หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 4

วิธีดำเนินการทดลองและผลการทดลอง

เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองนี้มีความละเอียดอ่อนมาก เวลาใช้จึงต้องคอยระวังรักษา และต้องคอยตรวจสอบความผิดปรกติของเครื่องมืออยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ผลการทดลองถูกต้องที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในการนี้จึงได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

4.1 วิธีการทดสอบการรั่วไหล

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศในแถบศูนย์สูตรซึ่งมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง ซึ่งอาจจะทำให้ค่าปริมาณรังสีในอากาศที่อ่านได้จากห้องการแตกตัวคลาดเคลื่อนได้ (ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดลองนี้ขณะไม่เปิดเครื่องปรับอากาศอยู่ในช่วง 60–75% ขณะเปิดเครื่องปรับอากาศแล้วอยู่ในช่วง 45–55%) ถึงแม้ว่าในการสร้างเครื่องมือดังกล่าวจะได้คำนึงถึงปัญหานี้แล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่สามารถแก้ไขได้ 100% ทำได้เพียงให้มีการรั่วไหลน้อยที่สุดเท่านั้นเอง สำหรับห้องการแตกตัวที่ใช้ในการทดลองนี้ก็มีการรั่วไหลอยู่บ้าง แต่ไม่มากจนทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดพลาดมากนัก จากการทดสอบการรั่วไหลของห้องขนาดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองนี้ทั้งหมด ในช่วงเวลาประมาณ 30 นาที ปรากฏว่าไม่สามารถอ่านค่าปริมาณรังสีในอากาศ เนื่องจากการรั่วไหลได้เพราะมีค่าน้อยมาก (เวลาสูงสุดที่เอาห้องการแตกตัวเหล่านี้ไปรับรังสีครั้งละไม่เกิน 14 นาที)

วิธีการทดสอบการรั่วไหลนี้จะต้องทำก่อนนำเอาห้องการแตกตัวเหล่านี้ไปใช้งาน และเมื่อใช้งานเสร็จแล้วก็ต้องทดสอบอีกครั้งก่อนจะนำไปเก็บรักษาไว้ในตู้กันความชื้น (Desiccator) วิธีการทดสอบก็กระทำโดยนำเอาห้องการแตกตัวไปฉายรังสีให้ได้รับปริมาณรังสีในอากาศประมาณ 50% ของค่าสูงสุดที่ห้องนั้น ๆ สามารถอ่านได้ บันทึกค่าปริมาณรังสีในอากาศ แล้วนำเอาห้องการแตกตัวนั้นไปตั้งทิ้งไว้ในที่

ซึ่งไม่มีสารรังสีอยู่ในบริเวณข้างเคียงเลยเป็นเวลาประมาณ 30 นาที แล้วจึงมาอ่านดูค่าปริมาณรังสีในอากาศอีกครั้งหนึ่ง ถ้ามีค่าเพิ่มขึ้นแสดงว่ามีการรั่วไหล แต่ถ้ามีค่าลดลงแสดงว่าวงจรของมาตรวัดไฟฟ้าอาจชำรุด ถ้าตรวจพบว่ามีการรั่วไหลเกิดขึ้นก็ต้องทำการคำนวณดูว่าการรั่วไหลของห้องนั้นมีค่าสูงมากหรือไม่ ถ้ามีค่าสูงมากก็ต้องทำการแก้ไขโดยนำเอาห้องการแตกตัวนั้นไปใส่ไว้ในตู้กันความชื้นซึ่งมีสารดูดความชื้น (Silica Gel) อยู่ภายใน เพื่อดูดความชื้น ทิ้งไว้ในตู้นั้นประมาณ 24 ชม. แล้วนำมาทดสอบดูใหม่ ถ้ายังมีการรั่วไหลอยู่อีกก็ต้องแก้ไขโดยการวัดค่าการรั่วไหลในช่วงเวลาเท่ากับเวลาที่ใช้ในการวัดค่าปริมาณรังสีในอากาศจริง ๆ แล้วเอาค่าปริมาณรังสีในอากาศเนื่องจากการรั่วไหลไปลบกับค่าปริมาณรังสีในอากาศที่อ่านได้ สำหรับห้องตัวควบแน่นแบบวิคตอรีน การรั่วไหลอาจเกิดจากมีเศษวัสดุซึ่งเป็นตัวนำไปจับอยู่ระหว่างขั้วบวกและลบของห้องนั้นก็ได้ เวลาใช้ห้องการแตกตัวแบบนี้จึงต้องคอยระวังเรื่องความสะอาดให้มากด้วย

4.2 <u>การทดสอบความคงที่ของมอนิเตอร์</u>

ก่อนที่จะใช้มอนิเตอร์เป็นมาตรบอกความเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์นั้น ควรทำการทดสอบดูความคงที่ของเครื่องมือก่อนโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานมาเป็นมาตรฐานในการทดสอบ โดยเอาห้องมอนิเตอร์ไปรับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานนั้น โดยตั้งจำนวนตัวเลขบนหน้าปัทม์ของมอนิเตอร์ไว้ 20 หน่วย (Steps) แล้วดูว่าถ้ามอนิเตอร์อ่านได้ 20 หน่วยจะใช้เวลาเท่าไร แล้วเอาค่าเวลาที่ได้นี้ไปแก้ค่าอุณหภูมิและความดันให้ถูกต้อง เวลาที่แก้ค่าอุณหภูมิและความดันแล้วต่อหนึ่งหน่วยมอนิเตอร์นี้เรียกว่า คอนโทรลไทม์ (Control time)

$$\text{Control time } (T_c) = T/K_D \qquad \text{.....(4.1)}$$

T = เวลาที่ได้จากหน้าปัทม์นาฬิกา

K_D = ตัวประกอบการแก้สำหรับอุณหภูมิและความดัน

$$= \left(\frac{760}{P}\right)\left(\frac{273 + t}{273}\right)$$

สำหรับความคงที่ของมอนิเตอร์นี้ทางประเทศเยอรมันได้ทำการทดสอบโดยการวัดค่าคอนโทรลไทม์ไว้แล้ว โดยใช้สตรอนเซี่ยม -90 (Sr - 90) เป็นแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน ตั้งตัวเลขบนหน้าปัทม์ไว้ 20 หน่วย ทำการวัดคอนโทรลไทม์ทั้งหมด 50 ครั้ง ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์[1] (Relative Standard Deviation) ของการวัดทั้ง 50 ครั้งนี้ = 0.023%

แต่เนื่องจากมอนิเตอร์ที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ได้รับมาไม่มีแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานมาด้วย จึงไม่สามารถทำการทดสอบตามวิธีการดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้ก็ได้ใช้ห้องการแตกตัวที่มีอยู่มาทดสอบอย่าง - คร่าว ๆ ดูความคงที่ของมอนิเตอร์นี้โดยถือว่าค่าที่อ่านได้จากห้องการแตกตัวอ่านได้ถูกต้อง ปรากฏว่าความคงที่ของมอนิเตอร์นี้อยู่ในช่วงไม่ถึง 1% จึงถือว่ามอนิเตอร์ที่ใช้มีความคงที่มากพอจะใช้เป็นมาตรบอกความเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีดังกล่าวได้

4.3 <u>การวัดความหนาครึ่งค่า</u>

เนื่องจากความไวของเครื่องมือวัดรังสีทุกประเภทขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีด้วย ดังนั้นก่อนจะทำการทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือวัดรังสีชนิดต่าง ๆ จำเป็นต้องทราบค่าพลังงานยังผลในเทอมของความหนาครึ่งค่าของรังสีเอกซ์ที่ค่ากิโลโวลเตจ (kV) ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบนี้ก่อน เพื่อจะหาค่าตัวประกอบการแก้ตามพลังงาน (Quality Correction Factor) ของห้องการแตกตัวเหล่านั้น แล้วนำไปคูณกับค่าปริมาณรังสีในอากาศที่อ่านได้จากห้องการแตกตัว - เหล่านั้น จึงจะได้ผลถูกต้องมากขึ้น ซึ่งค่าตัวประกอบการแก้ตามพลังงานต่าง ๆ

---

[1] Relative Standard Deviation $= \frac{100}{\bar{t}_c} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (t_{ci} - \bar{t}_c)^2}$

ของห้องการแตกตัวเหล่านั้นได้แสดงไว้ในกราฟรูปที่ 4.1 ถึงกราฟรูปที่ 4.9 และถ้าจะให้ได้ผลถูกต้องสมบูรณ์ขึ้นจะต้องคูณด้วยตัวประกอบการแก้สำหรับอุณหภูมิและความดันด้วย ซึ่งวิธีการคำนวณนี้จะแสดงไว้เป็นตัวอย่างในหัวข้อ 4.5

ในการทดลองหาค่าความหนาครึ่งค่านี้ ได้จัดเครื่องมือดังแสดงในรูปที่ 4.17 โดยให้ระยะระหว่างแผ่นกรองแสงที่จะใส่เข้าไปเพื่อหาความหนาครึ่งค่า (Additional-Filter) และจุดโฟกัสของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ห่างกันประมาณ 50 ซม. และตำแหน่งของห้องการแตกตัวอยู่ห่างจากแผ่นกรองแสงนี้ประมาณ 30 ซม. ห้องการแตกตัวที่ใช้ในการหาค่าความหนาครึ่งค่านี้ใช้ห้องตัวควบแน่นวิคตอรีนขนาด 25R โดยมีมอนิเตอร์เป็นตัวบอกความคงที่ของ - ปริมาณรังสีจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ มอนิเตอร์ที่ใช้คือ DUO Transmission Chamber ของ PTW[1] ประเทศเยอรมัน

ส่วนเทคนิคที่เลือกใช้ในการทดลองนี้ เลือกก็โลโวลเตจตั้งแต่ 60 ถึง 250 และกระแส 20 mA ทุกเทคนิค ยกเว้นที่ 250 kV ซึ่งใช้กระแสเพียง 15 mA เท่านั้น ส่วนแผ่นกรองแสงที่ใช้เป็นตัวกำหนดพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ได้ (Fixed Filter) ใช้แผ่นกรองแสงที่มีความหนาเทียบเท่ากับ 2 มม.อลูมิเนียม ถึง 1 มม.ทองแดง ซึ่งผลจากการทดลองหาค่าความหนาครึ่งค่าที่เทคนิคต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 นี้

4.4 <u>วิธีดำเนินการสอบเทียบความแม่นยำของเครื่องมือวัดรังสีที่พลังงานต่าง ๆ</u>

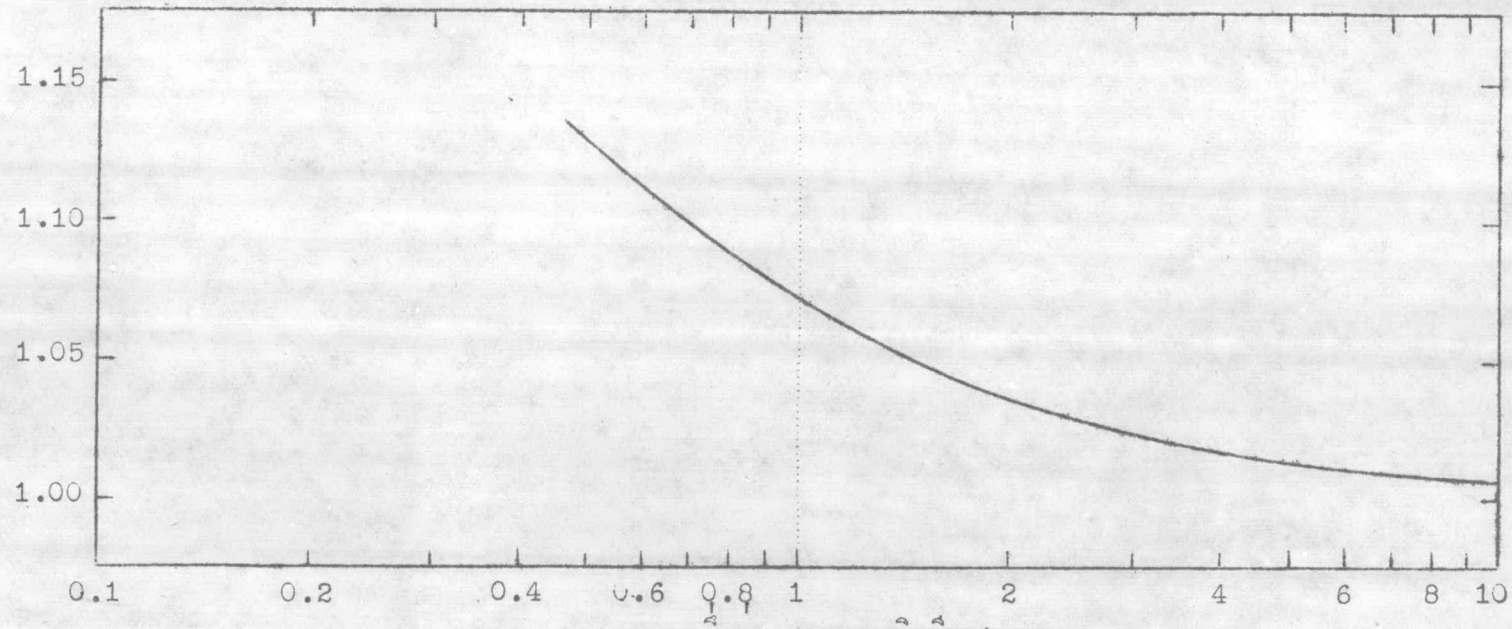
เมื่อทราบค่าพลังงานยังผลในเทอมของความหนาครึ่งค่าที่เทคนิคต่าง ๆ ที่จะใช้ในการสอบเทียบจากหัวข้อ 4.3 แล้ว ก็เริ่มทำการสอบเทียบได้เลย โดย

---

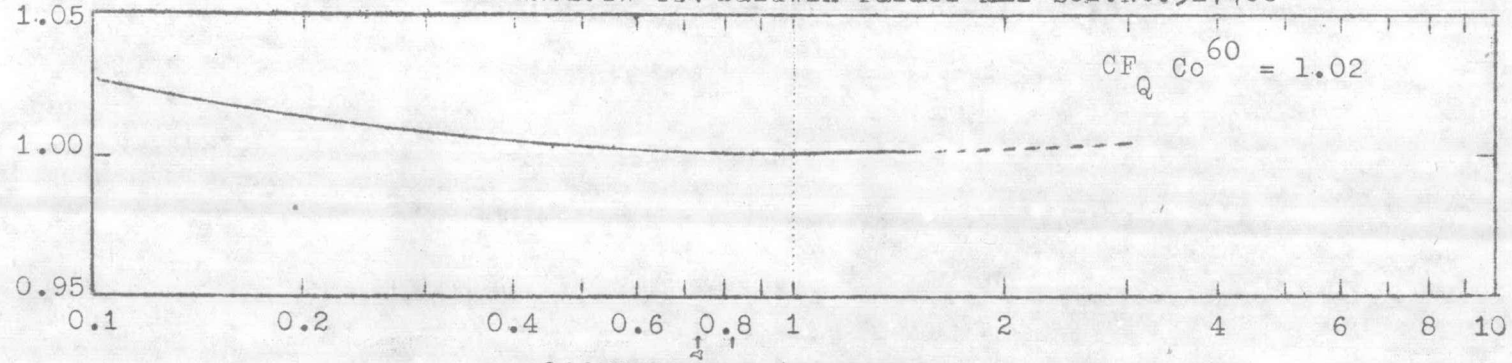
[1] PTW = Physikalisch-Technische Werkstatten, Dr. Pychlau KG., Freiburg/Breisgau, Federal Republic of Germany.

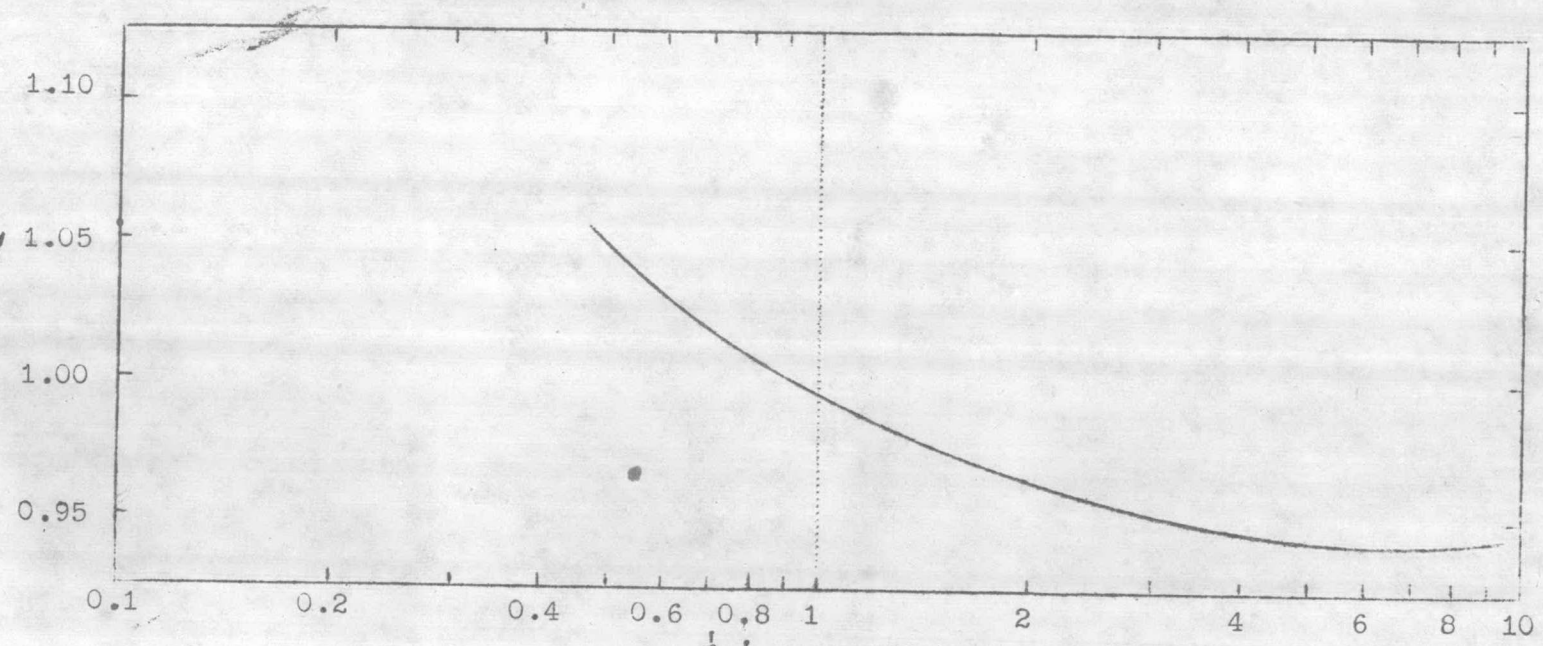
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหนาครึ่งค่าที่วัดได้ และพลังงานยังผลที่เทียบเท่าความหนาครึ่งค่าเหล่านี้ที่เทคนิคต่าง ๆ ที่จะใช้ในการสอบเทียบ

Tube Voltage (kV)	Tube Current (mA)	Total Filtration	H.V.T.	Effective Energy (keV)
60	20	2 mm.Al.	1.97 mm.Al.	28.8
80	20	2 mm.Al.	2.50 mm.Al.	31.4
100	20	2 mm.Al.	3.00 mm.Al.	33.9
120	20	2 mm.Al.	3.67 mm.Al.	37.0
120	20	4 mm.Al.	5.07 mm.Al.	43.0
120	20	0.2 mm.Cu.	0.305 mm.Cu.	51.0
160	20	0.2 mm.Cu.	0.446 mm.Cu.	59.5
180	20	0.5 mm.Cu.	0.940 mm.Cu.	80.0
200	2[illegible]	0.5 mm.Cu.	1.070 mm.Cu.	84.0
250	15	1.0 mm.Cu.	1.960 mm.Cu.	108.0

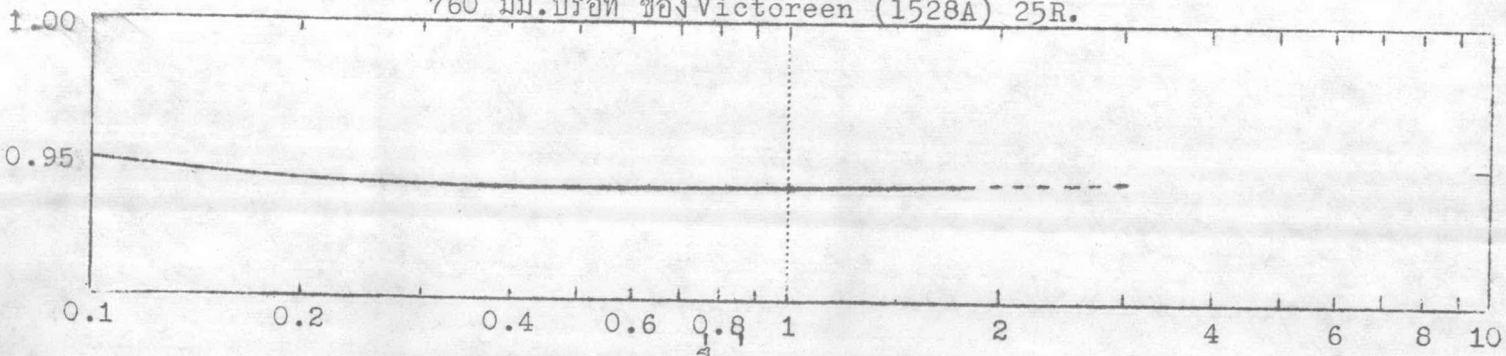


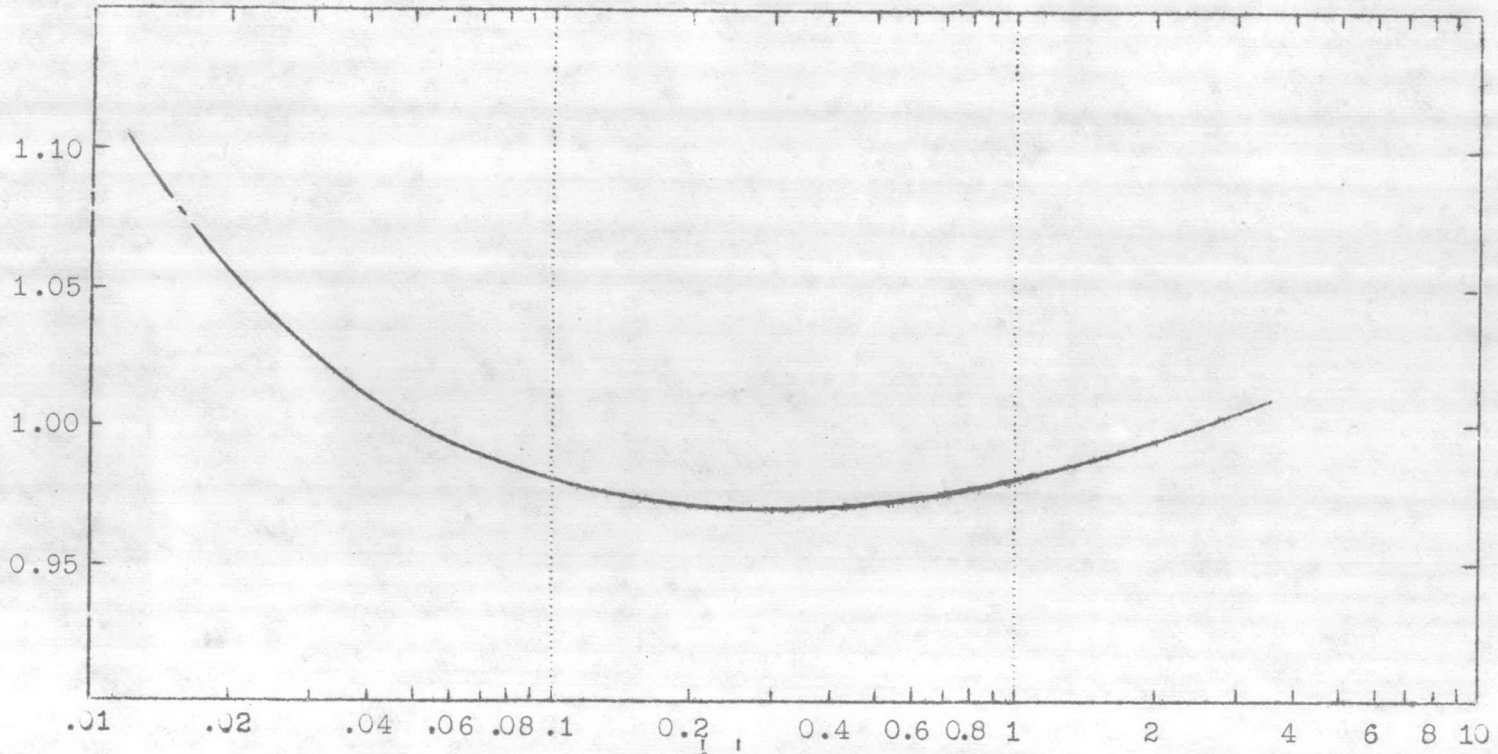
รูปที่ 4.1 แสดงค่าตัวประกอบการแก้ตามพลังงาน เพื่อให้อ่านค่าได้ถูกต้องที่ 22 °ซ, 760 มม.ปรอท ของ Baldwin-Farmer Mk2 Ser.No.517408



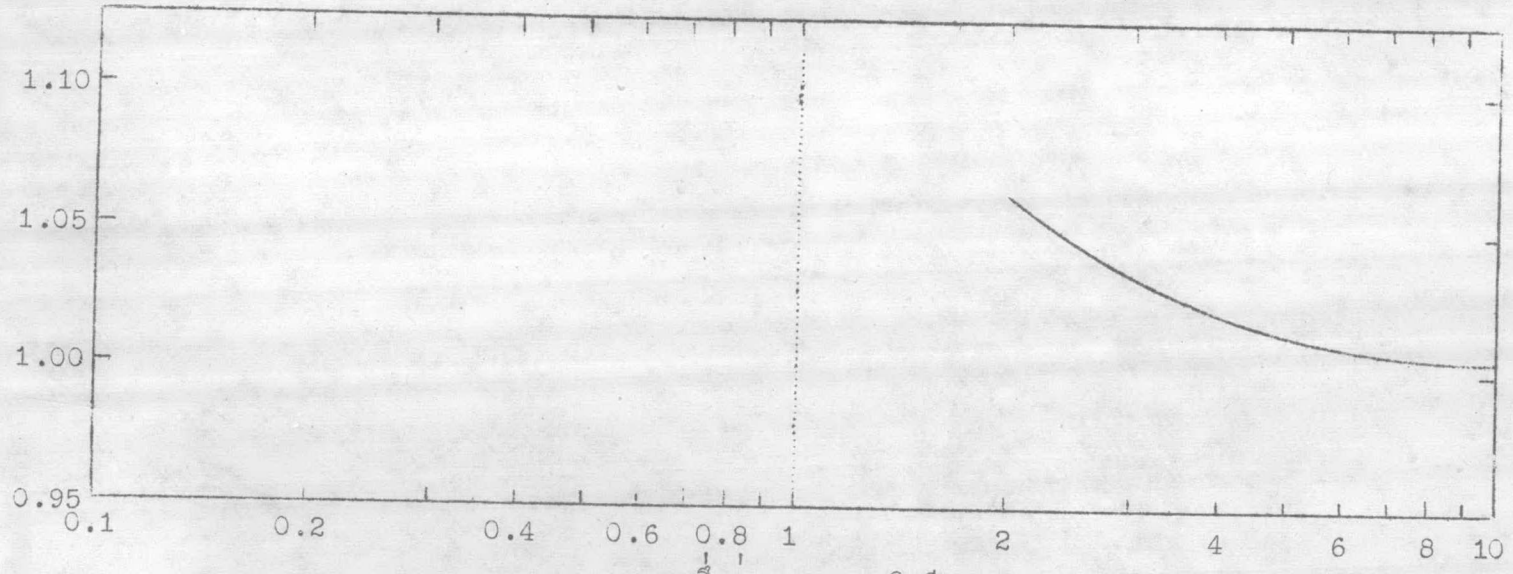


รูปที่ 4.2 แสดงค่าตัวประกอบการแก้ตามพลังงานเพื่อให้อ่านค่าได้ถูกต้องที่ 22°ซ, 760 มม.ปรอท ของ Victoreen (1528A) 25R.

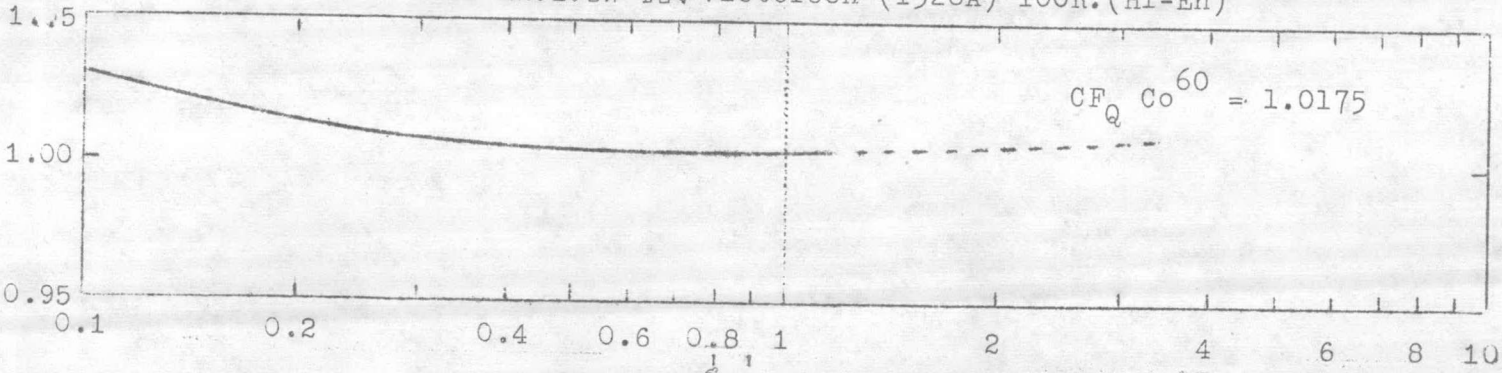


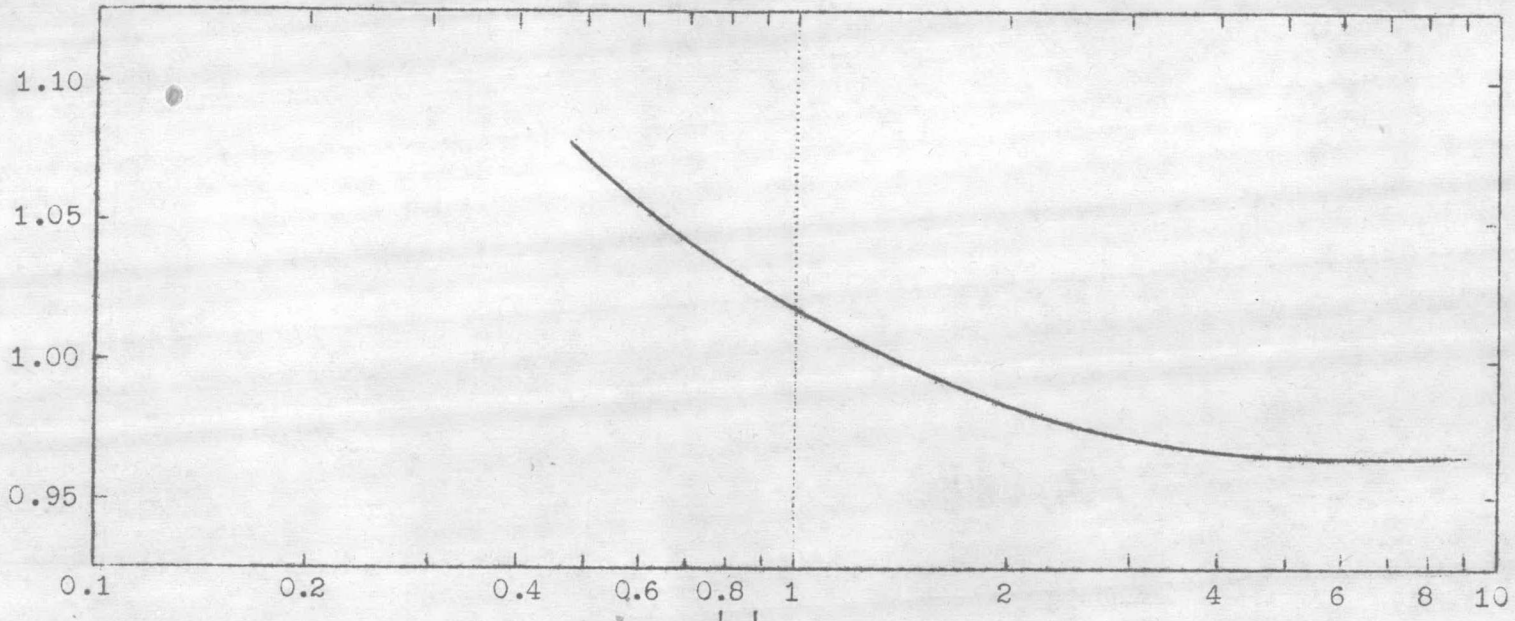


รูปที่ 4.3 แสดงค่าตัวประกอบการแก้ตามหลังงานเพื่อให้อ่านค่าได้ถูกต้องที่ 22°ซ, 760 มม.ปรอท ของ Victoreen (1528A) 100R.

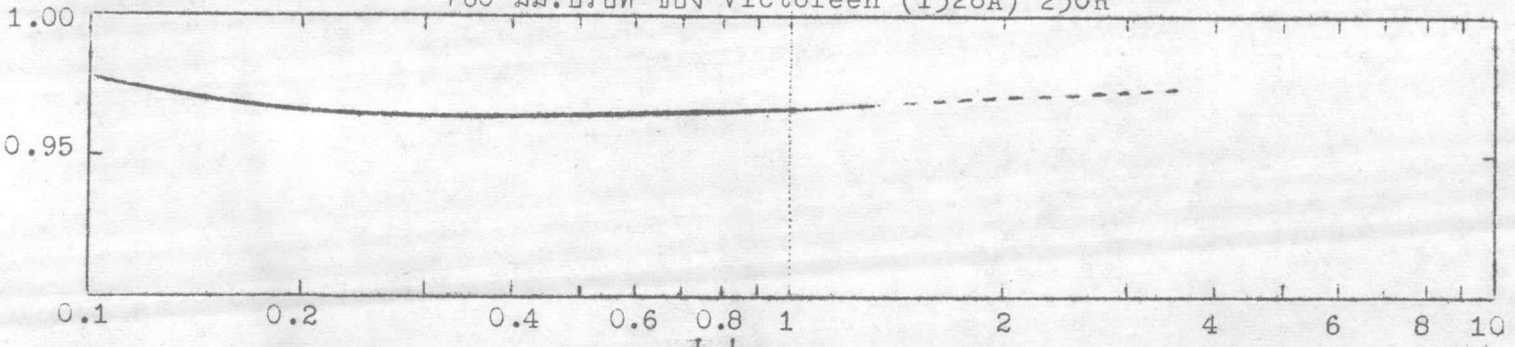


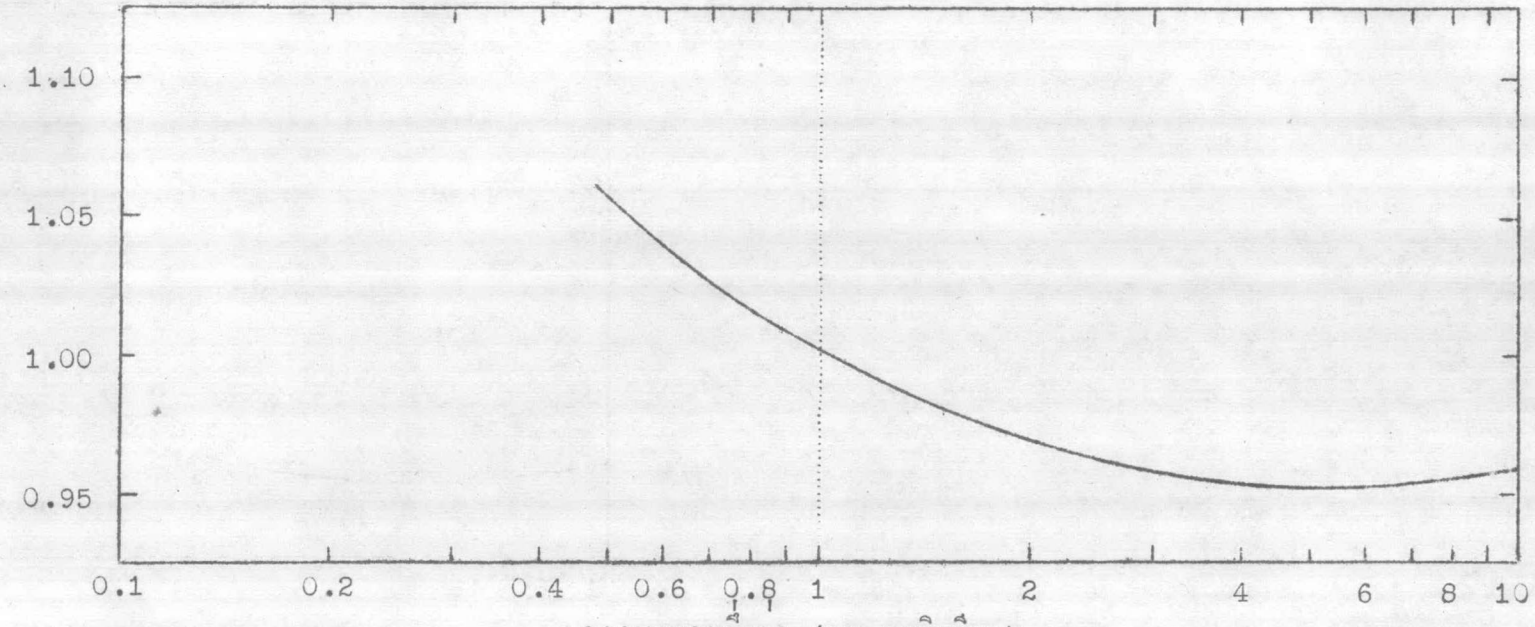
รูปที่ 4.4 แสดงค่าตัวประกอบการแก้ตามพลังงานเพื่อให้อ่านค่าได้ถูกต้องที่ 22°ซ, 760 มม.ปรอท ของ Victoreen (1528A) 100R.(Hi-En)



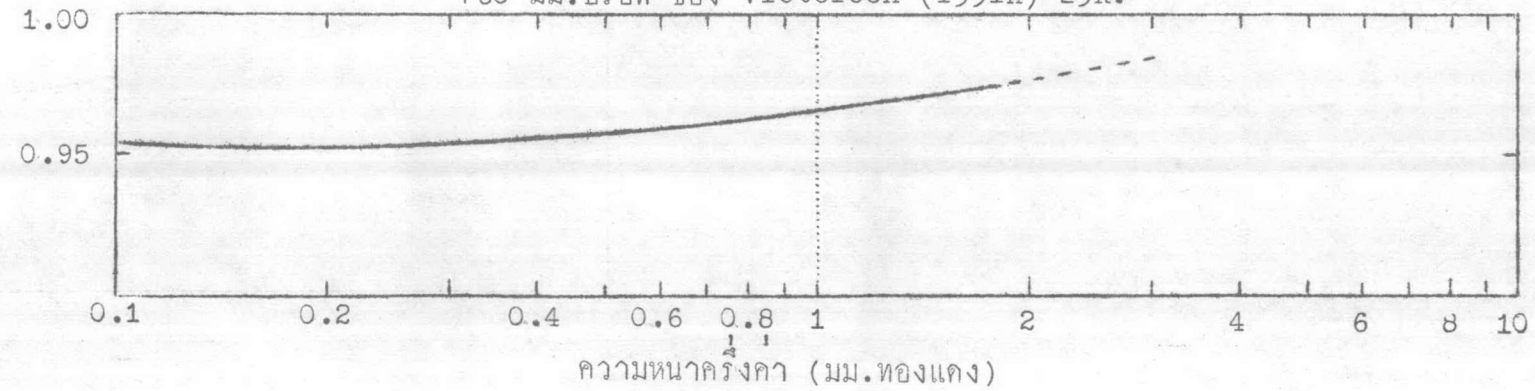


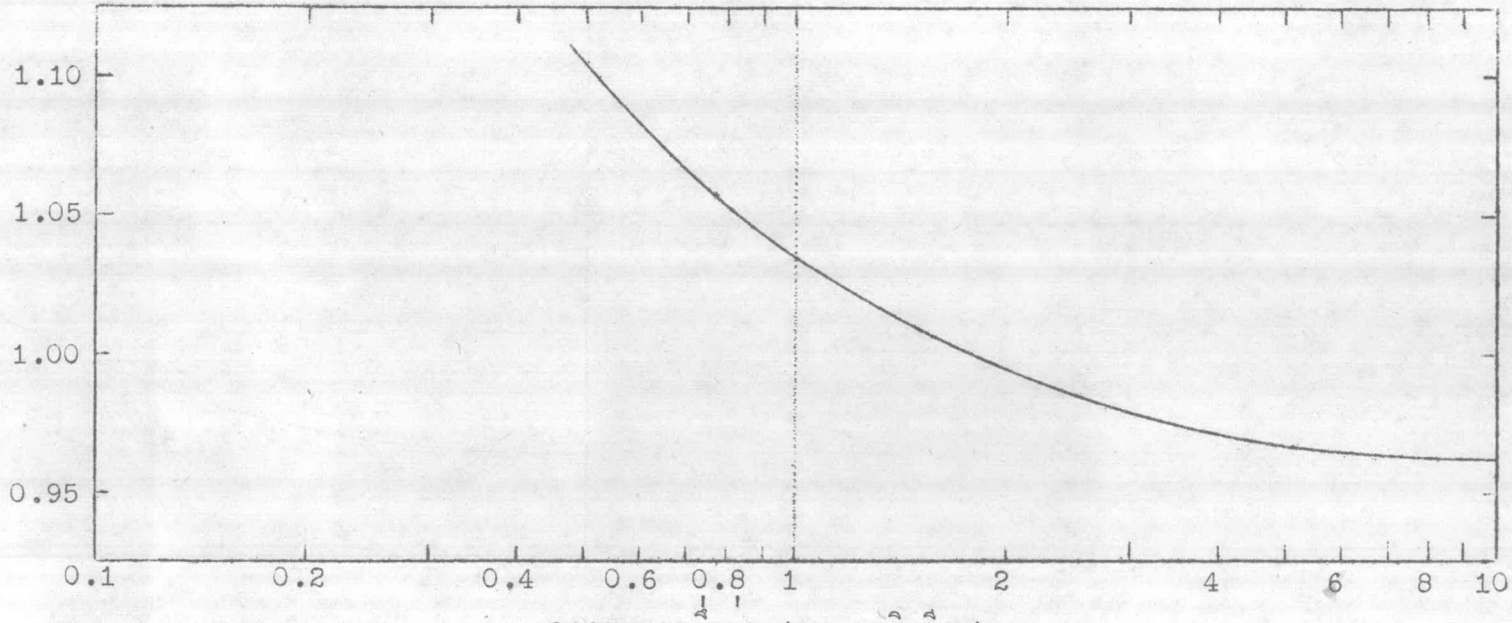
รูปที่ 4.5 แสดงค่าตัวประกอบการแก้ตามพลังงานเพื่อให้อ่านค่าได้ถูกต้องที่ 22°ซ, 760 มม.ปรอท ของ Victoreen (1528A) 250R



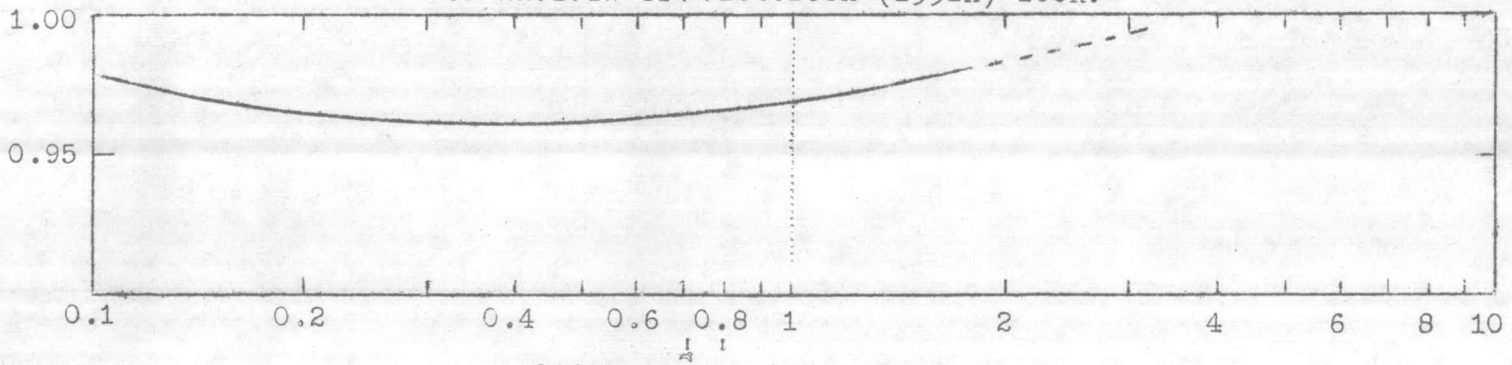


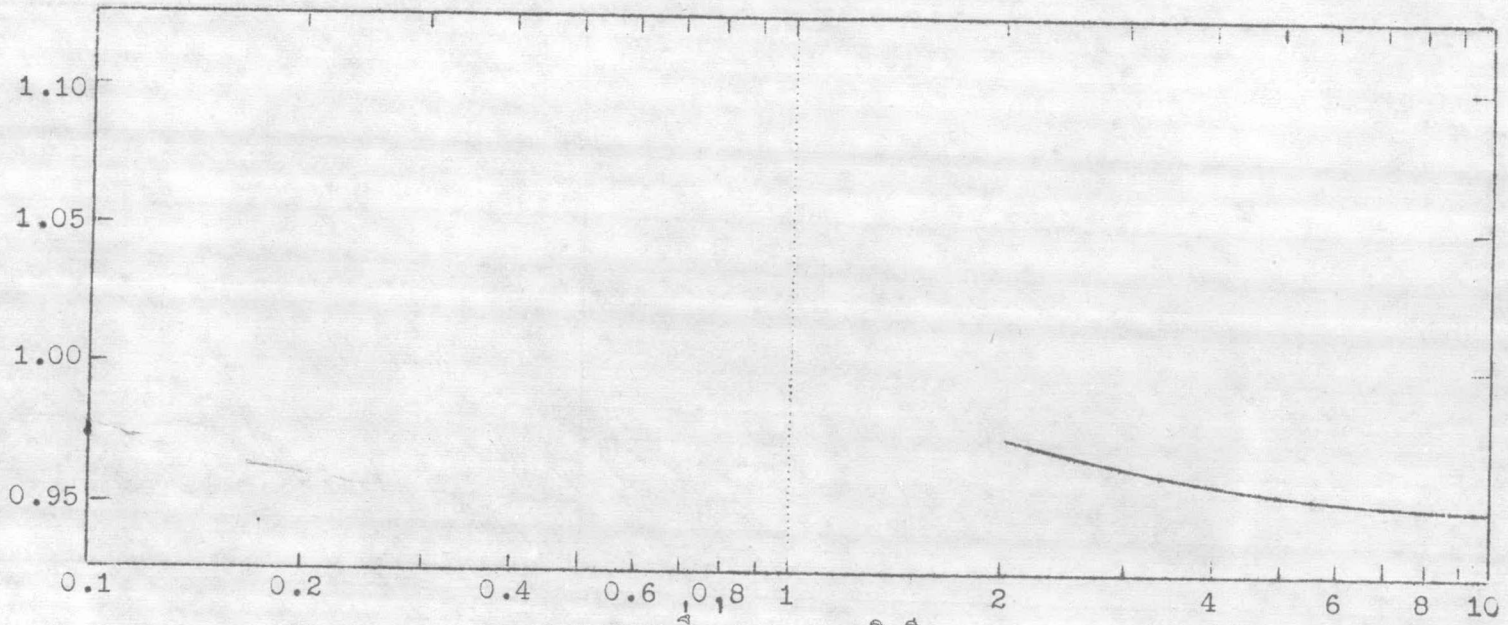
รูปที่ 4.6 แสดงค่าตัวประกอบการแก้ตามพลังงานเพื่อให้อ่านค่าได้ถูกต้องที่ 22°ซ, 760 มม.ปรอท ของ Victoreen (1531A) 25R.



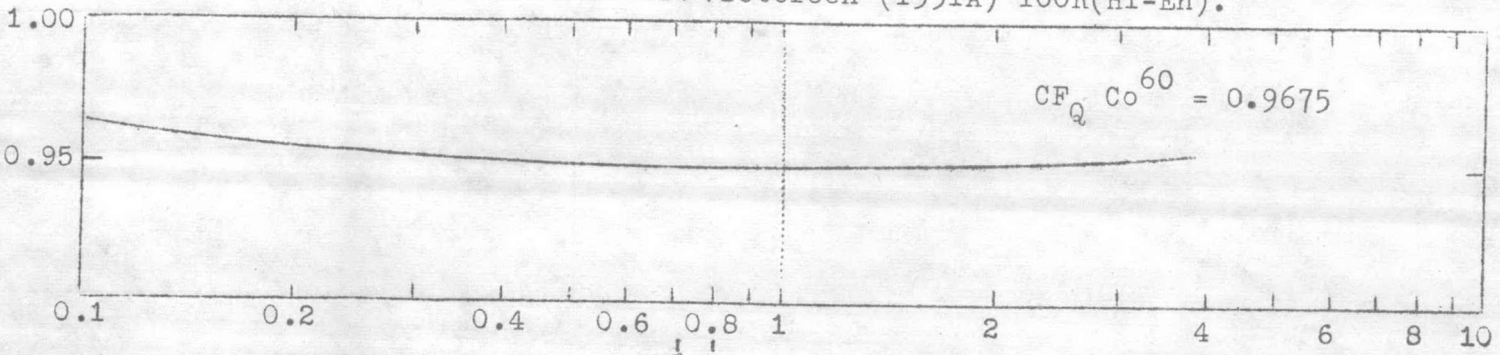


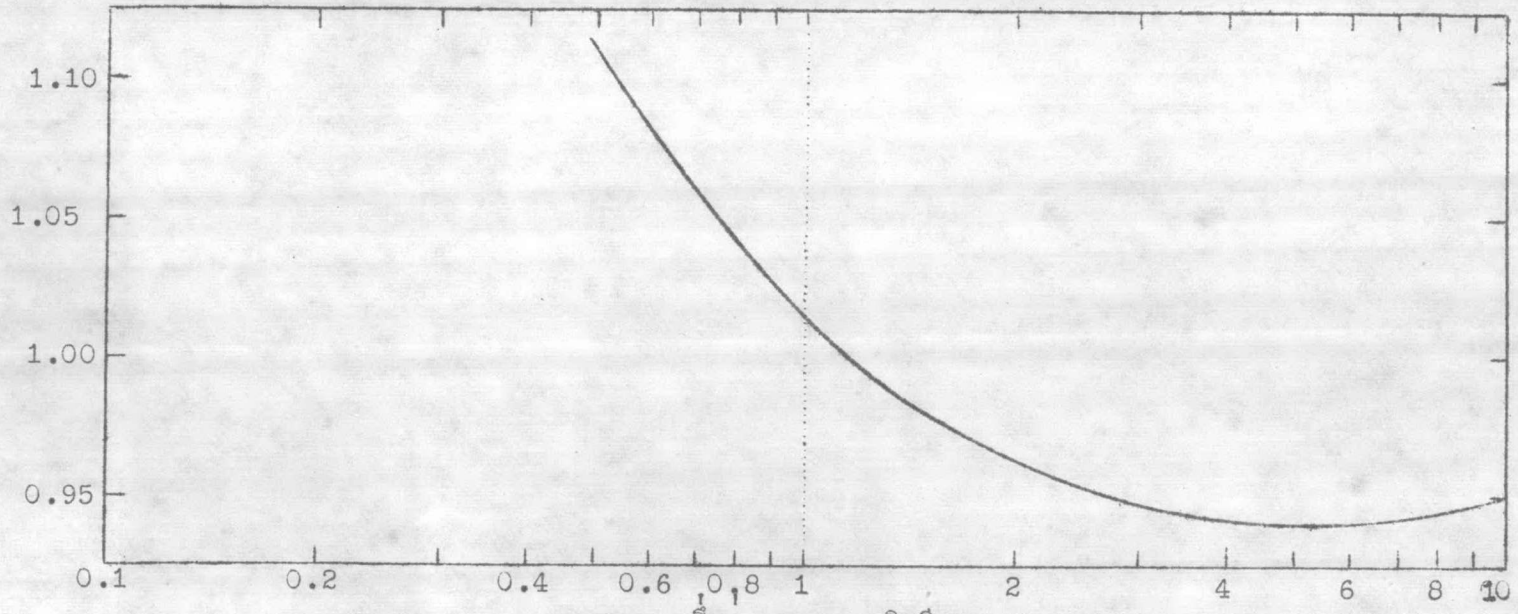
รูปที่ 4.7 แสดงค่าตัวประกอบการแก้ตามพลังงานเพื่อให้อ่านค่าได้ถูกต้องที่ 22°ซ, 760 มม.ปรอท ของ Victoreen (1531A) 100R.



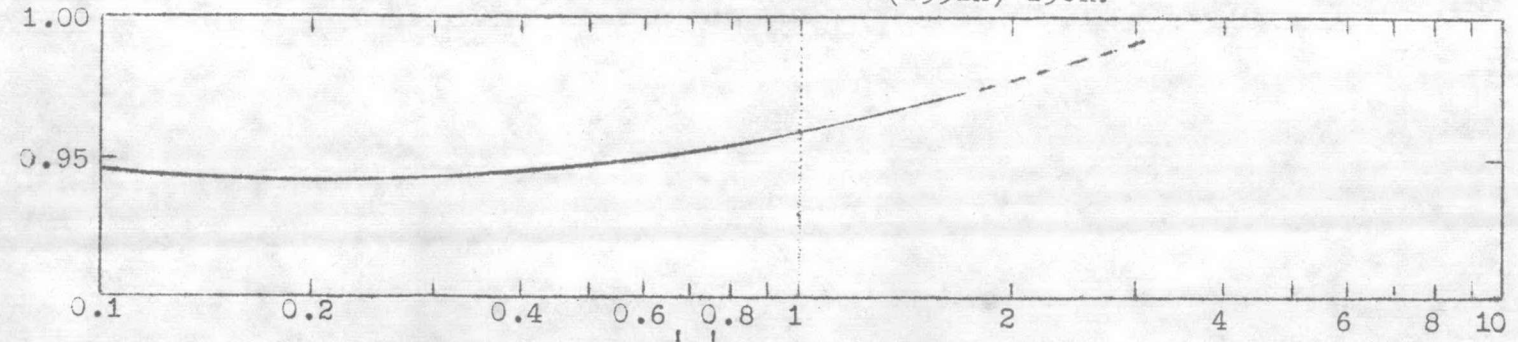


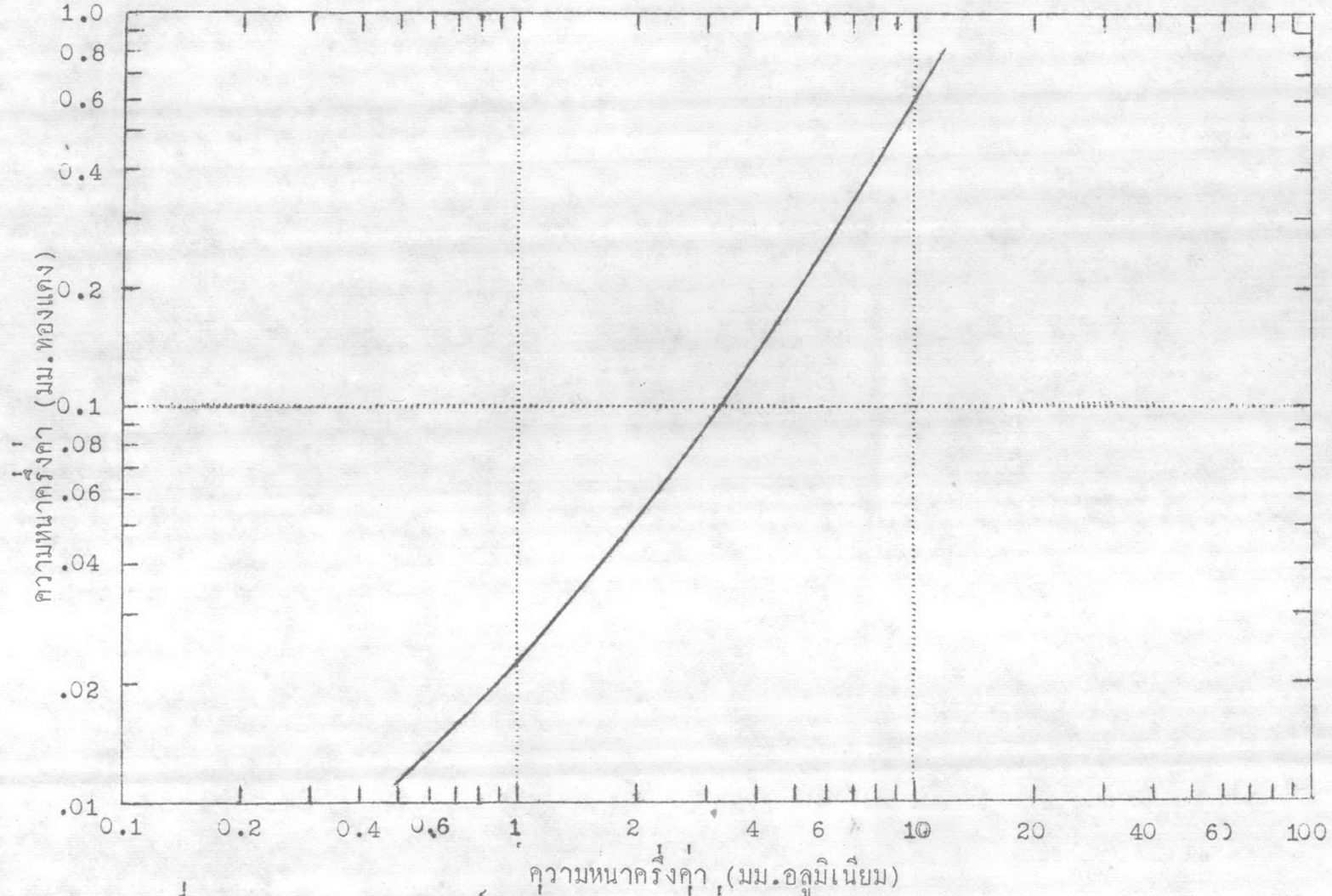
รูปที่ 4.8 แสดงค่าตัวประกอบการแก้ตามพลังงานเพื่อให้อ่านค่าได้ถูกต้องที่ 22°ซ, 760 มม.ปรอท ของ Victoreen (1531A) 100R(Hi-En).



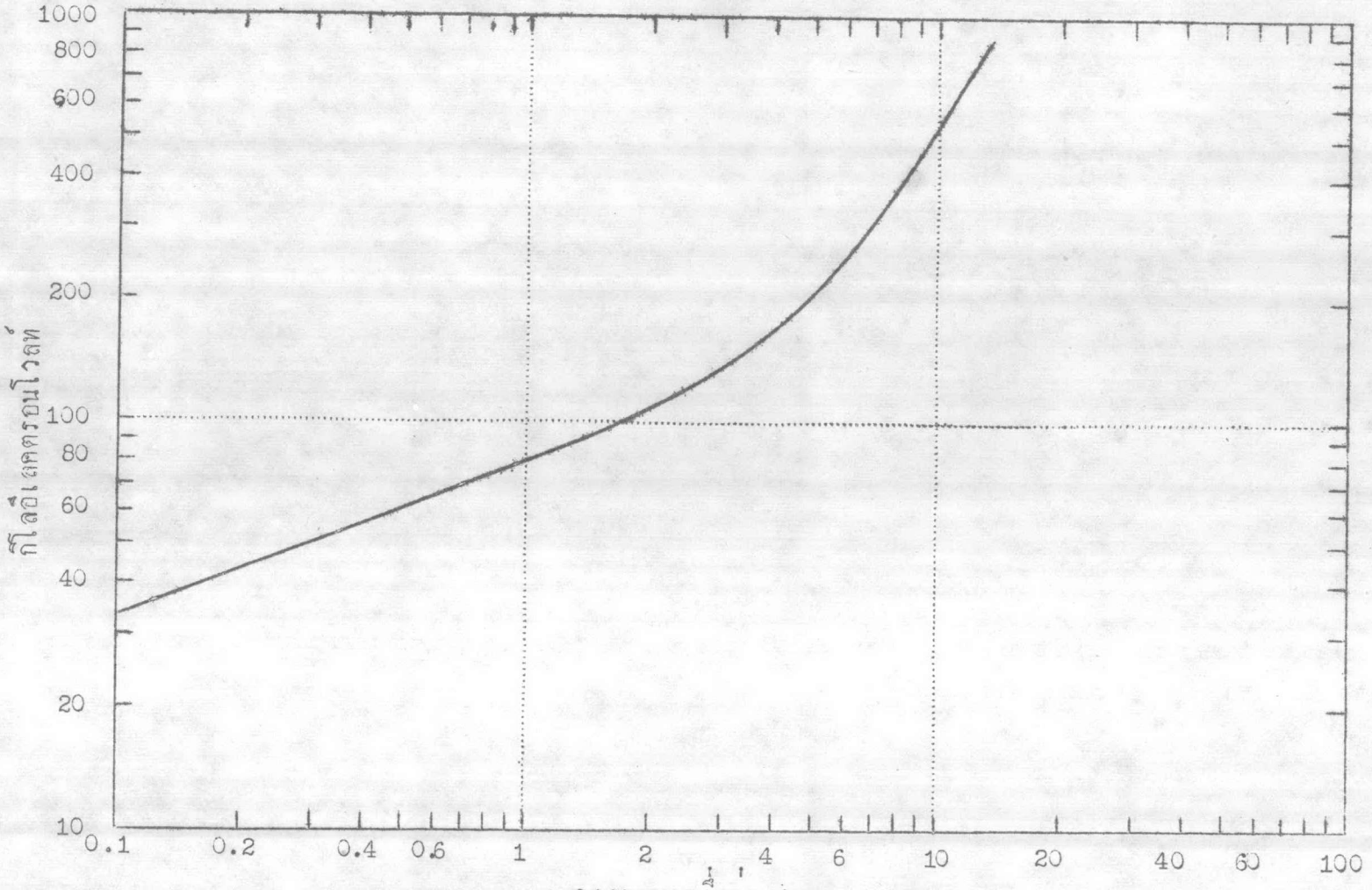


รูปที่ 4.9 แสดงค่าตัวประกอบการแก้ตามพลังงานเพื่อให้อ่านค่าได้ถูกต้องที่ 22°ซ, 760 มม.ปรอท ของ Victoreen (1531A) 250R.

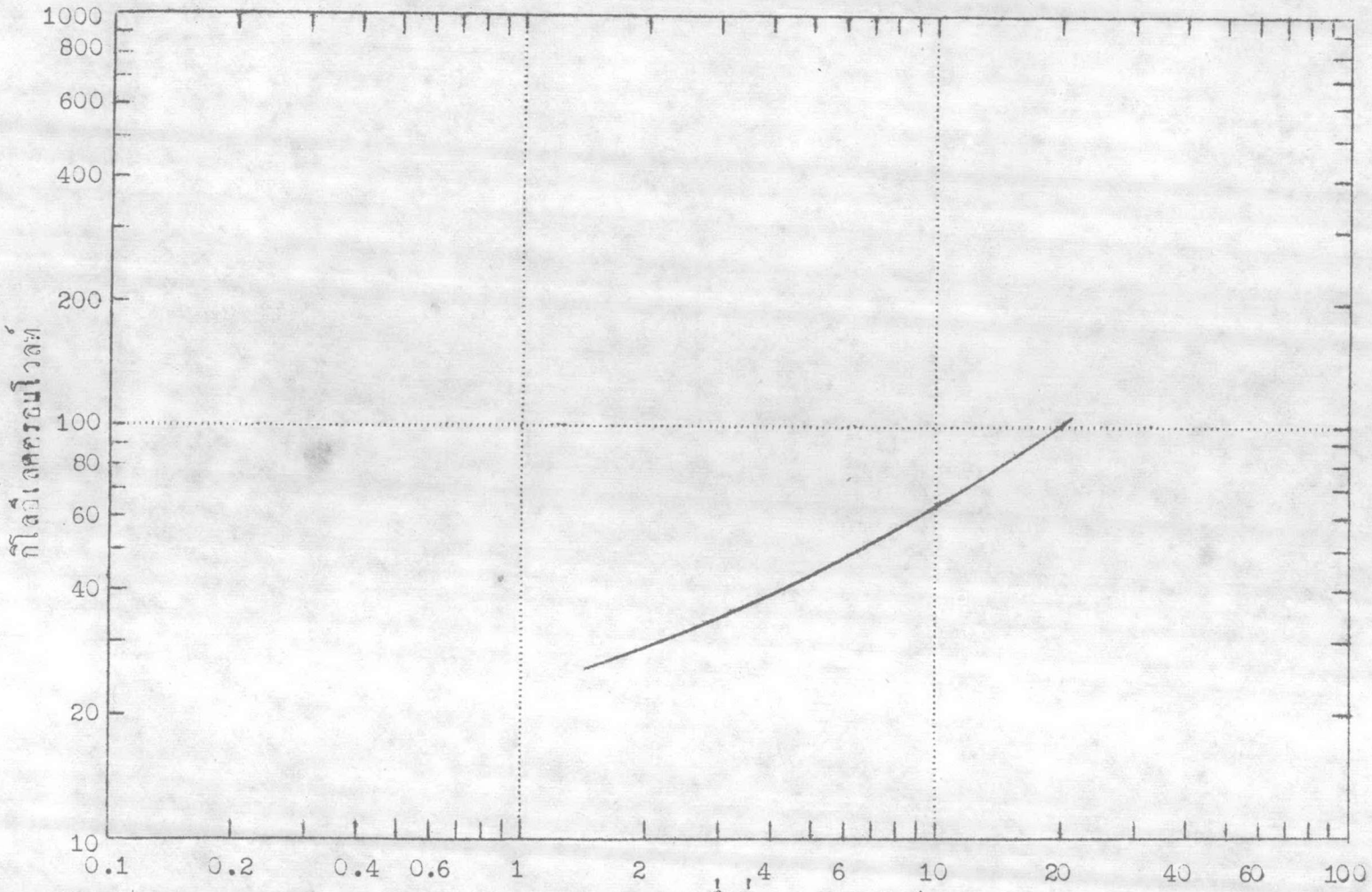




รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ของคาความหนาครึ่งคาในเทอมของ มม.ทองแดง และ มม.อลูมิเนียม



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานยังผลที่เทียบเท่ากับค่าความหนาครึ่งค่าในเทอมของ มม.ทองแดง



รูปที่ 4.12 แสดงค่าพลังงานยังผลที่เทียบเท่ากับค่าความหนาครึ่งค่าในเทอมของ มม.อลูมิเนียม

จะต้องจัดตั้งและทดสอบความถูกต้องของเครื่องมือต่าง ๆ ที่จะใช้ในการสอบเทียบนี้อีกครั้งตามวิธีการดังต่อไปนี้

4.4.1 การจัดตั้งและทดสอบความถูกต้องของมอนิเตอร์

ในการทดลองนี้ได้จัดตั้งห้องมอนิเตอร์ไว้ข้างหน้าระบบกำหนดขนาดลำแสงของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ โดยให้มอนิเตอร์อยู่ห่างจากจุดโฟกัสของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ประมาณ 30 ซม. จากนั้นก็เปิดวงจรของเครื่องมอนิเตอร์เพื่ออุ่นเครื่องก่อนเป็นเวลาประมาณ 15 นาที เสร็จแล้วจึงทำการปรับเพื่อให้ค่าที่อ่านได้จากมอนิเตอร์มีความถูกต้อง เมื่อปรับเรียบร้อยแล้วก็เริ่มทดสอบดูค่าการรั่วไหลของมอนิเตอร์ก่อนโดยฉายรังสีให้อ่านค่าปริมาณรังสีในอากาศได้ประมาณ 5 ช่องบนหน้าปัทม์ แล้วก็ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีเช่นกัน ซึ่งผลจากการทดสอบการรั่วไหลก็ไม่สามารถอ่านค่าปริมาณรังสีในอากาศ เนื่องจากการรั่วไหลได้เช่นเดียวกับห้องการแตกตัวที่จะนำมาทดสอบอื่น ๆ จากนั้นก็ไปจัดตำแหน่งของห้องการแตกตัวอื่น ๆ และเลือกเทคนิคที่จะใช้ในการสอบเทียบต่อไป

4.4.2 การจัดตั้งห้องการแตกตัวมาตรฐานทุติยภูมิคูสท์เนอร์ พิเกลา เพื่อการสอบเทียบ

ในการทดลองต้องจัดให้ไดอะแฟรมของห้องการแตกตัวคูสท์เนอร์อยู่ห่างจากโฟกัสของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ 100 ซม.พอดี (เนื่องจากตัวประกอบการแก้ของห้องการแตกตัวคูสท์เนอร์เป็นค่าแก้ที่ระยะ 100 ซม. สำหรับตัวกำหนดขนาดลำแสง เบอร์ 135-0.1 ที่ใช้ในการทดลองนี้[1]) ในการจัดระยะนี้ต้องจัดให้ระนาบของตัวกำหนดขนาดลำแสงนี้ตั้งฉากกับลำแสงเอกซ์ที่ออกมาด้วย จากนั้นก็ปรับให้

---

[1] ตัวประกอบการแก้ตามพลังงานของห้องการแตกตัวคูสท์เนอร์ พิเกลา ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าตัวประกอบการแก้ตามพลังงานของห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์ที่เทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการสอบเทียบ

Diaphragm Measuring Chamber or Dosimeter	Radiation quality: Tube Voltage kV	Filter mm	H.V.T. mm.Cu.	F.C.D. cm	Field size cm	C.F. R/step	Error of C.F. %
Diaphragm 135-5	30	- +)	0.027	250	6	0.0602	±2
	100	0.5 Al++)	0.16			0.0606	
	120	2.0 Al++) +3.5 Cu	1.27			0.0616	
	140	5.0 Al++)	0.46			0.0608	
	200	1.0 Cu++)	1.59			0.0609	
	200	2.0 Al++) +5.0 Cu +0.9 Pb	3.80			0.0597	
	280	3.0 Cu++)	3.34			0.0616	
Diaphragm 135-1	30	- +)	0.027	150	4	0.373	±2
	100	0.5 Al++)	0.16			0.374	
	140	5.0 Al++)	0.46			0.373	
	200	1.0 Cu++)	1.59			0.371	
	280	3.0 Cu++)	3.34			0.370	
Diaphragm 135-0.1	30	- +)	0.027	100	3	2.88	±2
	100	0.5 Al++)	0.16			2.88	
	140	5.0 Al++)	0.46			2.88	
	200	1.0 Cu++)	1.59			2.88	
	280	3.0 Cu++)	3.34			2.88	

+) Inherent filtration of the tube and the protective tube housing : 2.4 mm Al.

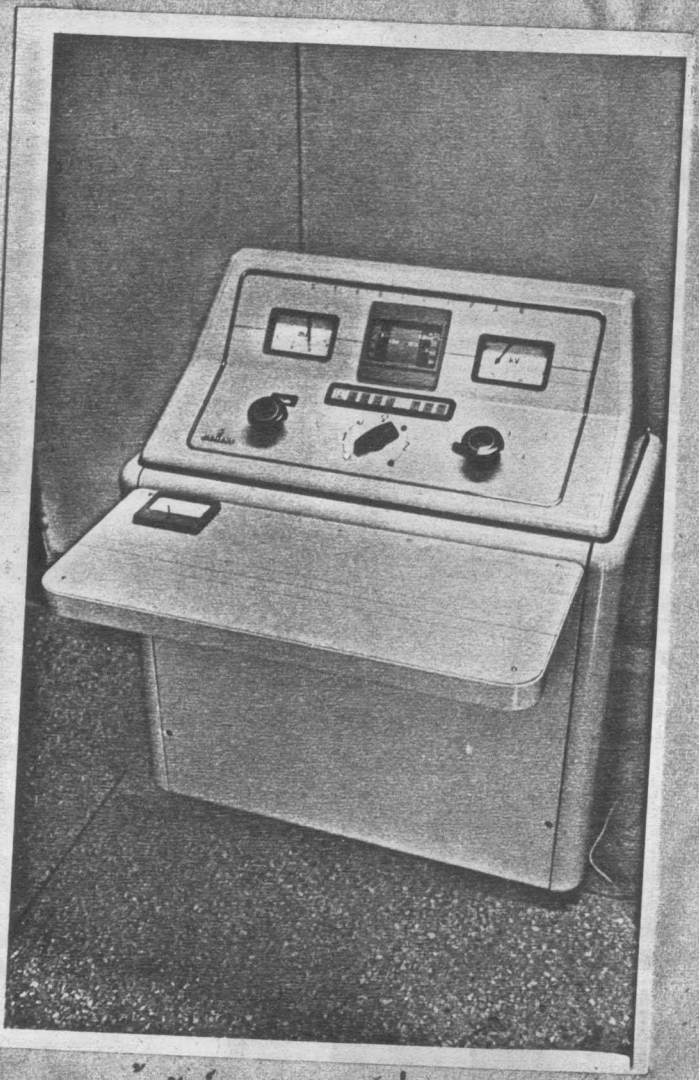
++) Fixed filtration (including the inherent filtration of the tube and the protective tube housing) : 4 mm Al. Total filtration = fixed filtration plus additional filtration.

รูตรงกลางของตัวกำหนดขนาดลำแสงอยู่ตรงกลางลำแสงเอกซ์ที่ออกมา โดยดูจากแผ่นเรืองแสง (Fluorescent Screen) จากนั้นก็ปรับให้ห้องการแตกตัวนี้ขนานกับลำแสง โดยสามารถดูได้จากแผ่นเรืองแสงที่อยู่ด้านหลังของห้องการแตกตัวนี้ เสร็จแล้วหาแผ่นตะกั่วความหนาอย่างน้อย 8 มม. มาทำเป็นไดอะแฟรมอีกอันหนึ่ง โดยเจาะช่องเป็นวงกลมให้ขนาดของลำรังสีเอกซ์ไปปรากฏที่ไดอะแฟรมของห้องการแตกตัวนี้ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 ซม.พอดี ที่ระยะ 100 ซม. ดังกล่าว (ดูรูปที่ 4.19 ประกอบ)

จากนั้นต้องดูให้แน่ใจว่าบริเวณใกล้เคียงห้องการแตกตัวนี้ในรัศมีอย่างน้อย 20 ซม. จะต้องไม่มีวัสดุที่สามารถสะท้อนรังสี (Scattered) กลับเข้าไปในห้องการแตกตัวนี้ด้วย แล้วจึงเริ่มทำการวัดคอนโทรลไทม์ของห้องการแตกตัวนี้ โดยใช้เรเดียม-226 (Ra-226) ซึ่งมีแอคติวิตี้ 0.2 มิลลิคูรี่ (mCi) 2 อัน ไปใส่ไว้ในห้องการแตกตัวนี้ตามตำแหน่งที่กำหนด แล้วตั้งตัวเลขที่หน้าปัทม์เครื่องควบคุมของห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์ไว้ 3 หน่วย (Steps) แล้วจับเวลาที่ห้องการแตกตัวนี้จะได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานนี้ได้ 3 หน่วยพอดี แล้วเอาเวลาที่ได้นี้มาคำนวณแก้ค่าอุณหภูมิและความดัน เวลาที่คำนวณแก้ค่าอุณหภูมิและความดันแล้วนี้ต่อ 1 หน่วยที่ตั้งไว้นี้ เรียกว่า คอนโทรลไทม์ ซึ่งจะใช้ในการคำนวณหาปริมาณรังสีในอากาศที่เกิดขึ้นในห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์นี้ ในการสอบเทียบโดยใช้ห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์เป็นมาตรฐานนี้ ก่อนและหลังการใช้ห้องนี้จะต้องทำการวัด - คอนโทรลไทม์ไว้อย่างน้อย 3 ค่า นำค่าที่ได้ก่อนและหลังการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณรังสีในอากาศที่เกิดขึ้น แล้วเอาไปเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีในอากาศที่อ่านได้จากห้องการแตกตัวแบบอื่น ๆ ต่อไป

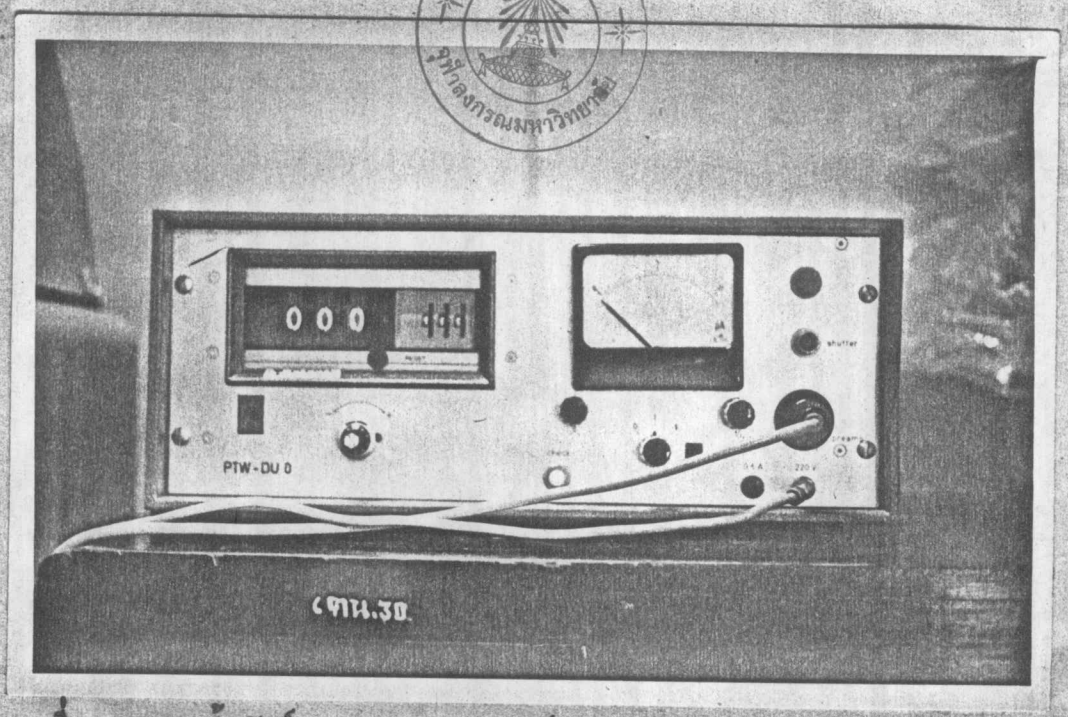
เมื่อทำการวัดคอนโทรลไทม์เรียบร้อยแล้ว ก็เริ่มทำการวัดปริมาณรังสีในอากาศด้วยห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์ โดยตั้งจำนวนตัวเลขบนหน้าปัทม์ของเครื่อง

รูปที่ 4.13 แสดงห้องการแคกตัวบาลค์วิน ฟาร์เมอร์ ซึ่งต่อกับเครื่องอ่านอย่างถาวร

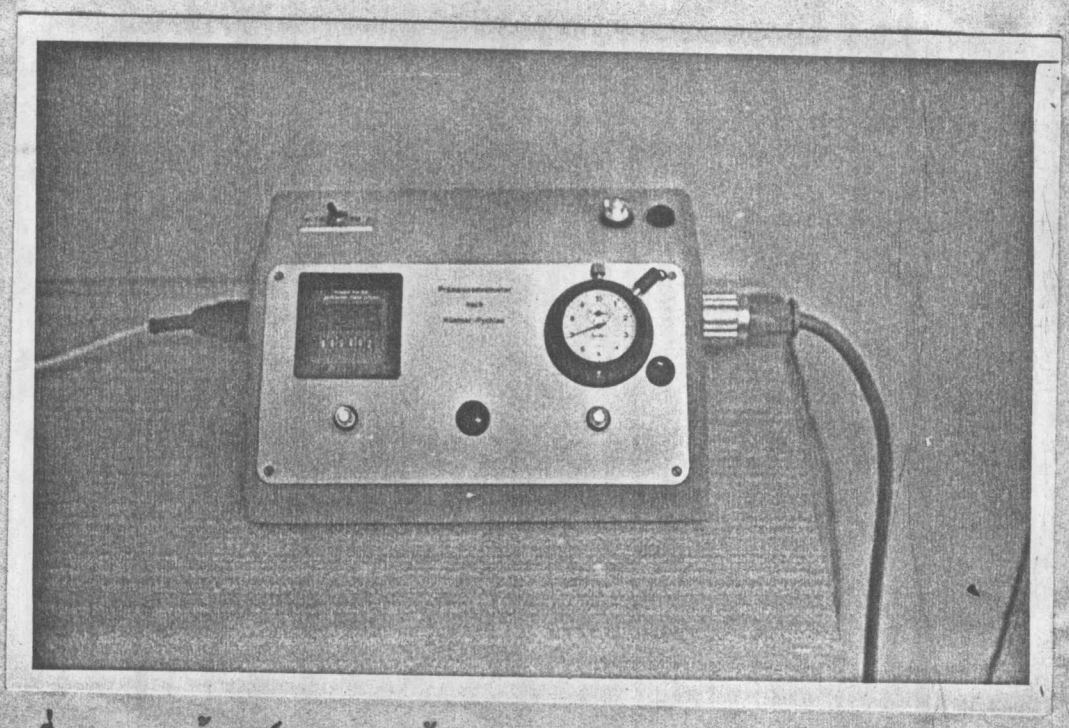


รูปที่ 4.14 หน้าปัทม์ควบคุมของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ที่ใช้ในการสอบเทียบครั้งนี้

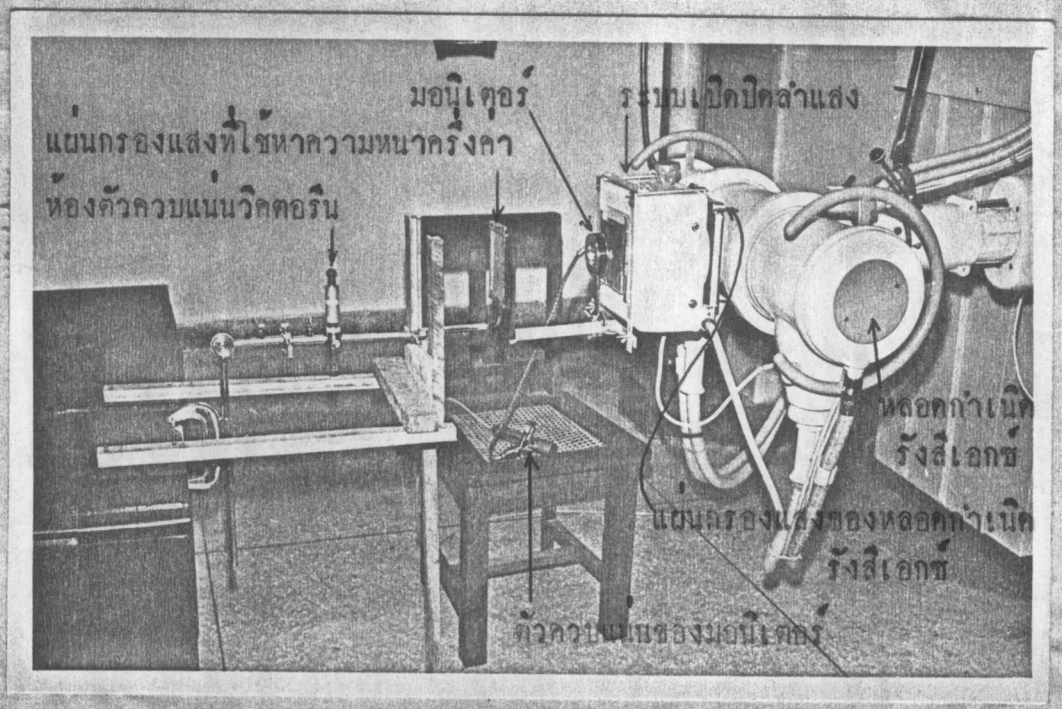
หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย



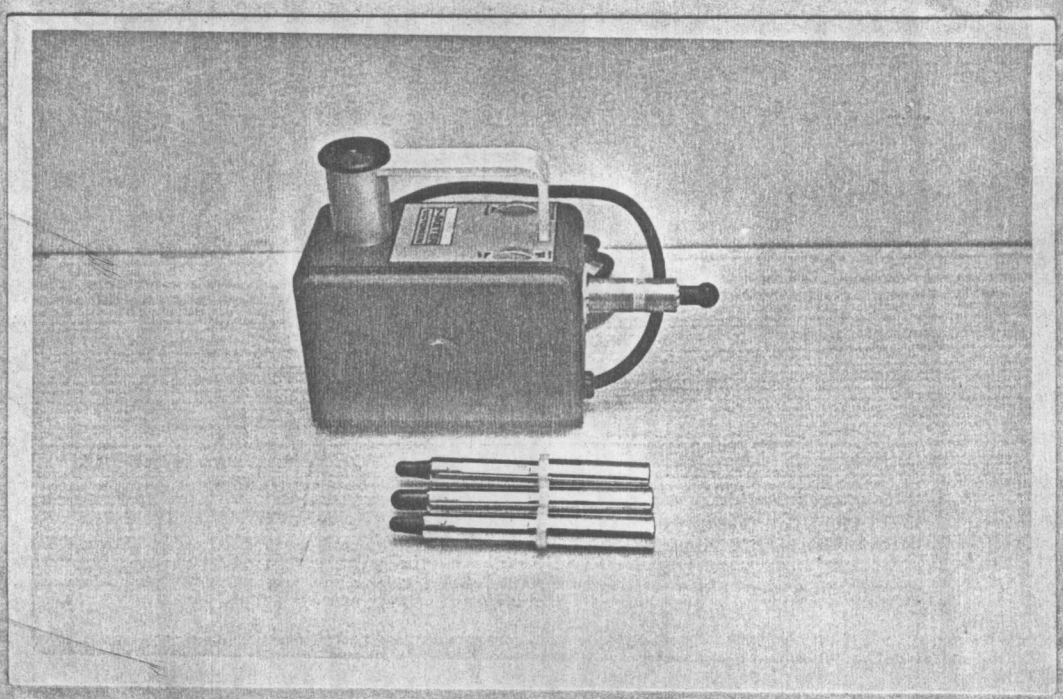
รูปที่ 4.15 หน้าปัทม์ควบคุมของมอนิเตอร์



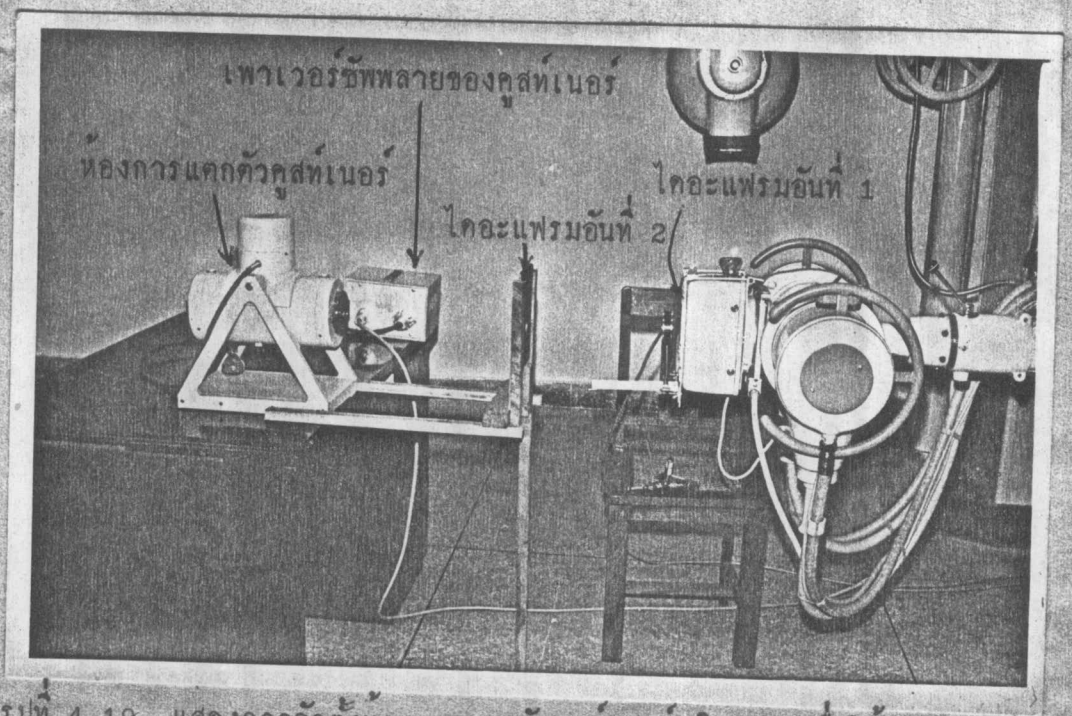
รูปที่ 4.16 หน้าปัทม์ควบคุมของห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์ พิเกลา



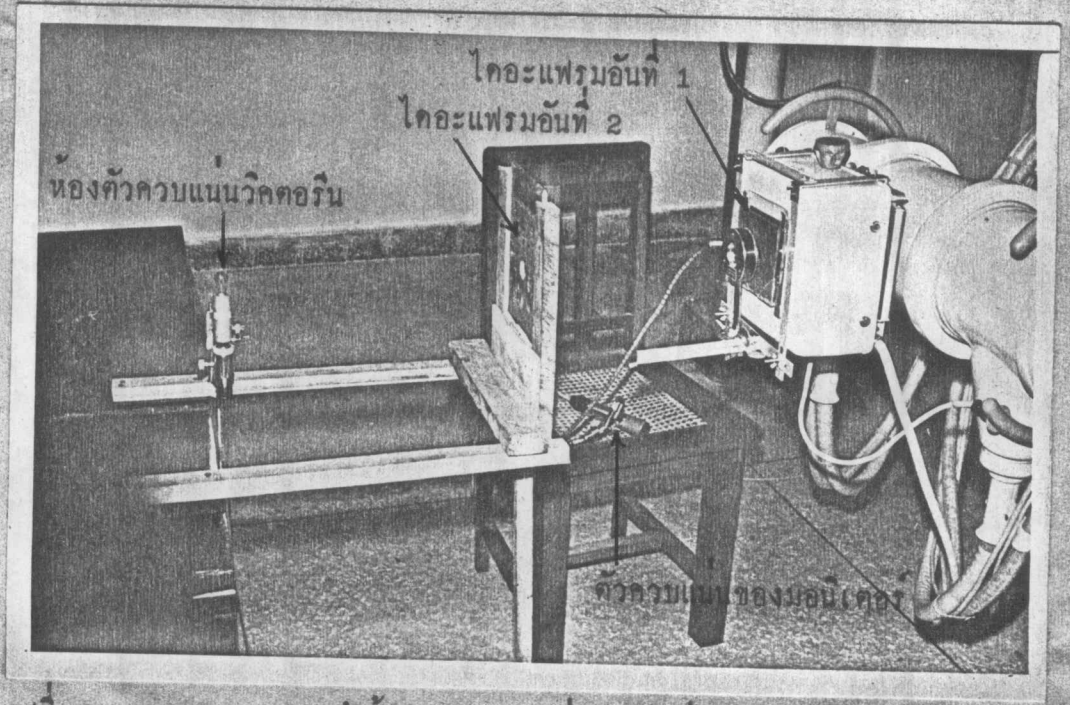
รูปที่ 4.17 แสดงการจัดเครื่องมือเพื่อทดลองหาค่าความหนาครึ่งค่า



รูปที่ 4.18 แสดงห้องตัวควบแน่นวิคตอรีนขนาดต่าง ๆ พร้อมเครื่องอ่านค่าปริมาณรังสี



รูปที่ 4.19 แสดงการจัดตั้งห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์ พิเกลา เพื่อใช้เป็นมาตรฐาน ในการสอบเทียบความแม่นยำ



รูปที่ 4.20 แสดงการจัดตั้งห้องการแตกตัวต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำ กับห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์

ควบคุมไว้ให้เหมาะกับการทดลองนี้ คือต้องไม่ตั้งไว้มากเกินไป เพราะจะทำให้ต้องเดินเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์นานเกินไป ทำให้หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ร้อนจัดจนไม่สามารถทดลองต่อไปได้ แต่ก็ต้องไม่ตั้งจำนวนตัวเลขนี้ไว้น้อยเกินไป เพราะจะทำให้มีความผิดพลาดมากเกินควร

4.4.3 <u>การจัดตั้งห้องการแตกตัวที่ต้องการสอบเทียบ</u>

สำหรับการจัดตั้งห้องการแตกตัวที่จะสอบเทียบนั้นก็ทำคล้ายกับของคูสท์เนอร์ กล่าวคือต้องหาอุปกรณ์ที่จะใช้ยึดห้องการแตกตัวเหล่านี้ (Victoreen : 25 R, 100 R, 100 R (High Energy), 250 R รวม 2 ชุด และ Baldwin Farmer) โดยจัดให้กึ่งกลางของห้องเหล่านี้อยู่ห่างจากโฟกัสของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์เป็นระยะทาง 100 ซม. พอดีเช่นเดียวกับของคูสท์เนอร์ และต้องใช้ขนาดของลำแสงเอกซ์เท่ากับที่ใช้กับคูสท์เนอร์ด้วย (เส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 ซม. ที่ระยะ 100 ซม.) และที่สำคัญคือตำแหน่งของห้องการแตกตัวต้องอยู่ตรงกลางลำแสงพอดี โดยสามารถส่องดูได้ด้วยแผ่นเรืองแสง และในการจัดนี้จะต้องจัดให้แกนกลางของห้องการแตกตัวนี้ตั้งได้ฉากกับลำแสงเอกซ์ด้วย (ดูรูปที่ 4.20 ประกอบ) โดยอาศัยเครื่องวัดระดับน้ำ (Water Gauge Meter)ช่วยในการจัด

สำหรับห้องการแตกตัวที่จะนำมาสอบเทียบนี้ ก็ได้มีการตรวจสอบดูความผิดปรกติอยู่เป็นประจำทุกเดือน โดยใช้ Sr-90 เป็นแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐาน ซึ่งผลการตรวจสอบพบว่าห้องการแตกตัวเหล่านี้อ่านค่าเวลามาตรฐาน (หมายถึงระยะเวลาที่ห้องการแตกตัวเหล่านี้จะอ่านค่าปริมาณรังสีในอากาศได้ 60% ของ – สเกลบนหน้าปัทม์) ได้ถูกต้องเป็นที่น่าพอใจ คือความผิดพลาดอยู่ในช่วง $\pm 2\%$ แต่อย่างไรก็ตามผลการตรวจสอบแสดงให้ทราบเพียงว่าห้องการแตกตัวเหล่านี้ถูกต้องหรือไม่เมื่อใช้กับแหล่งกำเนิดรังสีนี้เท่านั้น ผลนี้ไม่ได้ยืนยันว่าเครื่องมือนี้จะวัด – ปริมาณรังสีในอากาศได้ถูกต้องทุก ๆ ค่าของพลังงานในช่วงที่ใช้งาน ดังนั้นจึงต้อง

นำเอาห้องการแตกตัวเหล่านี้มาทำการสอบเทียบกับห้องการแตกตัวมาตรฐานทุติยภูมิคูสท์เนอร์ตามวิธีที่จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไปนี้

4.4.4 วิธีดำเนินการสอบเทียบความแม่นยำ

เนื่องจากห้องการแตกตัวคูสท์เนอร์มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ ดังนั้นเวลาจะเริ่มทำการสอบเทียบก็จัดตั้งห้องการแตกตัวคูสท์เนอร์ตามหัวข้อที่ 4.4.2 แล้วทำการวัดคอนโทรลไทม์ไว้ 3 ค่า แล้วจึงฉายรังสีที่เทคนิคต่าง ๆ 2 เทคนิค ๆ ละ 3 ค่า เสร็จแล้ววัดคอนโทรลไทม์ไว้อีก 3 ค่า แล้วจึงยกเอาห้องการแตกตัว – คูสท์เนอร์ออก เอาห้องการแตกตัวที่จะสอบเทียบไปไว้ในตำแหน่งเดียวกันตามหัวข้อที่ 4.4.3 แล้วฉายรังสีที่เทคนิคทั้ง 2 ที่ทำกับห้องการแตกตัวคูสท์เนอร์ เวลาสอบเทียบจะทำครั้งละ 2 เทคนิค เช่นนี้เรื่อยไปจนครบทุกเทคนิคที่เลือกไว้ เพื่อให้ครอบคลุมในช่วงพลังงานที่ใช้ในงานด้านวินิจฉัยโรคและรักษาโรคด้วยรังสี แต่ในบางเทคนิคอัตราปริมาณรังสีในอากาศมีค่าสูงเกินกว่าจะใช้กับห้องการแตกตัวคูสท์เนอร์ได้ คือในการสอบเทียบได้ใช้ไดอะแฟรมเบอร์ 135–0.1 ซึ่งทางผู้ผลิตกำหนดให้ใช้อัตราปริมาณรังสีในอากาศในช่วง 0.2–2 R/min. จึงจะให้ผลถูกต้อง ดังนั้นในการสอบเทียบที่เทคนิคเหล่านี้จึงต้องลดกระแสของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ลง และในทำนองเดียวกันเวลาเอาห้องการแตกตัวใด ๆ ไปวัดค่าปริมาณรังสีในอากาศก็ต้องคำนึงถึงอัตราปริมาณรังสีในอากาศสูงสุดที่ห้องนั้น ๆ สามารถใช้ได้และให้ผลถูกต้อง โดยดูจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละห้องนั้น ดังแสดงในตารางที่ 4.3 เช่นถ้าใช้ห้องตัวควบแน่นวิคตอรีนขนาด 250 R จะต้องใช้ค่าอัตราปริมาณรังสีในอากาศไม่เกิน 90 R/sec. เป็นต้น แต่ในบางครั้งอัตราปริมาณรังสีในอากาศมีค่าน้อยเกินไป และไม่สามารถจะเพิ่มได้ด้วยการเพิ่มกระแส ก็ต้องลดระยะทางระหว่างห้องนั้นกับโฟกัสของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ลง หรือในทางกลับกัน ถ้าอัตราปริมาณรังสีในอากาศมีค่าสูงเกินไป และไม่สามารถ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าคุณสมบัติเฉพาะตัวของห้องการแตกตัวแบบบาลด์วิน ฟาร์เมอร์ และวิคตอรีนขนาดต่าง ๆ

Baldwin Farmer	Range in Roentgen	R/sec Limited	Rated accuracy	Intended use in $keV_{eff.}$	Wall material	Volume in cm^3	Wall thickness in mg/cm	Remark
B.F.Model 2502 Thimble Chamber Model 2505	120 R	-	±2%	70keV-3MeV	Plastic	0.6	640	BALDWIN FARMER

Victoreen Model	Range in Roentgen	R/sec Limited	Rated* accuracy	Intended use in $keV_{eff.}$	Wall material	Volume in cm^3	Wall thickness in mg/cm	Remark
651	250 R	90	±5%	6-35	Kodapak	0.2	-	LOW ENERGY CHBR.
227	1 R	0.195	±10%	30-500	Bakelite	41	220	MEDIUM ENERGY CHBR.
70-5	25 R	45	±2%	30-250	Nylon	1.83	67	
131	100 R	75	±2%	30-350	Nylon	0.46	89	
154	250 R	120	±2%	30-350	Nylon	0.183	89	
553	25 R	45	±5%	400-1300	Nylon	1.83	450	HIGH ENERGY CHBR.
621	100 R	75	±5%	400-1300	Nylon	0.46	450	

*For Victoreen Reader Model 570 only.

ลดค่ากระแสลงได้ ก็ต้องเพิ่มระยะทางดังกล่าวขึ้น แล้วหาค่าตัวประกอบการแก้สำหรับระยะทางเพื่อแก้ค่าที่อ่านได้ให้ถูกต้อง นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาดูว่าค่าอัตราปริมาณรังสีในอากาศที่ใช้นั้นมีค่าสูงเกินไปสำหรับมอนิเตอร์หรือไม่ ถ้าสูงเกินไปก็ต้องเปลี่ยนตัวควบแน่นที่ตัวมอนิเตอร์ให้เหมาะกับอัตราปริมาณรังสีในอากาศนั้น ๆ ด้วย

เมื่ออ่านค่าปริมาณรังสีในอากาศที่ได้จากห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์และห้องการแตกตัวที่จะสอบเทียบแล้วก็นำเอาค่าปริมาณรังสีในอากาศทั้ง 2 ค่ามา – คำนวณแก้ค่าอุณหภูมิและความดัน แล้วคูณด้วยตัวประกอบการแก้ตามพลังงานต่าง ๆ และต้องคูณด้วยตัวประกอบการแก้สำหรับระยะทางด้วย ถ้าห้องการแตกตัวที่สอบเทียบนั้นไม่ได้อยู่ในตำแหน่งเดียวกับห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์ แล้วนำเอาค่าที่คำนวณแก้เรียบร้อยแล้วนี้มาเปรียบเทียบกัน โดยเทียบกับค่าที่อ่านได้จากมอนิเตอร์ซึ่งต้องคำนวณแก้ค่าอุณหภูมิและความดันแล้วเช่นกัน ก็จะได้ค่าอัตราส่วนของค่า**ปริมาณรังสีใน**อากาศที่ได้จากห้องการแตกตัวที่ทำการสอบเทียบต่อค่าปริมาณรังสีในอากาศที่ได้จากห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และ 4.5

เนื่องจากในการอ่านค่าปริมาณรังสีในอากาศจากห้องตัวควบแน่นวิคตอรีนและบาลด์วิน ฟาร์เมอร์ ให้มีความผิดพลาดจากการอ่านค่าน้อย และประหยัดเวลาในการฉายรังสี จะต้องอ่านค่าปริมาณรังสีในอากาศจากห้องเหล่านี้ให้ได้ประมาณ 60% ของค่าสูงสุดบนหน้าปัทม์ ดังนั้นในการใช้ห้องตัวควบแน่นวิคตอรีนขนาด 250R จะต้องให้ห้องนั้นได้รับรังสีประมาณ 150R แต่อัตรา**ปริมาณรังสีใน**อากาศของรังสีจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์บางเทคนิคมีค่าน้อย จึงต้องใช้เวลานานเกินไปจนอาจทำให้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ร้อนจัดและไม่ทำงานได้ จึงต้องเลื่อนตำแหน่งของห้องการแตกตัวนี้เข้ามาให้ใกล้หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์มากขึ้น เพื่อให้ใช้เวลาในการเดิน – เครื่อง**น้อยลง**และหลอดไม่ร้อนจัดเกินไป แต่อย่างไรก็ตามในการเปลี่ยนระยะทาง

นี้ก็ต้องทดลองหาค่าตัวประกอบการแก้สำหรับระยะทางมาช่วยให้การคำนวณถูกต้องมากขึ้น แทนที่จะคำนวณหาจากระยะทางที่จัดไว้ ทั้งนี้เพราะถ้าหากคำนวณจากระยะทางที่จัดไว้โดยใช้กฎกำลังสองผกผันก็อาจทำให้ผิดพลาดได้ เนื่องจากไม่สามารถวัดระยะทางให้ถูกต้องจริง ๆ ได้ และอีกประการหนึ่งก็คือจุดโฟกัสของหลอดกำเนิดรังสีไม่เป็นจุดจริง ๆ เมื่อเทียบกับระยะทางที่ใช้ในการสอบเทียบนี้ ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุดก็คือการทดลองหาค่าตัวประกอบการแก้นี้ แล้วเอาผลมาใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบเลย

4.5 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

4.5.1 วิธีคำนวณค่าปริมาณรังสีในอากาศของห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์พิเกลา

การคำนวณค่าปริมาณรังสีในอากาศที่ได้จากห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์ใช้สูตร

$$J_s = K.\ n.\ \frac{T_o}{T} \qquad \text{.....(4.2)}$$

เมื่อ J_s = ปริมาณรังสีมาตรฐานในอากาศ

K = ตัวประกอบการปรับเทียบ (ในคอลัมน์ที่ 7 ตารางที่ 4.2)

n = จำนวนหน่วย (Steps) ที่ตั้งไว้ในการสอบเทียบ

T_o = คอนโทรลไทม์

T = คอนโทรลไทม์มาตรฐานในที่นี้เท่ากับ 100 วินาที

จากสมการ 4.2 จะเห็นว่าค่าปริมาณรังสีในอากาศหาได้จากค่า – คอนโทรลไทม์ของห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์ขณะใช้งานจริง ๆ ซึ่งในการวัดค่าคอนโทรลไทม์จะทำพร้อม ๆ กับการวัดค่าปริมาณรังสีในอากาศไม่ได้ จึงต้องทำการวัดคอนโทรลไทม์ก่อนและหลังจากใช้งาน แล้วเอาค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้ในการคำนวณตามสมการ 4.2 นี้ เมื่อได้ค่าปริมาณรังสีในอากาศของห้องการ

แตกตัวคูลท์เนอร์แล้ว ก็เอาค่าปริมาณรังสีในอากาศที่ได้จากมอนิเตอร์ซึ่งคำนวณแก้ค่าอุณหภูมิและความดันแล้วไปหาร ก็จะได้ค่าอัตราปริมาณรังสีในอากาศต่อหนึ่งหน่วยมอนิเตอร์ของห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์ ซึ่งจะใช้ในการหาค่าอัตราส่วนของค่าอัตราปริมาณรังสีในอากาศของห้องการแตกตัวที่จะสอบเทียบต่อค่าอัตราปริมาณรังสีในอากาศของห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์ต่อไป

ตัวอย่าง

การคำนวณคอนโทรลไทม์

ตั้งจำนวนหน่วยบนหน้าปัทม์ควบคุมของห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์ไว้ 3 หน่วย ใช้ไดอะแฟรมเบอร์ 135–0.1

ก่อนใช้งาน	เวลาที่วัดได้(วินาที)	อุณหภูมิ(°ซ)	ความดัน(มม.ปรอท)
	273.77	21.0	758.0
	273.87	21.0	758.0
	273.77	21.0	758.0
ค่าเฉลี่ย =	273.80	21.0	758.0

$$\text{ค่าคอนโทรลไทม์} = \left(\frac{273.80}{3}\right)\left(\frac{293}{273+21.0}\right)\left(\frac{758.0}{760}\right)$$

$$= 90.72 \text{ วินาที/หน่วย}$$

หลังจากใช้งานแล้วคำนวณค่าคอนโทรลไทม์ได้ = 90.72 วินาที/หน่วย

ค่าคอนโทรลไทม์เฉลี่ย = 90.72 วินาที/หน่วย

การคำนวณค่าปริมาณรังสีในอากาศที่ได้จากเครื่องคูลท์เนอร์

เอาห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์นี้ไปปรับรังสีเอกซ์เพื่อสอบเทียบ ได้ข้อมูลดังนี้

เทคนิคที่ใช้ : 60 kV, 20 mA, 2 mm.Al. (H.V.T = 1.97 มม.อลูมิเนียม)

จำนวนหน่วยที่ใช้ : 8 หน่วย

เวลาที่วัดได้(วินาที)	อุณหภูมิ(° ซ)	ความดัน(มม.ปรอท)	มอนิเตอร์อ่านได้
312.40	21.0	758.0	86.21
313.78	21.0	758.0	86.42
313.00	21.0	758.0	86.41
ค่าเฉลี่ย	21.0	758.0	86.35

จากข้อมูลนี้จะคำนวณค่าปริมาณรังสีในอากาศที่เกิดขึ้นที่ห้องการแตกตัวคูลท์เนอร์ได้โดยใช้สมการ 4.2

$$J_s = K.n. \frac{T_c}{T}$$

$$= 2.88 \times 8 \times \frac{90.72}{100}$$

ปริมาณรังสีในอากาศ = 20.90 R.

สำหรับตัวประกอบการแก้สำหรับอุณหภูมิและความดันของมอนิเตอร์ก็คำนวณตามสมการ 2.12 ดังนี้ :-

$$CF_{t\&P} = \left(\frac{273 + t}{273}\right)\left(\frac{760}{P}\right)$$

$$= \left(\frac{273 + 21.0}{273}\right)\left(\frac{760}{758.0}\right)$$

$$= 1.0798$$

ปริมาณรังสีในอากาศที่เกิดขึ้นที่มอนิเตอร์ = 86.35 x 1.0798

= 93.24

อัตราปริมาณรังสีในอากาศต่อหนึ่งหน่วยมอนิเตอร์ของคูลท์เนอร์

$$\frac{20.90}{93.24} \quad \text{.....(4.3)}$$

4.5.2 วิธีคำนวณค่าปริมาณรังสีในอากาศของห้องการแตกตัวแบบบาลด์วิน ฟาร์เมอร์ และวิคตอรีน

ค่าปริมาณรังสีในอากาศที่ถูกต้อง = ค่าปริมาณรังสีที่อ่านได้ x $CF_{t\&P}$ x CF_Q

$CF_{t\&P}$ = ตัวประกอบการแก้สำหรับอุณหภูมิและความดัน

CF_Q = ตัวประกอบการแก้ตามพลังงานของห้องนั้น ๆ

ห้องการแตกตัวที่ใช้ในการสอบเทียบคือ : Victoreen (1528A) 100R (Hi-En)

เทคนิคที่ใช้ : 60 kV 20 mA 2 mm.Al. (H.V.T. = 1.97 มม.อลูมิเนียม)

เวลาที่ใช้	ค่าปริมาณรังสีที่อ่านได้	อุณหภูมิ(°ซ)	ความดัน(มม.ปรอท)	มอนิเตอร์อ่านได้
14 นาที	52.0	21.7	758.0	227.49
	52.0	21.3	758.0	227.06
	52.4	21.7	758.2	228.71
ค่าเฉลี่ย	52.13	21.57	758.07	227.75

CF_Q = 1.065 (จากกราฟรูปที่ 4.4)

$CF_{t\&P}$ (วิคตอรีน) = $\left(\frac{273 + 21.57}{295}\right)\left(\frac{760}{758.07}\right)$ = 1.0011

ค่าปริมาณรังสีในอากาศที่ถูกต้อง = 52.13 x 1.0011 x 1.065 = 55.58 R

$CF_{t\&P}$ (มอนิเตอร์) = $\left(\frac{273 + 21.57}{273}\right)\left(\frac{760}{758.07}\right)$ = 1.0818

ปริมาณรังสีในอากาศที่เกิดขึ้นที่มอนิเตอร์ = 227.75 x 1.0818 = **246.37**

อัตราปริมาณรังสีในอากาศต่อหนึ่งหน่วยมอนิเตอร์ของวิคตอรีน $\frac{55.58}{246.37}$ ...(4.4)

จากสมการ 4.3 และ 4.4 จะหาค่าอัตราส่วนของค่าปริมาณรังสีในอากาศของห้องการแตกตัววิคตอรีน 100R (Hi-En) นี้ ต่อค่าปริมาณรังสีในอากาศที่ได้จากห้องการแตกตัวคูสท์เนอร์ได้ โดยเอาสมการ (4.4) ÷ (4.3) จะได้

อัตราส่วน $\left(\frac{55.58}{246.37}\right) \times \left(\frac{93.24}{20.90}\right) = 1.0064$

สำหรับที่เทคนิคอื่น ๆ ก็คำนวณในทำนองเดียวกัน หลังจากคำนวณเสร็จทุกเทคนิค แล้วจะได้ผลตามตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าอัตราส่วนของ Victoreen(1528A)/Kustner และ B.F./Kustner ที่พลังงานต่าง ๆ

Setting Techniques	H.V.T. (mm)	Effective Energy (keV)	Victoreen(1528A)/Kustner				Baldwin Farmer ($0.6\ cm^3$) / Kustner
			25 R	100 R	100 R Hi-En	250 R	
60 kV 20 mA 2 Al	1.97 Al	28.8	1.000	0.993	1.006	0.992	0.981
80 kV 20 mA 2 Al	2.50 Al	31.4	0.997	0.997	1.005	0.986	0.978
100 kV 20 mA 2 Al	3.00 Al	33.9	1.003	0.983	0.999	0.983	0.981
120 kV 20 mA 2 Al	3.67 Al	37.0	0.998	0.998	0.995	0.986	0.984
120 kV 20 mA 4 Al	5.07 Al	43.0	1.006	1.003	0.990	0.986	0.988
120 kV 20 mA 0.2 Cu	0.305 Cu	51.0	1.009	1.008	0.992	0.986	0.986
160 kV 20 mA 0.2 Cu	0.446 Cu	59.5	1.006	1.012	0.988	0.987	0.996
180 kV 20 mA 0.5 Cu	0.940 Cu	80.0	1.001	1.015	1.003	0.997	1.000
200 kV 20 mA 0.5 Cu	1.070 Cu	84.0	0.990	1.016	1.002	0.996	0.996
250 kV 15 mA 1.0 Cu	1.960 Cu	108.0	0.982	1.021	1.009	1.000	0.999

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าอัตราส่วนของ Victoreen(1531A)/Kustner ที่พลังงานต่าง ๆ

Setting Techniques	H.V.T.(mm)	Effective Energy (keV)	Victoreen(1531A)/Kustner			
			25 R	100 R	100 R Hi-En	250 R
60 kV 20 mA 2 Al	1.97 Al	28.8	1.003	1.000	0.972	1.017
80 kV 20 mA 2 Al	2.50 Al	31.4	0.991	1.007	0.974	1.005
100 kV 20 mA 2 Al	3.00 Al	33.9	0.989	0.991	0.970	0.999
120 kV 20 mA 2 Al	3.67 Al	37.0	0.985	1.007	0.973	0.988
120 kV 20 mA 4 Al	5.07 Al	43.0	0.992	0.992	0.976	0.995
120 kV 20 mA 0.2 Cu	0.305 Cu	51.0	0.994	0.992	0.980	0.996
160 kV 20 mA 0.2 Cu	0.446 Cu	59.5	0.998	0.998	0.987	0.997
180 kV 20 mA 0.5 Cu	0.940 Cu	80.0	0.998	1.006	0.994	0.999
200 kV 20 mA 0.5 Cu	1.070 Cu	84.0	0.994	1.003	0.990	0.996
250 kV 15 mA 1.0 Cu	1.960 Cu	108.0	0.994	1.006	0.994	1.005