

การพัฒนาหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลที่มีแอนโตนรูปแบบใหม่



นายจิรยุทธ ชำรงพุทธิกุล

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

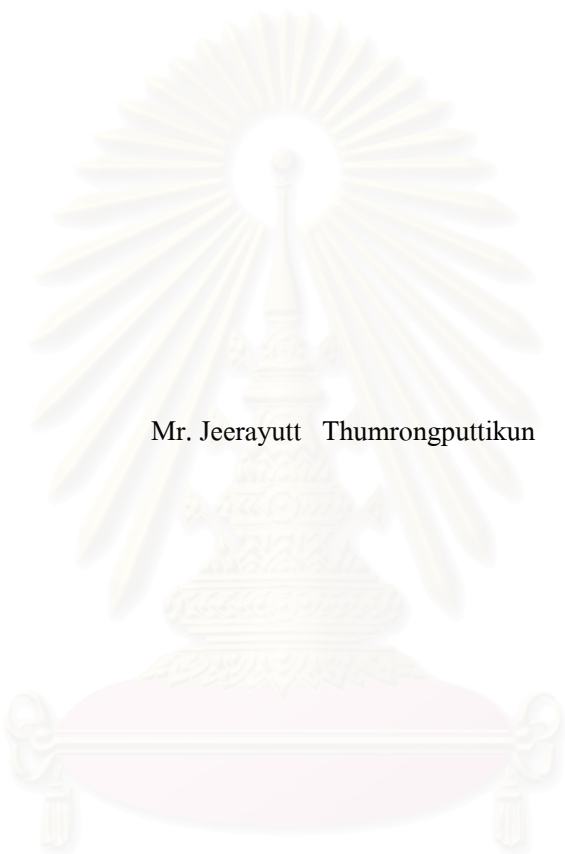
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1469-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A PROPORTIONAL COUNTER WITH NEW ANODE  
CONFIGURATION



Mr. Jeerayutt Thumrongputtikun

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1469-2

|                      |   |
|----------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์    | การพัฒนาหัววัดรังสีฟอตอน์ชันแนลที่มีแเอ โนครูปแบบใหม่ |
| โดย                  | นายจิรยุทธ ชำรงพุทธิกุล                               |
| สาขาวิชา             | นิเวศาสตร์เทคโนโลยี                                   |
| อาจารย์ที่ปรึกษา     | ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ                   |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว                        |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)

จรรย์ทศ ชำรงพุทธิกุล : การพัฒนาหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลที่มีแอนโอดรูปแบบใหม่ (DEVELOPMENT OF A PROPORTIONAL COUNTER WITH NEW ANODE CONFIGURAYION) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว จำนวน 88 หน้า. ISBN 974-53-1469-2

ได้พัฒนาหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนลแบบก๊าซไหล 3 รูปแบบ ได้แก่ หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างชนิดแอนโอดวางแนวขนาน หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าชนิดแอนโอดวางแนวขนานกับแคโทด และหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าชนิดแอนโอดวางตั้งฉากกับผนังแคโทด ซึ่งส่วนต่างๆเลือกใช้วัสดุที่สามารถจัดหาได้ภายในประเทศเป็นหลัก หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและหน้าต่างด้านหน้าชนิดแอนโอดวางแนวขนานใช้วัสดุแคโทดเป็นท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 23.4 mm ส่วนหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดใช้วัสดุแคโทดเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดภาชนะถ้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 50 mm สูง 30 mm สำหรับเส้นลวดแอนโอดใช้เส้นลวดทังสเตนเคลือบทองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30  $\mu\text{m}$  ศึกษาเปรียบเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100  $\mu\text{m}$  หน้าต่างของหัววัดรังสีใช้อลูมิเนียมไนซ์โพลิโพรพิลีนหนา 25  $\mu\text{m}$  และใช้ก๊าซอาร์กอน-มีเทน (P-10) ซึ่งควบคุมอัตราการไหลของก๊าซด้วยอุปกรณ์ควบคุมความดันเป็นก๊าซตัวกลางในการวัดรังสี ผลทดสอบหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างชนิดแอนโอดวางแนวขนาน หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าชนิดแอนโอดวางแนวขนานและหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าชนิดแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่พัฒนาขึ้น โดยใช้อัตราการไหลของก๊าซ 20 ml/min พบว่ามีช่วงพลาโตที่ 1800-2200 V, 1200-1700 V และ 1300-1650 V และมีค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 5.9 keV ของ Fe-55 เท่ากับ 16.8%, 19.1% และ 34% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างชนิดแอนโอดวางแนวขนานและหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าชนิดแอนโอดวางแนวขนาน สามารถวัดพลังงานรังสีเอกซ์ได้ตั้งแต่ช่วงพลังงานสูง 30 keV ลงไปถึงพลังงานรังสีอัลตราไวโอเล็ตย่านพลังงานสูงได้ โดยมีความเป็นเชิงเส้นของการวัดพลังงาน  $R^2 = 0.9999$

|            |                     |                                     |
|------------|---------------------|-------------------------------------|
| ภาควิชา    | นิวเคลียร์เทคโนโลยี | ลายมือชื่อนิสิต.....                |
| สาขาวิชา   | นิวเคลียร์เทคโนโลยี | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....     |
| ปีการศึกษา | 2547                | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... |

## 4470254021 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: PROPORTIONAL COUNTER / SIDE WINDOW / END WINDOW / GOLD-PLATED TUNGSTEN ANODE WIRE / ENTRANCE WINDOW / DETECTOR / PLATEAU LENGTH / UVC

JEERAYUTT THUMRONGPUTTIKUN : DEVELOPMENT OF A PROPORTIONAL COUNTER WITH NEW ANODE CONFIGURATION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUVIT PUNNACHAIYA, THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. NARES CHANKOW, 88 pp. ISBN 974-53-1469-2

Three configurations gas flow proportional counter were developed i.e. side-window, end-window with parallel anode-cathode and end-window with perpendicular anode-cathode. The local materials were mainly used to fabricate the detector parts. A 23.4 mm inside diameter of 304 stainless steel pipe was employed for cathode structure of side-window and end-window with parallel anode-cathode, while a 50 mm inside diameter with 30 mm height cup shaped stainless steel was selected for end-window with perpendicular anode-cathode. The 30  $\mu\text{m}$  and 100  $\mu\text{m}$  diameter gold-plated tungsten anode wires were comparatively studied. The 25  $\mu\text{m}$  thickness aluminized-polypropylene film was used for detector window. The P-10 detector gas with a set of gas flow regulator was applied for testing developed detector. It was found that at the P-10 flow rate of 20 ml/min, the plateau length of the side-window, end-window with parallel and perpendicular anode-cathode structures were 1800-2200 V, 1200-1700 V and 1800-2200 V and the energy resolution for x-ray 5.9 keV Fe-55 of those detector were 16.8%, 19.1%, and 34%, respectively. Besides, the range of x-ray energy at 30 keV down to UVC region could be detected with the energy linearity of  $R^2 = 0.9999$ .

Department Nuclear Technology

Field of study Nuclear Technology

Academic year 2004

Student's signature.....

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมรองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว และอาจารย์เดโช ทองอร่าม ที่คอยให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะในการทำวิจัยและความช่วยเหลือต่างๆ

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ให้การอุดหนุนทุนวิจัยบางส่วนในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณ Mr. Thomas Adolfsson ผู้จัดการฝ่ายการตลาด บริษัท LUMA-METALL ประเทศสวีเดน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เส้นลวดทั้งสแตนเลสและทองโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย

ขอขอบคุณ คุณธนศ อินทรลักษณ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์แผ่นอลูมิเนียมไนซ์โพลีโพรพิลีนโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย

ขอขอบคุณ คุณมานัส มาตรการ เจ้าหน้าที่สำนักงานปริมาณเพื่อสันติ และคุณสุบิน ชันดี เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การช่วยเหลือและแนะนำในงานด้านการสร้างชิ้นส่วนประกอบหัววัดรังสี

ขอขอบคุณ คุณสิทธิรินทร์ อยู่คง ที่ให้การช่วยเหลือและแนะนำในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้า

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องทุกคนที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือในงานวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจเสมอมา ทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จ

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                             | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                | ฉ    |
| สารบัญ.....   | ช    |
| สารบัญตาราง.....                                    | ญ    |
| สารบัญภาพ.....                                      | ฎ    |
| บทที่   |      |
| 1. บทนำ   |      |
| 1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....                         | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์.....                               | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....                       | 2    |
| 1.4 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์.....                    | 2    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                  | 3    |
| 1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....             | 3    |
| 2. ทฤษฎี  |      |
| 2.1 หัววัดรังสีชนิดบรรจุกำซัง.....                  | 5    |
| 2.1.1 โครงสร้างของหัววัดรังสีชนิดบรรจุกำซัง.....    | 6    |
| 2.1.2 การไปอัสหัววัดรังสี.....                      | 6    |
| 2.1.3 ย่านการทำงานของหัววัดรังสี.....               | 9    |
| 2.1.4 เส้นกราฟคุณลักษณะ.....                        | 11   |
| 2.2 หัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนล.....               | 13   |
| 2.2.1 โครงสร้างและชนิดของหัววัดรังสี.....           | 13   |
| 2.2.2 สนามไฟฟ้าของหัววัดรังสี.....                  | 15   |
| 2.2.3 ค่าทวีปริมาณไอออนของกำซังและชนิดของกำซัง..... | 16   |
| 2.2.4 รูปลักษณะสัญญาณพัลส์ของหัววัดรังสี.....       | 20   |
| 2.2.5 ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน.....             | 23   |

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| 2.3 ปัจจัยในการออกแบบหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนล.....                                      | 27   |
| 2.3.1 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการออกแบบ.....   | 27   |
| 2.3.2 รูปลักษณะของหัววัดรังสี.....  | 27   |
| 2.3.3 วัสดุที่ใช้ทำแอนโอด.....  | 28   |
| 2.3.4 วัสดุที่ใช้ทำหน้าต่างรับรังสีของหัววัดรังสี.....                                      | 28   |
| 2.3.5 ความดันก๊าซภายในหัววัดรังสี.....  | 29   |
| 2.4 วงจรขยายสัญญาณชนิดไวต่อประจุ.....   | 29   |
| 2.4.1 รูปแบบของวงจรขยายสัญญาณชนิดไวต่อประจุ.....  | 29   |
| 2.4.2 ผลของ RC ต่อการอิ่มตัวของสัญญาณ.....  | 30   |
| 2.4.3 การปรับรูปสัญญาณพัลส์การส่งสัญญาณพัลส์.....   | 32   |
| 3. การพัฒนาหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนลแบบก๊าซไหล.....                                      | 35   |
| 3.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์สำหรับหัววัดรังสี.....  | 35   |
| 3.1.1 วัสดุที่ใช้ทำแคโทด.....   | 35   |
| 3.1.2 วัสดุที่ใช้ทำแอนโอด.....  | 36   |
| 3.1.3 วัสดุที่ใช้ทำหน้าต่างรับรังสี.....  | 36   |
| 3.1.4 ก๊าซ P-10.....  | 37   |
| 3.2 การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของหัววัดรังสี.....  | 37   |
| 3.2.1 สนามไฟฟ้าของโครงสร้างแอนโอดวางแนวขนานกับผนังแคโทด<br>ทรงกระบอก.....                   | 37   |
| 3.2.2 สนามไฟฟ้าของโครงสร้างแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนัง<br>แคโทด.....                         | 39   |
| 3.3 การออกแบบโครงสร้างหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนลแบบต่างๆ.....                             | 40   |
| 3.3.1 โครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอนโอดวางแนว<br>ขนาน.....                   | 40   |
| 3.3.2 โครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนว<br>ขนาน.....                   | 42   |
| 3.3.3 โครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนว<br>แนวตั้งฉากกับผนังแคโทด..... | 44   |
| 4. ผลการทดลองการทำงานของหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนล.....                                   | 47   |



## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| 4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบและการจัดระบบทดสอบ.....              | 47   |
| 4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ.....                              | 47   |
| 4.1.2 การจัดระบบทดสอบ.....   | 48   |
| 4.2 การทดสอบคุณลักษณะการทำงานของหัววัดรังสีแบบต่างๆ.....               | 50   |
| 4.2.1 ผลการทดสอบ.....  | 51   |
| 4.3 การทดสอบความสามารถในการแจกแจงพลังงาน.....                          | 54   |
| 4.3.1 ผลการทดสอบ.....  | 54   |
| 4.4 การทดสอบการตอบสนองช่วงพลังงาน.....                                 | 59   |
| 4.4.1. ผลการทดสอบ.....   | 59   |
| 4.5 การทดสอบความตอบสนองของหัววัดรังสี.....                             | 62   |
| 4.5.1 ผลการทดสอบ.....  | 62   |
| 4.6 การทดสอบผลของอัตราไหลของก๊าซต่อการทำงานของหัววัดรังสี.....         | 63   |
| 4.6.1 การทดสอบผลของอัตราไหลของก๊าซต่อเส้นกราฟคุณลักษณะ.....            | 63   |
| 4.6.2 การทดสอบผลของอัตราไหลของก๊าซต่อความสามารถในการแจกแจงพลังงาน..... | 66   |
| 4.6.3 การทดสอบผลของอัตราไหลของก๊าซต่อขนาดสัญญาณพัลส์.....              | 68   |
| 4.6.4 การทดสอบผลของอัตราไหลของก๊าซต่อความตอบสนองของหัววัดรังสี.....    | 69   |
| 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....                                    | 71   |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย.....  | 71   |
| 5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย.....   | 73   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....  | 74   |
| รายการอ้างอิง.....   | 75   |
| ภาคผนวก ก.....   | 76   |
| ภาคผนวก ข.....   | 78   |
| ภาคผนวก ค.....   | 86   |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....  | 88   |

## สารบัญตาราง

หน้า

|   |    |
|---|----|
| ตารางที่ 2.1 แสดงค่า $\Delta V$ และ $k$ สำหรับก๊าซชนิดต่างๆที่บรรจุในหัววัดรังสี..... | 19 |
| ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสามารถในการแจกแจงพลังงานของก๊าซต่างๆ.....   | 19 |



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญญภาพ

|   | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 แผนภาพการตรวจวัดรังสีเบื้องต้น.....  | 5    |
| รูปที่ 2.2 หัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซชนิดต่างๆ.....   | 6    |
| รูปที่ 2.3 การไปอัสหัววัดรังสี.....   | 6    |
| รูปที่ 2.4 วงจรของหัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซและวงจรสมมูล.....   | 7    |
| รูปที่ 2.5 การเกิดสัญญาณบนหัววัดรังสี.....  | 8    |
| รูปที่ 2.6 การทำงานเบื้องต้นของหัววัดรังสี.....   | 9    |
| รูปที่ 2.7 การจัดอุปกรณ์ทดลองหาความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าที่แอมโอมิเตอร์และปริมาณไอออนที่เกิดขึ้น..... | 9    |
| รูปที่ 2.8 ย่านการทำงานของก๊าซภายในหัววัดรังสี.....   | 10   |
| รูปที่ 2.9 การจัดระบบวัดเพื่อหาเส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซ.....                      | 12   |
| รูปที่ 2.10 เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซ.....   | 12   |
| รูปที่ 2.11 หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลชนิดบรรจุก๊าซปิดสนิท.....   | 13   |
| รูปที่ 2.12 หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลชนิดก๊าซไหล.....  | 14   |
| รูปที่ 2.13 หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลแบบ $2\pi$ .....  | 14   |
| รูปที่ 2.14 หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลแบบ $4\pi$ .....  | 15   |
| รูปที่ 2.15 การทำงานของก๊าซในย่านพรอพอร์ชันแนล.....   | 16   |
| รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ Townsend กับความเข้มสนามไฟฟ้า.....                            | 17   |
| รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้ากับทวีคูณปริมาณไอออนของก๊าซ.....                             | 20   |
| รูปที่ 2.18 รูปสัญญาณพัลส์จากหัววัดรังสี.....   | 21   |
| รูปที่ 2.19 การเกิดสัญญาณพัลส์เนื่องจากไอออน.....   | 21   |
| รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลของหัววัดรังสีและระบบวัดรังสี.....   | 23   |
| รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบลักษณะของสเปกตรัมพลังงานหรือความสูงของพัลส์.....                               | 24   |
| รูปที่ 2.22 ผลของการเบี่ยงเบนความสูงของพัลส์ต่อความกว้างของพีคพลังงาน.....                            | 24   |
| รูปที่ 2.23 นิยามของความสามารถในการแจกแจงพลังงาน.....   | 24   |
| รูปที่ 2.24 สมบัติการยอมให้รังสีเอกซ์ผ่านของหน้าต่างรับรังสี.....                                     | 29   |
| รูปที่ 2.25 กลไกการแปลงผันสัญญาณประจุเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า.....                                       | 30   |
| รูปที่ 2.26 การลดภาวะการอิ่มตัวของสัญญาณพัลส์แรงดันของวงจรขยายสัญญาณพัลส์.....                        | 31   |
| รูปที่ 2.27 ผลของสัญญาณพัลส์หลังผ่านวงจรคิฟเฟอเรนเชียล.....   | 32   |
| รูปที่ 2.28 ผลของสัญญาณพัลส์หลังผ่านวงจรคิฟเฟอเรนเชียลที่เพิ่มการลบสิ่งรบกวน.....                     | 33   |

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 3.1 ลักษณะของแคโทดที่ใช้ทำหัววัดรังสี.....  | 36   |
| รูปที่ 3.2 ม้วนเส้นลวดทังสเตนเคลือบทอง.....  | 36   |
| รูปที่ 3.3 แผ่นฟิล์มอลูมิเนียมโพลาไรซ์.....  | 37   |
| รูปที่ 3.4 ภาคตัดขวางของโครงสร้างแอนโอดวางแนวขนาน.....   | 38   |
| รูปที่ 3.5 ภาคตัดขวางของโครงสร้างแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด.....  | 39   |
| รูปที่ 3.6 แสดงแนวสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีที่มีโครงสร้างแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด.....                     | 41   |
| รูปที่ 3.7 แผนภาพโครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอนโอดวางแนวขนานที่พัฒนาขึ้น.....                                 | 41   |
| รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอนโอดวางแนวขนานที่พัฒนาขึ้น.....   | 42   |
| รูปที่ 3.9 แผนภาพโครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนวขนานที่พัฒนาขึ้น.....                                 | 43   |
| รูปที่ 3.10 ลักษณะของแผ่นฉนวนยึดเส้นลวดแอนโอดด้านหน้า.....   | 43   |
| รูปที่ 3.11 ภาพถ่ายหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนวขนานที่พัฒนาขึ้น.....  | 43   |
| รูปที่ 3.12 การจัดรูปแบบวิเคราะห์พลังงานรังสีเอกซ์ในภาชนะปิดที่มีปริมาตรจำกัด.....   | 44   |
| รูปที่ 3.13 แผนภาพโครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่พัฒนาขึ้น.....                 | 45   |
| รูปที่ 3.14 ภาพถ่ายหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่พัฒนาขึ้น.....                         | 45   |
| รูปที่ 3.15 ขดลวดสปริงสำหรับสวมรอบแอนโอด.....  | 46   |
| รูปที่ 3.16 ภาพถ่ายหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่มีขดลวดสปริงรอบแอนโอดที่พัฒนาขึ้น..... | 46   |
| รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์จ่ายก๊าซให้กับหัววัดรังสี.....   | 48   |
| รูปที่ 4.2 แผนภาพการจัดระบบทดสอบแบบนับรวม.....   | 49   |
| รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายการจัดระบบทดสอบแบบนับรวม.....  | 49   |
| รูปที่ 4.4 แผนภาพการจัดระบบทดสอบแบบวิเคราะห์พลังงาน.....   | 50   |
| รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายการจัดระบบทดสอบแบบวิเคราะห์พลังงาน.....  | 50   |
| รูปที่ 4.6 เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอนโอดวางแนวขนาน..   | 51   |

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| รูปที่ 4.7  | เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวขนาน  | 52 |
| รูปที่ 4.8  | เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด.....                                    | 52 |
| รูปที่ 4.9  | เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่มีขดลวดสปริงรอบแอโนด.....             | 53 |
| รูปที่ 4.10 | สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลของ LND.....   | 55 |
| รูปที่ 4.11 | สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนาน.....                                    | 55 |
| รูปที่ 4.12 | สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวขนาน.....                                    | 56 |
| รูปที่ 4.13 | สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด.....                     | 56 |
| รูปที่ 4.14 | สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งกับผนังแคโทดที่มีขดลวดสปริงรอบแอโนด..... | 57 |
| รูปที่ 4.15 | รูปสัญญาณพัลส์จากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบต่างๆ.....   | 58 |
| รูปที่ 4.16 | สเปกตรัมของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนาน.....  | 60 |
| รูปที่ 4.17 | สเปกตรัมของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวขนาน.....  | 60 |
| รูปที่ 4.18 | กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของการวิเคราะห์พลังงานของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนาน.....                      | 61 |
| รูปที่ 4.19 | กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของการวิเคราะห์พลังงานของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวขนาน.....                      | 61 |
| รูปที่ 4.20 | เปรียบเทียบความไวของหัววัดรังสีแบบต่างๆ.....  | 63 |
| รูปที่ 4.21 | เส้นกราฟคุณลักษณะที่อัตราไหลก๊าซ 20 ml/min.....   | 64 |
| รูปที่ 4.22 | เส้นกราฟคุณลักษณะที่อัตราไหลก๊าซ 70 ml/min.....   | 64 |
| รูปที่ 4.23 | เส้นกราฟคุณลักษณะที่อัตราไหลก๊าซ 120 ml/min.....  | 65 |
| รูปที่ 4.24 | เส้นกราฟคุณลักษณะที่อัตราไหลก๊าซ 170 ml/min.....  | 65 |
| รูปที่ 4.25 | สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ที่อัตราไหลของก๊าซ 20 ml/min.....   | 66 |
| รูปที่ 4.26 | สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ที่อัตราไหลของก๊าซ 70 ml/min.....   | 67 |
| รูปที่ 4.27 | สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ที่อัตราไหลของก๊าซ 120 ml/min.....  | 67 |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.28 สเปกตรัมจากคั่นกำเนิดรังสี Fe-55 ที่อัตราไหลของก๊าซ 170 ml/min..... | 68   |
| รูปที่ 4.29 ขนาดของสัญญาณพัลส์ที่อัตราไหลของก๊าซค่าต่างๆ.....                   | 69   |
| รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบความตอบสนองของหัววัดรังสีที่อัตราไหลของก๊าซค่าต่างๆ..... | 70   |



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของปัญหา

หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลเป็นหัววัดรังสีชนิดตัวกลางวัดรังสีเป็นก๊าซที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการวัดรังสีหลายๆ ด้าน เนื่องจากหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลสามารถวัดรังสีที่มีพลังงานต่ำและสามารถแจกแจงพลังงานได้ดีกว่าหัววัดเรืองรังสี จึงนิยมนำมาใช้วัดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำของเครื่องมือวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ทั้งแบบ EDX และ WDX นอกจากนี้ยังใช้ในเครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) อุปกรณ์สร้างสัญญาณภาพสำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และเครื่องสำรวจบริเวณรังสีที่ใช้วัดพลังงานต่ำ ตลอดจนการวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตย่านความยาวคลื่นสั้นมากที่ผลิตจากเครื่องซินโครตรอน เป็นต้น

หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดพรอพอร์ชันแนลที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันนั้น มักจะเป็นหัววัดรังสีที่ออกแบบโครงสร้างภายนอกมีหน้าตาต่างรับรังสีด้านข้างของทรงกระบอก บางครั้งทำให้เกิดอุปสรรคต่อการติดตั้งรวมทั้งจัดวางตำแหน่งในระบับวัดรังสีที่มีพื้นที่จำกัด โครงสร้างแอโนดดั้งเดิมซึ่งตามแนวขนานกับกระบอกแคโทดจึงยากแก่การจัดประกอบจนวนและสปริงยึด เพื่อให้ได้ความตึงของเส้นลวดโลหะแอโนดพอดี ปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาและพัฒนาด้านหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลในประเทศ ขณะที่หัววัดรังสีมีอายุใช้งานจำกัดและราคาสูงจึงได้ศึกษาหาวิธีที่จะทำให้การจัดโครงสร้างแอโนดทำได้ง่ายเพื่อพัฒนาหัววัดรังสีชนิดนี้ขึ้นใช้เอง พบว่าได้มีการศึกษาการจัดแอโนดในลักษณะตั้งฉากกับกระบอกแคโทดขึ้นทดลองใช้กับการวัดอนุภาคพลังงานต่ำมาก (300 eV) แต่ไม่มีข้อมูลการวิจัยเกี่ยวกับการวัดรังสีเอกซ์ [1] ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาโครงสร้างในลักษณะดังกล่าว เพื่อใช้กับหัววัดรังสีเอกซ์ในงานวิเคราะห์ธาตุซึ่งคาดว่า การขึงเส้นลวดโลหะแอโนดแบบใหม่นี้จะทำให้การขึงเส้นลวดโลหะแอโนดง่ายและมีความสะดวกยิ่งขึ้น การเปลี่ยนหน้าตาต่างรับรังสีจากด้านข้างเป็นด้านหน้าของทรงกระบอกนั้น เพื่อให้สอดคล้องกับการขึงเส้นลวดโลหะแอโนดแบบใหม่ จะช่วยให้สะดวกต่อการติดตั้งและจัดวางตำแหน่งวัดรังสีที่ต้องการปรับเปลี่ยนระยะหัววัดรังสีกับชิ้นงานวิเคราะห์ การพัฒนาโครงสร้างหัววัดรังสีใหม่นี้จะดำเนินการควบคู่ไปกับการศึกษาผลของโครงสร้างใหม่ที่มีต่อค่าสนามไฟฟ้าภายในหัววัดรังสี ค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงาน (Energy Resolution) และความตอบสนองของการวัดพลังงานรังสีเอกซ์ (Energy Response) เปรียบเทียบกับหัววัดรังสีที่มีโครงสร้างเดิมโดยใช้ก๊าซ P-10

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างหัววัดรังสีเอกซ์ชนิดพรอพอร์ชันแนลแบบหน้าต่างด้านหน้า ซึ่งมี  
แอนโอดตั้งฉากกับผนังแคโทด

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างหัววัดรังสีเอกซ์ชนิดพรอพอร์ชันแนลแบบหน้าต่างด้านหน้าชนิด  
ก๊าซไหลซึ่งมีโครงสร้างแอนโอดตั้งฉากกับแคโทด โดยใช้ก๊าซ P-10
2. วิเคราะห์รูปแบบและสนามไฟฟ้าภายในหัววัดรังสีที่สร้างขึ้น
3. เปรียบเทียบความสามารถในการแจกแจงพลังงานรังสีเอกซ์ (Energy Resolution) กับ  
หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดพรอพอร์ชันแนลที่มีโครงสร้างแบบเดิม
4. ศึกษาความไวต่อการวัดพลังงานรังสีเอกซ์ (Energy Response)

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. ศึกษาและค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการทำงานของหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนลและกระบวนการทางสัญญาณ  
พัลส์
3. ศึกษาโครงสร้างต่างๆของหัววัดรังสีเอกซ์พรอพอร์ชันแนล โดยเฉพาะวัสดุที่ใช้ทำ  
แอนโอดใหม่
4. ออกแบบและสร้างหัววัดรังสีเอกซ์พรอพอร์ชันแนลแบบหน้าต่างด้านหน้าที่มี  
โครงสร้างแอนโอดใหม่ พร้อมวิเคราะห์รูปแบบและสนามไฟฟ้า
5. ทดสอบการทำงานในแง่ความสามารถในการแจกแจงพลังงานรังสีเอกซ์ และการ  
ตอบสนองช่วงวัดพลังงาน
6. สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์



## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดพรอพอร์ชันแนลแบบหน้าต่างด้านหน้าต้นแบบ สำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาหัววัดรังสีเอกซ์ชนิดพรอพอร์ชันแนลแบบอื่นๆ ที่สามารถพัฒนาขึ้นเองโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศ

## 1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี 2525 วีระ พันธุ์จัน [2] ทำวิจัยเรื่อง การศึกษาแนวทางในการสร้างหัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนล งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาวิธีการบรรจุก๊าซใหม่ให้กับหัววัดที่เสื่อมคุณภาพเพื่อนำกลับมาใช้งานใหม่รวมทั้งศึกษาการบรรจุก๊าซหัววัดรังสี จากการทดลองศึกษาพบว่า ก๊าซอาร์กอน 90% ผสมก๊าซมีเทน 10% (P-10) ที่ความดัน 460 มิลลิเมตรปรอทให้ผลของพลาโตในช่วง 1700-1900 V แต่มีความชันพลาโตสูง และศึกษาการดัดแปลงหัววัดรังสีที่หน้าต่างชำรุดให้เป็นหัววัดรังสีแบบก๊าซไหล โดยใช้หน้าต่างที่เป็นไมลาร์ในงานสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมีราคาประหยัดแทน ผลปรากฏว่าสามารถใช้วัดพลังงานได้แต่มีประสิทธิภาพในการวัดพลังงานรังสีต่ำลงเนื่องจากหน้าต่างมีความหนา

2. ปี 2541 อติศักดิ์ ปัญญาสุข [3] ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาหัววัดรังสีเอกซ์ชนิดพรอพอร์ชันแนลก๊าซไหลที่ไวต่อตำแหน่งราคาประหยัด โดยได้พัฒนาหัววัดรังสีเอกซ์ชนิดพรอพอร์ชันแนลก๊าซไหลที่ไวต่อตำแหน่งการไอออไนซ์ของรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ ใช้เส้นแอนโอดความดันทานสูงทำจากสายไนลอนเคลือบด้วยผงคาร์บอนละเอียด โดยควบคุมขนาดและความสม่ำเสมอของความดันทานได้ด้วยความเร็วของเครื่องกรอสายลวด ผลทดสอบการวัดตำแหน่งรังสีเอกซ์ด้วยวิธีการวัดตำแหน่งเปรียบเทียบระหว่างวิธีวัดสัดส่วนประจุและวิธีการวัดเวลาขาขึ้นของสัญญาณพัลส์ พบว่าความสามารถในการแจกแจงตำแหน่งและความเป็นเชิงเส้นของการวัดตำแหน่ง ด้วยวิธีการวัดเวลาขาขึ้นของสัญญาณพัลส์ดีกว่าแบบวิธีการวัดสัดส่วนประจุ โดยความสามารถในการแจกแจงตำแหน่งและความเป็นเชิงเส้นดีขึ้นเป็น 1 mm FWHM และ 0.999 ตามลำดับ และมีระบบวัดที่ง่ายกว่า

3. ปี 1971 J.A. Cairns และ D.F. Holloway [1] ทำวิจัยเรื่อง A new proportional counter anode unit. งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโครงสร้างของเส้นแอนโอดในหัววัดรังสีเอกซ์ชนิดพรอพอร์ชันแนลโดยมีหน้าต่างรับรังสีอยู่ด้านหน้า เปลี่ยนลักษณะการยิงเส้นแอนโอดจากตามแนวศูนย์กลางของทรงกระบอกเป็นเชิงเส้นแอนโอดแบบตั้งฉากกับผนังแคโทด พบว่าทำให้ค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานดีขึ้น และสามารถวัดพลังงานรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานต่ำมากประมาณ 300 eV ได้

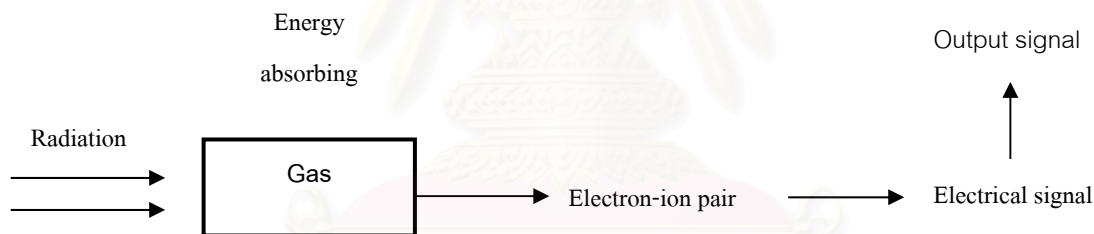
4. ปี 1973 J.A. Cairns, D.F. Holloway และ G.F. Snelling [4] ทำวิจัยเรื่อง A new compact soft x-ray gas flow proportional counter. งานวิจัยนี้เป็นการสร้างอุปกรณ์วัดรังสีที่ประกอบด้วยหัววัดรังสีเอกซ์ชนิดพรอพอร์ชันแนลแบบก๊าซไหลกับอุปกรณ์ขยายสัญญาณพลัสส่วนหน้า (Preamplifier) เข้าด้วยกันเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานและลดสัญญาณรบกวนภายในระบบวัดรังสีสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในระบบสุญญากาศ และเหมาะสำหรับใช้งานในเรื่องของ X-Ray Spectrometer จากการทดลองพบว่าทำให้ค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานของรังสีเอกซ์พลังงาน 5.9 keV ได้ 14.1% ที่ความดัน 760 มิลลิเมตร โดยใช้ก๊าซ P-10 เป็นก๊าซภายในหัววัดรังสี

5. ปี 1996 H. Sakurai, T. Tamura, S. Gunji and M. Noma [5] ทำวิจัยเรื่อง A new type of proportional counter using a capillary plate. งานวิจัยนี้เป็นการสร้างหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนลโดยใช้ Capillary plate ส่วนประกอบที่สำคัญของหัววัดรังสีนี้ประกอบไปด้วยมัดของแท่งแก้ว capillary ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง  $100\ \mu\text{m}$  ยาว  $800\ \mu\text{m}$  มีอิเล็กโทดอยู่บริเวณหัวท้ายของแท่งแก้ว หัววัดรังสีดังกล่าวสามารถเพิ่มค่า gas gain ให้สูงขึ้น โดยมีค่า gain สูงถึง  $10^4$  โดยที่หัววัดรังสีไม่เกิดความเสียหาย และได้ทำการทดลองวัดรังสีเอกซ์พลังงาน 5.9 keV ที่ gas gain 7000 มีค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงาน 26%

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

หัววัดรังสี (Radiation detector) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการตรวจวัดรังสี เนื่องจากหัววัดรังสีทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเปลี่ยนพลังงานของรังสีไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยอาศัยตัวกลางภายในหัววัดรังสีที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการรับอันตรกิริยานิวเคลียร์และเกิดการถ่ายโอนพลังงานจากรังสีไปยังตัวกลางนั้น ดังนั้นหัววัดรังสีจึงสามารถแบ่งประเภทตามชนิดของตัวกลางภายในหัววัดรังสี หัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซ (Gas-filled detector) เป็นหัววัดรังสีประเภทหนึ่ง ที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดรังสีอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีโครงสร้างและการทำงานไม่ซับซ้อน มีตัวกลางเป็นก๊าซบรรจุอยู่ในหัววัดรังสี อาศัยหลักการทำอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับตัวกลางภายในหัววัดรังสี เกิดการไอออไนซ์ก๊าซที่บรรจุอยู่ในหัววัดรังสี สร้างปริมาณคู่ของไอออน (Ion pair) ขึ้นในตัวกลางเกิดเป็นสัญญาณพัลส์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนภาพการตรวจวัดรังสีเบื้องต้น

### 2.1 หัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซ

หัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซสามารถแบ่งประเภทของหัววัดได้ตามคุณลักษณะการทำงานของก๊าซที่บรรจุและปริมาณการทำให้เกิดปริมาณคู่ไอออนได้ 3 ประเภท คือ

- 1.1 หัววัดรังสีแบบไอออไนเซชัน (Ionization chamber detector)
- 1.2 หัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนล (Proportional detector)
- 1.3 หัววัดรังสีแบบไกเกอร์ (Geiger-Muller detector)



ข. หัววัดรังสีแบบ  
ไอออนไนเซชัน [6]

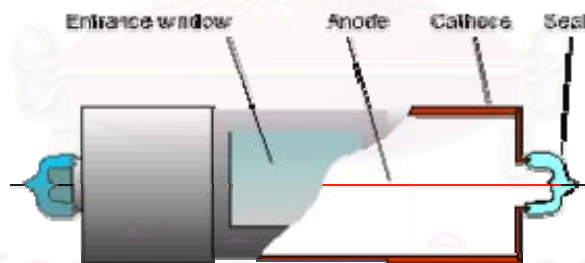
ข. หัววัดรังสีแบบ  
พรอพอร์ชันแนล [7]

ค. หัววัดรังสีแบบ ไกเกอร์ [7]

รูปที่ 2.2 หัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซชนิดต่างๆ

### 2.1.1 โครงสร้างของหัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซ

หัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซเป็นหัววัดรังสีที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ประกอบด้วยโลหะทรงกระบอกทำหน้าที่เป็นแคโทด (Cathode) มีเส้นลวดโลหะเป็นแกนตรงกลางทำหน้าที่เป็นแอโนด (Anode) บริเวณผิวด้านข้างของทรงกระบอกมีช่องสำหรับรับรังสีให้ผ่านเข้าไปยังภายในทรงกระบอก โดยช่องสำหรับรับรังสีถูกปิดไว้ด้วยวัสดุที่มีเลขอะตอมต่ำ หรือวัสดุโพลีเมอร์ที่บางมาก เรียกว่า “หน้าต่างรับรังสี (Entrance window)” ภายในทรงกระบอกนอกจากจะมีเส้นลวดโลหะแอโนดเป็นแกนตรงกลางแล้ว ยังบรรจุก๊าซเฉื่อยทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเกิดไอออนไนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

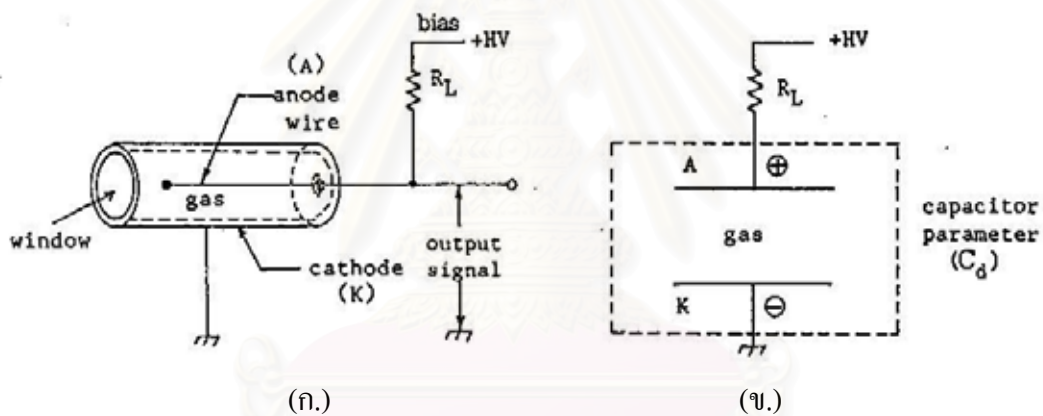


รูปที่ 2.3 โครงสร้างของหัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซ [8]

### 2.1.2 การไบอัสหัววัดรังสี

หัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซมีคุณสมบัติการทำงานเหมือนตัวเก็บประจุ ( $C_0$ ) โดยมีคู่อิเล็กโทรด (Electrode) เป็นโลหะทรงกระบอกทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าลบ หรือแคโทด เส้นลวดโลหะตรงกลางทรงกระบอกทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าบวก หรือแอโนด ส่วนก๊าซเฉื่อยที่บรรจุอยู่ภายในหัววัดรังสีทำหน้าที่เป็นสารไดอิเล็กตริกของตัวเก็บประจุ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยก๊าซเฉื่อยจะเป็นตัวกลางในการรับการถ่ายโอนพลังงานจากรังสีที่ผ่านเข้ามาทางหน้าต่างรับรังสี เกิดการไอ

ไอออนเป็นคู่ของอิเล็กตรอน-ไอออน (Ion-pair) ทำให้เกิดปริมาณประจุไฟฟ้าขึ้นภายในหัววัดรังสี ขั้วแอโนดและแคโทดที่เปรียบเสมือนคู่อิเล็กโตรด (Electrode) ของตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่รวบรวมปริมาณพาหะไฟฟ้า หรือประจุไฟฟ้าที่เกิดจากการไอออไนซ์ของก๊าซที่อยู่ในหัววัดรังสี ดังรูปที่ 2.5 การรวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีจำเป็นต้องอาศัยสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมจ่ายให้กับแอโนดและแคโทดของหัววัดรังสี เพื่อดึงเอาอิเล็กตรอนไปยังแอโนด และไอออนไปยังแคโทดของหัววัดรังสี ดังนั้นกระบวนการถ่ายโอนพลังงานจากรังสีไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าของหัววัดรังสี จึงจำเป็นต้องจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแก่แอโนดและแคโทดของหัววัดรังสี ในการสร้างสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เพื่อรวบรวมปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการไอออไนซ์ของก๊าซเนื้อ โดยจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงนี้ เรียกว่า “การไบอัส (Bias)” หากไม่มีการไบอัสไฟฟ้า ศักดาสูงให้กับหัววัดรังสีแล้ว เมื่อรังสีเข้าทำอันตรกิริยากับก๊าซเนื้อที่บรรจุภายในหัววัดรังสี เกิดเป็นคู่ของอิเล็กตรอน-ไอออน (Ion-pair) คู่ของอิเล็กตรอน-ไอออนดังกล่าวจะคืนสภาพกลับเป็นก๊าซเนื้อดั้งเดิม (Recombination) ไม่สามารถสร้างสัญญาณพัลส์ได้



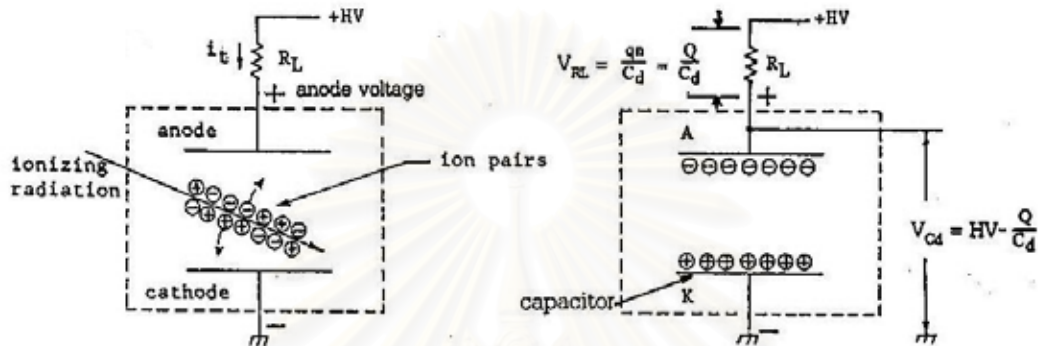
รูปที่ 2.4 วงจรของหัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซและวงจรสมมูล [9]

จากรูปที่ 2.4.ก ตัวต้านทาน  $R_L$  ทำหน้าที่จำกัดกระแสของพาหะไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในหัววัดรังสี ให้เพียงพอแก่การสร้างสัญญาณพัลส์ เมื่อพิจารณาวงจรหลังการไบอัสจะเห็นว่า มีลักษณะเป็นวงจรแบ่งศักดาไฟฟ้าระหว่าง  $C_d$  และ  $R_L$  ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ดังสมการที่ 2.1

$$\begin{aligned}
 HV &= V_{R_L} + V_{C_d} \\
 V_{R_L} &= \frac{qn}{C_d} = \frac{Q}{C_d} \quad \text{----- (2.1)}
 \end{aligned}$$

- เมื่อ  $q$  = ประจุของอิเล็กตรอน
- $n$  = จำนวนคู่ของไอออนอิเล็กตรอน

ในกระบวนการเกิดสัญญาณพัลส์ของหัววัดรังสีนั้น อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ภาวะการทำงาน คือ ภาวะแรก เป็นช่วงเวลาที่รังสีถ่ายโอนพลังงานให้กับก๊าซที่อยู่ในหัววัดรังสี ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-ไอออน เมื่อหัววัดรังสีได้รับการไบอัส อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกสนามไฟฟ้าของขั้วแอโนดของหัววัดรังสีดึงไปประจุบริเวณขั้วแอโนด และไอออนจะถูกดึงไปประจุบนขั้วแคโทดดังรูปที่ 2.5 เปรียบเสมือนหัววัดรังสีสภาวะแหล่งจ่ายประจุไฟฟ้าชั่วคราว



ข. คู่อิออนที่เกิดจากการ  
ไอออไนเซชัน

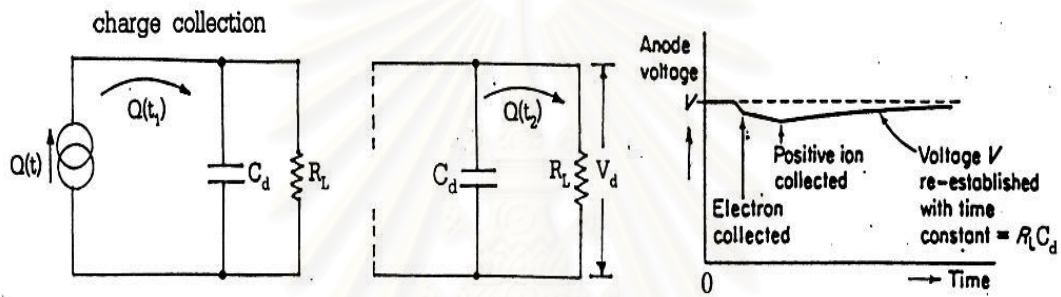
ง. สัญญาณที่เกิดขึ้นจากการ  
รวบรวมประจุ

รูปที่ 2.5 การเกิดสัญญาณบนหัววัดรังสี [9]

จากขั้นตอนนี้เวลาในการรวบรวมประจุไฟฟ้า (Collection time) จะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง เนื่องจากอิเล็กตรอนและไอออนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เท่ากัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่สู่ขั้วแอโนดอย่างรวดเร็ว (Electron collected) ส่วนไอออนจะเคลื่อนที่สู่ขั้วแคโทดช้ากว่าอิเล็กตรอน (Positive ion collected) การเก็บประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุจะสูงสุดเมื่ออิเล็กตรอนและไอออนเคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนดและแคโทดทั้งหมด ดังวงจรสมมูลในรูปที่ 2.6.ก เมื่อเสร็จสิ้นการถ่ายโอนพลังงานให้กับหัววัดรังสีและรวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะเกิดภาวะที่ 2 ตามมา คือ ภาวะการคายประจุออกจากหัววัดรังสีซึ่งเหมือนกับตัวเก็บประจุที่เก็บประจุนิ่งไว้และเริ่มคายประจุออกจากตัวผ่านตัวต้านทาน  $R_L$  และแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง โดยเปรียบได้กับวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.6.ข จากกระบวนการทั้ง 2 ภาวะดังกล่าว ทำให้เกิดการสร้างสัญญาณพัลส์เอกซ์โพเนนเชียลส์ของการวัดรังสีโดยมีขั้วไฟฟ้าด้านลบ ดังสมการที่ 2.2

$$V_d = -\frac{qn}{C_d} e^{-t/\tau_d} \quad \text{----- (2.2)}$$

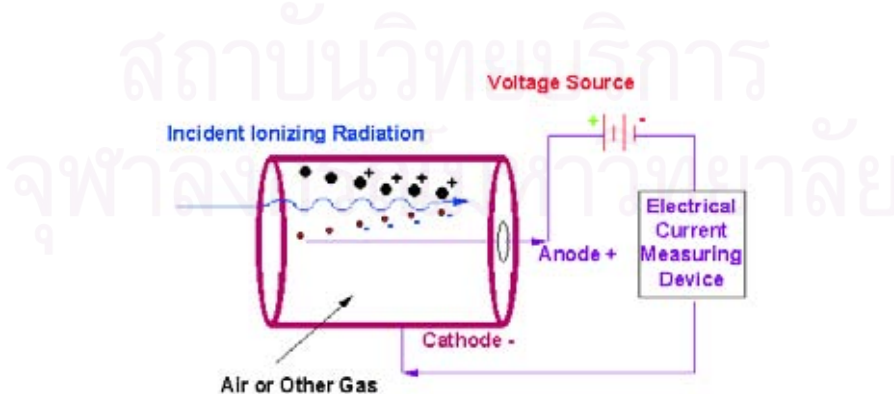
- เมื่อ  $V_d$  = ศักดาไฟฟ้าของสัญญาณ  
 $q$  = ประจุของอิเล็กตรอน  
 $n$  = จำนวนประจุที่เกิดขึ้น  
 $C_d$  = ค่าความจุของหัววัดรังสี  
 $R_L$  = ค่าความต้านทานจำกัดกระแส  
 $\tau_d$  = ค่าคงที่เวลา =  $R_L C_d$



- ก. วงจรสมมูลขณะรวบรวมประจุ (ภาวะที่ 1)  
 ข. วงจรสมมูลขณะรวบรวมประจุ (ภาวะที่ 2)  
 ค. รูปสัญญาณของหัววัดรังสีขณะรวบรวมประจุและคายประจุ

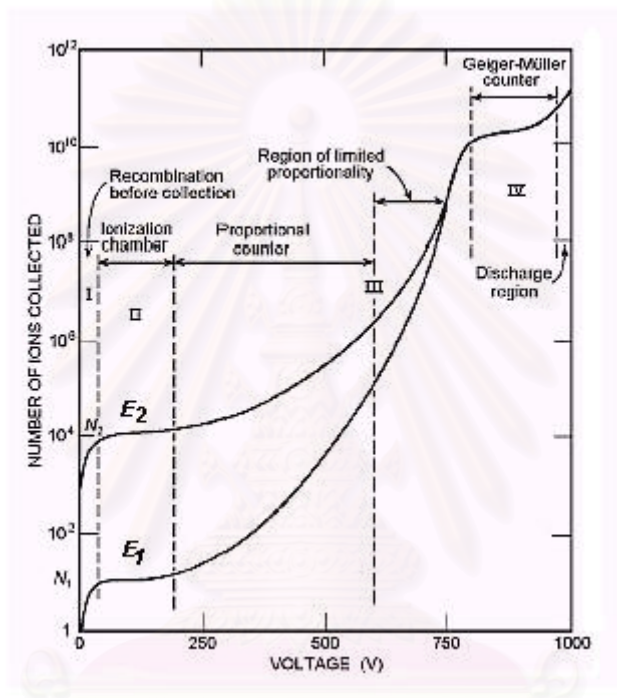
รูปที่ 2.6 การทำงานเบื้องต้นของหัววัดรังสี [9]

2.1.3 ย่านการทำงานของหัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซ



รูปที่ 2.7 การจัดอุปกรณ์ทดลองหาความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าที่แอโนด-แคโทดและปริมาณไอออนที่เกิดขึ้น [10]

จากที่กล่าวมาแล้วว่าการทำงานของหัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซจำเป็นต้องอาศัยการไบอัสหัววัดรังสี เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมแก่หัววัดรังสี การเพิ่มศักดาไฟฟ้าระหว่างแอโนดและแคโทดมากขึ้นเพื่อเพิ่มสนามไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหัววัดรังสี พบว่ามีผลต่อปริมาณไอออนที่รวบรวมได้บนขั้วไฟฟ้า ซึ่งคำนวณจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อต้นกำเนิดรังสีอยู่ในตำแหน่งที่คงที่ พลังงานคงที่ ดังแสดงตามเส้นกราฟแบ่งช่วงการทำงานเป็นย่านต่างๆ ดังรูปที่ 2.8 นอกจากนี้ชนิดของรังสีมีความสามารถในการทำให้เกิดการไอออไนซ์ต่างกัน ( $E_2$  และ  $E_1$ ) จะให้ผลต่อปริมาณไอออนด้วย



รูปที่ 2.8 ย่านการทำงานของก๊าซภายในหัววัดรังสี [9]

ช่วงที่ 1 เป็นช่วงการจ่ายศักดาไฟฟ้าต่ำมาก สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้ามีค่าไม่สูงพอ ส่งผลให้อัตราการรวบรวมประจุไฟฟ้าไม่ทันกับอัตราการรวมตัวของไอออนสู่สถานะก๊าซเดิม (Recombination) จึงเกิดปริมาณประจุที่ถูกรวบรวมน้อย เมื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้าสูงขึ้นจะสามารถรวบรวมปริมาณประจุได้เพิ่มมากขึ้น การทำงานของหัววัดรังสีในช่วงนี้จึงเรียกว่า “Recombination region”

ช่วงที่ 2 เมื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้าขึ้นสูงเกินกว่าช่วงที่ 1 ทำให้หัววัดรังสีมีสนามไฟฟ้ามากขึ้น และเพียงพอต่อการดันไม่ให้ปริมาณไอออนที่เกิดขึ้นกลับมารวมตัวเป็นก๊าซดั้งเดิม การรวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการไอออไนซ์ของรังสีสามารถรวบรวมได้ทั้งหมด ในช่วงนี้



ปริมาณประจุไฟฟ้าจะไม่แปรผันตามศักดาไฟฟ้าสูง ทั้งนี้เนื่องจากอันตรกิริยาในช่วงนี้เป็นการเกิดไอออนไนซ์ปฐมภูมิ (Primary ionization) เท่านั้น จึงมีปริมาณไอออนที่เกิดขึ้นคงที่ เรียกช่วงที่ 2 นี้ว่า "Ionization region" โดยช่วงการทำงานช่วงนี้ถูกนำมาใช้ในการทำงานของหัววัดรังสีแบบไอออนไนเซชัน

ช่วงที่ 3 ของการเพิ่มศักดาไฟฟ้านี้พบว่า เมื่อทำการเพิ่มศักดาไฟฟ้ามากขึ้นส่งผลให้ปริมาณประจุจะเพิ่มขึ้นตามศักดาไฟฟ้า คือ ปริมาณประจุไฟฟ้าจะแปรผันตามค่าศักดาไฟฟ้านั้นเอง เนื่องจากความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสี มีค่าสูงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนที่แยกตัวจากไอออนปฐมภูมิเคลื่อนด้วยความอัตราเร่งสูงไปยังแอโนด และมีพลังงานจลน์มากพอในการทำให้อะตอมของก๊าซเนื้อข้างเคียงเกิดการไอออนไนซ์อีกครั้ง เรียกการ ไอออนไนซ์ครั้งที่ 2 นี้ว่า "การไอออนไนซ์ทุติยภูมิ (Secondary ionization)" เป็นผลให้ปริมาณไอออนที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีมีปริมาณมากขึ้นเป็นทวีคูณ โดยปริมาณไอออนที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณไอออนที่เกิดจากการไอออนไนซ์ปฐมภูมิ และปริมาณไอออนที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อปริมาณไอออนที่เกิดจากการไอออนไนซ์ปฐมภูมิเรียกว่า "ค่าทวีปริมาณไอออนของก๊าซ (Gas multiplication factor)" เรียกช่วงการทำงานนี้ว่า "Proportional region" การเพิ่มศักดาไฟฟ้าในช่วงนี้หากเพิ่มสูงมากขึ้นจนถึงในช่วงปลายของช่วงการทำงาน ปริมาณไอออนที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะเริ่มไม่เป็นสัดส่วนกับไอออนปฐมภูมิเหมือนช่วงเริ่มต้น จึงเป็นบริเวณจำกัดการทำงานของหัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนล

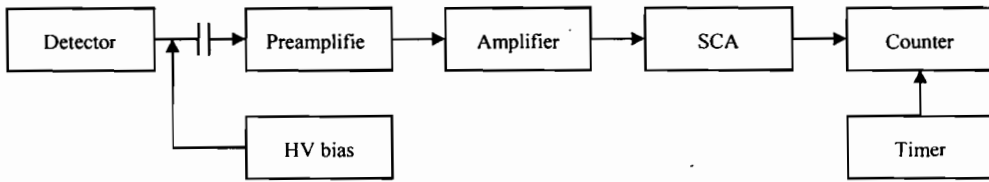
ช่วงที่ 4 ถ้าเพิ่มศักดาไฟฟ้าต่อจากช่วงที่ 3 ปริมาณไอออนจะสูงขึ้นอย่างมาก เนื่องจากค่าทวีปริมาณไอออนของก๊าซสูงมากเกิดการไอออนไนซ์ทั่วบริเวณ (Avalanche) ไอออนที่เกิดขึ้นจะไม่เป็นสัดส่วนกับการไอออนไนซ์ปฐมภูมิ สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงและไม่แปรผันตามพลังงานของหัววัดรังสีที่เกิดการไอออนไนซ์ เรียกช่วงการทำงานนี้ว่า "Geiger-Muller region" ซึ่งเป็นช่วงการทำงานของหัววัดรังสีแบบไกเกอร์

ในทางปฏิบัติจะออกแบบโครงสร้างของหัววัดรังสีให้ทำงานเฉพาะย่านการทำงานที่ต้องการย่านใดย่านหนึ่งเท่านั้น เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการวัดรังสีและการตอบสนองพลังงานของรังสีสูง ไม่สามารถทำงานได้ตลอดทั้งย่านการทำงานของหัววัดรังสีแบบบรรจุก๊าซในเส้นกราฟรูปที่ 2.8

#### 2.1.4 เส้นกราฟคุณลักษณะ (Plateau curve)

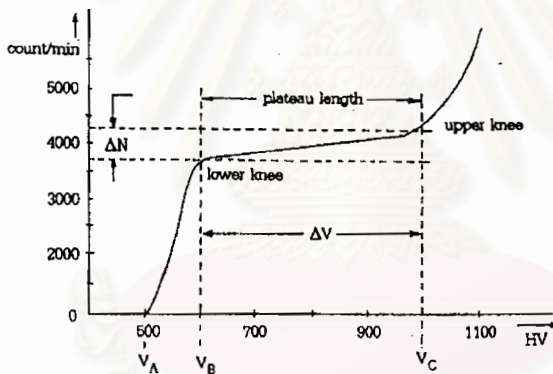
การทำงานของหัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซจะเป็นไปตามย่านการทำงานของหัววัดรังสีที่ได้รับการออกแบบ และจำเป็นต้องจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงกับขั้วแอโนดและแคโทดให้เหมาะสม การที่จะทราบได้ว่าควรเลือกจ่ายศักดาไฟฟ้าสูงเท่าใดที่เหมาะสมกับหัววัดรังสี จะพิจารณาจากเส้นกราฟคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละหัววัดรังสีนั้น ซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับรังสีและค่าศักดาไฟฟ้าสูง โดยจัดระบบวัดรังสีแบบนับรวม (Integral counting system)

\* Source



รูปที่ 2.9 การจัดระบบวัดเพื่อหาเส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีชนิดบรจูก๊าซ

จากระบบวัดในรูปที่ 2.9 เมื่อค่อยๆเพิ่มค่าศักดาไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง (HV bias) และบันทึกค่าจำนวนนับรังสีที่ค่าศักดาไฟฟ้าแต่ละค่าในหนึ่งหน่วยเวลา จะได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของค่าจำนวนนับรังสีกับค่าศักดาไฟฟ้า ข้อมูลของความสัมพันธ์ดังกล่าวเมื่อนำไปเขียนเป็นเส้นกราฟจะได้เส้นกราฟของหัววัดรังสี เรียกเส้นกราฟนี้ว่า “เส้นกราฟคุณลักษณะหรือเส้นกราฟปลาโต (Plateau curve)” ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีชนิดบรจูก๊าซ [9]

เมื่อพิจารณาเส้นกราฟจะเห็นได้ว่า ในการเพิ่มค่าศักดาไฟฟ้าช่วงแรกนั้นจะไม่สามารถนับจำนวนรังสีที่เกิดขึ้น จนเมื่อเพิ่มค่าศักดาไฟฟ้าถึงจุด  $V_A$  ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นการทำงานของหัววัดรังสี (Starting voltage) จำนวนนับรังสีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุด  $V_B$  จำนวนนับรังสีจะค่อนข้างคงที่จนถึงจุด  $V_C$  เรียกช่วง  $V_B - V_C$  ว่า “ช่วงปลาโต” ซึ่งอยู่ระหว่างช่วงการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟอย่างรวดเร็วจนถึงจุด  $V_C$  เรียกช่วง  $V_B - V_C$  ว่า “ช่วงปลาโต” และเมื่อเพิ่มศักดาไฟฟ้ามากกว่าจุด  $V_C$  อีกเล็กน้อยจะเกิดการคิสรารจของก๊าซ ทำให้ จำนวนนับรังสีจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่าศักดาไฟฟ้าที่ใช้กับหัววัดรังสีจะเริ่มใช้ช่วง 25%-50% ของช่วงปลาโต และเส้นกราฟปลาโตนี้จะบอกถึงสมรรถนะของหัววัดรังสีจากความชันของช่วงปลาโต ดังสมการที่ 2.3

$$\text{ความชันพลาโต} = \frac{100(\Delta N/N)}{\Delta V} (100) \quad \text{-----} (2.3)$$

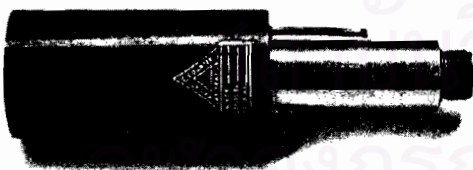
เมื่อ  $\Delta N/N$  = อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่านับรังสีสัมพัทธ์  
 $\Delta V$  = ค่าศักดาไฟฟ้าระหว่างการเปลี่ยนแปลงอัตรานับ

## 2.2 หัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนล

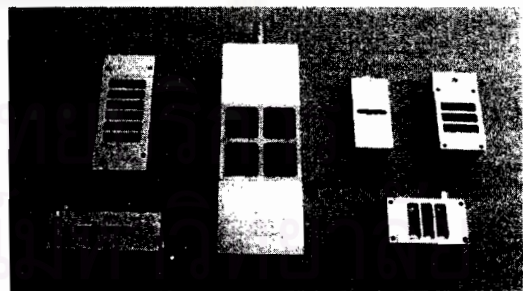
### 2.2.1 โครงสร้างและชนิดของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล

โครงสร้างของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล จะมีรูปร่างแตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งานและการเลือกใช้ก๊าซที่บรรจุแตกต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของรังสีที่จะทำการตรวจวัด นอกจากนี้หัววัดรังสียังสามารถแยกประเภทของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลตามลักษณะการรักษาปริมาณก๊าซภายในหัววัดรังสี ได้ดังนี้

1. หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลชนิดบรรจุก๊าซปิดสนิท (Sealed gas proportional detector) หัววัดรังสีชนิดนี้จะบรรจุก๊าซภายในหัววัดรังสีและถูกปิดสนิท เพื่อรักษาความดันก๊าซภายในหัววัดรังสีและป้องกันไม่ให้ก๊าซภายในรั่วไหลออกภายนอกหัววัดรังสี หัววัดรังสีประเภทนี้มีอยู่หลายกลุ่มตามคุณสมบัติการวัดรังสี ได้แก่ หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลสำหรับวัดโปรตอน และนิวตรอน หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลสำหรับวัดรังสีเอกซ์ ดังรูปที่ 2.11



ก. หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล  
สำหรับวัดโปรตอน [11]



ข. หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล  
สำหรับวัดรังสีเอกซ์ [7]

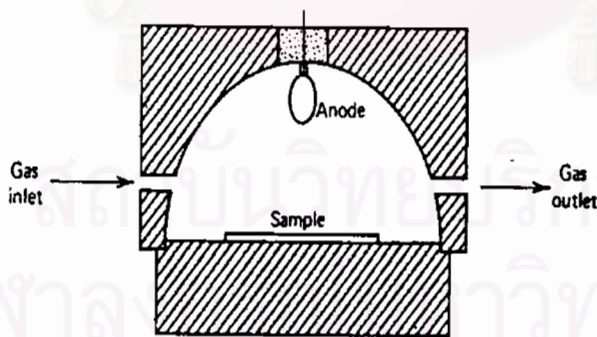
รูปที่ 2.11 หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลชนิดบรรจุก๊าซปิดสนิท

2. หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลชนิดก๊าซไหลผ่าน (Gas flow detector) เป็นหัววัดรังสีชนิดที่ใช้ก๊าซเป็นตัวกลางในการวัดรังสี โดยให้ก๊าซไหลผ่านภายในหัววัดรังสี หัววัดรังสีชนิดนี้จะปิดไม่สนิท โดยมีท่อเพื่อให้ก๊าซไหลเข้าและไหลออกจากหัววัดรังสีดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลชนิดก๊าซไหล [11]

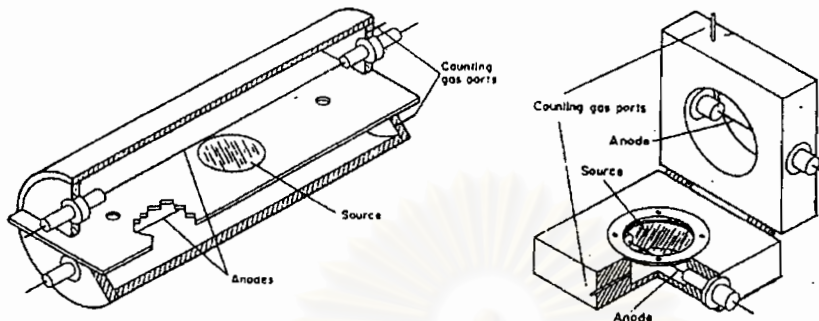
หัววัดรังสีชนิดนี้มีประโยชน์สำหรับการวัดรังสีที่มีพลังงานต่ำซึ่งสูญเสียพลังงานให้สถานะแวดล้อมได้ง่าย เนื่องจากการวัดรังสีจะบรรจุสารตัวอย่างไว้ภายในหัววัดรังสี เพื่อลดการสูญเสียพลังงานของรังสีในการไอออไนซ์ของรังสีในอากาศ และลดการดูดกลืนหรือกระเจิงกลับที่หน้าต่างของหัววัดรังสีพร้อมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพในการวัด หัววัดรังสีแบบก๊าซไหลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ในประเภทแรกนั้นเป็นหัววัดรังสีแบบครึ่งวงกลม หรือหัววัดรังสีแบบ  $2\pi$  ดังรูปที่ 2.13 โดยให้ศักดาไฟฟ้ากับห่วงลวดที่ติดอยู่ด้านบนของครึ่งวงกลม ซึ่งเป็นขั้วแอโนด ก๊าซจะไหลอย่างช้าๆ (20-50 ml/min) ผ่านหัววัดรังสีโดยที่อัตราการไหลของก๊าซถูกควบคุมโดยตัวควบคุม (Gas regulator) ที่ด้านทางออก



รูปที่ 2.13 หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลแบบ  $2\pi$  [12]

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่าหัววัดรังสีรูปครึ่งวงกลมนั้นจะวัดรังสีได้เพียงด้านเดียวเท่านั้น การเพิ่มประสิทธิภาพการวัดรังสีจะมีหัววัดรังสีประเภทที่ 2 ที่สามารถวัดรังสีได้ทั้ง 2 ด้าน โดยแหล่งกำเนิดรังสีหรือตัวอย่างที่ต้องการวัดรังสีจะวางอยู่ภายในกึ่งกลางระหว่างเส้นลวดโลหะ

แอดโนด 2 เส้น เรียกหัววัดรังสีประเภทนี้ว่า “หัววัดรังสีแบบทรงกลม หรือ หัววัดรังสีแบบ  $4\pi$ ” ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลแบบ  $4\pi$  [9]

### 2.2.2 สนามไฟฟ้าของหัววัดรังสี (Electric field)

สนามไฟฟ้าของหัววัดรังสีที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสี เกิดขึ้นจากการไบอัสหัววัดรังสีที่ขั้วแอดโนดและแคโทด เมื่อโครงสร้างและลักษณะการจัดวางของขั้วแอดโนดและรูปร่างแคโทดเปลี่ยนรูปร่างไป ส่งผลให้การสร้างสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีมีค่าความเข้มและทิศทางของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป พฤติกรรมการรวบรวมประจุไฟฟ้าของหัววัดรังสีก็จะแตกต่างกันออกไปตามโครงสร้างและลักษณะการจัดวางขั้วแอดโนดและแคโทดของหัววัดรังสี โดยทั่วไปหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลจะออกแบบโครงสร้างแอดโนดและแคโทดให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยคำนึงถึงค่าสนามไฟฟ้าและความสม่ำเสมอของค่าสนามไฟฟ้า หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลนิยมออกแบบโครงสร้างเป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นลวดโลหะแอดโนดเป็นแกนตรงกลาง มีโลหะทรงกระบอกเป็นแคโทด สามารถคำนวณหาค่าสนามไฟฟ้าของหัววัดรังสีที่มีรูปทรงกระบอก ( $E(r)$ ) ได้จากสมการที่ 2.4 [3]

$$E(r) = \frac{V_0}{r \ln(b/a)} \quad \text{----- (2.4)}$$

เมื่อ

$V_0$  = ศักดาไฟฟ้าไบอัส

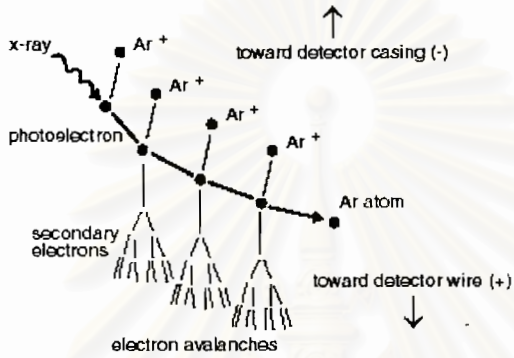
$a$  = รัศมีของเส้นลวดโลหะแอดโนด

$b$  = รัศมีของทรงกระบอก

$r$  = ระยะห่างจากศูนย์กลางของหัววัดรังสี

### 2.2.3 ค่าทวีปริมาณไอออนของก๊าซ (Gas multiplication factor) และชนิดของก๊าซ

หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลเป็นหัววัดรังสีที่ถูกออกแบบมาให้ทำงานในย่านการทำงานพรอพอร์ชันแนล (Proportional region) บนเส้นกราฟคุณลักษณะการทำงานของหัววัดรังสีชนิดบรรจุก๊าซ ดังรูปที่ 2.8 การทำงานของหัววัดรังสีในย่านนี้ สนามไฟฟ้าระหว่างแอโนดและแคโทดจะสูงกว่าในย่านไอออไนเซชัน ดังนั้นเมื่อรังสีไอออไนซ์กับก๊าซที่อยู่ในหัววัดรังสี เกิดการไอออไนซ์ปฐมภูมิอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมีพลังงานจลน์มากพอ เมื่อเคลื่อนที่สู่แอโนดทำให้เกิดการไอออไนซ์ครั้งใหม่ได้อีก หรือ ไอออไนซ์ทุติยภูมิ (Secondary ionization) ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การทำงานของก๊าซขณะวัดรังสีเอกซ์ในย่านพรอพอร์ชันแนล [10]

ส่งผลให้เกิดการไอออไนซ์ของกลุ่มก๊าซเป็นคู่ไอออนมากขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “Townsend avalanche” [12] ปริมาณของไอออนที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อปริมาณไอออนที่เกิดจากการไอออไนซ์ปฐมภูมิ เรียกว่า “ค่าทวีปริมาณไอออนของก๊าซ ( $M$ )” สามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$M = \frac{\text{ปริมาณไอออนที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีทั้งหมด}}{\text{ปริมาณไอออนที่เกิดจากการไอออไนซ์ปฐมภูมิ}} \quad \text{----- (2.5)}$$

จากรูปที่ 2.15 แสดงถึงลักษณะการทำงานของก๊าซในหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล ขณะทำการวัดรังสี ปริมาณของไอออนที่เกิดขึ้นในหัววัดรังสีทั้งหมด ( $Q$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.6

$$Q = M \cdot n_{av} \cdot q = \frac{ME}{W} \cdot q \quad \text{----- (2.6)}$$

- เมื่อ
- $E$  = พลังงานของรังสีที่ผ่านเข้าไปในหัววัดรังสี
  - $n_{av}$  = จำนวนไอออนเฉลี่ยที่เกิดขึ้น
  - $W$  = พลังงานที่ใช้ในการกำเนิดคู่ไอออน 1 คู่
  - $q$  = ประจุของอิเล็กตรอน

จากลักษณะการทำงานของก๊าซบริเวณช่วงพอร์ซันแนลดังรูปที่ 2.15 การทวีปริมาณคู่ของไอออนในก๊าซ เป็นคุณลักษณะการเพิ่มขึ้นของปริมาณไอออนซึ่งเป็นไปตามสมการของ Townsend ดังนี้ [12]

$$n(x) = n(0)e^{\alpha x} \quad \text{----- (2.7)}$$

เมื่อ  $\alpha$  = สัมประสิทธิ์ Townsend ตัวแรกของก๊าซ  
 $x$  = ระยะทางเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

ค่าปริมาณไอออน ( $n$ ) หาได้จาก

$$\int_{n_0}^{n_x} \frac{dn}{n} = \alpha \int dx$$

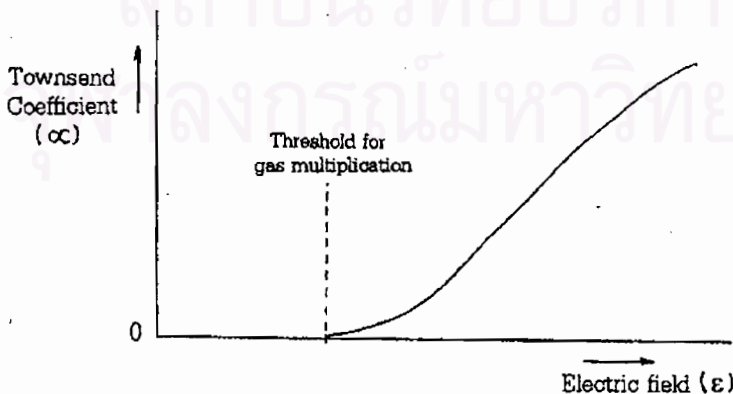
$$\ln n \Big|_{n_0}^{n_x} = \alpha x$$

$$\ln n(x) - \ln n(0) = \alpha x$$

$$\ln \frac{n(x)}{n(0)} = \alpha x$$

ดังนั้น  $n(x) = n(0)e^{\alpha x} \quad \text{----- (2.8)}$

จากสมการที่แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นเป็นไปตามลักษณะการเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียลตามระยะทางเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และค่าสัมประสิทธิ์ Townsend ของก๊าซตัวแรก ( $\alpha$ ) จะเพิ่มขึ้นเมื่อสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นดังแสดงในเส้นกราฟรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ Townsend กับความเข้มสนามไฟฟ้า [12]

ได้มีการศึกษาค่าทวีปริมาณไอออนของก๊าซ (M) ในโครงสร้างรูปทรงกระบอกของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการทวีปริมาณไอออนเป็นไปตามสมการที่ 2.9 [12]

$$\ln M = \frac{V}{\ln[b/a]} \cdot \frac{\ln 2}{\Delta V} \left[ \ln \frac{V}{pa \ln[b/a]} - \ln K \right] \quad \text{----- (2.9)}$$

- เมื่อ  $V$  = ศักย์ไฟฟ้าสูงที่จ่ายให้แอโนดและแคโทด  
 $a$  = รัศมีของเส้นลวดแอโนด  
 $b$  = รัศมีของแคโทด  
 $p$  = ความดันก๊าซที่บรรจุ  
 $K$  = ค่าต่ำสุดของ  $\epsilon/p$  ที่เป็นจุดก่อนเกิดการทวีปริมาณไอออน

ค่า  $\Delta V$  และ  $K$  เป็นค่าคงที่สำหรับก๊าซชนิดนั้นๆที่ใช้บรรจุในหัววัดรังสี ตามปกติ การทวีปริมาณไอออนอันเป็นผลจากการเกิดไอออนในซ์ทุติยภูมิ แต่มีบางโอกาสที่อิเล็กตรอนถ่ายโอนพลังงานให้อะตอมก๊าซแต่ไม่เกิดไอออนในซ์ อะตอมนี้จะรับภาวะกระตุ้นและคืนสู่ภาวะกราวด์พร้อมทั้งปลดปล่อยโฟตอนที่มีความยาวคลื่นในช่วงตามองเห็นถึงช่วงรังสีเหนือม่วงและมีพลังงานสูงพอที่จะทำให้เกิดไอออนในซ์ชั้นในอะตอมที่มีแรงยึดเหนี่ยวของชั้นโคจรน้อยลง รวมทั้งโฟตอนจะไปกระตุ้นผนังของแคโทดให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนทำให้ปริมาณไอออนที่เกิดโดยรวมไม่เป็นสัดส่วนกับพลังงานและสูญเสียความเป็นเชิงเส้นในช่วงการทำงานของหัววัดพรอพอร์ชันแนล การระงับการเกิดภาวะดังกล่าวจึงมีการผสมก๊าซที่องค์ประกอบโมเลกุลมีหลายอะตอมเข้าไปในก๊าซหลักเล็กน้อย ได้แก่ ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) หรือ คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) เป็นต้น เป็นการช่วยลดผลการเหนี่ยวนำของโฟตอน (Photon-induced effect) ด้วยการดูดกลืนพลังงานโฟตอนที่เกิดขึ้น ก๊าซที่ผสมเข้าไปนี้เรียกว่า “Quench gas” ในทางปฏิบัติก๊าซที่ใช้ในหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลจะมีค่าองค์ประกอบของการทวีปริมาณไอออน (M) ต่ำกว่า  $10^2$  เท่า นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่รวดเร็วกว่าไปยังแอโนด เมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ของไอออนบวกที่ช้ากว่าและค่อยๆ แพร่ผ่านก๊าซในหัววัดรังสีไปยังผนังแคโทด จะทำให้เกิดภาวะ space charge รอบแอโนดขึ้น ปรากฏการณ์นี้จะทำให้ความเข้มสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงก่อให้เกิดความไม่เป็นเชิงเส้นของค่าทวีปริมาณก๊าซอันเป็นผลกระทบต่อความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัดรังสีด้วย ทั้งนี้ขึ้นกับคุณสมบัติของก๊าซแต่ละชนิด



ตารางที่ 2.1 แสดงค่า  $\Delta V$  และ  $K$  สำหรับก๊าซชนิดต่างๆที่บรรจุนในหัววัดรังสี [12]

| Gas Mixture                                  | K<br>( $10^4$ V/cm $\cdot$ atm) | V<br>$\Delta v$ |
|--|---------------------------------|-----------------|
| 90% Ar, 10% CH <sub>4</sub> (P-10)           | 4.8                             | 23.6            |
| 95% Ar, 5% CH <sub>4</sub> (P-5)             | 4.5                             | 21.8            |
| 100% CH <sub>4</sub> (methane)               | 6.9                             | 36.5            |
| 100% C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (propane) | 10.0                            | 29.5            |
| 96% He, 4% isobutane                         | 1.48                            | 27.6            |
| 75% Ar, 15% Xe, 10% CO <sub>2</sub>          | 5.1                             | 20.2            |
| 69.4% Ar, 19.9% Xe, 10.7% CH <sub>4</sub>    | 5.45                            | 20.3            |
| 64.6% Ar, 24.7% Xe, 10.7% CO <sub>2</sub>    | 6.0                             | 18.3            |
| 90% Xe, 10% CH <sub>4</sub>                  | 3.62                            | 33.9            |
| 95% Xe, 5% CO <sub>2</sub>                   | 3.66                            | 31.4            |

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสามารถในการแจกแจงพลังงานของก๊าซต่างๆ [12]

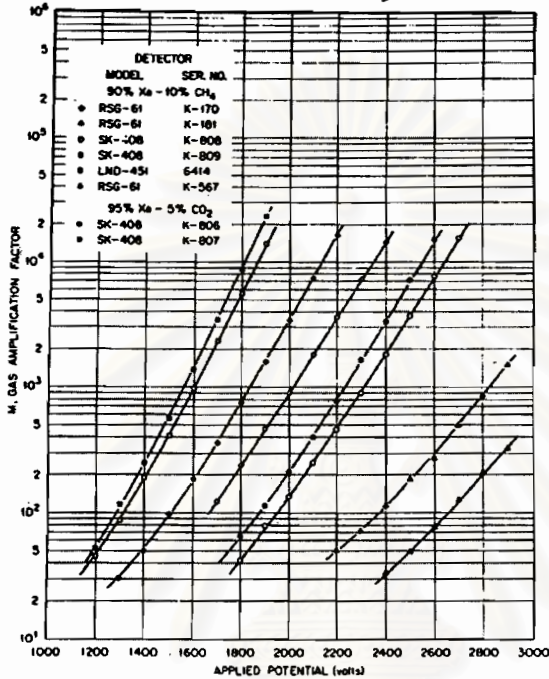
| Gas                                     | W<br>(eV/ion pair) | Fano Factor F           |               | Multiplication |
|---|--------------------|-------------------------|---------------|----------------|
|   |                    | Calculated <sup>1</sup> | Measured      | Variance b     |
| Ne                                      | 36.2               | 0.17                    |               | 0.45           |
| Ar                                      | 26.2               | 0.17                    |               | 0.5            |
| Xe                                      | 21.5               |                         | น้อยกว่า 0.17 |                |
| Ne + 0.5% Ar                            | 25.3               | 0.05                    |               | 0.38           |
| Ar + 0.5% C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | 20.3               | 0.075                   | น้อยกว่า 0.09 | 0.43           |
| Ar + 0.8% CH <sub>4</sub>               | 26                 | 0.17                    | น้อยกว่า 0.43 |                |
| Ar + 10% CH <sub>4</sub>                | 26 <sup>1</sup>    |                         |               | 0.5            |

<sup>1</sup>From Alkhozov et al.<sup>20</sup>

<sup>1</sup>From Wolff.<sup>50</sup>

Source: Adapted from Sipila.<sup>57</sup>

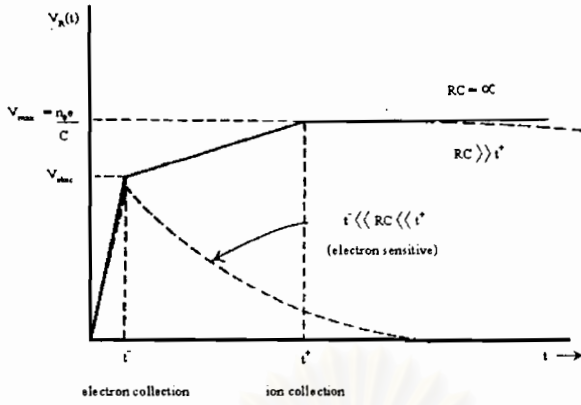
จากสมการที่ 2.9 หากทำการแปรเปลี่ยนค่าศักดาไฟฟ้าให้สูงขึ้น พบว่าค่าทวีคูณปริมาณไอออนของก๊าซสูงขึ้นตามไปด้วย โดยก๊าซที่ใช้บรรจุในหัววัดรังสีจะมีค่าทวีคูณปริมาณไอออนของก๊าซที่แตกต่างกัน ดังเส้นกราฟรูปที่ 2.17



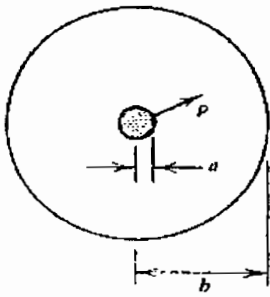
รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักดาไฟฟ้ากับค่าทวีคูณปริมาณไอออนของก๊าซ [12]

### 2.3.4 รูปลักษณะสัญญาณพัลส์ของหัววัดรังสี

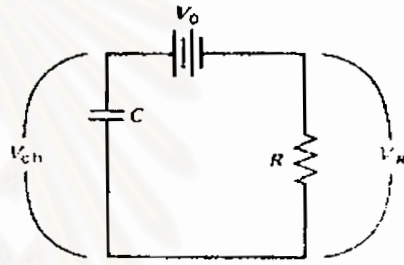
ขณะเกิดอันตรกิริยาในหัววัดรังสีทั้งอิเล็กตรอนและไอออนบวกจะเกิดบริเวณรอบๆเส้นโลหะแอโนด ขนาดของสัญญาณที่เกิดขึ้นในช่วงที่มีการรวบรวมประจุเกือบทั้งหมดเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออน มีเพียงประมาณ 2% ของช่วงเวลาสัญญาณพัลส์เท่านั้นที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนดังแสดงรูปสัญญาณในรูปที่ 2.18 ดังนั้นการหาขนาดของพัลส์จะคำนวณจากผลของไอออนที่เริ่มเคลื่อนที่จากผิวแอโนดนอกจากนี้ความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออน (Ion mobility) ยังมีผลต่อเวลาขาขึ้น (Rise time) ของสัญญาณพัลส์ด้วย ในรูปที่ 2.19 แสดงภาคตัดขวางของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลรูปทรงกระบอกที่มีขนาดรัศมีของเส้นลวดโลหะแอโนดและกระบอกแคโทด เท่ากับ  $a$  และ  $b$  ตามลำดับ ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของเวลาในการเคลื่อนที่ของไอออนและขนาดของสัญญาณพัลส์เมื่อการรับอันตรกิริยาจากรังสีเกิดที่บริเวณแอโนดได้ดังนี้



รูปที่ 2.18 รูปสัญญาณพัลส์จากหัววัดรังสี [12]



ก. ภาคตัดขวางของหัววัดรังสี



ข. วงจรสมมูลย์ของหัววัดรังสี

รูปที่ 2.19 การเกิดสัญญาณพัลส์เนื่องจากไอออน [12]

ก. ความเร็วของไอออนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{\mu \epsilon}{p} \quad \text{----- (2.10)}$$

เมื่อ  $v$  = ความเร็วครีฟ (drift velocity)

$p$  = ความดันก๊าซของหัววัดรังสี

$\mu$  = ความสามารถในการเคลื่อนที่ของไอออน

$r$  = รัศมีที่ตำแหน่งใดๆ

$\epsilon$  = ค่าสนามไฟฟ้า

ความเข้มสนามไฟฟ้าที่ระยะห่างจากแอโนด  $r$  มีค่าเป็น

$$\epsilon = \frac{V_0}{r \ln(b/a)} \quad \text{----- (2.11)}$$

ดังนั้นจากสมการที่ 2.10 เมื่อแทนค่า  $\epsilon(r)$  จะได้ความเร็วของไอออนจะมีค่า

$$\frac{dr}{dt} = \frac{\mu V_0}{r \ln(b/a)} \quad \text{----- (2.12)}$$

อินทิเกรตสมการที่ 2.12 โดยคิดว่าไอออนบวกทุกตัวเริ่มจากระยะทาง  $a$  ที่  $t = 0$

$$r(t) = \left( \frac{2\mu V_0 t}{\rho \ln(b/a)} + a^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{----- (2.13)}$$

เมื่อแทนค่า  $r(t) = b$  หรือระยะเคลื่อนที่ถึงผนังแคโทดจะได้เวลาที่ไอออนบวกใช้ในการเคลื่อนที่จากรัศมี  $a$  ถึง  $b$  คือ  $t^+$  จะได้

$$t^+ = \frac{(b^2 - a^2) \rho \ln(b/a)}{2V_0 \mu} \quad \text{----- (2.14)}$$

ข. การดูคลื่นพลังงานในตัวกลางของหัววัดรังสีขณะประจุบวกเคลื่อนผ่านศักดาไฟฟ้าหาได้จาก

$$dE = -Q \Delta V \quad \text{----- (2.15)}$$

และสนามไฟฟ้าบริเวณความต่างศักย์ไฟฟ้า  $\Delta V$  มีค่า

$$\epsilon_r = -\frac{d\Delta V}{dr} \quad \text{----- (2.16)}$$

จากสมการที่ 2.10, 2.14 และ 2.15 จะได้ความสัมพันธ์ของ

$$\frac{dE}{dr} = Q \epsilon_r = Q \frac{V_0}{r \ln(b/a)} \quad \text{----- (2.17)}$$

ดังนั้นพลังงานที่ถูกใช้ไปสำหรับการเคลื่อนที่ของไอออนในสนามไฟฟ้าจะเท่ากับ

$$E^+(t) = \frac{QV_0}{\ln(b/a)} \int_a^{r(t)} \frac{dr}{r} = \frac{QV_0}{\ln(b/a)} \ln \frac{r(t)}{a} \quad \text{----- (2.18)}$$

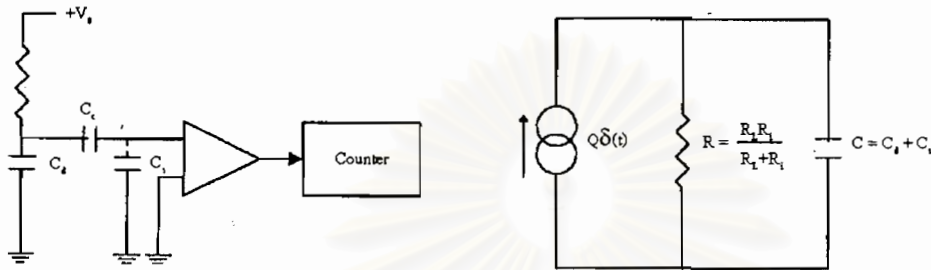
จากสมการที่ 2.12 และความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าและประจุที่เกิดขึ้นจะได้

$$V_R(t) = \frac{E^+(t)}{CV_0}$$

หรือ

$$V_R(t) = \frac{Q}{2C \ln(b/a)} \ln \left( 1 + \frac{b^2 t}{a^2 t^+} \right) \quad \text{----- (2.19)}$$

จากสมการที่ 2.19 สามารถหาขนาดสัญญาณที่เวลาใดๆและเมื่อเวลา  $t$  ผ่านไปถึง  $t^+$  ขนาดของสัญญาณพัลส์จะเท่ากับ  $Q/C$  ดังนั้นการคำนวณสัญญาณพัลส์ของหัววัดรังสีจึงสามารถแทนหัววัดรังสีด้วยแหล่งจ่ายกระแสที่ให้กระแสในรูปพัลส์ของดิเรกเดลตาฟังก์ชัน (Dirac Delta Function)  $Q\delta(t)$  ไหลผ่านความจุ  $C$  และความต้านทาน  $R$  ต่อขนานดังในวงจรรูปที่ 2.20



ก. วงจรสมมูลแบบพัลส์

ข. วงจรสมมูลของหัววัดรังสี

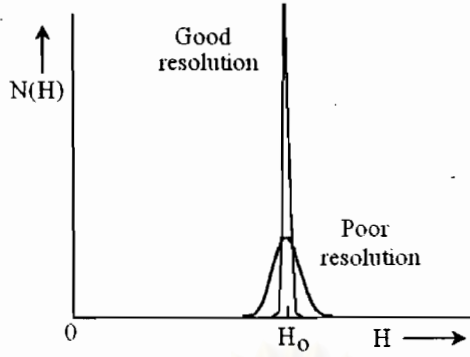
รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลของหัววัดรังสีและระบบวัดรังสี [9]

จากรูปที่ 2.20.ข สักคาไฟฟ้าที่ปรากฏบนความจุ  $C$  ซึ่งขนานกับความต้านทาน  $R$  เขียนตามทฤษฎีวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า จะให้สักคาไฟฟ้าของสัญญาณพัลส์ดังนี้

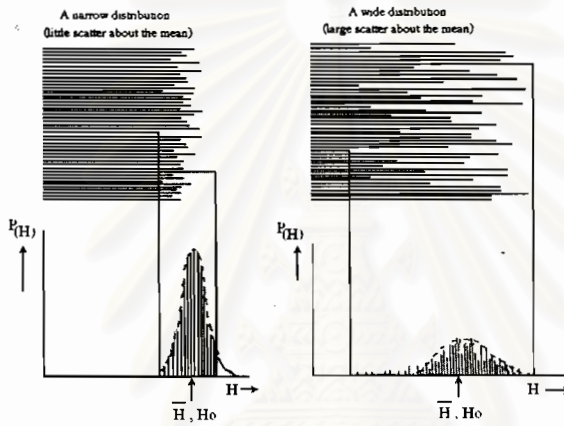
$$V(t) = \frac{Q}{C} e^{-t/RC} \quad \text{----- (2.20)}$$

### 2.2.5 ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน (Energy Resolution)

ความสามารถในการแจกแจงพลังงานเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับบ่งบอกคุณภาพของหัววัดรังสีในการวิเคราะห์พลังงาน ในการวัดรังสีพลังงานเดี่ยวของหัววัดรังสีนั้น อันตรกิริยาการถ่ายโอนพลังงานเดี่ยวแก่ตัวกลางในหัววัดรังสีแต่ละครั้งมีความแปรปรวนขึ้นกับโอกาสการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นจึงทำให้มีการเบี่ยงเบนความสูงของพัลส์และได้ลักษณะของสเปกตรัมในลักษณะของการกระจายค่าความสูงพัลส์แบบเกาส์เซียน (Gaussian) ซึ่งมีความกว้างของพีคต่างกันตามคุณสมบัติของหัววัดรังสีแต่ละชนิด ดังในรูปที่ 2.21 และผลการเบี่ยงเบนความสูงของพัลส์จากการทำงานในหัววัดรังสีในรูปที่ 2.22

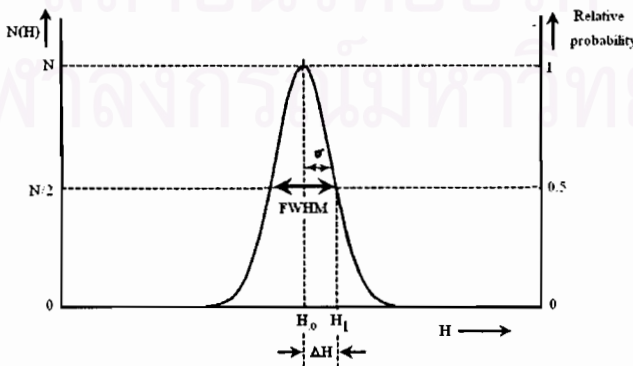


รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบลักษณะของสเปกตรัมพลังงานหรือความสูงของพัลส์ [12]



รูปที่ 2.22 ผลของการเบี่ยงเบนความสูงของพัลส์ต่อความกว้างของพีคพลังงาน [12]

นิยามของการวัดความสามารถในการแจกแจงพลังงานจากพีคของสเปกตรัม “FWHM (Full Width at Half Maximum)” หมายถึงความกว้างของพีค ณ ตำแหน่งที่จำนวนนับมีค่าครึ่งหนึ่ง แสดงในรูปที่ 2.23 คือบริเวณจุดตัดของค่า  $N/2$  กับเส้นกราฟ  $dN(H)/dH$  และสมการของความสามารถในการแจกแจงพลังงานเขียนได้เป็น



รูปที่ 2.23 นิยามของความสามารถในการแจกแจงพลังงาน [9]

$$R = \frac{FWHM}{H_0} \quad \text{----- (2.21)}$$

เมื่อ  $R$  = ค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงาน  
 $FWHM$  = Full Width at Half Maximum  
 $H_0$  = ค่าความสูงของสัญญาณพัลส์จากการวัดพลังงาน

ในการวัดรังสีของหัววัดรังสีความสูงของพัลส์จะเป็นไปตามค่าพลังงาน ( $E$ ) โดย  $V(t)$  คือ  $Q/C$ , ตามสมการที่ 2.20 ซึ่งหมายถึงความสูงของพัลส์เป็นสัดส่วนตามจำนวนประจุที่เกิดขึ้นและถูกรวบรวมบนค่าความจุของหัววัดรังสี ความแปรปรวนของจำนวนประจุที่เกิดจากการถ่ายโอนพลังงานในหัววัดรังสีในเชิงสถิติ เป็นผลให้รูปฟิตความแปรปรวนของพลังงานบนสเปกตรัมมีการกระจายแบบเกาส์เซียน โดยสมการของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^k (n_i - \bar{n})}{k} \quad \text{----- (2.22)}$$

เมื่อ  $n_i$  = จำนวนประจุที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งของการวัดรังสี  $k$  ครั้ง  
 $\bar{n}$  = ค่ามีน (mean) ของจำนวนประจุที่เกิดขึ้น

ในรูปที่ 2.23 ความคลาดเคลื่อนในเชิงสถิติของพลังงานหรือความสูงของพัลส์ บนเส้นกราฟของการกระจายค่าแบบเกาส์เซียนจะให้ค่าความน่าจะเป็น (Probability) ของ  $P_{(H)}$  ที่ค่า  $H$  แปรเปลี่ยนในช่วง  $\Delta H$  ดังนี้

$$P_{(H)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(H-H_0)^2/2\sigma^2} \quad \text{----- (2.23)}$$

จากสมการที่ 2.23 ณ ตำแหน่ง  $H_0$  หรือ  $H_1 - H_0 = 0$  นั้น  $P_{(H)}$  จะมีค่า  $1/\sigma\sqrt{2\pi}$  ดังนั้นที่บริเวณการเปลี่ยนแปลงของ  $\Delta H = H_1 - H_2 = 0.5$  ซึ่งเป็นช่วงการเปลี่ยนแปลงของ  $FWHM/2$  จะได้สมการของเทอมเอ็กซ์โพเนนเชียลเป็น

$$\frac{1}{2} = e^{-\Delta H^2/2\sigma^2}$$

$$\Delta H = \sqrt{2\ln 2} \cdot \sigma$$

$$FWHM = 2.35\sigma \quad \text{----- (2.24)}$$

ตามปกติการตอบสนองพลังงานของหัววัดรังสีจะเป็นเชิงเส้นโดย  $H_0 = kn$  เมื่อ  $k$  เป็นค่าคงที่ และค่าเบี่ยงเบนของปริมาณประจุตามสถิติปัวซอง (Poisson) มีค่า  $\sigma = k\sqrt{n}$  ดังนั้นค่าขีดจำกัดความสามารถในการแจกแจงพลังงานอันเนื่องมาจากความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณประจุ ( $R_p$ ) จะคาดหมายได้จาก

$$R_p = \frac{FWHM}{H_0} = \frac{2.35k\sqrt{n}}{kn} = \frac{2.35}{\sqrt{n}} \quad \text{----- (2.25)}$$

จากการทดลองวัดค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัดรังสีบางชนิด [1] พบว่า ค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานต่ำกว่าค่าขีดจำกัดที่คำนวณได้ตามสมการ 2.25 ประมาณ 3-4 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมิได้เกิดจากการไอออไนซ์ครั้งแรกอย่างเดียวนั้น แต่ยังเกิดจากอันตรกิริยาเอ็กซ์ไซเตชันจากการกระตุ้นของอิเล็กตรอนที่เกิดจากการไอออไนซ์ครั้งแรกทำให้เกิดปริมาณประจุเพิ่มขึ้นอีก (Secondary ion-pair) จึงได้มีนิยามของอัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนของจำนวนประจุ ( $n$ ) ที่เกิดจากการวัดและความแปรปรวนจากการคาดหมายจากกระบวนการทางสถิติปัวซอง เรียกว่า "Fano factor ( $F$ )"

$$F = \frac{\text{ความแปรปรวนของประจุที่ได้จากการวัด}}{\text{ความแปรปรวนของประจุตามความคาดหมายจากกระบวนการสถิติปัวซอง}}$$

ดังนั้นความสามารถในการแจกแจงอันเนื่องมาจากความแปรปรวน ( $\sigma^2$ ) ของหัววัดรังสีจึงต้องคูณด้วยค่าแฟกเตอร์ฟาโน ทำให้ได้สมการเป็น

$$R_{\text{limit}} = \frac{2.35k\sqrt{n}\sqrt{F}}{kn} = 2.35\sqrt{\frac{F}{n}} \quad \text{----- (2.26)}$$

ค่าฟาโนแฟกเตอร์ของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.2 แต่ในทางปฏิบัติหัววัดรังสีจะต้องทำงานร่วมกับระบบวัดรังสี จึงทำให้ความแปรปรวนของปริมาณประจุที่สร้างเป็นสัญญาณพัลส์เกิดรวมกับสิ่งรบกวน (Noise) ดังนั้นในระบบวัดรังสี  $FWHM$  โดยรวมทั้งระบบกว้างจะมีค่าเท่ากับ

$$(FWHM)_{\text{total}}^2 = (FWHM)_{\text{detector}}^2 + (FWHM)_{\text{noise}}^2 + (FWHM)_{\text{drift}}^2 + \dots$$

$$R_{\text{total}} = \frac{FWHM_{\text{total}}}{H_0}$$



## 2.3 ปัจจัยในการออกแบบหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนล

### 2.3.1 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการออกแบบหัววัดรังสี

การออกแบบหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนลต้องกำหนดสัดส่วนทางกล เช่น ขนาดของแคโทด และแอโนด ความหนาของหัววัดรังสีและหน้าต่างรับรังสี รวมทั้งชนิดของก๊าซที่ใช้และก๊าซผสมที่ทำหน้าที่ระงับการแตกตัว ความดันก๊าซซึ่งเกี่ยวข้องกับศักดาไฟฟ้าที่ใช้และค่าทวิคูณของก๊าซ วัสดุที่ใช้ทำหน้าต่างรับรังสี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพลังงานและคุณสมบัติของรังสี ส่วนก๊าซที่ใช้บรรจุในหัววัดรังสีได้แก่ อาร์กอน (Ar), ซีลอน (Xe), และ คริปตอน (Kr) ที่บริสุทธิ์ เดิมด้วย ก๊าซควินซิ่งซึ่งเป็นมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) หรือ คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ในช่วง 1-10% การเลือกใช้ก๊าซที่ใช้กับหัววัดรังสีขึ้นอยู่กับช่วงพลังงานที่ต้องการวัด ค่าแอมป์ซอปชันเอจจ์ของก๊าซต่อปริมาตรพลังงานที่วัดและขนาดของสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N) เป็นต้น พอสรุปได้ว่า พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการทำงานของหัววัดรังสี ได้แก่

1. ขนาดของหัววัดรังสี (Size of counter)
2. ขนาดของเส้นลวดแอโนด (Size of anode wire)
3. ชนิดของก๊าซ (Gas type)
4. ความดันของก๊าซ (Gas pressure)
5. ขนาดของศักดาไฟฟ้าสูง (High voltage level)

### 2.3.2 รูปลักษณะของหัววัดรังสี

รูปลักษณะของหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนล โดยทั่วไปนั้นได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อโครงสร้างของหัววัดรังสี การกำหนดและออกแบบรูปลักษณะของหัววัดรังสีถือเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก เนื่องจากรูปลักษณะของหัววัดรังสีนั้นจะเป็นตัวกำหนดตัวหนึ่งในการสร้างสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการไบอัสหัววัดรังสี เพื่อใช้ในการรวบรวมประจุไฟฟ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้น การเปลี่ยนรูปร่างลักษณะของหัววัดรังสีหรือเปลี่ยนองค์ประกอบของขั้วแอโนดและแคโทดไปนั้นส่งผลให้ค่าสนามไฟฟ้าและทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนจุดต่างๆภายในหัววัดรังสีเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ตามความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าและขั้วแอโนด-แคโทดของหัววัดรังสีที่เปลี่ยนรูปร่างไปตามลักษณะของหัววัดรังสีที่ออกแบบ จากผลของค่าสนามไฟฟ้าและทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้การรวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมดแตกต่างกันไป ดังนั้นในการออกแบบรูปลักษณะหัววัดรังสีนั้นจำเป็นต้องพิจารณาค่าสนามไฟฟ้าและทิศทางสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีให้มีความสม่ำเสมอและสามารถรวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้ดี

### 2.3.3 วัสดุที่ใช้ทำแอโนด

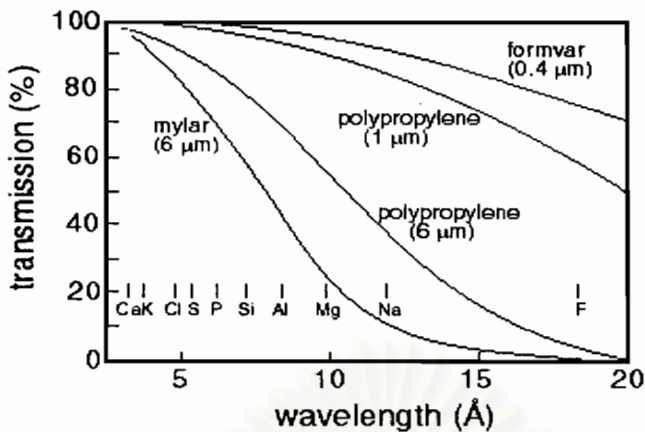
สำหรับวัสดุที่ใช้ทำเส้นลวดแอโนดในหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลนั้นนิยมใช้วัสดุที่ทำให้ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดภายในหัววัดรังสีมีค่าสม่ำเสมอตลอดความยาวของเส้นลวดแอโนด ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดแอโนดมีขนาดเล็กระดับไมโครเมตร มีความต้านทานกระแสไฟฟ้าต่ำและมีผิวของเส้นลวดที่เรียบสม่ำเสมอตลอดความยาวและมันวาวเพื่อรวบรวมปริมาณประจุได้ดี วัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำเส้นลวดแอโนดคือเส้นลวดทังสเตนที่เคลือบด้วยทอง (gold plated tungsten wire) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 20-100  $\mu\text{m}$  ขึ้นกับขนาดของหัววัดรังสีและค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต้องการภายในหัววัดรังสี

คุณสมบัติของเส้นลวดทังสเตนเคลือบทอง

1. ทนการกัดกร่อนของกรดชนิดต่างๆ
2. มีสมบัติการดูดกลืนรังสีสูง
3. มีจุดหลอมเหลวสูงที่สุดของโลหะทั้งหมด
4. มีความดันในการกลายเป็นไอต่ำสุดของโลหะทั้งหมด
5. มีค่า Strength สูงที่อุณหภูมิสูง
6. เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี
7. สามารถขึ้นรูปและเปลี่ยนรูปร่างได้ง่าย
8. มีค่า Elastic modulus สูง
9. มีการแผ่ความร้อนต่ำ

### 2.3.4 วัสดุที่ใช้ทำหน้าต่างรับรังสีของหัววัดรังสี

วัสดุที่ถูกนำมาใช้เป็นหน้าต่างรับรังสีของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลนั้น ควรเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติลดทอนพลังงานและดูดกลืนรังสีได้น้อย สามารถให้รังสีทะลุผ่านได้ดี ดังนั้นจึงนิยมใช้วัสดุที่มีเลขอะตอมต่ำ เช่น เบอริลเลียม หรือสารโพลีเมอร์ต่างๆ เช่น โพลีเอสเตอร์ (Polyester) โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) ไมลาร์ (Mylar) เป็นต้น และมีความหนาแน่นมากเป็นแผ่นฟิล์มบางๆในระดับไมโครเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของหัววัดรังสี โดยหน้าต่างรับรังสีจะดูดกลืนรังสีมากขึ้นตามความหนาของหน้าต่างรับรังสี ทำให้มีผลกระทบต่อความเข้มรังสี โดยเฉพาะในย่านพลังงานต่ำ (ความยาวคลื่นสูง) ดังในรูปที่ 2.24 แสดงสมบัติในการส่งผ่าน (Transmission) รังสีเอกซ์ที่ผ่านพลังงานต่างๆของวัสดุที่ใช้ทำหน้าต่างรับรังสีที่ใช้นั้น จะเห็นได้ว่าย่านพลังงานต่ำ รังสีเอกซ์จะถูกดูดกลืนอย่างเห็นได้ชัดมากน้อยตามแต่ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำหน้าต่างรับรังสี



รูปที่ 2.24 สมบัติการยอมให้รังสีเอกซ์ผ่านของหน้าต่างรับรังสี [8]

### 2.3.5 ความดันก๊าซภายในหัววัดรังสี

จากสมการที่ 2.8 ความดันก๊าซที่ใช้ภายในหัววัดรังสีส่งผลโดยตรงต่อค่าทวีปริมาณไอออนของก๊าซ ( $M$ ) เนื่องจากเมื่อเพิ่มความดันของก๊าซภายในหัววัดรังสีสูงขึ้น ความหนาแน่นของก๊าซภายในหัววัดรังสีก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อรังสีผ่านเข้ามายังภายในหัววัดรังสีทำให้ระยะปลอดการไอออนไนซ์ (Mean free path) ลดลง เพราะก๊าซมีความหนาแน่นสูงขึ้น จำนวนอะตอมของก๊าซต่อปริมาตรมากขึ้น โอกาสในการถูกไอออนไนซ์จากรังสีสูงขึ้น และรวดเร็วขึ้น เกิดเป็นคู่ไอออน (Ion-pair) ได้มากขึ้น จำนวนประจุไฟฟ้าที่ถูกรวบรวมไปยังขั้วแอโนดแคโทดสูงขึ้น ทำให้สัญญาณพัลส์ที่ได้จากหัววัดรังสีจึงมีความสูงและขนาดโตขึ้น หรือมีผลให้อัตรายขยายสัญญาณ (Gain) ของหัววัดรังสีมีค่าสูงขึ้นด้วย ในการเพิ่มค่าความดันก๊าซให้สูงขึ้นนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ วัสดุที่ใช้ทำหน้าต่างรับรังสีต้องสามารถทนต่อความดันที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีได้เนื่องจากหน้าต่างรับรังสีมีความหนาแน่นบางมากจึงทนต่อความดันได้ต่ำกว่าบริเวณรอบๆ ซึ่งเป็นโลหะหนาหรืออาจจำเป็นต้องเสริมตะแกรงรองรับแรงดันทั่วบริเวณซึ่งจะต้องยอมสูญเสียพื้นที่บริเวณไวต่อรังสีไป

## 2.4 วงจรขยายสัญญาณชนิดไวต่อประจุ

### 2.4.1 รูปแบบของวงจรขยายสัญญาณชนิดไวต่อประจุ

การถ่ายโอนพลังงานของรังสีภายในหัววัดรังสี วงจรหัววัดรังสีจะสร้างพฤติกรรมของแหล่งจ่ายพัลส์ประจุไฟฟ้าชั่วขณะดังรูปที่ 2.25.ก ในการรักษาความเสถียรในการจับสัญญาณ จำเป็นต้องอาศัยการแปลงผันสัญญาณประจุเป็นขนาดแรงดันไฟฟ้าด้วยวงจรขยายสัญญาณส่วนหน้าชนิดไวต่อประจุ ดังนั้นปริมาณสัญญาณประจุจากการวัดรังสีแต่ละครั้งจึงถูกรวบรวมบนค่า

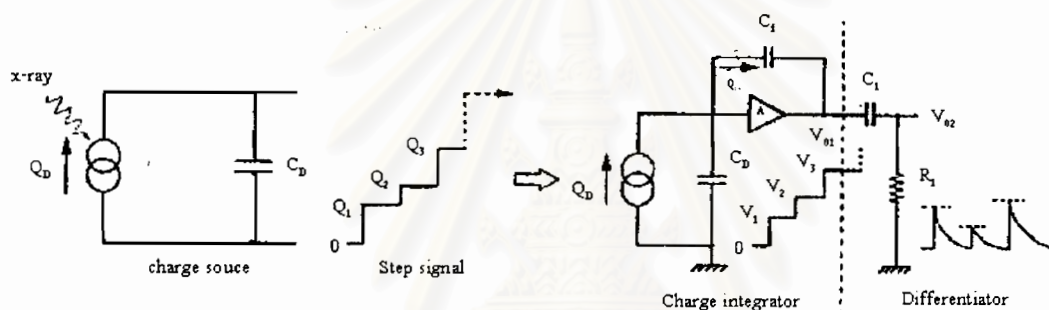
ความจุของตัวเก็บประจุป้อนกลับ ( $C_f$ ) ที่จัดไว้บนวงจรขยายเพื่อแปลงผันปริมาณประจุเป็นขนาดแรงดันไฟฟ้า ( $V_D$ ) ในลักษณะของสัญญาณรูปขั้น (Step signal) ดังสมการ

$$V_D = Q_D / C_f \quad \text{----- (2.27)}$$

เมื่อ  $Q_D$  = สัญญาณพัลส์ประจุ

$C_f$  = ค่าความจุของตัวเก็บประจุป้อนกลับบนวงจรขยาย

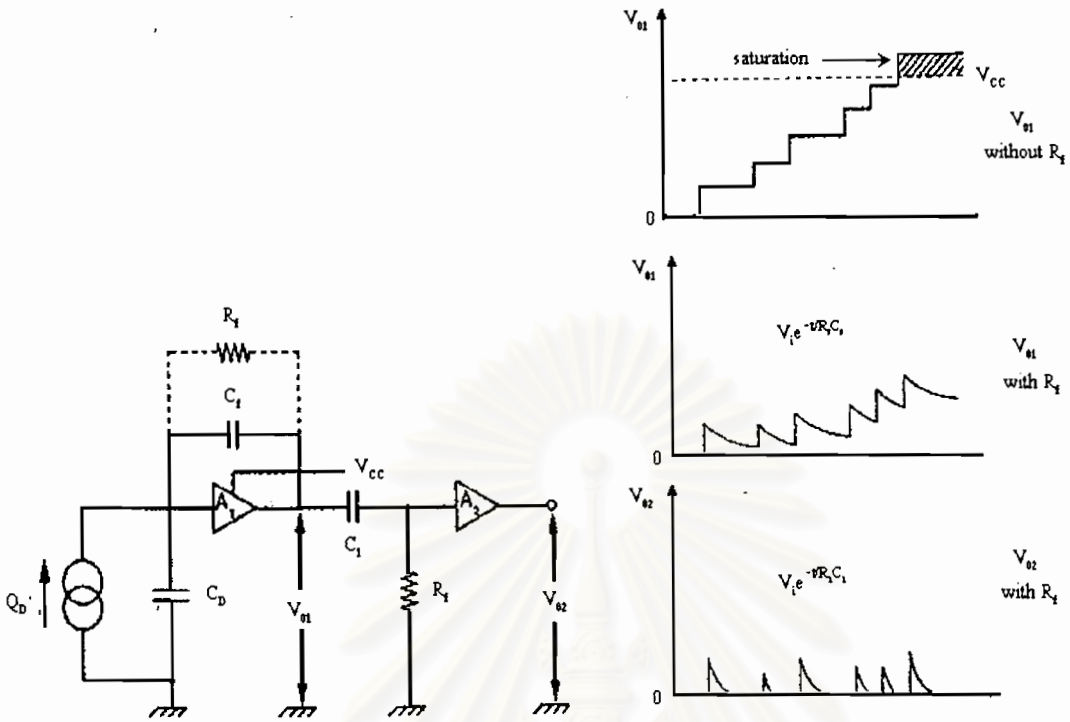
สัญญาณรูปขั้นสะสมสามารถปรับสภาพให้เป็นสัญญาณพัลส์เดี่ยวอิสระ ได้ด้วยการผ่านสัญญาณให้วงจรปรับรูปสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ (Differentiator) ซึ่งจะรักษาขนาดความสูงของพัลส์แต่ละลูกของสัญญาณรูปขั้นไว้ และแปลงรูปสัญญาณเป็นสัญญาณพัลส์รูปเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) ดังในรูปที่ 2.25.ข



- ก. แสดงพฤติกรรมแหล่งจ่ายประจุ      ข. วงจรแปลงผันสัญญาณประจุเป็นแรงดันไฟฟ้ารูปที่ 2.25 กลไกการแปลงผันสัญญาณประจุเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า [13]

#### 2.4.2 ผลของ RC ต่อการอิ่มตัวของสัญญาณ

ปริมาณประจุของสัญญาณพัลส์แต่ละครั้งจะสะสมบนค่าความจุ ไปจนกระทั่งขนาดแรงดันไฟฟ้าทางออก ( $V_{out}$ ) ของวงจรขยายสัญญาณชนิด วัตต์ต่อประจุมีขนาดเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าของวงจร ( $V_{cc}$ ) เกิดการอิ่มตัวของสัญญาณ (Saturation) ไม่สามารถวัดรังสีได้อีกต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการถ่ายประจุนบน  $C_f$  ออกหลังสิ้นสุดการแปลงผันทุกครั้งซึ่งรู้จักกันในเทคนิคของการรีเซ็ต (Reset) วิธีที่ง่ายและเพียงพอต่อการทำงานของหัววัดรังสีชนิดพรอพรอร์ชันแนล คือการใส่  $R_f$  ขนานกับ  $C_f$  ทำให้เกิดรูปแบบวงจรขยายสัญญาณชนิด วัตต์ต่อประจุนิดอาร์ชี ดังวงจรรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การลดภาวะการอิ่มตัวของสัญญาณพัลส์แรงดันของวงจรขยายสัญญาณ [13]

ค่าคงที่เวลาที่คำนวณได้จากผลคูณของค่า  $R_f$  กับ  $C_f$  จะต้องมีความสูงกว่าเวลามากที่สุดที่ใช้ในการรวบรวมประจุบนหัววัดรังสี (Collection time) ซึ่งคิดจากเวลาเคลื่อนที่ของไอออนบวกจากแอโนดไปยังแคโทดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการจับสัญญาณประจุแต่ละครั้ง ในรูปที่ 2.26 แสดงภาวะอิ่มตัวของสัญญาณทางออก  $V_{o1}$  เมื่อไม่ได้ใส่  $R_f$  ในวงจรขยาย และเมื่อใส่  $R_f$  จะทำให้สัญญาณ  $V_{o1}$  มีรูปสัญญาณเป็นสัญญาณพัลส์เอกซ์โพเนนเชียลที่มีค่าสลายตัวยาว แต่เมื่อผ่านวงจรแต่งรูปสัญญาณ  $C_1 R_1$  สัญญาณพัลส์เอกซ์โพเนนเชียลจะมีค่าสลายตัวสั้นลงตามผลของค่า  $C_1 R_1$  ช่วยในการแยกสัญญาณพัลส์แต่ละลูกออกจากกัน อย่างไรก็ตามวงจรขยายสัญญาณชนิดไวต่อประจุที่ใช้วงจรรีเซ็ทแบบบอร์ซีจะสามารถเกิดภาวะอิ่มตัวของสัญญาณได้อีกเมื่ออัตรานับรังสีสูงมากเกินไป ดังนั้นการใช้งานจึงต้องคำนึงถึงข้อจำกัดนี้ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากผลของอัตรานับและพลังงานของรังสีในรูปของขีดจำกัดอัตรานับประจุ (Charge rate limit) ตามสมการที่ 2.28

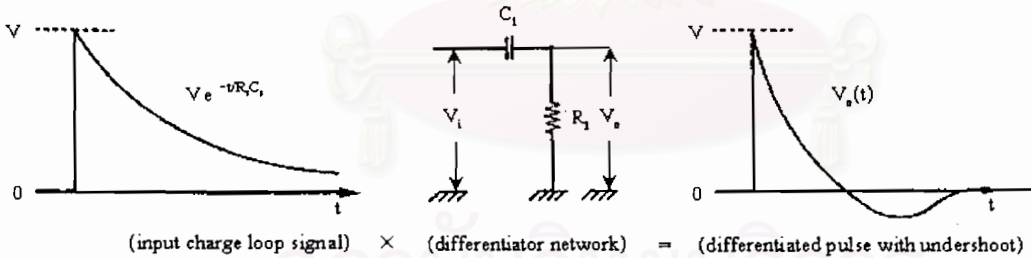
$$V_0 = Q_D n R_f = \left( \frac{E}{W} q \right) n R_f = i R_f$$

$$i = \frac{Q_D}{t} = \frac{V_0(\max)}{R_f} \text{----- (2.28)}$$

- เมื่อ  $V_0$  = ขนาดของแรงดันสัญญาณทางออกสูงสุด  
 $W$  = พลังงานที่ใช้ในการไอออนไนซ์เป็นไอออน 1 คู่  
 $E$  = พลังงานของรังสี  
 $n$  = อัตรานับรังสีที่พลังงาน  $E$   
 $R_f$  = ความต้านทานของตัวต้านทาน  
 $i$  = ชีตจำกัดของกระแสที่ทำให้เกิดสัญญาณสูงสุด

2.4.3 การปรับรูปสัญญาณพัลส์และการส่งสัญญาณพัลส์

ผลของการส่งสัญญาณผ่านวงจรดีเฟอเรนชิเอเตอร์เพื่อปรับปรุงสัญญาณพัลส์แต่ ละพัลส์ให้ลดเวลาการสลายพัลส์ จะเกิดการถ่ายโอนประจุของ  $C$  และ  $R$  หลังสิ้นสุดสัญญาณพัลส์ แต่แต่ละครั้งปรากฏสัญญาณด้านข้างลบเรียกว่า "Under shoot" ส่งผลให้เส้นฐานสัญญาณเคลื่อนระดับ ดังลักษณะสัญญาณในรูปที่ 2.27 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยคณิตศาสตร์การโอนย้ายฟังก์ชันของ ลาปลาซ (Laplace's transfer function) ตามสมการที่ 2.29 และ 2.30



รูปที่ 2.27 ผลของสัญญาณพัลส์หลังผ่านวงจรดีเฟอเรนชิเอเตอร์ [13]

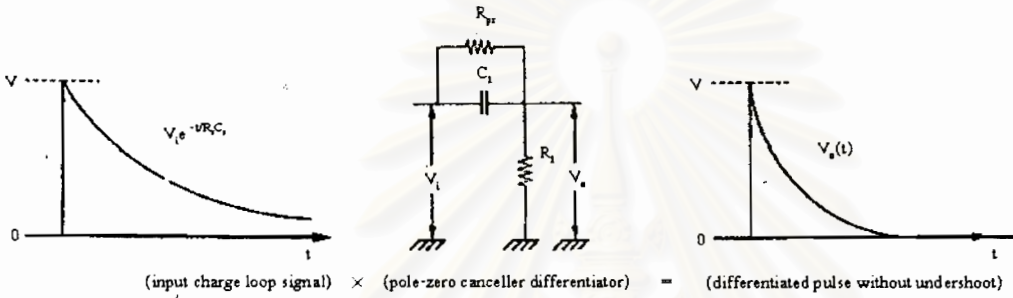
ผลการแปลงฟังก์ชันของเทอมสัญญาณและเทอมของวงจรในโดเมนของความถี่ (Frequency domain) จะได้สมการที่ 2.28

$$V \left( \frac{1}{s+1/\tau_1} \right) \cdot \left( \frac{1}{s+1/\tau_2} \right) = V_0(s) \text{----- (2.29)}$$

เมื่อ  $\tau$  = ค่าคงที่เวลา  $RC$  และ  $\tau_1$  = ค่าคงที่เวลา  $R_1 C_1$  หลังการแปลงกลับฟังก์ชันสู่โดเมนเวลา (Time domain) จะได้สมการที่ 2.30

$$V_0(t) = \frac{V}{\tau_1 - \tau_2} \left( \tau_2 e^{-t/\tau_1} - \tau_1 e^{-t/\tau_2} \right) \quad \text{----- (2.30)}$$

จากสมการที่ 2.30 จะเห็นว่าสัญญาณ  $V_0(t)$  มีภาวะของฟังก์ชันที่มีโพล (Pole) การแก้ไขจำเป็นต้องลบข้างประจุบน  $C$  หลังสิ้นสุดสัญญาณให้พอดีด้วยการจัดวงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์พร้อมวงจรลบข้างโพล (Pole-zero cancelled differentiator) ดังวงจรรูปที่ 2.28 เมื่อวิเคราะห์ฟังก์ชันของสัญญาณพัลส์ด้วยคณิตศาสตร์การโอนย้ายฟังก์ชันและแปลงกลับฟังก์ชันตามสมการ จะพบว่าสัญญาณทางออก  $V_0(t)$  จะให้เส้นฐานสมบูรณ์และมีค่าคงที่เวลาเป็น  $\tau_1 \tau_2 / \tau_1 + \tau_2$



รูปที่ 2.28 ผลของสัญญาณพัลส์หลังผ่านวงจรดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์ที่เพิ่มการลบข้างโพล [13]

ผลการแปลงฟังก์ชันในโดเมนของความถี่จะได้สมการที่ 2.31

$$V \left( \frac{1}{s + 1/\tau_2} \right) \cdot \left( \frac{R_1}{R + \frac{1/C_1}{s + 1/R_{pz} C_1}} \right) = V_0(s) \quad \text{----- (2.31)}$$

เมื่อจัดค่าคงที่เวลาของผลคูณระหว่างค่าความต้านทานลบข้างโพล ( $R_{pz}$ ) และ  $C_1$  เท่ากับ  $\tau_2$  จะได้  $R_{pz} = \tau_2 / C_1$  และแทนค่า  $R_{pz}$  ลงในสมการที่ 2.31 จะได้และจาก  $R_1 C_1 = \tau_1$  ดังนั้น

$$V_0(s) = V \left( \frac{1}{s + 1/\tau_2} \right) \cdot \left( \frac{R_1}{R + \frac{1/C_1}{s + 1/\tau_2}} \right)$$

และจาก  $R_1 C_1 = \tau_1$  ดังนั้น

$$\begin{aligned} V_0(s) &= V \left( \frac{1}{s + 1/\tau_2} \right) \cdot \left( \frac{1}{1 + \frac{1/\tau_1}{s + 1/\tau_2}} \right) \\ &= V \left( \frac{1}{s + 1/\tau_2} \right) \cdot \left( \frac{s + 1/\tau_2}{s + 1/\tau_1 + \tau_2} \right) \quad \text{----- (2.32)} \end{aligned}$$

หลังการแปลงกลับฟังก์ชัน โดยให้  $1/\tau = \tau_1\tau_2 / \tau_1 + \tau_2$  จะได้รูปสัญญาณพัลส์เอกซ์โพเนนเชียลที่สมบูรณ์เป็น

$$V_0 = Ve^{-t/\tau} \quad \text{----- (2.33)}$$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 3

### การพัฒนาหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลแบบก๊าซไหล

ในงานวิจัยนี้ได้วางแนวทางศึกษาถึงองค์ประกอบต่างๆของหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนล ทั้งในแง่ของโครงสร้างของหัววัดรังสี ลักษณะการจัดวางแอโนดและแคโทด การเลือกใช้วัสดุของส่วนต่างๆของหัววัดรังสี ความดันของก๊าซภายในหัววัดรังสี และผลของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน โดยได้ทำการพัฒนาโครงสร้างหัววัดรังสี 3 ชนิด ได้แก่

1. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนาน
2. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวขนาน
3. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด

โดยการเลือกใช้วัสดุต่างๆในการสร้างหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล ได้มีการคำนึงถึงวัสดุที่สามารถหาได้ภายในประเทศเป็นหลัก

#### 3.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์สำหรับหัววัดรังสี

##### 3.1.1 วัสดุที่ใช้ทำแคโทด

วัสดุที่ใช้ทำแคโทดของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลนั้น โดยทั่วไปจะใช้โลหะอลูมิเนียม (Aluminium) และเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ที่ขัดผิวโลหะเรียบและมันวาวเป็นแคโทด การพัฒนาหัววัดรังสีในงานวิจัยนี้เลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นวัสดุทำแคโทด เนื่องจากให้ค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานที่ดีกว่าอลูมิเนียมที่มีอยู่ในประเทศ เหล็กกล้าไร้สนิมที่เลือกใช้เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เป็นวัสดุที่ใช้งานทั่วไปและมีราคาถูก ทนการกัดกร่อน ไม่เกิดสนิมและไม่ทำปฏิกิริยากับก๊าซเฉื่อยภายในหัววัดรังสี ในการพัฒนาหัววัดรังสีได้เลือกลักษณะรูปร่างของแคโทด 2 ลักษณะตามโครงสร้างของหัววัดรังสีที่พัฒนาขึ้น คือมีลักษณะเป็นทรงกระบอก และลักษณะเป็นภาชนะถ้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.1



ก. แคโทดลักษณะทรงกระบอก

ข. แคโทดลักษณะภาชนะถ้วย

รูปที่ 3.1 ลักษณะของแคโทดที่ใช้ทำหัววัดรังสี

### 3.1.2 วัสดุที่ใช้ทำแอโนด

วัสดุที่ใช้ทำแอโนดนั้นได้เลือกใช้ เส้นลวดโลหะทังสเตนเคลือบทอง (Gold plated tungsten wire) 2 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100  $\mu\text{m}$  ของบริษัท LUMA METALL เบอร์ 821 ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดทังสเตน 99  $\mu\text{m}$  น้ำหนัก 29.52 mg/200 mm เคลือบทองหนา 0.5  $\mu\text{m}$  น้ำหนัก 0.6 mg/200 mm ดังรูปที่ 3.2.ก และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30  $\mu\text{m}$  ของบริษัท Nilaco Corporation ดังรูปที่ 3.2.ข



ก. ม้วนเส้นลวดทังสเตน

ข. ม้วนเส้นลวดทังสเตนเคลือบทองขนาด

เคลือบทอง ขนาด 100  $\mu\text{m}$

รูปที่ 3.2 ม้วนเส้นลวดทังสเตนเคลือบทอง

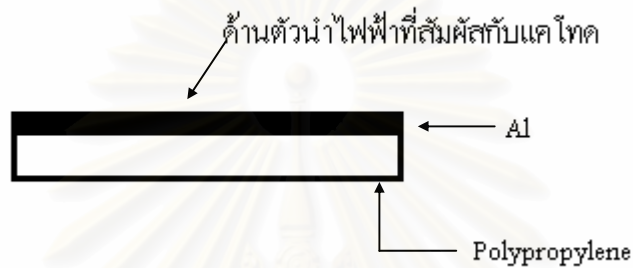
### 3.1.3 วัสดุที่ใช้ทำหน้าต่างรับรังสี

วัสดุที่ใช้ทำหน้าต่างรับรังสีนั้น เลือกใช้วัสดุโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) ซึ่งเป็นวัสดุโพลีเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติลดทอนพลังงานรังสีต่ำ โพลีโพรพิลีนที่เลือกใช้มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางเคลือบด้วยอลูมิเนียม (อลูมิเนียมโพลีโพรพิลีน) หนา 25  $\mu\text{m}$  โดยค่าสัมประสิทธิ์

การลดทอนรังสี ( $\mu/\rho$ ) ที่พลังงานต่างๆจะขึ้นกับโครงสร้างโมเลกุลของโพลิโพรพิลีน [ $C_3H_6$ ]<sub>n</sub>) และฟิล์มอลูมิเนียมที่เคลือบตามสัดส่วนดังสมการที่ 3.1

$$\mu(E)/\rho = \sum_{i=1}^N (\mu(E)/\rho)_i W_i \quad \text{----- (3.1)}$$

เมื่อ  $\mu(E)/\rho$  = สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี  
 $W_i$  = มวลอะตอมของธาตุ



รูปที่ 3.3 แผ่นฟิล์มอลูมิเนียมในซโพลิโพรพิลีน

ฟิล์มอลูมิเนียมที่เคลือบผิวจะทำหน้าที่ป้องกันการเหนี่ยวนำของสิ่งรบกวนอิเล็กทรอนิกส์ (Noise) จากภายนอกสู่เส้นลวดแวนไดน ซึ่งหากไม่ป้องกันจะเกิดการเหนี่ยวนำประจุจากตัวกลางที่สามารถทำให้เกิดความต่างประจุไฟฟ้าบริเวณใกล้หัววัดรังสี

### 3.1.4 ก๊าซ P-10

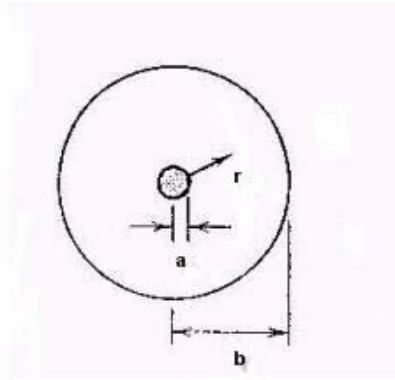
ก๊าซที่เลือกใช้เป็นก๊าซตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานของรังสีเลือกใช้ก๊าซ P-10 ซึ่งเป็นก๊าซผสมระหว่างก๊าซอาร์กอน 90% กับก๊าซมีเทน 10% โดยทำการควบคุมความดันของก๊าซภายในหัววัดรังสีซึ่งมีผลต่อค่าทวีปริมาณไอออนของก๊าซ ด้วยวิธีควบคุมความดันขาเข้าและขาออกของหัววัดรังสี โดยการแปรเปลี่ยนอัตราการไหลของก๊าซในช่วง 10-200 ml/min ที่เข้าออกจากอุปกรณ์ควบคุมดัน (Gas pressure regulator)

## 3.2 การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของหัววัดรังสี

### 3.2.1 สนามไฟฟ้าของโครงสร้างแวนไดนวางแนวขนานกับผนังแคโทดทรงกระบอก [5]

ตามโครงสร้างที่มีแวนไดนวางแนวขนานกับผนังแคโทดรูปทรงกระบอก ดังรูปที่

### 3.4 สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีสามารถหาได้จากสมการที่ 3.2 [14]



รูปที่ 3.4 ภาคตัดขวางของโครงสร้างแอดวานซ์ [12]

$$\mathcal{E}(r, \phi, z) = -\nabla V(r, \phi, z) \quad \text{----- (3.2)}$$

เมื่อ  $\mathcal{E}(r, \phi, z) =$  ค่าสนามไฟฟ้า  
 $V(r, \phi, z) =$  ค่าศักดาไฟฟ้า

ค่าศักดาไฟฟ้าหาได้จากสมการลาปลาซ (Laplace's equation)

$$\nabla^2 V = 0$$

และสามารถแก้สมการลาปลาซโดยใช้สมการอนุพันธ์อันดับสองรายละเอียดในภาคผนวก ก ได้เป็น

$$V = \frac{V_0}{\ln(a/b)} \ln \frac{r}{b} \quad \text{----- (3.3)}$$

แทนค่า  $V$  ที่ได้ลงในสมการที่ 3.1 จะได้

$$\mathcal{E}(r) = -\frac{\partial V}{\partial r}$$

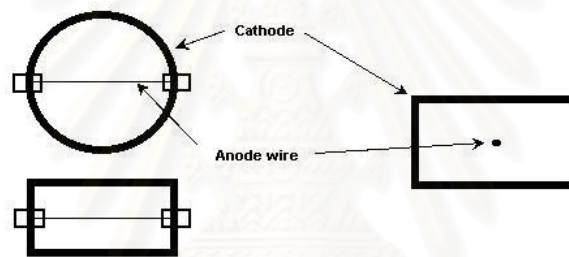
$$\mathcal{E}(r) = \frac{V_0}{r \ln(b/a)} \quad \text{----- (3.4)}$$

เมื่อ  $V_0 =$  ค่าศักดาไฟฟ้า  
 $a =$  รัศมีของเส้นลวดโลหะแอดวานซ์  
 $b =$  รัศมีของทรงกระบอก  
 $r =$  ระยะห่างจากศูนย์กลางของหัววัดรังสี

สมการที่ 3.4 เป็นสมการของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีที่มีโครงสร้างแอนโอดวงแหวน ซึ่ง เป็นฟังก์ชันของรัศมีเท่านั้น และมีความสมมาตรตลอดแนวแกนความยาว สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจึงมีความสม่ำเสมอและมีทิศทางพุ่งออกจากจุดศูนย์กลางตามแนวรัศมี

### 3.2.2 สนามไฟฟ้าของโครงสร้างแอนโอดวงแหวนตั้งฉากกับผนังแคโทด

หัววัดรังสีที่มีโครงสร้างแอนโอดวงแหวนตั้งฉากกับผนังแคโทดมีความไม่สมมาตรระหว่างแอนโอดและแคโทด ทำให้การวิเคราะห์หาสนามไฟฟ้าเป็นไปได้ยากโดยใช้วิธีการแก้ด้วยสมการลาปลาซ ดังนั้นจากรูป 3.5 จะเห็นได้ว่าวิธีหนึ่งที่เหมาะสมในการคำนวณหาสนามไฟฟ้า คือวิธีการสร้างภาพประจุ (Method of image charge) โดยพิจารณาภาคตัดขวางของหัววัดรังสีจะได้ Image point charge และสามารถคำนวณหาศักดาไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุของ Image point charge ซึ่งกำหนดไว้ 9 จุด ได้จากสมการที่ 3.4



รูปที่ 3.5 ภาคตัดขวางของโครงสร้างแอนโอดวงแหวนตั้งฉากกับผนังแคโทด

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad \text{----- (3.4)}$$

เมื่อ  $V(r)$  = ค่าศักดาไฟฟ้า

$\epsilon_0$  = สภาพซึมซับของสุญญากาศ (permittivity of free space)

$q$  = ประจุของอิเล็กตรอน

$r$  = ระยะห่างจากศูนย์กลางของหัววัดรังสี

หาค่าศักดาไฟฟ้า ณ ตำแหน่ง  $r$  ของแต่ละ Image point charge รายละเอียดในภาคผนวก ข จะได้สมการที่ 3.5

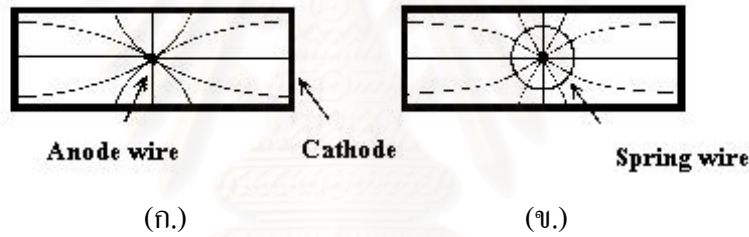
$$V(r) = \sum_{i=1}^n V_i \quad \text{----- (3.5)}$$

เมื่อ  $V_{total}$  = ศักดาไฟฟ้า ณ จุด  $r$  เนื่องจากจุดประจุทั้งหมด  
 $V_i$  = ศักดาไฟฟ้า ณ จุด  $r$  เนื่องจากจุดประจุ ณ ตำแหน่ง  $i$

แทนค่า  $V(r)$  ลงในสมการ  $\mathcal{E}(x, y) = -\nabla V$  จะได้สมการที่ 3.6

$$\mathcal{E}(x, y) = -\frac{\partial V}{\partial x} \hat{x} - \frac{\partial V}{\partial y} \hat{y} \quad \text{----- (3.6)}$$

จากสมการที่ 3.6 จะเห็นว่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นฟังก์ชันของค่า  $x$  และ  $y$  ดังนั้นแนวเส้นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากค่าของ  $x$  และ  $y$  จึงมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ดังรูปที่ 3.6.ก การเลือกใช้บริเวณสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอในการรวบรวมประจุไอออนทำได้โดยการนำขดลวดสปริงมาสวมรอบแกนแอโนดเพื่อจำกัดบริเวณ แนวสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีซึ่งมีความเป็นเส้นตรงมากและสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 3.6.ข



รูปที่ 3.6 แสดงแนวสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีที่มีโครงสร้างแอโนดแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด [12]

### 3.3 การออกแบบโครงสร้างหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลแบบต่างๆ

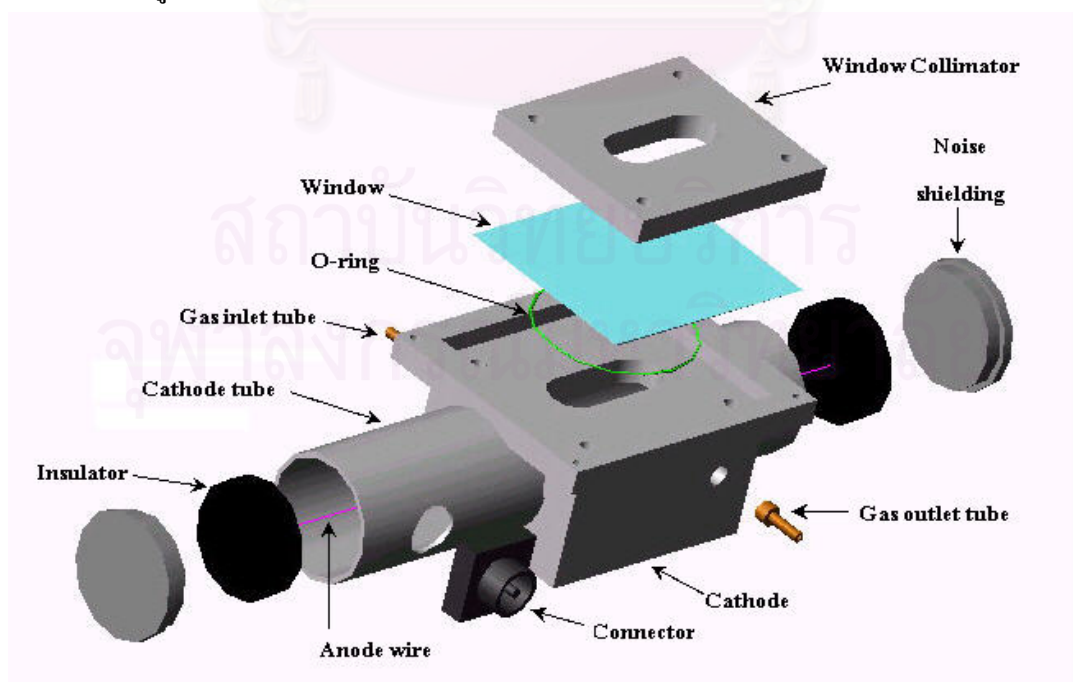
#### 3.3.1 โครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนาน

โครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้าง (Side window detector) ออกแบบให้มีลักษณะแคโทดเป็นทรงกระบอกยาวและมีเส้นลวดแอโนดเป็นแกนกลางของทรงกระบอกหรือเรียกว่าลักษณะ “แบบโคแอกเซียล (Coaxial)” ภายในปล่อยก๊าซให้ไหลผ่านเพื่อเป็นตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานจากรังสี มีหน้าต่างรับรังสีบริเวณผิวข้างของทรงกระบอกแคโทด หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างที่พัฒนาขึ้นมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.7 และมีส่วนประกอบต่างๆดังนี้

1. ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เป็นแคโทด มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 23.4 mm หน้า 1 mm ยาว 110 mm เจาะรูด้านข้างขนาด  $9.5 \times 25.4 \text{ mm}^2$  เพื่อเป็นช่องสำหรับหน้าต่างรับรังสี

2. เส้นลวดแอโนดเลือกใช้เส้นลวดทังสเตนเคลือบทอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $100\ \mu\text{m}$
3. ฉนวนแอโนด เลือกใช้ superlene ซึ่งมีคุณสมบัติทนศักดาไฟฟ้าสูงได้ดี มีลักษณะเป็นแผ่นกลมหนา  $3\ \text{mm}$  ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $23.4\ \text{mm}$  เจาะรูขนาดเล็กเพื่อร้อยเส้นลวดแอโนด จำนวน 2 ชั้น
4. แท่งอลูมิเนียมขนาด  $32 \times 50 \times 60\ \text{mm}^3$  เพื่อใช้เป็นฐานของหัววัดรังสี
5. แผ่นฟิล์มอลูมิเนียมไนซ์โพลิโพรพิลีน ขนาด  $40 \times 50\ \text{mm}^2$  หนา  $25\ \mu\text{m}$  สำหรับเป็นหน้าต่างรับรังสี
6. ยางโอริง (O ring) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน  $30\ \text{mm}$  ขอบยางหนา  $3\ \text{mm}$  ป้องกันก๊าซรั่วบริเวณหน้าต่างรับรังสี
7. แผ่นอลูมิเนียม ขนาด  $50 \times 60\ \text{mm}^2$  เจาะช่องบังคัปพื้นที่รับรังสี
8. ฝาครอบอลูมิเนียมป้องกันสิ่งรบกวน (Noise shielding)
9. ขั้วต่อไฟฟ้าแอโนด (Connector) ชนิด Pin
10. ท่อนำก๊าซสำหรับการไหลเข้าออกของก๊าซ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $3\ \text{mm}$  และอุปกรณ์ควบคุมความดันก๊าซ

การประกอบหัววัดรังสีจะต้องคำนึงถึงการ discharge ของศักดาไฟฟ้าสูงระหว่าง  $1000\text{-}2500\ \text{V}$  และสิ่งรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ (Noise) ได้แก่บริเวณขั้วต่อที่สัมผัสกับแคโทด ฝาครอบด้านปลายแคโทด และแผ่นฟิล์มหน้าต่างหัววัดรังสีจะต้องใช้ด้านตัวนำไฟฟ้าสัมผัสกับผนังแคโทดให้สมบูรณ์



รูปที่ 3.7 แผนภาพ โครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนานที่พัฒนาขึ้น



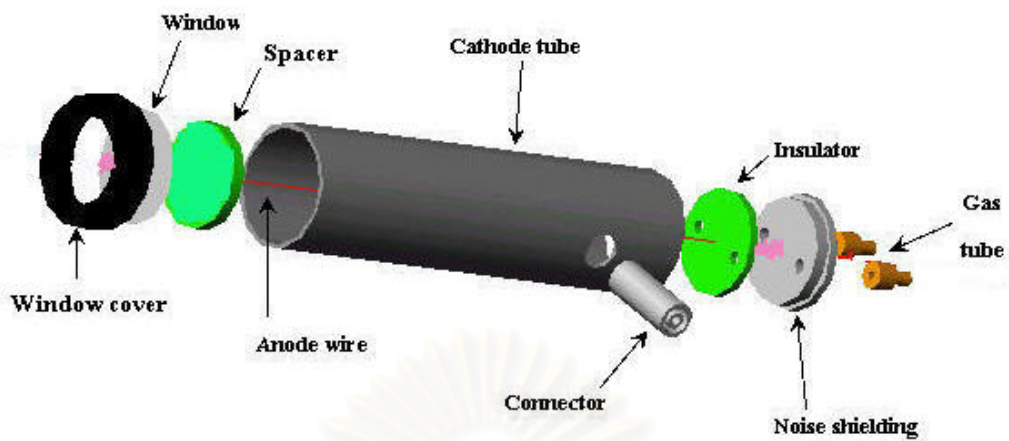
รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแวนโควางแนวขนานที่พัฒนาขึ้น

### 3.3.2 โครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแวนโควางแนวขนาน

โครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแวนโควางแนวขนาน ออกแบบให้มีลักษณะโครงสร้างโดยรวมคล้ายกับหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้าง แตกต่างกันตรงบริเวณหน้าต่างรับรังสี ซึ่งจะอยู่ด้านหน้าของทรงกระบอกแคโทด (End window) ดังรูปที่ 3.9 และส่วนประกอบของหัววัดรังสีดังนี้

1. ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 304 เป็นแคโทด มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 23.4 mm หนา 1 mm ยาว 100 mm
2. เส้นลวดแวนโควางเลือกใช้เส้นลวดทังสเตนเคลือบทอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $30 \mu\text{m}$
3. ฉนวนแวนโควางเลือกใช้ superlene ซึ่งมีคุณสมบัติทนศักดาไฟฟ้าสูงได้ดี มีลักษณะเป็นแวนกลมหนา 3 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 23.4 mm เจาะรูขนาดเล็กเพื่อร้อยเส้นลวดแวนโควางจำนวน 2 ชั้น
4. แผ่นฟิล์มอลูมิเนียมไนซ์โพลิโพรพิลีน หนา  $25 \mu\text{m}$  สำหรับเป็นหน้าต่างรับรังสี
5. ฝาครอบหน้าต่างรับรังสี (Window cover)
6. ฝาครอบอลูมิเนียมป้องกันสิ่งรบกวน (Noise shielding)
7. ขั้วต่อไฟฟ้าแวนโควาง (Connector) ชนิด Pin
8. ท่อนำก๊าซสำหรับการไหลเข้าออกของก๊าซ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm และอุปกรณ์ควบคุมความดันก๊าซ





รูปที่ 3.9 แผนภาพโครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้า และแอดโนดวงแนวขนานที่พัฒนาขึ้น

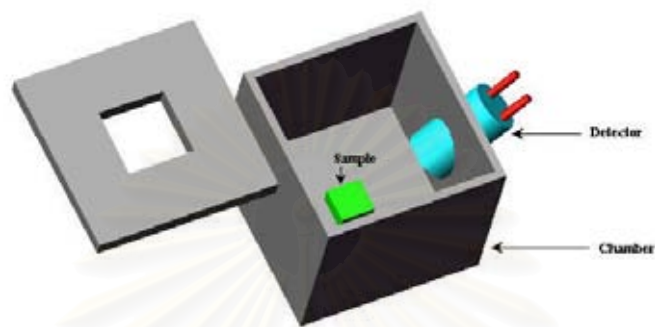


รูปที่ 3.10 ลักษณะของแผ่นฉนวนยึดเส้นลวดแอดโนดด้านหน้า



รูปที่ 3.11 ภาพถ่ายหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอดโนดวงแนวขนานที่พัฒนาขึ้น

ในการออกแบบหัววัดรังสีให้มีหน้าต่างรับรังสีด้านหน้าของหัววัดรังสีนั้น เพื่อเพิ่มความสะดวกในการติดตั้งและจัดวางตำแหน่งหัววัดรังสีที่ต้องการปรับเปลี่ยนระยะหัววัดรังสีกับชิ้นงานวิเคราะห์ เช่น การจัดรูปแบบการวัดภายในภาชนะปิดที่มีปริมาตรจำกัด ดังรูปที่ 3.12

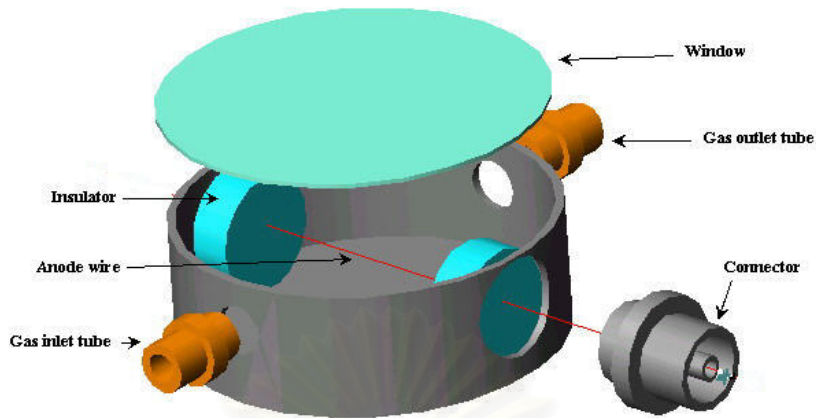


รูปที่ 3.12 การจัดรูปแบบวิเคราะห์พลังงานรังสีเอกซ์ในภาชนะปิดที่มีปริมาตรจำกัด

### 3.3.3 โครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโตนววางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด

โครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโตนววางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดนั้นมีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างไปจากหัววัดรังสีที่พัฒนาขึ้น 2 แบบแรก ทั้งตัวแคโทดและการจัดวางเส้นลวดแอนโตน โดยตัวแคโทดใช้เหล็กกล้าไร้สนิมลักษณะเป็นภาชนะถ้วย ดังรูป 3.1.ข มีการจัดวางเส้นลวดแอนโตนในลักษณะขวางกับแนวทรงกระบอกหรือตั้งฉากกับแนวทรงกระบอกแคโทด ซึ่งมีโครงสร้างหัววัดรังสี ดังรูปที่ 3.13 และมีส่วนประกอบต่างๆดังนี้

1. ภาชนะถ้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เป็นแคโทด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 50 mm สูง 30 mm
2. เส้นลวดแอนโตนทั้งสแตนเคลือบทอง เส้นผ่านศูนย์กลาง 100  $\mu$ m
3. ฉนวนแอนโตน เลือกใช้ Superlene ลักษณะทรงกระบอกเจาะรูตรงกลางเพื่อสอดเส้นลวดแอนโตน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 mm ยาว 10 mm จำนวน 2 ชั้น
4. แผ่นฟิล์มอลูมิเนียมโพลิโพรพิลีน หนา 25  $\mu$ m สำหรับเป็นหน้าต่างรับรังสี
5. ขั้วต่อไฟฟ้าแอนโตน (Connector) ชนิด Pin
6. ท่อนำก๊าซสำหรับการไหลเข้าออกของก๊าซ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm และอุปกรณ์ควบคุมความดันก๊าซ
7. ขดลวดสปริงแคโทด



รูปที่ 3.13 แผนภาพโครงสร้างหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้า และแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.14 ภาพถ่ายหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้า และแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่พัฒนาขึ้น

เนื่องจากสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่เกิดขึ้นนั้นมีแนวสนามไฟฟ้าเป็นเส้นโค้ง ดังรูปที่ 3.6 ส่งผลให้การรวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดจากการไอออไนซ์ก๊าซนั้นไม่ดีเพียงพอ มีผลต่อความสามารถในการแจกแจงพลังงานมีค่ามาก ดังในการทดลองที่ 4.2 จึงได้ทำการปรับปรุงโครงสร้างเพื่อควบคุมบริเวณสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นให้มีแนวสนามไฟฟ้าให้เป็นเส้นตรงสม่ำเสมอมากขึ้น โดยทำการเพิ่มเส้นลวดสปริงซึ่งมีลักษณะ ดังรูปที่ 3.15 สวมรอบเส้นลวดแอนโอดตลอดแนวเส้นลวด มีผลให้แนวเส้นสนามไฟฟ้าที่อยู่บริเวณล้อมรอบด้วยขดลวดสปริงแคโทดเป็นไปดังรูปที่ 3.6 หัววัดรังสีแบบ

หน้าต่างด้านหน้าและแอดวามางแนวตั้งจากกับผนังแคโทดที่มีขดลวดสปริงรอบแอดวาม มีลักษณะดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.15 ขดลวดสปริงสำหรับสวมรอบแอดวาม



รูปที่ 3.16 ภาพถ่ายหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอดวามวางแนวตั้งจากกับผนังแคโทดที่มีขดลวดสปริงรอบแอดวามที่พัฒนาขึ้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบการทำงานของหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนล

ในการทดสอบหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนลแบบต่างๆที่พัฒนาขึ้นนั้น ได้แบ่งการทดสอบตามขั้นตอนดังนี้

- ก. ทดสอบคุณลักษณะการทำงานของหัววัดรังสีแบบต่างๆ
- ข. ทดสอบความสามารถในการแจกแจงพลังงาน
- ค. ทดสอบการตอบสนองช่วงพลังงาน
- ง. ทดสอบความตอบสนองของหัววัดรังสี
- จ. ทดสอบผลของอัตราไหลของก๊าซต่อการทำงานของหัววัดรังสี

#### 4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบและการจัดระบบทดสอบ

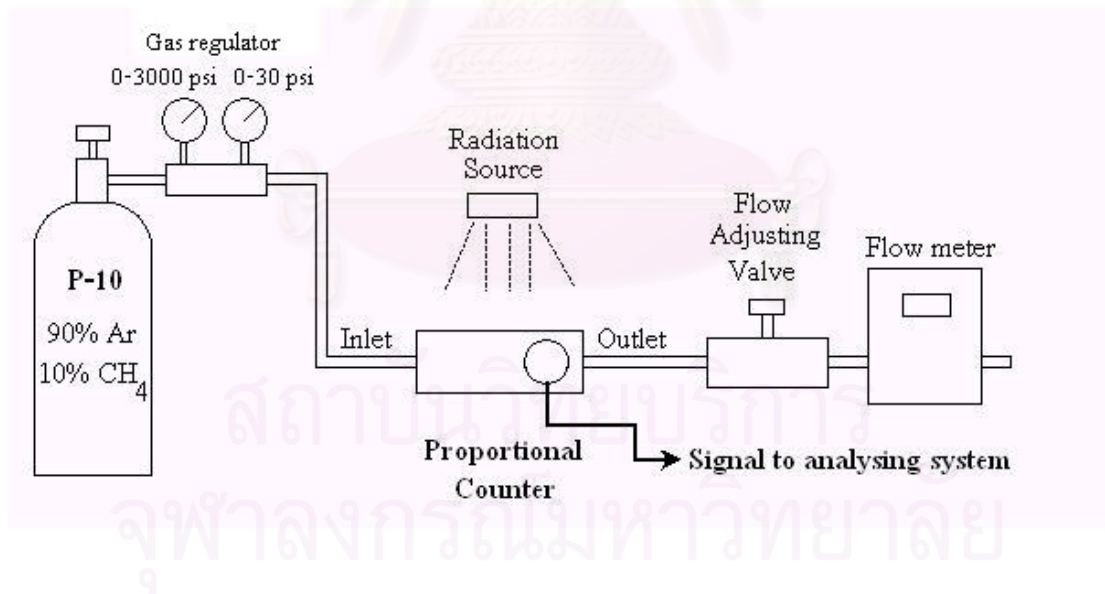
##### 4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ

1. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนาน
2. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวขนาน
3. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด
4. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่มีขดลวดสปริงรอบแอโนด
5. หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล ของ LND model 45694
6. อุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า (Preamplifier) ของ Canberra model 2006 จำนวน 1 ชุด
7. แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (High voltage power supply) ของ ORTEC model 556 จำนวน 1 โมดูล
8. NIM BIN และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของ ORTEC model 401B จำนวน 1 ชุด
9. อุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ (Amplifier) ของ Canberra model 2022 จำนวน 1 โมดูล
10. เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว (Single channel analyzer) ของ Canberra model 2030 จำนวน 1 โมดูล

11. เครื่องจับเวลาและนับสัญญาณพัลส์ (Timer and counter) ของ ORTEC model 871 จำนวน 1 โมดูล
12. เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (Multichannel analyzer) ของ Canberra model series 35 plus จำนวน 1 เครื่อง
13. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Oscilloscope) ของ HAMEG model HM1507-3 จำนวน 1 เครื่อง
14. เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซแบบดิจิทัล (Digital flowmeter) ของ Varian
15. ก๊าซ P-10 (อาร์กอน 90% มีเทน 10%) พร้อมอุปกรณ์ควบคุมความดัน
16. ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ Fe-55
17. ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ Cd-109
18. ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ Am-241
19. หลอดรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV fluorescent tube) ของ National model GL-4

#### 4.1.2 การจัดระบบทดสอบ

การจัดอุปกรณ์จ่ายก๊าซให้กับหัววัดรังสีสามารถจัดได้ดังรูปที่ 4.1



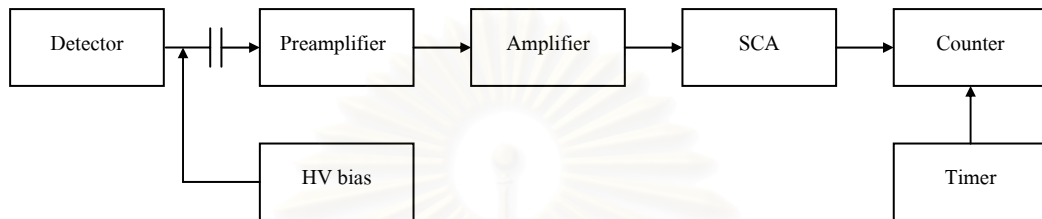
รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์จ่ายก๊าซให้กับหัววัดรังสี

การจัดระบบทดสอบการทำงานของหัววัดรังสีได้ทำการจัดระบบทดสอบ 2 ระบบตามความเหมาะสมของการทดสอบหัววัดรังสีในแต่ละการทดสอบดังนี้

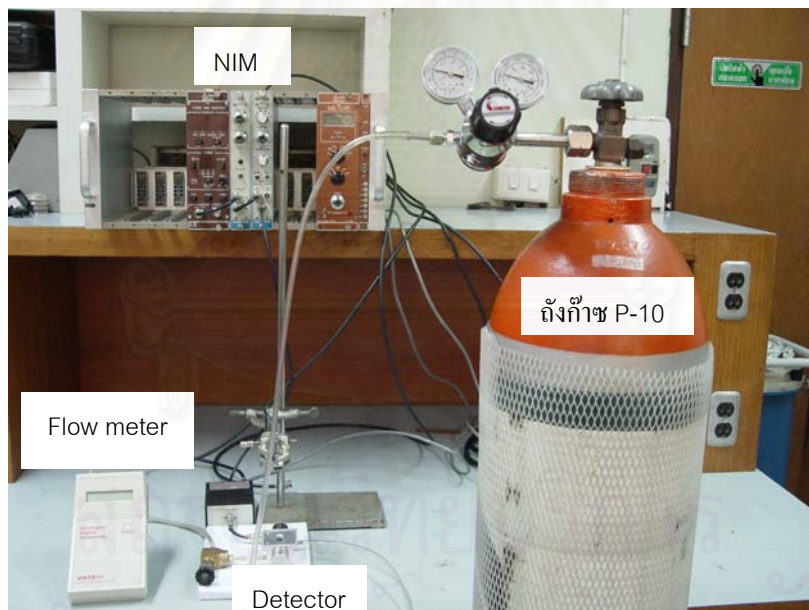
ก. การจัดระบบทดสอบแบบนับรวม ดังรูปที่ 4.2

ข. การจัดระบบทดสอบแบบวิเคราะห์พลังงาน ดังรูปที่ 4.4

T Source

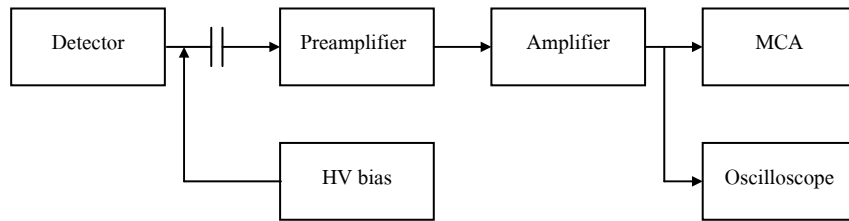


รูปที่ 4.2 แผนภาพการจัดระบบทดสอบแบบนับรวม

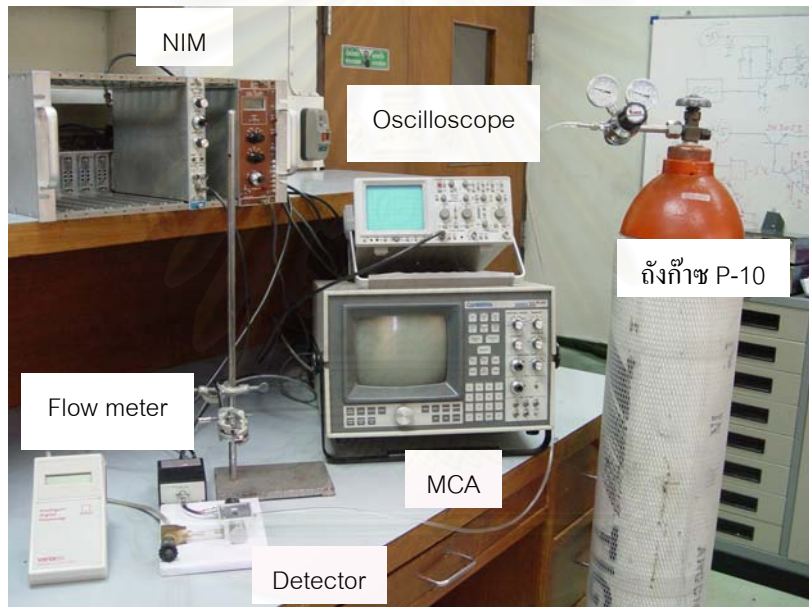


รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายการจัดระบบทดสอบแบบนับรวม

T Source



รูปที่ 4.4 แผนภาพการจัดระบบทดสอบแบบวิเคราะห์พลังงาน



รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายการจัดระบบทดสอบแบบวิเคราะห์พลังงาน

#### 4.2 การทดสอบคุณลักษณะการทำงานของหัววัดรังสีแบบต่างๆ

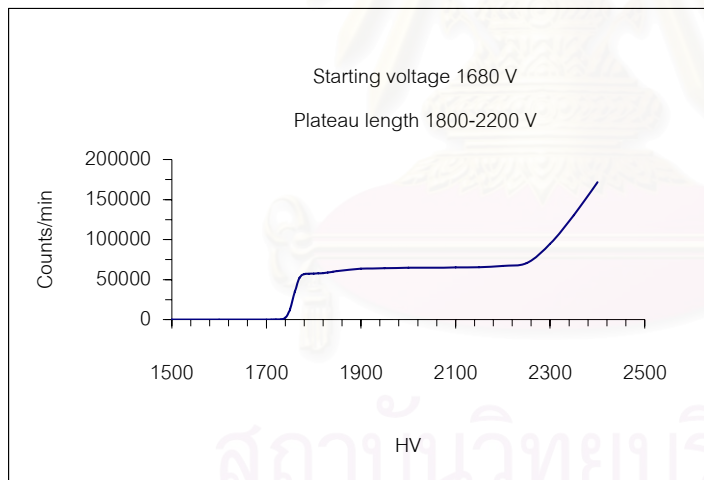
ทำการทดสอบหาเส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบต่างๆ โดยจัดระบบวัดรังสีแบบนับรวม (Integral counting system) ดังรูปที่ 4.2 ตั้งค่าเครื่องขยายสัญญาณพัลส์ให้มีอัตราการขยายสัญญาณต่ำ ปรับความดันของก๊าซ P-10 ด้านขาเข้า 1 psi และปรับอัตราไหลของก๊าซ ขาออก 20 ml/min ปรับความดันของก๊าซ P-10 ด้านขาเข้าทำการนับจำนวนรังสีที่เวลาคงที่ ณ ค่าศักดาไฟฟ้าที่แปรเปลี่ยนไป



#### 4.2.1 ผลการทดสอบ

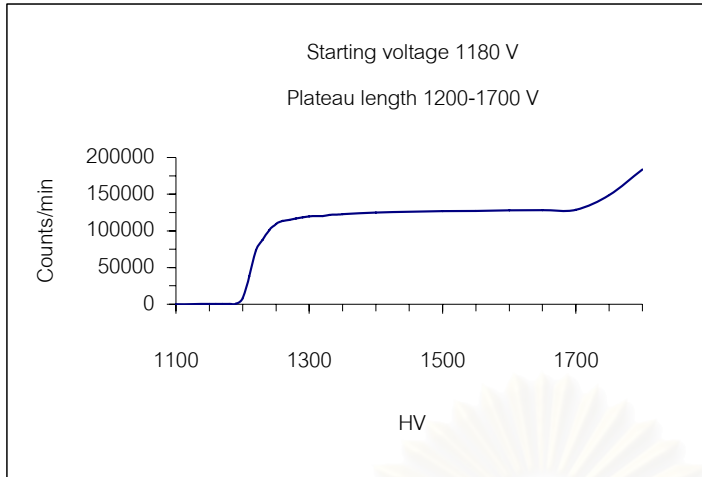
ผลการทดสอบหาเส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบต่างๆ

- ก. เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและ  
แอนโอดวงแหวนขนาด ดังรูปที่ 4.6
- ข. เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและ  
แอนโอดวงแหวนขนาด ดังรูปที่ 4.7
- ค. เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและ  
แอนโอดวงแหวนตั้งฉากกับผนังแคโทด ดังรูปที่ 4.8
- ง. เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและ  
แอนโอดวงแหวนตั้งฉากกับผนังแคโทดที่มีขดลวดสปริงรอบแอนโอด  
ดังรูปที่ 4.9



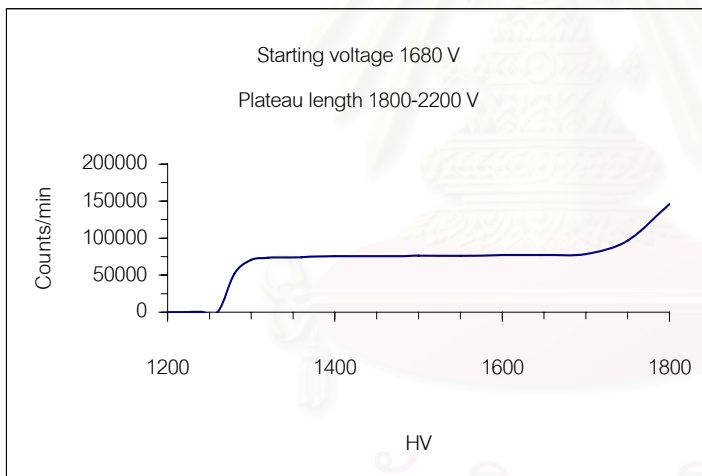
Operating voltage 2000 V  
Inlet gas pressure 1 psi  
Outlet gas flow rate 20 ml/min

รูปที่ 4.6 เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอนโอดวงแหวน



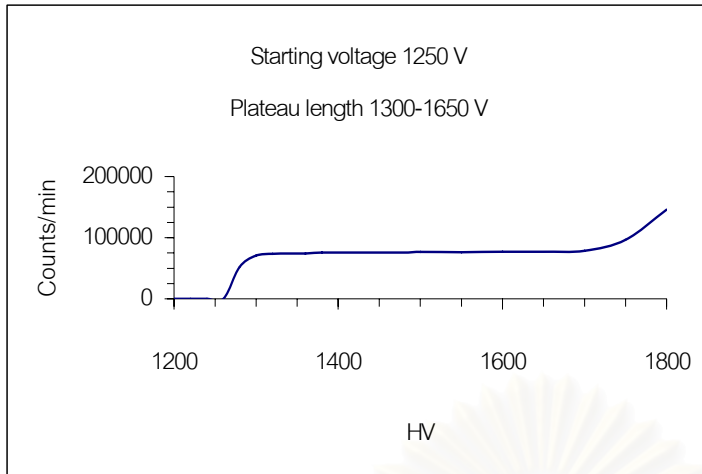
Operating voltage 1350 V  
 Inlet gas pressure 1 psi  
 Outlet gas flow rate 20 ml/min

รูปที่ 4.7 เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวงแนวขนาน



Operating voltage 2000 V  
 Inlet gas pressure 1 psi  
 Outlet gas flow rate 20 ml/min

รูปที่ 4.8 เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวงแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด



Operating voltage 1400 V  
 Inlet gas pressure 1 psi  
 Outlet gas flow rate 20 ml/min

รูปที่ 4.9 เส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้า และแวนโควางแนวตั้งฉากกับผนังแก๊สโทดที่มีขดลวดสปริงรอบแวนโคว

จากกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีดังรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 สามารถหาจุดเริ่มทำงานของหัววัดรังสี (Starting voltage), จุดทำงานที่เหมาะสม (Operating voltage) และช่วงการความยาวพลาคิตได้ดังนี้

ก. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแวนโควางแนวขนาน

มีจุดเริ่มต้นการทำงาน (Starting voltage) ที่ศักดาไฟฟ้า 1760 V มีช่วงความยาวพลาคิตยาว 400 V ตั้งแต่ ศักดาไฟฟ้า 1800-2200 V และจุดทำงานที่เหมาะสม (Operating voltage) ที่ศักดาไฟฟ้า 2000 V

ข. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแวนโควางแนวขนาน

มีจุดเริ่มต้นการทำงาน (Starting voltage) ที่ศักดาไฟฟ้า 1180 V มีช่วงความยาวพลาคิตยาว 400 V ตั้งแต่ ศักดาไฟฟ้า 1200-1700 V และจุดทำงานที่เหมาะสม (Operating voltage) ที่ศักดาไฟฟ้า 1350 V

ค. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแวนโควางแนวตั้งฉากกับผนังแก๊สโทด

มีจุดเริ่มต้นการทำงาน (Starting voltage) ที่ศักดาไฟฟ้า 1680 V มีช่วงความยาวพลาคิตยาว 400 V ตั้งแต่ ศักดาไฟฟ้า 1800-2200 V และจุดทำงานที่เหมาะสม (Operating voltage) ที่ศักดาไฟฟ้า 2000 V

- ง. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโควางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่มีขดลวดสร้างรอบแอนโอด

มีจุดเริ่มต้นการทำงาน (Starting voltage) ที่ศักดาไฟฟ้า 1250 V มีช่วงความยาวพลาโตยาว 350 V ตั้งแต่ ศักดาไฟฟ้า 1300-1650 V และจุดทำงานที่เหมาะสม (Operating voltage) ที่ศักดาไฟฟ้า 1400 V

#### 4.3 การทดสอบความสามารถในการแจกแจงพลังงาน

ทำการทดสอบวัดสเปกตรัมรังสีเอกซ์เพื่อหาความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัดรังสีแบบต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลที่เลือกใช้อ้างอิงของ LND model 45694 จักระบบทดสอบแบบวิเคราะห์พลังงาน ดังรูปที่ 4.4 ปรับค่าศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสมจ่ายให้กับหัววัดรังสีทำการวัดสเปกตรัมรังสีเอกซ์ที่ได้จากหัววัดรังสีแบบต่างๆ โดยกำหนดจำนวนนับรังสีและตำแหน่งของยอดพีกคงที่

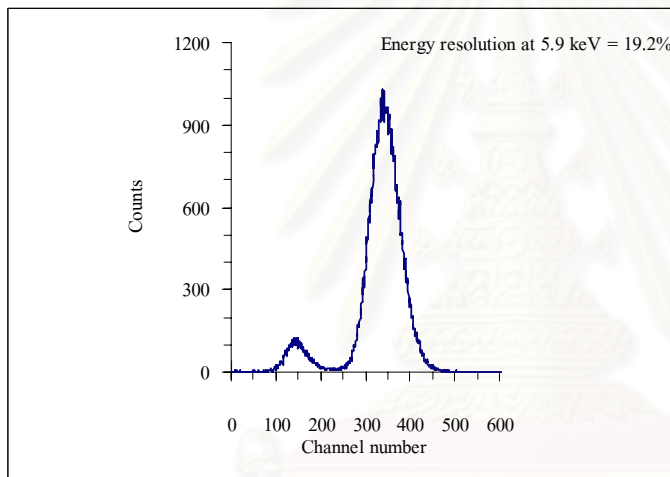
##### 4.3.1 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบวัดสเปกตรัมรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบต่างๆ

- ก. สเปกตรัมรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนล ของ LND model 45694 ดังรูปที่ 4.10 โดยตั้งค่าศักดาไฟฟ้า 1650 V, shaping time 0.5  $\mu$ s, coarse gain 30, fine gain 4.8
- ข. สเปกตรัมรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอนโควางแนวขนาน ดังรูปที่ 4.11 โดยตั้งค่าศักดาไฟฟ้า 2000 V, shaping time 0.5  $\mu$ s, coarse gain 30, fine gain 4.3, ปล่องก๊าซ P-10 มีความดันของก๊าซก่อนเข้าหัววัดรังสี 1 psi และมีอัตราการไหลออกของก๊าซบริเวณทางออกหัววัดรังสี 20 ml/min
- ค. สเปกตรัมรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโควางแนวขนาน ดังรูปที่ 4.12 โดยตั้งค่าศักดาไฟฟ้า 1350 V, shaping time 0.5  $\mu$ s, coarse gain 30, fine gain 8.1, ปล่องก๊าซ P-10 มีความดันของก๊าซก่อนเข้าหัววัดรังสี 1 psi และมีอัตราการไหลออกของก๊าซบริเวณทางออกหัววัดรังสี 20 ml/min
- ง. สเปกตรัมรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโควางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด ดังรูปที่

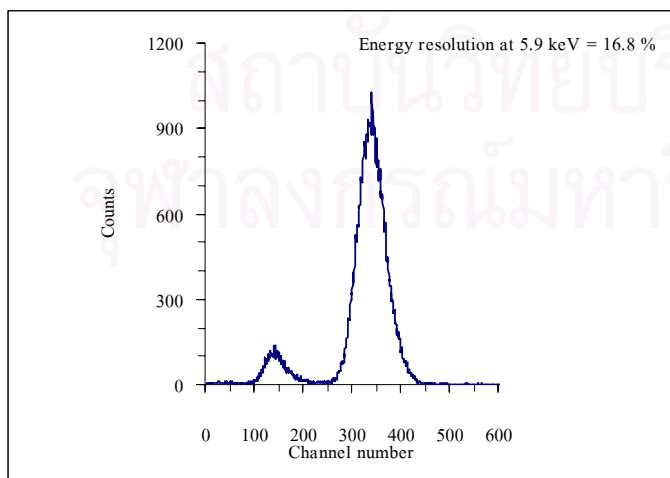
4.13 โดยตั้งค่าศักดาไฟฟ้า 2000 V, shaping time 0.5  $\mu$ s, coarse gain 100, fine gain 8.6 ปล่องก๊าซ P-10 มีความดันของก๊าซก่อนเข้าหัววัดรังสี 1 psi และมีอัตราการไหลออกของก๊าซบริเวณทางออกหัววัดรังสี 20 ml/min

จ. สเปกตรัมรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่มีขดลวด สปริงรอบแอโนด ดังรูปที่ 4.14 โดยตั้งค่าศักดาไฟฟ้า 1700 V, shaping time 0.5  $\mu$ s, coarse gain 100, fine gain 8.0, ปล่องก๊าซ P-10 มีความดันของก๊าซก่อนเข้าหัววัดรังสี 1 psi และมีอัตราการไหลออกของก๊าซบริเวณทางออกหัววัดรังสี 20 ml/min



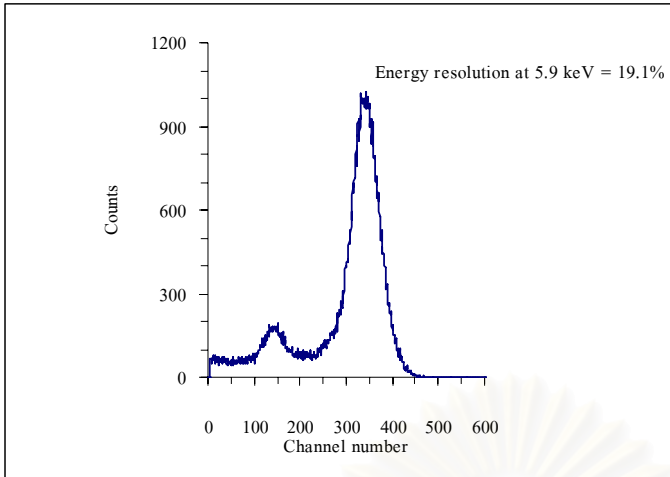
Operating voltage 1650 V  
Gas filled type

รูปที่ 4.10 สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีพรอร์ชันแนล ของ LND model 45694



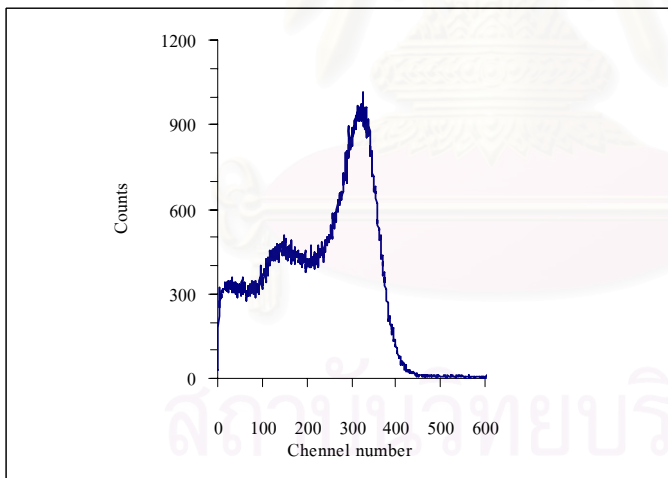
Operating voltage 2000 V  
Inlet gas pressure 1 psi  
Outlet gas flow rate 20 ml/min

รูปที่ 4.11 สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้าง



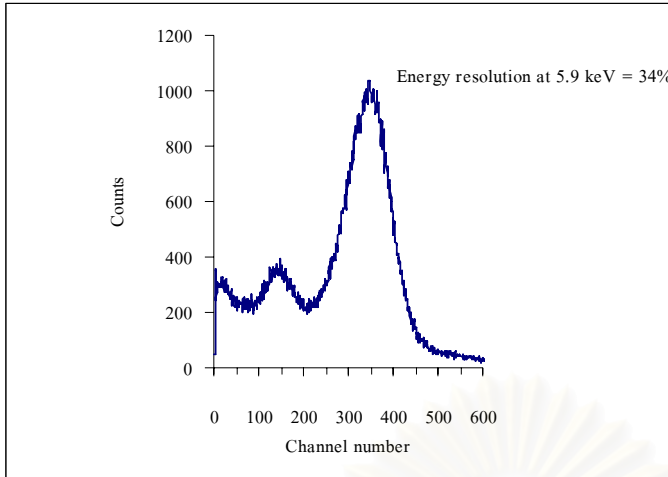
Operating voltage 1350 V  
 Inlet gas pressure 1 psi  
 Outlet gas flow rate 20 ml/min

รูปที่ 4.12 สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้า และแวนควางแนวขนาน



Operating voltage 2000 V  
 Inlet gas pressure 1 psi  
 Outlet gas flow rate 20 ml/min

รูปที่ 4.13 สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้า และแวนควางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด



Operating voltage 1400 V  
 Inlet gas pressure 1 psi  
 Outlet gas flow rate 20 ml/min

รูปที่ 4.14 สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้า และแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่มีขดลวดสปริงรอบแอโนด

จากสเปกตรัมรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิด Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 , 4.11 , 4.12 , 4.13 และ 4.14 สามารถคำนวณหาค่า FWHM และ Energy resolution (R) ที่พลังงานรังสีเอกซ์ 5.9 keV ได้ดังนี้

ก. หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลของ LND

$$\text{FWHM} = 1.134 \text{ keV}, \text{ Energy resolution} = 19.2\%$$

ข. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนาน

$$\text{FWHM} = 0.991 \text{ keV}, \text{ Energy resolution} = 16.8\%$$

ค. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวขนาน

$$\text{FWHM} = 1.127 \text{ keV}, \text{ Energy resolution} = 19.1\%$$

ง. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด

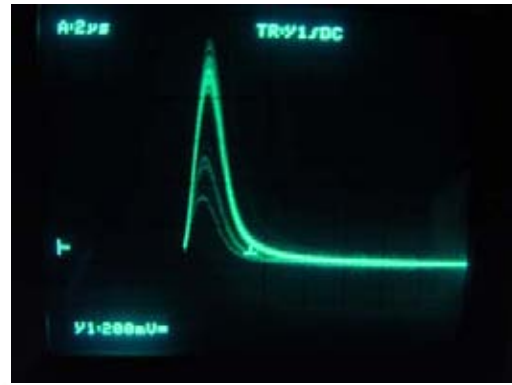
ไม่สามารถคำนวณหาค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานได้  
 เนื่องจากมีความไม่เป็นสเปกตรัมสูง

ช. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่มีขดลวดสปริงรอบแอโนด

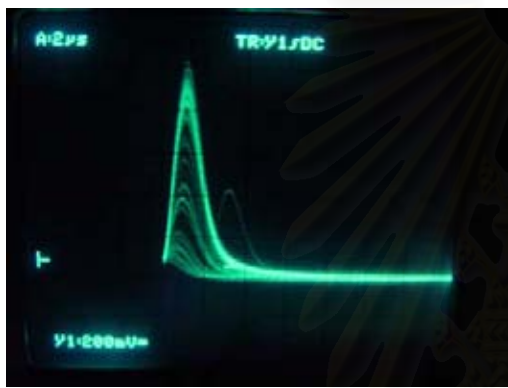
$$\text{FWHM} = 2.006 \text{ keV}, \text{ Energy resolution} = 34\%$$



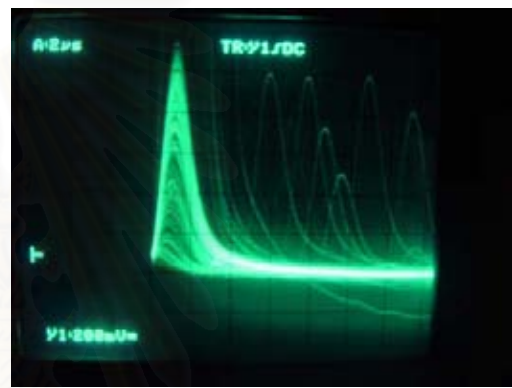
ก. สัญญาณพัลส์จากหัววัดรังสี LND



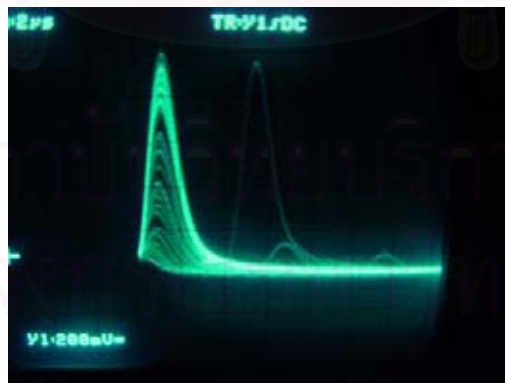
ข. สัญญาณพัลส์จากหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอนโอดวาง



ค. สัญญาณพัลส์จากหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนวขนาน



ง. สัญญาณพัลส์จากหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด



จ. สัญญาณพัลส์จากหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่มีขดลวดสปริงรอบแอนโอด

รูปที่ 4.15 รูปสัญญาณพัลส์จากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ของหัววัดรังสีแบบต่างๆ



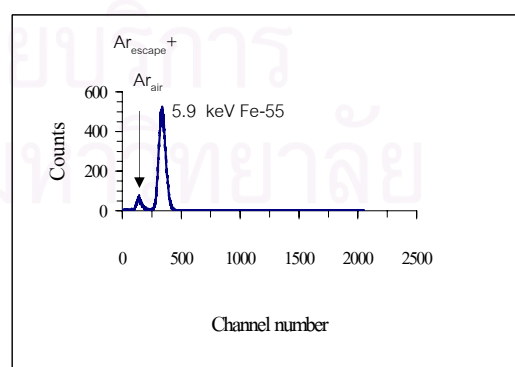
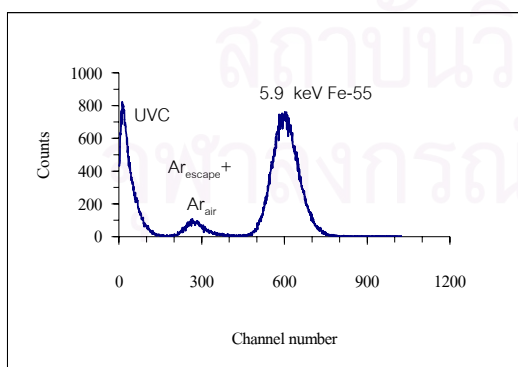
#### 4.4 การทดสอบการตอบสนองช่วงพลังงาน

ทำการทดสอบหาช่วงการตอบสนองพลังงานของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้าง และหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้า โดยวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีที่มีพลังงานค่าต่างๆ คือ Fe-55, Cd-109, Am-241 และรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากหลอด UV Fluorescent lamp โดยจัดระบบทดสอบแบบวิเคราะห์พลังงาน ดังรูปที่ 4.4 ทำการวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Fe-55, Cd-109, Am-241 และรังสีอัลตราไวโอเล็ต จากหลอด UV Fluorescent lamp จากหัววัดรังสีแบบต่างๆ ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของการวิเคราะห์พลังงานรังสี โดยหาความสัมพันธ์ของค่าพลังงานต่างๆ กับตำแหน่ง channel ที่ได้

##### 4.4.1 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบวัดสเปกตรัมเพื่อหาช่วงการตอบสนองพลังงาน

- ก. สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีโดยใช้หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้าง และแวนโนควางแนวนาน แสดงในรูปที่ 4.16 โดยตั้งค่าศักคาไฟฟ้า 2000 V, shaping time 0.5  $\mu$ s, coarse gain 300, fine gain 4.3, ปล่องก๊าซ P-10 มีความดันของก๊าซก่อนเข้าหัววัดรังสี 1 psi และมีอัตราการไหลออกของก๊าซบริเวณทางออกหัววัดรังสี 20 ml/min
- ข. สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีโดยใช้หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้า และแวนโนควางแนวนาน แสดงในรูปที่ 4.17 โดยตั้งค่าศักคาไฟฟ้า 1350 V, shaping time 0.5  $\mu$ s coarse gain 30, fine gain 8.1, ปล่องก๊าซ P-10 มีความดันของก๊าซก่อนเข้าหัววัดรังสี 1 psi และมีอัตราการไหลออกของก๊าซบริเวณทางออกหัววัดรังสี 20 ml/min

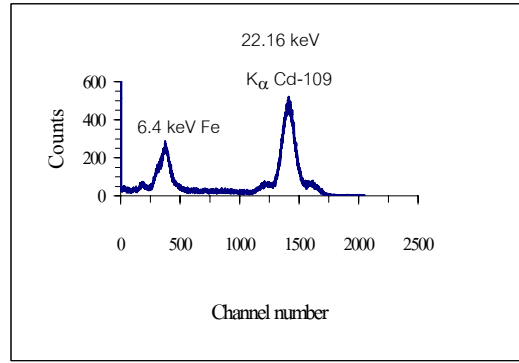
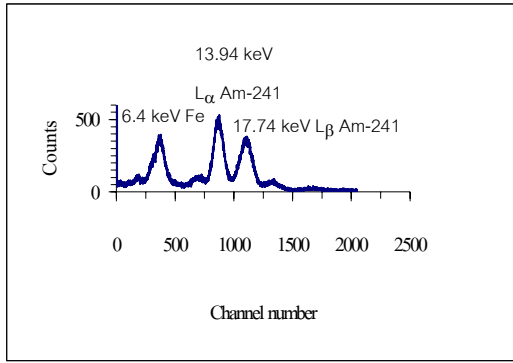


ก. สเปกตรัมของรังสีย่านอัลตราไวโอเล็ต

จากหลอด UV fluorescent lamp เทียบกับ

พลังงาน 5.9 keV จาก Fe-55

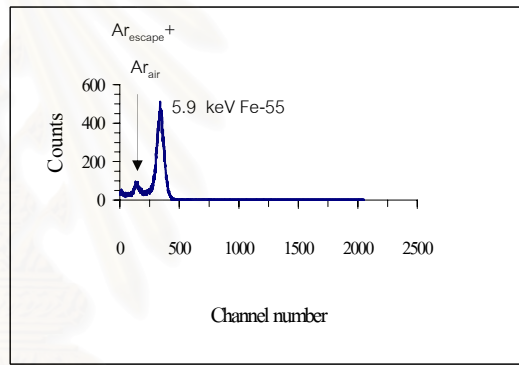
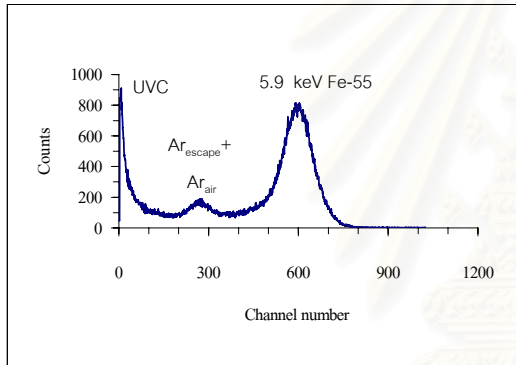
ข. สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Fe-55



ค. สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Am-241

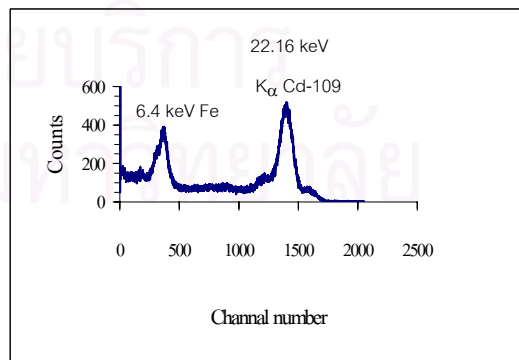
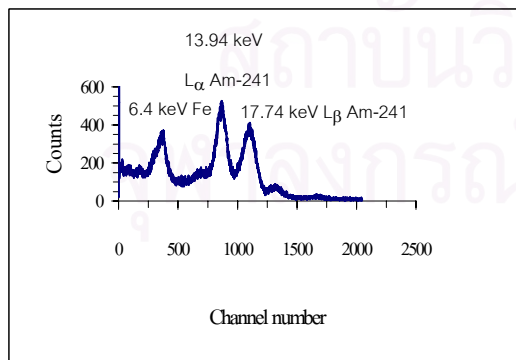
ง. สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Cd-109

รูปที่ 4.16 สเปกตรัมของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนาน



ค. สเปกตรัมของรังสีย่านอัลตราไวโอเล็ต จากหลอด UV fluorescent lamp เทียบกับพลังงาน 5.9 keV จาก Fe-55

ข. สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Fe-55



ค. สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Am-241

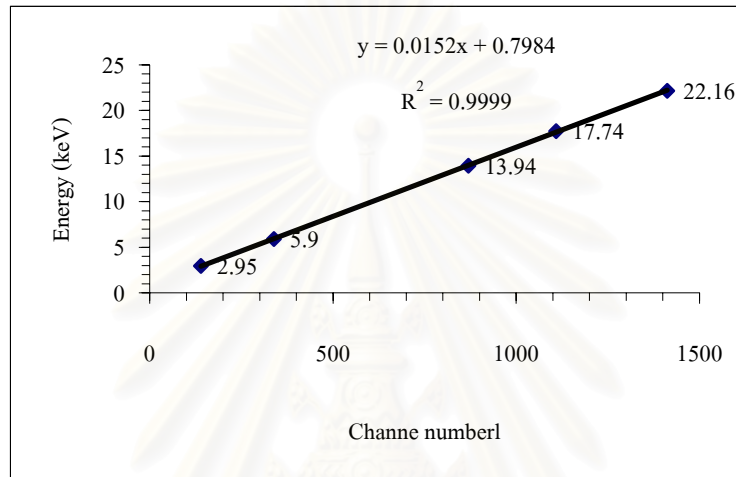
ง. สเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Cd-109

รูปที่ 4.17 สเปกตรัมของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวขนาน

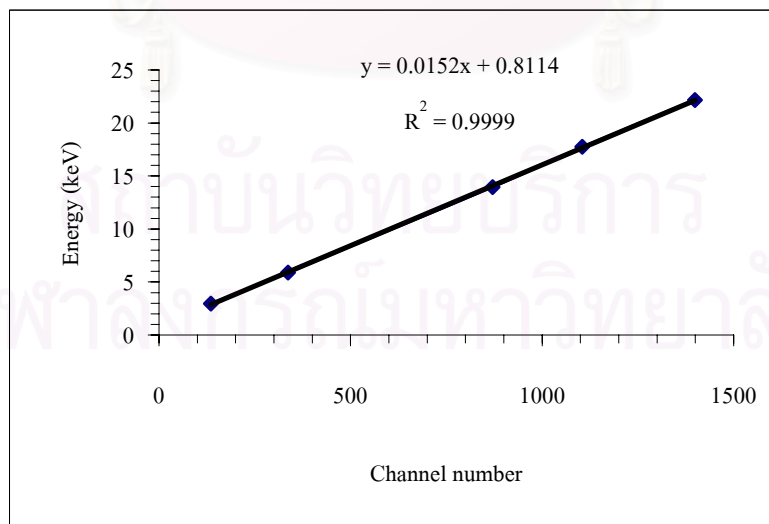
ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของการวิเคราะห์พลังงาน

ก. เส้นกราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของการวิเคราะห์พลังงานจากหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอนโอดวางแนวขนาน แสดงในรูปที่ 4.18

ข. เส้นกราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของการวิเคราะห์พลังงานจากหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนวขนาน แสดงรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของการวิเคราะห์พลังงานจากหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอนโอดวางแนวขนาน



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของการวิเคราะห์พลังงานจากหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโอดวางแนวขนาน

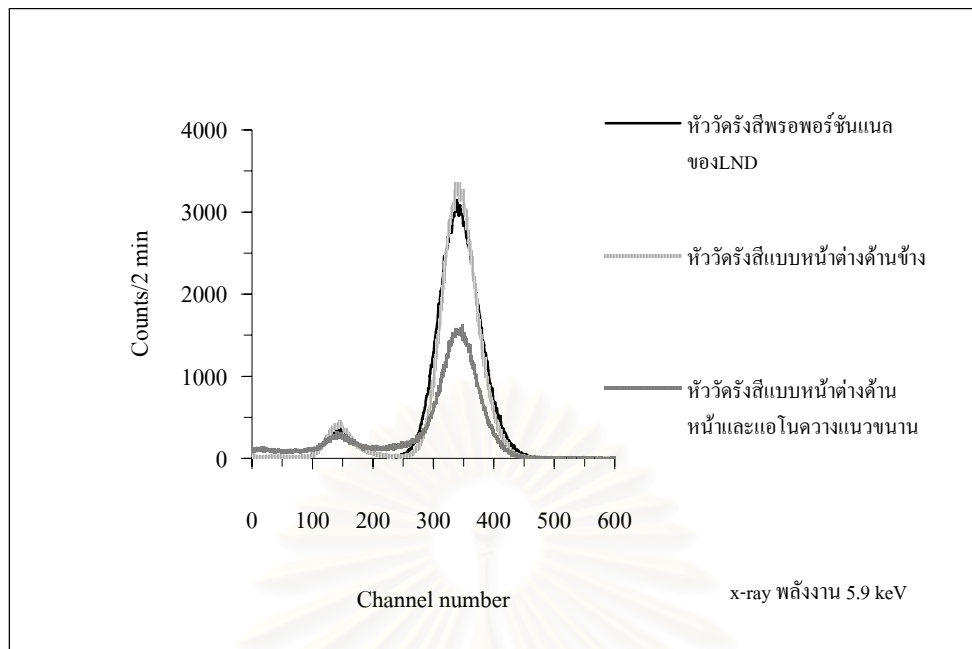
#### 4.5 การทดสอบความตอบสนองของหัววัดรังสี

ทำการทดสอบวัดสเปกตรัมรังสีเอกซ์โดยใช้หัววัดรังสีแบบต่างๆ กำหนดเวลาในการวัด 2 นาที และระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ถึงหัววัดรังสีเท่ากับ 10 cm เปรียบเทียบกับหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลที่ใช้อ้างอิงของ LND model 45694 โดยจัดระบบทดสอบแบบวิเคราะห์พลังงาน ดังรูปที่ 4.4

##### 4.5.1 ผลการทดสอบ

ผลการวัดสเปกตรัมรังสีเอกซ์ต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ความแรงรังสี 400  $\mu\text{Ci}$  เพื่อเปรียบเทียบความตอบสนองของการวัดหัววัดรังสีแบบต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.20

- ก. สเปกตรัมรังสีเอกซ์โดยใช้หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลของ LND ตั้งค่าศักดาไฟฟ้า 1650 V, shaping time 0.5  $\mu\text{s}$ , coarse gain 30, fine gain 4.8 มีพื้นที่ใต้พีคของจำนวนนับรังสีจาก Fe-55 พลังงาน 5.9 keV เท่ากับ 250140 counts
- ข. สเปกตรัมรังสีเอกซ์โดยใช้หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนาน ตั้งค่าศักดาไฟฟ้า 2000 V, shaping time 0.5  $\mu\text{s}$ , coarse gain 30, fine gain 4.3, ปล่องก๊าซ P-10 มีความดันของก๊าซก่อนเข้าหัววัดรังสี 1 psi และมีอัตราการไหลออกของก๊าซบริเวณทางออกหัววัดรังสี 20 ml/min มีพื้นที่ใต้พีคของจำนวนนับรังสีจาก Fe-55 พลังงาน 5.9 keV เท่ากับ 232586 counts
- ค. สเปกตรัมรังสีเอกซ์โดยใช้หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้า ตั้งค่าศักดาไฟฟ้า 1350 V, shaping time 0.5  $\mu\text{s}$ , coarse gain 30, fine gain 8.1, ปล่องก๊าซ P-10 มีความดันของก๊าซก่อนเข้าหัววัดรังสี 1 psi และมีอัตราการไหลออกของก๊าซบริเวณทางออกหัววัดรังสี 20 ml/min มีพื้นที่ใต้พีคของจำนวนนับรังสีจาก Fe-55 พลังงาน 5.9 keV เท่ากับ 124602 counts



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบความตอบสนองของหัววัดรังสีแบบต่างๆ

#### 4.6 การทดสอบผลของอัตราไหลของก๊าซต่อการทำงานของหัววัดรังสี

ได้ทดสอบการแปรเปลี่ยนอัตราไหลของก๊าซเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะต่างๆของหัววัดรังสี โดยปรับอัตราไหลของก๊าซทางออกหัววัดรังสี คือ 10, 20, 70, 120 และ 170 ml/min ความดันของก๊าซทางเข้าหัววัดรังสีคงที่ที่ 1 psi

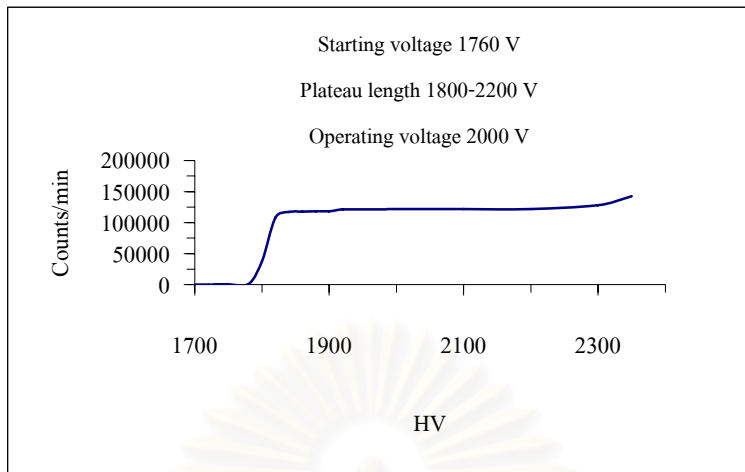
##### 4.6.1 การทดสอบผลของอัตราไหลของก๊าซต่อเส้นกราฟคุณลักษณะ

ทำการทดสอบหาเส้นกราฟคุณลักษณะของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนาน ที่อัตราการไหลของก๊าซค่าต่างๆ โดยจัดระบบทดสอบแบบนับรวม ดังรูปที่

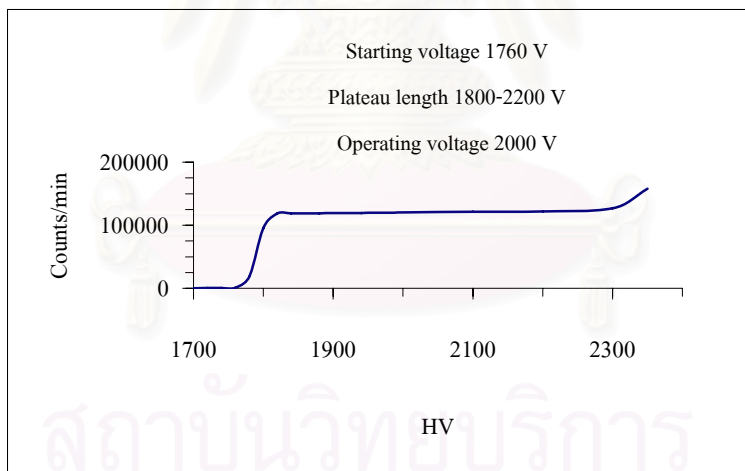
4.2

##### ผลการทดสอบ

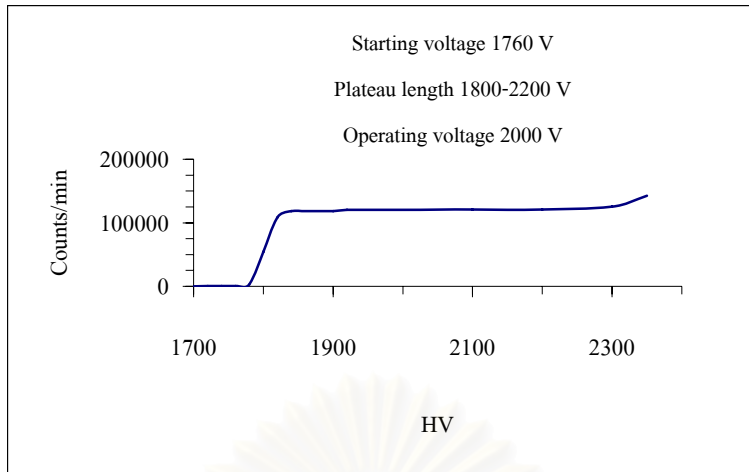
- ก. ที่อัตราไหลของก๊าซ 10 ml/min ไม่สามารถทดสอบได้ เนื่องจากหน้าต่างรับรังสี ไม่สามารถทนแรงดันก๊าซได้
- ข. เส้นกราฟคุณลักษณะที่อัตราไหลก๊าซ 20 ml/min ดังรูปที่ 4.21
- ค. เส้นกราฟคุณลักษณะที่อัตราไหลก๊าซ 70 ml/min ดังรูปที่ 4.22
- ง. เส้นกราฟคุณลักษณะที่อัตราไหลก๊าซ 120 ml/min ดังรูปที่ 4.23
- จ. เส้นกราฟคุณลักษณะที่อัตราไหลก๊าซ 170 ml/min ดังรูปที่ 4.24



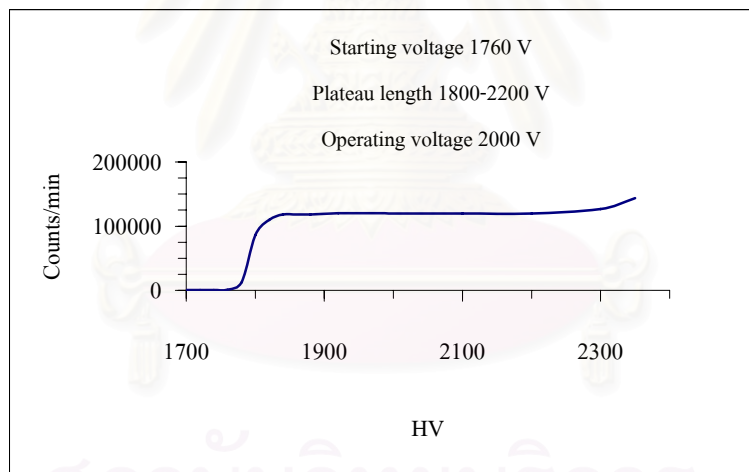
รูปที่ 4.21 เส้นกราฟคุณลักษณะที่อัตราไหลก๊าซ 20 ml/min



รูปที่ 4.22 เส้นกราฟคุณลักษณะที่อัตราไหลก๊าซ 70 ml/min



รูปที่ 4.23 เส้นกราฟคุณลักษณะที่อัตราไหลก๊าซ 120 ml/min



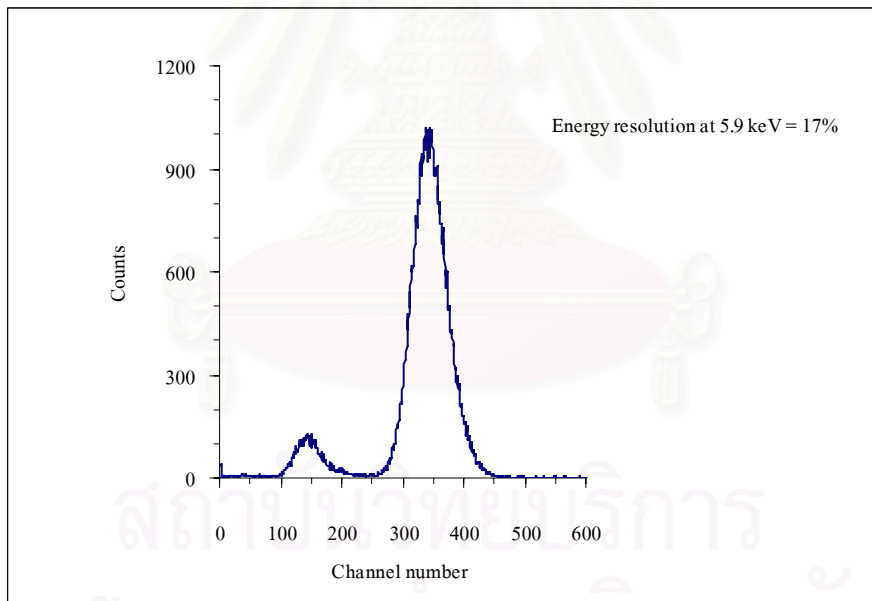
รูปที่ 4.24 เส้นกราฟคุณลักษณะที่อัตราไหลก๊าซ 170 ml/min

#### 4.6.2 การทดสอบผลของอัตราไหลของก๊าซต่อความสามารถในการแจกแจงพลังงาน

ทำการทดสอบผลของอัตราไหลของก๊าซต่อความสามารถในการแจกแจงพลังงาน โดยใช้หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแวนคูวาแกนแนวนาน จัดระบบทดสอบแบบวิเคราะห์พลังงาน ดังรูปที่ 4.4 ปรับค่าศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสมจ่ายให้กับหัววัดรังสี ทำการวัดสเปกตรัมรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ที่อัตราไหลของก๊าซทางออกหัววัดรังสีค่าต่างๆ โดยกำหนดความดันของก๊าซขาเข้าหัววัดรังสีคงที่ที่ 1 psi และตั้งค่า coarse gain 30, fine gain 4.3

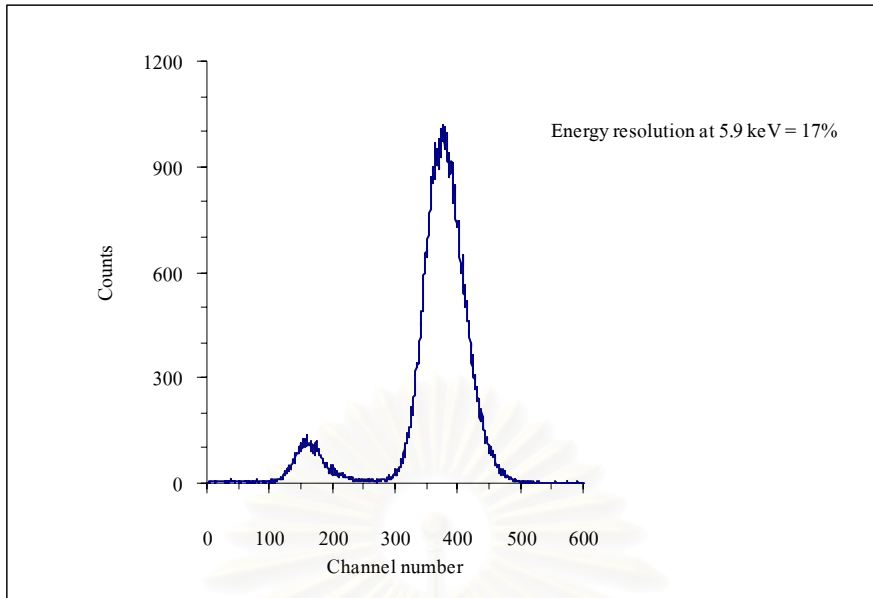
##### ผลการทดสอบ

- ก. ผลการทดสอบที่อัตราไหลของก๊าซ 20 ml/min ดังรูปที่ 2.25
- ข. ผลการทดสอบที่อัตราไหลของก๊าซ 70 ml/min ดังรูปที่ 2.26
- ค. ผลการทดสอบที่อัตราไหลของก๊าซ 120 ml/min ดังรูปที่ 2.27
- ง. ผลการทดสอบที่อัตราไหลของก๊าซ 170 ml/min ดังรูปที่ 2.28

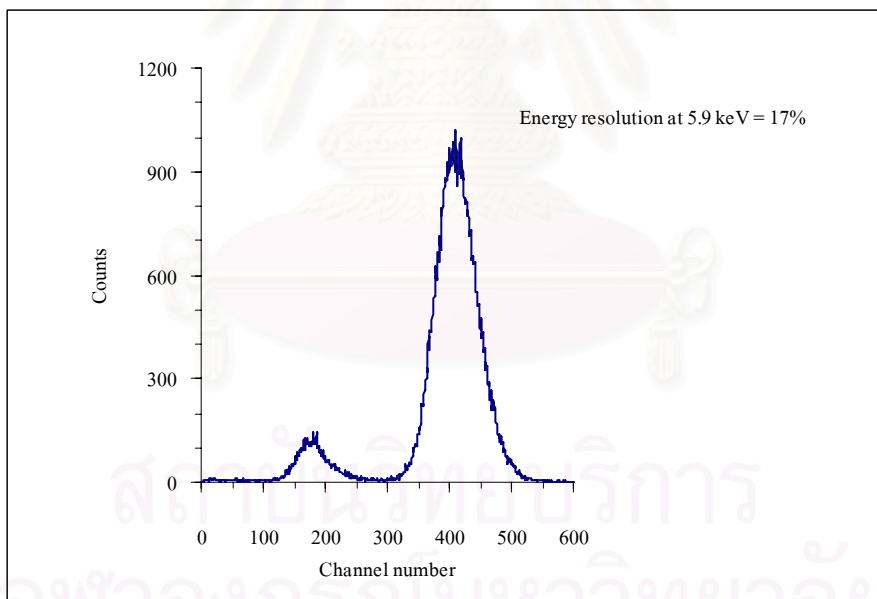


รูปที่ 4.25 สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ที่อัตราไหลของก๊าซ 20 ml/min

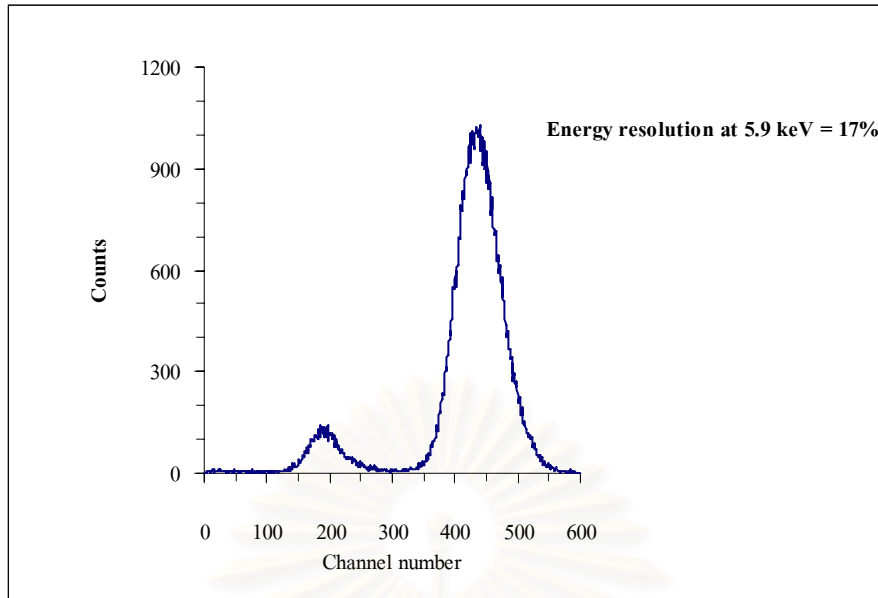




รูปที่ 4.26 สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ที่อัตราไหลของก๊าซ 70 ml/min



รูปที่ 4.27 สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ที่อัตราไหลของก๊าซ 120 ml/min



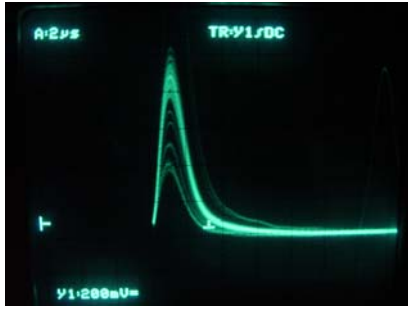
รูปที่ 4.28 สเปกตรัมจากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 ที่อัตราไหลของก๊าซ 170 ml/min

#### 4.6.3 การทดสอบผลของอัตราไหลของก๊าซต่อขนาดของสัญญาณพัลส์

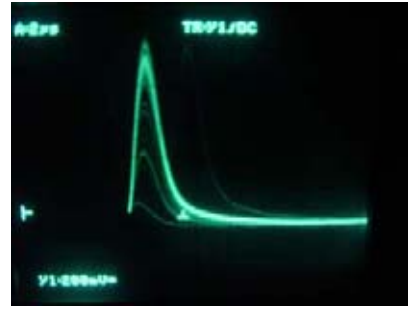
จัดระบบทดสอบแบบวิเคราะห์พลังงาน ดังรูปที่ 4.4 ปรับค่าศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสมจ่ายให้กับหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอมโพลีวาจนวนาน ทำการวัดสเปกตรัมรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสี Fe-55 สังเกตสัญญาณพัลส์จาก Oscilloscope ที่อัตราไหลของก๊าซทางออกหัววัดรังสีค่าต่างๆ โดยกำหนดความดันของก๊าซเข้าหัววัดรังสีคงที่ที่ 1 psi และตั้งค่า coarse gain 30, fine gain 4.3

#### ผลการทดสอบ

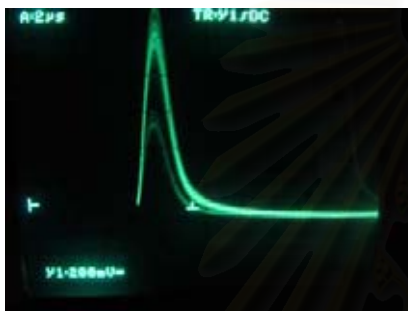
- ก. ผลการทดสอบที่อัตราไหลของก๊าซ 20 ml/min ดังรูปที่ 2.29.ก
- ข. ผลการทดสอบที่อัตราไหลของก๊าซ 70 ml/min ดังรูปที่ 2.29.ข
- ค. ผลการทดสอบที่อัตราไหลของก๊าซ 120 ml/min ดังรูปที่ 2.29.ค
- ง. ผลการทดสอบที่อัตราไหลของก๊าซ 170 ml/min ดังรูปที่ 2.29.ง



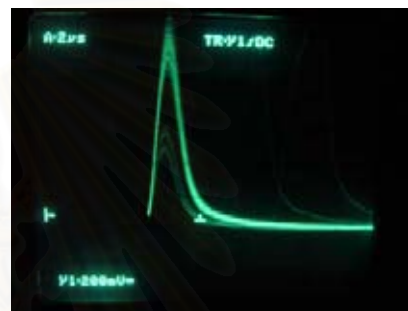
รูปที่ 4.29.ก ขนาดของสัญญาณ  
พัลส์ที่อัตราไหล 20 ml/min



รูปที่ 4.29.ข ขนาดของสัญญาณ  
พัลส์ที่อัตราไหล 70 ml/min



รูปที่ 4.29.ค ขนาดของสัญญาณ  
พัลส์ที่อัตราไหล 120 ml/min



รูปที่ 4.29.ง ขนาดของสัญญาณ  
พัลส์ที่อัตราไหล 170 ml/min

รูปที่ 4.29 ขนาดของสัญญาณพัลส์ที่อัตราไหลของก๊าซค่าต่างๆ

#### 4.6.4 การทดสอบผลของอัตราไหลของก๊าซต่อความตอบสนองของหัววัดรังสี

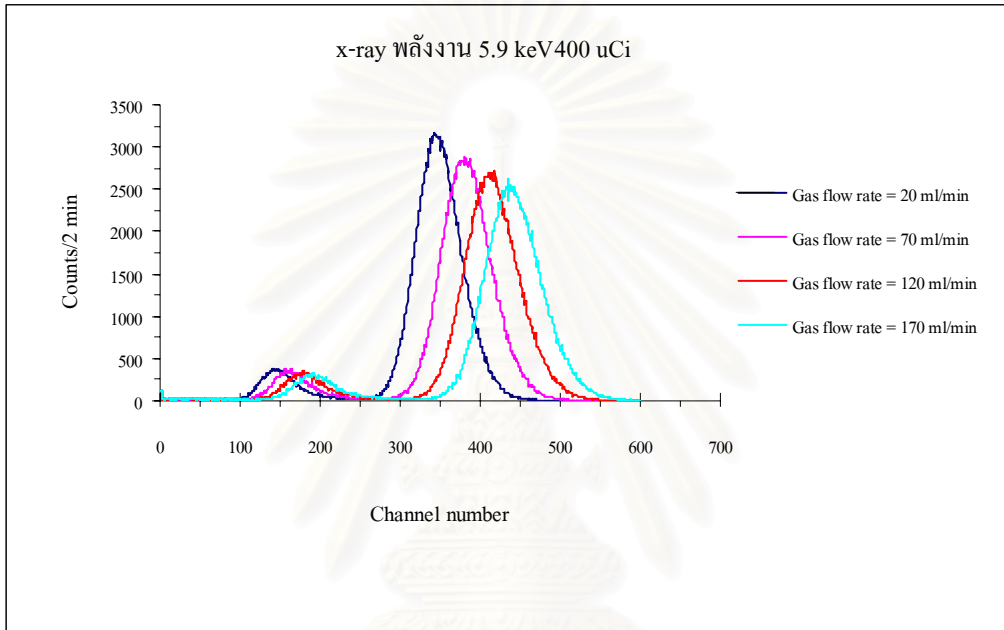
ทำการทดสอบวัดสเปกตรัมรังสีเอกซ์โดยใช้หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและ  
แอนโอดวงแนวขนาน ที่ค่าอัตราไหลของก๊าซขาออกหัววัดรังสีค่าต่างๆ ความดันของก๊าซขาเข้า  
หัววัดรังสีคงที่ที่ 1 psi กำหนดเวลาในการวัด 2 นาที และระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ถึงหัววัด  
รังสีเท่ากับ 10 cm โดยจัดระบบทดสอบแบบวิเคราะห์พลังงาน ดังรูปที่ 4.4

##### ผลการทดสอบ

ผลการวัดสเปกตรัมรังสีเอกซ์ต้นกำเนิดรังสี Fe-55 พลังงาน 5.9 keV  
ความแรงรังสี 400  $\mu\text{Ci}$  ที่อัตราไหลของก๊าซค่าต่างๆ โดยตั้งค่า coarse gain 30, fine gain 4.3 แสดง  
ดังรูปที่ 4.30

- ก. พื้นที่ใต้พีคของจำนวนนับรังสีจาก Fe-55 พลังงาน 5.9 keV  
ที่อัตราไหลของก๊าซ 20 ml/min เท่ากับ 221282 counts

- ข. พื้นที่ใต้พีคของจำนวนนับรังสีจาก Fe-55 พลังงาน 5.9 keV ที่อัตราไหลของก๊าซ 70 ml/min เท่ากับ 221053 counts
- ค. พื้นที่ใต้พีคของจำนวนนับรังสีจาก Fe-55 พลังงาน 5.9 keV ที่อัตราไหลของก๊าซ 120 ml/min เท่ากับ 219937 counts
- ง. พื้นที่ใต้พีคของจำนวนนับรังสีจาก Fe-55 พลังงาน 5.9 keV ที่อัตราไหลของก๊าซ 170 ml/min เท่ากับ 217849 counts



รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบความตอบสนองของหัววัดรังสีที่อัตราไหลของก๊าซค่าต่างๆ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลแบบก๊าซไหลได้ทำการศึกษาและพัฒนาหัววัดรังสีรวมทั้งหมด 4 โครงสร้าง ได้แก่

- ก. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนาน
- ข. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวขนาน
- ค. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด
- ง. หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่มีขดลวดสปริงรอบแอโนด

หัววัดรังสีที่ได้พัฒนาขึ้นใช้ก๊าซ P-10 เป็นก๊าซตัวกลางในหัววัดรังสี โดยออกแบบโครงสร้างหัววัดรังสีจากวัสดุที่สามารถหาได้ภายในประเทศทั้งหมด ยกเว้นเส้นลวดแอโนดทั้งสแตนเลสและทอง หัววัดรังสีที่ได้พัฒนาขึ้นนั้นจึงมีราคาต่ำกว่าหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลที่นำเข้าจากต่างประเทศ การทดสอบหัววัดรังสีทั้ง 4 โครงสร้างสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. หัววัดรังสีที่พัฒนาขึ้นมีช่วงการทำงานของหัววัดรังสี ที่ความดันของก๊าซขาเข้า 1 psi และอัตราไหลของก๊าซขาออก 20 ml/min ดังนี้
  - 1.1 หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนาน มีช่วงพลาโตตั้งแต่ 1800-2200 V จุด Operating Voltage อยู่ที่ประมาณ 2000 V
  - 1.2 หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวขนาน มีช่วงพลาโตตั้งแต่ 1200-1700V จุด Operating Voltage อยู่ที่ประมาณ 1350 V
  - 1.3 หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด มีช่วงพลาโตตั้งแต่ 1800-2200 V จุด Operating Voltage อยู่ที่ประมาณ 2000 V ซึ่งค่อนข้างสูงเนื่องจากเส้นลวดแอโนดห่างจากผนังแคโทดมาก
  - 1.4 หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดที่มีขดลวดสปริงรอบแอโนด มีช่วงพลาโตตั้งแต่ 1300-1650 V จุด Operating Voltage อยู่ที่ประมาณ 1400 V
2. สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบได้ดังนี้

- 2.1 สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีที่มีโครงสร้างแอนโตนววงแนวขนานกับทรงกระบอกแคโทด ให้สนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอ และมีลักษณะเส้นสนามไฟฟ้าดังรูปที่ 3.5
- 2.2 สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหัววัดรังสีที่มีโครงสร้างแอนโตนววงแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด ทรงกระบอก ให้สนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะดังรูปที่ 3.6.ก และได้ทำการปรับปรุงแนวเส้นสนามไฟฟ้าเพื่อให้สม่ำเสมอภายในบริเวณรวบรวมประจุ โดยการสวมขดลวดสปริงรอบแอนโตนววงแนวแกน ส่งผลให้เส้นสนามไฟฟ้าในแนวรัศมีมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ดังรูป 3.6.ข

3. ผลการทดสอบความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัดรังสีที่พัฒนาขึ้น ด้วยการวัดค่า FWHM ให้ผลดังนี้

- 3.1 หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอนโตนววงแนวขนาน มี FWHM = 0.991 keV ค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงาน เท่ากับ 16.8% ที่พลังงาน 5.9 keV
- 3.2 หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโตนววงแนวขนาน มี FWHM = 1.127 keV ค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงาน เท่ากับ 19.1% ที่พลังงาน 5.9 keV
- 3.3 หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโตนววงแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด ไม่สามารถหาค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานได้ โดยมีลักษณะเป็นบรอดสเปกตรัม (Broad spectrum) เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของสนามไฟฟ้าบริเวณแอนโตนววงและแคโทด ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของขนาดสัญญาณพัลส์ที่พลังงานเดียวกันสูง
- 3.4 หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอนโตนววงแนวมีขดลวดตั้งฉากกับผนังแคโทดที่สปริงรอบแกนแอนโตนววง มี FWHM = 2.006 keV ค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงาน เท่ากับ 34% ที่พลังงาน 5.9 keV

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัดรังสีแบบต่างๆกับหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลแบบผนังกสนิทของ LND model 45694 พบว่าหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอนโตนววงแนวขนานมีค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานดีที่สุด และมีค่าดีกว่าหัววัดรังสีของ LND ขณะที่หัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอนโตนววงแนวขนาน มีค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานที่ใกล้เคียงกับหัววัดรังสีของ LND แต่มีฐานสเปกตรัมที่สูงกว่าหัววัดรังสีของ LND บริเวณฐานที่สูงเกิดจากผลของความไม่สม่ำเสมอของสนามไฟฟ้าบริเวณใกล้หน้าต่างรับรังสี ส่วนหัววัดรังสีอีก 2 แบบนั้นมีค่าความสามารถในการแจกแจงพลังงานที่ด้อย

กว่าหัววัดรังสีของ LND เนื่องจากผลความไม่สม่ำเสมอของสนามไฟฟ้าที่หลงเหลืออยู่ภายในหัววัดรังสีตลอดแนวรอบแอโนด

4. ผลการทดสอบช่วงการวัดพลังงานของหัววัดรังสีแบบต่างๆ โดยทำการทดสอบหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าที่มีแอโนดวางแนวขนาน พบว่าสามารถวัดพลังงานรังสีเอกซ์ได้ในช่วงกว้าง ตั้งแต่ช่วงพลังงานรังสี 30 keV ลงไปจนถึงช่วงรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ ทั้งนี้สามารถวัดพลังงานรังสีอัลตราไวโอเล็ตพลังงานสูงย่าน UVC ได้ ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ การที่หัววัดรังสีสามารถวัดรังสีเอกซ์ในช่วงพลังงานต่ำและรังสีอัลตราไวโอเล็ตพลังงานสูงได้นั้น เนื่องจากการเลือกใช้วัสดุทำหน้าต่างรับรังสีที่มีคุณสมบัติการลดทอนรังสีต่ำ วัสดุที่เลือกใช้คือโพลีเมอร์ชนิดโพลิโพรพิลีน

5. ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของการวัดพลังงานของหัววัดรังสีนั้น ให้ผลความเป็นเชิงเส้นของหัววัดรังสีที่ดี โดยหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างมีความเป็นเชิงเส้นของการวัดพลังงาน ดังรูปที่ 4.16 มีค่า  $R^2 = 0.9999$  และหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวขนานมีความเป็นเชิงเส้นของการวัดพลังงาน ดังรูปที่ 4.17 มีค่า  $R^2 = 0.9999$

6. ผลการทดสอบความตอบสนองของหัววัดรังสีที่พัฒนาขึ้นนั้น โดยทำการเปรียบเทียบกับหัววัดรังสีของ LND พบว่าหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนานมีความตอบสนองที่ดีกว่าหัววัดรังสีของ LND เล็กน้อย ส่วนหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวขนานมีความตอบสนองที่ด้อยกว่าหัววัดรังสีของ LND ทั้งนี้เนื่องจากมีพื้นที่ของหน้าต่างรับรังสีที่น้อยกว่าและตำแหน่งของหน้าต่างรับรังสีอยู่ด้านหน้าหัววัดรังสี โดยมีสเปกตรัมพลังงานเปรียบเทียบความตอบสนองของหัววัดรังสี ดังรูปที่ 4.18

7. ผลการทดลองแปรเปลี่ยนอัตราไหลของก๊าซ P-10 ในหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านข้างและแอโนดวางแนวขนาน เพื่อเพิ่มความหนาแน่นก๊าซในหัววัดรังสี ตั้งแต่ระดับที่หน้าต่างหัววัดรังสีทนแรงดันได้ คือ 20 ml/min ถึง 200 ml/min พบว่า อัตราไหลของก๊าซในช่วงดังกล่าวไม่มีผลต่อช่วงพลาโตของหัววัดรังสี และไม่กระทบต่อความสามารถในการแจกแจงพลังงานมากนัก แต่จะมีผลต่อขนาดสัญญาณพัลส์ คือเมื่ออัตราไหลของก๊าซเพิ่มมากขึ้น (ความดันภายในหัววัดรังสีลดลง) ขนาดของสัญญาณพัลส์จะเพิ่มขึ้นตามด้วย และมีผลต่อความตอบสนองของหัววัดรังสี เมื่ออัตราไหลของก๊าซลดลง (ความดันภายในหัววัดรังสีเพิ่มขึ้น) ความตอบสนองด้านพลังงานสูงของหัววัดรังสีจะมีค่ามากขึ้น

## 5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย

1. ความไม่สม่ำเสมอของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบแนวเส้นลวดแอโนดบางส่วน จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของไอออนและอิเล็กตรอน ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของขนาดสัญญาณพัลส์ที่

พลังงานเดียวกัน และกระทบต่อความสามารถในการแจกแจงพลังงาน ดังพิจารณาได้จากผลการทดลองความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวขนาน ซึ่งจะมีบริเวณไม่สม่ำเสมอของสนามไฟฟ้าเฉพาะบริเวณใกล้กับหน้าต่าง ขณะที่โครงสร้างของหัววัดรังสีแบบหน้าต่างด้านหน้าและแอโนดวางแนวตั้งฉากกับแคโทด พบว่าจะสูญเสียความสามารถในการแจกแจงพลังงานอย่างรุนแรง แม้ว่าจะสวมสปริงรอบแอโนดแล้วก็ตาม

2. ความเป็นเชิงเส้นของการวัดพลังงานขึ้นกับความเหมาะสมของขนาดสนามไฟฟ้าแรงดันก๊าซและช่วงของพลังงานที่เลือกใช้ การใช้ความหนาแน่นก๊าซสูงเกินไปจะมีผลต่อการวัดพลังงานของรังสีด้านพลังงานต่ำ ขณะที่การใช้ขนาดของแคโทดโตมากเกินไปจะมีผลต่อการใช้แรงดันไปอัสสูง และการเคลื่อนที่ของพาหะประจุจะใช้เวลานาน มีผลต่อการสูญเสียขนาดสัญญาณ ณ ตำแหน่ง shaping time ที่เหมาะสมกับอัตราสัญญาณต่อสิ่งรบกวน ซึ่งให้ความสามารถในการแจกแจงพลังงานสูง

3. อัตราไหลของก๊าซ P-10 ขึ้นกับแรงดันก๊าซขาเข้าและออกของหัววัดรังสี เพื่อควบคุมความดันก๊าซภายในหัววัดรังสี อัตราไหลของก๊าซทางออกยิ่งสูง จะช่วยให้ได้ขนาดสัญญาณที่พลังงานเดียวกันสูงขึ้น เนื่องจากความดันก๊าซภายในหัววัดรังสีต่ำ ทำให้ค่าทวิปริมาณไอออนของก๊าซสูง ขนาดสัญญาณจึงสูงขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทดลองเปลี่ยนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของแคโทด เพื่อให้หัววัดรังสีมีหลากหลายขนาด และเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท

2. ควรมีการทดสอบรูปร่างของแคโทดจากทรงกระบอกฐานกลม เป็นทรงกระบอกฐานสี่เหลี่ยม เพื่อความสะดวกในการจัดวางหัววัดรังสี

3. ควรมีการประยุกต์การใช้งานของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลในย่านรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ โดยการวัดการเรืองรังสีเอกซ์ของธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำต่างๆ เช่น คาร์บอน ออกซิเจน เป็นต้น ภายในระบบสุญญากาศ

4. ควรพัฒนาหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลเป็นแบบหัววัดรังสีแบบปิดผนึกสนิท เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

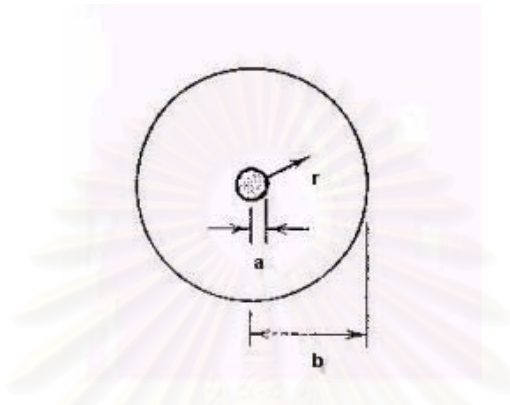


## รายการอ้างอิง

1. J.A. Cairns and D.F. Holloway. A new proportional counter anode unit. Nuclear Instruments and Methods 94,1971: 579.
2. วีระ พันธุ์จัน. การศึกษาแนวทางในการสร้างหัววัดรังสีแบบพรอพอร์ชันแนล. โครงการงานประกาศนียบัตรบัณฑิต. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
3. อติศักดิ์ ปัญญาสุข. การพัฒนาหัววัดรังสีเอกซ์ชนิดพรอพอร์ชันแนลก๊าซไหลที่ไวต่อตำแหน่งราคาประหยัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
4. J.A. Cairns, D.F. Holloway and G.F. Snelling. A new compact soft x-ray gas flow proportional counter. Nuclear Instruments and Methods 111,1973: 419-426.
5. H. Sakurai, T. Tamura, S. Gunji and M. Noma. A new type of proportional counter using a capillary plate. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 374,1996: 341-344.
6. University of Illinois at Chicago. Ionization chamber. [www.uic.edu](http://www.uic.edu).
7. LND, Inc. Side Window Proportional Counters. [www.LNDinc.com](http://www.LNDinc.com)
8. Mullard Space Science Laboratory. Introduction to Proportional Counters. [www.mssl.ucl.ac.uk](http://www.mssl.ucl.ac.uk)
9. ผศ.สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. เอกสารประกอบการสอนวิชา การตรวจวัดรังสีนิวเคลียร์และอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์.
10. University of Michigan. Measurement of Radiation Gas Filled Detector. [www.umich.edu](http://www.umich.edu).
11. ORAU. Proportional Counters. [www.orau.org](http://www.orau.org).
12. Knoll G.F. Radiation Detection and Measurement. 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons Inc, 1999.
13. ผศ.สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และคณะ. การพัฒนาอุปกรณ์ขยายส่วนหน้าสำหรับหัววัดรังสีชนิดพรอพอร์ชันแนล. วารสารศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 11,2546: 141-145.
14. Paris D.T. and Hurd F.K. Basic Electromagnetic Theory. New York: Mcgraw-Hill, 1969.

ภาคผนวก ก.

สนามไฟฟ้าโครงสร้างแอดโนดวางแนวขนานกับผนังแคโทดทรงกระบอก



รูปที่ 1 ภาคตัดขวางของโครงสร้างแอดโนดวางแนวขนานกับผนังแคโทด

การแก้สมการเพื่อหาสนามไฟฟ้าในหัววัดรังสีโครงสร้างแอดโนดวางแนวขนานกับผนังแคโทดทรงกระบอกสามารถใช้สมการลาปลาซ (Laplace's equation) ได้ดังนี้

$$\nabla^2 V = 0 \quad \text{----- (1)}$$

จากโครงสร้างแอดโนดวางแนวขนานกับผนังแคโทดทรงกระบอกจึงใช้พิกัดทรงกระบอก  $(r, \phi, z)$  ในการแก้สมการที่ 1 จะได้

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad \text{----- (2)}$$

เนื่องจากโครงสร้างดังกล่าวมีความสมมาตรตามแนวแกน  $z$  และ  $\phi$  ดังนั้นศักดาไฟฟ้าจะเป็นฟังก์ชันเฉพาะรัศมีเท่านั้น ดังสมการที่ 3

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial V}{\partial r} \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} = 0 \quad \text{----- (3)}$$

แก้สมการอนุพันธ์อันดับสองของสมการที่ 3 จะได้

$$V = C_1 \ln r + C_2 \quad \text{----- (4)}$$

เมื่อ  $C_1$  และ  $C_2$  เป็นค่าคงที่ ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขขอบเขต ณ  $r = b, V = 0$  จะได้

$$0 = C_1 \ln b + C_2 \quad \text{----- (5)}$$

และ ณ  $r = a, V = V_0$  จะได้

$$V_0 = C_1 \ln a + C_2 \quad \text{----- (6)}$$

จากสมการที่ 5 และ 6 สามารถหาค่า  $C_1$  และ  $C_2$  ได้ดังนี้

$$C_1 = \frac{V_0}{\ln(a/b)} \quad \text{----- (7)}$$

$$C_2 = -C_1 \ln b \quad \text{----- (8)}$$

นำค่า  $C_1$  และ  $C_2$  แทนในสมการที่ 4 จะได้ศักดาไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใดๆ ภายใน  
โครงสร้างแวนเดอวาล์วกับผนังแคโทด

$$V = \frac{V_0 \ln r}{\ln(a/b)} - \frac{V_0 \ln b}{\ln(a/b)}$$

$$V = \frac{V_0}{\ln(a/b)} \ln \frac{r}{b} \quad \text{----- (9)}$$

จากความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าและศักดาไฟฟ้า

$$\mathcal{E}(r, \Phi, z) = -\nabla V(r, \Phi, z) \quad \text{----- (10)}$$

แทนค่า  $V$  ในสมการที่ 9 ลงในสมการที่ 10 จะได้

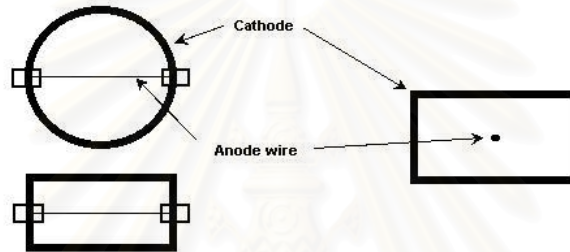
$$\mathcal{E}(r) = -\frac{\partial V}{\partial r} \hat{a}_r$$

$$\mathcal{E}(r) = \frac{V_0}{r \ln(b/a)} \hat{a}_r \quad \text{----- (11)}$$

ภาคผนวก ข.

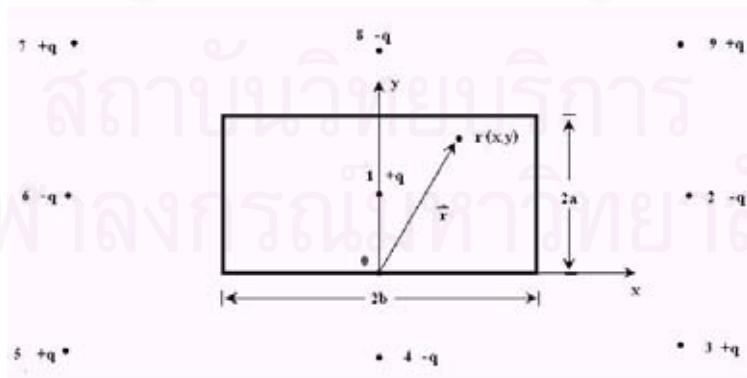
สนามไฟฟ้าโครงสร้างแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทด

หัววัดรังสีที่มีโครงสร้างแอนโอดวางแนวตั้งฉากกับผนังแคโทดมีความไม่สมมาตรระหว่างแอนโอดและแคโทด ทำให้การวิเคราะห์หาสนามไฟฟ้าเป็นไปได้ยากโดยใช้วิธีการแก้ด้วยสมการลาปลาซ ดังนั้นจากรูป 1 จะเห็นได้ว่าวิธีหนึ่งที่เหมาะสมในการคำนวณหาสนามไฟฟ้า คือวิธีการสร้างภาพประจุ (Method of image charge)



รูปที่ 1 โครงสร้างภาคตัดขวางของแอนโอดวางแนวขวาง

วิธีการการสร้างภาพประจุ จะทำการสร้างภาพจุดประจุ (Image point charge) ทั้งหมด 8 จุด และจุดประจุจากแอนโอด 1 จุด ดังรูปที่ 2 และสามารถคำนวณหาศักดาไฟฟ้า  $V(r)$  เนื่องจากจุดประจุของ Image point charge ในแต่ละจุดได้จากสมการที่ 1



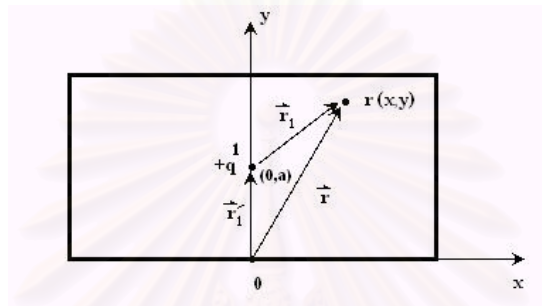
รูปที่ 2 Image point charge ที่สร้างขึ้นทั้งหมด

$$V(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad \text{----- (1)}$$

เมื่อ  $\vec{r}$  = ระยะจากจุดที่พิจารณาถึงจุดประจุ

ดังนั้นศักดาไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุทั้งหมด 9 จุด มีค่า ดังนี้

พิจารณาศักดาไฟฟ้า  $V_1$  ณ จุดที่ 1



รูปที่ 3 Image point charge ณ จุดที่ 1

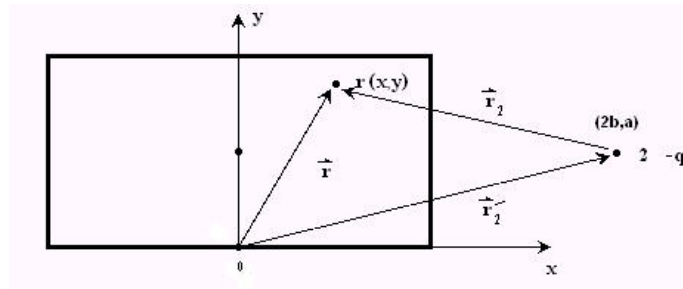
$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{+q}{r_1} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{+q}{|\vec{r} - \vec{r}_1|} \\ &= \frac{+q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{x^2 + (y - a)^2}} \quad \text{----- (2)} \end{aligned}$$

เมื่อ  $\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j}$

$\vec{r}_1 = 0\hat{i} + a\hat{j}$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณาศักดาไฟฟ้า  $V_2$  ณ จุดที่ 2

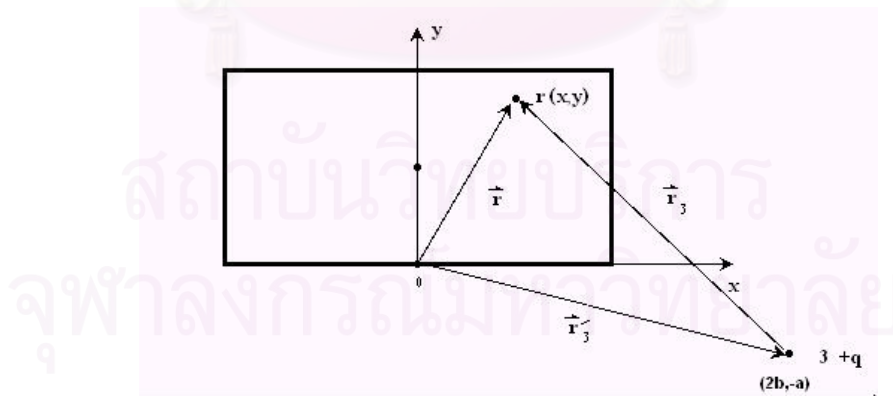


รูปที่ 4 Image point charge ณ จุดที่ 2

$$\begin{aligned}
 V_2 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-q}{r_2} \\
 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-q}{|\vec{r} - \vec{r}_2|} \\
 &= \frac{-q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{(x-2b)^2 + (y-a)^2}} \quad \text{----- (3)}
 \end{aligned}$$

เมื่อ  $\vec{r}_2 = 2b\hat{i} + a\hat{j}$

พิจารณาศักดาไฟฟ้า  $V_3$  ณ จุดที่ 3

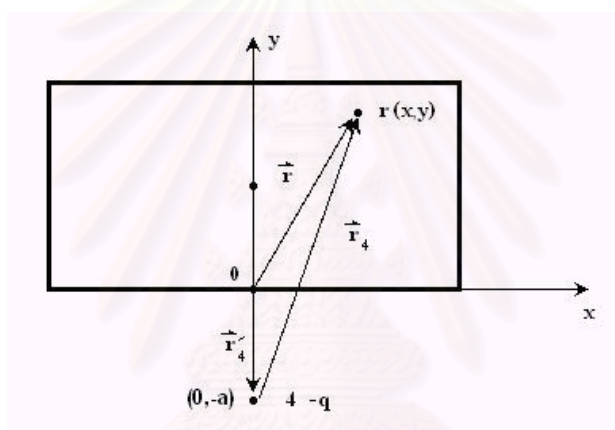


รูปที่ 5 Image point charge ณ จุดที่ 3

$$\begin{aligned}
 V_3 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{+q}{r_3} \\
 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{+q}{|\vec{r} - \vec{r}_3|} \\
 &= \frac{+q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{(x-2b)^2 + (y+a)^2}} \quad \text{----- (4)}
 \end{aligned}$$

เมื่อ  $\vec{r}_3 = 2b\hat{i} - a\hat{j}$

พิจารณาศักดาไฟฟ้า  $V_4$  ณ จุดที่ 4

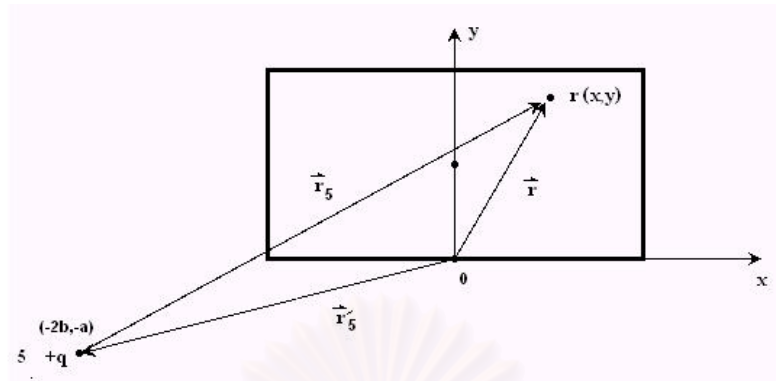


รูปที่ 6 Image point charge ณ จุดที่ 4

$$\begin{aligned}
 V_4 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-q}{r_4} \\
 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-q}{|\vec{r} - \vec{r}_4|} \\
 &= \frac{-q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{x^2 + (y+a)^2}} \quad \text{----- (5)}
 \end{aligned}$$

เมื่อ  $\vec{r}_4 = 0\hat{i} - a\hat{j}$

พิจารณาศักดาไฟฟ้า  $V_5$  ณ จุดที่ 5

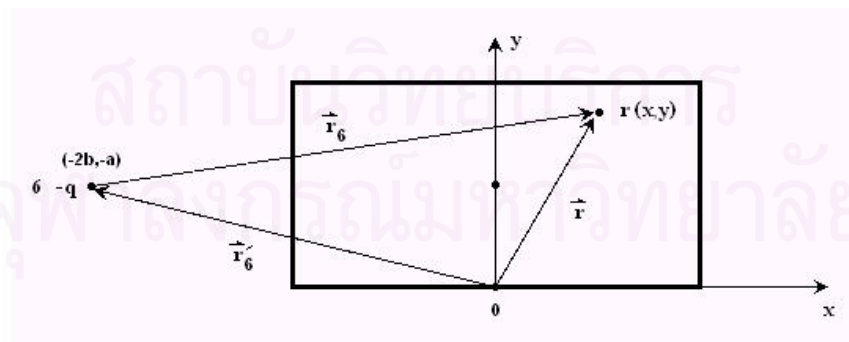


รูปที่ 7 Image point charge ณ จุดที่ 5

$$\begin{aligned}
 V_5 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{+q}{r_5} \\
 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{+q}{|\vec{r} - \vec{r}_5|} \\
 &= \frac{+q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{(x+2b)^2 + (y+a)^2}} \quad \text{----- (6)}
 \end{aligned}$$

เมื่อ  $\vec{r}_5 = -2b\hat{i} - a\hat{j}$

พิจารณาศักดาไฟฟ้า  $V_6$  ณ จุดที่ 6



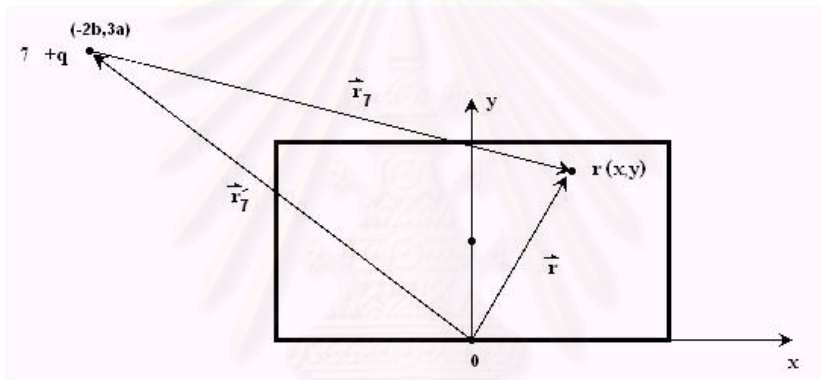
รูปที่ 8 Image point charge ณ จุดที่ 6



$$\begin{aligned}
 V_6 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-q}{r_6} \\
 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-q}{|\vec{r} - \vec{r}_6|} \\
 &= \frac{-q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{(x+2b)^2 + (y-a)^2}} \quad \text{----- (7)}
 \end{aligned}$$

เมื่อ  $\vec{r}_6 = -2b\hat{i} + a\hat{j}$

พิจารณาศักดาไฟฟ้า  $V_7$  ณ จุดที่ 7

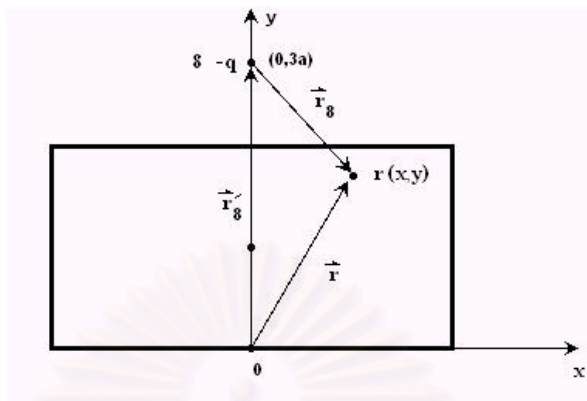


รูปที่ 9 Image point charge ณ จุดที่ 7

$$\begin{aligned}
 V_7 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{+q}{r_7} \\
 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{+q}{|\vec{r} - \vec{r}_7|} \\
 &= \frac{+q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{(x+2b)^2 + (y-3a)^2}} \quad \text{----- (8)}
 \end{aligned}$$

เมื่อ  $\vec{r}_7 = -2b\hat{i} + 3a\hat{j}$

พิจารณาศักดาไฟฟ้า  $V_8$  ณ จุดที่ 8

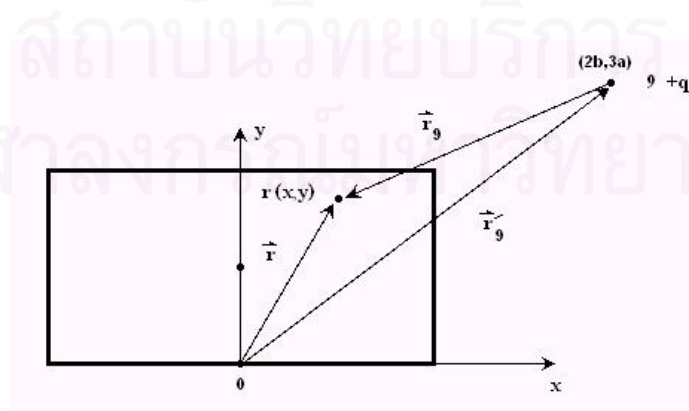


รูปที่ 10 Image point charge ณ จุดที่ 8

$$\begin{aligned}
 V_8 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-q}{r_8} \\
 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-q}{|\vec{r} - \vec{r}_8|} \\
 &= \frac{-q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{x^2 + (y - 3a)^2}} \quad \text{----- (9)}
 \end{aligned}$$

เมื่อ  $\vec{r}_8 = 0\hat{i} + 3a\hat{j}$

พิจารณาศักดาไฟฟ้า  $V_9$  ณ จุดที่ 9



รูปที่ 11 Image point charge ณ จุดที่ 9

$$\begin{aligned}
 V_9 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{+q}{r_9} \\
 &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{+q}{|\vec{r} - \vec{r}_9|} \\
 &= \frac{+q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{(x-2b)^2 + (y-3a)^2}} \quad \text{----- (10)}
 \end{aligned}$$

เมื่อ  $\vec{r}_9 = 2b\hat{i} + 3a\hat{j}$

ดังนั้นศักดาไฟฟ้า  $V(r)$  ณ จุด  $r$  มีค่า

$$V(r) = \sum_{i=1}^9 V_i \quad \text{----- (11)}$$

เมื่อ  $V(r)$  = ศักดาไฟฟ้า ณ จุด  $r$  เนื่องจากจุดประจุทั้งหมด  
 $V_i$  = ศักดาไฟฟ้า ณ จุด  $r$  เนื่องจากจุดประจุ ณ ตำแหน่ง  $i$

แทนค่า  $V(r)$  ลงในสมการ  $\mathcal{E}(x, y) = -\nabla V$  จะได้สมการที่ 12

$$\mathcal{E}(x, y) = -\frac{\partial V}{\partial x} \hat{x} - \frac{\partial V}{\partial y} \hat{y} \quad \text{----- (12)}$$

ภาคผนวก ค.

LND 45694

**BERYLLIUM SIDE WINDOW PROPORTIONAL COUNTER**

**GENERAL SPECIFICATIONS**

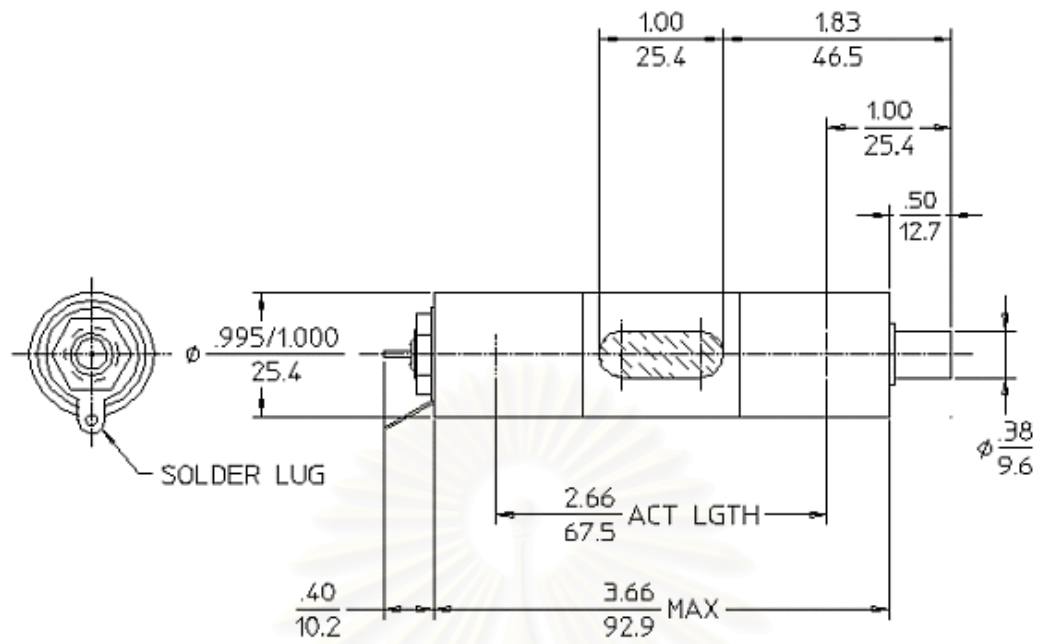
|                                |                 |
|--------------------------------|-----------------|
| Gas Filling                    | Argon           |
| Gas Pressure (Torr)            | 800             |
| Path Length (inch/mm)          | 0.78 / 19.8     |
| Cathode Material               | Stainless Steel |
| Maximum Length (inch/mm)       | 4.56 / 115.8    |
| Effective Length (inch/mm)     | 2.66 / 67.5     |
| Maximum Diameter (inch/mm)     | 1.0 / 25.4      |
| Effective Diameter (inch/mm)   | 0.78 / 19.8     |
| Connector                      | Pin             |
| Operating Temperature Range °C | -40 to +75      |

**WINDOW SPECIFICATIONS**

|                                     |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Material                            | Beryllium               |
| Areal Density (mg/cm <sup>2</sup> ) | 4.6                     |
| Thickness (inch/mm)                 | 0.001 / 0.025           |
| Dimension (inch/mm)                 | 0.38 / 9.5 X 1.0 / 25.4 |

**ELECTRICAL SPECIFICATIONS**

|   |             |
|---|-------------|
| Recommended Operating Voltage (volts)       | 1650        |
| Operating Voltage Range (volts)             | 1550 - 1800 |
| Typical Resolution (FWHM Fe <sup>55</sup> ) | 20          |
| Capacitance (pf)                            | 3           |



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจิรยุทธ ชำรงพุทธิกุล เกิดเมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ.2522 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนภูเก็ตวิทยาลัย จังหวัดภูเก็ต ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ปีการศึกษา 2544 ในสาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย