

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์ และวิธีการ

#### 3.1 สารตัวอย่าง การเตรียมสารตัวอย่าง และสารมาตรฐาน

##### 3.1.1 สารตัวอย่าง

ตัวอย่างข้าวที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากกองการข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประกอบด้วย ข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาวของพันธุ์ข้าวขาว 2 พันธุ์ คือข้าวคอกมะลิ 105 (KDML 105) และ กข 7 (RD 7) จากแปลงทดลองพันธุ์ข้าว บางเขน กรุงเทพฯ กับข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว ของพันธุ์ข้าวขาวที่ไร่น้ำชาหนึ่งอีก 1 พันธุ์ จากโรงสี

ครั้งแรกคัดเลือกข้าวเปลือกปริมาณ 1 กิโลกรัม จากแปลงทดลอง โดยหลักการสุ่มตัวอย่าง แล้วนำมาแกะเทาะเปลือกด้วยเครื่องแกะเทาะเมล็ด (MC gill sheller) ทำซ้ำ 3-4 ครั้ง เพื่อแกะเทาะเปลือกออกให้หมด แบ่งข้าวนั้นออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือข้าวกล้อง นำมาเก็บเข้าถุงพลาสติก เพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป ส่วนที่สองนำมาชักขาว เพื่อให้เป็นข้าวขาวด้วยเครื่องชัก แล้วเก็บไว้ในถุงพลาสติก เพื่อใช้วิเคราะห์ เช่นเดียวกัน

ครั้งที่สองคัดเลือกข้าวเปลือกปริมาณ 1 กิโลกรัม เช่นเดียวกับครั้งแรก นำข้าวเปลือกนั้นมาผ่านขบวนการทำข้าวหนึ่ง แล้วจึงนำมาทำการแกะเทาะเปลือก และชักขาวเช่นเดียวกับครั้งแรก

##### 3.1.2 การเตรียมสารตัวอย่าง

การเตรียมข้าวหนึ่ง (parboiled rice) (1, 10) แบ่งขั้นตอนการทำได้ดังนี้คือ

1) ทำความสะอาดข้าวเปลือก (washing) โดยการนำเอาข้าวเปลือกของพันธุ์ข้าวที่จะใช้วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ที่แบ่งไว้แล้ว มาล้างด้วยน้ำสะอาด เพื่อคัดเอา



ข้าวที่มีเมล็ดลีบออก

2) แช่ข้าวเปลือก (steeping) หลังจากนั้นจึงนำข้าวเปลือกนั้นไปแช่น้ำ ระยะเวลาในการแช่ขึ้นอยู่กับชนิด และคุณภาพของข้าวเปลือก และอุณหภูมิของน้ำที่แช่ ถ้าแช่ในน้ำเย็นใช้เวลาประมาณ 1-3 วัน แต่ถ้าแช่ในน้ำร้อนจะใช้เวลาเพียง 3-4 ชั่วโมง เพื่อให้เมล็ดข้าวมีความชื้นร้อยละ 35 ในการทดลองนี้ใช้วิธีแช่ข้าวเปลือกในน้ำร้อนในเครื่องอ่างน้ำ water bath ซึ่งมีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการแช่ 4 ชั่วโมง จะสังเกตว่าข้าวเปลือกที่แช่ถึงจุดอิ่มตัวความชื้น ก็โดยการสังเกตที่เปลือก พอเปลือกเริ่มแตกก็ใช้ได้

3) ต้มหรือนึ่งข้าวเปลือก (boiling or heating) ต้มข้าวเปลือกที่แช่น้ำจนถึงจุดอิ่มตัวความชื้น แล้วนึ่งในน้ำเดือดเป็นเวลานาน 30-35 นาที ถ้าใช้หม้อต้มภายใต้ ความกดดัน 15 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว จะใช้เวลาเพียง 10-20 นาที ในการทดลองนี้ใช้หนึ่งใน หม้อความดัน (auto cave) ที่ความดัน 10 ปอนด์ ต่อตารางนิ้วเป็นเวลานาน 10 นาที

4) ทำให้ข้าวแห้ง (drying) นำข้าวเปลือกที่นึ่งแล้วมาตากแห้ง โดยใช้แสง แดดหรือใช้เครื่องอบแห้ง เพื่อลดปริมาณความชื้นในเมล็ดให้เหลือประมาณร้อยละ 13-14 ในการทดลองนี้ใช้วิธีเข้าเครื่องอบแห้ง โดยอบข้ามคืนไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แล้ว อบที่ 60 องศาเซลเซียสอีก 3 ชั่วโมง เมื่อทดสอบหาความชื้นสัมพัทธ์ในเมล็ดข้าวเปลือกที่ ผ่านการอบแห้งแล้วโคความชื้นสัมพัทธ์เป็นร้อยละ 10.15 สำหรับข้าว กข 7 และ 9.75 สำหรับข้าวขาวดอกมะลิ (ใช้เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ของกองการข้าว บางเขน)

5) การชัคสีข้าว (milling) วิธีการเป็นแบบเกี่ยวกับการชัคสีข้าว- เปลือกธรรมดา แต่จะโคข้าวขาว (ข้าวสาร) เติมเมล็ดมากขึ้นเพราะข้าวที่ผ่านการต้มจะ เกิดการเปลี่ยนแปลงของเมล็ดแป้งกลายเป็นเจล (gel) ช่วยให้รอยร้าวที่แตกหัก เชื่อม ครอบคลุมเนื้อเดียวกัน เมื่อนำไปตากแห้งเมล็ดข้าวจะใสและแข็งแน่น ร้อนจากเปลือก ทำให้การ กะเทาะเปลือกง่าย คุณภาพของการชัคสีดีขึ้น

หลังจากนั้นก็นำตัวอย่างข้าวกล้อง และข้าวขาวของข้าวเจ้าแต่ละพันธุ์ ซึ่งแยกออก เป็น สองลักษณะคือ

ก) ลักษณะที่ไม่ได้ผ่านการนึ่ง

ข) ลักษณะที่ผ่านการนึ่งแล้ว

มาบคิให้ละเอียดด้วยเครื่องบดที่ทำด้วยเหล็กโรสนิม และผ่านการทำความสะอาดแล้ว และเพื่อให้ได้ความละเอียดเท่า ๆ กัน จึงนำมากบดด้วยครกที่ตองโซ่มือช่วยบดอีกทีหนึ่ง และกรองข้าวตัวอย่างที่ผ่านการบดมาอย่างค้แล้วด้วยฉากกรองขนาด 110 mesh เก็บข้าวตัวอย่างที่บดละเอียด และผ่านการกรองอย่างค้แล้วในภาชนะขวดพลาสติกที่ปิดสนิท เพื่อเก็บไว้ใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

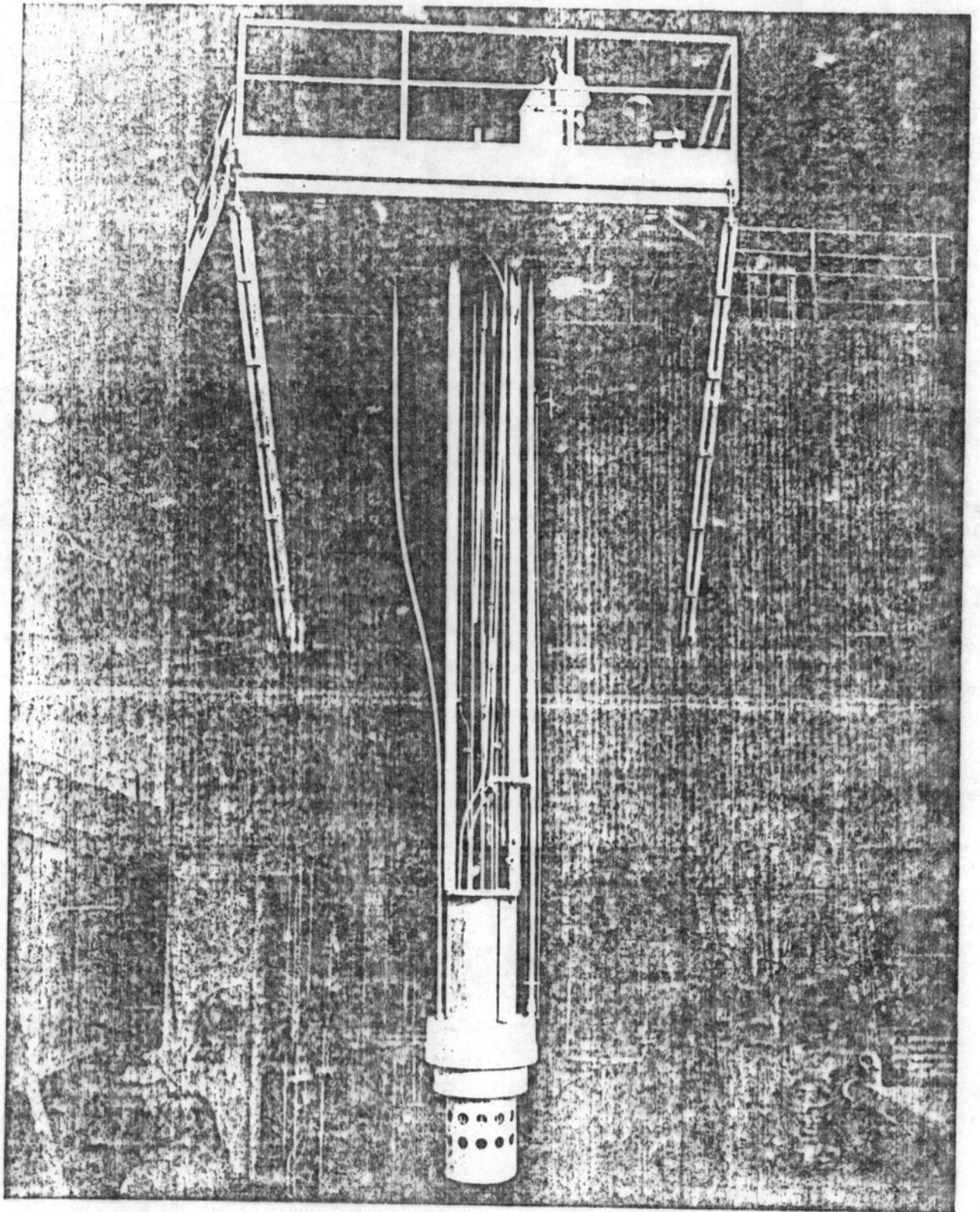
### 3.1.3 สารมาตรฐาน

เนื่องจากข้าวประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งก็มีธาตุหลักซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญคือ คาร์บอน, ไฮโดรเจน, ออกซิเจน และไนโตรเจน (C, H, O, N) และในการทดลองนี้เป็นการทดลองโดยวิธีไม่ทำลายสารตัวอย่าง ด้วยขบวนการทางเคมี ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ เกลือไนเตรทของแอมโมเนียม ซึ่งมีสูตรทางเคมีว่า  $NH_4NO_3$  เป็นสารมาตรฐาน (11, 12)

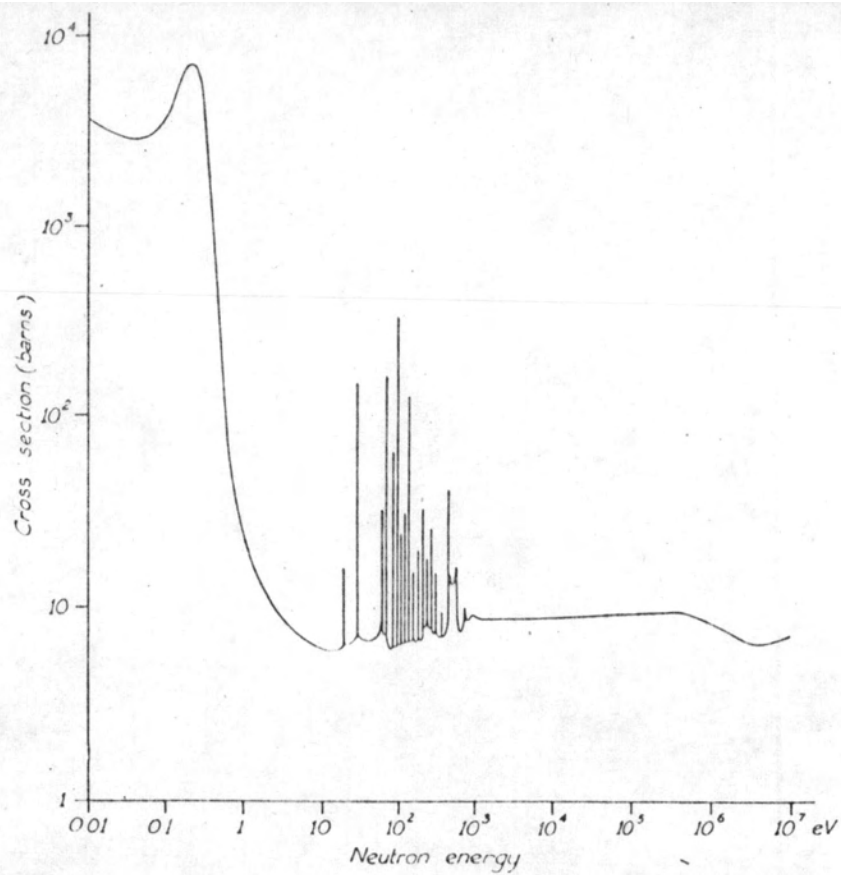
## 3.2 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู และการอาบรังสีนิวตรอน

3.2.1 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ในการทดลองนี้ได้ใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูเป็นตัวค้นกำเนิดรังสีนิวตรอน โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย 1 ปรับปรุงครั้งที่ 1 (ปปรว 1/1) สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบนี้เป็นแบบ ทริกา มาร์ค III (TRIGA MARK III) ซึ่งเป็นแบบที่มีใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วโลกในปัจจุบัน เพราะเหมาะแก่การฝึกหัดการวิเคราะห์ วิจัย และผลิตไอโซโทป สร้างโดยบริษัท เจนเนอรัล อะตอมมิก (General Atomic Company) แห่งสหรัฐอเมริกา (13) เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่สามารถทำงานแบบคงที่ (steady state) แบบเพิ่มกำลังเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจตุรัส (square wave) และแบบเพิ่มกำลังสูงสุดในระยะเวลาสั้น ๆ (pulsing) ปกติทั่วไปเครื่องปฏิกรณ์เครื่องนี้จะเดินเครื่องที่กำลัง 1000 กิโลวัตต์ หรือ 1 เมกกวัตต์ (1 MW) ลักษณะส่วนประกอบของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบนี้แสดงดังรูปที่ 3.1 (13) ซึ่งประกอบไปด้วย reactor bridge, แกนของเครื่องปฏิกรณ์ฯ และที่ยึดเหนี่ยวแกน





รูปที่ 3.1 แลตงล่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย 1 ปรับปรุงครั้งที่ 1

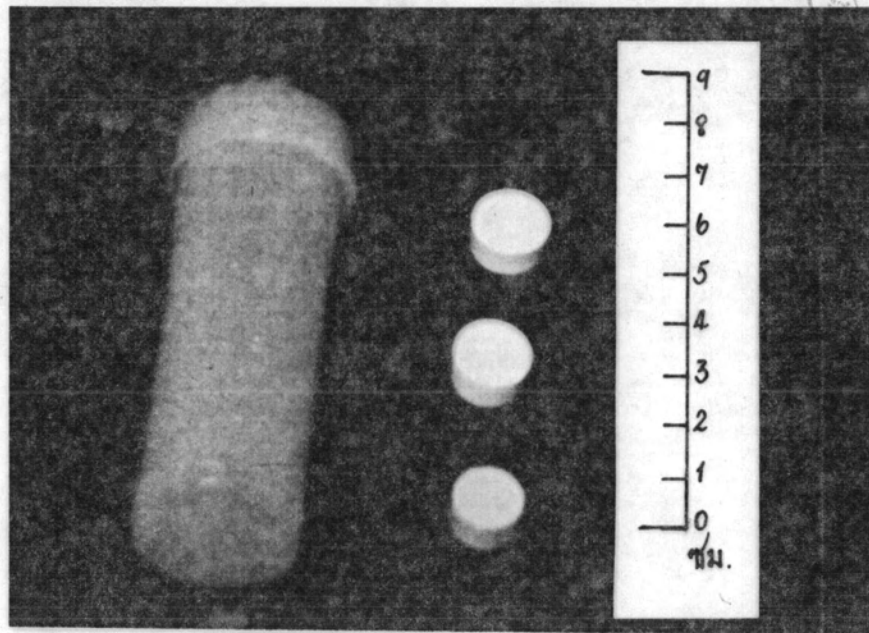


รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ภาคตัดขวางของแคดเมียมกับพลังงาน

ของนิวตรอน

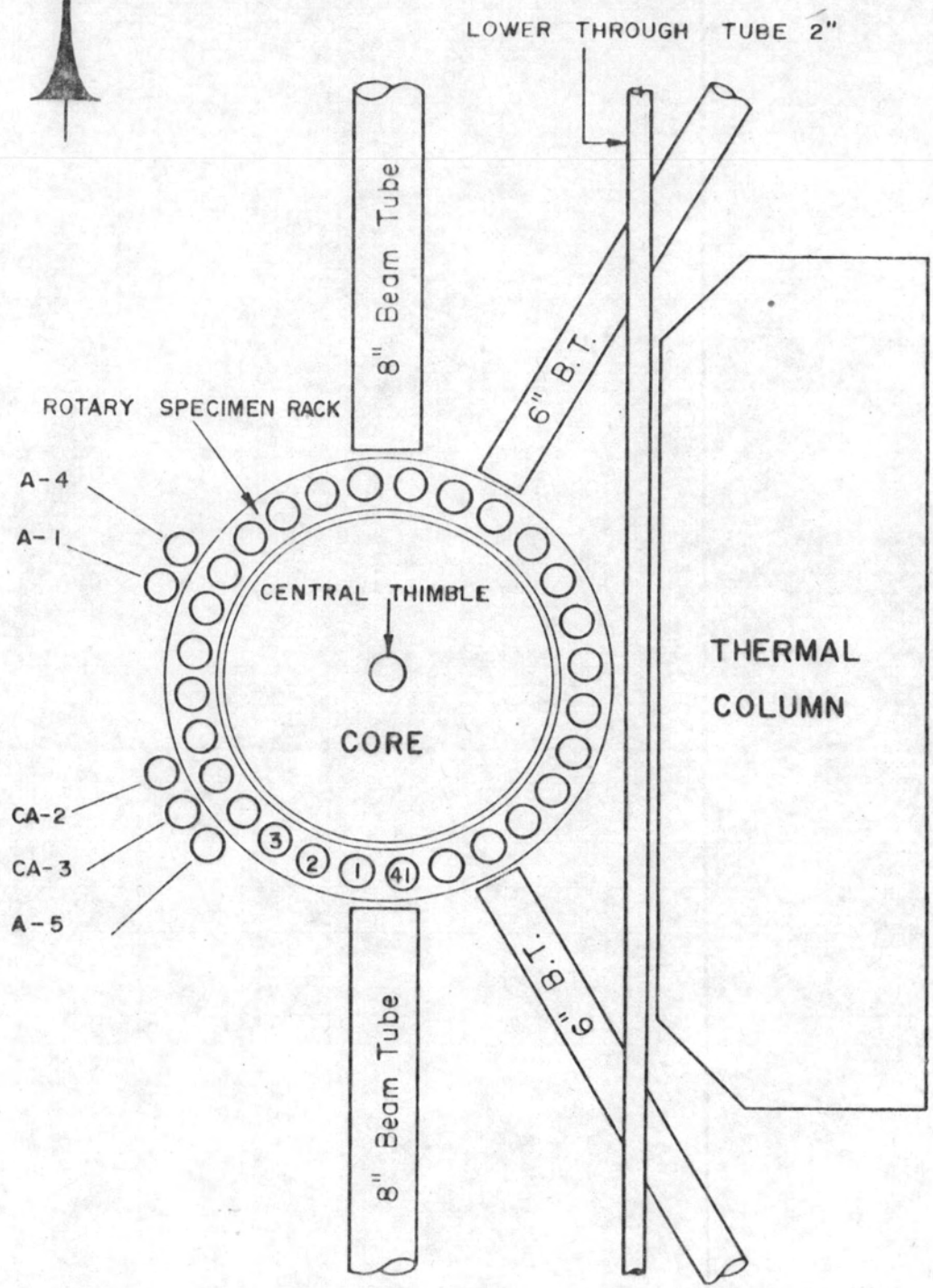
3.2.2 การอำนวยการนิวตรอน นิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูมีหลายชนิด แยกตามพลังงานคือ เทอร์มัลนิวตรอน, อีพิเทอร์มัลนิวตรอน, นิวตรอนช้า และนิวตรอนเร็ว ทั้งนี้ได้กล่าวมาแล้ว สัดส่วนของจำนวนนิวตรอนเร็วต่อนิวตรอนช้าในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ขึ้นกับชนิดของเชื้อเพลิง ภาชนะนิวตรอน และการจัดวางตำแหน่งของระบบ ปกตินิวตรอนช้าทำให้เกิดปฏิกิริยา (n, γ) ได้ดีกว่านิวตรอนชนิดอื่น ๆ แต่ในกรณีของไนโตรเจนการแตกกิ่งก้านจะก่อให้เกิดนิวตรอนเร็ว โดยใช้ปฏิกิริยา  $^{14}\text{N}(n, 2n)^{13}\text{N}$  ดังนั้นเมื่อนำสารมาอำนวยการนิวตรอนเร็ว จึงต้องกันนิวตรอนช้าออกไปโดยการอำนวยการนิวตรอนในท่ออำนวยการที่หุ้มด้วยแคดเมียม (cadmium) เนื่องจากแคดเมียมทำปฏิกิริยากับนิวตรอนช้าได้ดี จึงทำปฏิกิริยาดูดกลืนนิวตรอนช้า และปล่อยให้นิวตรอนเร็วผ่านไปดังรูป 3.2 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างครอสเซกชัน (cross section) ของแคดเมียมกับพลังงานของนิวตรอน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแคดเมียมทำปฏิกิริยากับนิวตรอนช้าได้ดีกว่านิวตรอนเร็ว<sup>(1)</sup>

ซึ่งสารมาตรฐานไนโตรเจนในการทดลองนี้คือ แอมโมเนียมไนเตรท ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) ขี้วัว-  
 อย่าง, เซลลูโลส (cellulose) ซึ่งใช้ทำเป็นแบลนด์ (blank) อย่างคร่าว ๆ ก่อน  
 โดยให้น้ำหนักอย่างละประมาณ 1 กรัม คอไปนำสารมาตรฐาน, ตัวอย่างขี้วัวซึ่งบดละเอียด  
 แล้วและเซลลูโลส ที่ซึ่งแล้วไปอีกเป็นเม็กลักษณะคล้ายเม็ดยา ด้วยเครื่องอัดเม็ดของ  
 บริษัท Fred S. Carver จำกัด โดยใช้กระบอกรัดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว และใช้  
 แรงอัด 8000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นำเม็กรัดแล้วทั้งสามบรรจุลงในชกโพลีเอธิลีน  
 (polyethylene) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 แล้วจึงนำเข้าอบรังสีนิวตรอน ที่ห้องอบรังสี-  
 นิวตรอน ซึ่งมีรหัสว่า CA-2 และ CA-3 (เป็นห้องที่หุ้มแผ่นโลหะแคดเมียมไว้) ในเครื่อง  
 ปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย 1 ปรับปรุงครั้งที่ 1 ของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ดังแสดงท่า-  
 แหนงของห้องในภาพปฏิกรณ์ปรมาณูดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของสารมาตรฐาน, สารตัวอย่าง, แบลนด์ และภาชนะ  
 ที่ใช้บรรจุสารเหล่านี้ เพื่อเข้าอบรังสีนิวตรอนที่ห้อง CA-2 และ/ หรือ  
 CA-3 ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู 1/1





รูปที่ 3.4 แสดงแกนเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย 1 ปรับปรุงครั้งที่ 1 พร้อมท่อ CA-2, CA-3 และท่อต่างๆ ที่ใช้ในการอบรังสีด้วยอย่าง เมื่อเดินเครื่องที่ตำแหน่งเทอร์มัลคอล์มน์

ในตำแหน่งซึ่งมีความเข้มข้นของนิวตรอนเร็วประมาณ  $1.5 \times 10^{11}$  นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ที่กำลัง 1 เมกกาวัตต์ (1 MW) เป็นเวลา 40 นาที แล้วปล่อยสารตัวอย่างที่เป็นข้าวหึ่ง (ซึ่งผ่านการอบรังสีนิวตรอน) ไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อให้ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตสั้น ๆ สลายตัวไปบ้าง ก่อนนำไปวิเคราะห์

### 3.3 วิธีดำเนินการวิเคราะห์

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองหาปริมาณในโครเจนในตัวอย่างข้าว โดยกระทำเป็น 2 ลักษณะคือ

ก) ทำการวิเคราะห์ปริมาณในโครเจน ในข้าวขาวและข้าวกล้องของตัวอย่างข้าวที่ไม่ได้ผ่านขบวนการนึ่ง

ข) ทำการวิเคราะห์ปริมาณในโครเจนในข้าวขาว และข้าวกล้อง ของตัวอย่างข้าวเดียวกับ ก) แต่ได้ผ่านขบวนการนึ่ง

ได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 ศึกษาวิเคราะห์เชิงคุณภาพ โดยการนำตัวอย่างข้าวสารมาตรฐาน ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) และแบลงค์ มาอบรังสีนิวตรอนที่ท่อ CA-2 และ/หรือ CA-3 เป็นเวลานาน 40 นาที แล้วรีบนำมาเข้าเครื่องนับรังสีทันที โดยเสียเวลาคอย 2 นาที ใช้เวลาในการวัด 10 นาที นำข้อมูลและสเปกตรัมที่ได้ไปหายอคี่คี่ที่เกิดขึ้นว่ามีพลังงานเท่าใด โดยอ่านค่าพลังงานจากกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ของเครื่องวัดรังสี ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างหมายเลขของ (channel number) กับพลังงานรังสีแกมมาที่เข้าสู่หัววัด

จากค่าพลังงานของยอคี่คี่ที่ทำได้ สามารถนำมาวิเคราะห์เชิงคุณภาพ โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับพลังงานของไอโซโทปกัมมันตรังสีต่าง ๆ จากเอกสาร (14, 15)

(Gamma-ray Spectrum Catalogue และ The Gamma-ray lines of radio-nuclides volume 1) ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1, 4.2,

4.3



3.3.2 ศึกษาคุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของไนโตรเจน และธาตุอื่นที่เกี่ยวข้อง โดยแสดงอยู่ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของไอโซโทปกัมมันตรังสีของไนโตรเจน และสารที่รวมกัน (7)

ไอโซโทปชนิดเสถียร	ปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิด	ปริมาณของไอโซโทปเสถียรที่มีอยู่ในธรรมชาติ (%)	ครึ่งชีวิต (นาที)	พลังงานของรังสีแกมมาที่ปลดปล่อย (MeV)
$^{14}\text{N}$	$^{14}\text{N}(n, 2n)^{13}\text{N}$	99.63	9.96	0.511 (200 %)
$^{39}\text{K}$	$^{39}\text{K}(n, 2n)^{38}\text{K}$	93.09	7.71	0.511 (100 %)
$^{31}\text{P}$	$^{31}\text{P}(n, 2n)^{30}\text{P}$	100.00	2.50	0.511 (100 %)
$^{63}\text{Cu}$	$^{63}\text{Cu}(n, 2n)^{62}\text{Cu}$	69.10	9.80	0.511 (195 %)
$^{81}\text{Br}$	$^{81}\text{Br}(n, 2n)^{82}\text{Br}$	49.48	17.60	0.511 (5 %)

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าในการอาบรังสีนิวตรอนของไนโตรเจน เพื่อให้ เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ชนิด นิวตรอน-2นิวตรอน ( $n, 2n$ ) นั้น ไอโซโทปกัมมันตรังสีของ ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นมีเพียง ไนโตรเจน-13 เท่านั้น และไนโตรเจน-13 ที่เกิดขึ้น เป็นโพสิ- ตรอนอีมิตเตอร์ (positron emitter) จะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีแกมมา พลังงาน 0.511 MeV ดังนั้นในการวิเคราะห์เชิงปริมาณของไนโตรเจนในสารตัวอย่าง เราจึงใช้การวิเคราะห์ด้วยฟลักซ์ของพลังงาน 0.511 MeV ของไนโตรเจน-13 แต่อย่างไร ก็ตามในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในสารตัวอย่างทางชีววิทยา (biological sample) ทั่ว ๆ ไป จะพบการรบกวนจากไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุอื่น ๆ เสมอ ดังได้ รวบรวมแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

3.3.3 การหาครึ่งชีวิตของไนโตรเจน-13 จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่ามี ไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุต่าง ๆ ที่อาจมีในสารตัวอย่าง ให้รังสีแกมมามีค่าพลังงาน 0.511 MeV ออกมาเช่นเดียวกับไนโตรเจน-13 ดังนั้นเพื่อความแน่นอนในการวิเคราะห์ จึงต้องทำการหาครึ่งชีวิตของรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV โดยอาศัยการเขียนกราฟ จากความสัมพันธ์ระหว่างการนับในช่วงเวลาหนึ่ง ของพลังงานของรังสีแกมมาที่สนใจ กับ เวลาที่ทำการนับและหาครึ่งชีวิตได้จากค่าความชันของกราฟเส้นนั้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4

#### 3.3.4 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

การวิเคราะห์เชิงปริมาณเป็นการดำเนินการต่อเนื่องจากการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ เมื่อทราบว่าพืชที่ปรากฏในสเปกตรัมนั้น แสดงชนิดรังสีแกมมาของธาตุใด ๆ แล้ว และจาก การคิดหาครึ่งชีวิตของรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV ได้แน่นอนแล้วว่าเป็นของไนโตร- เจน-13 ก็ดำเนินการขั้นตอนตาม 3.1.3 ใช้เวลาในการนับรังสีของแมลงค้, ข้าวตัวอย่างและ สารมาตรฐาน  $NH_4NO_3$  ช่วงเวลาละ 10 นาที เท่า ๆ กัน โดยเริ่มวัดรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV ของแมลงค้ก่อน แล้วจึงเป็นข้าวตัวอย่าง และสารมาตรฐานตามลำดับ

#### 3.3.5 การนับปริมาณรังสี

ในการวัดรังสีที่เกิดขึ้นจากการกระตุ้นไอโซโทปที่เสถียร ด้วยนิวตรอน ต้องเลือก

ใช้หัววัดรังสีที่เหมาะสม โดยพิจารณาความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ อันได้แก่ชนิดของรังสีที่จะวัด, ระดับพลังงานของรังสีนั้น ประสิทธิภาพของหัววัด (efficiency) ตลอดจนความสามารถในการแยกแยะระดับพลังงาน (energy resolution) เป็นต้น ในปัจจุบันมีหัววัดชนิดต่าง ๆ มากมาย เช่น หัววัดไกเกอร์ (Geiger-Muller counter) ซึ่งเป็นหัววัดแบบบรรจุด้วยก๊าซ, หัววัดแบบการเกิดประกายแสง (Scintillation detector) และหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector) เป็นต้น แต่ในทางปฏิบัติสำหรับการวิเคราะห์แบบนิวตรอนแอกติเวชัน โดยไม่ทำลายสารตัวอย่างด้วยขบวนการทางเคมี นิยมใช้หัววัดแบบสารกึ่งตัวนำชนิด ลิเทียม คริฟต์ เยอร์มันเนียม

Lithium drifted Germanium, Ge (Li) มากกว่าหัววัดแบบการเกิดประกายแสง ทั้งนี้เพราะว่าหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ มีขีดความสามารถในการแยกแยะระดับพลังงาน (energy resolution) ได้ดีกว่ามาก

### 3.3.5.1 เครื่องมือนับปริมาณรังสี

เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบขนาดพลังงาน และนับปริมาณรังสีแกมมาของไนโคเจน-13 ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้คือ

#### 1) Ge (Li) detector ของ Canberra

(1) Lithium drifted Germanium Diode มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 44 มิลลิเมตร สูง 39.5 มิลลิเมตร หรือมีปริมาตรของหัววัดขนาด 60 ซีซี

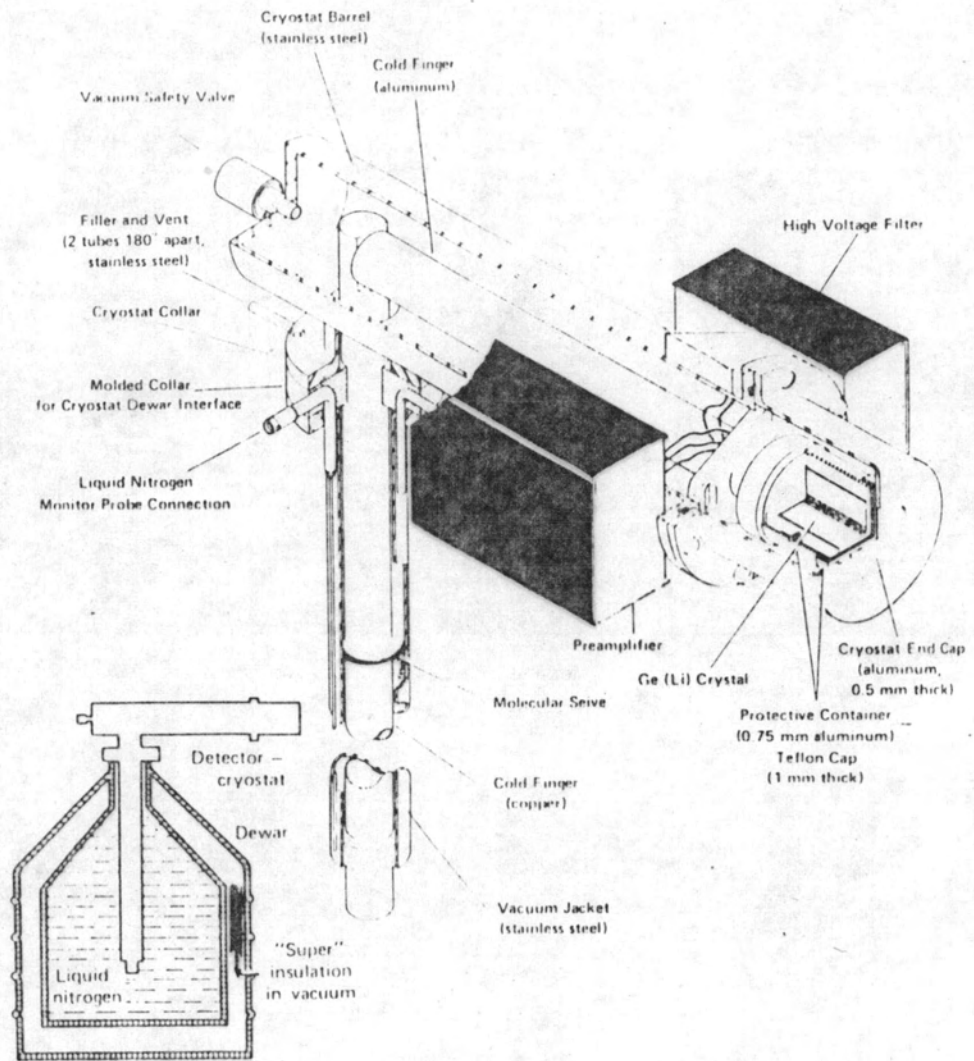
(2) Low noise cryogenic preamplifier

(3) Liquid nitrogen reservoir dewar ลักษณะโครงสร้างภายในทั้งหมดของหัววัดแบบนี้แสดงดังรูปที่ 3.5

2) High Voltage Power Supply ของ Ortec แบบ 459

3) Amplifier ของ Ortec แบบ 472

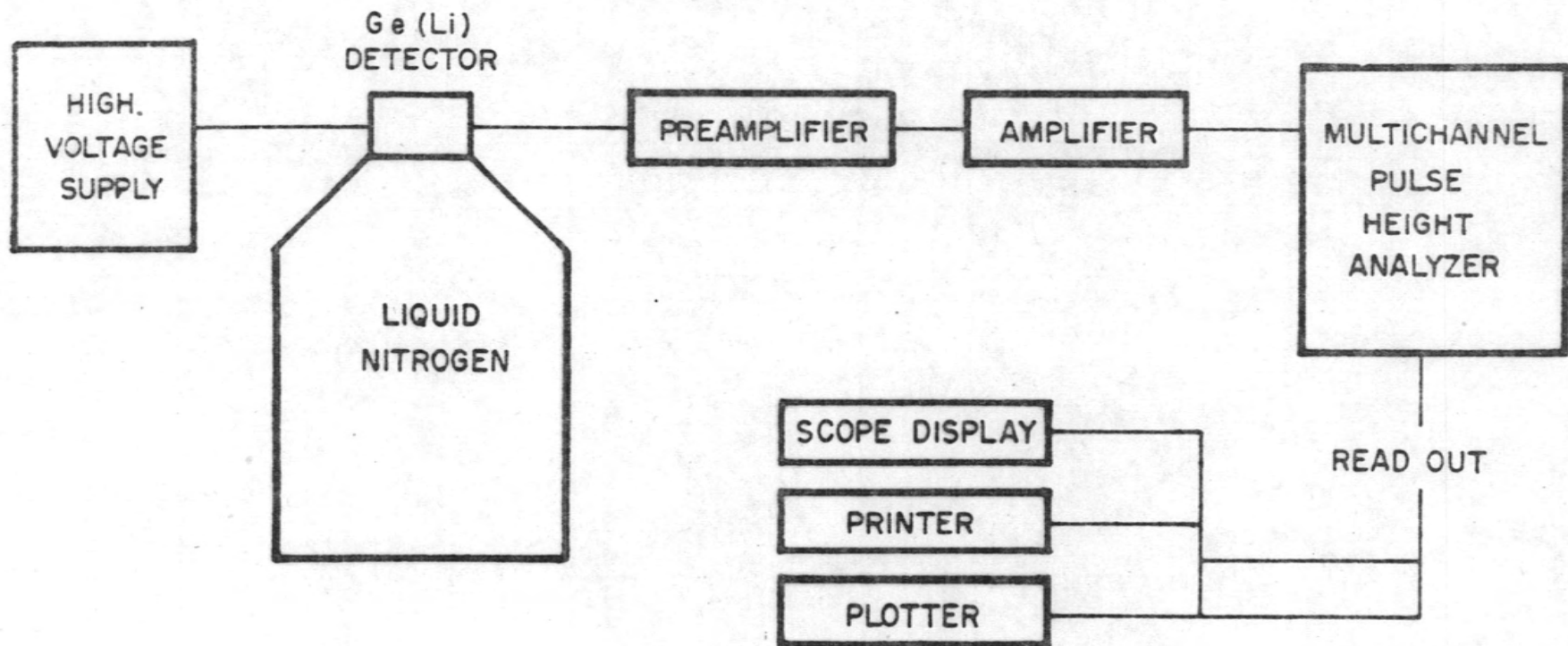
4) Multichannel Pulse height analyzer (MCA) ของ Ortec



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะโครงสร้างภายในของหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ  $Ge(Li)$



รูปที่ 3.6 แผนผังแสดงการเชื่อมต่อเครื่องมือในการวัดรังสี





แบบ 6240 B, และของ Canberra แบบ 8100 ขนาด 1024 ของ

5) Teletype ASR 33

6) X-Y Plotter ของ Hewlett Packard

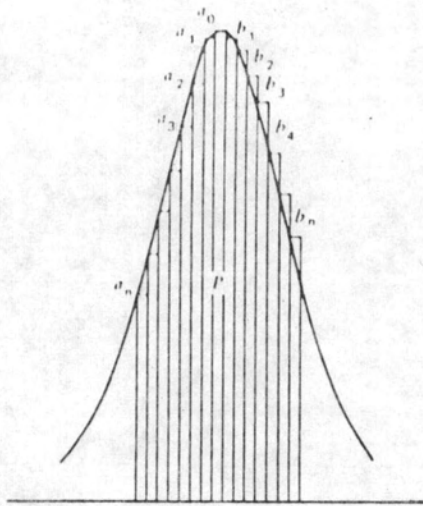
ได้ทำการจัดเครื่องมือตามรูปที่ 3.6 และจัดปรับอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

High voltage Power Supply	2500	โวลต์
Amplifier	Fine gain	.7
	Coarse gain	100
MCA	conversion gain	1024
Upper level discriminator	10.0	โวลต์
Lower level discriminator	.4	โวลต์

### 3.3.5.2 การคำนวณค่าความแรงรังสี

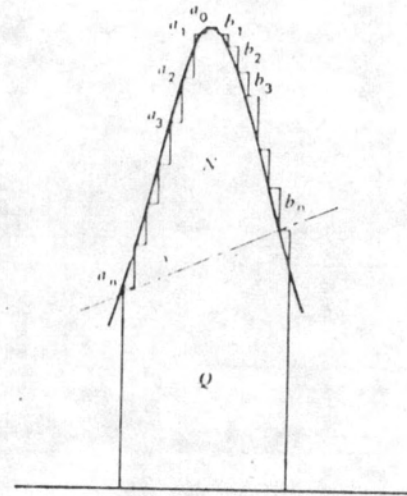
การคำนวณความแรงรังสีแกมมา นิยมใช้การคำนวณพื้นที่ใต้พีค (peak) จากสเปกตรัมของรังสีแกมมาที่ปรากฏ โดยคิดคำนวณพื้นที่ฐาน (base area) แล้วหักออกจากพื้นที่ทั้งหมดของพีค ตามวิธีการของโคเวลล์ (covell's formular of total peak area)<sup>(16)</sup> ดังรูปที่ 3.7, และรูปที่ 3.8

- ให้  $a_0$  = ความแรงรังสีสูงสุดของพีค
- $a_1, a_2, \dots, a_n$  = ความแรงรังสีในพีคทางด้านซ้ายของ  $a_0$
- $b_1, b_2, \dots, b_n$  = ความแรงรังสีในพีคทางด้านขวาของ  $a_0$
- ให้  $P$  = ความแรงรังสีทั้งหมด
- $Q$  = ความแรงรังสีของพื้นที่ฐาน
- $N$  = ความแรงรังสีสุทธิภายใต้พีคนั้น
- จะได้ว่า  $N = P - Q$



รูปที่ 3.7 ความแรงรังสีแสดงด้วยกราฟ

รูปแท่ง (bar graph)



รูปที่ 3.8 พื้นที่ลู่ทอ  $N$  ภายใต้พิก

$$\text{แทน } P = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i + \sum_{i=1}^n b_i$$

$$Q = (2n+1) \frac{(a_n + b_n)}{2}$$

$$= (n+\frac{1}{2})(a_n + b_n)$$

แทนค่า P และ Q จะได้

$$N = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i + \sum_{i=1}^n b_i - (n+\frac{1}{2})(a_n + b_n) \quad (3.1)$$

### 3.3.5.3 การคำนวณปริมาณไนโตรเจนในสารตัวอย่าง

จาก 3.3.4 ได้นำเอาแบลนค์, ข้าวตัวอย่าง, และสารมาตรฐาน  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  เข้าวัดปริมาณรังสี และคำนวณปริมาณความแรงรังสีภายใต้ที่ก จากสเปกตรัมของรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV ที่ได้จากไนโตรเจน-13 ของแบลนค์, สารตัวอย่าง, และสารมาตรฐาน ตามสมการ 3.1 แต่เนื่องจากไนโตรเจน-13 มีครึ่งชีวิตเพียง 9.96 นาที และเราทำการวัดโดยใช้เวลาวัด 10 นาที เท่ากันทุกตัวอย่างแบบต่อเนื่อง โดยวัดแบลนค์, ข้าวตัวอย่าง และ  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  ตามลำดับ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำค่าของพื้นที่ใต้พีคที่คำนวณได้มาแก้การสลายตัวของไนโตรเจน-13 เพื่อหาค่าความแรงรังสีที่เวลาเดียวกันของทุกตัวอย่าง ด้วยสมการข้างล่างนี้<sup>(17)</sup>

$$N_0 = \frac{N_t}{(e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t_2})} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $N_t$  = ความแรงรังสีที่คำนวณได้จากพื้นที่ใต้พีคของรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV ระหว่างเวลาวัด  $t_1$  ถึง  $t_2$

$N_0$  = ความแรงรังสี ณ เวลาเริ่มต้น  $t = 0$

$t_1$  = เวลาที่เริ่มทำการวัด นับจากเวลา  $t = 0$

$t_2$  = เวลาที่สิ้นสุดการวัดนับจากเวลา  $t = 0$



จากนั้น คำนวณปริมาณของไนโตรเจน ในสารตัวอย่างได้จากสมการ (2.11) คือ

$$\frac{\text{ปริมาณไนโตรเจนในสารตัวอย่าง}}{\text{ปริมาณไนโตรเจนในสารมาตรฐาน}} = \frac{\text{ความแรงรังสีของไนโตรเจน-13 ในสารตัวอย่าง}}{\text{ความแรงรังสีของไนโตรเจน-13 ในสารมาตรฐาน}}$$

ปริมาณของไนโตรเจนในสารตัวอย่าง จากการคำนวณตามสมการข้างบน เป็นปริมาณของไนโตรเจนในสารตัวอย่างซึ่งหนักประมาณ 1 กรัม เมื่อนำมาคิดเทียบกับน้ำหนักของสารตัวอย่าง 100 กรัม ค่าที่ได้จะเป็นปริมาณของไนโตรเจนในหน่วยของเปอร์เซ็นต์