บทที่ 4

วิธีดำเนินงานและผลการทดลอง

ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ว่า ในการดำเนินงานทดลองครั้งนี้ ใช้แคดเมียมซัลไฟด์ชนิดต่าง ๆ 3 ชนิด รวมทั้งหมด 5 อัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบบที่หาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด และราคาถูก แคดเมียมซัลไฟด์นี้ปกติถ้าไม่ถูกแสงสว่างหรือรังสีใด ๆ จะมีความต้านทานในตัวสูงมาก คือเป็นร้อยเมกกะโอห์มขึ้นไป แต่เมื่อถูกแสงสว่างหรือรังสีจะทำให้ความต้านทานในตัวลดลง จากคุณสมบัตินี้เราสามารถดัดแปลงเป็นเครื่องมือวัดรังสีได้โดยต่อเข้าไปในวงจรกับแบตเตอรี เมื่อแคดเมียมซัลไฟด์ถูกรังสีจะทำให้ความต้านทานลดลงสามารถวัดกระแสจากแบตเตอรีในวงจรได้โดยใช้แอมป์มิเตอร์ กระแสที่วัดได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่อาบบนแคดเมียมซัลไฟด์ แต่เนื่องจากเครื่องมือวัดรังสีทุกชนิดมีคุณสมบัติต่อรังสีชนิดต่าง ๆ และที่พลังงานต่าง ๆ ไม่เหมือนกัน (ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2) ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองคุณสมบัติต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์ที่มีต่อรังสีให้ทราบแน่เสียก่อน ดังรายละเอียดการทดลองและแผนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้จำเป็นต้องใช้เครื่องมือต่าง ๆ ประกอบดังต่อไปนี้

4.1.1 <u>เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์</u> ใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์กำลังสูงขนาด 300 กิโลโวลท์ 20 มิลลิแอมแปร์ ของบริษัท Siemens แบบ Stabilipan ซึ่งเป็นชนิด Constant potential สามารถให้ Output ที่แน่นอนในแต่ละเทคนิคที่ใช้ สามารถปรับเครื่องได้ตั้งแต่ 50 ถึง 300 กิโลโวลท์ และ 2 ถึง 20 มิลลิแอมแปร์ และสามารถใช้ได้แต่ละครั้งนานตั้งแต่ 0 ถึง 20 นาที มีที่ปรับลำแสงเอกซ์ (light beam diaphram) ให้ได้ขนาดต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมี filter สำหรับเปลี่ยนค่า effective energy ในสเปคตรัมของลำรังสีเอกซ์ 9 อัน (ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 2 ค่า effective energy ของรังสีเอกซ์ขึ้นอยู่กับกิโลโวลท์

และ filter เป็นสำคัญ) เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์เครื่องนี้เป็นแบบ double cooling กล่าวคือมีการระบายความร้อนจากหลอดรังสีเอกซ์โดยใช้น้ำมันระบบวงจรปิด ซึ่งจะไหลวนเวียนอยู่ภายในหลอดตลอดเวลาด้วยอัตรา 12–14 ลิตรต่อนาที จากนั้นก็ใช้น้ำไประบายความร้อนจากน้ำมันอีกชั้นหนึ่ง สามารถให้ปริมาณรังสีที่ช่วงพลังงานต่าง ๆ ที่ระยะ 50 ซม. จากจุดกำเนิดแสง ตั้งแต่ประมาณ 17 เรินท์เกนต่อนาที ถึง 111 เรินท์เกนต่อนาที

4.1.2 <u>เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า</u> ในการทดลองครั้งนี้ใช้วัดกระแสไฟฟ้าด้วย – เครื่องมือ Solid State Volt-Ohm-Milliammeter ของ Simpsonแบบ Model 313 ซึ่งสามารถวัดกระแสไฟฟ้าได้ 5 ช่วง คือจาก 0 – 0.1, 0 – 1.0, 0 – 10 และ 0–100 มิลลิแอมแปร์ และ 0–1.0 แอมแปร์ วัดความต้านทานได้จาก 0–1000 เมกกะโอห์ม

4.1.3 <u>แคดเมียมซัลไฟด์เซล</u> ซึ่งจะทำการทดลองคุณสมบัติเพื่อใช้เป็นเครื่องมือวัดปริมาณรังสีในการทดลองครั้งนี้ใช้แคดเมียมซัลไฟด์ชนิดต่าง ๆ 3 ชนิด จำนวน 5 อัน กล่าวคือ

<u>ชนิดแรก</u> มีลักษณะเป็นแผ่นบางกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 7 มม. จำนวน 2 อัน ซึ่งต่อไปจะใช้สัญญลักษณ์ ก และ ข

<u>ชนิดที่สอง</u> มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 3 x 3 ซม.^{2} มีกระจกกระจายแสงปิดด้านบน จำนวน 2 อัน ใช้สัญญลักษณ์ ค และ ง

<u>ชนิดที่สาม</u> มีลักษณะคล้ายชนิดแรก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ซม. มีพลาสติคใสปิดอยู่ด้านบน จำนวน 1 อัน ใช้สัญญลักษณ์ จ

4.1.4 <u>แผ่นพลาสติคและอลูมิเนียม</u> ใช้แผ่นพลาสติคหนาประมาณ 1.8 ซม. และ 5.7 มม. กับแผ่นอลูมิเนียมหนาประมาณ 1 มม. เพื่อปิดบนตัวแคดเมียมซัลไฟด์ เพื่อจะดูว่าสามารถทำให้ความไวที่พลังงานต่าง ๆ เปลี่ยนไปหรือไม่

4.1.5 <u>เครื่องโคบอลท์–60</u> (Co-60 Unit) หลังจากทดลองเสร็จแล้วก็นำไป

อาบรังสีแกมมาจากเครื่องโคบอลท์ขนาด 30,000 คูรี เพื่อดูความคงทนในการใช้งาน โดยอาบรังสีด้วยปริมาณ 10^5, 5×10^5, 10^6 และ 3.25×10^6 เรินท์เกน ซึ่งปริมาณรังสีสูงขนาดนี้ไม่สามารถใช้รังสีเอกซ์ได้ เนื่องจากปริมาณมากเกินไป ต้องใช้เวลาเป็นปีกว่าจะได้ปริมาณรังสีขนาดนี้ จึงจำเป็นต้องทดสอบด้วยเครื่องโคบอลท์ขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถให้อัตราปริมาณรังสีสูงมากขนาดเป็นหมื่นเรินท์เกนต่อนาที

4.1.6 <u>เครื่องมือวัดรังสีมาตรฐาน</u> เครื่องมือวัดรังสีมาตรฐานที่ใช้อยู่ในประเทศไทยขณะนี้ อยู่ที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข เป็นเครื่องมือมาตรฐานประเภททุติยภูมิซึ่งได้รับการสอบเทียบความแม่นยำในการวัดรังสีกับเครื่องมือมาตรฐานปฐมภูมิจากประเทศอังกฤษ อเมริกา และนิวซีแลนด์มาแล้ว เครื่องมือมาตรฐานเหล่านี้เป็นประเภทไอออนไนส์เซชันแชมเบอร์ ซึ่งได้แก่ Victoreen R-meter และ Baldwin Farmer Substandard Dosimeter สามารถวัดได้ทั้งรังสีเอกซ์และแกมมา เครื่องมือมาตรฐานเหล่านี้ใช้สำหรับวัดและสอบเทียบเครื่องมือวัดรังสีในประเทศไทย ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือดังกล่าววัดปริมาณรังสีจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์เพื่อให้ทราบค่าปริมาณรังสีที่แน่นอน

4.2 <u>สถานที่ทำการทดลอง</u>

การทดลองครั้งนี้ส่วนใหญ่กระทำที่ห้องปฏิบัติการรังสี กองป้องกันอันตรายจากรังสี กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ซึ่งได้ให้ความร่วมมือโดยอนุญาตให้ใช้เครื่องมือต่าง ๆ เช่น เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ห้องปฏิบัติการนี้มีเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์กำลังสูง ตลอดจนมีเครื่องมือวัดรังสีมาตรฐานชนิดต่าง ๆ ประจำอยู่ด้วย จึงสะดวกในการทำการวิจัย ทดสอบ และเปรียบเทียบได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองแล้ว ก็นำแคดเมียมซัลไฟด์ 3 อัน ไปอาบรังสีแกมมาที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ซึ่งมีเครื่องโคบอลท์ขนาดใหญ่มีกำลังประมาณ 30,000 คูรี สามารถให้อัตราปริมาณรังสีสูงมาก ในการอาบรังสีโคบอลท์ปริมาณสูงนี้ก็เพื่อทดสอบดูว่าตัวแคดเมียมซัลไฟด์จะสามารถคงทนต่อรังสีมากน้อยเพียงไร ถ้าจะใช้ทำเครื่องมือวัดรังสีและคุณสมบัติจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรหรือไม่เป็นต้น

4.3 วิธีดำเนินการทดลอง

ก่อนที่จะดำเนินการทดลอง สิ่งสำคัญที่จะต้องทราบก็คืออัตราปริมาณรังสีของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ และค่า effective energy ที่เทคนิคต่าง ๆ (ตามกิโลโวลท์ มิลลิ - แอมแปร์ และ filter ที่ใช้) ค่าต่าง ๆ เหล่านี้ของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลอง เจ้าหน้าที่กองป้องกันอันตรายจากรังสี กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ได้ทำการวัดไว้แล้ว โดยใช้เครื่องมือมาตรฐานทุติยภูมิ ดังผลการวัดซึ่งได้นำมาแสดงไว้ในตารางที่ (4-1) และจากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของอัตราปริมาณรังสีของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์นี้ ปรากฏว่าตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง อัตราปริมาณรังสีค่อนข้างคงที่ กล่าวคือมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm$ 2% ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงได้อาศัยข้อมูลต่าง ๆ ดังกล่าว - ประกอบผลการทดลอง

เนื่องจากข้อมูลต่าง ๆ ที่เจ้าหน้าที่กองป้องกันอันตรายจากรังสี ได้ทำการวัดไว้ที่ระยะทาง 50 ซม. จากจุดกำเนิดรังสีถึงมาตรวัด และที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ซึ่งเป็นระยะและขนาดลำแสงปานกลางที่ใช้กันมาก ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงได้กระทำตามเทคนิคดังกล่าว สำหรับขนาดลำแสงถ้าเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้อัตราปริมาณรังสีเปลี่ยนแปลงไปได้ การดำเนินการทดลองครั้งนี้พอจะแบ่งได้เป็นขั้น ๆ ดังนี้

4.3.1 ทดสอบคุณสมบัติของแคดเมียมซัลไฟด์ที่พลังงานของรังสีต่าง ๆ กัน คุณสมบัตินี้นับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเครื่องมือวัดรังสีทุกชนิด กล่าวคือเราไม่สามารถสร้างเครื่องมือวัดรังสีไม่ว่าจะเป็นแบบใดก็ตาม ให้มีความไวต่อรังสีที่พลังงานต่าง ๆ เหมือนกัน เครื่องมือวัดรังสีที่ดีและมีความแม่นยำสูง จะต้องสร้างให้มีความไวต่อรังสีที่พลังงานต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน และสามารถใช้ได้กับพลังงานในช่วงกว้าง โดยไม่ทำให้ความไวต่อรังสีเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ในการทดลองครั้งนี้ใช้แคดเมียมซัลไฟด์ต่าง ๆ กัน 3 ชนิด จำนวน 5 อัน เป็นมาตรวัดรังสี การเปลี่ยนค่าพลังงานสามารถปรับได้จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์กำลังสูง จาก 50 กิโลโวลท์ ถึง 300 กิโลโวลท์ และโดยการเปลี่ยน filter ชนิดต่าง ๆ ก็สามารถ

ที่จะปรับค่าพลังงานจาก 28 กิโลอิเลคตรอนโวลท์ ถึง 168 กิโลอิเลคตรอนโวลท์ ซึ่งเป็นช่วงกว้างพอสมควร และเป็นช่วงที่ใช้งานโดยทั่วไป

เนื่องจากแคดเมียมซัลไฟด์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นแบบ Photoconductive cell กล่าวคือในตัวแคดเมียมซัลไฟด์เอง ปกติมีความต้านทานสูงมากขนาดเป็นร้อยเมกกะโอห์ม แต่เมื่อนำมาอาบรังสีแล้วจะทำให้ความต้านทานลดลงเหลือประมาณ 20,000–40,000 โอห์มเท่านั้น ดังนั้นถ้าหากนำมาต่อเข้าในวงจรกับแบตเตอรีแบบอนุกรม ดังรูป (4–1) ก็อาจทำการวัดกระแสจากแบตเตอรีในวงจรได้ ถ้าหากความไวของมาตรวัดที่มีต่อรังสีไม่ขึ้นกับพลังงานของรังสีแล้ว ปริมาณของกระแสที่วัดได้จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณรังสีหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ความต้านทานในตัวแคดเมียมซัลไฟด์จะลดลงตามปริมาณรังสีนั่นเอง แต่

ตารางที่ 4–1

อัตราปริมาณรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลองตามเทคนิคต่าง ๆ ที่ระยะห่างจากจุดโฟกัส 50 ซม. และที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม.

Tube Voltage (kV)	Tube current (mA)	Total filtration	H.V.L.	Effective Energy (keV)	Dose rate in air (R/min)
60	20	2.0 mm Al	2.00mm Al	28.7	19.8
80	20	2.0 "	2.60 "	32.0	27.7
100	20	2.0 "	3.20 "	35.0	41.3
100	20	4.0 "	4.35 "	40.0	27.6
120	20	2.0 "	3.75 "	37.5	57.7
120	20	4.0 "	5.09 "	43.0	41.2
120	20	0.2 mm Cu	0.306mm Cu	49.5	32.5

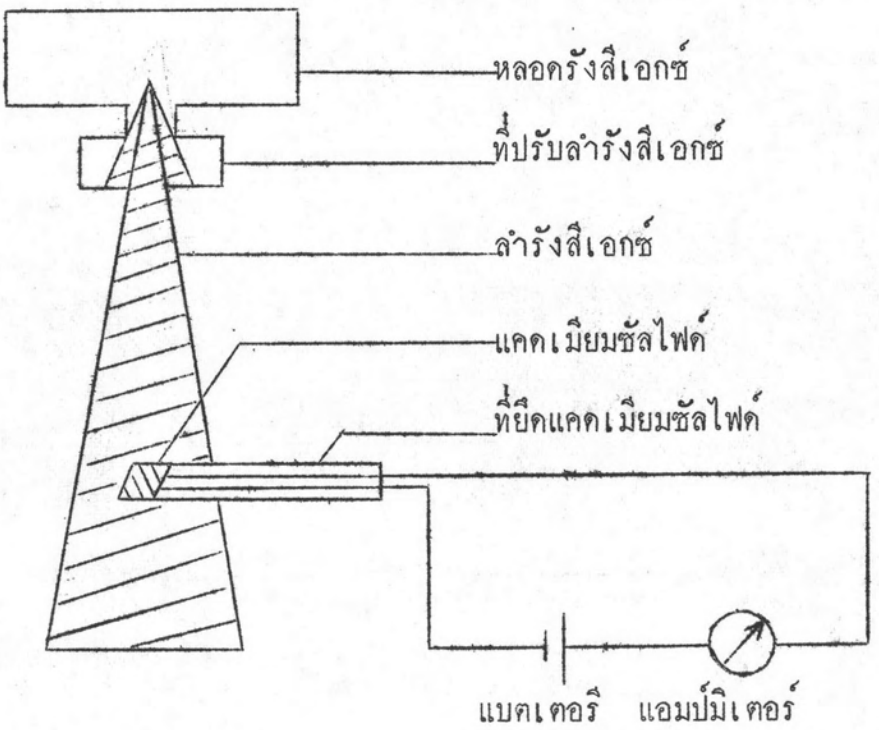
ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

Tube Voltage (kV)	Tube current (mA)	Total filtration	H.V.L.	Effective Energy (keV)	Dose rate in air (R/min)
140	20	0.2 mm Cu	0.400 mm Cu	55.0	46.6
140	20	0.5 "	0.730 "	71.0	25.8
160	20	0.2 "	0.468 "	58.8	62.5
180	20	0.2 "	0.562 "	63.4	80.2
180	20	0.5 "	0.988 "	81.0	50.9
200	20	0.5 "	1.18 "	88.0	67.3
220	18	0.5 "	1.30 "	92.0	78.6
250	15	0.5 "	1.50 "	98.0	88.5
250	15	1.0 "	2.14 "	116.0	66.1
250	15	Thoraeus I*	2.66 "	129.0	52.9
300	12	0.5 mm Cu	1.93 "	110.0	111.5
300	12	1.0 "	2.53 "	127.0	87.5
300	12	Thoraeus I*	3.10 "	140.0	74.0
300	12	Thoraeus II*	3.85 "	160.0	57.8
300	12	Thoraeus III*	4.13 "	168.0	49.3

*Thoraeus I ประกอบด้วย 0.4 mm Sn + 0.25 mm Cu + 1.0 mm Al

Thoraeus II " 0.8 " + 0.25 mm Cu + 1.0 mm Al

Thoraeus III " 1.2 " + 0.25 mm Cu + 1.0 mm Al



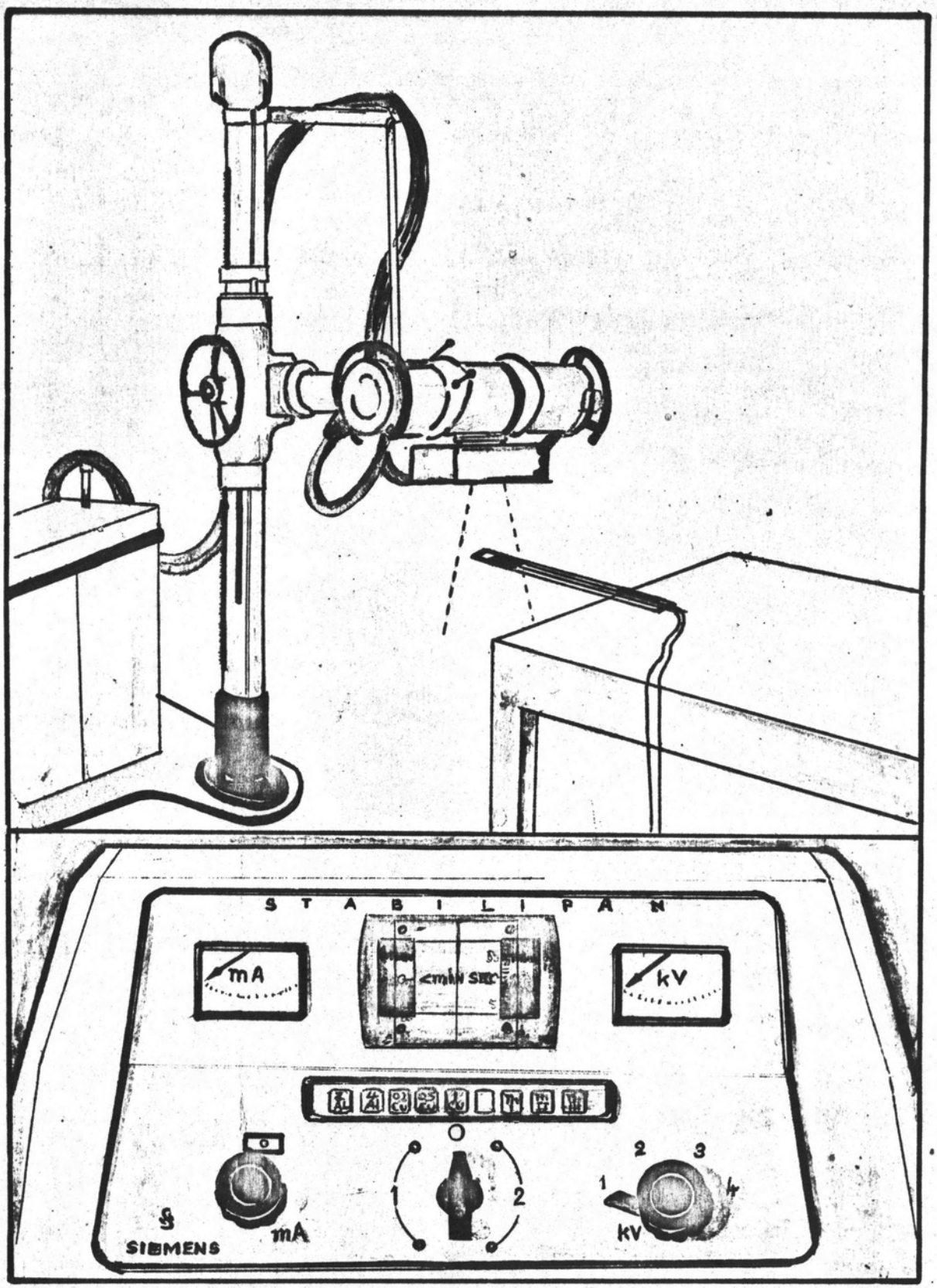
รูป 4–1 แสดงการต่อวงจรระหว่างแคดเมียมซัลไฟด์ แบตเตอรี และเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า

เนื่องจากเครื่องมือวัดรังสีทุกชนิดขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีที่ใช้วัดดังกล่าวแล้ว ดังนั้นจึงต้องทดสอบดูความสัมพันธ์ระหว่างความไวของมาตรวัดที่มีต่อพลังงานของรังสี แคดเมียมซัลไฟด์นี้นอกจากมีความไวต่อรังสีแล้ว ถ้าหากถูกแสงสว่างธรรมดาก็จะทำให้ความต้านทานลดลงได้เช่นกัน ดังนั้นในการทดลองจึงต้องห่อหุ้มตัวแคดเมียมซัลไฟด์ให้มิดชิด โดยไม่ให้ถูกแสงสว่างได้ เพื่อจะได้ทดสอบกับรังสีเพียงอย่างเดียว

นอกจากนี้ในการทดลองวัดกระแสจากวงจร ปริมาณกระแสที่วัดได้ยังขึ้นกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแบตเตอรีด้วย ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงได้ทำการทดลองกับแบตเตอรีที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ กัน โดยได้เลือกใช้จากแบตเตอรีขนาด 9, 15 และ 30 โวลท์

การจัดตำแหน่งของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ มาตรวัด และลักษณะของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ได้แสดงไว้ในรูปที่ (4–2)

สำหรับผลการทดลองนั้น เนื่องจากอัตราปริมาณรังสีที่ใช้ในแต่ละเทคนิคมีค่าไม่เท่ากัน เพื่อที่จะได้ทราบถึงความแตกต่างของความไวที่พลังงานขนาดต่าง ๆ จึงต้องทำการเปรียบ –



รูปที่ 4-2 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลองพร้อมทั้งเครื่องควบคุม (control panel)

เทียบที่อัตราปริมาณรังสีเท่ากัน ดังผลการทดลองที่นำเสนอไว้ในตารางที่ (4-2) ถึง (4-6) และในกราฟรูปที่ (4-3) ถึง (4-7)

4.3.2 <u>ทดสอบดู Linearity ของแคดเมียมซัลไฟด์</u> ปกติเครื่องมือวัดรังสีที่ดีจะต้องมีความแน่นอนในการวัด และมีความไวเหมือนกันถ้าทำการวัดรังสีที่พลังงานเดียวกัน กล่าวคือค่าที่วัดได้จะต้องเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณรังสี ในการทดลองครั้งนี้จึงต้องทำการตรวจสอบดูว่าถ้าหากปรับค่าปริมาณรังสีให้เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งอาจกระทำได้โดยการเปลี่ยนค่ากระแสในเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ กระแสไฟฟ้าที่วัดจากแอมมิเตอร์ซึ่งต่ออยู่ในวงจรแบบอนุกรมกับแคดเมียมซัลไฟด์ จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณรังสีหรือไม่ สำหรับการทดลองครั้งนี้ได้ปรับค่ากิโลโวลท์ให้คงที่ ๆ 180 ใช้ filter ขนาดความหนา 0.2 มม. ของทองแดง ซึ่งเป็นเทคนิคที่ให้ปริมาณรังสีค่อนข้างสูง แล้วเปลี่ยนกระแสจาก 2 ถึง 20 มิลลิแอมแปร์เพื่อให้ได้ค่าปริมาณรังสีขนาดต่าง ๆ กัน โดยทำการวัดปริมาณรังสีที่ค่ากระแสไว้ด้วยเครื่องมือมาตรฐานทุติยภูมิของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ที่ระยะห่างจากจุดกำเนิดรังสี 50 ซม. ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. จากนั้นอ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากแอมมิเตอร์โดยใช้แบตเตอรีขนาด 9, 15 และ 30 โวลท์ ดังผลการทดลองในตารางที่ (4-7) ถึง (4-11) และกราฟรูปที่ (4-8) ถึง (4-12)

4.3.3 <u>ทดสอบดูการเปลี่ยนแปลงของ Energy Response</u> เนื่องจากความไวของแคดเมียมซัลไฟด์ที่มีต่อรังสีต่างพลังงานกันมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำการทดสอบดูว่าถ้าหากนำเอาแผ่นอลูมิเนียมหรือพลาสติคมาปิดที่ตัวแคดเมียมซัลไฟด์ดูจะทำให้ความไวของแคด-เมียมซัลไฟด์ที่มีต่อรังสีต่างพลังงานกันดีขึ้นหรือไม่ จากผลการทดลองโดยใช้อลูมิเนียมขนาดหนา 1 มม. และพลาสติคที่มีความหนา 1.8 มม. และ 5.7 มม. ตามลำดับ มาปิดที่ตัวแคดเมียมซัลไฟด์ ปรากฏว่าไม่ทำให้ความไวของแคดเมียมซัลไฟด์ที่มีต่อรังสีต่างพลังงานกันเปลี่ยนแปลง ดังผลการทดลองในตารางที่ (4-12) ถึง (4-15) และรูปที่ (4-13) ถึง (4-16)

4.3.4 <u>ความคงทนในการใช้งาน</u> ในการทดลองคุณสมบัติข้อนี้ก็เพื่อทดสอบดูว่าแคด-เมียมซัลไฟด์มีความคงทนต่อการใช้งานทางด้านรังสีเพียงไร และเมื่อใช้ไปนาน ๆ แล้ว คุณ-สมบัติต่าง ๆ จะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ โดยนำเอาแคดเมียมซัลไฟด์ไปอาบรังสีแกมมาด้วยปริ-มาณรังสีมาก ๆ ขนาดเป็นแสนและเป็นล้านเรินท์เกน ในการทดสอบนี้ไม่สามารถทดสอบกับรังสีเอกซ์ได้ เนื่องจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์โดยทั่วไปให้ปริมาณรังสีไม่สูงพอ ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องกำเนิดรังสีแกมมาจากโคบอลท์-60 ที่มีกัมมันตภาพสูงมาก ๆ ประมาณ 20,000 ถึง 30,000 คูรี ซึ่งมีอยู่ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยการนำเอาแคดเมียมซัลไฟด์ซึ่งได้ทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว 3 อัน คือ หมายเลข ก, ข และ จ. ไปอาบรังสีเป็นขั้น ๆ โดยครั้งแรกใช้ปริมาณรังสี 10^5 เรินท์เกน จากนั้นก็ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็น 5×10^5 เรินท์เกน, 10^6 เรินท์เกน และ 3.25×10^6 เรินท์เกน เมื่ออาบรังสีแกมมาเสร็จแต่ละครั้งก็นำมาทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ จากนั้นก็นำไปอาบใหม่ ผลการอาบรังสีเมื่อทำการทดสอบแล้วเทียบกับเมื่อไม่ได้อาบรังสีปรากฏว่าไม่ทำให้คุณสมบัติต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด และตัวแคดเมียมซัลไฟด์ก็ยังสามารถนำมาวัดรังสีได้เหมือนเดิม ซึ่งแสดงว่าแคด-เมียมซัลไฟด์มีความคงทนต่อรังสีได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4-2

ผลการทดสอบความไว (response) ของแคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข ก. ที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ โดยการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรีขนาด 9 โวลท์ ที่ขนาดลำแสง (field size) 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

Effective energy (keV)	Measured current (mA/100R/min)	Effective energy (keV)	Measured current (mA/100R/min)
28.7	0.239	81.0	0.236
32.0	0.277	88.0	0.210
35.0	0.271	92.0	0.191
37.5	0.260	98.0	0.169
40.0	0.326	110.0	0.142
43.0	0.296	116.0	0.138
49.5	0.320	127.0	0.110
55.0	0.296	129.0	0.107
58.8	0.272	140.0	0.083
63.4	0.251	160.0	0.058
71.0	0.310	168.0	0.045

ตารางที่ 4-3

ผลการทดสอบความไวของแคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข ข. ที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ โดยวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรีขนาดโวลท์ต่าง ๆ ที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

Effective energy (keV)	Measured current (mA/100R/min)		
	9 Volts	15 Volts	30 Volts
28.7	0.354	–	–
32.0	0.354	0.776	1.815
35.0	0.402	0.799	1.786
37.5	0.407	0.797	1.707
40.0	0.496	0.963	2.173
43.0	0.454	0.922	2.014
49.5	0.492	1.000	2.215
55.0	0.472	0.916	1.980
58.8	0.445	0.838	1.792
63.4	0.412	0.765	1.620
71.0	0.504	0.980	2.178
81.0	0.393	0.762	1.630
88.0	0.357	–	–
92.0	0.333	0.614	1.297
98.0	0.296	–	–
110.0	0.248	0.459	0.986
116.0	0.242	–	–
127.0	0.198	–	–
129.0	0.180	0.368	0.812
140.0	0.145	–	–
160.0	0.104	–	– –
168.0	–	0.176	0.397

ตารางที่ 4-4

ผลการทดสอบความไวของแคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข ค. ที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ โดยการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ขนาด 9 โวลท์ ที่ขนาดลำแสง – 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

Effective energy (keV)	Measured current (μA/100R/min)	Effective energy (keV)	Measured current (μA/100R/min)
28.7	74.5	81.0	76.2
32.0	79.2	88.0	–
35.0	80.2	92.0	62.7
37.5	80.4	98.0	–
40.0	92.4	110.0	48.1
43.0	89.3	116.0	–
49.5	96.3	127.0	–
55.0	91.9	129.0	35.5
58.8	86.1	140.0	–
63.4	81.1	160.0	–
71.0	93.4	168.0	18.1

ตารางที่ 4-5

ผลการทดสอบความไวของแคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข ง. ที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ โดยการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรีขนาด 9 โวลท์ ที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

Effective energy (keV)	Measured current (μA/100R/min)	Effective energy (keV)	Measured current (μA/100R/min)
28.7	71.2	81.0	87.2
32.0	86.6	88.0	79.9
35.0	92.0	92.0	73.0
37.5	94.5	98.0	65.3
40.0	107.6	110.0	55.3
43.0	105.3	116.0	49.9
49.5	110.8	127.0	40.9
55.0	107.1	129.0	35.9
58.8	101.8	140."	28.7
63.4	95.6	160.0	19.7
71.0	104.7	168.0	14.6

ตารางที่ 4-6

ผลการทดสอบความไวของแคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข จ. ที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ โดยวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรีขนาดโวลท์ต่าง ๆ ที่ขนาดลำแสง 10 x10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

Effective energy (keV)	Measured current (mA /100R/min)		
	9 Volts	15 Volts	30 Volts
28.7	1.194	1.672	–
32.0	1.393	2.065	4.620
35.0	1.515	2.252	5.060
37.5	1.511	2.409	5.216
40.0	1.746	2.627	5.978
43.0	1.766	2.791	6.067
49.5	1.833	2.862	6.461
55.0	1.813	2.876	6.223
58.8	1.760	2.768	5.952
63.4	1.658	2.618	5.511
71.0	1.887	2.907	6.589
81.0	1.577	2.554	5.442
88.0	1.456	–	–
92.0	1.374	2.176	4.605
98.0	1.220	–	–
110.0	1.049	1.695	3.587
116.0	1.000	–	–
127.0	0.824	–	–
129.0	0.790	1.274	2.816
140.0	0.647	–	–
160.0	0.487	–	–
168.0	0.405	0.669	1.448

ตารางที่ 4-7

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ กับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข ก. และแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลท์ วัดที่ 180 กิโลโวลท์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

Dose rate R/m in	Measured current (mA)	Dose rate (R/min)	Measured current (mA)
18.1	0.053	56.0	0.144
25.7	0.073	65.3	0.162
34.0	0.091	80.2	0.199
49.5	0.126	–	–

ตารางที่ 4-8

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ กับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข ข. และแบตเตอรี่ขนาดโวลท์ต่าง ๆ วัดที่ 180 กิโลโวลท์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

Dose rate (R/min)	Measured current (mA)		
	9 Volts	15 Volts	30 Volts
18.1	0.090	–	0.385
25.7	0.128	0.238	–
34.0	0.160	–	0.649
49.5	0.230	–	0.879
56.0	0.258	0.460	–
65.3	0.292	0.521	1.100
80.2	0.340	0.618	1.300

ตารางที่ 4-9

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์กับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข ค. และแบตเตอรีขนาด 9 โวลท์ วัดที่ 180 กิโลโวลท์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

Dose rate (R/min)	Measured current (μA)	Dose rate (R/min)	Measured current (μA)
18.1	18.9	56.0	49.0
25.7	25.2	65.3	56.0
34.0	–	80.2	66.2
49.5	–		

ตารางที่ 4-10

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์กับกระแส ไฟฟ้าที่วัดได้ โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข ง. และแบตเตอรีขนาด 9 โวลท์ วัดที่ 180 กิโลโวลท์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

Dose rate (R/min)	Measured current (μA)	Dose rate (R/min)	Measured current (μA)
18.1	17.2	56.0	–
25.7	25.0	65.3	64.5
34.0	33.0	80.2	77.9
49.5	48.5	–	–

ตารางที่ 4-11

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์กับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข จ. และแบตเตอรี่ขนาดโวลท์ต่าง ๆ วัดที่ 180 กิโลโวลท์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

Dose rate R/min	Measured current (mA)		
	9 Volts	15 Volts	30 Volts
18.1	0.26	0.43	0.96
25.7	0.38	–	–
34.0	0.50	0.82	1.88
49.5	0.75	1.25	2.77
56.0	–	–	–
65.3	1.00	1.66	3.60
80.2	1.28	2.06	4.32

ตารางที่ 4-12

ผลการทดสอบความไวของแคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข ๒. โดยปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมและพลาสติกที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ใช้แบตเตอรีขนาด 15 โวลท์ ที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

Effective energy (keV)	Measured current (mA/100R/min)		
	1 mm Al	1.8 mm Plastic	5.7 mm Plastic
28.7	–	–	–
32.0	0.685	0.841	0.830
35.0	0.726	0.847	0.832
37.5	0.733	0.821	0.800
40.0	0.902	1.025	1.018
43.0	0.864	0.958	0.951
49,5	0.953	1.055	1.046
55.0	0.879	0.959	0.939
58.8	0.812	0.862	0.852
63.4	0.739	0.791	0.773
71.0	0.976	1.050	1.046
81.0	0.762	0.803	0.785
88.0	–	–	–
92.0	0.613	0.637	0.632
98.0	–	–	–
110.0	0.459	0.482	0.467
116.0	–	–	–
127.0	–	–	–
129.0	0.374	0.393	0.381
140.0	–	–	–
160.0	–	–	–
168.0	0.193	0.200	0.188

ตารางที่ 4-13

ผลการทดสอบความไวของแคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข จ. โดยปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมและพลาสติคที่ขนาดพลังงานของรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ใช้แบตเตอรีขนาด 15 โวลท์ ที่ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. และระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

Effective energy (keV)	Measured current (mA/100R/min)		
	1 mm Al	1.8 mm Plastic	5.7 mm Plastic
28.7	–	–	–
32.0	1.596	1.758	1.881
35.0	1.893	1.966	2.092
37.5	2.080	2.097	2.166
40.0	2.290	2.337	2.489
43.0	2.451	2.402	2.500
49.5	2.600	2.609	2.615
55.0	2.597	2.575	2.639
58.8	2.560	2.528	2.544
63.4	2.431	2.418	2.394
71.0	2.771	2.674	2.760
81.0	2.377	2.337	2.358
88.0	–	–	–
92.0	2.048	2.022	2.023
98.0	–	–	–
110.0	1.614	1.596	1.605
116.0	–	–	–
127.0	–	–	–
129.0	1.248	1.209	1.214
140.0	–	–	–
160.0	–	–	–
168.0	0.667	0.632	0.649

ตารางที่ 4-14

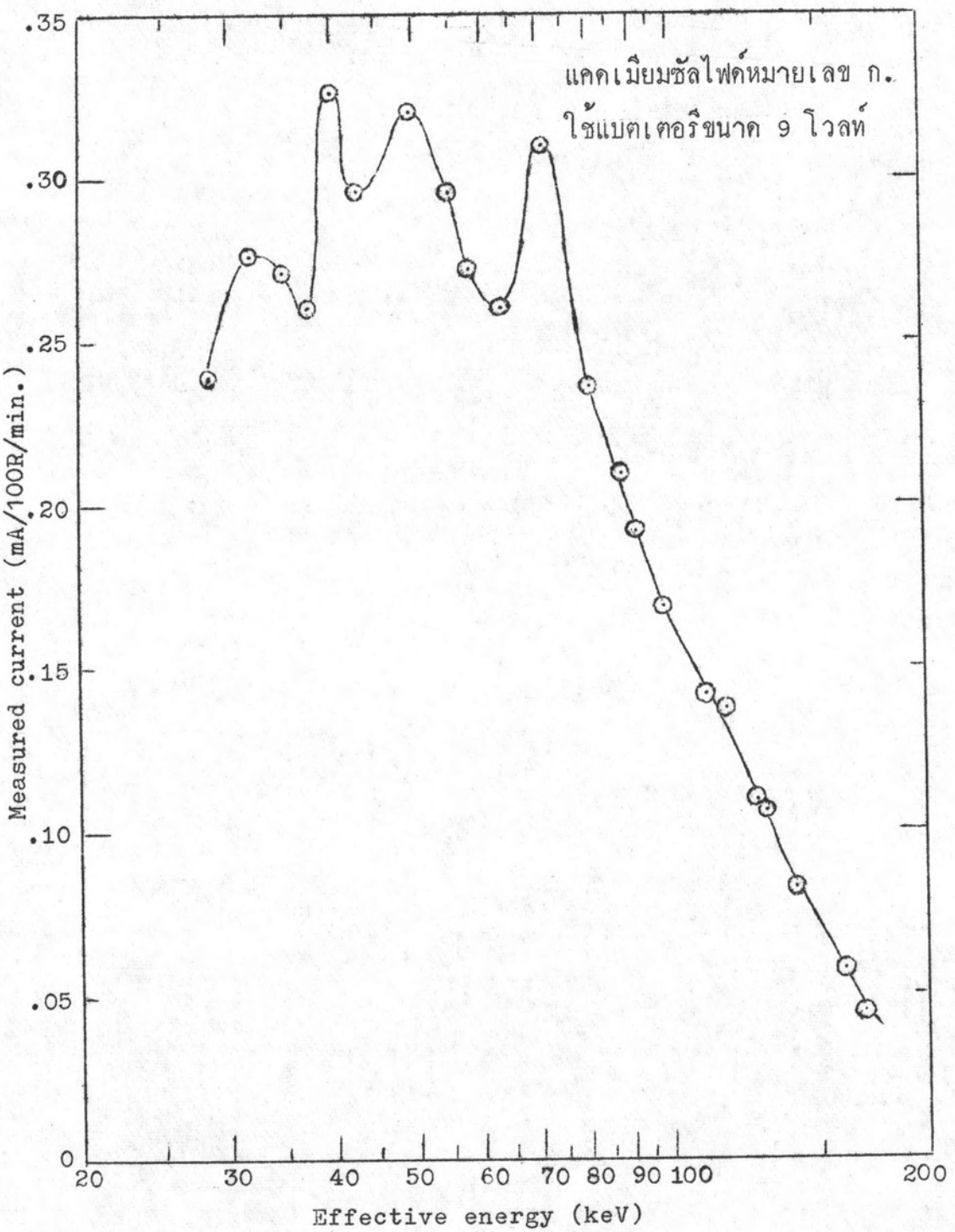
ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ กับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข ข. แบตเตอรีขนาด 15 โวลท์ ปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมและพลาสติค วัดที่ 180 กิโลโวลท์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

Dose rate (R/min)	Measured current (mA)		
	1 mm Al	1.8 mm Plastic	5.7 mm Plastic
18.1	0.171	0.171	0.187
25.7	–	–	–
34.0	0.292	0.298	0.315
49.5	0.407	0.417	0.432
56.0	–	–	–
65.3	0.512	0.528	0.538
80.2	0.598	0.629	0.628

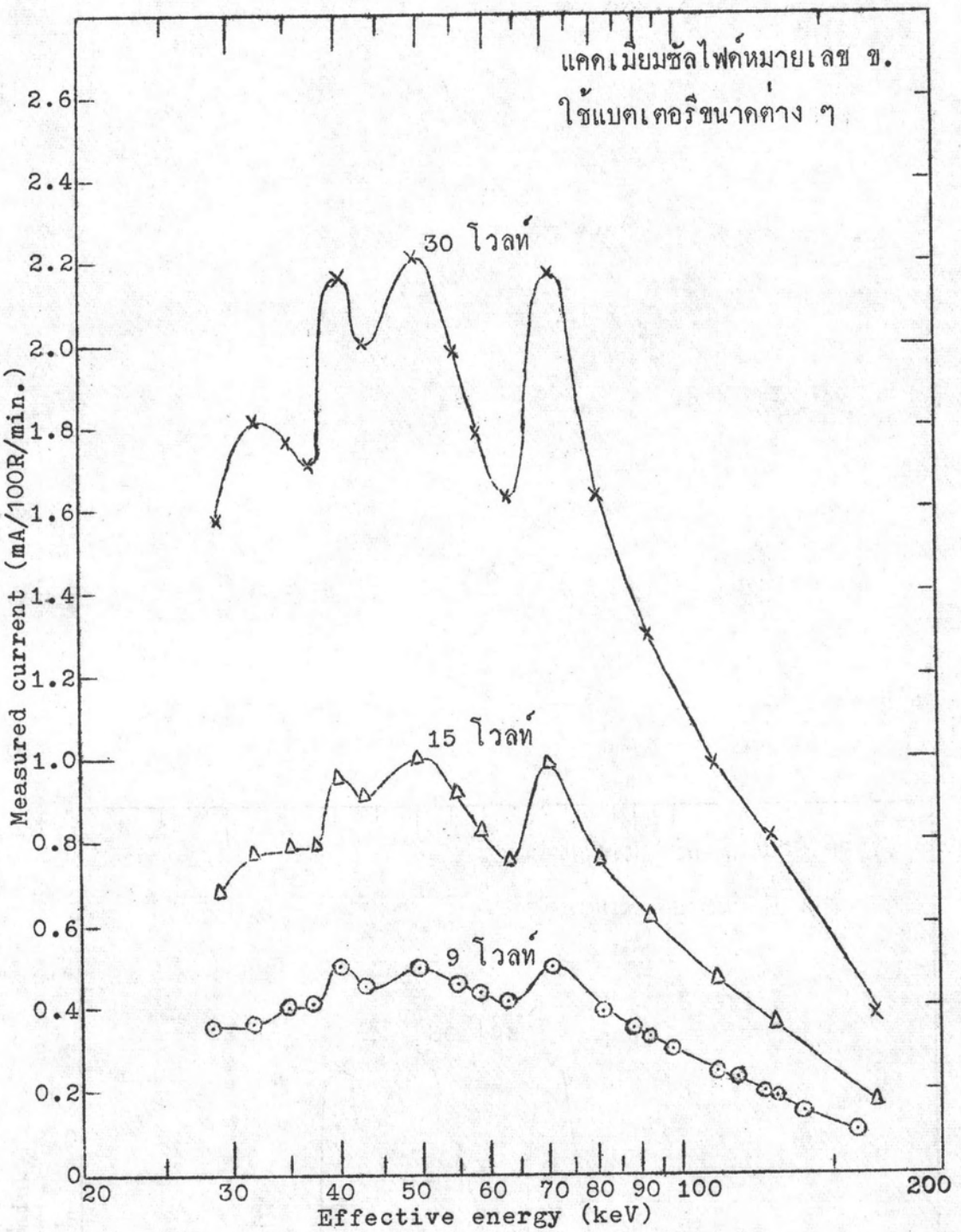
ตารางที่ 4-15

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีเอกซ์กับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้โดยใช้แคดเมียมซัลไฟด์ หมายเลข จ. แบตเตอรีขนาด 15 โวลท์ ปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมและพลาสติก วัดที่ 180 กิโลโวลท์ ขนาดลำแสง 10 x 10 ตร.ซม. ระยะจากจุดโฟกัสถึงแคดเมียมซัลไฟด์ 50 ซม.

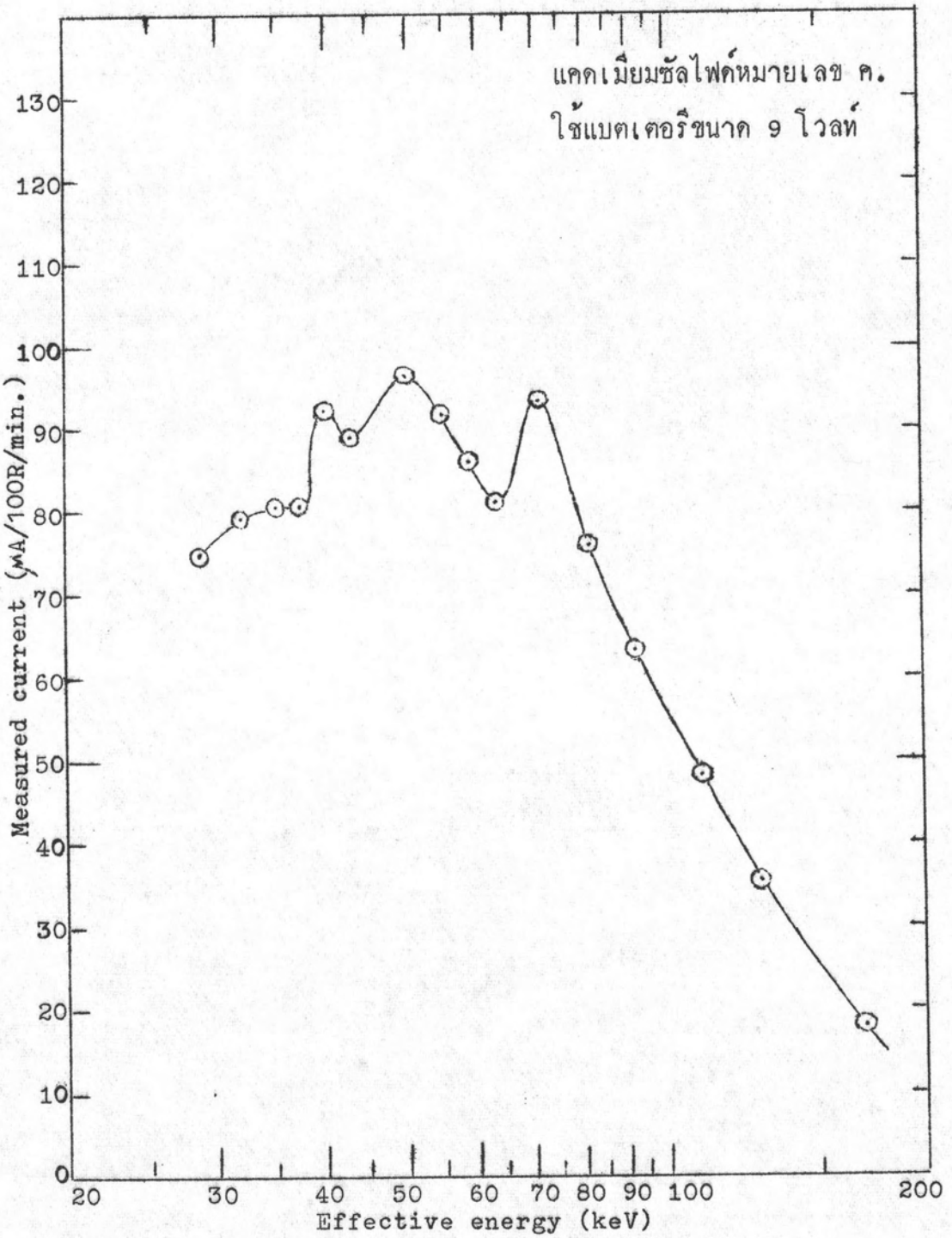
Dose rate (R/min)	Measured current (mA)		
	1 mm Al	1.8 mm Plastic	5.7 mm Plastic
18.1	0.401	0.402	0.381
25.7	–	–	–
34.0	0.770	0.777	0.738
49.5	1.170	1.170	1.100
56.0	–	–	–
65.3	1.560	1.550	1.490
80.2	1.910	1.920	1.820



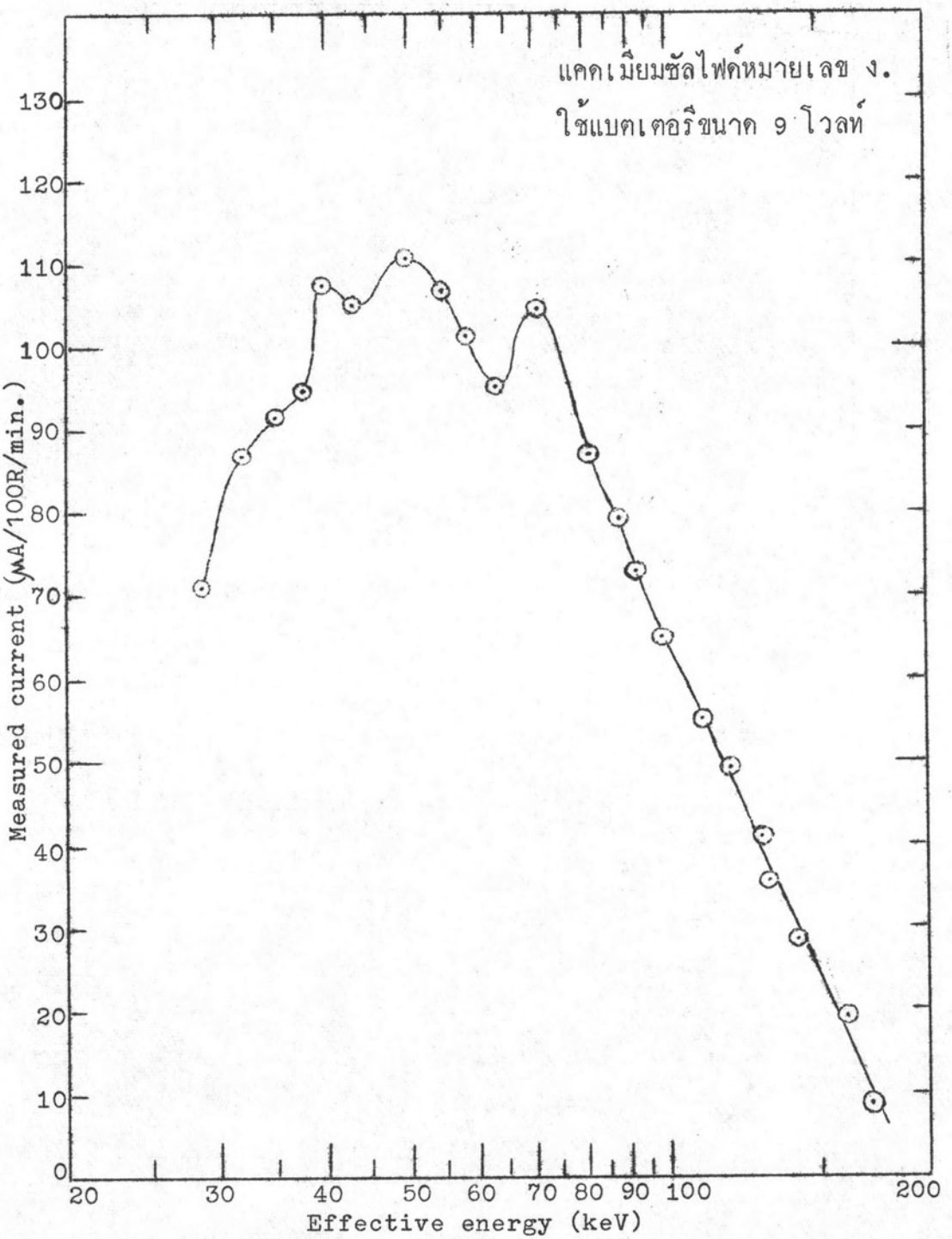
รูปที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วงต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ก. ใช้แบตเตอรีขนาด 9 โวลท์



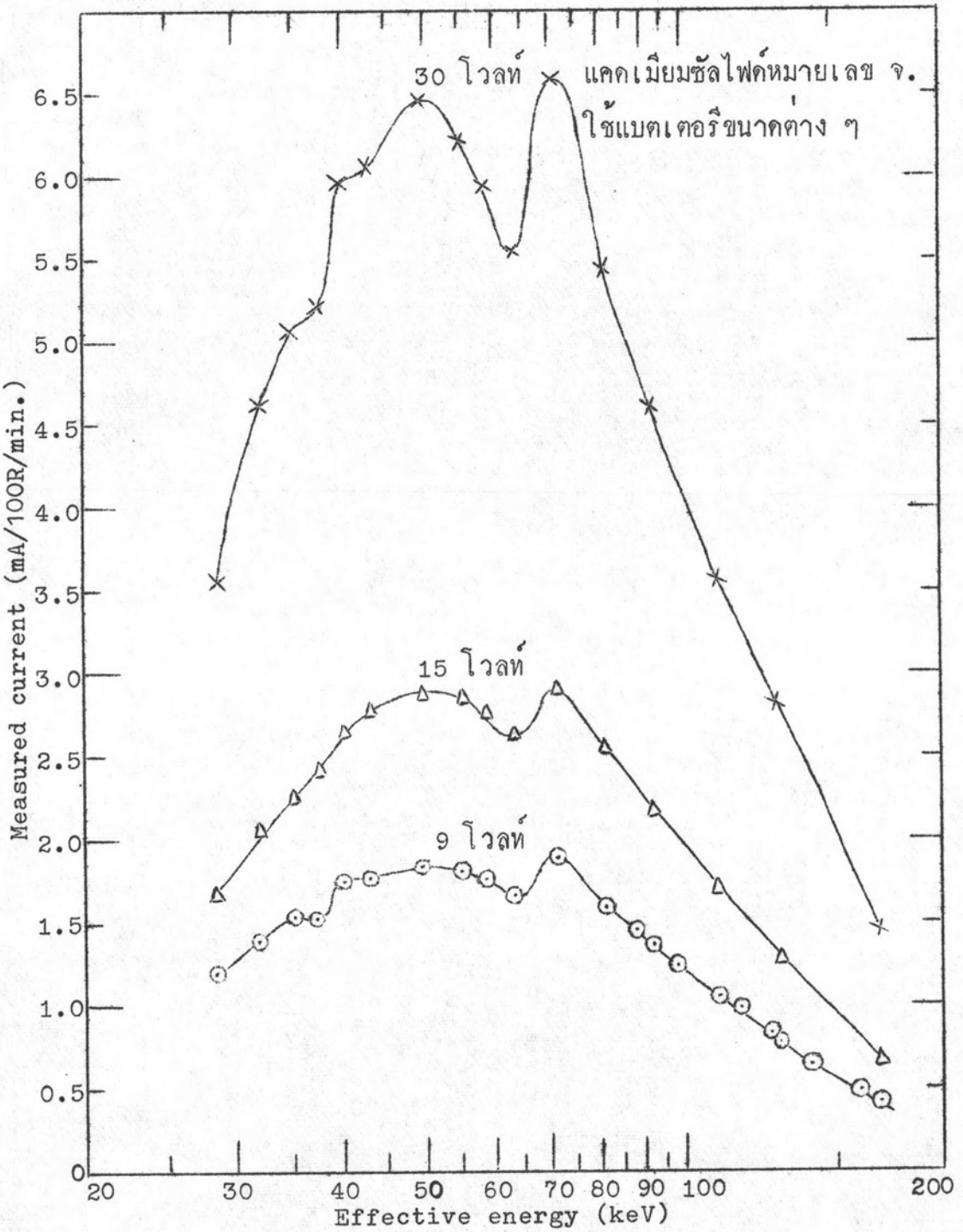
รูปที่ 4–4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วงต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ข. ใช้แบตเตอรีขนาดต่าง ๆ



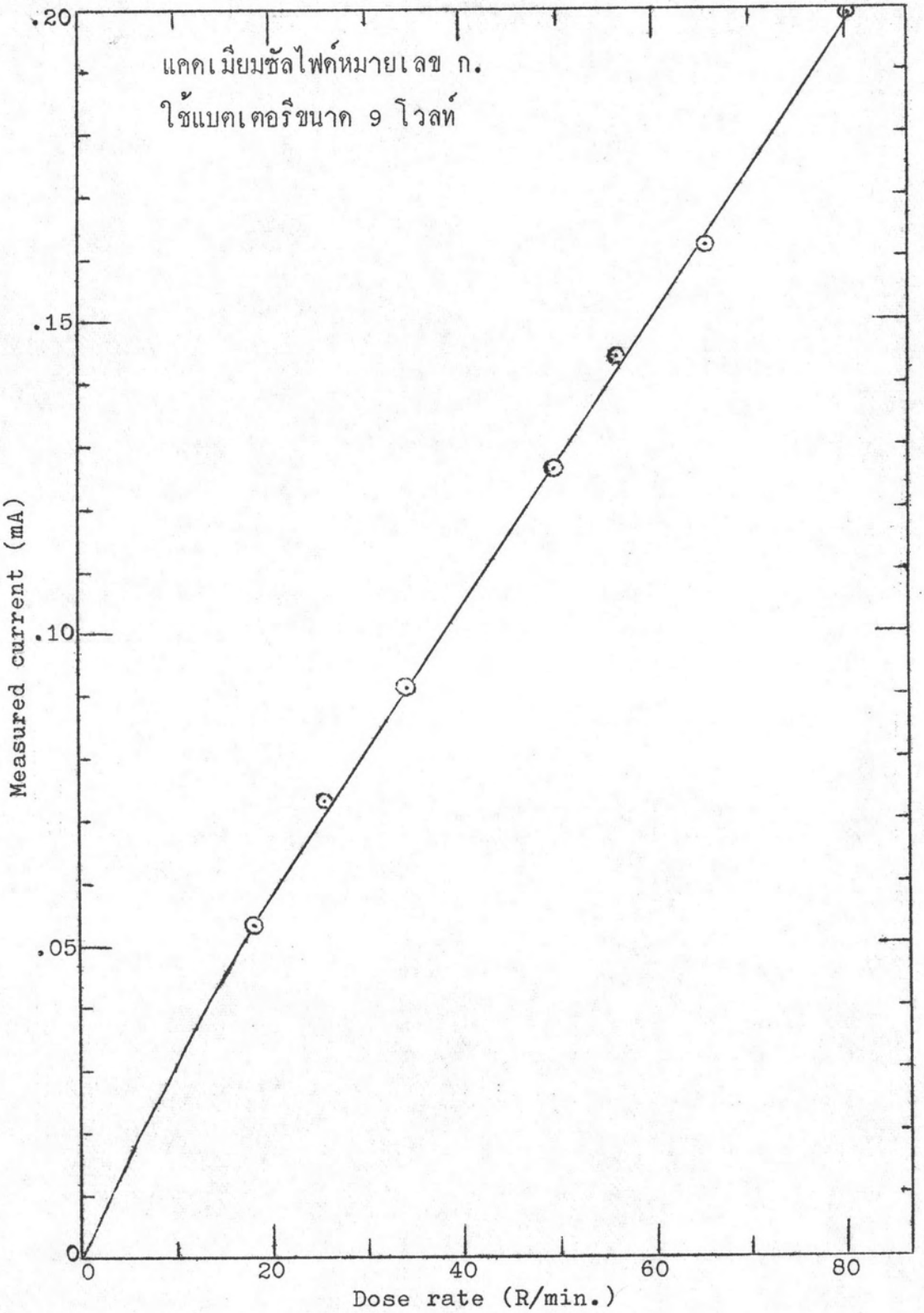
รูปที่ 4–5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วงต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ค. ใช้แบตเตอรีขนาด 9 โวลท์



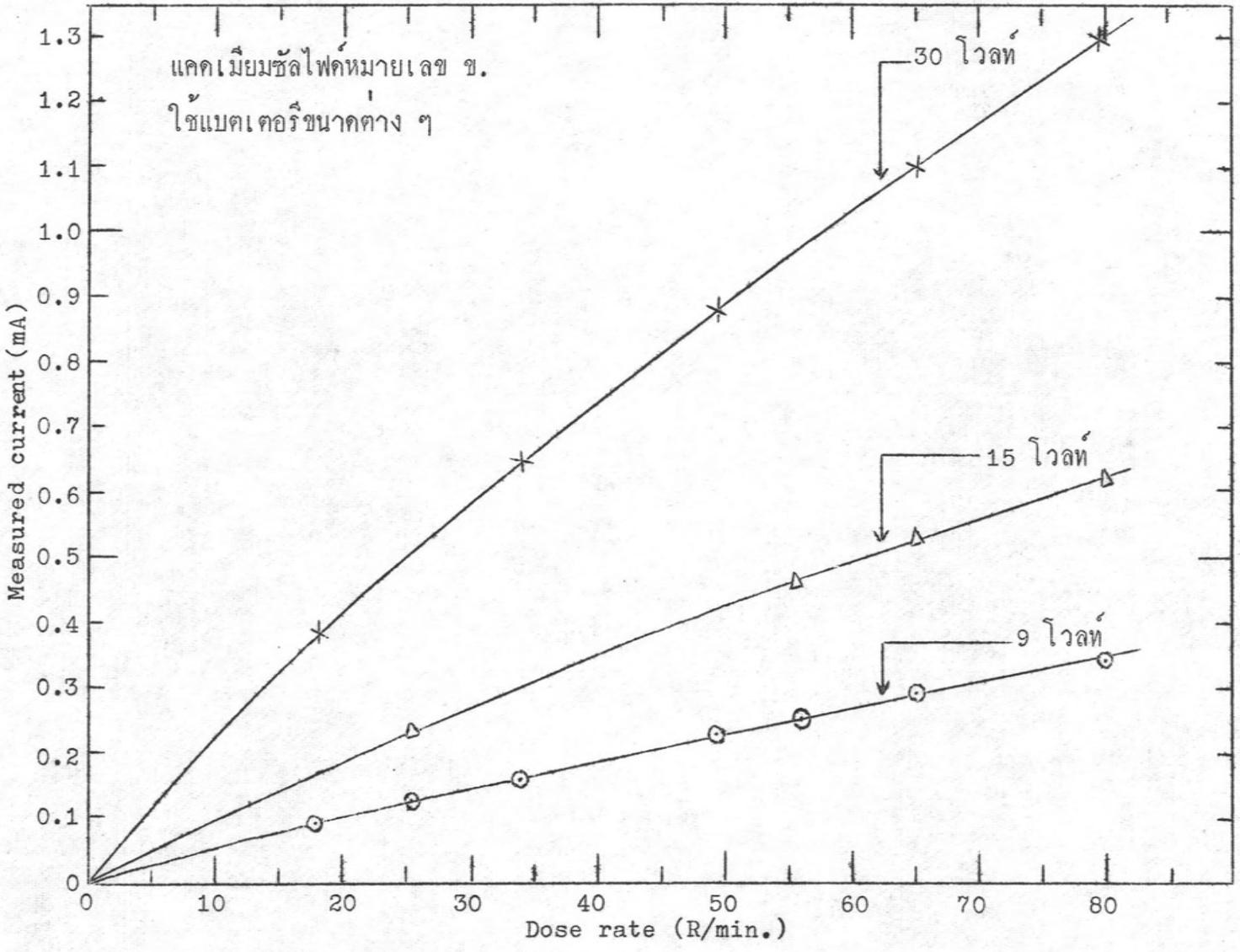
รูปที่ 4–6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วงต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ง. ใช้แบตเตอรี่ขนาด 9 โวลท์



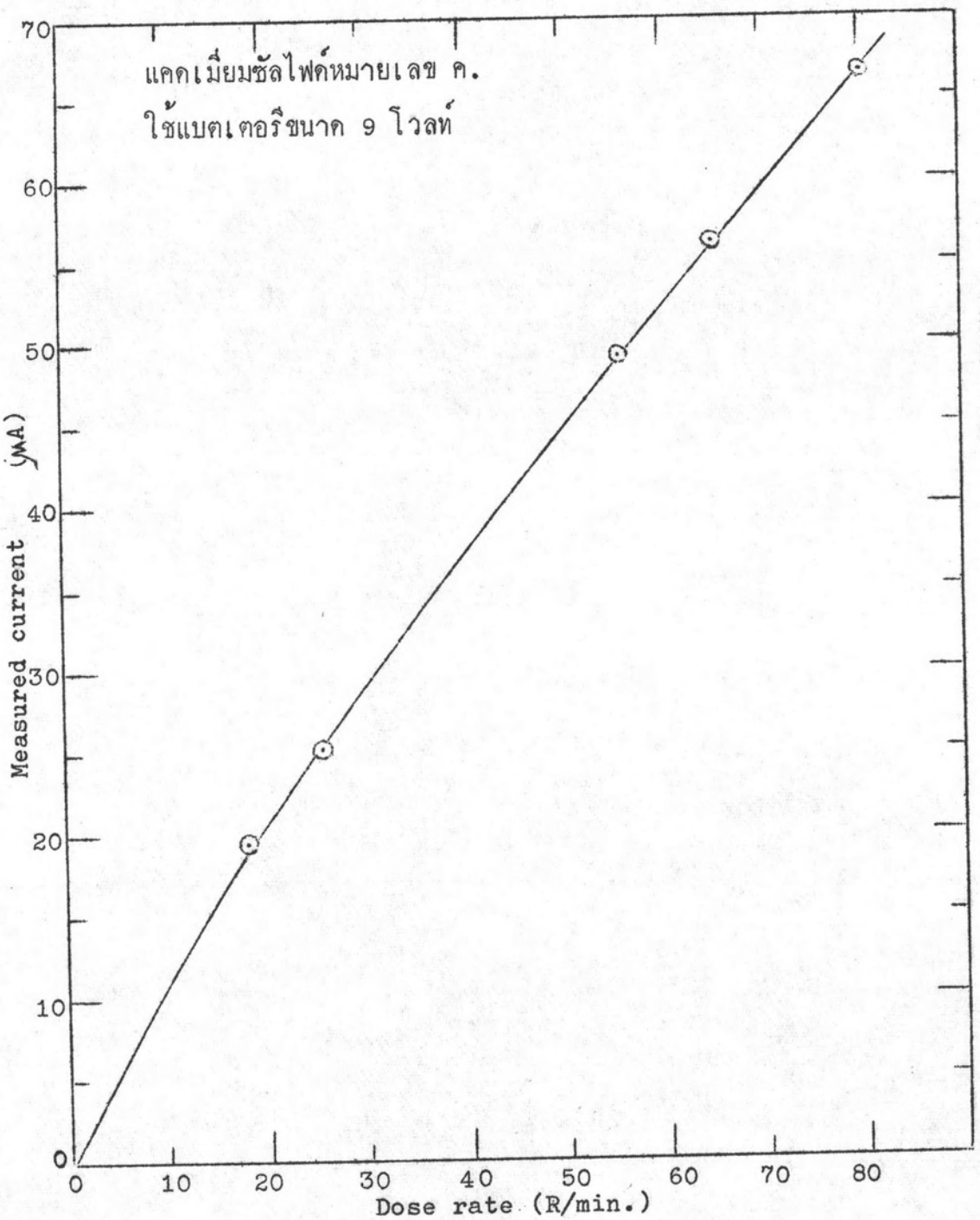
รูปที่ 4–7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วงต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข จ. ใช้แบตเตอรีขนาดต่าง ๆ



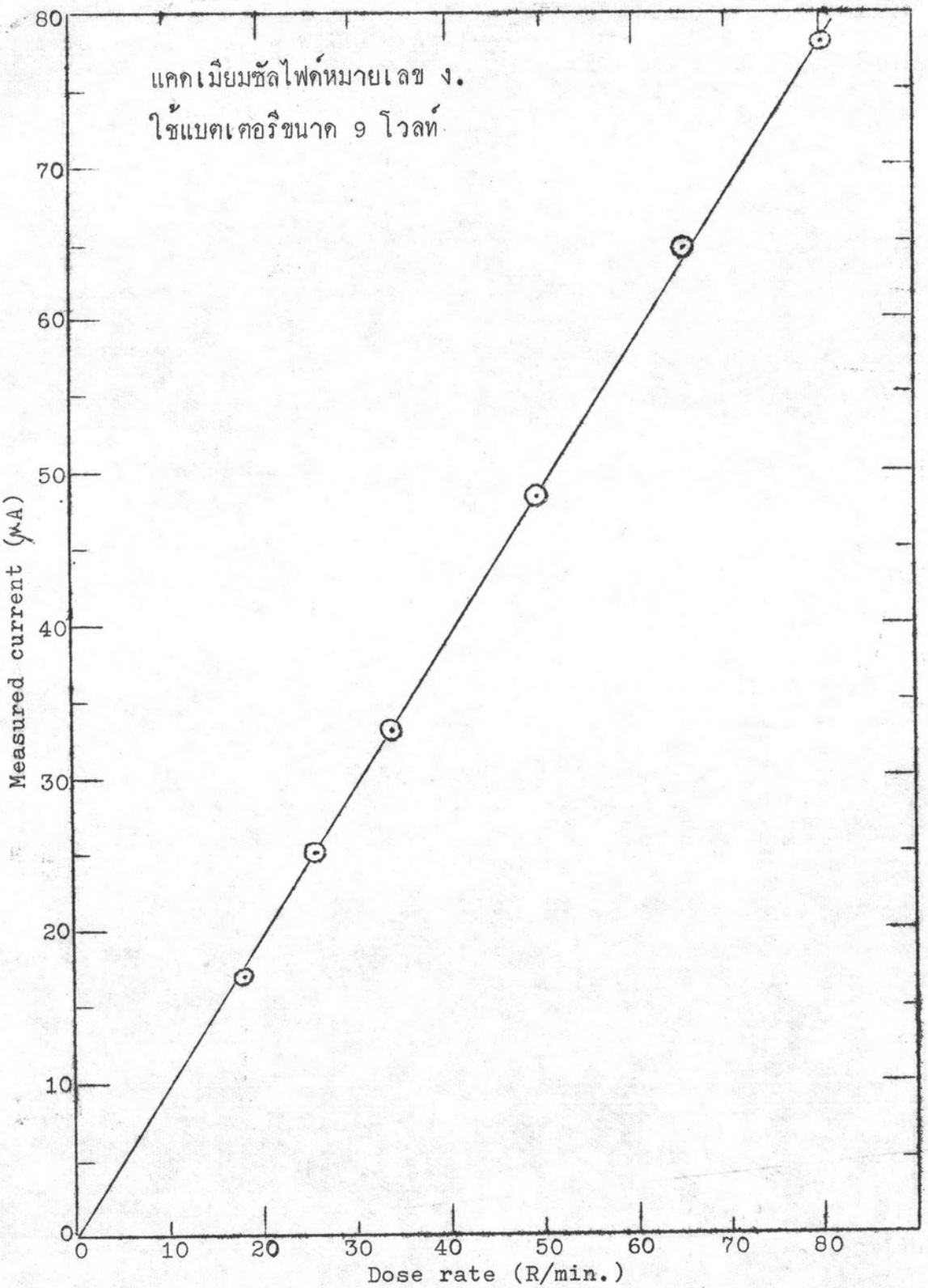
รูปที่ 4–8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ต่าง ๆ



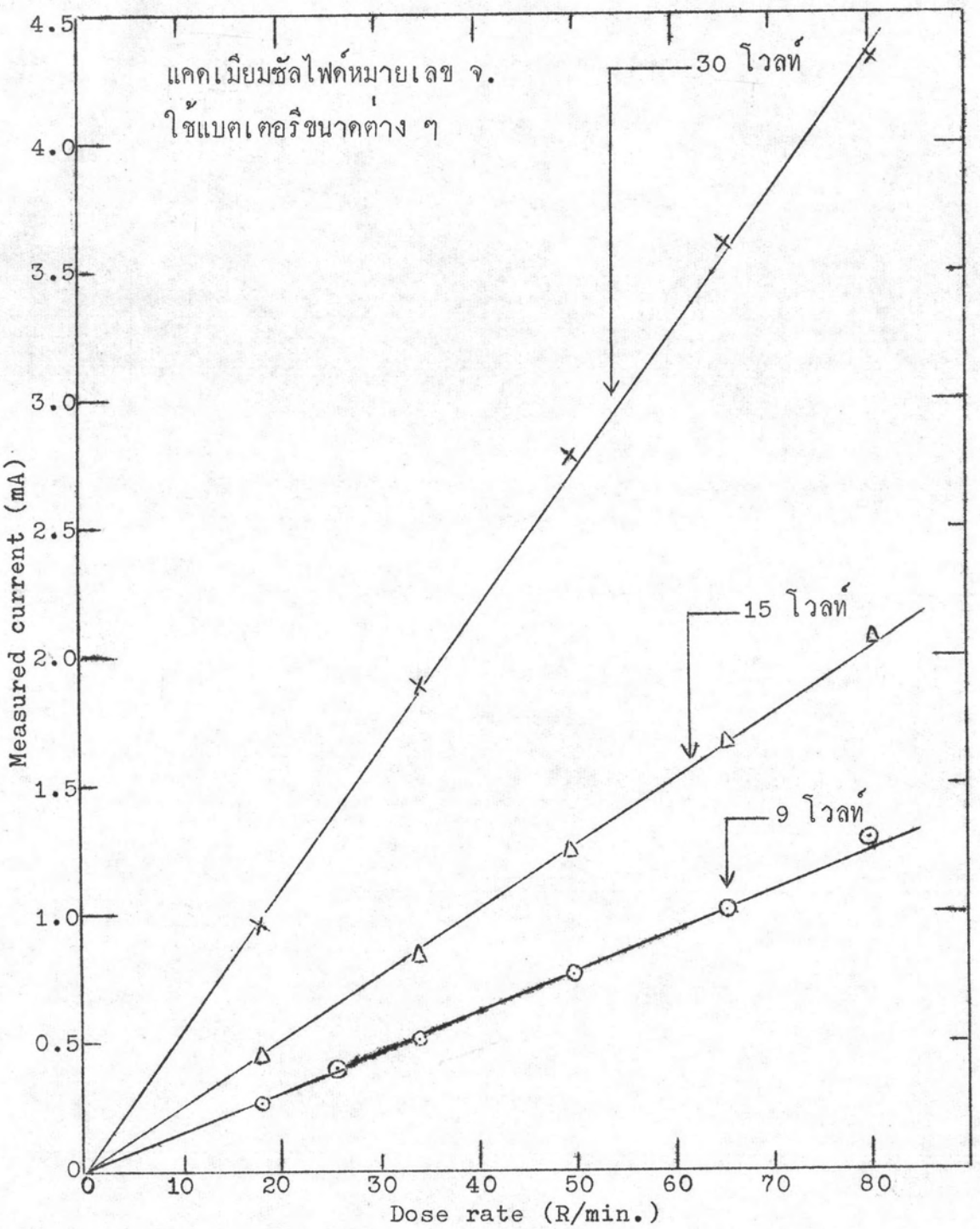
รูปที่ 4–9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ข.



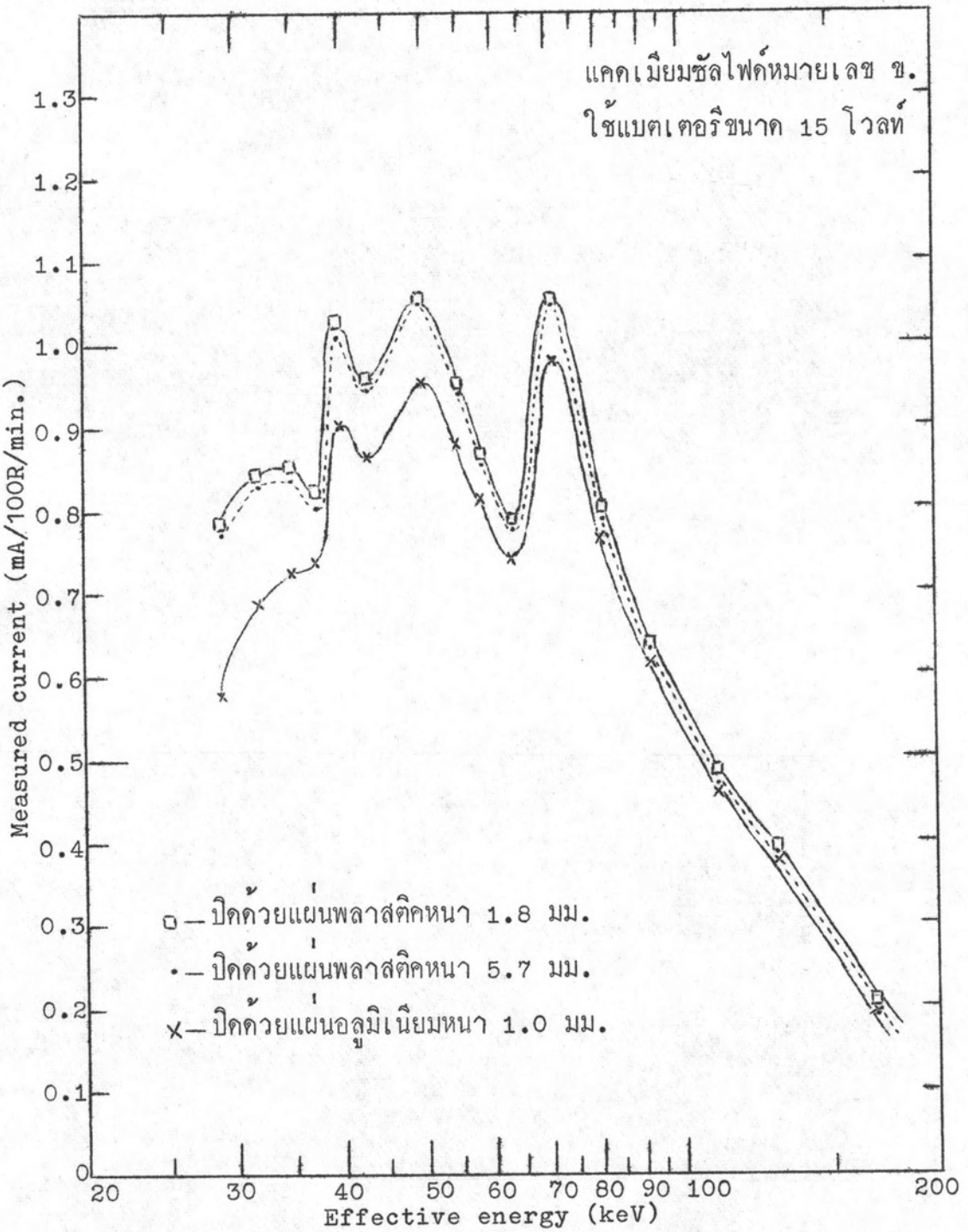
รูปที่ 4–10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ค.



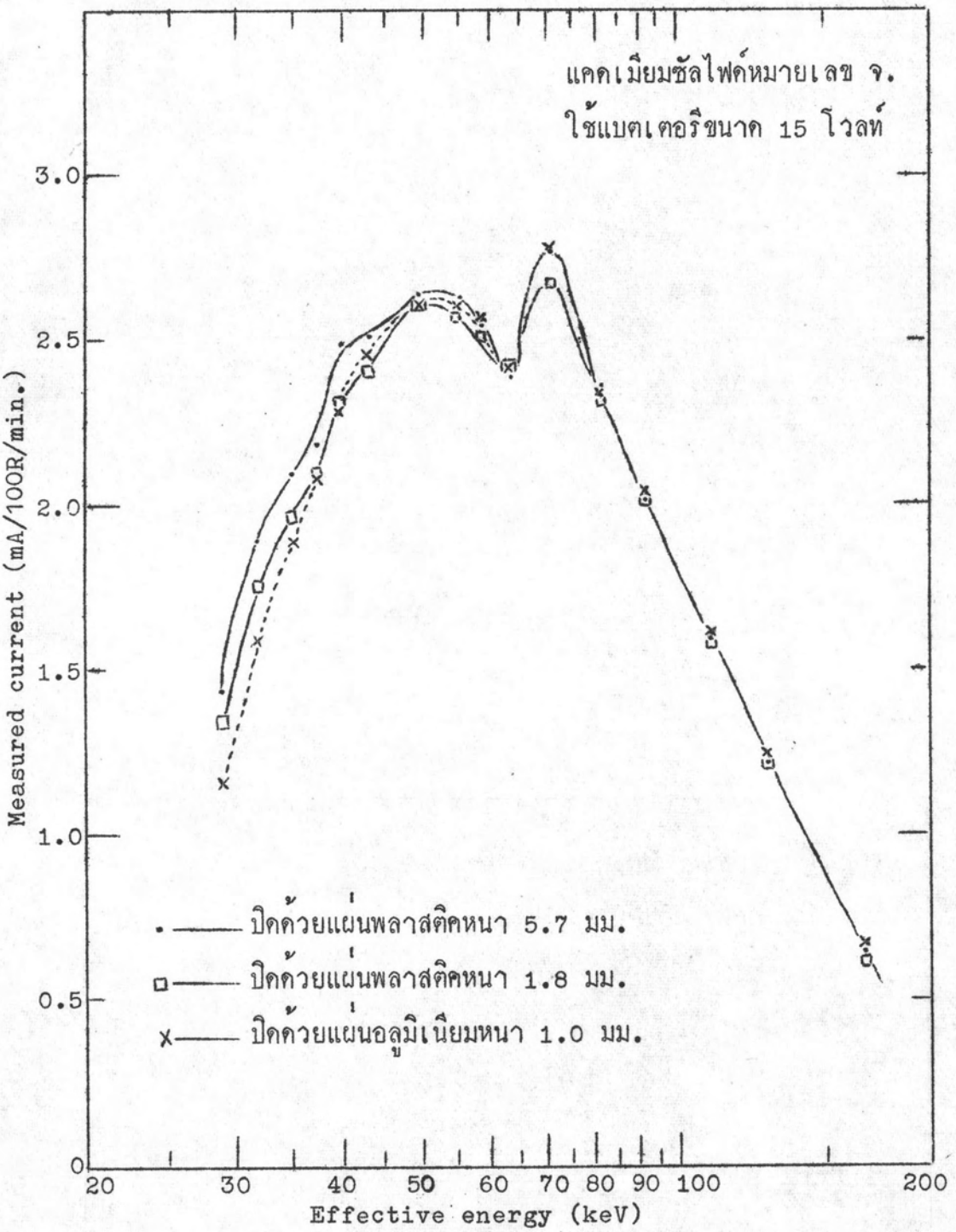
รูปที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ต่าง ๆ



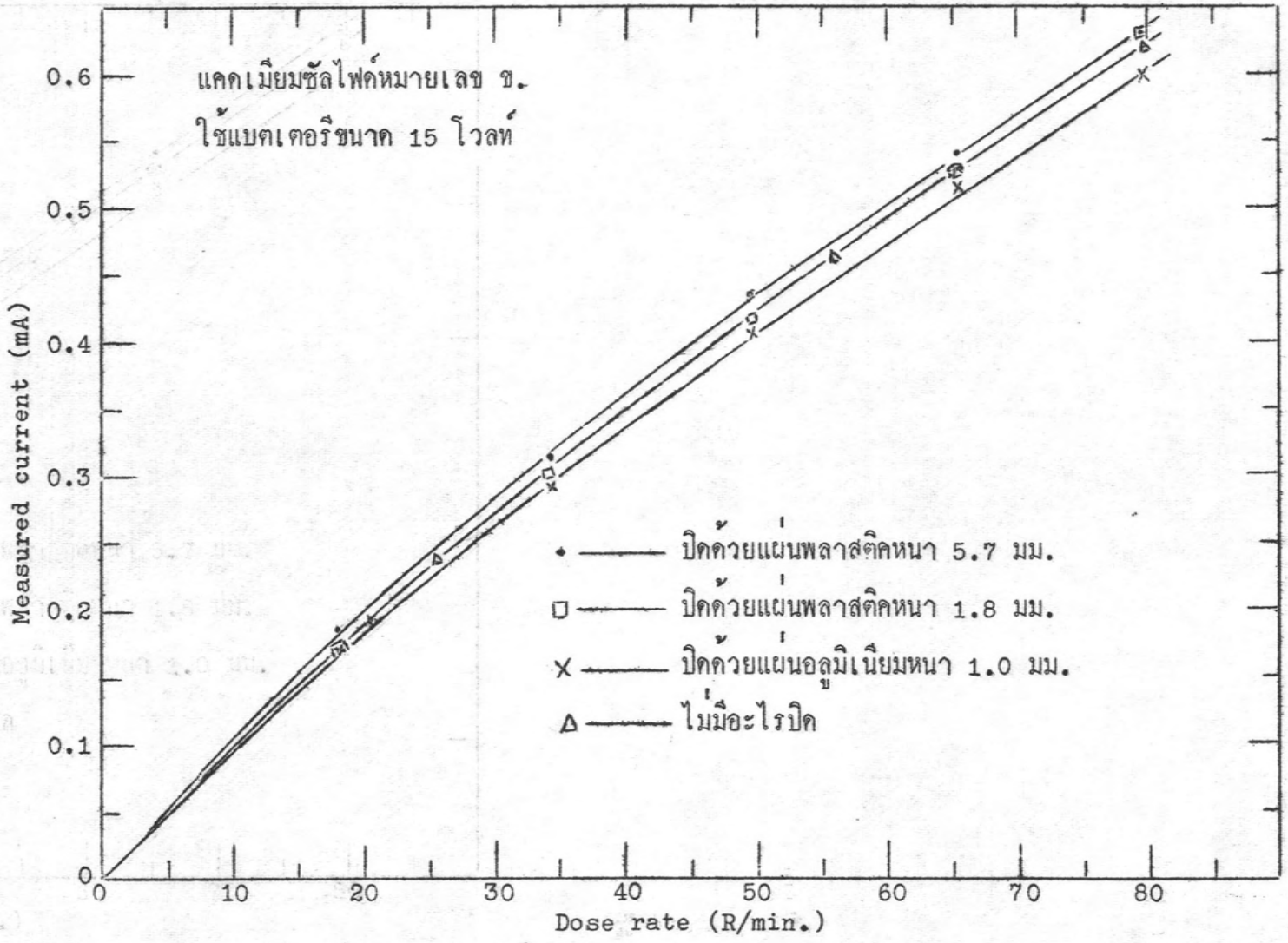
รูปที่ 4–12 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข จ,



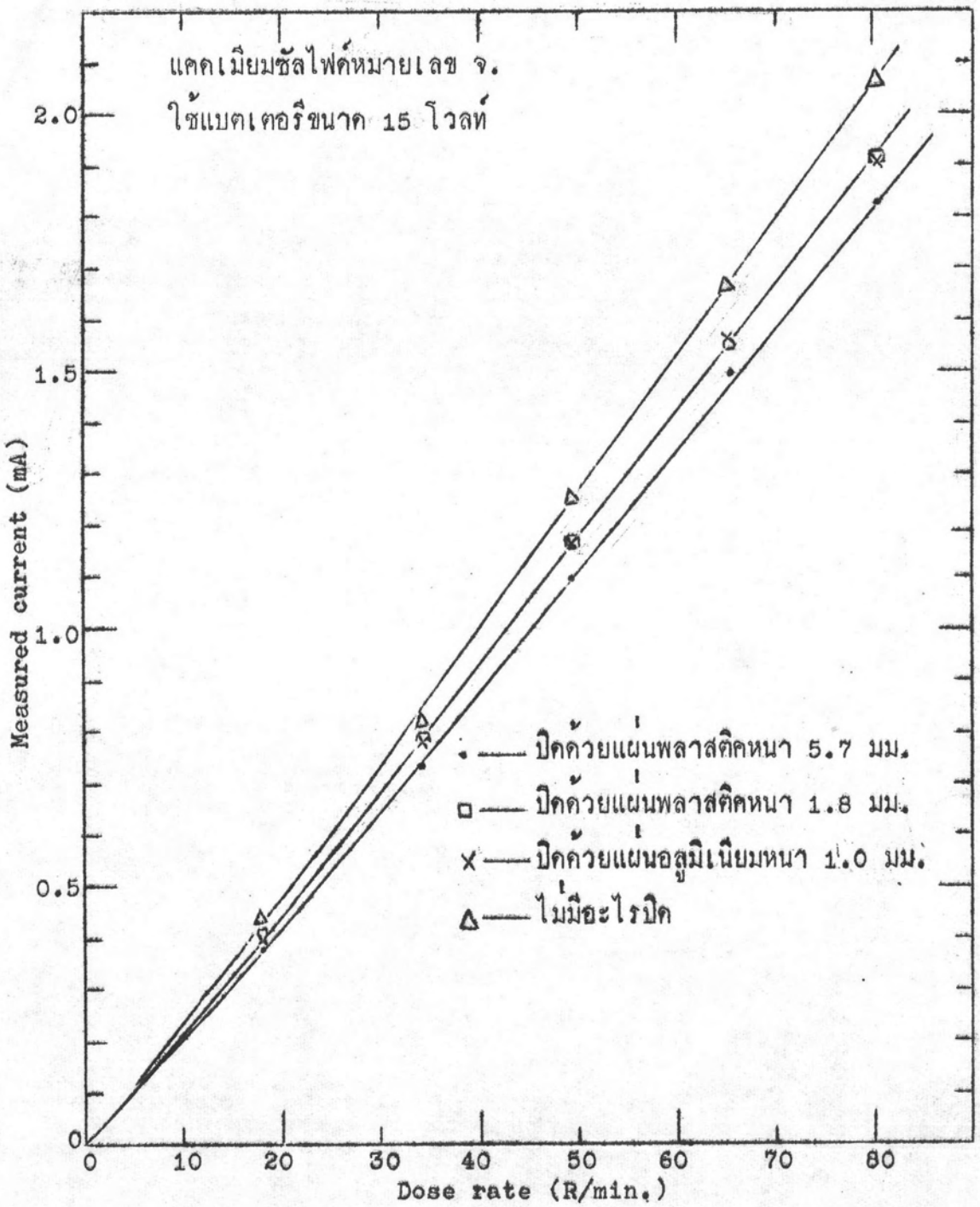
รูปที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วงต่างๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ข. เมื่อปิดด้วยแผ่นพลาสติคและอลูมิเนียม



รูปที่ 4–14 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับพลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วงต่างๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข จ. เมื่อปิดด้วยแผ่นพลาสติคและอลูมิเนียม



รูปที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข ข. เมื่อปิดด้วยแผนอลูมิเนียมและแผนพลาสติค



รูปที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับอัตราปริมาณรังสีเอกซ์ต่าง ๆ ของแคดเมียมซัลไฟด์หมายเลข จ. เมื่อปิดด้วยแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นพลาสติค