บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ และอุปกรณ์ ประกอบด้วย

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง

- ตัวอย่างผัก 13 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้ง กระถิน ขี้เหล็ก ตำลึง ผักโขม ข้าว ถั่วลิสง มะเขือ ถั่วฝักยาว แตงกวา ผักกาดขาว ผักกวางตุ้ง และคะน้า (ตาราง 3.1)
- เครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (Trimble Navigator, Basic Plus, USA)
- แผนที่อำเภอนาหม่อม

3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่าง

- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Mettler รุ่น PB 300-S)
- ถาด จำนวน 2 ใบ สำหรับอบตัวอย่าง
- หม้อสเตนเลส จำนวน 2 ใบ สำหรับเผา
- กระปุกใส่ตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.5 x 7.5 เซนติเมตร
- เตาอบ (ภาพประกอบ 3.1)
- เตาเผา (ภาพประกอบ 3.2)

ภาพประกอบ 3.1 เตาอบไฟฟ้าช่วงอุณหภูมิ 25 - 150 องศาเซลเซียส

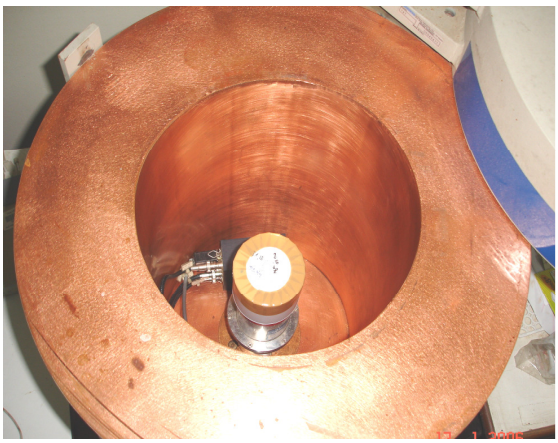
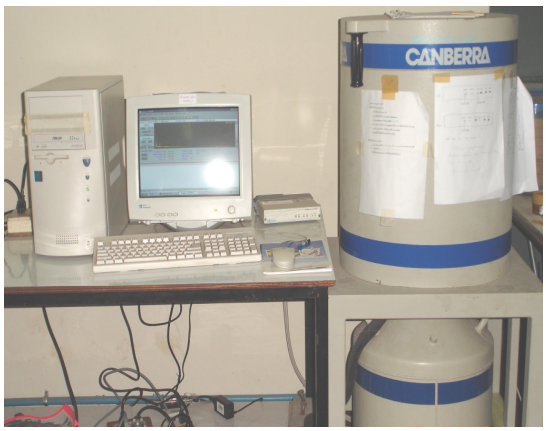
ภาพประกอบ 3.2 เตาเผาอุณหภูมิสูง

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการเตรียมสารตัวอย่างมาตรฐานสำหรับการทดลอง

- สารมาตรฐาน IAEA-RGU -1 ความแรงรังสี 2470 mBq
- บีกเกอร์
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Mettler รุ่น AB 204-S)
- กรด HNO_3 1 N และ น้ำกลั่น
- Hot plate และ Magnetic stirrer
- กระปุกใส่ตัวอย่าง

3.1.4 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับขั้นตอนการตรวจวัดรังสีแกมมา

- กระปุกสารตัวอย่าง
- เครื่องคอมพิวเตอร์
- ชุดระบบวัดรังสีแกมมา (Gamma Ray Spectrometer) ซึ่งประกอบไปด้วย หัววัด HPGe (Canberra Model GC 1319, USA) อยู่ภายในถ้ำตะกั่วกำบังรังสี (Canberra Model 747, USA) เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA 8192 ช่อง Canberra Model Inspector 2000, USA) และวิเคราะห์ยอดพลังงานรังสีแกมมาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Canberra, Genie2k software Version 2.1, USA)

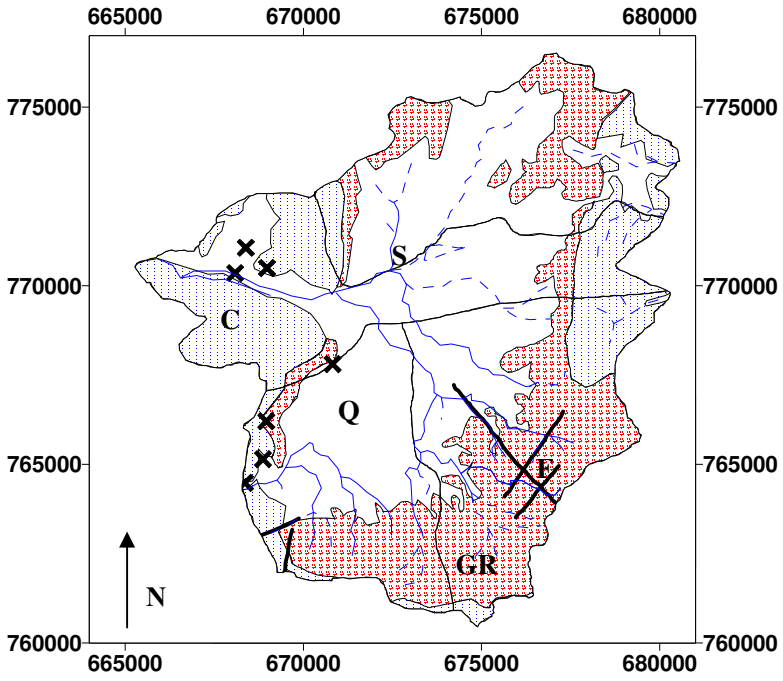



ภาพประกอบ 3.3 ชุดระบบวัดรังสีแกมมา (Gamma Ray Spectrometer)

3.2 ลักษณะภูมิประเทศและธรณีวิทยาของอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

อำเภอนาหม่อมตั้งอยู่ในเขตจังหวัดสงขลา ที่พิกัด UTM 760000N – 777000N และ 665000E - 680000E ลักษณะภูมิประเทศประกอบด้วยที่ราบลุ่มตอนกลางของพื้นที่ และมีภูเขาล้อมรอบ (ภาพประกอบ 3.4) ซึ่งทิศเหนือประกอบด้วยเขาคอหงส์ ควนต้นไทร ควนใบพัด ควนหินพัก และควนโต๊ะไหม ทางทิศตะวันตกมีเขาคันหลาว ควนรังแร้ง ควนจง ควนอ่าวหมาก ควนขวาง และ ควนป่ายางซึ่งเป็นที่ตั้งของเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์อยู่ทางลาดเขาด้านทิศตะวันออก และเหมืองแร่ทุ่งขมิ้น อยู่ทางทิศเหนือ

ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ที่ศึกษา ประกอบด้วยหินตะกอน หินแปร หินแกรนิต ดิน ทราย และกรวดที่ยังไม่จับตัว โดยพบว่าอายุของหินตะกอน และหินแปร อยู่ในช่วงประมาณต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัส หินแกรนิตมีอายุประมาณปลายยุคไทรแอสซิกถึงต้นยุคจูแรสซิก ส่วน ดิน ทราย กรวด สะสมตัวอยู่ในยุคควอเทอร์นารี นอกจากนั้นยังพบว่าหินแกรนิตในเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์มีการแปรสภาพด้วยอิทธิพลของก๊าซและสารละลายร้อน โดยตรวจพบแร่เฟลด์สปาร์เกิดการแปรสภาพไปเป็นแร่ดินขาว (Kaolin) หินแกรนิตบริเวณนี้จึงมีลักษณะผุ ร่วน พรุน ทำให้ธาตุโลหะในหินแกรนิตมีโอกาสถูกชะล้างละลายลงไปอยู่ในดิน และน้ำใต้ดินได้ง่าย นอกจากนี้มีรายงานการตรวจพบแร่ทอร์เบอร์ไนต์ (Torbernite) ซึ่งเป็นแร่กัมมันตรังสีที่มีธาตุยูเรเนียมอยู่ถึง 48 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก มีสูตรเคมี $Cu_2 (UO_2)_2 (PO_4)_2$ 8-12H_2O (ธงชัย, 2527)



ภาพประกอบ 3.4 แผนที่ธรณีวิทยาอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา (ธงชัย, 2527)

3.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

3.3.1 การเก็บตัวอย่างผัก

ทำการเก็บตัวอย่างผักในอำเภอนาหม่อม โดยพิจารณาจุดเก็บตัวอย่างจากแผนที่ลักษณะทางธรณีวิทยา (ภาพประกอบ 3.4) เพื่อดูตำแหน่งที่เป็นแนวภูเขาหินแกรนิต รอยเลื่อน (Fault) เส้นทางน้ำไหลสำหรับการวางแผนที่จะทำการเก็บตัวอย่าง โดยทำการเก็บตัวอย่างผักที่นิยมบริโภค 13 ชนิด (ตาราง 3.1) จากพื้นที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ซึ่งตรวจสอบตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (Trimble Navigator, Basic Plus, USA) (ภาพประกอบ 3.5) ดำเนินการเก็บตัวอย่างผักในช่วงเดือน พฤษภาคม 2548 – กุมภาพันธ์ 2549 ดังนี้

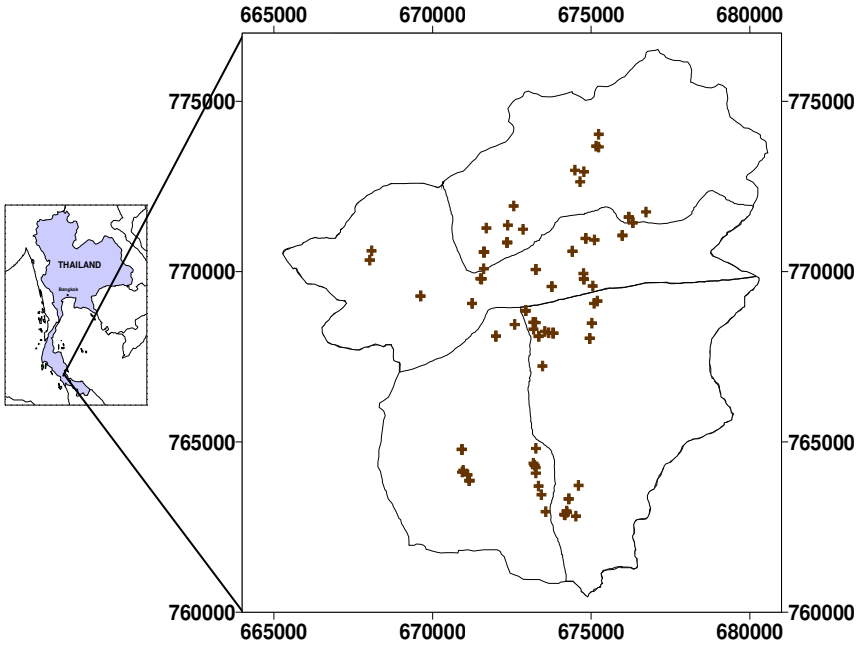
- ตำบลพิจิตร ทำการเก็บตัวอย่างผัก 25 ตัวอย่าง กระจายไปทั้งตำบล เก็บผักได้ 9 ชนิด ได้แก่ ขี้เหล็ก กระถิน ถั่วฝักยาว มะเขือ ผักบุ้ง ข้าว ถั่วลิสง ผักกวางตุ้ง และผักกาดขาว

- ตำบลนาหม่อม ทำการเก็บตัวอย่างผัก 25 ตัวอย่าง กระจายไปทั้งตำบล เก็บผักได้ 7 ชนิด ได้แก่ ตำลึง ขี้เหล็ก กระถิน ถั่วฝักยาว มะเขือ ผักบุ้ง และผักโขม

- ตำบลคลองหรังทำการเก็บตัวอย่างผัก 27 ตัวอย่าง กระจายไปทั้งตำบล เก็บผักได้ 10 ชนิด ได้แก่ ตำลึง ขี้เหล็ก กระถิน ผักกวางตุ้ง ถั่วลิสง ข้าว คะน้า ถั่วฝักยาว มะเขือ และผักโขม

- ตำบลทุ่งขมิ้นทำการเก็บตัวอย่างผัก 21 ตัวอย่าง กระจายไปทั้งตำบล เก็บผักได้ 8 ชนิด ได้แก่ ตำลึง ขี้เหล็ก กระถิน ผักบุ้ง ถั่วฝักยาว มะเขือ แตงกวา และผักโขม

โดยผักควบคุมเก็บจากอำเภอบางกล่ำ ซึ่งอยู่ห่างจากพื้นที่ศึกษาในอำเภอนาหม่อม ทำการเก็บผัก 9 ชนิด ได้แก่ ขี้เหล็ก ถั่วฝักยาว มะเขือ ผักบุ้ง คะน้า ตำลึง ผักโขม ผักกวางตุ้ง และผักกาดขาว



ภาพประกอบ 3.5 จุดเก็บตัวอย่างผักทั้งหมด 98 จุด

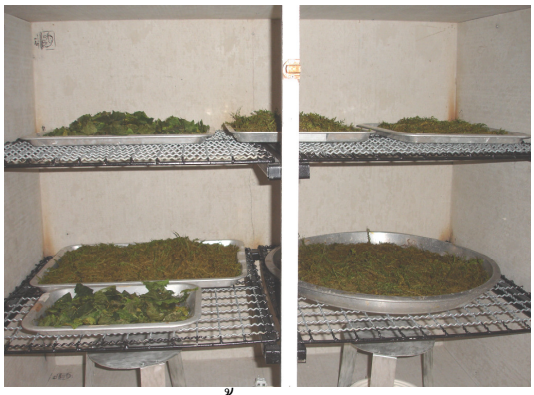
ตาราง 3.1 จำนวนตัวอย่างผักแต่ละชนิด

Type of vegetables	Part of use	Sample of vegetables				
		Pijit sub-district	Thungkamin sub-district	Klongrang sub-district	Namom sub-district	Bang Klam sub-district
Ivy Gourd (ตำลึง)	leave	-	7	7	6	2
Yellow Cassia (ขี้เหล็ก)	leave	1	4	2	6	-
White Popinac (กระถิน)	leave	2	2	5	7	1
Yard Long Bean (ถั่วฝักยาว)	fruit	5	3	-	2	1
Swamp Cabbage (ผักบุ้ง)	leave	1	-	1	-	1
Egg Plant (มะเขือ)	fruit	4	1	1	1	1
Rice (ข้าว)	fruit	3	2	3	2	1
Peanut (ถั่วลิสง)	root	2	-	4	-	-
Spineless Amaranth (ผักโขม)	leave	5	-	2	-	-
Chinese Cabbage (ผักกาดขาว)	leave	-	1	1	1	1
Mustart (ผักกวางตุ้ง)	leave	2	-	-	-	1
Kale (คะน้า)	leave	-	-	1	-	1
Cucumbers (แตงกวา)	fruit	-	1	-	-	-
Total		25	21	27	25	10

หมายเหตุ : - ไม่มีตัวอย่าง

ก. ตัวอย่างผักจากพื้นที่อำเภอนาหม่อม

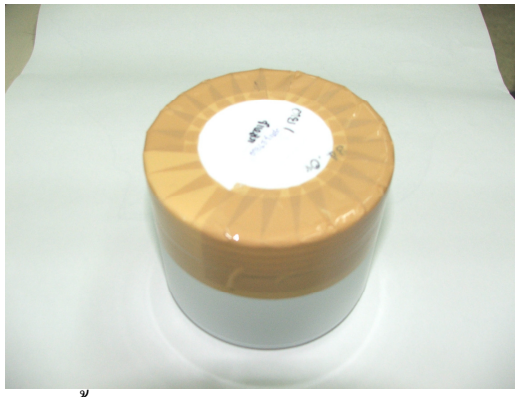
ข. ล้าง และบันทึกน้ำหนักสด



ค. อบแห้งไล่ความชื้น

ง. เผาจนเป็นเถ้า

จ. เถ้าผักจากการเผา



ฉ. นำขี้เถ้ามาบรรจุและปิดผนึก

ภาพประกอบ 3.6 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างผัก (ก) ตัวอย่างผักจากพื้นที่อำเภอนาหม่อม (ข) ล้างและบันทึกน้ำหนักสด (ค) อบแห้งไล่ความชื้น (ง) เผาจนเป็นเถ้า (จ) เถ้าผักจากการเผา (ฉ) นำขี้เถ้ามาบรรจุและปิดผนึก

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างผักด้วยการอบ และ การเผา

ผักที่เก็บแต่ละตัวอย่างประมาณ 1- 2 กิโลกรัม (ภาพประกอบ 3.6 ก) นำมาล้างและชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักสด (ภาพประกอบ 3.6 ข) จากนั้นนำไปอบแห้งไล่ความชื้นด้วยเตาอบไฟฟ้า (ภาพประกอบ 3.6 ค) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 250 นาที และนำไปเผาด้วยเตาเผา ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (ภาพประกอบ 3.6 ง) เป็นเวลา 180 นาที จะได้ขี้เถ้าผัก (ภาพประกอบ 3.6 จ) บรรจุใส่กระปุกปิดผนึก และนำไปชั่งน้ำหนัก (ภาพประกอบ 3.6 ฉ) จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมาของเรเดียม-226 ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา โดยวัดแต่ละตัวอย่างนานตัวอย่างละ 360 นาที

3.3.3 การเตรียมสารอ้างอิงมาตรฐานสำหรับการหาค่าประสิทธิภาพ

เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาที่ใช้ถูกปรับเทียบประสิทธิภาพด้วยการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐานของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA, International Atomic Energy Agency) สำหรับปรับเทียบค่าความแรงรังสีเรเดียม-226 โดยใช้สารอ้างอิงมาตรฐาน IAEA-RGU-1 ที่มีค่าความแรงรังสีเรเดียม-226 เท่ากับ 2470 mBq ผสมลงในขี้เถ้าผักที่ตรวจวิเคราะห์แล้วว่าไม่มีนิวไคลด์กัมมันตรังสีเรเดียม-226 (Background) นำใส่กระปุกปิดผนึก แล้ววัดด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา วิเคราะห์พลังงานรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยมาจากเรเดียม-226 โดยตรงที่พลังงาน 186.2 keV เช่นเดียวกับการวิเคราะห์สารตัวอย่าง

3.3.4 การปรับเทียบค่าประสิทธิภาพ (Efficiency Calibration)

ในสมการ (3.1) สำหรับคำนวณค่าประสิทธิภาพของระบบวัดรังสีจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายตัว คือ ลักษณะรูปร่างของภาชนะที่บรรจุตัวอย่าง (Geometry) ขนาดของกระปุกใส่ตัวอย่าง (Sample-size) ความหนาแน่นของตัวอย่าง (density) ระยะทางของสารตัวอย่างจากหัววัด และสำหรับหัววัดที่ใช้วัดรังสีแกมมา ค่าประสิทธิภาพจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญกับค่าพลังงานรังสี

ดังนั้นในระบบการวัดรังสีหนึ่งๆ จึงต้องมีการปรับเทียบค่าประสิทธิภาพโดยการใช้สารมาตรฐานที่ทราบค่าความเข้มข้นหรือค่ากัมมันตภาพของไอโซโทปต่างๆ ที่ปลดปล่อยรังสี

แกมมาหลายค่าพลังงาน กลุ่มข้อมูลของค่าประสิทธิภาพ และค่าพลังงาน จะมีความสัมพันธ์กันดังสมการ (3.1)

$$Efficiency = \frac{Net\ area}{(livetime)(Activity)(Yield)} \tag{3.1}$$

เมื่อ Activity คือ ค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี มีหน่วยเป็น Bq ของสารมาตรฐานที่พลังงานรังสีเฉพาะ

Yield คือ branching ratio fraction

Live Time คือ the actual ADC live time มีหน่วยเป็น วินาที (s)

Efficiency คือ ค่าประสิทธิภาพของหัววัด ณ พลังงานรังสีแกมมา ในหน่วย cps/Bq

Net area คือ พื้นที่ใต้ยอดสเปกตรัมพลังงานรังสีที่วิเคราะห์

จากการทดลองใช้ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมาที่มีหัววัด HPGe และ MCA ขนาด 8192 ช่อง ทำการปรับเทียบค่าพลังงานรังสีแกมมา โดยการวัดรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยมาจากสารอ้างอิงมาตรฐานของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA, International Atomic Energy Agency) โดยใช้สารกัมมันตรังสีอ้างอิงมาตรฐาน IAEA-RGU-1 ที่มีค่าความแรงรังสีเรเดียม-226 เท่ากับ 2470 mBq คำนวณค่าประสิทธิภาพของเรเดียม-226 ได้เท่ากับ 0.046858 cps/Bq

3.3.5 การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา

สเปกตรัมรังสีแกมมาของแต่ละตัวอย่างจะถูกวัดด้วยเครื่องแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ (Gamma Ray Spectrometer) โดยมีหัววัด HPGe (High purity Germanium) (Canberra Model GC 1319, USA) อยู่ภายในถ้ำตะกั่วกำบังรังสีภูมิหลัง (Canberra Model 747, USA) หัววัดจะเชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (8192 ช่อง Canberra Model Inspector 2000, USA) และวิเคราะห์ยอดพลังงานรังสีแกมมาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป (Canberra, Genie2k software Version 2.1, USA) หัววัดรังสีแกมมามีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 13.9% และมีกำลังแยก 1.75 keV ที่พลังงานรังสีแกมมา 1332 keV ของโคบอลต์-60 และมีอัตราส่วนระหว่างยอดพลังงานต่อฐานคอมพ์ตันเท่ากับ 44.8:1

การวิเคราะห์สเปกตรัมที่ได้จากหัววัดรังสีแกมมาชนิด HPGe และ MCA จะประกอบด้วยการวิเคราะห์ว่ายอดพลังงานรังสีแกมมาแต่ละยอดพลังงาน มาจากนิวไคลด์ตัวใด โดยปกติยอดพลังงานรังสีแกมมาของหัววัด HPGe จะมีความแหลมคม และถ้าการปรับเทียบพลังงาน

กับช่องทำได้อย่างเที่ยงตรง การใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Automatic peak search) ของโปรแกรมวิเคราะห์ จะทำให้สามารถระบุชนิดของนิวไคลด์ได้อย่างแม่นยำ

ขั้นตอนสุดท้ายในการวิเคราะห์นิวไคลด์ คือ การหาความเข้มของกัมมันตภาพรังสีจำเพาะแต่ละไอโซโทป ซึ่งโดยปกติพื้นที่ใต้สเปกตรัม (NET AREA) จะสัมพันธ์โดยตรงเชิงเส้นกับความเข้ม และกับความเข้มข้น แต่ก็จำเป็นต้องปรับแก้ค่าประสิทธิภาพของหัววัดที่พลังงานต่างๆ ด้วย (ประสิทธิภาพเป็นฟังก์ชันกับพลังงานรังสี) สัดส่วนการสลายตัวของพลังงานรังสีตัวนั้น และค่าครึ่งชีวิต

ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ ค่ากัมมันตภาพของเรเดียม – 226 คำนวณจากยอดพลังงานรังสีแกมมาของเรเดียม – 226 (186.2 keV) ใช้เวลาวัดรังสีนาน 21,600 วินาที คำนวณจากสมการ

$$Activity = \frac{Net\ area}{(livetime)(Efficiency)(Yield)} \tag{3.2}$$

$$\text{ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226} = \frac{Activity(\ Bq\ )}{weight(\ kg\ )} \tag{3.3}$$

เมื่อ Activity คือ ค่ากัมมันตภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสี มีหน่วยเป็น Bq ของสารมาตรฐานที่พลังงานรังสีเฉพาะ

Yield คือ branching ratio fraction

Live Time คือ the actual ADC live time มีหน่วยเป็น วินาที (s)

Efficiency คือ ค่าประสิทธิภาพของหัววัด ณ พลังงานรังสีแกมมา ในหน่วย cps/Bq

Net area คือ พื้นที่ใต้ยอดสเปกตรัมพลังงานรังสีที่วิเคราะห์

คำนวณค่าเฉลี่ยเป็นค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 ในหน่วย Bq/kg

3.3.6 ค่ากัมมันตภาพต่ำสุดของเครื่องมือ (Minimal Detectable Activity, MDA)

ในการคำนวณค่ากัมมันตภาพต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ ของนิวไคลด์ใดๆ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ใช้สมการของ Currie's Derivation (Currie, 1968) ซึ่งหนึ่งในกลุ่มสมการชุดดังกล่าว ก็คือ

$$\text{MDA (Bq)} = \frac{2.71 + 4.66\sigma}{(\text{LT})\,(\text{Eff})\,(\text{Y})} \qquad (3.4)$$

เมื่อ σ คือ SD ของ BG ที่พลังงานที่สนใจ

LT คือ collecting live time (sec)

Eff คือ efficiency

Y คือ branching ratio fraction

ผลการวัดค่ารังสีภูมิหลังซึ่งเตรียมจากกระปุกเปล่า ซึ่งได้ทำการรวมจำนวนนับรังสีเฉพาะยอดพลังงานของเรเดียม-226 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 0.014532 คำนวณค่ากัมมันตภาพต่ำสุดของเครื่องมือ (MDA) ตามสมการของ Currie เมื่อปรับเทียบด้วยค่าประสิทธิภาพของระบบวัด (13.9 %) ได้ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่องมือวัด (the Lower Limit of Detection) (L.L.D.) เท่ากับ 0.082 Bq ซึ่งสามารถปรับปรุงค่าให้ดีขึ้นได้โดยการ

(1) เพิ่มค่าประสิทธิภาพของหัววัด

(2) ลดค่ารังสีภูมิหลัง

(3) เพิ่มเวลาวัดรังสี

โดยปกติอาจจำเป็นที่ต้องเลือกใช้เวลาวัดที่เหมาะสม เพื่อให้มั่นใจได้ว่า ค่ากัมมันตภาพต่ำสุดของเครื่องมือ มีค่าต่ำกว่าระดับมาตรฐานปฏิบัติ (action level) ที่ต้องการวัด

3.4 การประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี

ในการวิเคราะห์ผลกระทบของรังสีต่อมนุษย์จากการบริโภคผักปนเปื้อนรังสี จะพิจารณาเฉพาะผลกระทบที่มาจากเรเดียม-226 และลูกหลานของมันเท่านั้น โดยจะไม่พิจารณาส่วนที่เป็นผลกระทบที่มาจาก ทอเรียม-232 และ ลูกหลานของทอเรียม-232

การประเมินการบริโภคผักที่มีการปนเปื้อนเรเดียม-226 ของชาวอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา โดยอนุโลมใช้เกณฑ์ของคณะกรรมการวิทยาศาสตร์ของสหประชาชาติว่าด้วยผลกระทบของรังสี (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; UNSCEAR, 2000) ซึ่งประเมินอัตราการบริโภคผักไว้ที่ 164 กรัมต่อวัน ในเวลา 1 ปี ประชาชนจะบริโภคผัก 60 กิโลกรัม เมื่อใช้ค่าปัจจัย 0.28 μSv/Bq ซึ่งใช้สำหรับการประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายผู้ใหญ่ได้รับต่อปี (adult annual equivalent dose) คำนวณค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลต่อปี จากสมการ (3.5)

Adult annual equivalent Dose (Sv/y) = Factor Value (Sv/Bq) × Consumption (kg/y) ×
Specific activity of Radium-226 (Bq/kg) (3.5)

เมื่อ Factor Value คือ ค่าปัจจัยที่ใช้สำหรับการประเมินปริมาณรังสีประสิทธิผล มีค่าเท่ากับ 0.28 μSv/Bq

Consumption คือ อัตราการบริโภคผักในเวลา 1 ปี มีหน่วยเป็น kg/y

Specific activity of Radium-226 คือ ค่ากัมมันตภาพจำเพาะของเรเดียม-226 มีหน่วยเป็น Bq/kg

Adult annual equivalent Dose คือ ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี มีหน่วยเป็น μSv/ ปี

3.5 การประเมินความเสี่ยงที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคผัก

การประเมินความเสี่ยงทางรังสีจากการบริโภคผักที่มีการปนเปื้อนเรเดียม-226 จะประเมินจากค่า Radiation Risk Factor (RRF) ซึ่งคือปัจจัยที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงทางรังสีจากการบริโภคผัก โดยมีค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณรังสีเรเดียม-226 ที่ได้รับต่อปี กับปริมาณรังสีอ้างอิง (reference dose, RfD) ซึ่งมีค่า 8 μSv/y (UNSCEAR, 2000)

$$\text{Radiation Risk Factor (RRF)} = \frac{Adult \quad Annual \quad Equivalent \quad Dose(\mu Sv/y)}{RfD(\mu Sv/y)} \qquad (3.6)$$

เมื่อ Radiation Risk Factor (RRF) คือ ปัจจัยที่ใช้ประเมินความเสี่ยงทางรังสีเนื่องจากการบริโภคผัก

RfD คือ ปริมาณรังสีอ้างอิง มีค่าเท่ากับ 8 μSv/y

Adult annual equivalent dose คือ ค่าปริมาณรังสีประสิทธิผลที่ร่างกายได้รับต่อปี มีหน่วยเป็น μSv/ ปี

โดยที่ RRF $\leq$ 1 มีค่าความเสี่ยงทางรังสีอยู่ในเกณฑ์ปกติ

RRF $>$ 1 มีค่าความเสี่ยงทางรังสีมากกว่าเกณฑ์ปกติ

3.6 สถิติของการนับข้อมูล

3.6.1 ค่าเฉลี่ย (Mean) หมายถึง ค่าตัวแทนข้อมูลที่มาจากทุกค่าของข้อมูลจริงถูกเฉลี่ยมาเป็นตัวแทนข้อมูลเพียงค่าเดียว นิยมใช้มากที่สุด และมีคุณสมบัติทางคณิตศาสตร์มากที่สุด เพราะนำข้อมูลทุกตัวมาหาค่าเฉลี่ย ยกเว้นกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายมากๆ แบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของข้อมูล ได้แก่

3.6.1.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) แทนด้วยสัญลักษณ์ $\overline{X}$ หมายถึง ค่ากลางของข้อมูลที่หาค่าได้จากผลรวมข้อมูลชนิดปริมาณทั้งหมด จากนั้นหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด ซึ่งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution)

โดย
$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_i}{N} \tag{3.7}$$

3.6.1.2 ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric mean) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยสำหรับเลขจำนวนเต็มบวก N จำนวน ประกอบด้วย $X_1, X_2, X_3, \ldots, X_N$ เป็นรูปแบบอนุกรมเรขาคณิต ค่าเฉลี่ยข้อมูลหาได้จาก

$$G = \sqrt[N]{X_1, X_2, X_3, \ldots, X_N} \tag{3.8}$$

จะใช้ในกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายมาก และข้อมูลไม่มีค่า 0 เมื่อแปลงเป็นค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแล้วข้อมูลจะมีลักษณะการกระจายแบบปกติ

3.6.1.3 ค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิค (Harmonic mean) แทนด้วยสัญลักษณ์ H คือส่วนกลับของค่าเฉลี่ยเลขคณิตของจำนวนตัวเลขซึ่งกันและกัน โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$H = \frac{1}{\frac{1}{N_i}\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{X_i}} = \frac{N}{\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{X_i}} \tag{3.9}$$

3.6.2 มัธยฐาน (Median) ข้อมูลที่อยู่ตรงกลางเมื่อเรียงค่าจากน้อยไปมาก ใช้เมื่อข้อมูลมีค่าสูงสุด และต่ำสุดต่างกันมาก และข้อมูลมีการกระจายแบบเบ้มาก ๆ

3.6.3 ฐานนิยม (Mode) คือจำนวนซ้ำมากที่สุดใช้ในข้อมูลชุดหนึ่ง

3.6.4 การวัดการกระจายของข้อมูล (Measurement of Dispersion) สถิติที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูลมีหลายแบบ เช่น พิสัย (Range) ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (Quartile Deviation) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ค่าความแปรปรวน (Variance) ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ (Percentile), การผันแปรปกติ (Coefficient of Variation) และ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error of the mean)

ก. พิสัย (Range) จะบอกค่าต่ำสุดและสูงสุดของข้อมูลนั้น

ข. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จะมีค่าสูงถ้าข้อมูลแต่ละค่าได้มาจากประชากรที่มีลักษณะแตกต่างกันมาก และจะมีค่าน้อย ถ้าได้มาจากประชากรที่มีลักษณะแตกต่างกันน้อย

ค. การผันแปรปกติ (Coefficient of Variation) เป็นตัวเลขที่มีประโยชน์ในการใช้เปรียบเทียบขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างเหล่านั้นไม่เท่ากันหรือมีหน่วยวัดต่างกัน

$$\text{Coefficient of Variation} = \frac{\text{S.D}}{\text{mean}} \times 100 \tag{3.10}$$

ทั้งนี้เพื่อทำให้ SD ของข้อมูลกลุ่มต่าง ๆ เปรียบเทียบกันได้ นอกจากนี้ยังใช้ในการคำนวณหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมได้ด้วย

ง. ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error of the mean or SE) คือ ตัวเลขที่บ่งถึงความผันแปรปกติของค่าเฉลี่ยจากกลุ่มตัวอย่าง ที่สุ่มออกจากประชากรเดียวกัน ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานจะมีค่าน้อยกว่าความแปรปรวนปกติของข้อมูลทั่วไป (Standard Deviation) เพราะค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างย่อมผันแปรน้อยกว่า ความผันแปรของกลุ่มประชากร

$$\text{SE} = \frac{\text{SD}}{\sqrt{\text{n}}} \tag{3.11}$$

จ. ช่วงเชื่อมั่นที่ 95% (95% Confidence interval) การสรุปข้อมูลนอกจากค่าเฉลี่ยและ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้ว ในการทดลองซ้ำๆ 100 ครั้ง ค่าเฉลี่ยที่ได้จะตกอยู่ในช่วง X +1.96 SE 95 ครั้ง

$$95\%\ \text{Confidence interval} = \text{X} \pm 1.96\ \text{SE} \tag{3.12}$$

ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้หาค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน และได้ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตเป็นตัวแทนการแจกแจงข้อมูลค่าการกระจายของกัมมันตภาพจำเพาะเฉลี่ยของเรเดียม-226 ในตัวอย่างผักทั้งหมด ในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Box Plot

Box plot เป็นเทคนิคที่ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการแจกแจงของข้อมูล โดยจะให้รายละเอียดของค่าสถิติเพื่อตรวจสอบสำหรับการแจกแจง นั่นคือจะ plot ค่ามัธยฐาน เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25, 27 และให้ค่าข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ นั่นคือ ค่าที่สูงมากหรือต่ำมาก (outlier) จากค่ากลาง

การสร้าง Box plot จะใช้ค่าสถิติ 5 ค่า ด้วยกันคือ

1. ค่าต่ำสุดของข้อมูลที่ยังไม่ต่ำผิดปกติ
2. ควอไทล์ที่ 1 (Q_1)
3. ค่ามัธยฐาน หรือควอไทล์ที่ 2 (Q_2)
4. ควอไทล์ที่ 3 (Q_3)
5. ค่าสูงสุดของข้อมูลที่ยังไม่สูงผิดปกติ

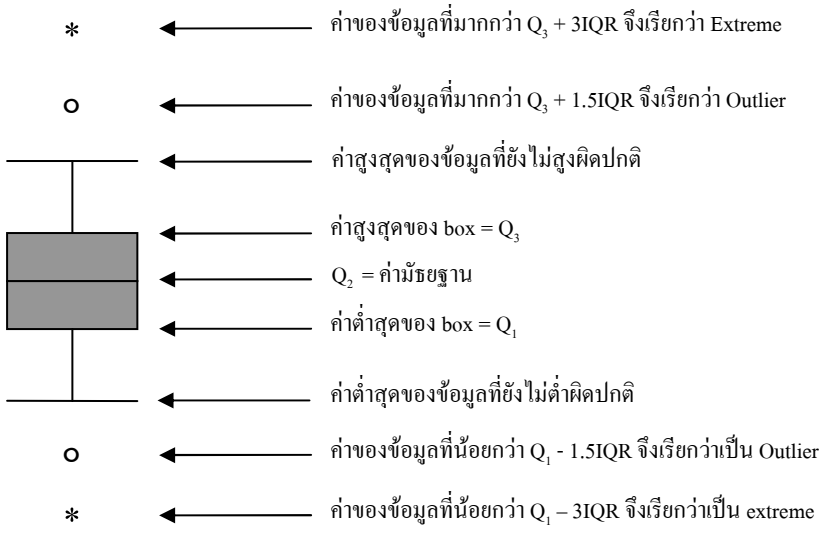
ค่าต่ำสุด = เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25 ของข้อมูล หรือ ควอไทล์ที่ 1 (Q_1)

ค่าสูงสุด = เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 ของข้อมูล หรือ ควอไทล์ที่ 3 (Q_3)

ค่ากลาง = ค่ามัธยฐาน หรือ เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ของข้อมูล หรือ ควอไทล์ที่ 2 (Q_2)

ความกว้างของ box = $Q_3 - Q_1$ = IQR (Interquartile Range) หรือกล่าวว่า 50% ของข้อมูลอยู่ใน box

- ค่าสูงสุดของข้อมูลที่ยังไม่สูงผิดปกติ คือ ค่าสูงสุดของข้อมูลชุดนั้นๆ ที่มีค่าไม่เกิน $Q_1 + 1.5IQR$
- ค่าต่ำสุดของข้อมูลที่ยังไม่ต่ำผิดปกติ คือ ค่าต่ำสุดของข้อมูลชุดนั้นๆ ที่มีค่าไม่ต่ำกว่า $Q_1 - 1.5IQR$



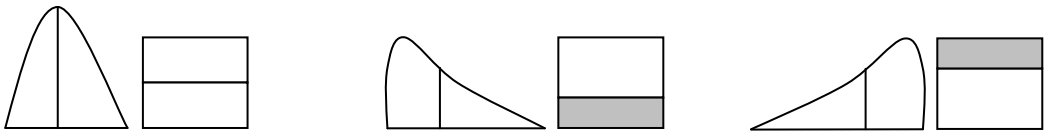
ภาพประกอบ 3.7 แสดงลักษณะของ Box plot

นอกจากนั้น Box plot ยังแสดงค่าผิดปกติ 2 ลักษณะ คือ

1. ข้อมูลที่มีค่ามากว่า 3 เท่าของความกว้างของ box นั่นคือ ข้อมูลที่มีค่ามากกว่า $Q_3 + 3(IQR)$ หรือข้อมูลที่มีค่าน้อยกว่า $Q_1 - 3(IQR)$ และจะเรียกค่าเหล่านี้ว่า extremes แสดงด้วยเครื่องหมายดอกจัน (*)
2. ข้อมูลที่มีค่าระหว่าง 1.5 ถึง 3 เท่าของความกว้างของ box นั่นคือ ข้อมูลที่มีค่ามากกว่า $Q_3 + 1.5(IQR)$ แต่ไม่เกิน $Q_3 + 3(IQR)$ หรือข้อมูลที่มีค่าน้อยกว่า $Q_1 - 1.5(IQR)$ แต่ไม่น้อยกว่า $Q_3 - 3(IQR)$ โดยจะเรียกค่าเหล่านี้ว่า Outlier แสดงด้วยเครื่องหมายวงกลม(o)

ความหมายของ Box plot

1. การวัดค่ากลางของข้อมูล หรือความเบ้ของข้อมูล จะพิจารณาจากค่ามัธยฐาน ดังนี้
    - ถ้าค่ามัธยฐานอยู่ตรงกลางของ box แสดงว่าการแจกแจงของข้อมูลมีความสมมาตร ดังภาพประกอบ 3.8 (ก)
    - ถ้าค่ามัธยฐานอยู่มาทางด้านล่างของ box แสดงว่าข้อมูลเบ้บวก หรือเบ้ขวา ดังภาพประกอบ 3.8 (ข)
    - ถ้าค่ามัธยฐานอยู่มาทางดานบนของ box แสดงว่าข้อมูลเบ้ลบ หรือเบ้ซ้าย ดังภาพประกอบ 3.8 (ค)



(ก) สมมาตร (ข) เบ้ขวา (ค) เบ้ซ้าย

ภาพประกอบ 3.8 แสดงลักษณะของค่ากลาง

2. การวัดการกระจายของข้อมูล จะพิจารณาจาก
    ก. ความกว้างของ box
        - ถ้าความกว้างของ box มาก แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายมาก
        - ถ้าความกว้างของ box น้อย แสดว่าข้อมูลมีการกระจายน้อย
    ข. ค่า Outlier และ extremes
        - ถ้ามี Outlier และ extremes มาก แสดงว่าหางของการแจกแจงยาวหรือข้อมูลมีการกระจายมาก
        - ถ้ามี Outlier และ extremes น้อย แสดงว่าหางของการแจกแจงสั้นหรือข้อมูลมีการกระจายน้อย