



วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

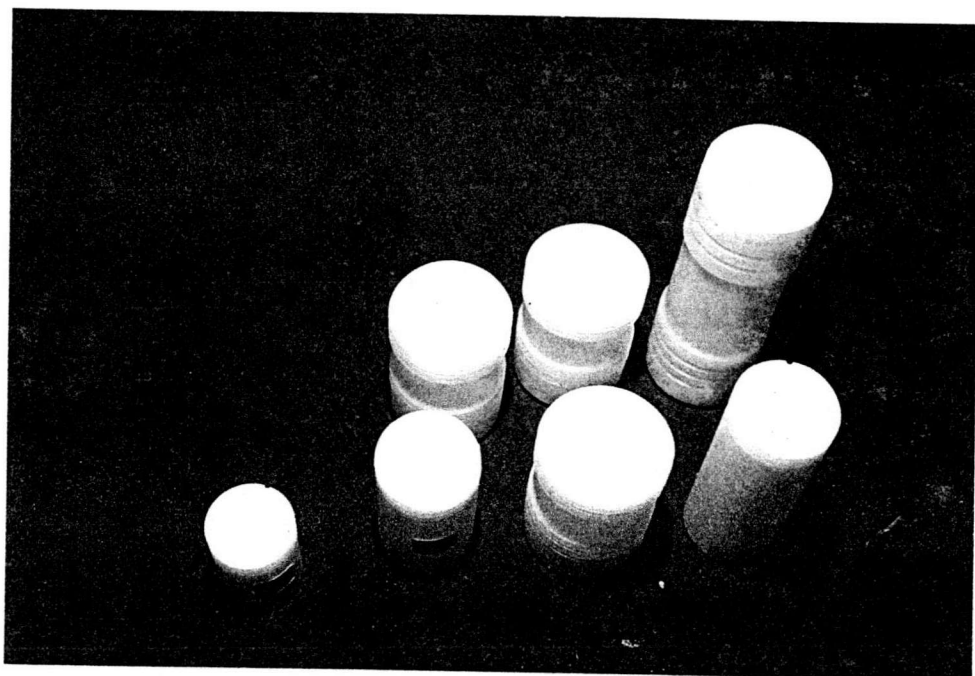
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

- 3.1.1 หัววัดรังสีแกมมาแบบเรืองแสงชนิดโซเดียมไอโอไดต์ (ทลเลียม) : NaI(Tl) ขนาด 3" x 3" และ 5" x 5" พร้อมหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน (PMT) ของ BICRON รุ่น 3M3 และ 5M5/5 ตามลำดับ
- 3.1.2 ชุดวัดรังสี Geiger-Muller Counter
- 3.1.3 ฐานหลอด (Tube base) พร้อมภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier) ของ ORTEC รุ่น 276 สำหรับ NaI(Tl) ขนาด 3" x 3" และของ BICRON รุ่น PA-14 สำหรับ NaI(Tl) ขนาด 5" x 5"
- 3.1.4 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง (High voltage power supply) สำหรับหัววัดรังสีแกมมา ของ ORTEC รุ่น 556
- 3.1.5 ภาคขยายสัญญาณและเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (Amp & SCA) ของ ORTEC รุ่น 590 A
- 3.1.6 ภาคขยายสัญญาณ (Amplifier) ของ CANBERRA รุ่น 2011
- 3.1.7 เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (SCA) ของ CANBERRA รุ่น 2030
- 3.1.8 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multichannel analyzer : MCA) ของ TRACOR NORTHERN รุ่น TN-1706 และรุ่น TN-1314
- 3.1.9 เครื่องนับสัญญาณเชิงเลขและเครื่องจับเวลา (Counter & Timer) ของ CANBERRA รุ่น 1772
- 3.1.10 ไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิต สำหรับควบคุมการทำงาน และบันทึกข้อมูล
- 3.1.11 วงจรรวมสัญญาณ (Summing circuit)
- 3.1.12 วงจรควบคุมการทำงานของระบบนิวแมติกส์ (Pneumatic controlling circuit)
- 3.1.13 Pneumatic transfer system
- 3.1.14 ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน $^{238}\text{Pu-Be}$ ความแรง 5 คูรี (185 GBq)
- 3.1.15 ต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน ได้แก่ Cs-137 , Co-60 และ Na-22 ซึ่งใช้เป็นตัวรับเทียบพลังงาน

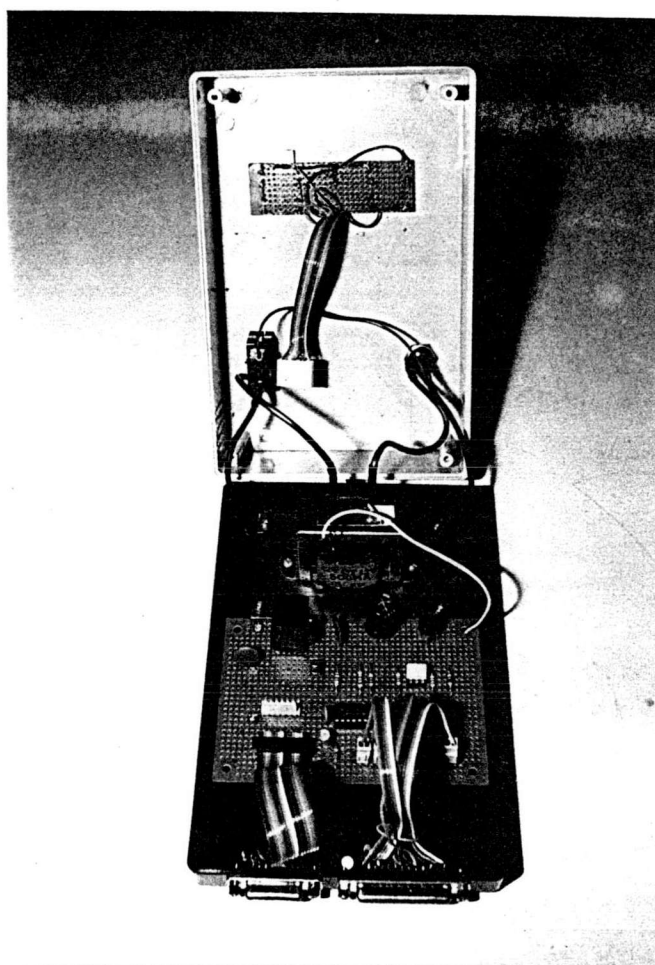
- 3.1.16 ต้นกำเนิดรังสีเบตามาตรฐาน ได้แก่ Cl-36 Sr-90 และ Tl-204 ซึ่งใช้สำหรับหาประสิทธิภาพของหัววัด
- 3.1.17 วัสดุสะท้อนรังสี ได้แก่ ตะกั่ว เหล็ก และโพลีเอทธิลีนผสมโบรอน
- 3.1.18 วัสดุกำบังรังสี ได้แก่ ตะกั่ว
- 3.1.19 ท่อส่งตัวอย่างที่ทำด้วยโพลีเอทธิลีน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 12 ม.
- 3.1.20 ภาชนะใส่ตัวอย่าง (Rabbit) ทำด้วยโพลีเอทธิลีน มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 21 มม. และเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 24 มม. ยาว 60 มม. และ 30 มม. ตามลำดับ
- 3.1.21 สารมาตรฐาน ได้แก่ CaF_2 , NaF , KF , LiF , NH_4F และ NH_5F_2
- 3.1.22 สารตัวอย่าง ได้แก่ แร่ฟลูออไรต์
- 3.1.23 สารเจือจาง ได้แก่ ทราย (Sand)
- 3.1.24 เครื่องชั่งน้ำหนัก ของ METTLER รุ่น AE 200
- 3.1.25 เครื่องบดสารตัวอย่าง (Ring vibration mill)



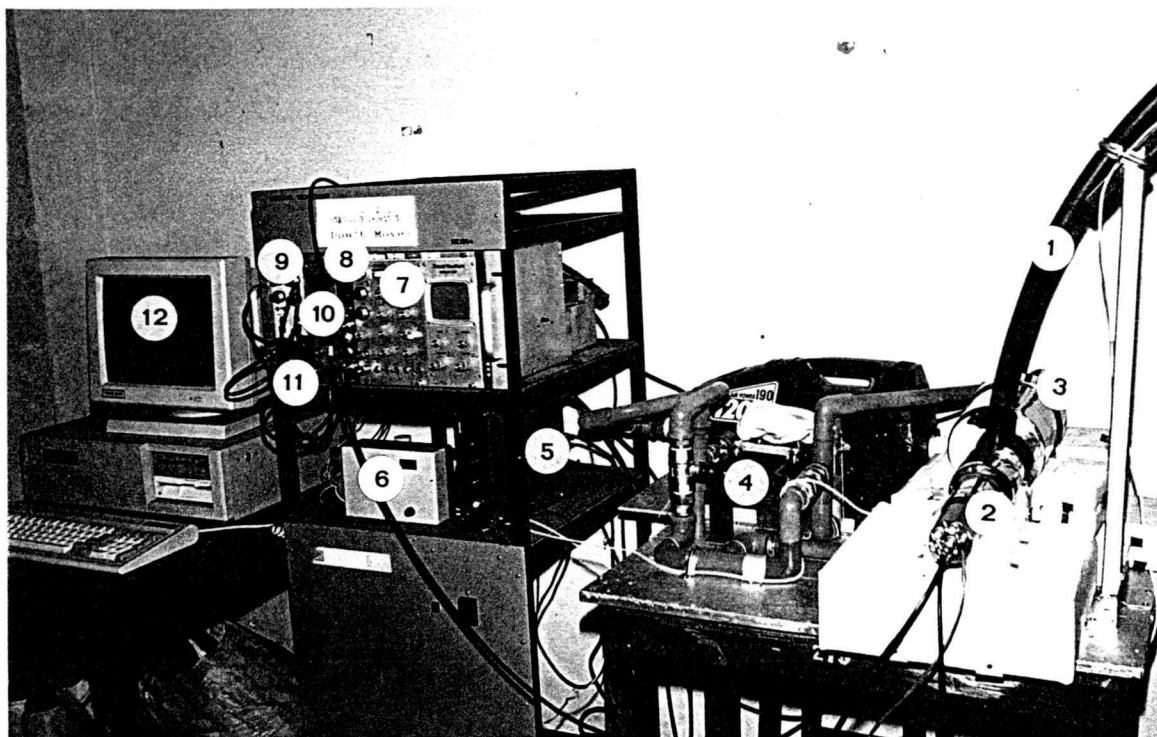
รูปที่ 3.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก METTLER



รูปที่ 3.2 ลักษณะของ Rabbit ขนาดต่าง ๆ



รูปที่ 3.3 กล่องวงจรควบคุมการทำงานของระบบวิเคราะห์



รูปที่ 3.4 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบวัดรังสีแกมมา

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1 = ท่อส่งตัวอย่าง | 8 = Amp & SCA ของหัววัด NaI(Tl) 3" x 3" |
| 2 = หัววัด NaI(Tl) 3" x 3" | 9 = Amp & SCA ของหัววัด NaI(Tl) 5" x 5" |
| 3 = หัววัด NaI(Tl) 5" x 5" | 10 = Counter/Timer |
| 4 = Pneumatic transfer system | 11 = วงจรรวมสัญญาณ |
| 5 = HV. power supply | 12 = เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิตที่ต่อเชื่อมโยงกับวงจรควบคุมการทำงานและ MCA |
| 6 = กล่องวงจรควบคุมการทำงาน | |
| 7 = MCA | |

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การเลือกปฏิกิริยาของฟลูออรีน

ฟลูออรีนจะเกิดปฏิกิริยากับนิวตรอนได้ 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 สำหรับ 3 ปฏิกิริยาแรกนั้นจะใช้นิวตรอนเร็ว ส่วนปฏิกิริยาสุดท้ายจะใช้เทอร์มัลนิวตรอน ในปฏิกิริยาแรก (n,p) พบว่า ให้รังสีแกมมาพลังงานต่ำจึงเกิด Compton background สูง และมีตัว Interference ในช่วงพลังงานต่ำมาก ถึงแม้จะใช้วิธี Coincidence ช่วยก็ตาม ยังไม่สามารถเพิ่มความไวและความถูกต้องตามหลักสถิติได้ ในปฏิกิริยาที่สอง (n,2n) ซึ่งให้

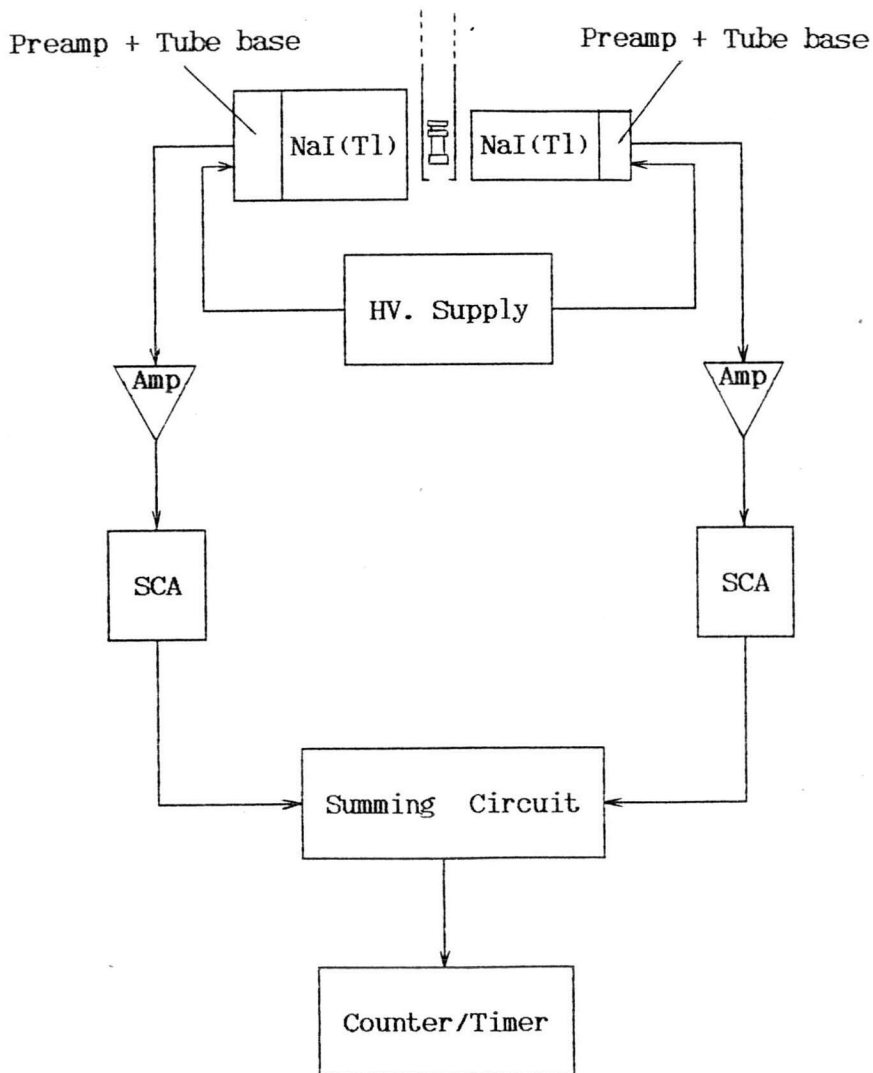
β^+ จะมี β^+ ของตัว Interference เกิดขึ้นในขณะอบรังสีด้วย โดยเฉพาะจากปฏิกิริยาของ $^{35}\text{Cl} (n,2n) ^{34}\text{Cl}$ และ $^{35}\text{Cl} (n,\alpha) ^{32}\text{P}$ ส่วนในปฏิกิริยาที่สี่ (n,γ) จะหา Photopeak ยาก และต้องใช้ฟลูออรีนที่มีเปอร์เซ็นต์สูงในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังมี Interference จากปฏิกิริยา $^{23}\text{Na} (n,\alpha) ^{20}\text{F}$ เกิดขึ้นอีกด้วย สำหรับปฏิกิริยา (n,α) นี้จะมีปฏิกิริยา $^{16}\text{O} (n,p) ^{16}\text{N}$ และ $^{15}\text{N} (n,\gamma) ^{16}\text{N}$ เป็นตัว Interference เท่านั้น ซึ่งสามารถจะแก้ไขได้โดยใช้แคดเมียมเป็นวัสดุกำบังรังสีสำหรับปฏิกิริยาของ $^{15}\text{N} (n,\gamma) ^{16}\text{N}$ ส่วนปฏิกิริยา $^{16}\text{O} (n,p) ^{16}\text{N}$ จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อใช้นิวตรอนที่มีพลังงานมากกว่า 10 MeV ขึ้นไป เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้ใช้ $^{238}\text{Pu-Be}$ เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน ซึ่งมีพลังงานเฉลี่ย 4.5 MeV ดังนั้น ปฏิกิริยา (n,α) ที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณฟลูออรีนจึงเป็นปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดในการทำวิจัยครั้งนี้

ตารางที่ 3.1 การทำปฏิกิริยาของนิวตรอนกับฟลูออรีนและปฏิกิริยานิวเคลียร์แทรกซ้อนที่เกี่ยวข้อง

Reaction	Activation cross-section (mb)	Threshold (MeV)	Product half-life	Most intense γ -ray, MeV (Intensity)
$^{19}\text{F}(n,p)^{19}\text{O}$ $^{18}\text{O}(n,\gamma)^{19}\text{O}$	1.35 0.20	4.25	27.2 s	0.197 (97%)
$^{19}\text{F}(n,2n)^{18}\text{F}$	0.007	10.98	109.8 m	β^+ 0.511(94%)
$^{19}\text{F}(n,\alpha)^{16}\text{N}$ $^{15}\text{N}(n,\gamma)^{16}\text{N}$ $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$	7.85 24.00 0.02	1.60 10.24	7.1 s	6.13 (69%)
$^{19}\text{F}(n,\gamma)^{20}\text{F}$ $^{20}\text{Ne}(n,p)^{20}\text{F}$ $^{23}\text{Na}(n,\alpha)^{20}\text{F}$	9.80 0.08 0.80	6.56 4.03	10.6 s	1.63 (100%)

3.2.2 การจัดระบบวัดรังสีแกมมาของปฏิกิริยา $^{19}\text{F}(n,\alpha)^{16}\text{N}$

ในการวัดรังสีแกมมาที่เกิดจากปฏิกิริยา $^{19}\text{F}(n,\alpha)^{16}\text{N}$ นี้ มีพลังงานสูงประมาณ 6.13 MeV จึงใช้หัววัด NaI(Tl) ขนาด 5" x 5" และเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบวัดให้ดียิ่งขึ้นจะต้องใช้หัววัด NaI(Tl) ขนาด 5" x 5" จำนวน 2 หัววัดร่วมกัน และนำค่าจำนวนนับ (Counts) ที่ได้มารวมกัน (Summing) แต่เนื่องจากที่ภาควิชานิวเคลียร์ฯ ไม่มีหัววัด NaI(Tl) ขนาด 5" x 5" เพียงหัววัดเดียว จึงได้ใช้หัววัดขนาด 3" x 3" แทน ซึ่งแผนผังการจัดระบบวัดนี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนผังการจัดระบบวัดแบบเพิ่มประสิทธิภาพการวัด

การปรับเทียบพลังงานของระบบวิเคราะห์พลังงานช่องเดี่ยว ทำได้โดยปรับเงื่อนไขของอุปกรณ์ในระบบวัดดังนี้

3.2.2.1 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง เท่ากับ 900 โวลต์

3.2.2.2 ภาคขยายสัญญาณและเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวสำหรับหัววัดขนาด 3" x 3" มี Coarse gain 10 Fine gain 20 และ Shaping time 1.5 usec

3.2.2.3 ภาคขยายสัญญาณและเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวสำหรับหัววัดขนาด 5" x 5" มี Coarse gain 30 Fine gain 1 และ Shaping time 1.5 usec

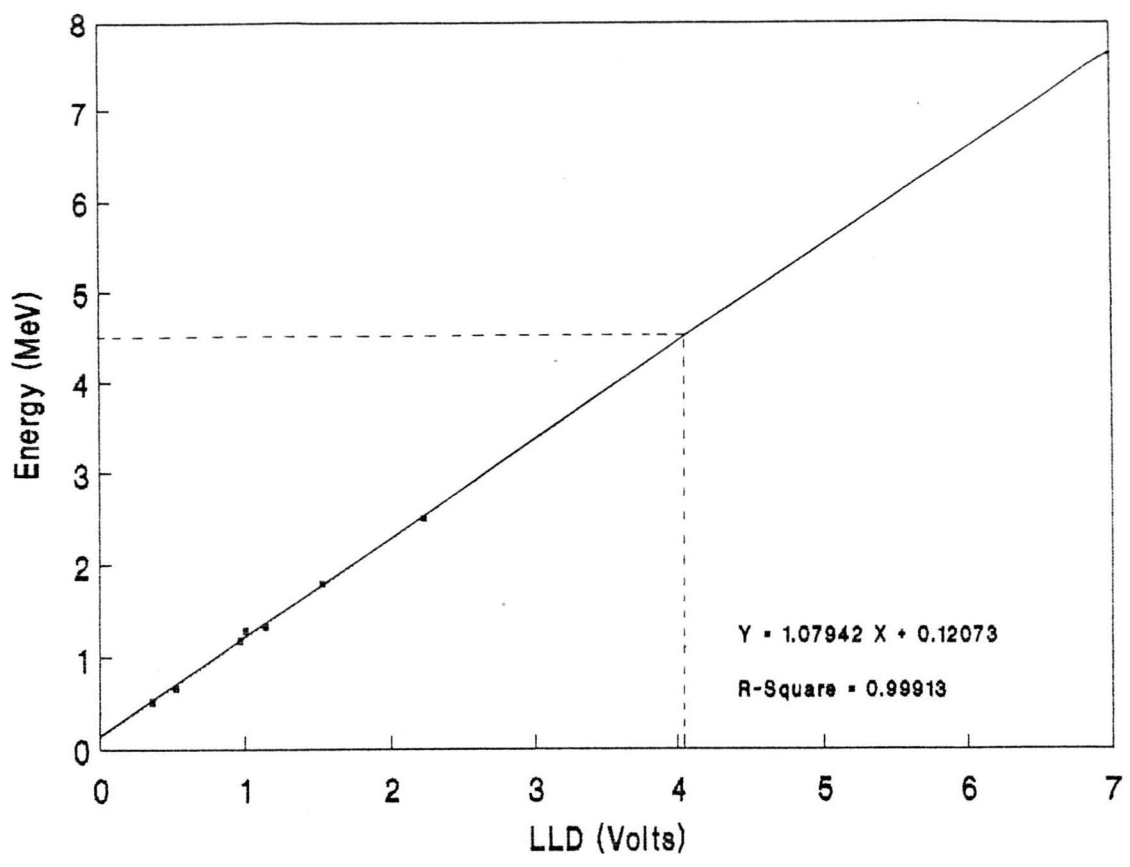
3.2.2.4 เวลาค้น 20 sec/cycle

3.2.2.5 แปรเปลี่ยนค่า LLD โดยใช้ Window 0.2 โวลต์ เพื่อปรับเทียบค่าพลังงานบนสเกล LLD จากต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน

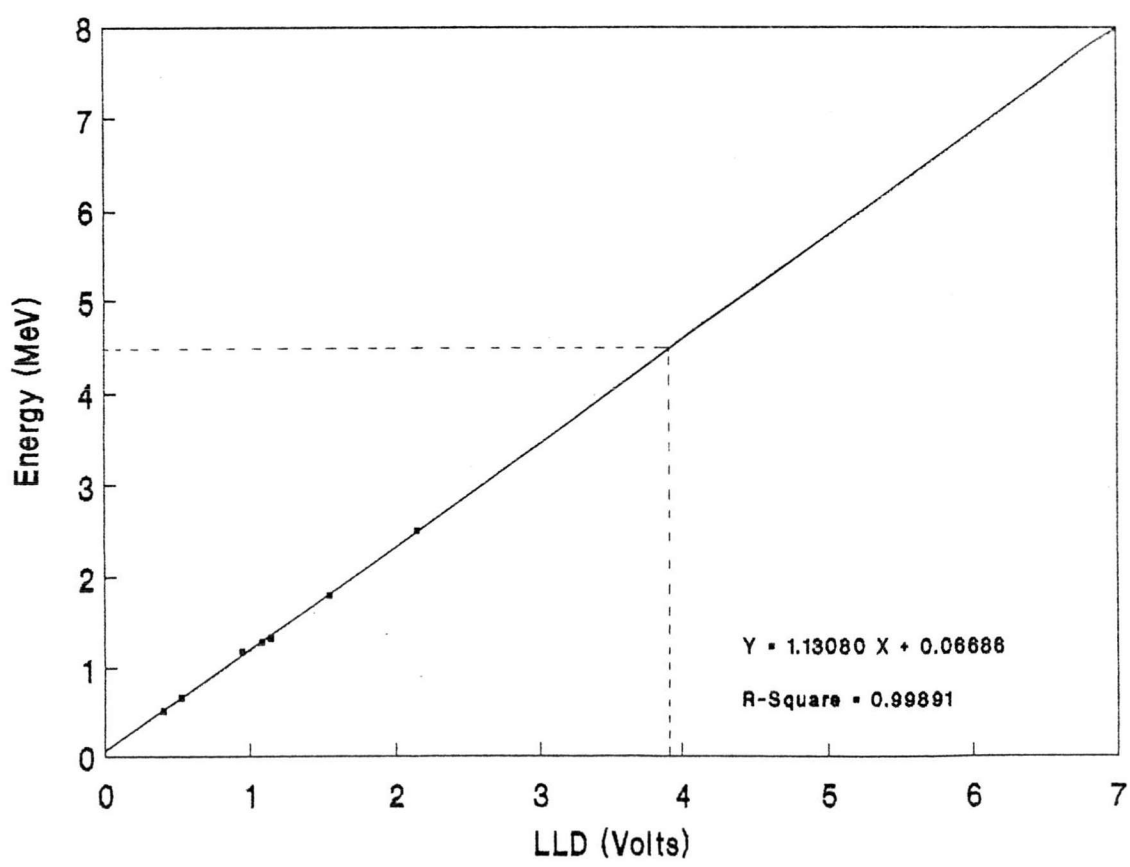
เนื่องจากต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานมีพลังงานสูงสุด 2.5 MeV และฟลูออรีนมีพลังงานอยู่ในช่วง 4.5-7.2 MeV ($E_{\gamma} = 6.13$ MeV, Single escape peak = 5.619 MeV และ Double escape peak = 5.108 MeV) จึงใช้วิธี Extrapolation ซึ่งจากผลการปรับเทียบพลังงาน พบว่าต้องปรับค่า LLD เท่ากับ 4.057 โวลต์ สำหรับหัววัดขนาด 3" x 3" และเท่ากับ 3.92 โวลต์ สำหรับหัววัดขนาด 5" x 5" โดยเลือกนับปริมาณรังสีเหนือระดับ LLD ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ รูปที่ 3.7

3.2.3 สารมาตรฐาน และการเตรียมสารมาตรฐาน

การวิจัยครั้งนี้ใช้สารมาตรฐานเป็น CaF_2 , NaF , KF , NH_4F และ NH_5F_2 ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ของฟลูออรีนต่าง ๆ กัน ด้วยทราย โดยก่อนที่จะใช้ต้องนำไปอบไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 ชม. แล้วนำไปใส่ไว้ใน Desiccator เพื่อป้องกันการดูดความชื้น จากนั้นจึงนำสารมาตรฐานมาชั่งให้มีน้ำหนักต่าง ๆ กัน แล้วใส่ทรายที่มีน้ำหนักต่าง ๆ กัน ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิเดียวกัน เวลาเท่ากันมาแล้วลงไปในอัตราส่วนที่พอเหมาะ [ดังแสดงในตารางที่ 4.2] นำมาผสมกันจนมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (อาจใช้ลูกปัดเล็ก ๆ ไล่ลงไปด้วยเพื่อช่วยให้สารมาตรฐานและทรายผสมกันดียิ่งขึ้น) จากนั้นก็นำไปใส่ใน Rabbit อัดจนแน่น แล้วจึงนำไปอาบรังสี (Rabbit ที่ใช้มี 2 ขนาด ดังแสดงอยู่ในภาคผนวก ข.)



รูปที่ 3.6 กราฟเปรียบเทียบพลังงานมาตรฐานของหัววัด NaI(Tl) 3" x 3"



รูปที่ 3.7 กราฟเปรียบเทียบพลังงานมาตรฐานของหัววัด NaI(Tl) 5" x 5"

3.2.4 การเตรียมแบลงค์

โดยนำทรายที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว เช่นเดียวกันกับการเตรียมสารมาตรฐานมาซึ่งน้ำหนัก แล้วใส่ใน Rabbit อัดจนแน่นเหมือนกับสารมาตรฐาน แล้วจึงนำไปอบรังสี

3.2.5 การเตรียมสารตัวอย่าง

เนื่องจากสารตัวอย่างที่ใช้เป็นแร่ฟลูออไรต์ ซึ่งประกอบด้วย แคลเซียม - ฟลูออไรต์ประมาณ 40-99 เปอร์เซ็นต์ ก่อนนี้ใช้จึงต้องนำไปบดก่อนด้วยเครื่องบด จนมีขนาดประมาณ 100 mesh แล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นก็นำมาซึ่งน้ำหนักและผสมทรายลงไปทำเช่นเดียวกับการเตรียมสารมาตรฐาน แล้วจึงนำไปอบรังสี

3.2.6 การหาคกราฟเปรียบเทียบของสารมาตรฐาน

ในการวิจัยนี้ได้หาคกราฟเปรียบเทียบโดยใช้สารมาตรฐานเป็น CaF_2 , NaF , LiF , NH_4F และ KF ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ฟลูออรีนต่าง ๆ กันด้วยการผสมทรายลงไป แล้วนำไปอบรังสีเป็นเวลา 40 วินาที จากนั้นจึงนำมาวัดปริมาณรังสีเป็นเวลา 20 วินาที ทำซ้ำกัน 10 ครั้ง โดยวัดปริมาณรังสีแบบสะสมจะได้จำนวนนับต่อ 200 วินาที ซึ่งได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

3.2.7 การวิเคราะห์ตัวอย่างแร่ฟลูออไรต์

ในการวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างแร่ฟลูออไรต์ จำนวน 10 ตัวอย่าง จากภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกรมทรัพยากรธรณี โดยนำตัวอย่างแร่ที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว มาอบรังสีและวัดปริมาณรังสีด้วยเวลาเท่ากันกับการวัดของสารมาตรฐาน จากนั้นนำมาหาปริมาณฟลูออรีนจากกราฟเปรียบเทียบสารมาตรฐานของ CaF_2 ซึ่งได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

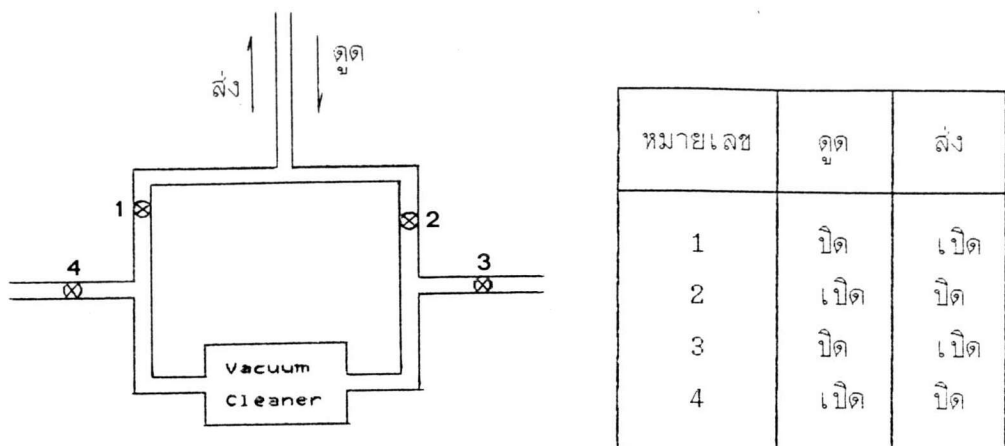
3.2.8 การออกแบบระบบ Pneumatic transfer

ระบบ Pneumatic transfer เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญในการหาปริมาณธาตุด้วยเทคนิคฟอสฟอรัสนิวตรอนแอกติเวชันนี้ เพราะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งตัวอย่างไปอาบรังสีและนำกลับมาวัดปริมาณรังสี เนื่องจากการวิจัยนี้วิเคราะห์ธาตุที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น จึงต้องออกแบบระบบให้ใช้เวลาในการนำตัวอย่างที่อาบรังสีแล้วมาวัดปริมาณรังสีให้น้อยที่สุด โดยทำการออกแบบระบบ Pneumatic transfer ที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์แบบ 16 บิต เพื่อให้มีความสะดวก รวดเร็ว และทำงานได้อย่างถูกต้อง โดยต่อวงจรควบคุมการทำงานเชื่อมโยงเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทาง Printer port [ดังแสดงในรูปที่ 3.8] และพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานด้วยภาษา Quick Basic ซึ่งการทำงานของระบบนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

3.2.8.1 ระบบนำส่งตัวอย่าง โดยใช้เครื่องดูดฝุ่นเป็นต้นกำเนิดลมและใช้ Ball valve ในการเปลี่ยนทิศทางลม ซึ่งการทำงานของวาล์วนี้จะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.9

3.2.8.2 วงจรควบคุมการทำงาน เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

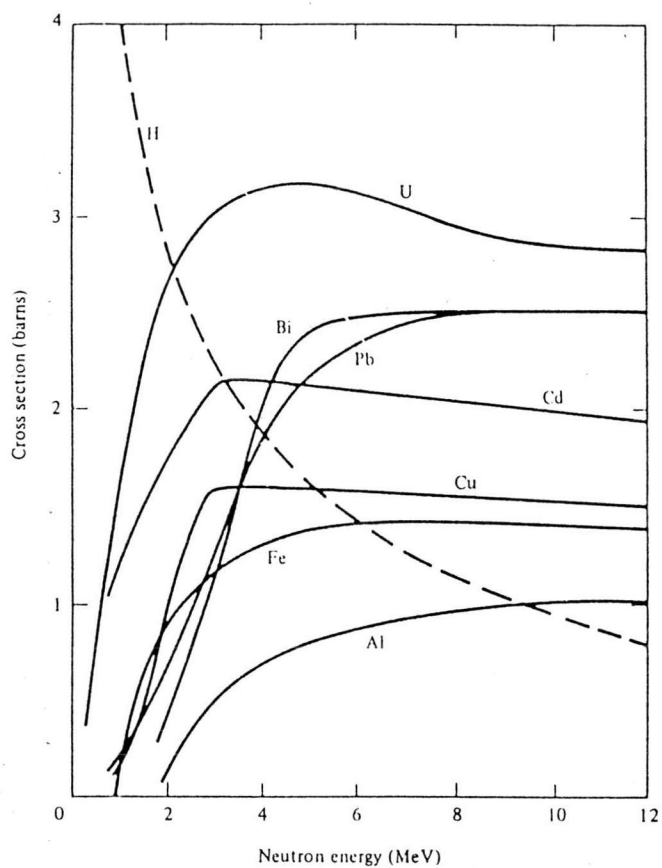
หลังจากนำ Rabbit ใส่ในท่อส่งตัวอย่างแล้ว ระบบจะเริ่มต้นทำงานจากการใส่ข้อมูลจำนวนรอบและเวลาในการอาบรังสี จากนั้นคอมพิวเตอร์จะตรวจสอบทิศทางวาล์ว โดยตรวจสอบสัญญาณจาก Micro-switch ที่ติดตั้งไว้ ถ้ามีสัญญาณส่งมาแสดงว่าทิศทางวาล์วนี้ถูกต้องคอมพิวเตอร์จะทำงานต่อไป แต่ถ้าไม่มีสัญญาณส่งมา คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณเสียงเตือนดังติดต่อกันจนกว่าจะเปลี่ยนทิศทางวาล์วให้ถูกต้อง หลังจากเปลี่ยนทิศทางวาล์วถูกต้องแล้วคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณไปที่ Relay เพื่อสั่งให้เครื่องดูดฝุ่นทำงาน ทำให้ Rabbit ที่อยู่ในท่อจะถูกส่งไปยังตำแหน่งอาบรังสี ซึ่งตำแหน่งนี้จะติดตั้ง Infrared sensor (S #1) ไว้เพื่อตรวจสอบ Rabbit เมื่อ Rabbit มาถึงแล้ว S #1 จะส่งสัญญาณไปที่คอมพิวเตอร์ให้เริ่มจับเวลาพร้อมกับสั่งให้เครื่องดูดฝุ่นหยุดทำงาน ในช่วงนี้จะต้องเปลี่ยนทิศทางวาล์วให้อยู่ในอีกตำแหน่งหนึ่ง เมื่อครบเวลาตามที่ตั้งไว้คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณไปที่ Relay เพื่อสั่งให้เครื่องดูดฝุ่นทำงานอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งถ้าหากยังไม่ได้เปลี่ยนทิศทางวาล์ว เครื่องดูดฝุ่นจะทำงานต่อไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะเปลี่ยนทิศทางวาล์วให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง จากนั้น Rabbit จะถูกดูดกลับมาที่ตำแหน่งวัดปริมาณรังสีซึ่งตำแหน่งนี้จะมี S #2 ติดตั้งไว้เช่นเดียวกัน เมื่อ Rabbit มาถึง S #2 จะส่งสัญญาณไปที่คอมพิวเตอร์เพื่อสั่งให้ Counter/Timer เริ่มนับจำนวนนับรังสีตามเวลาที่ตั้งไว้ พร้อมกับสั่งให้เครื่องดูดฝุ่นหยุดทำงาน เมื่อครบเวลาแล้ว Counter/Timer จะส่งสัญญาณไปที่คอมพิวเตอร์อีกครั้ง เพื่อทำงานในรอบต่อไป



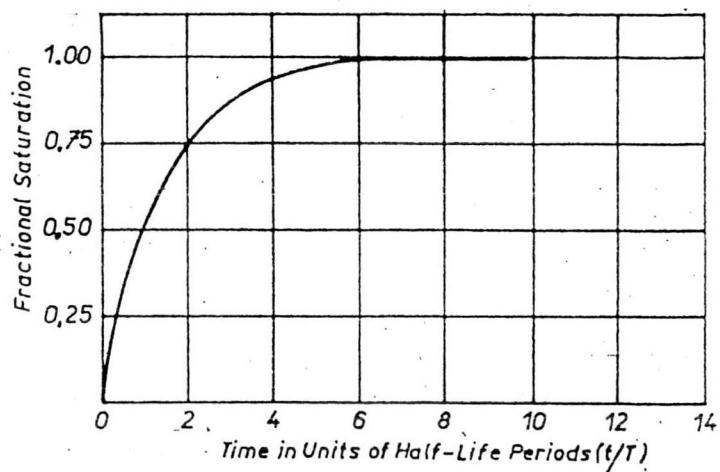
รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานของ Ball valve

3.2.9 การออกแบบระบบอบรังสีนิวตรอน

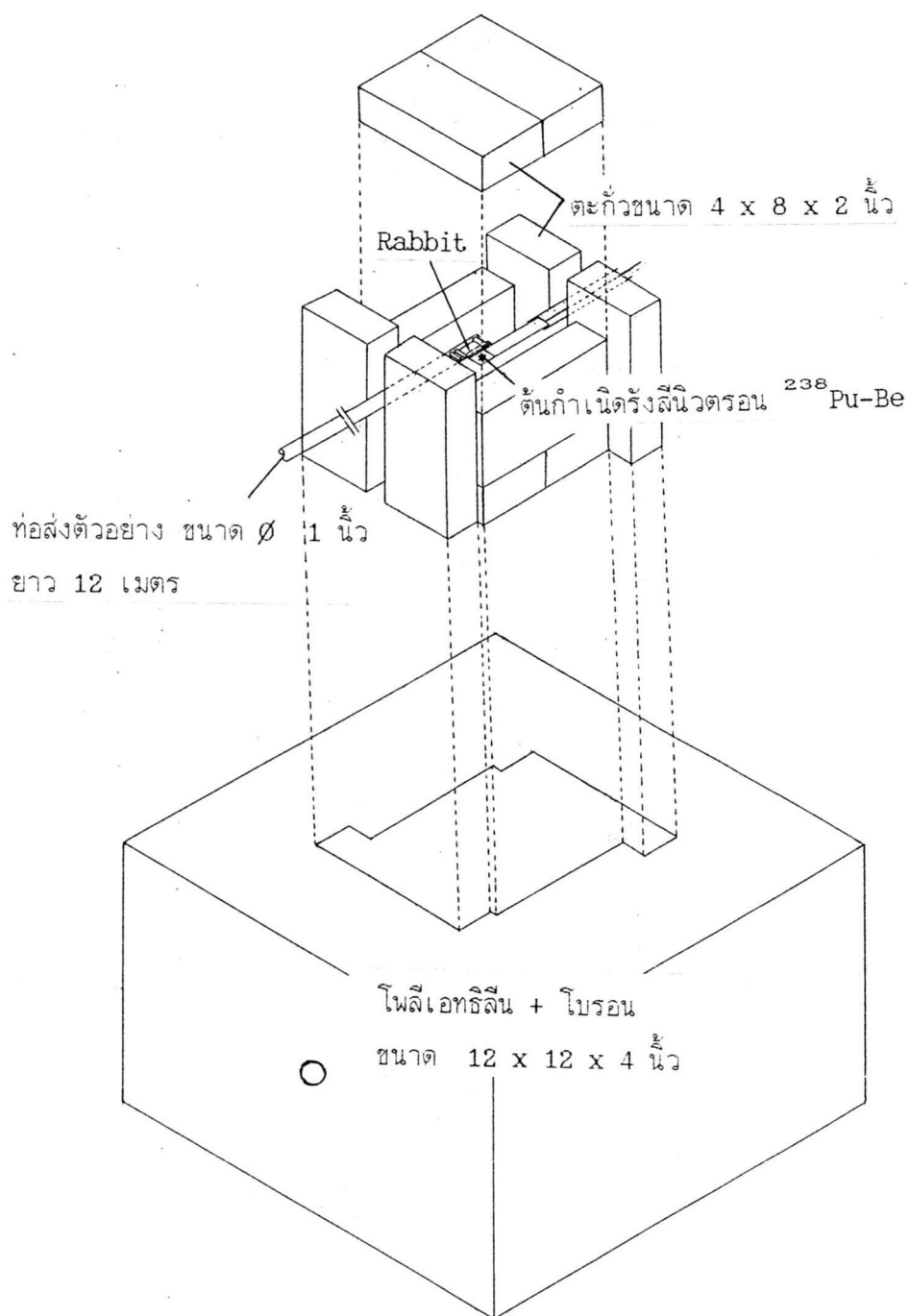
ระบบอบรังสี นับว่ามีความสำคัญอีกส่วนหนึ่งในการหาปริมาณธาตุด้วยเทคนิค ฟอสฟอรัสนิวตรอนแอกติเวชันนี้ เพราะเทคนิคนี้จะต้องนำตัวอย่างไปอบรังสีนิวตรอนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์ขึ้นเสียก่อน แล้วจึงนำตัวอย่างนั้นมาวัดปริมาณรังสีที่เกิดขึ้น ซึ่งถ้าจัดระบบอบรังสีไม่ดีแล้ว จะทำให้การหาปริมาณธาตุนั้นผิดพลาดไป ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ Rabbit ขนาดใหญ่ เพื่อจะหาปริมาณฟลูออรีนให้ได้ในปริมาณที่มากที่สุด หรือให้ได้ช่วง (Range) ของฟลูออรีนกว้างที่สุด ในการจัดระบบอบรังสีจะต้องทำให้สารที่จะวิเคราะห์อยู่ใกล้กับต้นกำเนิดรังสีมากที่สุด และต้องใช้ระยะเวลาอบนานพอที่จะทำให้สารนั้นเกิดปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์ได้ดีที่สุด หรือให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ (Saturation) ในการวิจัยนี้จะใช้ตัวสะท้อนฟอสฟอรัสนิวตรอน (Reflector) เช่น เหล็ก ตะกั่ว เป็นต้น เพื่อเพิ่มนิวตรอนฟลักซ์ให้สูงขึ้น ซึ่งตัวสะท้อนฟอสฟอรัสนิวตรอนที่ดีจะต้องมีค่า Atomic density และ Scattering Cross-section สูง ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ส่วนการหาระยะเวลาอบที่เหมาะสมนั้น อาจหาได้จากสมการที่ (2.8) หรือจากรูปที่ 3.11 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fractional saturation of activity กับระยะเวลาในการอบรังสี ในการวิจัยนี้ใช้เวลาอบรังสี 40 วินาที ผลการออกแบบแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.10 ตัวสะท้อนฟอสต์นิวตรอนชนิดต่าง ๆ (Chilton and other, 1984)



รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Fractional saturation of activity กับ Irradiation time (Tolgyessy and Varga, 1974)



รูปที่ 3.12 การจัดระบบอานรังสีนิวตรอน $^{238}\text{Pu-Be}$

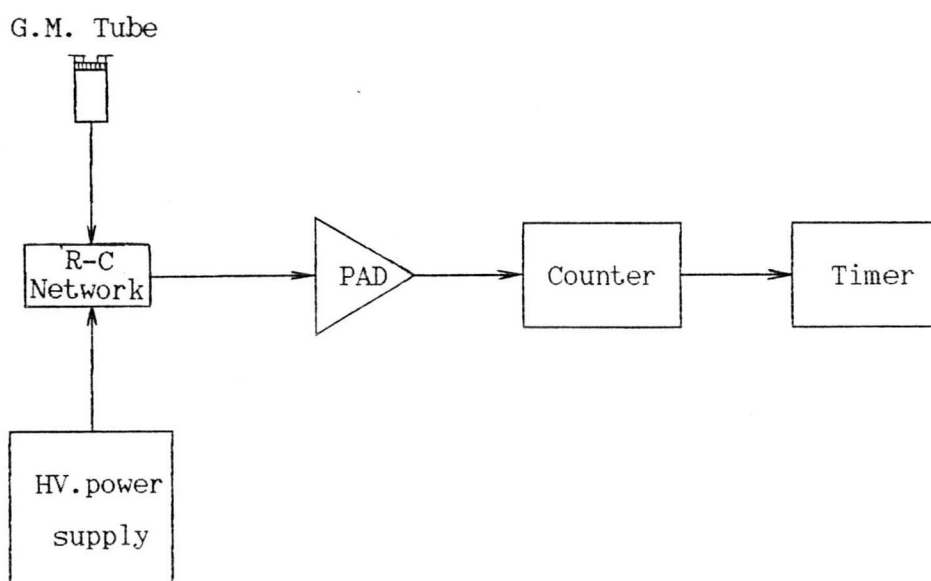
3.2.10 การหาฟาสต์นิวตรอนฟลักซ์ของต้นกำเนิดนิวตรอน $^{238}\text{Pu-Be}$ (ASTM, 1991)

นิวตรอนฟลักซ์ หมายถึง จำนวนนิวตรอนซึ่งเคลื่อนที่ในทิศทางต่าง ๆ กันวิ่งผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรในเวลา 1 วินาที ในการวิจัยนี้ใช้กำมะถัน (S-32) เป็นตัววัด เนื่องจากมีพลังงานขั้นต่ำ (Threshold energy) ใกล้เคียงกับฟลูออรีนมากที่สุด โดยนำผงกำมะถันไปอัดให้เป็นเม็ด (Pellet) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบรังสี จากนั้นก็นำมาวัดปริมาณรังสีที่เกิดขึ้นด้วย Geiger-Muller Counter และนำมาคำนวณหาฟาสต์นิวตรอนฟลักซ์ โดยใช้สมการที่ (2.10) ซึ่งจะได้ว่า

$$\phi = \frac{\text{cps} \times M \times 100}{\text{Eff} \times W N_A f_6 (1 - e^{-\lambda t}) e^{-\lambda \tau}} \quad \text{----- (3.4)}$$

เมื่อ $\text{Eff} =$ ประสิทธิภาพของหัววัด (%)

ผลการทดลองหาฟาสต์นิวตรอนฟลักซ์แสดงอยู่ในตารางที่ 4.7



รูปที่ 3.13 แผนผังการจัดระบบวัดฟาสต์นิวตรอนฟลักซ์