	26.0	170
7	7.0	45	27	27.0	177
8	8.0	52	28	28.0	184
9	9.0	59	29	29.0	190
10	10.0	65	30	30.0	198
11	11.0	72	31	32.0	210
12	12.0	79	32	34.0	224
13	13.0	85	33	36.5	240
14	14.0	92	34	39.1	256
15	15.0	98	35	40.3	264
16	16.0	105	36	41.9	274
17	17.0	112	37	42.0	275
18	18.0	118	38	45.2	296
19	19.0	124	39	50.7	334
20	20.0	131	40	53.6	352

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

ลำดับ ที่	แรงดันไฟฟ้า (มิลลิโวลท์)	ค่าที่อ่านได้ (ไม่มีหน่วย)	ลำดับ ที่	แรงดันไฟฟ้า (มิลลิโวลท์)	ค่าที่อ่านได้ (ไม่มีหน่วย)
41	60.2	396	61	150.1	989
42	64.2	424	62	157.2	1032
43	68.0	448	63	165.7	1091
44	73.8	486	64	171.3	1125
45	78.6	512	65	179.8	1184
46	82.5	542	66	185.1	1220
47	84.6	556	67	190.6	1260
48	86.4	568	68	192.1	1268
49	92.6	608	69	196.4	1292
50	98.4	648	70	199.7	1318
51	103.9	686			
52	109.9	724			
53	112.5	740			
54	115.0	758			
55	116.7	768			
56	119.7	788			
57	124.0	816			
58	127.9	844			
59	132.4	872			
60	143.1	944			



Accuracy ของการวัดการรับรังสีของดวงอาทิตย์

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบความถูกต้องในการวัดค่าการรับรังสีของดวงอาทิตย์เมื่อนำไปใช้งานจริงๆ การทดสอบกระทำโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงรับแสงจากดวงอาทิตย์แล้วทำการอ่านค่าที่วัดได้ และในขณะเดียวกันก็อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ควบคู่กันไปด้วย แต่การอ่านค่าของแรงดันไฟฟ้านั้นไม่ได้อ่านไปพร้อมๆกับการอ่านค่าการรับรังสีที่วัดได้ เพราะการทำเช่นนั้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดต่อค่าการรับรังสีที่วัดได้อื่นเนื่องมาจากการไหลกลับกันเองระหว่างเครื่องวัดทั้งสองและตัวเซลล์แสงอาทิตย์เอง ดังนั้นการทดสอบจึงต้องกระทำโดยการอ่านค่าการรับรังสีจากเครื่องวัดก่อน เมื่ออ่านได้แล้วจึงต้องวงจรมาอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าทีหลัง (โดยใช้คิวิตอลโวลทมิเตอร์) การต่อวงจรสำหรับการทดลองนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.4 สำหรับการวัดโดยวิธีนี้ค่าที่อ่านได้อาจจะคลาดเคลื่อนไปบ้างเพราะเวลาที่อ่านค่าทั้งสองนั้นไม่ใช่เวลาเดียวกัน สำหรับการทดสอบจะเริ่มจากการปรับแต่งอัตราการขยายของวงจรรขยายสัญญาณเพื่อให้ค่าที่อ่านได้เป็นค่าการรับรังสีของดวงอาทิตย์จริงๆ โดยใช้ค่าการสอบเทียบของเซลล์อ้างอิงเป็นตัวกำหนดคือ ถ้าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากเซลล์อ้างอิงมีค่า 136 มิลลิโวลต์แล้วจะได้ว่าค่าการรับรังสีขณะนั้นเท่ากับ 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งเครื่องวัดควรจะแสดงค่าเท่ากับ 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรด้วยที่ค่าแรงดันไฟฟ้า 136 มิลลิโวลต์

ผลของการทดสอบได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 โดยทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่ว่าแสงจากดวงอาทิตย์ต้องตกกระทบบ้างจากกับผิวรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงเสมอ จากผลการทดสอบในตารางที่ 5.2 นำมาเขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 5.5 ซึ่งแสดงให้เห็นผลในการวัดค่าการรับรังสีของดวงอาทิตย์ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่พอใช้

ในหัวข้อนี้ได้ทำการทดลองวัดค่าการรับรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าของพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลานั้นโดยประมาณในการทดลองนี้ได้ใช้ไพรมิเตอร์และ X-Y recorder วัดค่าการรับรังสีของดวงอาทิตย์เปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง และเครื่องวัดการรับรังสีที่สร้างขึ้นสำหรับการทดลองกระทำในวันที่ 20 กันยายน พ.ศ. 2524 ณ ศาลาฟิสิกส์โกลด์ไบรูดลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยให้ตัวเกทเคอร์ทั้งสองคือไพรมิเตอร์และเซลล์แสงอาทิตย์วางอยู่ในแนวราบขนานกับพื้นตลอดการทดลอง ใช้เวลาทดลองประมาณ 6 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 9.45 น. ถึง 15.45 น. ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 5.6, 5.7 และตารางที่ 5.3 โดยในรูปที่ 5.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงการรับรังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้จากไพรมิเตอร์และ X-Y recorder ส่วนในรูปที่ 5.7 ได้จากการนำเอาข้อมูลที่วัดได้จากเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องมือที่สร้างขึ้นมาเขียนแสดงเป็นกราฟ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลจากการทดลองทั้งสองมีลักษณะที่คล้ายกัน

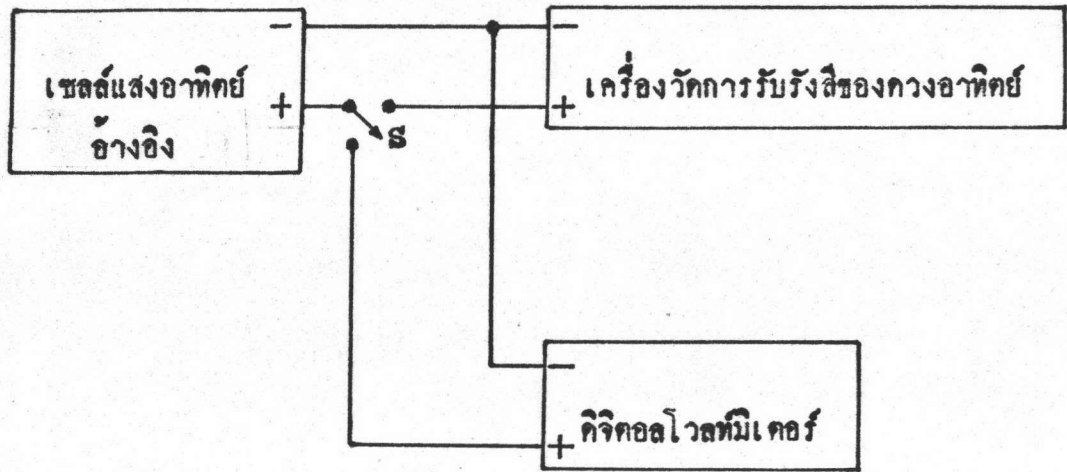
เนื่องจากเครื่องวัดการรับรังสีที่หาวิจัยโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวเกทเคอร์นี้เหมาะสำหรับการวัดในสภาวะภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงของเมฆไม่ค่อยมากนัก เช่น ผลการทดลองในชั่วโมงที่ 5 และ 6 (ตั้งแต่เวลา 13.45 น. ถึง 15.45 น.) ซึ่งจากการทดลองหาค่าของพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลที่วัดได้จากไพรมิเตอร์ (โดยใช้ planimeter หาพื้นที่ใต้ส่วนโค้ง) ในชั่วโมงที่ 5 และ 6 ปรากฏว่าค่าของพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 331 และ 426 วัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้นซึ่งหาค่าพลังงานได้เท่ากับ 355 และ 462 วัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร (เมื่อ sampling rate เท่ากับ 2 ข้อมูลต่อวินาที)

ถ้าหากว่าสภาวะภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงของเมฆมาก เช่น ผลการทดลองใน 4 ชั่วโมงแรก (ตั้งแต่เวลา 9.45 น. ถึง 13.45 น.) เราสามารถเปลี่ยนค่าของ sampling rate ให้สามารถวัดค่าการรับรังสีในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงมากให้ทัน ซึ่งอาจจะต้องใช้ค่า sampling rate เป็น 1 ข้อมูลต่อวินาที

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าการรับรังสีของดวงอาทิตย์ที่วัดได้โดยการใช่เซลล์
แสงอาทิตย์อ้างอิง และเครื่องวัดการรับรังสีที่ได้อ้างอิง

เมื่อ N = ค่าของข้อมูล

I = ค่าการรับรังสีของดวงอาทิตย์ที่วัดได้ มีหน่วยเป็น
วัตต์ต่อตารางเมตร



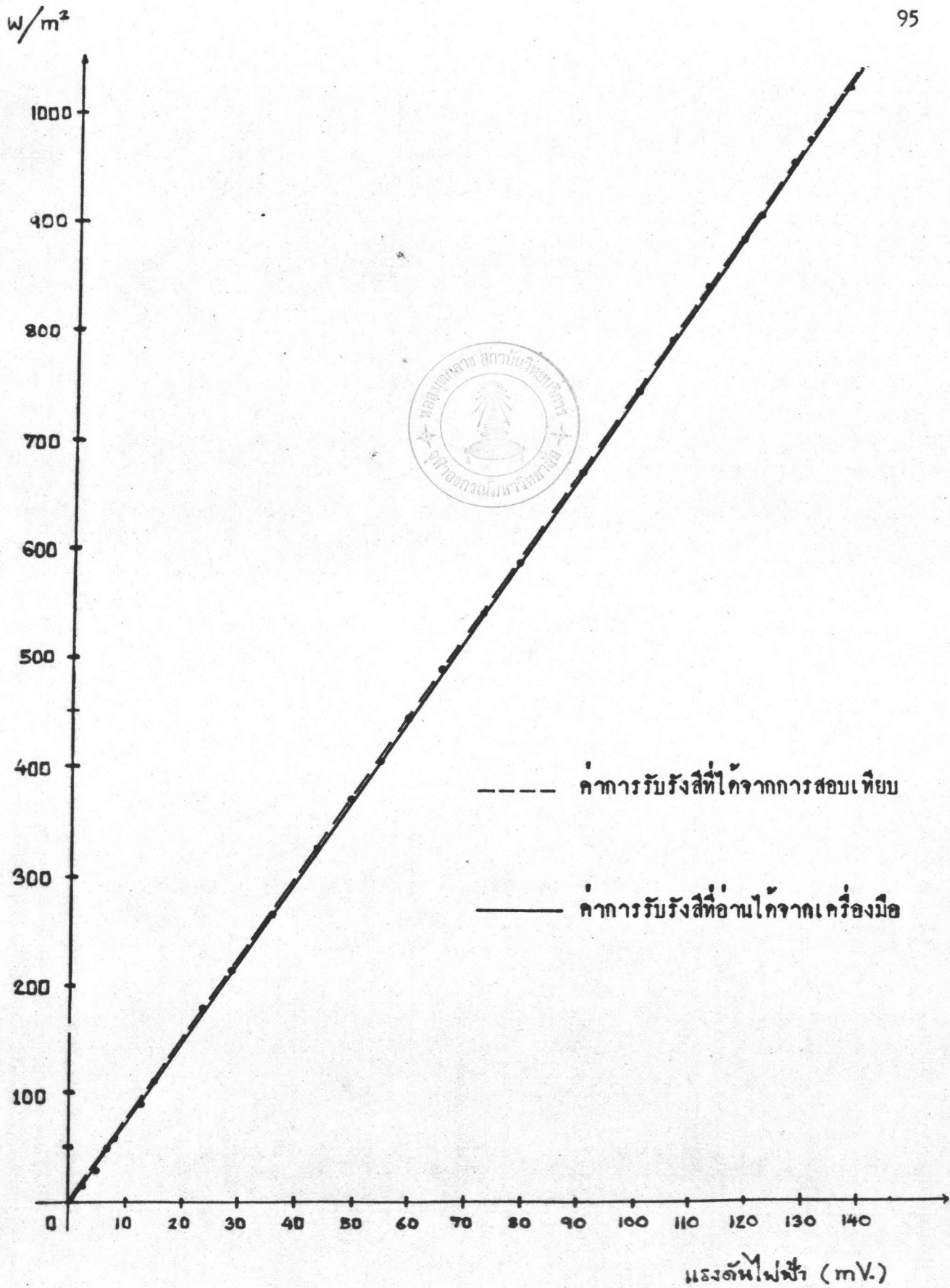
รูปที่ 5.4 แสดงการต่อวงจรเพื่อทดสอบค่าการรับรังสีของดวงอาทิตย์ที่วัดได้จากเครื่องวัดที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า การรับรังสี ที่อ่านได้จากเครื่องวัดและค่าที่ได้จากการสอบเทียบจากเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง

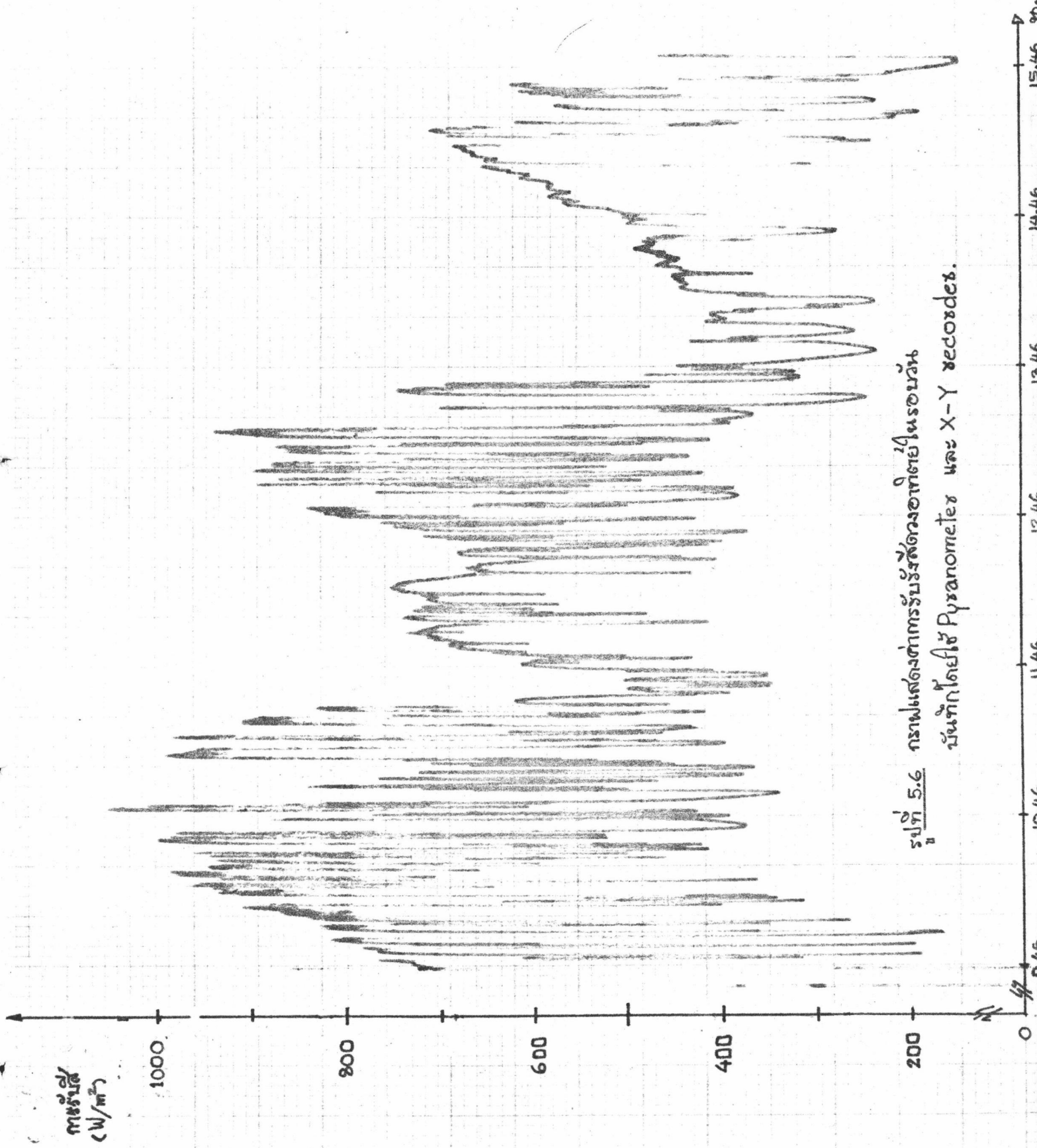
ลำดับ ที่	แรงดันไฟฟ้าจากเซลล์ (มิลลิโวลต์)	ค่าการรับรังสีที่ได้จากการ สอบเทียบ(วัตต์/ตารางเมตร)	ค่าการรับรังสี (วัตต์/ตารางเมตร)
1	0.0	0.0	0
2	2.1	15.4	15
3	4.4	32.3	31
4	6.7	49.2	50
5	8.2	60.2	59
6	12.4	91.1	90
7	15.2	111.7	111
8	23.9	175.7	176
9	28.7	211.0	210
10	35.8	263.2	260
11	44.0	323.5	324
12	50.0	367.6	368
13	55.0	404.4	400
14	60.2	442.6	440
15	66.1	486.0	487
16	73.2	538.2	539
17	79.3	583.0	584
18	84.4	620.5	618
19	90.5	665.4	666

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

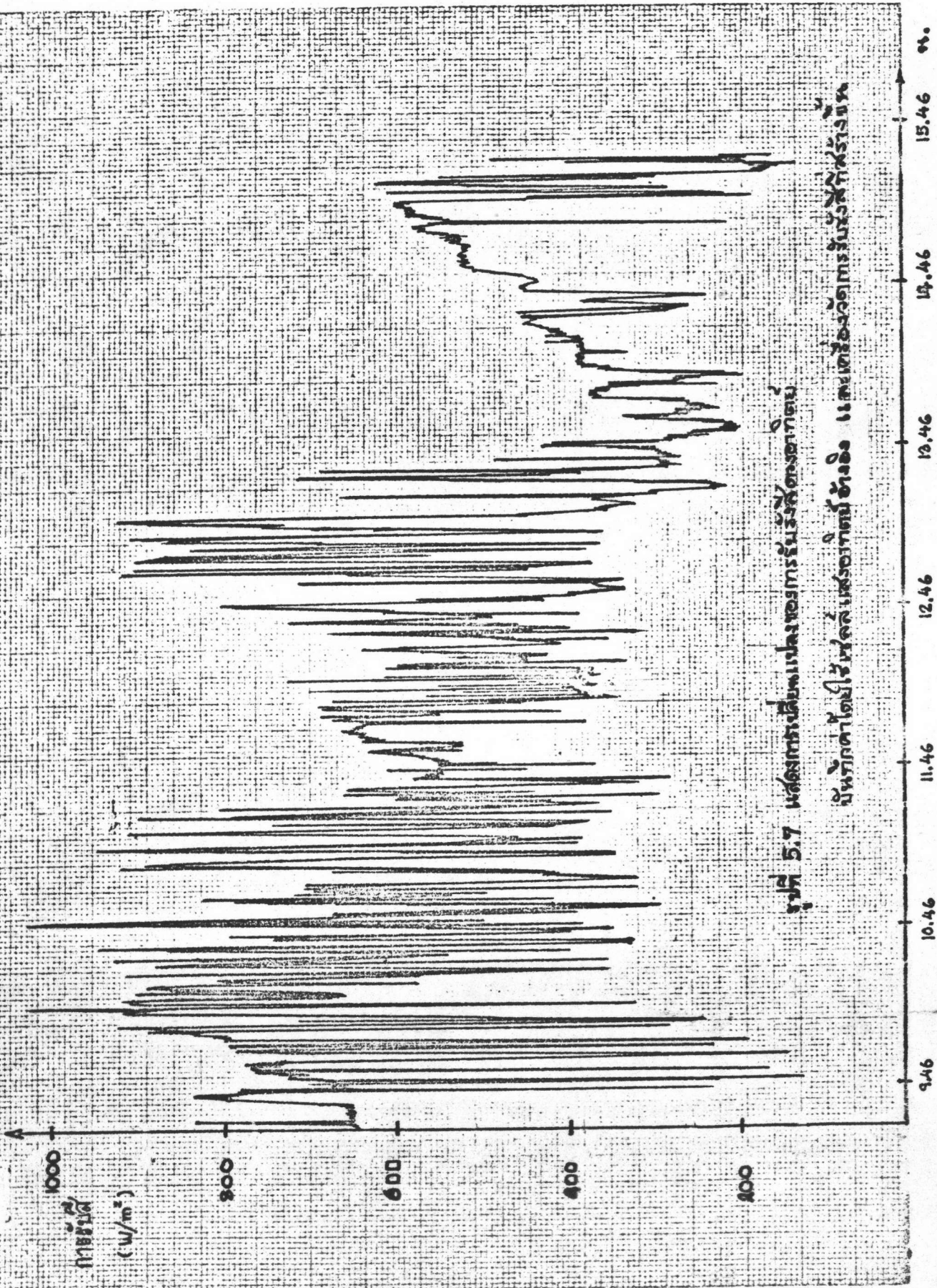
ลำดับ ที่	แรงดันไฟฟ้าจากเซลล์ (มิลลิโวลต์)	ค่าการรับรังสีที่ได้จากการ สอบเทียบ	ค่าการรับรังสี (วัตต์/ตารางเมตร)
20	96.3	708.0	710
21	101.1	743.3	742
22	107.2	788.2	788
23	113.6	835.2	840
24	119.5	878.6	876
25	123.2	905.8	903
26	129.1	949.2	952
27	132.1	971.3	974
28	136.2	1001.4	1000
29	139.0	1022.0	1020
30	141.3	1038.9	1035
31	144.1	1059.5	1061
32	151.5	1113.9	1112
33	152.2	1119.1	1122



รูปที่ 5.5 แสดงค่าการรับรังสีที่วัดได้เปรียบเทียบกับ เซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงค่าการรับรังสีดวงอาทิตย์ในระอมนวัน
บันทึกโดยใช้ Pyranometer และ X-Y recorder.



รูปที่ 5.7 ผลของการเปลี่ยนแปลงของกรรมวิธีที่ทางอากาศ
 นี้หากค่าได้ใช้รหัสแล้วจะออกมาเป็นค่าอื่น แต่ขอแจ้งว่ากรรมวิธีที่ข้างต้น

N	I (w/m ²)	N	I (w/m ²)	N	I (w/m ²)
1	660	26	684	51	804
2	666	27	714	52	749
3	660	28	827	53	199
4	682	29	840	54	162
5	678	30	857	55	157
6	858	31	826	56	151
7	753	32	805	57	724
8	668	33	704	58	788
9	672	34	720	59	796
10	670	35	240	60	807
11	668	36	696	61	816
12	666	37	232	62	599
13	670	38	120	63	237
14	676	39	758	64	817
15	676	40	746	65	200
16	670	41	787	66	822
17	669	42	730	67	835
18	671	43	767	68	831
19	670	44	781	69	825
20	672	45	170	70	836
21	676	46	162	71	859
22	681	47	784	72	856
23	680	48	789	73	862
24	704	49	793	74	908
25	684	50	796	75	742

N	$I (w/m^2)$	N	$I (w/m^2)$	N	$I (w/m^2)$
76	888	101	940	126	359
77	911	102	944	127	676
78	289	103	705	128	512
79	946	104	700	129	701
80	270	105	690	130	951
81	254	106	932	131	945
82	736	107	928	132	956
83	301	108	914	133	559
84	496	109	896	134	976
85	310	110	892	135	780
86	759	111	559	136	411
87	914	112	824	137	888
88	939	113	892	138	976
89	929	114	888	139	350
90	914	115	876	140	413
91	914	116	592	141	339
92	915	117	944	142	335
93	569	118	936	143	337
94	944	119	911	144	342
95	991	120	358	145	762
96	1048	121*	705	146	802
97	333	122	721	147	790
98	965	123	426	148	814
99	920	124	344	149	412
100	931	125	904	150	358

n	$I (w/m^2)$	N	$I (w/m^2)$	N	$I (w/m^2)$
151	658	176	679	201	904
152	742	177	577	202	902
153	576	178	520	203	892
154	440	179	502	204	703
155	390	180	737	205	688
156	1022	181	712	206	438
157	1056	182	728	207	362
158	512	183	328	208	356
159	810	184	335	209	366
160	945	185	676	210	522
161	698	186	728	211	944
162	868	187	574	212	848
163	396	188	342	213	970
164	676	189	324	214	920
165	688	190	332	215	434
166	376	191	407	216	404
167	319	192	448	217	543
168	309	193	435	218	421
169	306	194	599	219	410
170	319	195	431	220	394
171	525	196	698	221	476
172	664	197	496	222	536
173	795	198	909	223	913
174	426	199	944	224	933
175	848	200	930	225	846

N	I (w/m ²)	N	I (w/m ²)	N	I (w/m ²)
226	903	251	479	276	372
227	878	252	462	277	504
228	841	253	304	278	561
229	432	254	608	279	580
230	768	255	311	280	592
231	400	256	387	281	598
232	388	257	628	282	592
233	391	258	674	283	650
234	703	259	584	284	641
235	928	260	650	285	636
236	751	261	529	286	644
237	786	262	330	287	541
238	362	263	310	288	630
239	388	264	296	289	542
240	584	265	649	290	541
241	574	266	594	291	640
242	618	267	477	292	645
243	560	268	530	293	640
244	838	269	550	294	650
245	736	270	562	295	668
246	375	271	637	296	676
247	526	272	574	297	668
248	649	273	456	298	672
249	436	274	564	299	676
250	612	275	550	300	688

N	I (w/m) ²	N	I (w/m) ²	N	I (w/m) ²
301	628	326	568	351	639
302	684	327	678	352	630
303	680	328	684	353	632
304	672	329	683	354	616
305	664	330	680	355	600
306	648	331	684	356	564
307	393	332	689	357	348
308	378	333	640	358	462
309	684	334	706	359	441
310	690	335	712	360	640
311	688	336	730	361	664
312	705	337	718	362	662
313	702	338	720	363	601
314	564	339	718	364	678
315	419	340	710	365	622
316	600	341	700	366	438
317	700	342	697	367	407
318	702	343	686	368	479
319	690	344	668	369	402
320	685	345	654	370	360
321	708	346	644	371	502
322	476	347	410	372	659
323	684	348	624	373	635
324	696	349	640	374	628
325	654	350	644	375	700

N	I (w/m^2)	N	I (w/m^2)	N	I (w/m^2)
376	383	401	652	426	415
377	332	402	408	427	378
378	323	403	410	428	380
379	408	404	400	429	546
380	711	405	396	430	912
381	704	406	352	431	928
382	718	407	348	432	800
383	744	408	344	433	580
384	550	409	344	434	896
385	460	410	350	435	892
386	748	411	366	436	872
387	496	412	734	437	404
388	384	413	348	438	656
389	455	414	342	439	862
390	795	415	346	440	365
391	628	416	394	441	390
392	788	417	448	442	504
393	808	418	576	443	704
394	796	419	666	444	880
395	808	420	975	445	864
396	820	421	572	446	862
397	806	422	462	447	852
398	828	423	468	448	864
399	430	424	936	449	888
400	655	425	568	450	406

N	I (w/m^2)	N	I (w/m^2)	N	I (w/m^2)
451	872	476	360	501	284
452	368	477	356	502	281
453	370	478	379	503	279
454	468	479	677	504	294
455	704	480	302	505	500
456	776	481	266	506	278
457	894	482	248	507	288
458	900	483	232	508	285
459	904	484	572	509	286
460	918	485	211	510	286
461	936	486	210	511	304
462	924	487	215	512	382
463	948	488	234	513	356
464	455	489	680	514	398
465	416	490	712	515	440
466	348	491	726	516	346
467	358	492	732	517	316
468	362	493	736	518	303
469	381	494	688	519	286
470	356	495	712	520	277
471	344	496	402	521	270
472	335	497	704	522	255
473	334	498	569	523	240
474	343	499	536	524	227
475	358	500	294	525	215

N	I (w/m ²)	N	I (w/m ²)	N	I (w/m ²)
526	208	551	382	576	410
527	204	552	366	577	408
528	202	553	364	578	412
529	203	554	373	579	408
530	208	555	378	580	407
531	218	556	374	581	411
532	227	557	380	582	415
533	239	558	326	583	412
534	288	559	357	584	416
535	328	560	340	585	422
536	332	561	298	586	343
537	340	562	227	587	400
538	300	563	279	588	408
539	264	564	216	589	412
540	246	565	202	590	414
541	232	566	199	591	416
542	223	567	200	592	437
543	220	568	206	593	440
544	222	569	223	594	436
545	231	570	335	595	430
546	240	571	354	596	424
547	256	572	334	597	436
548	282	573	371	598	440
549	360	574	388	599	424
550	392	575	400	600	421

N	I (w/m ²)	N	I (w/m ²)	N	I (w/m ²)
601	414	626	260	651	544
602	428	627	297	652	548
603	440	628	455	653	543
604	439	629	464	654	540
605	355	630	472	655	524
606	438	631	466	656	538
607	450	632	463	657	543
608	454	633	464	658	543
609	464	634	460	659	542
610	454	635	476	660	542
611	442	636	454	661	539
612	448	637	470	662	536
613	444	638	452	663	539
614	442	639	478	664	542
615	446	640	476	665	548
616	455	641	484	666	560
617	290	642	486	667	568
618	460	643	492	668	560
619	440	644	512	669	560
620	402	645	518	670	560
621	263	646	528	671	574
622	244	647	534	672	576
623	236	648	537	673	588
624	234	649	520	674	592
625	242	650	536	675	594

N	I (w/m ²)	N	I (w/m ²)	N	I (w/m ²)
676	462	701	622	726	462
677	218	702	286		
678	548	703	512		
679	588	704	637		
680	592	705	638		
681	574	706	640		
682	592	707	560		
683	598	708	586		
684	600	709	396		
685	604	710	296		
686	600	711	508		
687	604	712	564		
688	612	713	190		
689	613	714	171		
690	612	715	160		
691	612	716	166		
692	616	717	169		
693	618	718	171		
694	460	719	140		
695	184	720	143		
696	183	721	412		
697	242	722	460		
698	216	723	492		
699	256	724	500		
700	588	725	176		

Accuracy ของภาคเฉลี่ยค่าการรับรังสี

ภาคเฉลี่ยค่าการรับรังสีนี้เป็นภาคซึ่งทำหน้าที่ในการหาค่าเฉลี่ยของการรับรังสีในเวลาหนึ่งชั่วโมงทุกๆชั่วโมงที่มีการวัด ดังนั้นภาคเฉลี่ยข้อมูลจึงมีความสำคัญมากภาคหนึ่ง ค่าเฉลี่ยที่ได้ควรมีความถูกต้องแน่นอน การทดสอบกระทำโดยการเก็บข้อมูลการรับรังสีของดวงอาทิตย์เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมง แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยแล้วทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้กับค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จากเครื่อง ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 5.4

จากตารางที่ 5.4 ผลรวมของค่าการรับรังสีทั้งหมดในหนึ่งชั่วโมงเท่ากับ 83614 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งหาค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ $83614/120 = 696.78$ วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องวัดการรับรังสีเท่ากับ 697 วัตต์ต่อตารางเมตร

จากตัวอย่างนี้จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องวัดที่สร้างขึ้นนี้จะมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณอยู่เท่ากับหนึ่งวัตต์ต่อตารางเมตร (ไม่คิดตัว เลขหลังจุดทศนิยม เนื่องจากเครื่องวัดไม่ได้ถูกออกแบบมาให้แสดงค่าหลังจุดทศนิยม) ถึงแม้ว่าค่าที่จะคำนวณได้มีค่า 696 ก็ตามเครื่องวัดก็ยังคงแสดงค่า 697 เหมือนเดิม เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากลักษณะของสัญญาณนาฬิกาที่ผ่านไปยังวงจรนับ 2 และวงจรหาค่าเฉลี่ยมีลักษณะแตกต่างกัน โดยจะมีลักษณะเป็น NOT ของกันและกัน ซึ่งวงจรทั้งสองต่างก็เป็นแบบ Negative going transition ดังนั้นทำให้ข้อมูลทุกๆข้อมูลที่ผ่านไปยังวงจรหาค่าเฉลี่ยมีค่าเกินกว่าค่าที่วงจรนับ 2 นับได้อยู่เท่ากับหนึ่งเสมอ

จากผลการทดสอบพอจะสรุปได้ว่า ในกรณีที่ เราไม่คิดค่าตัว เลขหลังจุดทศนิยมแล้ว เมื่อนำค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องวัดมาหาค่าออกไปเท่ากับหนึ่งแล้ว ค่าที่ได้ภายหลังจากนั้นจะเป็นค่าเฉลี่ยการรับรังสีที่ถูกต้องจริงๆ.

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการวัดค่าการรับรังสีภายในเวลาหนึ่งชั่วโมงเพื่อ
ทดสอบค่าเฉลี่ย (วัดเมื่อวันที่ 25 ก.ย. 2524 ตั้งแต่
เวลา 13.00 น. ถึง 14.00 น.)

ลำดับที่	การรับรังสี W/m ²	ลำดับที่	การรับรังสี W/m ²	ลำดับที่	การรับรังสี W/m ²
1	748	20	708	39	699
2	748	21	710	40	704
3	744	22	699	41	696
4	748	23	687	42	698
5	748	24	696	43	699
6	750	25	700	44	700
7	742	26	704	45	688
8	740	27	665	46	692
9	740	28	648	47	690
10	748	29	684	48	692
11	752	30	699	49	692
12	746	31	715	50	688
13	740	32	716	51	688
14	736	33	696	52	703
15	720	34	672	53	704
16	714	35	656	54	704
17	720	36	664	55	704
18	714	37	696	56	702
19	708	38	694	57	696

ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

ลำดับที่	W/m ²	ลำดับที่	W/m ²	ลำดับที่	W/m ²
58	695	80	676	102	686
59	690	81	676	103	686
60	687	82	683	104	694
61	687	83	708	105	692
62	687	84	702	106	692
63	680	85	708	107	689
64	672	86	712	108	692
65	670	87	712	109	690
66	666	88	712	110	688
67	658	89	712	111	686
68	660	90	712	112	684
69	668	91	712	113	672
70	668	92	718	114	671
71	672	93	718	115	670
72	680	94	718	116	668
73	680	95	712	117	672
74	672	96	704	118	672
75	668	97	704	119	672
76	672	98	696	120	670
77	680	99	696		
78	680	100	696	ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ 697	
79	672	101	688		

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าการรับรังสีของดวงอาทิตย์ที่วัดได้

ในหัวข้อนี้ได้แก่การศึกษาผลของอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อการทำงานของเครื่องวัดการรับรังสี โดยเน้นในประเด็นที่ว่า ถ้าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดนี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร มีความคลาดเคลื่อนมากน้อยแค่ไหน การทดสอบผลของอุณหภูมิจะกระทำในช่วงอุณหภูมิระหว่าง $30-65^{\circ}\text{C}$ การทดสอบกระทำโดยนำเครื่องวัดค่าการรับรังสีนี้ใส่ลงในตู้กระจกซึ่งปิดมิดชิด จากนั้นทำให้อุณหภูมิภายในตู้กระจกร้อนขึ้นโดยใช้หลอดไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าสูงๆ เป็นตัวคอยปรับอุณหภูมิ ต่อจากนั้นจึงเริ่มป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าไปยังเครื่องวัด เพื่อให้เครื่องวัดได้แสดงค่าออกมาทางหน้าปัดของเครื่อง การทดลองจะเริ่มจากการปรับอุณหภูมิภายในตู้กระจกให้คงที่เสียก่อนในช่วงอุณหภูมิใดๆ ที่เราต้องการ จากนั้นจะเริ่มป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าไปแล้วทำการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าไปเรื่อยๆ บันทึกข้อมูลตัวเลขที่อ่านได้จากเครื่องวัด เมื่อบันทึกค่าต่างๆ เสร็จเรียบร้อยแล้วจึงจะเริ่มทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิอื่นต่อไป การทดลองในแต่ละช่วงของอุณหภูมิจำเวลาประมาณ 30 นาที ผลของการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 5.5

จากผลการทดลองพอจะสรุปได้ว่า

ก. อุณหภูมิยิ่งมีค่าสูงขึ้น ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดนี้จะมีค่าน้อยลงกว่าค่าที่อ่านได้ที่อุณหภูมิต่ำ

ข. ความผิดพลาดของค่าที่ไ้จะเห็นชัดขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปมีค่ามากขึ้น นั่นคือ ค่าการรับรังสีที่อ่านได้จากเครื่องในบริเวณที่อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าสูง จะมีความผิดพลาดมากขึ้น ในกรณีที่ค่าการรับรังสีในบริเวณนั้นมีค่าสูง (ประมาณ 500 วัตต์ต่อตารางเมตร ขึ้นไป)

ค. ผลของอุณหภูมิต่อความคลาดเคลื่อนของค่าที่ไ้ประมาณ $0.03\text{ W}/^{\circ}\text{C}$ เมื่อค่าการรับรังสีที่วัดได้มีค่าไม่เกิน 100 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าประมาณ $0.06\text{ W}/^{\circ}\text{C}$ เมื่อค่าการรับรังสีที่วัดได้อยู่ในช่วง 100 - 300 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าประมาณ $0.13\text{ W}/^{\circ}\text{C}$ เมื่อค่าการรับรังสีที่วัดได้มีค่าตั้งแต่ 300 วัตต์ต่อตารางเมตร ขึ้นไป.

ตารางที่ 5.5 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าที่วัดได้

ลำดับ ที่	แรงดันไฟฟ้า (mV)	ค่าการปรับรังสี ที่อุณหภูมิ (°C)				
		30-35	35-45	45-50	55-60	60-65
1	4.5	33	33	33	33	33
2	11.7	87	87	87	86	86
3	13.6	99	99	99	98	98
4	15.8	112	112	111	111	111
5	25.2	184	184	184	184	182
6	35.1	256	256	256	254	254
7	45.3	328	328	328	324	322
8	51.2	372	372	371	371	371
9	60.1	439	438	438	437	438
10	71.3	522	522	520	520	520
11	82.5	604	604	604	601	602
12	90.2	660	660	660	656	656
13	100.5	736	736	736	734	731
14	136.2	1000	1000	999	999	996

ผลของ Cosine effect และ edge effect ของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง

ในหัวข้อส่วนนี้ได้ทำการศึกษายผลของ cosine effect และ edge effect ของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิง

Cosine effect เป็นผลที่เกิดจากมุมตกกระทบของแสงสว่างที่กระทำกับพื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อเซลล์ได้รับแสงสว่างขึ้นอยู่กับค่า cosine ของมุมตกกระทบของแสง ถ้าแสงตกในแนวตั้งฉากกับพื้นที่รับแสงของเซลล์จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุด และกระแสไฟฟ้าจะมีค่าลดลงจนกระทั่งมีค่าเป็นศูนย์เมื่อแสงตกกระทบในแนวขนานกับพื้นที่รับแสงของเซลล์ การอ่านค่าการรับรังสีเมื่อมุมตกกระทบของแสงมีค่าต่างๆกันอาจผิดพลาดได้ เนื่องมาจากการสะท้อนของแสงที่ผิวหน้าตัวรับแสงของเซลล์

Edge effect เป็นผลที่เกิดจากการก้ำกึ่งแสงของขอบภาชนะที่บรรจุเซลล์ ทำให้แสงบางส่วนไม่สามารถตกกระทบผิวหน้าของเซลล์ได้ ทำให้ค่าที่อ่านได้ยิ่งมีค่าผิดพลาดมากขึ้น จากการทดสอบ edge effect ของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงที่ใช้นี้ ปรากฏว่าผลของ edge effect จะเกิดขึ้นเมื่อมุมตกกระทบของแสงนั้น มีค่าตั้งแต่ 30 องศาขึ้นไป

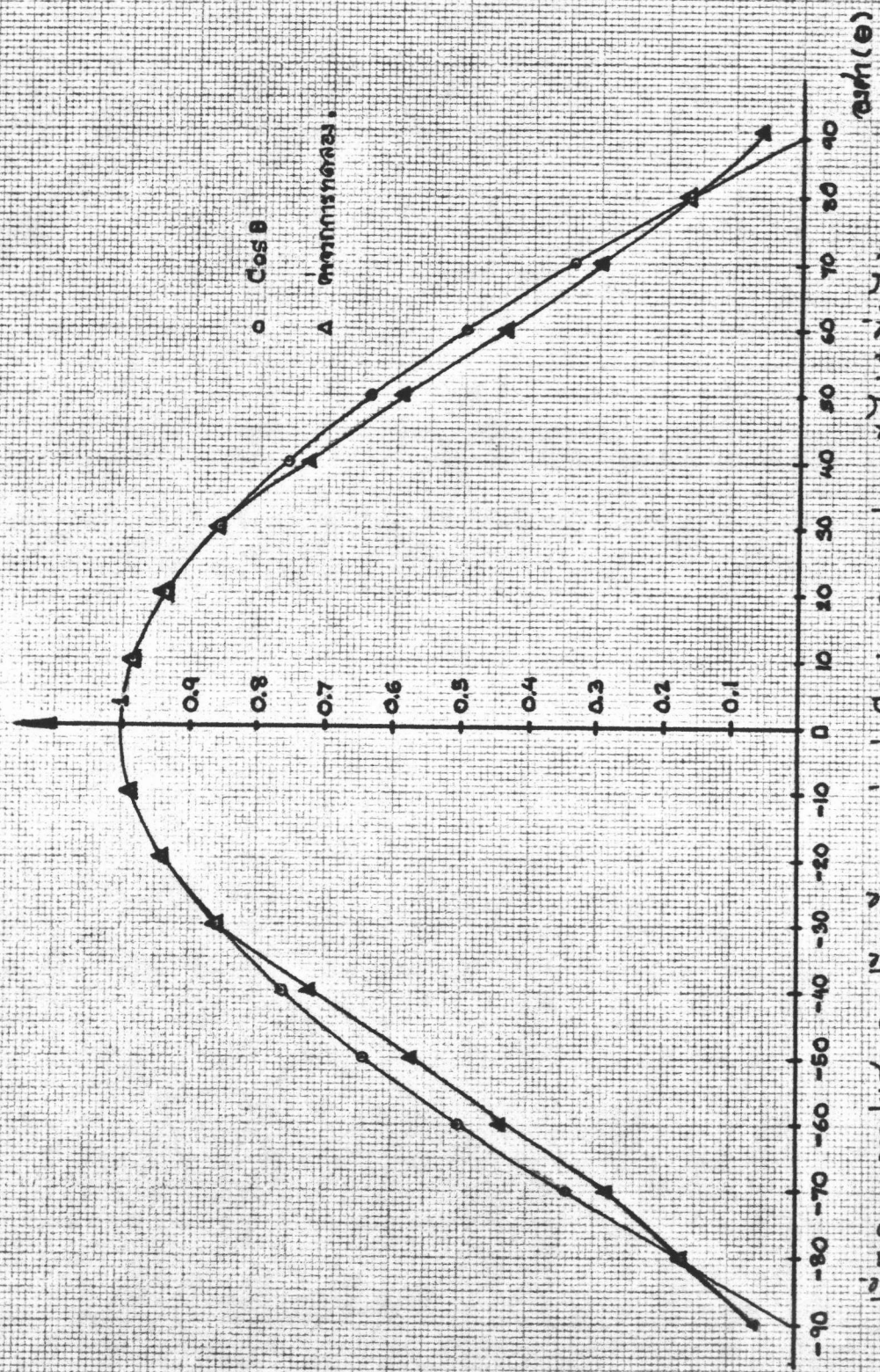
สำหรับการทดลองนี้กระทำโดยการไขหลอดไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์เป็นตัวกำเนิดแสงทำมุมค่าต่างๆกับพื้นที่รับแสงของเซลล์ จากนั้นอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ค่ามุมต่างๆนั้นจากโวลทมิเตอร์ ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 5.6

จากตารางที่ 5.6 สามารถนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า cosine กับค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าที่อ่านได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเริ่มมีความผิดพลาดตั้งแต่ค่ามุมตกกระทบเท่ากับ 30 องศาขึ้นไป เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของ cosine ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการก้ำกึ่งแสงของขอบภาชนะที่บรรจุเซลล์ ส่วนผลของ cosine effect นั้นจะเกิดขึ้นเสมอถ้ามุมตกกระทบของแสงมีค่ามากกว่าศูนย์องศา

ตารางที่ 5.6 แสดงการหาค่าของวิคค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์
เมื่อมุมตกกระทบของแสงมีค่าต่างๆกัน

θ (องศา)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเซลล์ แสงอาทิตย์อ้างอิง (มิลลิโวลต์)
90	2.1
80	5.0
70	8.5
60	13
50	17
40	21.5
30	25.6
20	27.7
10	29.2
0	29.5
- 10	29.2
- 20	27.8
- 30	25.7
- 40	21.5
- 50	16.5
- 60	13.0
- 70	8.7
- 80	5.1
- 90	2.0

ค่าปริมาตร



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงการปริมาตรปริมาตรระหว่างค่า Cosine θ และค่าพื้นที่ของรูปสามเหลี่ยมที่สร้างได้

จากเส้นโค้งสองเส้นที่พบกัน เมื่อมุมตกกระทบของแสงมีค่าต่างกัน.

ลักษณะและวิธีการใช้งาน

ชุดของเครื่องวัดการรับรังสีดวงอาทิตย์นี้ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ

- ก. เครื่องวัดการรับรังสีดวงอาทิตย์
- ข. เครื่องแสดงตำแหน่งของข้อมูล
- ค. แหล่งจ่ายไฟ

ก. เครื่องวัดการรับรังสีดวงอาทิตย์

ขนาดของเครื่องวัดมีขนาดประมาณ $7 \times 10 \times 3$ นิ้ว บนหน้าปัดมีจะแสดงค่าการวัดจำนวน 3 หลักครึ่ง ตัวเลข 1 ถึง 8 ที่ขอบบนของเครื่องจะแสดงจำนวนชั่วโมงของการวัดว่าได้ทำการวัดมานานกี่ชั่วโมงแล้ว โดยจะแสดงการสว่างของ LED ให้เห็น ส่วนด้านล่างประกอบด้วยสวิทช์ควบคุมจำนวน 5 ตัว ซึ่งจะเรียกชื่อแทนสวิทช์ทั้ง 5 ดังนี้ (จากขวาไปซ้าย)

1. Power เป็นสวิทช์ที่ทำการปิดเปิดเครื่องวัด สวิทช์นี้จะควบคุมภาคหน่วยความจำด้วย
2. Write-Read เป็นสวิทช์ในการเลือกลักษณะว่าจะให้เครื่องทำการเก็บข้อมูลหรืออ่านข้อมูล
3. Set-Reset เป็นสวิทช์เมื่อต้องการให้เครื่องเริ่มตั้งต้นทำงาน
4. Meas.(Measurement) เป็นสวิทช์ควบคุมการทำงานของภาควัดการทำงานของเครื่องในขณะเก็บหรืออ่านข้อมูล
5. Disp.(Display) ควบคุมภาคแสดงผล เมื่อไม่ต้องการดูผลขณะทำการวัดบันทึกค่า

ข. เครื่องแสดงตำแหน่งของข้อมูล

สำหรับเครื่องแสดงตำแหน่งนี้เนื่องจากต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากภายนอก ดังนั้นจึงมีสายปลั๊กเพื่อใช้กับเครื่องวัด วิธีใช้ก็เพียงต่อสายเข้ากับเครื่องใหญ่ทางด้านหลัง

สำหรับวิธีการใช้งานนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนคือ

1. ทอนบันทึกข้อมูล เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟเข้ากับเครื่องวัดแล้ว ควรเช็คระดับของแรงดันของภาคจ่ายไฟก่อน เมื่อเรียบร้อยแล้วก็ต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับเครื่องแสดงค่าแห่งเข้ากับเครื่องวัด ขั้นตอนวิธีใช้งานมีดังนี้

ก. เปิดสวิตช์ Power ซึ่งจะมี LED แสดงให้เห็นว่าสวิตช์นี้เริ่มทำงานแล้ว ถ้า LED ยังไม่สว่างก็ให้กลับขั้วของแหล่งจ่ายไฟเสียใหม่

ข. ผลักสวิตช์มาทาง Write

ค. ผลักสวิตช์ Meas. ไปที่ตำแหน่ง ON

ง. ผลักสวิตช์ Disp. ไปที่ตำแหน่ง ON

จ. ผลักสวิตช์มาที่ตำแหน่ง Set เครื่องจะเริ่มทำงานทันที

2. ทอนอ่านข้อมูล เมื่อผ่านการบันทึกค่าที่ต้องการไปเรียบร้อยแล้ว เมื่อต้องการอ่านข้อมูลให้ทำดังนี้

ก. สวิตช์มาที่ตำแหน่ง Reset

ข. สวิตช์มาที่ตำแหน่ง Read

ค. สวิตช์กลับไปยังที่ตำแหน่ง Set อีกครั้งหนึ่ง เครื่องจะเริ่มทำการอ่านข้อมูลทันที

3. ทอนเก็บรักษาข้อมูล เมื่อเลิกทำการวัดแล้วแต่ยังต้องการเก็บรักษาข้อมูลไว้ก่อนให้ทำดังนี้

ก. สวิตช์มายังตำแหน่ง Reset

ข. สวิตช์ Meas. ไปที่ตำแหน่ง OFF

ค. สวิตช์ Disp. ไปที่ตำแหน่ง OFF

ง. สวิตช์ไปยังตำแหน่ง Read

ในกรณีที่ จะต้องการถอดแหล่งจ่ายไฟภายนอกออก ก็ให้ปลั๊กของแหล่งจ่ายทางคานแรงสูง (ไฟกระแสสลับ 220 โวลท์) ออกก่อนที่จะถอดปลั๊กทางคานแรงคินต่ำ เพื่อไม่ให้เกิดการชกชว่งระหว่างแหล่งจ่ายไฟภายนอกและแหล่งจ่ายไฟภายใน

และก่อนที่จะเริ่มตั้งต้นทำการวัดทุกครั้ง ต้องทำการลัดวงจรทางปลายสัญญาณ
เข้าเสียก่อน เพื่อป้องกันประจุไฟฟ้าที่อาจค้างอยู่ที่ปลายสัญญาณเข้า ซึ่งอาจทำให้การ
อ่านผิดพลาดได้

สำหรับลักษณะรูปร่างของเครื่องวัดทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง. แล้ว