

อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการทดลอง



2.1 การเก็บสารตัวอย่าง

2.1.1 น้ำ เก็บตัวอย่างจากลำคลองต่าง ๆ ซึ่งเป็นทางไหลของน้ำทิ้งรังสีที่ปล่อยลงสู่คลองบาง เช่น โดยสำนักงานฯ ภายหลังจากผ่านโรงงานซักรีดแก๊สแก๊สโครมแล้ว คลองที่เก็บสารตัวอย่างมีคลองบาง เช่น คลองเปรมประชากร คลองบางทองหลวง และบริเวณที่คลองบาง เช่น ท่อกับแม่น้ำเจ้าพระยา น้ำตัวอย่างเก็บจากสถานีต่าง ๆ ซึ่งกำหนดแน่นอนรวมทั้ง 15 สถานีในรัศมี 10 กม. โดยรอบสำนักงานฯ ดังแสดงไว้ในรูป 2.1 และตารางที่ 2.1 และเก็บเป็นประจำทุกเดือน ๆ ละครั้งทุกสถานี น้ำตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์นี้เป็นน้ำตัวอย่างที่เก็บตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2523 ถึง เมษายน 2524 รวม 12 เดือน

ตารางที่ 2.1 สถานีเก็บน้ำตัวอย่าง

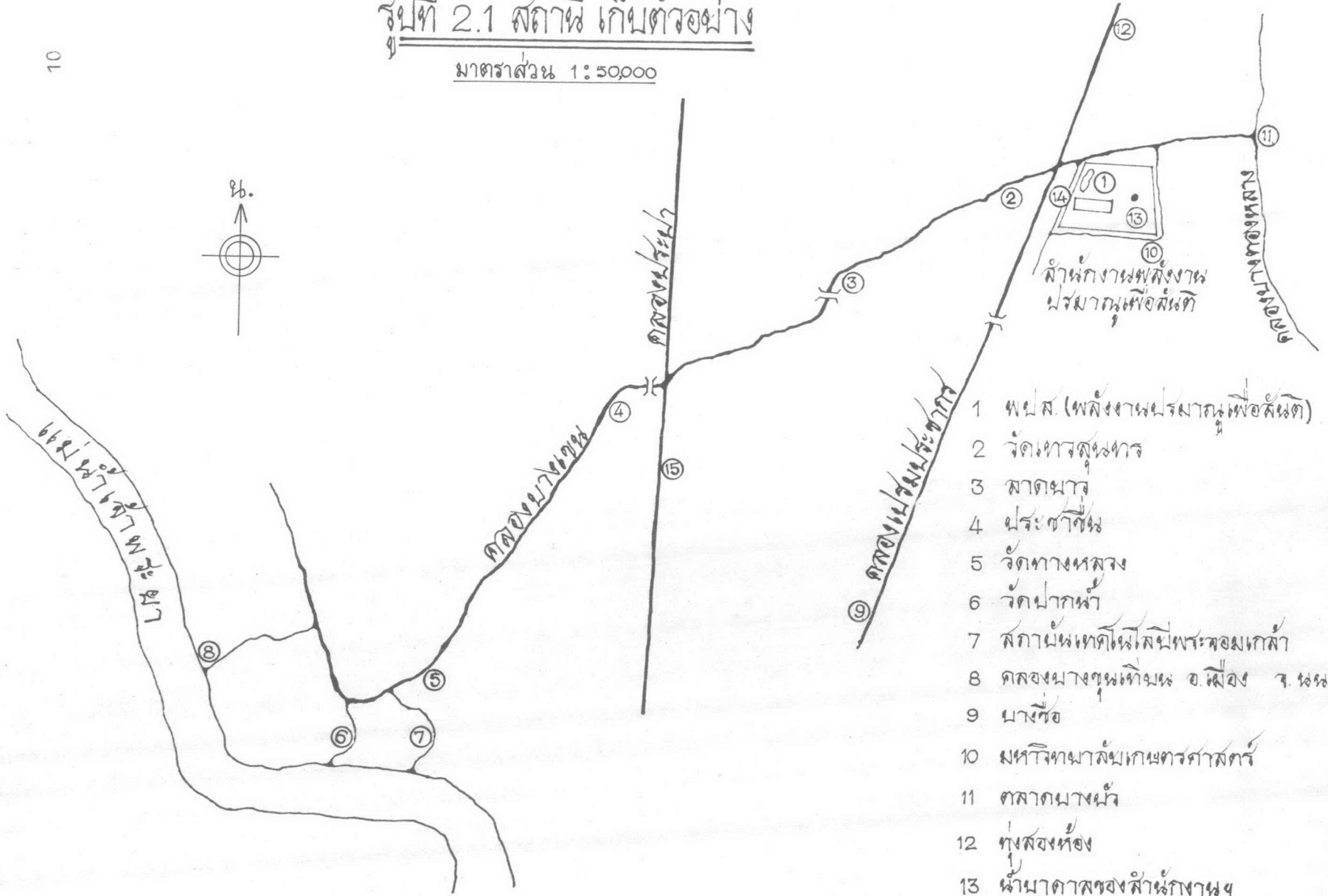
หมายเลขสถานี	สถานที่เก็บ
1	บ่อน้ำในบริเวณสำนักงาน พปส.
2	วัดเทวสุนทร
3	ลาคยาว
4	ประชาชื่น
5	วัดทางหลวง
6	วัดปากน้ำ

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

หมายเลขสถานี	สถานที่เก็บ
7	สถานีเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
8	คลองบางขุนเทียน อ. เมือง จ. นนทบุรี
9	บางซื่อ
10	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
11	ตลาดบางบัว
12	ทุ่งสองห้อง
13	น้ำมาศาลของสำนักงาน
14	คูหน้าสำนักงาน
15	คลองประปา

# รูปที่ 2.1 สถานี เก็บตัวอย่าง

มาตราส่วน 1 : 50,000



- 1 พ.ส. (พลังงานปริมาณเพื่อสัตว์)
- 2 วัดทางสุขุมวิท
- 3 ตลาดน้ำ
- 4 ไร่ชาสีห
- 5 วัดทางหลวง
- 6 วัดปากน้ำ
- 7 สถานีรถไฟเพื่อปริมาณเพื่อสัตว์
- 8 คลองน้ำเค็ม อ.สีห จ.นนทบุรี
- 9 นางสีห
- 10 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- 11 ตลาดน้ำ
- 12 กุ้งสีห
- 13 หน้าตาของสำนักงาน
- 14 คูน้ำสีหสำนักงาน
- 15 คลองประปา

การเก็บน้ำตัวอย่างเก็บจากน้ำผิวพื้น (surface water) จำนวน 1 แกลลอน (3.785 ลิ) ในภาชนะโพลีเอทิลีนที่มีฝาปิดมิดชิด ภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำจะต้องสะอาดและผ่านการล้างพร้อมกับการเขย่าอย่างแรงด้วยน้ำตัวอย่างในบริเวณที่เก็บอย่างน้อย 2-3 ครั้ง ก่อนใช้บรรจุน้ำ

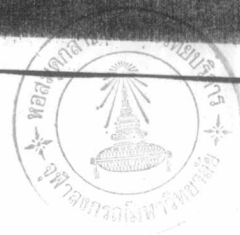
2.1.2 ผักและผลไม้ต่าง ๆ ผักตัวอย่างเก็บจากสถานีต่าง ๆ ตามชนิดที่สามารถจะเก็บได้ ส่วนใหญ่แล้วจะเก็บในบริเวณที่ใกล้สำนักงานมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในสำนักงาน โดยเริ่มเก็บตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2523 ถึง เมษายน 2524 ผักตัวอย่างที่เก็บส่วนใหญ่จะเป็นผักที่อยู่ในน้ำ เช่น ผักบุ้ง, ผักกระเฉด, สายบัว ฯลฯ และผักที่ปลูกอยู่ในบริเวณริมคลองใกล้ ๆ สถานีนั้น ๆ เช่น ชีเหล็ก คอกแค กระน้ำ กวางตุ้ง บวบ ฯลฯ สำหรับผลไม้ตัวอย่างนั้น เช่น กล้วย มะละกอ มะม่วง ชมภู ไม้อาจจะเก็บตัวอย่างได้ครบทุกเดือน โดยจะเก็บได้เฉพาะฤดูที่ผลไม้นั้นออกผลเท่านั้น ผักผลไม้ที่ใช้วิเคราะห์มีน้ำหนักมากกว่า 3 กิโลกรัม ขึ้นไป

2.1.3 สัตว์น้ำ เช่น ปลา หอย กุ้ง เก็บได้เฉพาะบริเวณสถานีที่ 1 เท่านั้น

2.1.4 ดินใต้อ่างน้ำ เก็บเฉพาะภายในบริเวณบ่อน้ำของสำนักงาน และในบริเวณที่ใกล้สำนักงานมากที่สุด คือ สถานีที่ 2 และบริเวณคลองบางเขนซึ่งติดกับบ้านพักของสำนักงาน การเก็บตัวอย่างดินใต้อ่างน้ำกระทำโดยใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้นเองอย่างง่าย ๆ ประกอบไปด้วยท่อลูมิเนียมกลวง ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3.3 ซม. ยาวประมาณ 3.5 เมตร จำนวน 3 ท่อ ท่อเชื่อมกันได้ด้วยเกลียว ท่อล่างสุดของเครื่องมือจะสอดใส่ท่อพลาสติกใสกลวงเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.0 ซม. ยาว 80 ซม. การเก็บตัวอย่างดินใต้อ่างน้ำกระทำโดยการวางเครื่องมือเก็บตัวอย่างให้ตั้งฉากกับท้องน้ำแล้วใช้แรงคนกดลงบนก้ามปลายสุดของเครื่องมือ ดินตัวอย่างจะถูกอัดบรรจุอยู่ในท่อพลาสติก สารตัวอย่างที่เก็บได้จะเป็นในลักษณะแท่งและเป็นชั้น (undisturbed sample) การเก็บตัวอย่างจะพยายามให้ได้สารตัวอย่างอย่างน้อย 60 ซม. และแต่ละบริเวณจะเก็บสารตัวอย่างจำนวน 4 ท่อ ในแต่ละเดือนจะเก็บสารตัวอย่างจากบริเวณเดียวกัน สารตัวอย่างในท่อพลาสติกจะนำมาเก็บในตู้แช่แข็งเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป รูปที่ 2.2 แสดงการเก็บตัวอย่างดินใต้อ่างน้ำ



รูปที่ 2.2 การเก็บตัวอย่างดินใต้วงน้ำ



## 2.2 การเตรียมตัวอย่าง

### 2.2.1 น้ำ

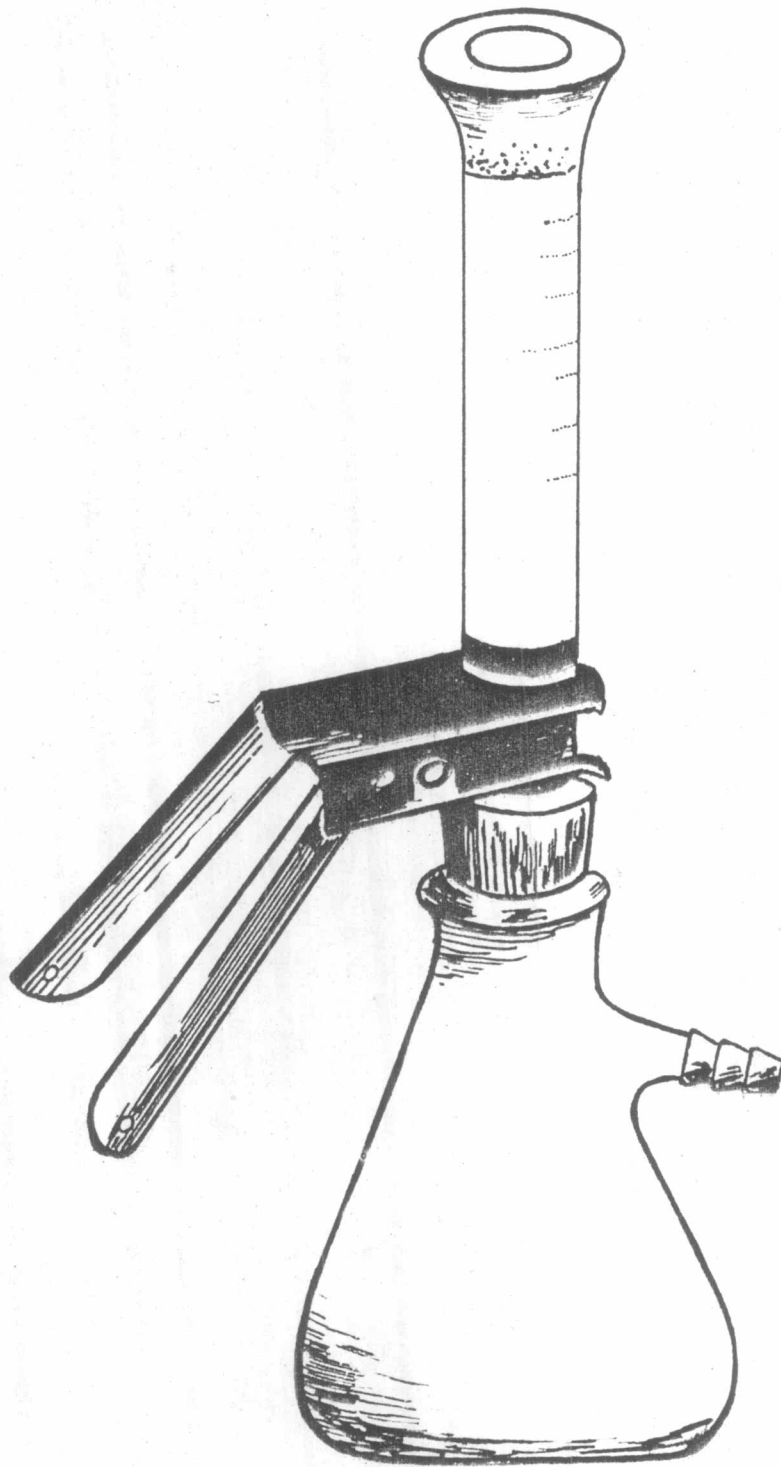
เนื่องจากปริมาณของซีเซียม-137 ในน้ำมีน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องเพิ่มความเข้มข้นก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์ โดยนำน้ำตัวอย่างปริมาตร 3 ลิตร มากกรองเพื่อขจัดสารแขวนลอย แล้วนำไประเหยในบีกเกอร์ 1 ลิตร ระเหยไปจนเหลือปริมาตรประมาณ 20 ลบ.ซม. เก็บกรอกในทริกความเข้มข้น 0.6 นอร์มอล ประมาณ 10 ลบ.ซม. อุณหภูมิร้อนพร้อมกวนทิ้งให้สารละลายเย็น แล้วกรองด้วยชุดเครื่องกรองของมิลลิพอร์ (millipore) รูปที่ 2.3 เก็บสารละลายในขวดโพลีเอทิลีนขนาด 30 ลบ.ซม. แล้วทำให้ปริมาตรสารละลายเป็น 15 ลบ.ซม. ทุก ๆ ตัวอย่าง บันทึกหมายเลขสถานีและเคื่อนที่เก็บน้ำตัวอย่างไว้ข้างขวด เพื่อเก็บไปหาความแรงรังสีรวมเบตาและซีเซียม-137 ต่อไป

### 2.2.2 ผักและผลไม้

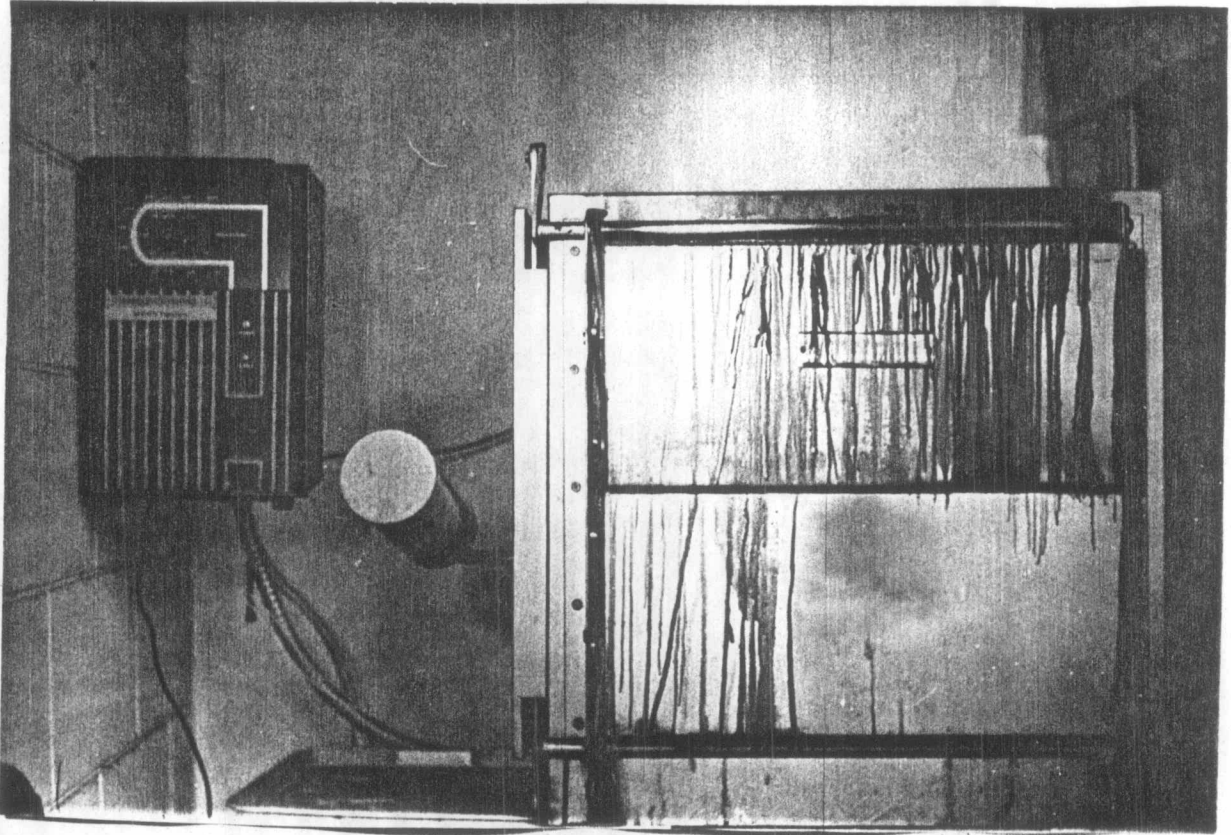
ใช้เฉพาะส่วนที่รับประทานได้ (edible part) เท่านั้น โดยนำมาล้างน้ำให้สะอาดก่อน สำหรับผักนึ่ง ผักกระเฉด ผักเป็ด นำมาคโดยใช้เครื่องบด ผักและผลไม้อื่น ๆ ที่บดไม่ได้นำมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ จำนวนตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์มีน้ำหนักอย่างน้อย 2 กก. นำตัวอย่างที่บดหรือหั่นแล้วมาใส่ในดากอคริลิกเหนียว เขียนหมายเลขที่ดากให้ถูกต้องนำไปอบที่อุณหภูมิ 350° ซ. จนกลายเป็นถ่าน จากนั้นนำมาใส่ในชามกระเบื้อง (porcelain) นำไปเผาในเตาเผา (muffle furnace) (รูปที่ 2.4) ที่อุณหภูมิ 450° ซ. เป็นเวลา 16 ชม. จนกลายเป็นเถ้าหมก นำเถ้าที่ได้มาคให้ละเอียด แล้วร้อนอีกครั้งเพื่อให้เข้ากันดี (homogeneous) เก็บเถ้าที่ได้ในกล่องพลาสติก พร้อมบันทึกน้ำหนักเถ้า, หมายเลขสถานี, เคื่อน, ชนิดของตัวอย่าง, น้ำหนักสด ไว้ที่ข้าง ๆ กล่องพลาสติกด้วย เพื่อนำเถ้าที่ได้ไปวัดปริมาณรังสีต่อไป

### 2.2.3 สัตว์น้ำ (ปลา, หอย, กุ้ง)

กระทำเช่นเดียวกับผักตัวอย่าง คือนำเฉพาะส่วนที่รับประทานได้ คือน้ำปลา, เนื้อหอย ส่วนกุ้งนั้นเป็นกุ้งฝอย สามารถรับประทานได้ทั้งตัว จึงใช้ส่วนของกุ้งทั้งหมด นำตัวอย่างมา 1 กก. ใส่ในชามกระเบื้องนำไปอบและเผาเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.3 เครื่องมือกรองของ "มิลลิพอร์"



รูปที่ 2.4 เตาเผา (Muffle furnace)

005601



## 2.2.4 คินไอทองน้ำ

นำคินที่แช่เย็นจนแข็งแล้วออกจากตู้แช่แข็ง (Freezer) ทิ้งไว้ให้คินอ่อนตัวเล็กน้อย ใช้ท่อเหล็กคันทึบปลายค้านล่าง คัดคินเป็นท่อน ๆ ค้วยมิด ให้ท่อนที่ 1 และ 2 มีความยาวช่วงละ 5 ซม. ท่อนที่ 3, 4, 5 และ 6 มีความยาวช่วงละ 10 ซม. ตามลำดับ ซึ่งนำหนักคินแต่ละท่อนแล้วใส่ชามกระเบื้อง นำไปอบให้แห้งและเผาที่อุณหภูมิ 450° ซ. จากนั้นนำมาบดค้วยเครื่องบดและร่อนค้วยตะแกรง เก็บค้วย่างใส่กล่องพลาสติก พร้อมบันทึกรายละเอียดและน้ำหนักไว้ข้างกล่อง

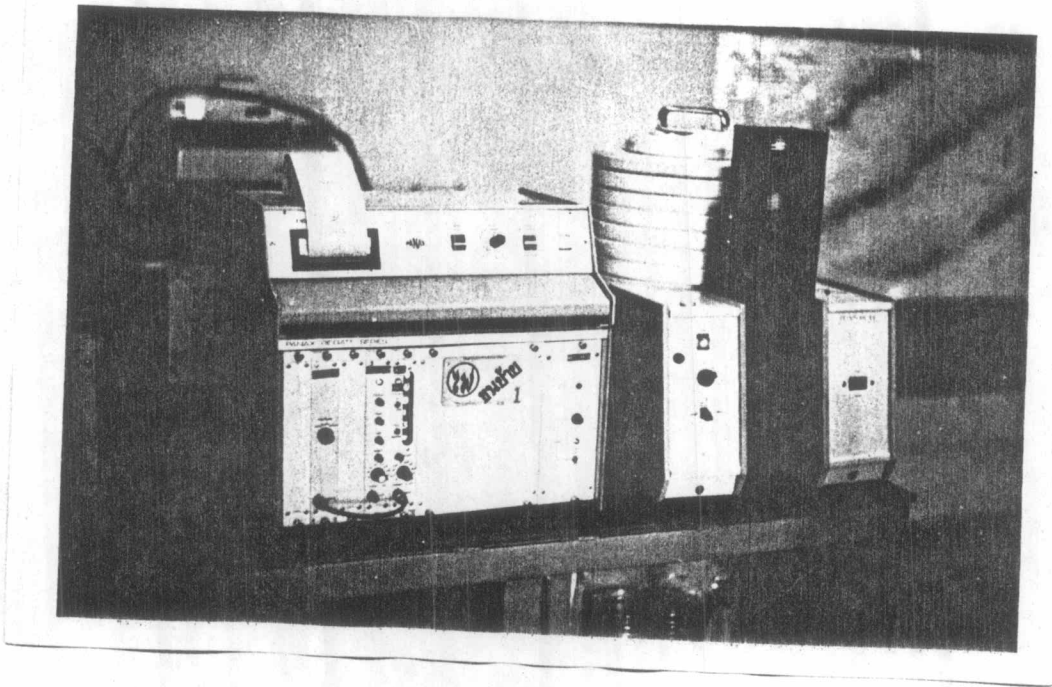
## 2.3 วิธีดำเนินการวิเคราะห์

### 2.3.1 การวัดความแรงรังสีรวมเบคา<sup>(10)</sup>

2.3.1.1 สำหรับค้วย่างน้ำ ถูกสารละลายของน้ำค้วย่างที่เตรียมไว้ ปริมาตร 5 ลบ.ซม. ใส่ลงในจานนับรังสี (planchet) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 ซม. ทำให้แห้งภายใต้แสงไฟจากหลอดอินฟราเรด (Infrared lamp) หลังจากแห้งแล้วทิ้งให้เย็น แล้วเก็บไว้ในภาชนะป้องกันความชื้น (desiccator) จากนั้นนำไปนับปริมาณรังสีค้วยเครื่อง Low background anti-coincidence G.M. counter (รูปที่ 2.5) เป็นเวลา 4000 วินาที

2.3.1.2 สำหรับค้วย่างจากสิ่งแฉก ล้อม นำเอาจำนวน 1 กรัม มาใส่ในจานนับรังสีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 ซม. โดยใช้ไม้พาย (spatula) ช่วยกดเพื่อทำให้ผิวหน้าเรียบ แล้วนำไปทำให้แห้งอีกครั้งหนึ่งโดยหลอดอินฟราเรด ทิ้งให้เย็นในภาชนะป้องกันความชื้น ซึ่งหา น้ำหนักของเด้าแล้วนำไปวัดรังสีเป็นเวลา 1000 วินาที โดยใช้เครื่องวัดชนิดเดียวกับที่กล่าวไว้ใน 2.3.1.1

ปริมาณรังสีที่นับได้จะต้องหักเอาค่าแมคกราวนค์ (background) ซึ่งเป็นค่าที่นับปริมาณรังสีของสิ่งแฉก ล้อม เมื่อปราศจากสารค้วย่างในเวลานับที่เท่ากันออกเสียก่อน จึงจะนำมาคำนวณหาความแรงรังสีรวมเบคา โดยเปรียบเทียบกับความแรงรังสีของสารมาตรฐานซีเซียม-137 ที่นับค้วยเครื่องวัดชนิดเดียวกันในเวลาที่เท่ากัน และหักค่าแมคกราวนค์แล้วค้วย

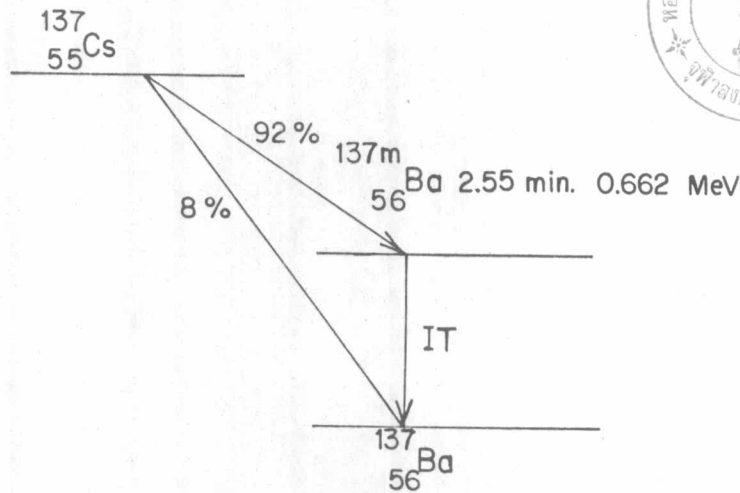


รูปที่ 2.5 เครื่องวัดรังสีเมทา Low Background Anticoincidence G.M.  
Counter

2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137 ในสารตัวอย่าง

เนื่องจากซีเซียม-137 สลายตัวให้ทั้งรังสีแกมมาและเบตาตามผังการสลายตัวที่แสดงไว้ข้างล่าง

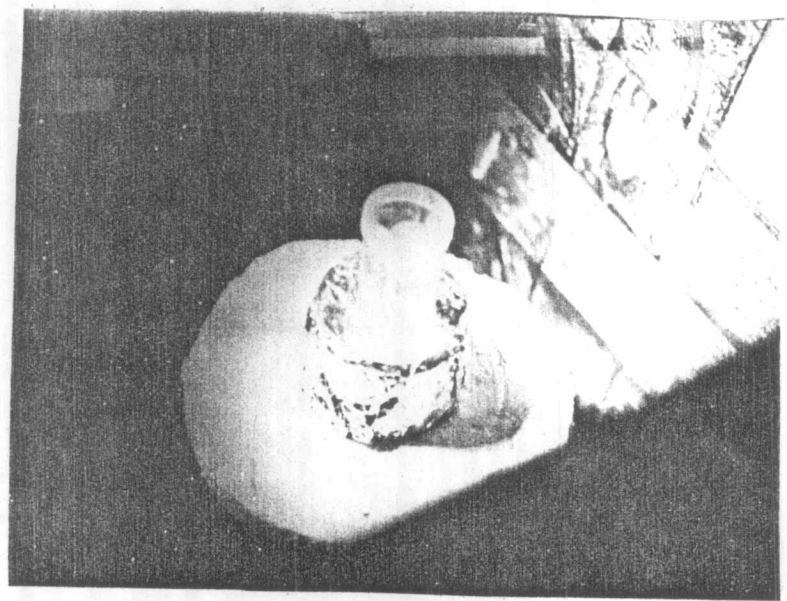
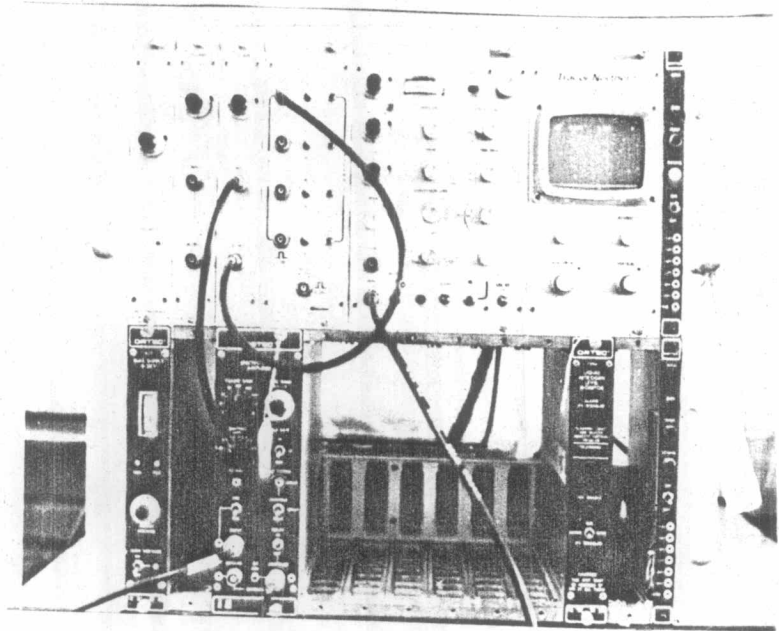
Decay Scheme ของซีเซียม-137 (7)



ฉะนั้นการวิเคราะห์ซีเซียม-137 จึงสามารถกระทำได้ทั้งทางการวัดรังสีแกมมาด้วยเครื่องมือ gamma spectrometer หรือโดยการทำให้บริสุทธิ์ก่อนแล้วนำไปวัดรังสีเบตา สำหรับการวิจัยนี้จะใช้ทั้งสองวิธีโดยพิจารณาความเหมาะสม กล่าวคือการวัดรังสีแกมมาโดยตรงจะนำมาใช้กับตัวอย่างทุกชนิดยกเว้นน้ำ แล้ววิเคราะห์หาปริมาณซีเซียม-137 และโพแทสเซียม-40 ในกรณีที่มีปริมาณซีเซียม-137 น้อยมากจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีนี้ จะนำเด็มาประมาณ 5-10 กรัม มาย่อย แล้วแยกเอาซีเซียม-137 ออกมาโดยวิธีทางเคมีแล้วนำไปวัดปริมาณรังสีเบตา

2.3.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137 โดยการวัดรังสีแกมมาโดยตรง (11)

นำสารตัวอย่างซึ่งบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกมาวัดปริมาณรังสีด้วยเครื่องมือวัดรังสี



รูปที่ 2.6 เครื่องวัดรังสีแบบ Multichannel Analyzer พร้อมหัววัดรังสี NaI (Tl) 4" x 4" ในดำทะกั่ว

แอมมาโดยใช้หัววัด NaI (T1) 4" x 4" ซึ่งอยู่ในถ้ำตะกั่วขนาด 60 x 62.5 x 70 ซม. และต่อกับ 1024 channel analyzer (รูปที่ 2.6) ใช้เวลาวัด 4000 วินาที แล้วเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่วัดได้หลังจากลบค่าแบคกราวด์ กับปริมาณรังสีของสารมาตรฐานซีเซียม-137 และโพแทสเซียม ซึ่งใช้เวลาวัดเท่ากันและลบแบคกราวด์แล้วเช่นกัน สารมาตรฐานของซีเซียม-137 และโพแทสเซียม ที่ใช้เป็นสารตัวอย่างของ US. EPA. (US. Environmental Protection Agency)

### 2.3.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137 โดยวิธีทางเคมี

ในการศึกษานี้ใช้เทคนิคของการตกตะกอนในรูปของ phosphomolybdate กรรมวิธีที่ใช้เป็นวิธีของ Vandervell<sup>(12)</sup> ดังมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.3.2.2.1 อุปกรณ์

- ก. บีกเกอร์ (beaker)
- ข. หลอดเหวี่ยง (centrifuge tube)
- ค. กระจกวง (measuring cylinder)
- ง. ขวดกนแมน (Erlenmeyer flask)
- จ. ปิเปต (pipette)
- ฉ. กระจกนาฬิกา (watch glass)
- ช. จานเพาะเชื้อ (petridish)
- ซ. ลูกยาง (propipette)
- ฅ. ขวดบอกปริมาตร (volumetric flask)
- ฉ. ไทรแองเกิล (triangle)
- ฎ. กรวยบูชเนอร์ (buchner funnel)
- ฏ. กระจกกรองชนิดใยแก้ว GF/A ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 และ 7 ซม.
- ฐ. จานนับรังสี (planchet) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.7 และ 3 ซม.

- ท. ชุดเครื่องกรองมิลลิพอร์
- ฑ. เครื่องเหวี่ยง (Centrifuge)
- ฒ. เครื่องอ่างน้ำ (Water bath)
- ค. หลอดอินฟราเรด (Infrared lamp)
- ก. ตะเกียงบุนเซน (Bunsen burner)
- ด. คีม (tong)

#### 2.3.2.2.2 เคมีภัณฑ์

- ก. กรดอะซิติก (acetic acid)
- ข. กรดไนตริก (nitric acid)
- ค. กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid)
- ง. กรดเปอร์คลอริก (perchloric acid)
- จ. แอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ (ammonium hydroxide)
- ฉ. แอมโมเนียม คาร์บอเนต (ammonium carbonate)
- ช. แอ็บโซลูท เอทานอล (absolute ethanol)
- ซ. ไฮโดรเจน เพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide)
- ฌ. ตะกั่ว อะซิเตท (lead acetate)
- ฎ. ฟีนอลธาเลอิน (phenolphthalein)
- ฏ. แอมโมเนียม โมลิบเดท (ammonium molybdate)  
ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดท 3 กรัม ในน้ำร้อน 100 ลบ.ซม.
- ฎ. สารละลายตัวพาซีเซียม (Cs-carrier) 20 มิลลิกรัม/ลบ.ซม.  
ละลายซีเซียมไนเตรทหนัก 2.93 กรัม ในน้ำ 100 ลบ.ซม.
- ฐ. สารมาตรฐานซีเซียม-137 สั่งมาจาก The Radiochemical  
Centre Amersham สหราชอาณาจักรซึ่งมีความแรงรังสี  
1 มิลลิคูรีต่อ ลบ.ซม. เมื่อวันที่ 1 พ.ค. 80

### 2.3.2.3 วิเคราะห์ (ดูแผนผังที่ 2.7 ประกอบ)

2.3.2.3.1 สำหรับตัวอย่างน้ำ คู่น้ำจากที่เตรียมไว้มา 5 ลบ.ซม. (เท่ากับแทนตัวอย่างทั้งหมด 1 ลิตร) ใส่ในหลอดเช่นทริฟิวจ์ เกิมซีเซียมแคริเออร์ 1 ลบ.ซม. เขย่าให้เข้ากัน เกิมกรกในทริกเข้มข้น 5 ลบ.ซม. นำไปเค็มแอมโมเนียมโมลิบเดท 4 ลบ.ซม. แล้วเขย่าให้เข้ากันอีกครั้งหนึ่ง นำไปอุ่นในเครื่องอังน้ำ (water bath) ที่กำลังร้อน ทำให้อุณหภูมิของสารละลายในหลอดประมาณ 60° ซ. หลังจากนั้น เกิมกรกฟอสฟอริก 0.5 ลบ.ซม. จะได้ตะกอนเหลืองของซีเซียมฟอสโฟโมลิบเดท ทั้งไว้ 4 ชม. เขย่าเป็นครั้งคราว จากนั้นทำตามข้อ 2.3.2.3.3 ต่อไป

2.3.2.3.2 สำหรับตัวอย่างที่ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเจือมาประมาณ 5-10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 ลบ.ซม. เกิมซีเซียมแคริเออร์แล้วเกิมกรกในทริก 1 : 1 ลงไป 20 ลบ.ซม. ใช้กระจกนาฬิกาปิดทิ้งไว้ค้างคืน จากนั้นนำไปทำให้ร้อนบนเตาไฟฟ้า (Hot plate) โดยใช้อุณหภูมิต่ำเพื่อย่อยตัวอย่างนาน 3 ชม. นำไปกรองด้วยกระดาษกรองแล้วจะได้สารละลายสีเหลืองใส นำมาเค็มไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ละหยด จนกระทั่งได้สารละลายไม่มีสี ตกตะกอนสารละลายที่ได้ด้วยสารละลายของแอมโมเนียมโมลิบเดท 4 ลบ.ซม. และกรกฟอสฟอริก 0.5 ลบ.ซม. คนให้เข้ากันทิ้งไว้ 4 ชม. เขย่าเป็นครั้งคราว หลังจากนั้นถ่ายตะกอนและสารละลายลงในหลอดเช่นทริฟิวจ์ จากนั้นทำตามข้อ 2.3.2.3.3 ต่อไป

2.3.2.3.3 หลังจากที่ได้ตะกอนซีเซียมฟอสโฟโมลิบเดทจากตัวอย่างน้ำและอื่น ๆ แล้ว นำไปเช่นทริฟิวจ์ ทิ้งส่วนที่เป็นสารละลาย ล้างตะกอนด้วยกรกในทริกเจือจาง (1 นอร์มอล) 20 ลบ.ซม. 2 ครั้ง ละลายตะกอนที่ได้ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 1 ลบ.ซม. เกิมน้ำกลั่น 20 ลบ.ซม. ทิ้งไว้ 20 นาที ปรับสารละลายที่ได้ให้เป็นกลางด้วยกรกในทริกเข้มข้น 6 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอลธาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ นำสารละลายที่เป็นกลางนี้ไปต้มให้เดือดในเครื่องอังน้ำ เกิมกรกอะซิติกหลอดละ 1 ลบ.ซม. และตะกั่วอะซิเทท (150 มิลลิกรัม/ลบ.ซม.) หลอดละ 5 ลบ.ซม. เขย่าสารละลายจะได้ตะกอนสีขาวของตะกั่วโมลิบเดท นำไปเช่นทริฟิวจ์แล้วนำส่วนที่เป็นสารละลายมาเค็มแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

จนเป็นค้าง (ดูจากสีของฟีนอลซาลีน) แล้วเก็บสารละลายอิมิตัวของแอมโมเนียมคาร์บอ-  
เนต 1 ลบ.ซม. เขย่าจนแน่ใจว่าแอมโมเนียมคาร์บอเนตจะจับอนุภาคตะกั่ว ( $Pb^{+2}$ ) ออกหมด  
แล้วจึงเข็นกริฟิวจ์เอาตะกอนทิ้งไป นำสารละลายที่ได้ใส่ในขวดก้นแบนไประเหยจนแห้งบนเตา  
ไฟฟ้าในตู้ควัน แล้วเผาไล่แอมโมเนียมออกให้หมด ทิ้งให้เย็นละลายซีเซียมที่อยู่ในขวดก้นแบน  
ด้วยน้ำ 2 ลบ.ซม. และกรดเปอร์คลอริกเข้มข้นร้อยละ 10 5 ลบ.ซม. เขย่าให้เข้ากันนำ  
ไปอุ่นบนเตาไฟฟ้าจนเกิดควันสีขาว ทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที จึงยกออกจากเตาแล้วทิ้งไว้ให้เย็น  
จากนั้นเติมแอมโซลลูคเซทานอล 15 ลบ.ซม. นำไปแช่ในถาดน้ำแข็งประมาณ 10 นาที จะได้  
ตะกอนสีขาวของซีเซียมเปอร์คลอเรต กรองโดยใช้เครื่องกรองแบบมิลลิพอร์ นำไปทำให้แห้ง  
ประมาณ 10 นาที ถ้วยหลอกอินฟราเรด ทิ้งไว้ให้เย็นในภาชนะป้องกันความชื้น ซึ่งห่าน้ำหนัก  
ของตะกอนที่ได้นำไปวัดปริมาณรังสีเบตาต่อไป

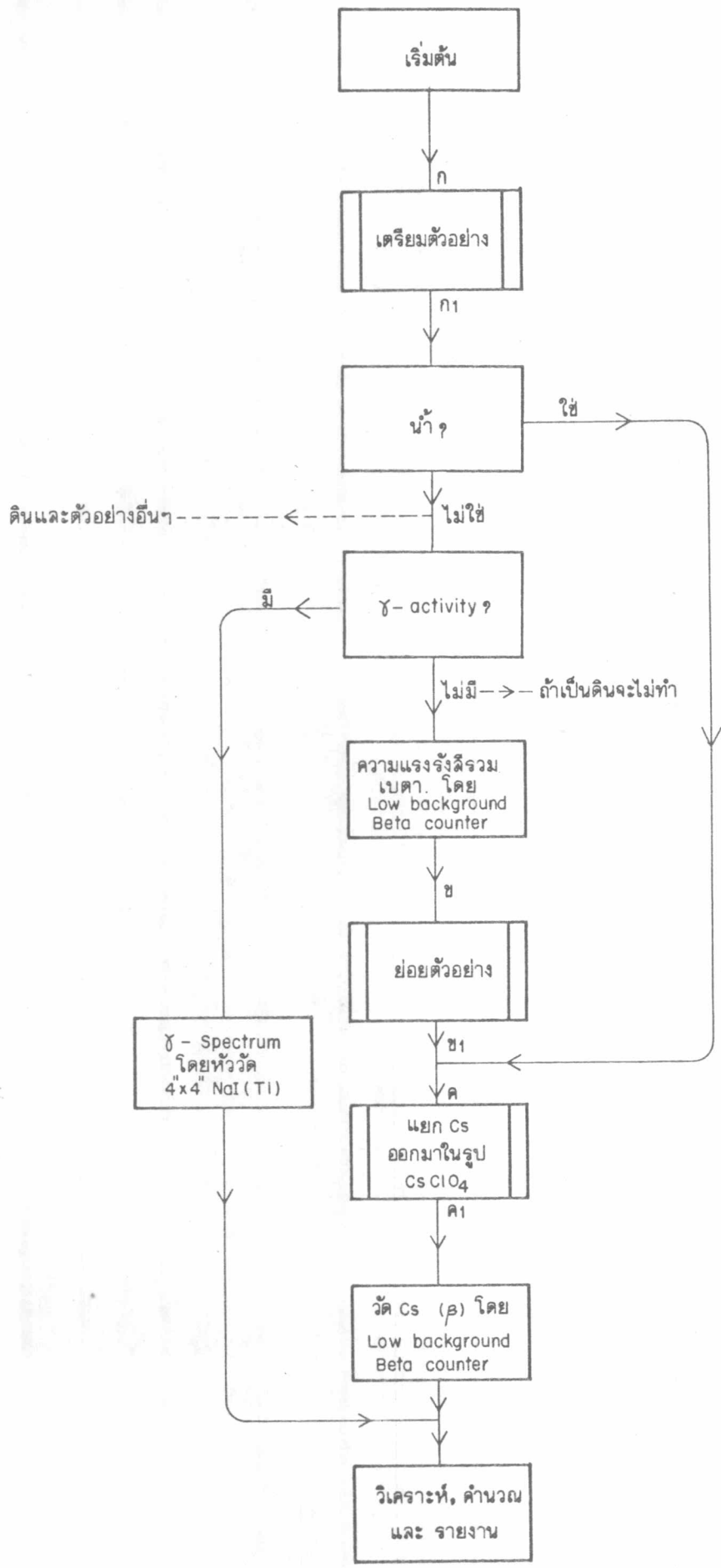
นำสารละลายซีเซียม-137 มาตรฐาน จำนวน 1 ลบ.ซม. ที่มีความแรงรังสี 121.2  
ทีโคคูรี มาวิเคราะห์ตามขั้นตอนของตัวอย่างนำทุกประการ

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดได้รวบรวมเป็น แผนผังดังแสดงใน  
รูปที่ 2.7 - รูปที่ 2.10

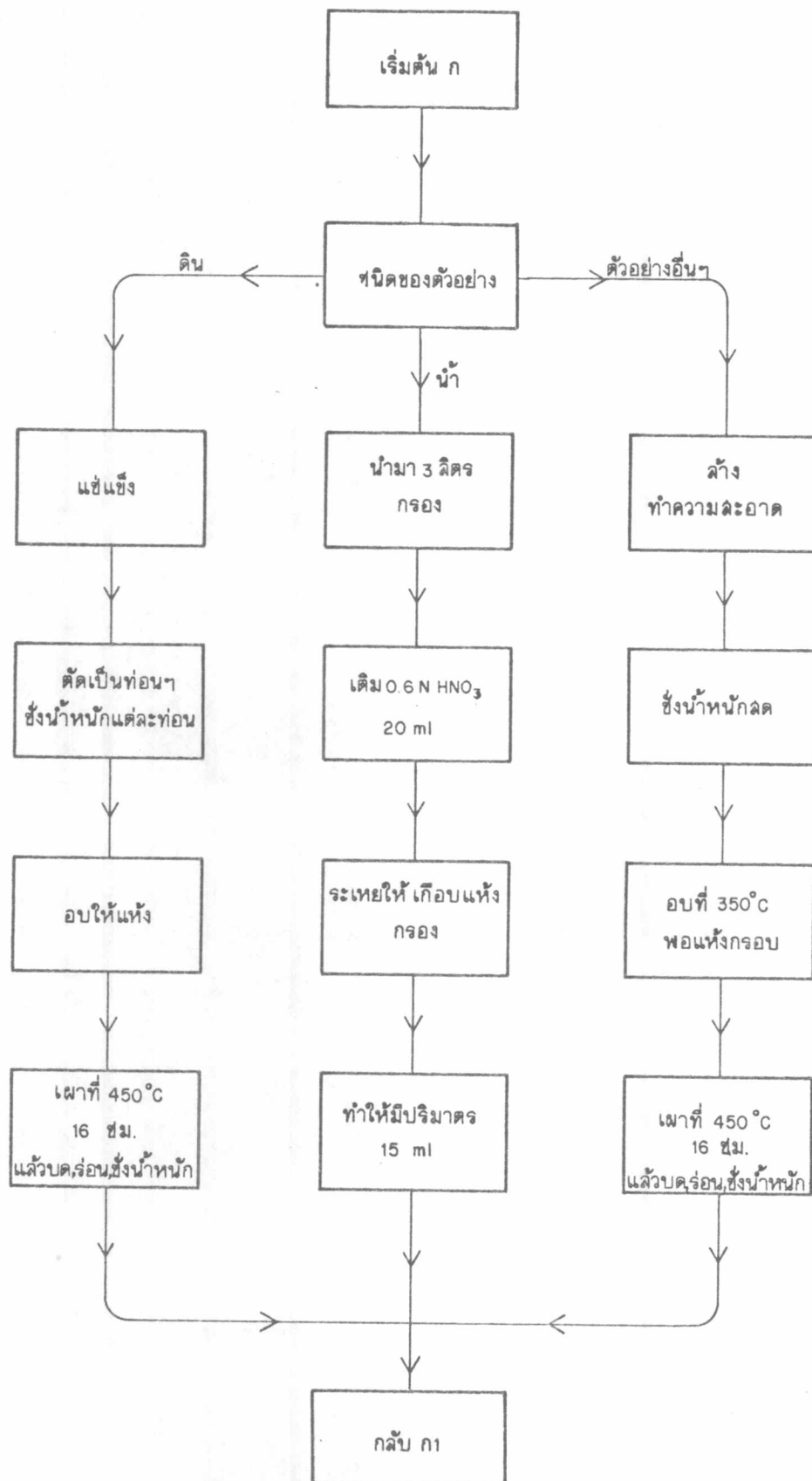
#### 2.3.2.4 การคำนวณปริมาณรังสีซีเซียมในสารตัวอย่าง

2.3.2.4.1 การคำนวณความแรงรังสีแกมมาใช้วิธีของ Cove11<sup>(13)</sup>  
คือวิธีการคำนวณภายใต้ peak จากสเปกตรัมของรังสีแกมมาที่ปรากฏซึ่งได้จากพื้นที่ทั้งหมดของ  
peak หักลบด้วยพื้นที่ฐาน ดังแสดงในรูป 2.11 และรูปที่ 2.12 ตามลำดับ

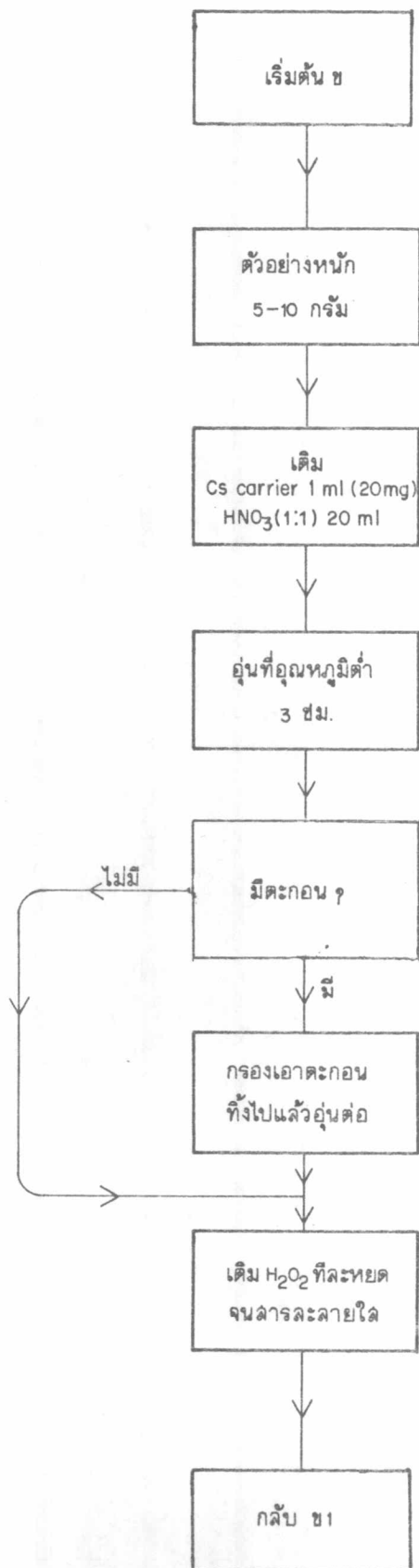




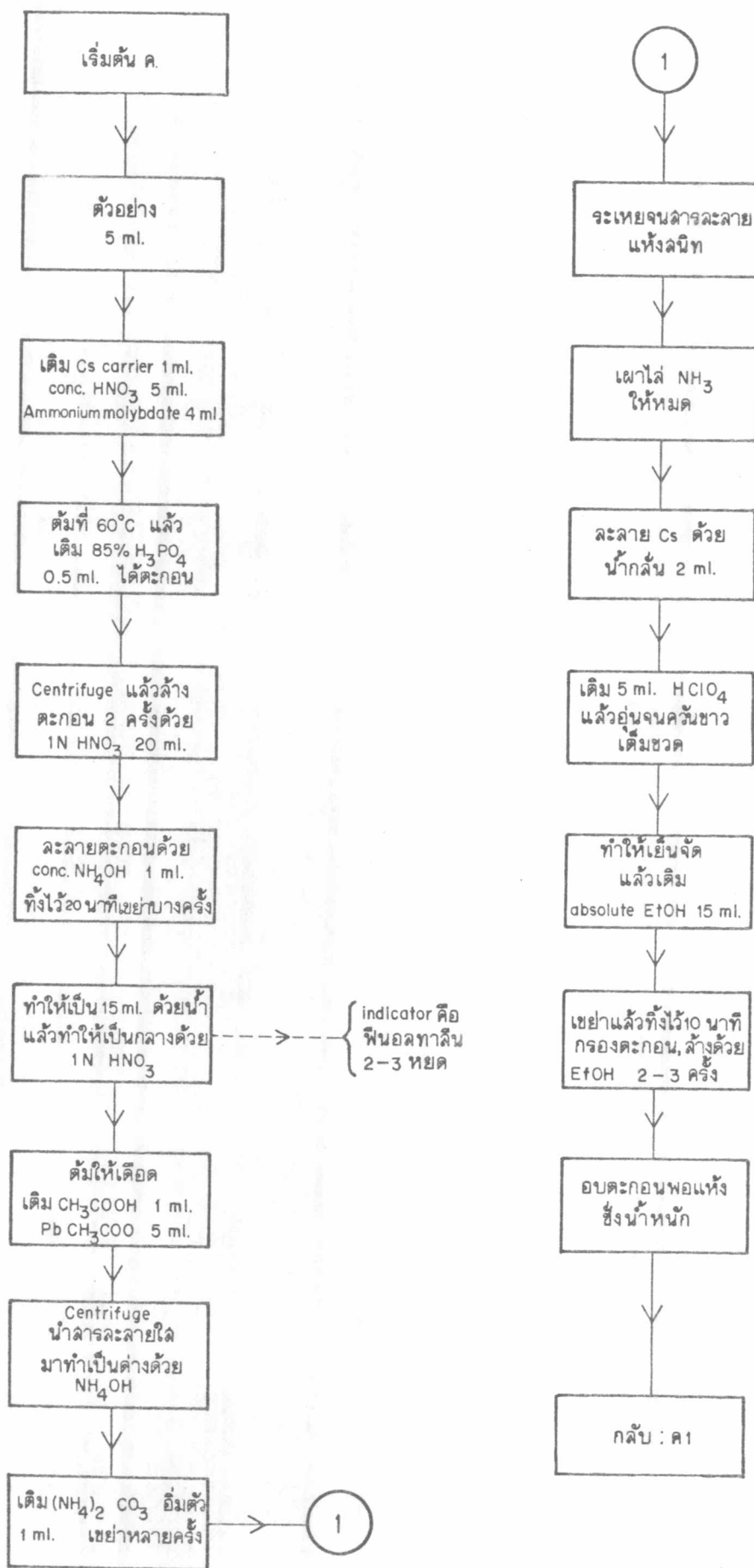
รูปที่ 2.7 ผังงานหลัก ( Main Flow Chart )  
( ---->---- คำอธิบาย )



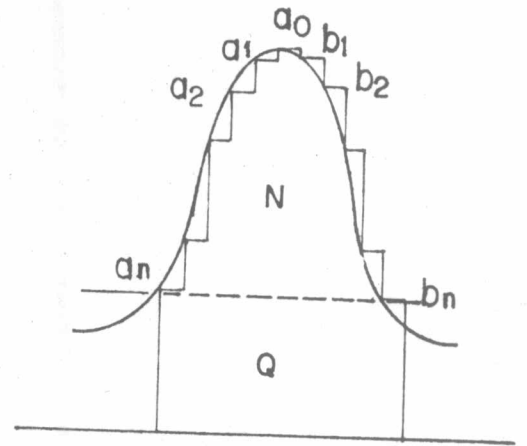
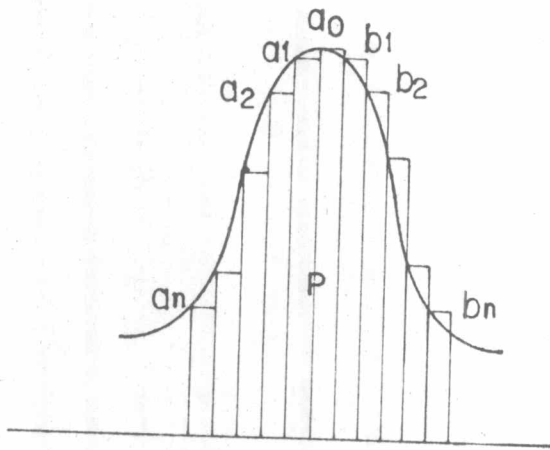
รูปที่ 2.8 ฝั่งงานย่อย : การเตรียมตัวอย่าง



รูปที่ 2.9 ผนังงานย่อย : การย่อยตัวอย่าง



รูปที่ 2.10 ฟังงานย่อย : การแยกซีเซียม - 137 จากตัวอย่าง



รูปที่ 2.11 ความแรงรังสีแสดงด้วย bar graph. รูปที่ 2.12 พื้นที่ใต้ peak, N

- ให้
- $a_0$  = ความแรงรังสีสูงสุดของทีก (peak)
  - $a_1, a_2, \dots, a_n$  = ความแรงรังสีใน peak ทางด้านซ้ายมือของ  $a_0$
  - $b_1, b_2, \dots, b_n$  = ความแรงรังสีใน peak ทางด้านขวามือของ  $a_0$
  - $P$  = ความแรงรังสีทั้งหมด
  - $Q$  = ความแรงรังสีของพื้นที่ฐาน
  - $N$  = ความแรงรังสีภายใต้ peak

จะได้  $N = P - Q$

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

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

แทนค่า P และ Q จะได้

$$N = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i + \sum_{i=1}^n b_i - (n + \frac{1}{2})(a_n + b_n) \dots\dots\dots 2.1$$

การหาค่า  $N$  จากวิธีของ covell นี้ จะใช้ได้ก็เมื่อ curve ที่ออกมาเป็น smooth curve สำหรับการวัดปริมาณรังสีที่มีตามธรรมชาติ ซึ่งมีความแรงแรงรังสีน้อยอยู่แล้ว peak ที่ออกมาจะไม่เป็น smooth curve ดังนั้นการคำนวณจะต้องแก้ไขใหม่ให้เหมาะสมที่จะใช้วิธีของ covell โดยการหา 5 point smooth ที่จุด  $a_n$  และ  $b_n$  เสียก่อน คือหาค่าเฉลี่ย 5 จุด ที่ตำแหน่ง  $a_n$  และ  $b_n$  <sup>(11)</sup> แล้วจึงคิดหาค่า  $N$  โดยใช้ covell

ในการวัดตัวอย่าง จะต้องหักลบแมคกราวนคด้วย เครื่องมือเดียวกันในเวลาที่เหมาะสม สำหรับซีเซียมมาตรฐานนั้นดำเนินการนับปริมาณรังสีเช่นเดียวกับสารตัวอย่างทุกประการ

คำนวณความแรงแรงรังสีภายใต้ peak จากสเปกตรัมของรังสีแกมมาของซีเซียม-137 ของสารมาตรฐาน แลวนำมาหาประสิทธิภาพของเครื่องวัด เพื่อใช้คำนวณปริมาณรังสีในสารตัวอย่างดังนี้

$$\text{ปริมาณซีเซียม-137 ในสารตัวอย่าง} = \frac{\text{ความแรงแรงรังสีภายใต้ peak ของสารตัวอย่าง (cpm)} \dots 2.2}{\text{ประสิทธิภาพของเครื่องวัด} \times 2.22}$$

ปริมาณซีเซียม-137 ในสารตัวอย่างจากการคำนวณตามสมการข้างบนเป็นปริมาณของซีเซียม-137 ในสารตัวอย่างก่อนนำหนักทั้งหมด จะต้องนำมาคิดเป็นน้ำหนักกอกิโลกรัมต่อไป

สำหรับปริมาณโพแทสเซียมในสารตัวอย่างนั้น คำนวณโดยใช้สมการ 2.1 แล้วเทียบกับโพแทสเซียมมาตรฐานในอาหารจาก EPA ซึ่งมีค่า  $2660 \pm 130$  mg/kg

$$\frac{\text{ปริมาณโพแทสเซียมในสารตัวอย่าง}}{\text{ปริมาณโพแทสเซียมในสารมาตรฐาน}} = \frac{\text{ความแรงแรงรังสี K40 ในสารตัวอย่าง}}{\text{ความแรงแรงรังสี K40 ในสารมาตรฐาน}} \dots 2.3$$

2.3.2.4.2 การคำนวณปริมาณซีเซียม-137 ในสารตัวอย่าง โดยการนับปริมาณรังสีเบตา

นำตะกอนซีเซียมเปอร์คลอเรทในงานนับรังสีไปนับปริมาณรังสีเบตาคด้วยเครื่อง low background anti-coincidence G.M. counter เป็นเวลา 1000 วินาที และหักลบค่าแมคกราวนคที่วัดด้วยเครื่องมือชนิดเดียวกันในเวลาเท่ากัน สำหรับตะกอนซีเซียม-

เปอร์คลอเรตจากซีเซียม-137 มาตรฐาน นั้น ค่าเนื้องานนับปริมาณรังสีเหมือนสารตัวอย่างทุกประการ

ปริมาณรังสีเบตาที่นับได้ของทั้งสารตัวอย่างและซีเซียม-137 มาตรฐาน ก็นำมาคำนวณปรับค่าที่ได้ในให้ถูกต้อง โดยปรับให้มีค่าร้อยละ 100 ของเคมีคัลลิสต์ โดยเปรียบเทียบกันน้ำหนักของตัวพาซีเซียม (Cesium carrier) ถ้าซีเซียม 20 มิลลิกรัม ตกตะกอนเป็นซีเซียมเปอร์คลอเรตสมบูรณ์ร้อยละ 100 จะได้น้ำหนักของซีเซียมเปอร์คลอเรตเท่ากับ 35 มิลลิกรัม

นำค่าปริมาณรังสีที่ปรับค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วของสารตัวอย่างและซีเซียม-137 มาตรฐาน มาคำนวณปริมาณซีเซียม-137 ในสารตัวอย่างได้จากสมการ

$$\frac{\text{ปริมาณซีเซียม-137 ในสารตัวอย่าง}}{\text{ปริมาณซีเซียม-137 ในสารมาตรฐาน}} = \frac{\text{ความแรงรังสีซีเซียม-137 ในสารตัวอย่าง}}{\text{ความแรงรังสีซีเซียม-137 ในสารมาตรฐาน}} \dots 2.4$$

นำปริมาณซีเซียม-137 ที่คำนวณได้จากสมการ 2.4 มารายงานผลในหน่วยพิโคคูรี คู่อลิตร ในกรณีของน้ำ และพิโคคูรี คู่อลิตร ในกรณีของตัวอย่างอื่น ๆ

#### 2.3.3.5 ความเชื่อถือได้ของการวิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137

ความเชื่อถือได้ของการวิเคราะห์ปริมาณ มาจากพื้นฐานความเที่ยงตรง (precision) และความแน่นอน (accuracy) ของวิธีวิเคราะห์ ความเที่ยงตรงของวิธีวิเคราะห์ทำได้จากการทดลองซ้ำ ๆ กันหลายครั้งของสารตัวอย่างโดยกรรมวิธีเดียวกัน ทราบผลที่ได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกันเพียงใด อย่างไรก็ตาม วิธีวิเคราะห์ที่มีความเที่ยงตรงสูง อาจให้ผลลัพธ์ที่ไม่ตรงกับความเป็นจริงได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่าความแน่นอนของวิธีวิเคราะห์ การหาความแน่นอนทำได้โดยการวิเคราะห์ปริมาณเรดิโอไอโซโทปของสารตัวอย่างที่เป็นสารตัวอย่างเปรียบเทียบมาตรฐาน (standard reference sample) หรือสารตัวอย่างมาตรฐาน (standard sample) ซึ่งมีค่าที่ถูกต้อง (certified value) ของเรดิโอไอโซโทปที่ใช้วิเคราะห์แน่นอนแล้ว นำค่าที่วิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบกัน จะทราบความแน่นอนของวิธีที่ใช้วิเคราะห์ จากความเที่ยงตรงและความแน่นอนของวิธีวิเคราะห์ ทำให้ทราบถึงความเชื่อถือได้ของวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้

2.3.2.5.1 ความเชื่อถือได้ของการวิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137  
โดยการวัดรังสีแกมมาโดยตรง

ได้ตรวจสอบความเที่ยงตรงโดยวิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137 มาตรฐาน ที่  
มีความเข้มข้น 121.2 พิโคคูรี เป็นจำนวน 3 ครั้ง ผลการตรวจสอบแสดงไว้ในตารางที่  
2.2

ตารางที่ 2.2 การทดสอบความเที่ยงตรงของวิธีวิเคราะห์

การวิเคราะห์	ปริมาณซีเซียม-137 พิโคคูรี
ปริมาณที่แท้จริง	121.2
ปริมาณที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งที่ 1	121.94
2	121.38
3	121.27
ค่าเฉลี่ย	121.53 ± 0.29

สำหรับการตรวจสอบความแน่นอนของการวิเคราะห์นั้นกระทำโดยการวิเคราะห์  
น้ำตัวอย่างมาตรฐาน WCC-17 ของ US. EPA ซึ่งผลการวิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าขอบขีดความ  
สามารถของเครื่องมือที่จะวัดได้ (detection limit) จึงคำนวณออกมาในแบบของ  
LLD (lower limit of detection)<sup>(14, 15)</sup> ที่ระดับความมั่นใจร้อยละ 95 ซึ่งได้  
ค่าเท่ากับ 15 พิโคคูรี เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ EPA รายงานไว้คือ 14 พิโคคูรี

2.3.2.5.2 ความเชื่อถือได้ของการวิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137  
โดยวิธีทางเคมี



ได้ตรวจสอบความเที่ยงตรงและแน่นอนโดยวิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137 มาตรฐานจาก IAEA และ EPA เป็นจำนวน 3 ครั้ง ผลการตรวจสอบแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 ตารางที่ 2.3 การทดสอบความเที่ยงตรงและแน่นอนของวิธีวิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137 ในน้ำโดยวิธีทางเคมี

การวิเคราะห์	ปริมาณซีเซียม-137 ในน้ำ ที่วิเคราะห์ได้ pCi/l
การวิเคราะห์ครั้งที่ 1	1.4
2	1.3
3	1.6
ค่าเฉลี่ย	$1.43 \pm 0.15$
ค่าที่แท้จริง	1.72

ตารางที่ 2.4 การทดสอบความเที่ยงตรงและแน่นอนของวิธีวิเคราะห์ปริมาณซีเซียม-137 ในตัวอย่างอาหารจาก EPA โดยวิธีทางเคมี

การวิเคราะห์	ปริมาณซีเซียม-137 ในอาหารที่วิเคราะห์ได้ pCi/kg
การวิเคราะห์ครั้งที่ 1	26.49
2	26.07
3	28.13
ค่าเฉลี่ย	$26.89 \pm 0.88$
ค่าที่แท้จริง	$27 \pm 5$

2.3.2.5.3 ความเชื่อถือได้ของการวิเคราะห์ความแรงรังสีรวมเบตาของตัวอย่างน้ำ ได้ตรวจสอบความเที่ยงตรงและแน่นอนโดยวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ จาก EPA จำนวน 3 ครั้ง ผลการตรวจสอบแสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การทดสอบความเที่ยงตรงและแน่นอน ของการวัดรังสีรวมเบตาในตัวอย่างน้ำ

การวิเคราะห์	ความแรงรังสีรวมเบตาที่วัดได้ pCi/L
การวิเคราะห์ครั้งที่ 1	44
2	43
3	44
ค่าเฉลี่ย	$43.6 \pm 0.47$
ค่าที่แท้จริง	$45 \pm 5$

2.3.2.6 การหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (Lower Limit of Detection หรือ LLD)

โดยการประยุกต์ใช้วิธีการคำนวณของ Harley<sup>(15)</sup> ที่กำหนดว่า

$$\text{ค่า LLD} = (k_{\alpha} + k_{\beta}) S_0$$

เมื่อ  $k_{\alpha}$  = ค่าเปอร์เซนต์ไคล์สูงของมาตรฐานปรกติ ซึ่งจะแปรผันตรงกับค่าที่เลือกใช้ในการที่จะกำหนดว่าความแรงรังสีอยู่ในช่วงที่วัดได้ ( $\alpha$ )

$k_{\beta}$  = ค่าที่สมนัยสำหรับองศาของความเชื่อมั่นสำหรับการวัดความแรงรังสี ( $1-\beta$ )

$S_0$  = ค่าความผิดพลาดมาตรฐานโดยประมาณความแรงรวมของสารตัวอย่าง

จากการประมาณโดยให้ค่าของ  $k_\alpha$  และ  $k_\beta$  มีค่าใกล้เคียงกันโดยถือว่าค่าความ-  
แรงรังสีจากสารตัวอย่างเกือบเท่ากับความแรงของแมคกราวนด์ จะได้

$$s_0 = \sqrt{s_{\text{gross}}^2 + s_{\text{bkg}}^2} = s_{\text{bkg}} \sqrt{2}$$

ฉะนั้น  $LLD \approx 2k s_{\text{bkg}} \sqrt{2}$

ตารางที่ 2.6 เปอร์เซนต์ไคล (15)

$\alpha$	$1-\beta$	$k$	$2 \sqrt{2} k$
0.01	0.99	2.327	6.59
0.02	0.98	2.054	5.81
0.05	0.95	1.645	4.66
0.10	0.90	1.282	3.63
0.16	0.84	1	2.83
0.20	0.80	0.842	2.38
0.50	0.50	0	0

จากตารางกำหนดความเชื่อถือ 95 เปอร์เซนต์ไคล จะได้ค่า  $\alpha = 0.05$ ,  $1-\beta = 0.95$ ,  
 $2 \sqrt{2} k = 4.66$

LLD ของซีเซียม-137 เมื่อใช้เวลาวัด 4000 วินาที โดยใช้หัว NaI (T1) วัดแมคกราวนด์  
ได้ 2400 count

$$LLD \approx 4.66 \sqrt{2400} = 228 \text{ count.}$$

หรือ  $LLD \approx 3.42 \text{ cpm.}$

LLD  $\approx$  15 พิโคคูรี (ประสิทธิภาพร้อยละ 10.2)

LLD ของซีเซียม-137 เมื่อใช้เวลาวัด 1000 วินาที โดยใช้ low background anticoincidence G.M. counter โดยใช้ความถี่ 84 เปอร์เซนต์ไคล์ ค่า LLD = 0.6  $\rightarrow$  1.3 พิโคคูรี

LLD ของความแรงรังสีรวมเบตา เมื่อใช้เวลาวัด 1000 วินาที โดยใช้ low background anticoincidence G.M. counter โดยใช้ความถี่ 84 เปอร์เซนต์ไคล์ ค่า LLD = 2.9  $\rightarrow$  3.6 พิโคคูรี