# บทที่ 3

# วิธีการวิจัย

ในการวิจัยเพื่อตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชได้ใช้วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย ซึ่งได้แบ่งวิธีดำเนินการออกเป็นขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดสถานที่เก็บตัวอย่าง
2. ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา
3. การเก็บตัวอย่างดิน หิน ทราย และน้ำบ่อตื้น
4. การเตรียมตัวอย่างดิน หิน และทราย
5. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ $^{226}Ra$, $^{232}Th$ และ $^{40}K$ ในตัวอย่างดิน หิน และทราย
6. การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของหัววัด NaI(Tl)
7. การเตรียมสารมาตรฐาน
8. ขั้นตอนการจับเรเดียม ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นด้วยสารจับเรเดียม
9. การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้นโดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา
10. การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของหัววัด HPGe
11. ค่ากัมมันตภาพต่ำสุดของระบบวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา
12. สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

## 3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการเก็บตัวอย่างดิน หิน ทราย

1. ถุงพลาสติกใส ขนาด 7"×14"
2. ยางวงรัดของ
3. ปากกาเคมี
4. สลากติดหมายเลขตัวอย่าง
5. จอบสำหรับขุดดิน
6. ช้อนปลูกสำหรับตักดิน
7. เครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ (Garmin etrex, USA)

8. แผนที่จังหวัดนครศรีธรรมราช 1:50000 ของกรมแผนที่ทหาร

3.1.2 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้น

1. ถุงพลาสติกสำหรับปิดฝาขวดน้ำ
2. ยางวงรัดของ
3. ปากกาเคมี
4. ฉลากติดกระปุก
5. เครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ (Garmin etrex, USA)
6. แผนที่จังหวัดนครศรีธรรมราช 1:50000 ของกรมแผนที่ทหาร

3.1.3 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการเตรียมตัวอย่างดิน หิน ทราย

1. กระปุกพลาสติกทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร
2. ฉลากติดกระปุกใส่ตัวอย่าง
3. เทปพันสายไฟ
4. ฉลากติดกระปุกใส่ตัวอย่าง
5. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (OHAUS, USA)
6. ตะแกรงร่อนดิน
7. ถาดสำหรับใส่ตัวอย่างดิน หิน และทราย เพื่อนำตัวอย่างเข้าตู้อบ
8. ค้อนสำหรับทุบหิน
9. ครกบดหิน
10. เตาอบความร้อน

3.1.4 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการเตรียมตัวอย่างน้ำบ่อตื้น

1. ชุดอุปกรณ์ที่ใช้จับเรเดียมในน้ำ

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้จับเรเดียมในน้ำ เป็นเครื่องกรองน้ำอย่างง่าย แบบคอลัมน์เดี่ยว (สุภัทร, 2547) แสดงดังภาพประกอบ 3.1

ภาพประกอบ 3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้จับเรเดียมในน้ำ

2. กระปุกพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร สูง 5.5 เซนติเมตร
3. ฉลากติกกระปุก
4. น้ำกลั่น
5. เทปพันสายไฟ
6. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
7. ถาดรอง
8. กรรไกร
9. กรวยพลาสติก
10. ผ้าขาวบาง

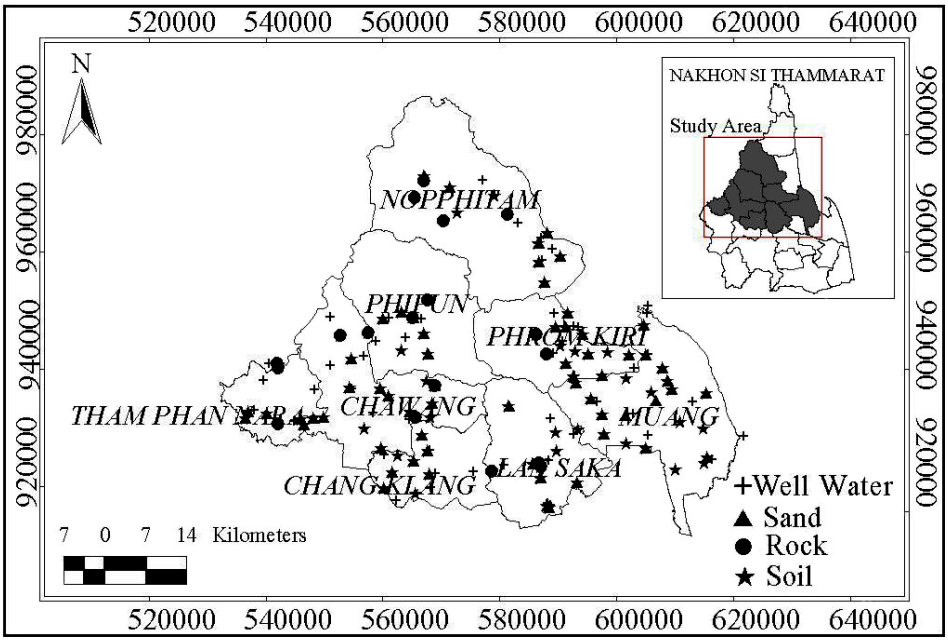
## 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.2.1 กำหนดสถานที่เก็บตัวอย่าง

การหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะ อันได้แก่ เรเดียม-226 (Ra-226) ทอเรียม-232 (Th-232) โพแทสเซียม-40 (K-40) ในตัวอย่างดิน หิน ทราย และค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้น ในจังหวัดนครศรีธรรมราช ได้กำหนดพื้นที่ที่ทำการศึกษา โดยพิจารณาจากแผนภาพความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูลที่ผิวดิน ของกรมทรัพยากรธรณี พบว่า พื้นที่ 6 อำเภอ 2 กิ่งอำเภอ จากทั้งหมด 21 อำเภอ 2 กิ่งอำเภอในจังหวัดนครศรีธรรมราช ที่มีค่าความเข้มข้นของยูเรเนียมสมมูลที่ผิวดิน สูงกว่า 4 ppm ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอลานสกา อำเภอฉวาง

กิ่งอำเภอช้างกลาง อำเภอถ้ำพรรณรา อำเภอพิปูน อำเภอพรหมคีรี และกิ่งอำเภอนบพิตำ ซึ่งน่าจะเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการได้รับกัมมันตภาพรังสีธรรมชาติสูงกว่าอำเภออื่นๆ

ในการกำหนดจำนวนและตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง ได้พิจารณาจากข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ขนาดพื้นที่ของแต่ละอำเภอ ลักษณะภูมิประเทศ และประกอบกับแผนที่แสดงค่าความเข้มข้นของยูเรเนียมที่ผิวดิน ของกรมทรัพยากรธรณี เพื่อใช้ในการวางแผนในการเก็บตัวอย่าง โดยได้เก็บตัวอย่างทั้งหมด 161 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่ 6 อำเภอ 2 กิ่งอำเภอ ของจังหวัดนครศรีธรรมราช แบ่งเป็น ดินจำนวน 26 ตัวอย่าง หิน 18 ตัวอย่าง ทราย 62 ตัวอย่าง และน้ำบ่อตื้น 55 ตัวอย่าง




ภาพประกอบ 3.2 จุดเก็บตัวอย่างดิน หิน ทราย และน้ำบ่อตื้น ทั้งหมด 161 ตัวอย่าง

### 3.2.2 ลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

จังหวัดนครศรีธรรมราชเป็นจังหวัดที่อยู่ในตอนกลางของภาคใต้ ห่างจากกรุงเทพมหานคร 780 กิโลเมตร มีเนื้อที่ประมาณ 9,942,502 ตารางกิโลเมตร มีพื้นที่มากเป็นอันดับ 2 ของภาคใต้ และเป็นอันดับที่ 16 ของประเทศ หรือประมาณ ร้อยละ 1.98 ของพื้นที่ทั้งประเทศ ที่ตั้งของตัวจังหวัด ตั้งอยู่ประมาณละติจูด 9 องศาเหนือและลองติจูด 100 องศาตะวันออก ลักษณะภูมิประเทศ ประกอบด้วย

1. เขตเทือกเขาตอนกลาง เป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขานครศรีธรรมราชที่ต่อเนื่องมาจากจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีอาณาเขตตั้งแต่ตอนเหนือจังหวัดลงไปถึงตอนใต้สุด ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัด ได้แก่ อ.ขนอม กิ่ง อ.นบพิตำ อ.พรหมคีรี และ อ.ลานสกา นอกจากนี้ครอบคลุมพื้นที่ทางเหนือของ อ.ท่าศาลา อ.พิปูน อ.ทุ่งสง ทางตะวันออกของ อ.ฉวางและ กิ่ง อ.ช้างกลาง และทางตะวันตกของ อ.สิชล อ.เมือง อ.ร่อนพิบูลย์ อ.จุฬาภรณ์ และ อ.ชะอวด เทือกเขานี้ใช้เป็นเส้นแบ่งระหว่าง อ.ทุ่งสง และ อ.ชะอวด อ.จุฬาภรณ์ อ.ร่อนพิบูลย์ และ กิ่ง อ.ช้างกลาง ระหว่าง อ.ฉวาง กับ อ.ลานสกา และ อ.พิปูน และระหว่าง กิ่ง อ.นบพิตำ และ อ.สิชล กับ อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี

2. เขตที่ราบชายฝั่งทะเลตะวันออก ได้แก่ บริเวณถัดจากเขตเทือกเขาตอนกลางไปทางตะวันออกถึงฝั่งอ่าวไทย เขตนี้แบ่งเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่หนึ่งตั้งแต่ อ.เมืองนครศรีธรรมราชลงไปทางใต้ ลักษณะเป็นที่ราบ มีความกว้างจากเขตเทือกเขาตอนกลางไปถึงชายฝั่งทะเล ระยะทางประมาณ 95 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ อ.เมืองนครศรีธรรมราช อ.ปากพนัง อ.พระพรหม อ.เฉลิมพระเกียรติ อ.เชียรใหญ่ อ.ร่อนพิบูลย์ อ.ชะอวด และ อ.หัวไทร ตอนที่สองคือ ตั้งแต่ อ.ท่าศาลาขึ้นไปทางเหนือ ครอบคลุมพื้นที่ อ.ขนอม อ.สิชล และ อ.ท่าศาลา ลักษณะเป็นชายฝั่งแคบๆ กว้างไม่เกิน 15 กิโลเมตร เกิดจากการทับถมของทะเล บางตอนเป็นสันทราย ดอนส่วนนี้มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายและดินเหนียว

3. เขตที่ราบตะวันตก ได้แก่ ที่ราบเทือกเขานครศรีธรรมราช และเทือกเขาทางตะวันตก ลักษณะเป็นที่ราบเชิงเขา และมีเนินเขาปรากฏเป็นหย่อมๆ

พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ อ.เมือง อ.ฉวาง กิ่ง อ.ช้างกลาง อ.ลานสกา อ.ถ้ำพรรณรา อ.พิปูน อ.พรหมคีรี และ กิ่ง อ.นบพิตำ ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาเมื่อเรียงตามลำดับอายุหินจากมากไปน้อยได้ดังนี้ (ภาพประกอบ 3.3)

1. หินที่มีอายุมากสุด คือ หินอายุแคมเบรียน- ออร์โดวิเชียน (CAMBRIAN-ORDOVICIAN; EO) ชุดตะรุเตา ประกอบด้วย หินทราย หินควอร์ตไซต์ หินดินดาน และหินฟิลไลต์สีน้ำตาลแกมเหลืองและสีน้ำตาล พบที่ กิ่ง อ.นบพิตำ อ.พรหมคีรี และ กิ่ง อ.ช้างกลาง

2. หินอายุถัดไป คือ หินอายุออร์โดวิเชียน (ORDOVICIAN; O) ชุดทุ่งสงประกอบด้วย หินปูนสีเทาชั้นบางถึงหนามาก มีเนื้อดินเป็นชั้นบางๆ แทรก และหินดินดานสีน้ำตาล มีซากแบรคิโอพอด พบที่ กิ่ง อ.นบพิตำ อ.ลานสกา และ กิ่ง อ.ช้างกลาง

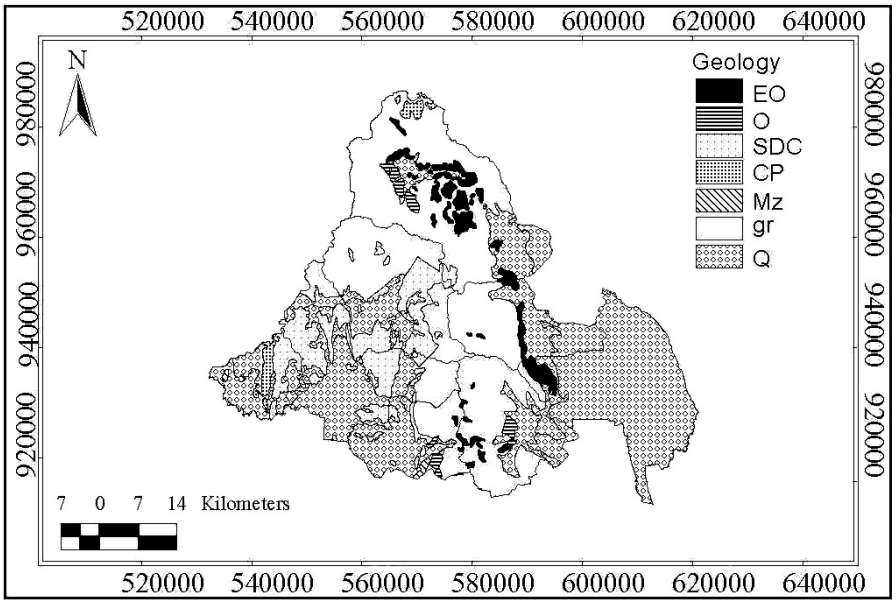
3. หินอายุถัดไป คือ หินอายุไซลูเรียน-คาร์บอนิเฟอรัส (SILURIAN-CARBONIFEROUS; SDC) ชุดตะนาวศรี ประกอบด้วย หินดินดาน หินทราย หินควอร์ตไซต์ หินโคลน และหินชนวนเป็นชั้นชัดเจน และมีรอยคดโค้งย้วยจำนวนมาก มีซากแกรมโตไลต์ พบที่ อ.ถ้ำพรรณรา อ.ฉวาง อ.พิปูน และ กิ่ง อ.ช้างกลาง

4. หินอายุถัดไป คือ หินอายุคาร์บอนิเฟอร์รัส-เพอร์เมียน (CARBONIFEROUS-PERMIAN; CP) ชุดราชบุรี ประกอบด้วย หินทรายสีน้ำตาลและสีเทาเขียว เนื้อปานกลางถึงเนื้อละเอียด หินเชิร์ตสีขาวถึงสีน้ำตาลอ่อน ชั้นหินบางและเป็นชั้นชัดเจน มีซากดึกดำบรรพ์ หินทรายแป้งสีน้ำตาลเนื้อปนซิลิกา หินโคลนสีเทาและสีดำเป็นชั้นหนา เนื้อปนซิลิกามีซากดึกดำบรรพ์ทั่วไป และหินโคลนปนกรวด พบที่ อ.ถ้ำพรรณรา และ กิ่ง อ.นบพิตำ

5. อายุถัดไป คือ หินอายุครีเทเซียส-จูแรสซิก (CRETACEOUS-JURASSIC; Mz) ชุดโคราช ประกอบด้วย หินทราย หินทรายแป้ง และหินดินดานสีน้ำตาลแกมแดงถึงสีน้ำตาล หินทรายปนกรวดมน หินกรวดมน และหินปูนโดโลไมต์ มีชั้นเฉียงระดับ และรอยริ้วคลื่น และหินกรวดมนรองฐาน พบที่ กิ่ง อ.นบพิตำ อ.ลานสกา และ กิ่ง อ.ช้างกลาง

6. หินอายุถัดไป คือ หินอายุครีเทเซียส-ไทรแอสซิก (CRETACEOUS-TRIASSIC; gr) ประกอบด้วย หินไบโอไทต์มัสโคไวต์แกรนิต หินแกรนิตเนื้อดอก หินฮอร์นเบลนด์แกรนิต และผนังหินเพกมาไทต์ พบที่ อ.ฉวาง อ.พิปูน กิ่ง อ.นบพิตำ อ.พรหมคีรี และ อ.ลานสกา

7. หินอายุถัดไป คือ ควอเทอร์นารี (QUATERNARY; Q) ประกอบด้วย ตะกอนชายทะเล และตะกอนดินดอนสามเหลี่ยม ตะกอนน้ำพา (หินกรวด หินทราย หินทรายแป้ง) ตะกอนตะพักลุ่มน้ำ และตะกอนเชิงเขา พบที่ กิ่ง อ.นบพิตำ อ.พิปูน อ.พรหมคีรี อ.ถ้ำพรรณรา อ.ฉวาง กิ่ง อ.ช้างกลาง อ.ลานสกา และ อ.เมือง แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาแสดงอยู่ในภาพประกอบ 3.3




ภาพประกอบ 3.3 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

**3.2.3 การเก็บตัวอย่างดิน หิน ทราย และน้ำบ่อตื้น**

1. เก็บตัวอย่างดินตามเส้นทางของถนนสายต่างๆ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทำการศึกษา โดยแต่ละจุดเก็บตัวอย่างดินห่างกันเป็นระยะทางประมาณ 5 กิโลเมตร ให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ทำการศึกษา ตัวอย่างทรายจะเก็บจากจุดที่กำลังมีการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน ส่วนตัวอย่างหินจะเก็บจากหินโผล่ที่พบในพื้นที่

2. การเก็บตัวอย่างดิน จะเก็บดินที่เป็นดินเดิมในพื้นที่นั้นๆ โดยใช้จอบขุดดินขุดลึกจากผิวดินลึกลงไปประมาณ 15 เซนติเมตร แต่ละจุดจะเก็บดินประมาณ 1-2 กิโลกรัม บรรจุลงในถุงพลาสติก มัดปากถุงให้แน่นด้วยยางวง และเขียนรหัสตัวอย่างไว้ที่ถุง

3. การเก็บตัวอย่างหิน จะเก็บจากหินโผล่ที่พบในพื้นที่ โดยใช้ค้อนในการทุบหินออกมา โดยในแต่ละจุดเก็บหินประมาณ 1-2 กิโลกรัม บรรจุลงในถุงพลาสติก และบันทึกรหัสตัวอย่าง

4. ตัวอย่างทรายจะเก็บจากจุดที่กำลังมีการก่อสร้างบ้านเรือน โดยในแต่ละบริเวณจะเก็บตัวอย่างทรายประมาณ 10-15 จุด นำมาคละเคล้าให้เข้ากันเป็นอย่างดี เพื่อใช้เป็นตัวแทนของแต่ละตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง บรรจุใส่ถุงพลาสติก และบันทึกรหัสตัวอย่าง

5. การเก็บน้ำบ่อตื้นจะเก็บจากน้ำบ่อที่ใช้บริโภคในครัวเรือน ซึ่งในแต่ละจุดที่เก็บน้ำบ่อตื้นจำนวน 20 ลิตร

**3.2.4 การเตรียมตัวอย่างดิน หิน และทราย**

1. นำตัวอย่างดิน ทราย มาทำการแยกขยะต่างๆ ออกไป ส่วนตัวอย่างหินจะนำไปบดให้ละเอียดด้วยครกบดหิน จากนั้นนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น

2. นำตัวอย่างทั้งหมดที่ผ่านการอบมาวางทิ้งไว้ให้เย็น และนำไปร่อนผ่านตะแกรงเพื่อให้ได้ตัวอย่างที่มีขนาดที่เท่ากัน

3. นำตัวอย่างดิน มาบรรจุใส่กล่องพลาสติกทรงกระบอก ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร ทำโดยนำตัวอย่างดินจากจุดเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน 3-5 จุด มาผสมกันด้วยสัดส่วนที่เท่ากัน ผสมให้เข้ากันเป็นอย่างดี จะได้เป็นตัวอย่างตัวแทนของแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง จากนั้นจะชั่งน้ำหนักและปิดฝากระปุกให้สนิท ตัวอย่างหินและทรายเตรียมเช่นเดียวกับตัวอย่างดิน โดยในการบรรจุตัวลงกระปุกจะเอาตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละจุดใส่ลงในกระปุก

4. วางกระปุกตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 1 เดือน เพื่อรอให้เข้าสู่สภาวะสมดุลทางรังสี

ภาพประกอบ 3.4 กระปุกตัวอย่างดิน หิน ทราย

**3.2.5 การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ $^{226}Ra$, $^{232}Th$ และ $^{40}K$ ในดิน หิน และทราย**

สเปกตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างดิน หิน และทราย จะถูกวัดด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา ที่ใช้หัววัดผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (Gammadata, Model GDM 10, Sweden) โดยหัววัดอยู่ภายในถ้ำตะกั่วกำบังรังสีภูมิหลังหนา 10 cm ขั้นตอนการวัดตัวอย่างทำได้โดยตั้งค่า HV = 330 V จากนั้นจะนำกระปุกตัวอย่างวางลงในช่องใส่ตัวอย่าง เปิดคอมพิวเตอร์และเปิดโปรแกรม WinDAS ตั้งค่า channel เท่ากับ 1024 ช่อง ตั้งเวลาในการวัด 10,800 วินาที และทำการวัด เมื่อหมดเวลาเครื่องจะหยุดนับโดยอัตโนมัติ จากนั้นจะทำการบันทึกสเปกตรัมไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์

ภาพประกอบ 3.5 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา หัววัด NaI(Tl)

**3.2.6 การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของหัววัด** NaI(Tl)

การปรับเทียบมาตรฐานเพื่อหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของ เรเดียม-226 ทอเรียม-232 และ โพแทสเซียม-40 ทำโดยใช้สารอ้างอิงมาตรฐานของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA) ได้แก่ IAEA RGU-1 (IAEA, 1987), IAEA RGTh-1 (IAEA, 1987) และ KCl (Merck, USA)

ในการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาที่ได้ ค่ากัมมันตภาพของเรเดียม-226 คำนวณจากยอดพลังงานรังสีแกมมาของ Bi-214 ที่พลังงาน 1.76 MeV ค่ากัมมันตภาพของทอเรียม-232 คำนวณจากยอดพลังงานรังสีแกมมาของ Tl-208 ที่พลังงาน 2.62 MeV และ

สำหรับ โพแทสเซียม-40 คำนวณจากยอดพลังงาน 1.46 MeV แต่เนื่องจากในตัวอย่างที่ศึกษามักจะมีนิวไคลด์ทั้งสามร่วมกันอยู่ในปริมาณที่ต่างกัน ซึ่งทำให้มีการรบกวนรังสีแกมมาซึ่งกันและกัน จึงต้องทำการปรับแก้ผลการรบกวนรังสีแกมมาระหว่างนิวไคลด์ทั้งสามโดยใช้เทคนิค Compton Stripping (Chiozzi *et al*., 2000) ผลการปรับแก้แสดงด้วยสมการปรับเทียบมาตรฐานสำหรับหาปริมาณ โพแทสเซียม เรเดียม และทอเรียม ในสารตัวอย่าง ดังสมการ (3.1) (3.2) และ (3.3) ตามลำดับ

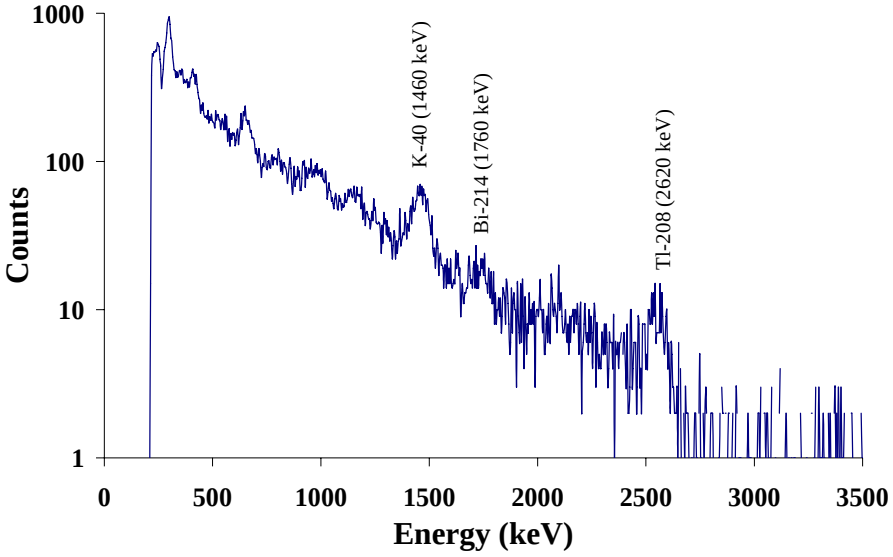
$$R_K(g) = 55.1R_1 - 43.9R_2 - 10.9R_3 \quad (3.1)$$

$$R_{Ra}(mg) = 0.2R_1 + 73.5R_2 - 34.3R_3 \quad (3.2)$$

$$R_{Th}(mg) = -1.3R_1 - 1.1R_2 - 259.7R_3 \quad (3.3)$$

เมื่อ $R_K$, $R_{Ra}$ และ $R_{Th}$ คือ ปริมาณโพแทสเซียม (g) เรเดียม (mg) และ ทอเรียม (mg) ในตัวอย่าง ตามลำดับ $R_1$, $R_2$ และ $R_3$ เป็นอัตรานับรังสี (count per second) ในช่องพลังงาน 1.46, 1.76 และ 2.62 MeV ตามลำดับ

ตัวอย่างสเปกตรัมรังสีแกมมาของหัววัด NaI(Tl) แสดงดังภาพประกอบ 3.6




ภาพประกอบ 3.6 สเปกตรัมรังสีแกมมาที่ได้จากหัววัด NaI(Tl) ของตัวอย่างดินจาก อ.ลานสกา จ.นครศรีธรรมราช

### 3.2.7 การเตรียมสารมาตรฐาน

#### 3.2.7.1 การเตรียมสารมาตรฐานสำหรับการปรับเทียบ

1. เติมสารละลายกรด $HNO_3$ 1N และสารละลายอ้างอิงมาตรฐาน IAEA-RGU-1 ลงในสารจับเรเดียม จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 50 ml แล้วเติมลงในกระปุกที่มีสารจับเรเดียมที่เตรียมไว้
2. ปิดกระปุกพลาสติกให้สนิทแล้วพันรอบกระปุกด้วยเทปกาว
3. นำกระปุกสารอ้างอิงมาตรฐาน IAEA-RGU-1 มาวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา หัววัด HPGe โดยใช้เวลาวัดสารมาตรฐานนาน 12 ชั่วโมง

#### 3.2.7.2 การเตรียมสารมาตรฐานภูมิหลัง

การเตรียมสารมาตรฐานน้ำกลั่นเพื่อใช้ในการวัดค่ารังสีภูมิหลัง

1. นำสารจับเรเดียมที่เตรียมไว้ มาผ่านน้ำกลั่น 150 ml จากนั้นนำสารจับเรเดียมเทลงในกระปุกพลาสติกที่เตรียมไว้
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 ml ลงในกระปุกในข้อ 1
3. เติมสารละลายกรด $HNO_3$ 1N ปริมาตร 50 ml ลงในกระปุกพลาสติกในข้อ 2
4. ปิดกระปุกพลาสติกให้สนิทแล้วพันรอบกระปุกด้วยเทปกาว
5. นำกระปุกพลาสติกในข้อ 4 มาวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา หัววัด HPGe โดยใช้เวลาวัดนาน 6 ชั่วโมง

### 3.2.8 ขั้นตอนการจับเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นด้วยสารจับเรเดียม

ขั้นตอนการจับเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นด้วยสารจับเรเดียม ทำได้ดังนี้

1. นำสารจับเรเดียม ปริมาณ 154-158 กรัม และเติมสารจับเรเดียมลงในท่อของเครื่องจับเรเดียม
2. บรรจุน้ำครั้งละ 10 ลิตร ลงในถังแรงดันขนาด 12 ลิตร จากนั้นจะทำการปั๊มน้ำครั้งละ 10 ลิตร ให้เสร็จภายในเวลา 5 นาที ใช้อัตราการปั๊มที่สม่ำเสมอ คิดเป็น 2 ลิตร/นาที น้ำที่ปั๊มจะเคลื่อนที่ไปในตัวท่อผ่านสารจับเรเดียม และสารจับเรเดียมจะทำการจับเรเดียมที่อยู่ในน้ำ
3. บรรจุน้ำที่เหลืออีก 10 ลิตร ลงในถังแรงดัน และทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2

4. เทสารจับเรเดียมที่ผ่านน้ำจำนวน 20 ลิตร ออกมาจากท่อของเครื่องจับเรเดียม และเทใส่กระปุกพลาสติกทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร ความสูง 5.5 เซนติเมตร จากนั้นเติมสารละลาย $HNO_3$ 1N ปริมาตร 50 ml ลงในกระปุกตัวอย่าง เพื่อปรับให้มีค่า pH < 2
5. ปิดผนึกกระปุกตัวอย่างให้สนิทโดยการพันรอบด้วยเทปกาว และติดฉลากบอกข้อมูลวันที่ทำการทดลอง และน้ำหนักสาร
6. ล้างทำความสะอาดเครื่องมือด้วยน้ำกลั่น เพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างครั้งต่อไป

ภาพประกอบ 3.7 กระปุกตัวอย่างสารจับเรเดียม

### 3.2.9 การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้นโดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา

การตรวจวัดค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ด้วยเครื่องวัดสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา หัววัด HPGe ทำได้ดังนี้

1. เข้าโปรแกรม Genie 2k
2. click file แล้วไป click open data source
3. click detector แล้วเลือก DET02 รอครึ่งชั่วโมง
4. click MCA แล้วไป click adjust แล้วเลือก click HVPS เลือก click on
5. รอคำว่า wait ให้หายไปก่อน แล้ว click exit
6. ปล่อยทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมง
7. เริ่มทำการวัด โดยวางตัวอย่างสารจับเรเดียมที่บรรจุอยู่ในกระปุก ให้อยู่กึ่งกลางของหัววัดรังสีแกมมา และ click start เพื่อเริ่มวัดรังสี โดยใช้เวลาในการวัดรังสี 6 ชั่วโมง
8. เมื่อครบ 6 ชั่วโมงให้ทำการบันทึกสเปกตรัมไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ จากนั้นปิดเครื่องโดย click MCA แล้วไป click adjust แล้ว click HVPS เลือก click off

9. รอคำว่า wait ให้หายไปก่อน แล้ว click Exit
10. ปิดโปรแกรม Genie 2k แล้วปิดสวิทซ์ที่ MCA

**3.2.10 การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของหัววัด HPGe**

สเปกตรัมรังสีแกมมาของน้ำบ่อตื้นจะถูกวัดด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาหัววัด HPGe (Canberra, Model GC1319, USA) ซึ่งอยู่ภายในถ้ำตะกั่วกำบังรังสี (Canberra, Model 747, USA) โดยหัววัดเชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (8192 ช่อง Canberra, Model Inspector 2000, USA) วิเคราะห์ยอดพลังงานรังสีแกมมาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Canberra, Genie2k software Version 2.1, USA) หัววัดรังสีแกมมามีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 13.9 % และมีกำลังแยก 1.75 keV ที่พลังงานรังสีแกมมาของโคบอลต์-60 ที่ 1332 keV และมีอัตราส่วนระหว่างยอดพลังงานต่อฐานคอมพ์ตันเท่ากับเท่ากับ 44.8 : 1

โดยการวิเคราะห์ค่ากัมมันตภาพของ Ra-226 คำนวณจากยอดพลังงานรังสีแกมมาของ Ra-226 ที่พลังงาน 186.2 keV ที่มีผลผลิต 3.28 % (Yield) การหาค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ก่อนอื่นจะต้องคำนวณค่าประสิทธิภาพของหัววัดที่พลังงานรังสีแกมมา 186.2 keV คำนวณได้จากสมการ (3.4)

$$Eff\,(cps/Bq) = \frac{Count\ Area}{Counting\ time(s) \times Activity(Bq) \times Yield} \qquad (3.4)$$

วิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของสารมาตรฐานที่เตรียมจากสารอ้างอิงมาตรฐาน IAEA RGU-1 ที่มีค่ากัมมันตภาพของ Ra-226 เท่ากับ 2.47 Bq โดยการเตรียมและวิเคราะห์สารมาตรฐานจะใช้ภาชนะในการบรรจุและการจัดวางเหมือนกันทุกประการกับการเตรียมและการวิเคราะห์สารตัวอย่าง จากการวัดสารมาตรฐานโดยใช้เวลาวัด 43,200 วินาที พบว่า มีค่า Count Area เท่ากับ 201 และคำนวณหาค่าประสิทธิภาพได้ตามสมการที่ (3.4) จะได้

$$Eff\,(cps/Bq) = \frac{201}{43200(s) \times 2.47(Bq) \times 0.0328}$$

$$Eff = 0.057430\ cps/Bq$$

จากนั้นจะนำค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ที่คำนวณได้เท่ากับ 0.057430 cps/Bq ไปคำนวณหาค่ากัมมันตภาพ (Activity) ในตัวอย่างอื่นๆ ต่อไป โดยคำนวณค่ากัมมันตภาพได้จากสมการ (3.5)

$$Activity(Bq) = \frac{Count\ Area}{Counting\ time(s) \times Eff\ (cps/Bq) \times Yield} \qquad (3.5)$$

ตัวอย่างการคำนวณหาค่ากัมมันตภาพจำเพาะของตัวอย่างน้ำบ่อตื้นจาก อ.เมือง 1 ตัวอย่าง ซึ่งมีอัตรานับที่ช่องพลังงานรังสีแกมมาของ Ra-226 ที่พลังงาน 186.2 keV เท่ากับ 146 Counts โดยใช้เวลาวัด 21,600 วินาที คำนวณค่ากัมมันตภาพ ตามสมการที่ (3.5) จะได้

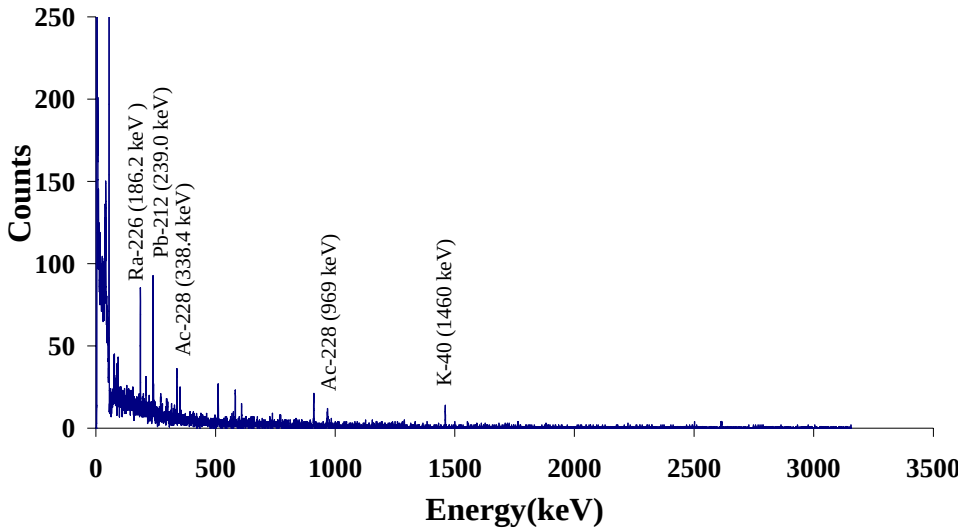
$$Activity(Bq) = \frac{146}{21600(s) \times 0.057430(cps/Bq) \times 0.0328}$$

$$Activity = 3.59\ Bq$$

$$Specific\ activity = \frac{3.59\ Bq}{20\ l} = 179\ mBq/l$$

ภาพประกอบ 3.8 เครื่องวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา หัววัด HPGe

ตัวอย่างสเปกตรัมรังสีแกมมาของหัววัด HPGe แสดงดังภาพประกอบ 3.9




ภาพประกอบ 3.9 สเปกตรัมรังสีแกมมาที่ได้จากหัววัด HPGe ของตัวอย่างน้ำบ่อตื้นจาก อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช

### 3.2.11 ค่ากัมมันตภาพต่ำสุดของระบบวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา

ค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ หรือค่าขีดจำกัดของการวัด (The detection limit; $L_n$) ของระบบสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คำนวณจากสูตรของ Rybach (1988)

$$L_n(Bq) = \frac{2\sqrt{2}}{e_{i,n}}\left(\frac{R_{i,b}}{t}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (3.6)$$

โดย $e_{i,n}$ คือ ค่าประสิทธิภาพของรังสีแกมมาของนิวไคลด์กัมมันตรังสี สำหรับระบบที่ใช้หัววัด NaI(Tl) คำนวณค่าประสิทธิภาพที่ช่องพลังงาน 1.46, 1.76 และ 2.62 MeV ตามลำดับ และสำหรับระบบที่ใช้ หัววัด HPGe คำนวณค่าประสิทธิภาพของรังสีแกมมาของเรเดียม-226 ที่พลังงาน 186.2 keV ส่วน $R_{i,b}$ เป็นอัตรานับรังสีภูมิหลัง (count per second) $t$ คือ เวลาที่ใช้ในการวัดรังสีภูมิหลัง เมื่อคำนวณค่าขีดจำกัดของระบบตามสมการ (3.6) สำหรับระบบวัดที่ใช้หัววัด NaI(Tl) ค่าขีดจำกัดของการวัดที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 11, 4 และ 3 Bq สำหรับ K-40, Ra-266 และ Th-232 ตามลำดับ ส่วนระบบที่ใช้หัววัด HPGe มีค่าขีดจำกัดของการวัด เรเดียม-226 เท่ากับ 19 mBq

**3.2.12 สถิติที่ใช้ในงานวิจัย**

ค่าสถิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) หรือค่าเฉลี่ย (mean) หาได้จากการเอาผลรวมของข้อมูลทั้งหมดหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด ค่ามัธยฐาน (Median) เป็นค่าที่อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูลทั้งชุด เมื่อเรียงค่าข้อมูลจากน้อยที่สุดไปหามากที่สุด หรือจากมากที่สุดไปหาน้อยสุด เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่ามีจำนวนข้อมูลที่มากกว่าและน้อยกว่าค่านี้อยู่ร้อยละ 50 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; S.D.) ค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (Standard Error; SE) โดยที่ $SE = SD/\sqrt{N}$ เมื่อ N คือจำนวนตัวอย่าง ในการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของข้อมูลในงานวิจัยนี้ จะแสดงด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิต $\pm 1.96 \times SE$ ซึ่งแสดงช่วงข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % รอบค่าเฉลี่ย เนื่องจากข้อมูลมีการแจกแจงแบบคล้ายปกติ