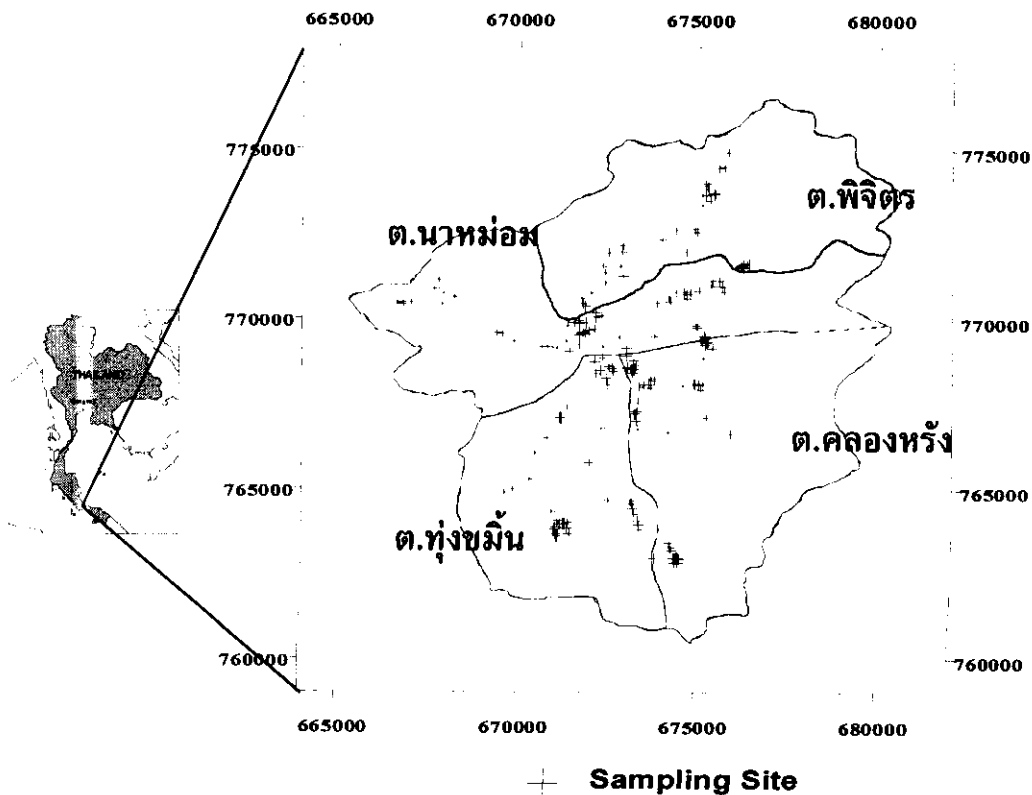


บทที่ 2

วิธีการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

ได้ประสานกับหน่วยทะเบียนมะเร็ง โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ เพื่อตรวจสอบข้อมูลการเข้ารับการรักษา โรคมะเร็งในหลอดอาหารและมะเร็งช่องปากของประชากรในพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ในปี พ.ศ. 2532 - 2545 พิจารณาการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้นออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเก็บตัวอย่างจากครัวเรือนที่มีประวัติการเข้ารับการรักษาโรคมะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งช่องปาก สามารถตามเก็บตัวอย่างในกลุ่มนี้ได้เป็นจำนวน 39 ตัวอย่าง กลุ่มที่สองสุ่มเก็บตัวอย่างจากบ่อน้ำดื่มที่ประชาชนใช้บริโภคในครัวเรือน โดยกระจายไปทั่วทั้งในอำเภอนาหม่อมซึ่งจะเก็บตัวอย่างทุกหมู่บ้าน จำนวนตัวอย่างที่จะสุ่มเก็บนั้นจะพิจารณาจากจำนวนครัวเรือนในแต่ละหมู่บ้านประกอบกับแผนที่ความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูลของอำเภอนาหม่อม (ภาพประกอบ 1.1) สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้นเป็นจำนวน 131 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 150 ตัวอย่าง (ภาพประกอบ 2.1) กระจายครอบคลุมทั้งพื้นที่ อำเภอนาหม่อม ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้นช่วงเดือน เมษายน - พฤษภาคม พ.ศ.2546 จำนวนตัวอย่างน้ำบ่อต้นที่เก็บในแต่ละหมู่บ้านแสดงในตารางที่ 2.1



ภาพประกอบ 2.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้นทั้งหมด 150 จุด

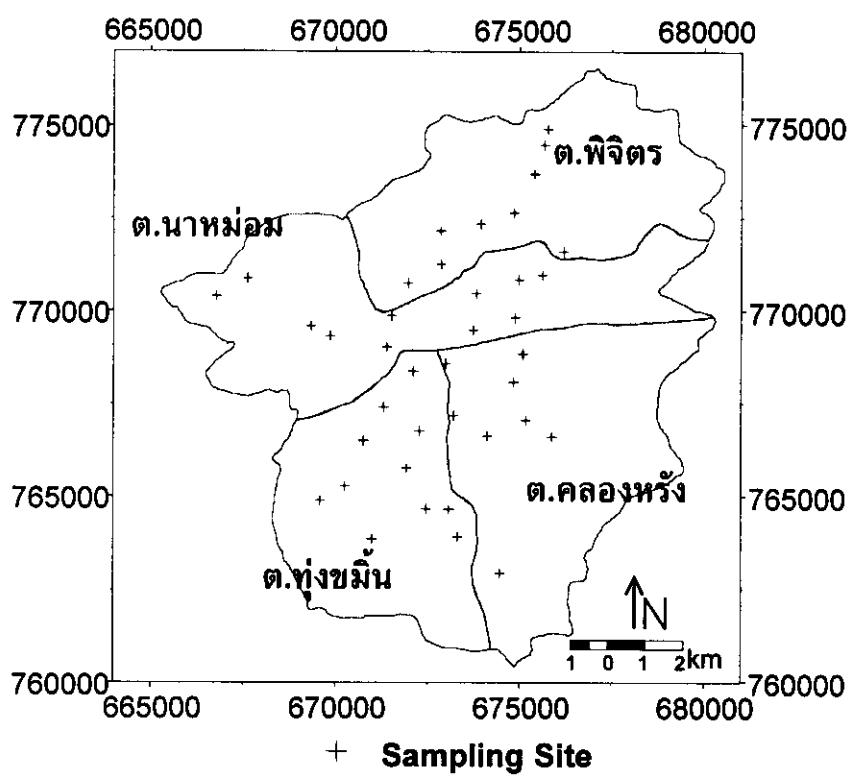
ตาราง 2.1 จำนวนตัวอย่างน้ำบ่อน้ำบาดาลในแต่ละหมู่บ้าน

ตำบล	หมู่บ้าน	จำนวนตัวอย่างที่มี ข้อมูลประวัติเข้ารับ การรักษาโรคมะเร็ง	จำนวนตัวอย่าง ที่สุ่มเก็บกระจาย ทั้งอำเภอ
พิจิตร	หมู่ที่ 1 บ้านเนินพิจิตร	5	5
	หมู่ที่ 2 บ้านโคกทัง	2	3
	หมู่ที่ 3 บ้านโคกพะยอม	1	4
	หมู่ที่ 4 บ้านพลีควาย	1	3
	หมู่ที่ 5 บ้านทุ่งนาหวาน	1	3
	หมู่ที่ 6 บ้านคลองม่วงตก	2	3
นาหม่อม	หมู่ที่ 1 บ้านทุ่งโตนด	1	4
	หมู่ที่ 2 บ้านทุ่งค้อ	2	6
	หมู่ที่ 3 บ้านพรูเมา	-	3
	หมู่ที่ 4 บ้านควนจง	3	6
	หมู่ที่ 5 บ้านนาม่วง	-	9
	หมู่ที่ 6 บ้านใน	1	2
	หมู่ที่ 7 บ้านชายนา	-	4
	หมู่ที่ 8 บ้านทุ่งพระเคียน	-	3
	หมู่ที่ 9 บ้านเกาะชะพลู	-	3
	หมู่ที่ 10 บ้านดินวัด	1	3
ทุ่งขมิ้น	หมู่ที่ 1 บ้านทุ่งขมิ้น	-	4
	หมู่ที่ 2 บ้านลานไทร	-	3
	หมู่ที่ 3 บ้านทุ่งโพธิ์	1	4
	หมู่ที่ 4 บ้านนาทอง สุก	1	3
	หมู่ที่ 5 บ้านนา	-	3
	หมู่ที่ 6 บ้านทุ่งขมิ้น	2	5
	หมู่ที่ 7 บ้านทุ่งโพธิ์	1	6
คลองหรั่ง	หมู่ที่ 1 บ้านคลองหรั่ง	3	4
	หมู่ที่ 2 บ้านแม่เปี้ยะ	-	5
	หมู่ที่ 3 บ้านแม่เปี้ยะ	1	6
	หมู่ที่ 4 บ้านแซะ	4	3
	หมู่ที่ 5 บ้านตันปริง	1	1
	หมู่ที่ 6 บ้านปลักทิง	1	4

2.2 รักษาสภาพตัวอย่าง และเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ โลหะหนัก และธาตุหลัก

ในขณะที่เก็บตัวอย่างน้ำบ่อนั้น จะบันทึกข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์ของบ่อน้ำที่เก็บตัวอย่างด้วยเครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (Trimble Navigator, Basic Plus, USA) เครื่องวัดค่าพีเอช (pH, Eutech Instruments รุ่น pHScan1) และเครื่องวัดปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) (Eutech Instruments รุ่น TDSscan1) เก็บตัวอย่างน้ำตัวอย่างละ 11 ลิตร บรรจุในขวดโพลีเอทิลีนที่ล้างสะอาดด้วยน้ำกลั่น ก่อนที่จะปรับและรักษาสภาพน้ำตัวอย่างด้วยการเติมกรดไนตริก (HNO₃) ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 15 มล. ต่อปริมาตรน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร (APHA, 1998) แยกตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกจำนวน 1 ลิตรนำไปตรวจวิเคราะห์ โลหะหนัก และธาตุหลัก อีกกลุ่มหนึ่งจำนวน 10 ลิตร นำไปวิเคราะห์เรเดียม-226

คัดเลือกตัวอย่างที่เก็บจากกลุ่มประชากรที่มีประวัติการเป็นมะเร็งในช่องปาก และหลอดอาหารจำนวน 20 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่สุ่มเก็บจำนวน 19 ตัวอย่าง ตัวอย่างทั้งหมด 39 ตัวอย่าง กระจายไปทั้งอำเภอห่มอม (ภาพประกอบ 2.2) นำตัวอย่างน้ำบ่อนั้นดังกล่าวไปตรวจวิเคราะห์ โลหะหนัก และธาตุหลัก กรองตะกอนแขวนลอยที่ติดมากับตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรองชนิดใยแก้ว (Whatman, GF/F) เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ก่อนส่งวิเคราะห์หาความเข้มข้นโลหะหนัก และธาตุหลักด้วยเครื่อง ICP-AES (Perkin Elmer รุ่น 4300 DV) จำนวน 11 ธาตุ ประกอบด้วย Mg, Ca, Ba, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Zn และ Pb



ภาพประกอบ 2.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำบ่อน้ำในอำเภอห่มอม นำไปวิเคราะห์โลหะหนักและธาตุหลัก

2.3 สถิติสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ โลหะหนัก ธาตุหลัก และเรเดียม-226

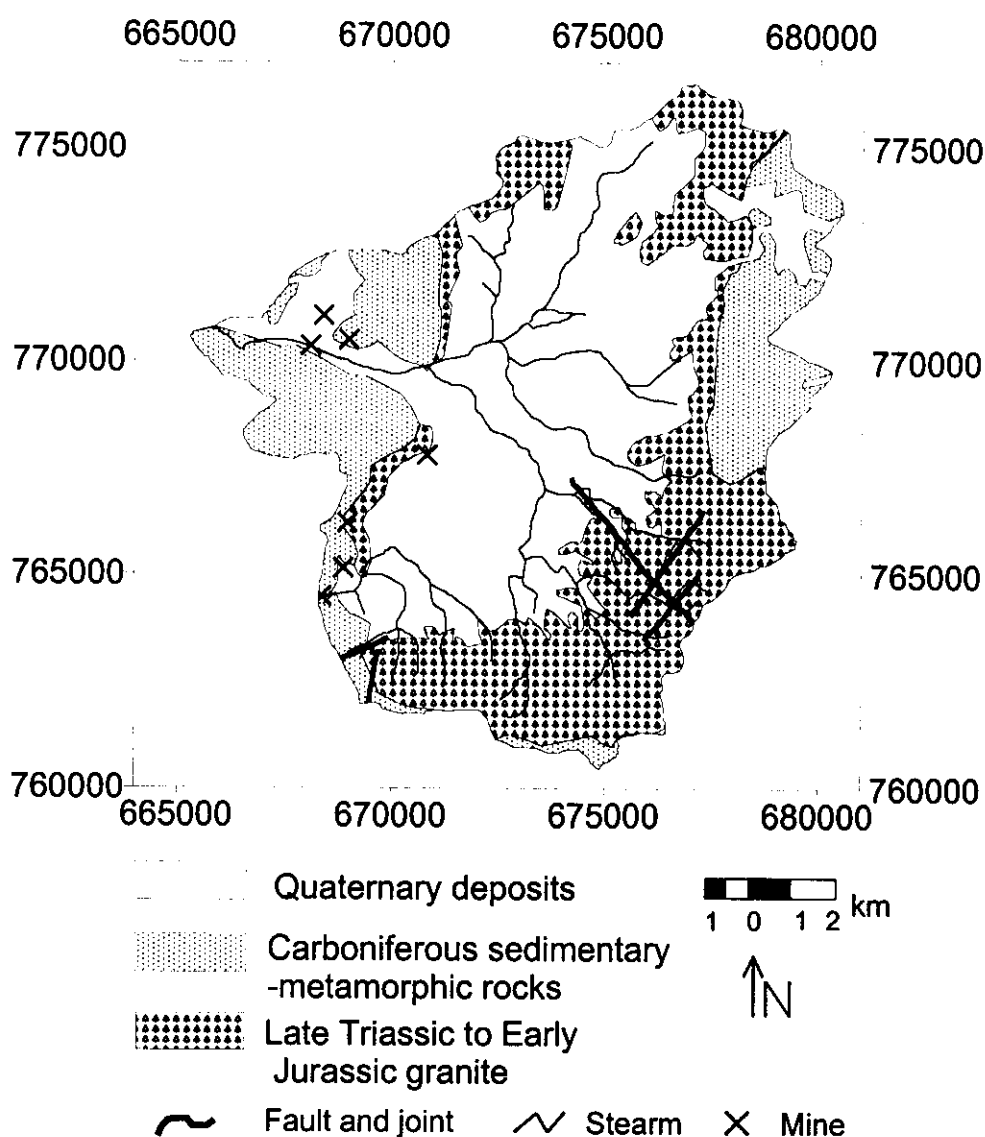
พิจารณาการกระจายของโลหะหนักและธาตุหลักแต่ละธาตุในตัวอย่างน้ำบ่อน้ำตื้น เพื่อแสดงการกระจายของโลหะหนักและธาตุหลักในพื้นที่ โดยใช้โปรแกรม Surfer รุ่น 8.02 (Golden Software, USA) สร้างแผนที่คอนทัวร์ของค่าความเข้มข้นโลหะในน้ำตัวอย่าง

การวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักทั้งหมด 11 ธาตุ (11 ตัวแปร) รวมทั้งค่าพีเอช ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) และค่าความกระด้าง ในตัวอย่างน้ำบ่อน้ำตื้นจากตำแหน่งบ่อเก็บตัวอย่างทั้งหมด 39 ตำแหน่ง ทำให้ข้อมูลที่จะวิเคราะห์มีขนาดใหญ่และซับซ้อน จึงเลือกใช้เทคนิคสถิติพหุคูณ (Multivariate) ในการรวบรวม แยกกลุ่ม และแปลความหมายอย่างมีนัยสำคัญ ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในสถิติพหุคูณเพื่อใช้อธิบายความหมายระหว่างตัวแปร (ความเข้มข้นของธาตุและสมบัติเคมีอื่นๆ) ที่มีความสัมพันธ์กัน โดยคำนวณค่าน้ำหนักปัจจัย (Factor loading) ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่ม การวิเคราะห์ปัจจัยเป็นเทคนิคการจำแนกกลุ่มของตัวแปร (Davis, 1973) เพื่อที่จะลดจำนวนตัวแปรลงเป็นปัจจัย ซึ่งตัวแปรที่อยู่ในปัจจัยเดียวกัน จะมีความสัมพันธ์และอยู่ในทิศทางเดียวกัน (มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นบวก) หรือตรงข้ามกัน (มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นลบ) และใช้เทคนิควิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component analysis, PCA) ในการแยกปัจจัย ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากในการพยากรณ์แบบจำลองคณิตศาสตร์ทางเคมีจากข้อมูลสมบัติทางเคมีของวัสดุตัวอย่าง (Chemometrics) เพื่อใช้ในการค้นหาความสัมพันธ์ร่วมระหว่างตัวแปรว่าไอออนเฉียงไปในทิศทางใด (Chapman, 1992) โดยปัจจัยที่ 1 จะมีความสัมพันธ์ในแบบเชิงเส้นระหว่างตัวแปรในปัจจัย และมีค่าความแปรปรวนสูงสุด ปัจจัยที่ 2 ก็มีความสัมพันธ์เชิงเส้นเช่นกัน โดยปัจจัยที่ 2 จะตั้งฉากกับปัจจัยที่ 1 ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยที่ 2 ไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ 1 สำหรับปัจจัยที่ 3, 4 และต่อ ๆ ไปก็เช่นเดียวกัน พิจารณาความผันแปรของปัจจัยจากค่าไอเกน (Eigen value) ซึ่งจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเลือกพิจารณาปัจจัยที่มีค่าไอเกนมากกว่า 1 เท่านั้น

ใช้เทคนิคการหมุนแกนแบบ Varimax (Kaizer, 1958) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกตัวแปรออกจากกัน หมุนแกนในการจัดกลุ่มตัวแปรว่าควรอยู่ในปัจจัยใด และเพื่อแยกตัวแปรที่มีค่าน้ำหนักปัจจัยกลางๆ ให้เด่นชัดขึ้น ส่วนตัวแปรที่มีค่าน้ำหนักปัจจัยมากหรือน้อย จะชัดเจนอยู่แล้ว (Kaizer, 1958) ในการศึกษาที่ใช้ค่าความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำ ความกระด้าง ค่าพีเอช และค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด จัดกลุ่มของแต่ละตัวอย่าง โดยตัวอย่างในกลุ่มเดียวกันจะมีความคล้ายคลึงกันสูง (higher similarity) และกลุ่มที่แยกจากกันจะมีความต่างกัน โดยใช้หลักการรวมกลุ่มของ Ward (Ward's Method) ซึ่งแสดงการเชื่อมโยงกลุ่มโดยอาศัยระยะห่างยูคลิดีียน (Euclidean distance; Reghunath et al., 2002)

2.4 ลักษณะภูมิประเทศและธรณีวิทยา

อำเภอนาหม่อมอยู่ในเขต จังหวัดสงขลา ที่เส้นกริด 665000E-680000E และ 760000N-777000N ลักษณะภูมิประเทศประกอบด้วยที่ราบลุ่มบริเวณตอนกลางของพื้นที่ ครอบคลุมอำเภอนาหม่อม และภูเขาล้อมรอบทั้งสี่ด้านซึ่งประกอบด้วยทางทิศเหนือมีเขาคอหงษ์ ความตันไทร ความหินพัก ความใบพัด และความโต๊ะไหม ทางทิศตะวันตกมีเขาคันหลาว ความจง ความรังแรง ความอ่าวหมาก ความขวาง และความปายางซึ่งเป็นที่ตั้งของเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์อยู่ทางลาดเขา ด้านทิศตะวันออก และเหมืองแร่ทุ่งขมิ้น อยู่ทางทิศเหนือมียอดสูงจากระดับน้ำทะเล 240 เมตร



ภาพประกอบ 2.3 แผนที่ธรณีวิทยา (ดัดแปลงมาจาก Pungrassami, 1984)

ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยหินตะกอน หินแปร หินอัคนี ดิน ทราย และกรวดที่ยังไม่จับตัว หินตะกอนและหินแปรมีอายุประมาณต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัส ปลายยุคไทรแอสซิก หินอัคนีมีอายุประมาณปลายยุคไทรแอสซิกถึงต้นยุคจูแรสซิก ดิน ทราย กรวด สะสมตัวในยุคควอเทอร์นารี (ภาพประกอบ 2.3) นอกจากนี้ยังพบว่าหินแกรนิตในเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์มีการแปรสภาพด้วย อิทธิพลของก๊าซและสารละลายร้อน (Pungrassami, 1984) โดยตรวจพบว่าแร่เฟลด์สปาร์เกิดการแปรสภาพไปเป็นแร่ดินขาว (Kaolin) หินแกรนิตที่นี้จึงมีลักษณะผุ ร่วนพรุน ทำให้ธาตุโลหะในหินมีโอกาสถูกชะล้างละลายไปอยู่ในดิน และในน้ำใต้ดินได้ง่าย สำหรับกรวดทรายท้องน้ำของยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) เกิดจากการผุพังของหินและสายแร่ในยุคก่อนแล้วสะสมอยู่ที่ราบลุ่มลำน้ำ ชั้นกรวดทรายมีความหนา 3 - 15 เมตร (Changlow, 2001) และหลาย ๆ บริเวณเป็นแหล่งลานแร่ดีบุก (Pungrassmi, 1984)

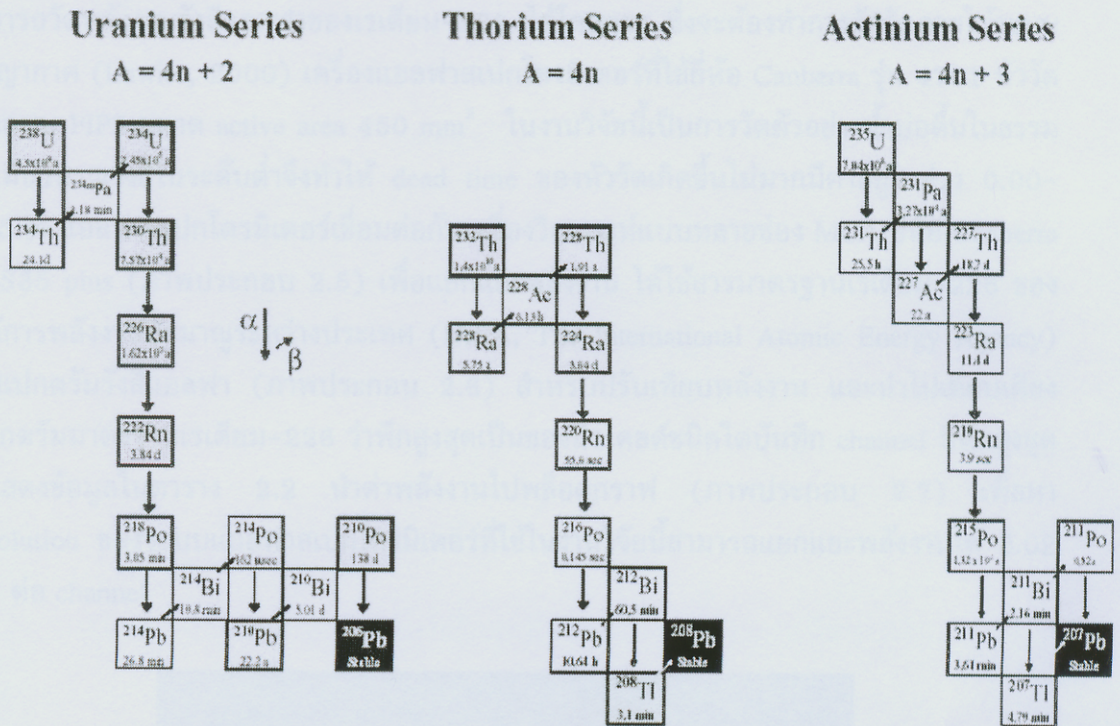
2.5 เตรียมตัวอย่างสำหรับการวัดความเข้มข้นเรเดียม-226

เนื่องจากความเข้มข้นเรเดียมในน้ำธรรมชาติมีปริมาณน้อยมากในระดับ 10^{-3} ng/L (นาโนกรัมต่อลิตร) จึงไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องมือทั่วไป จำเป็นต้องวิเคราะห์โดยใช้ระบบสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟาระดับต่ำ (low level alpha spectrometer) วิธีเตรียมตัวอย่างน้ำบ่อน้ำเพื่อนำมาวัดปริมาณเรเดียม-226 นั้นมีขั้นตอนที่ซับซ้อนในแต่ละขั้นตอนจะใช้เวลาานกว่าที่จะได้ค่าความแรงกัมมันตภาพรังสี ในหัวข้อนี้จึงได้แบ่งหัวข้อออกเป็นส่วนย่อยออกไป

2.5.1 อนุกรมกัมมันตรังสีและการสลายตัว

เมื่อนิวเคลียสกัมมันตรังสีที่เป็นต้นกำเนิดรังสีมี การสลายตัวอย่างต่อเนื่องจนได้นิวเคลียสสุดท้าย การสลายตัวเป็นลำดับ นี้เรียกว่า “อนุกรมกัมมันตรังสี” (radioactivity series) อนุกรมกัมมันตรังสีใน ธรรมชาติมี 4 อนุกรม แต่ละอนุกรมมีการสลายตัวตามลักษณะเฉพาะของอนุกรม อนุกรมทั้งสี่มีดังนี้ เมื่อ n คือจำนวนเต็มบวก

- (1) อนุกรมทอเรียม (Thorium series) ได้แก่ นิวเคลียสกัมมันตรังสีที่มีเลขมวลเท่ากับ $4n$
- (2) อนุกรมเนปทูเนียม (Neptunium series) ได้แก่ นิวเคลียสกัมมันตรังสีที่มีเลขมวลเท่ากับ $4n+1$
- (3) อนุกรมยูเรเนียม (Uranium Series) ได้แก่ นิวเคลียสกัมมันตรังสีที่มีเลขมวลเท่ากับ $4n+2$
- (4) อนุกรมแอกทิเนียม (Actinium Series) ได้แก่ นิวเคลียสกัมมันตรังสีที่มีเลขมวลเท่ากับ $4n+3$



ภาพประกอบ 2.4 อนุกรมกัมมันตรังสี

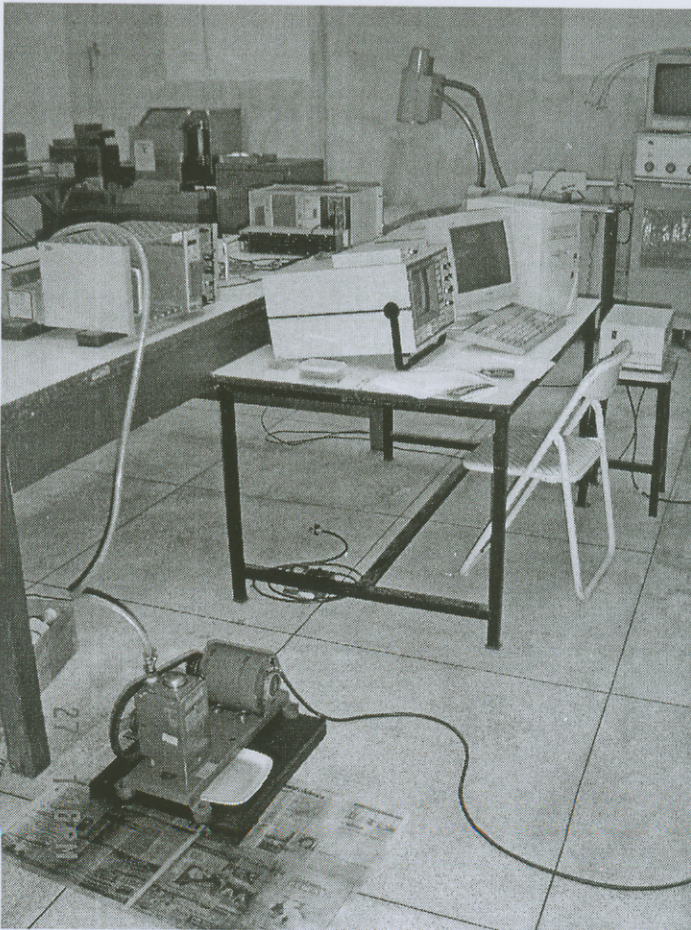
อนุกรมเนปทูเนียมมีครึ่งชีวิตสั้น (2.2×10^6 ปี) ได้สลายตัวไปหมดแล้วจึงไม่พบในปัจจุบันซึ่งเริ่มจาก เนปทูเนียม-237 ($\text{Np}-237$) สลายตัวให้นิวไคลด์สุดท้ายคือ บิสมัท-209 ($\text{Bi}-209$) อนุกรมทอเรียม อนุกรมยูเรเนียม อนุกรมแอกทิเนียม (ภาพประกอบ 2.4) ทั้งสามอนุกรมมีคุณสมบัติที่คล้ายกันคือมีครึ่งชีวิตที่ยาวนาน นิวไคลด์สุดท้ายสลายตัวให้ตะกั่วเหมือนกัน แต่ต่างไอโซโทปกัน ในทุกอนุกรมจะมีแก๊สเฉื่อยเกิดขึ้นที่เลขอะตอม 86

เรเดียม-226 เกิดจากการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม-238 ขณะสลายตัวให้รังสีแอลฟาและสลายตัวต่อไปเป็นก๊าสกัมมันตรังสีเรดอน-222 มีครึ่งชีวิต 2.8 วัน ผลผลิตจากก๊าสเรดอน-222 ที่สลายตัวให้รังสีแอลฟาเช่นกัน คือ พอลโลเนียม ($\text{Po}-218$) ครึ่งชีวิต 2.05 พอลโลเนียม ($\text{Po}-214$) ครึ่งชีวิต 164 ไมโครวินาที และโปโลเนียม-210 ($\text{Po}-210$) ครึ่งชีวิต 138.4 นาที จากนิวไคลด์เรเดียม-226 สลายตัวจนถึงนิวไคลด์สุดท้ายคือ ตะกั่ว-206 ($\text{Pb}-206$) มีนิวไคลด์ถึง 5 นิวไคลด์ ให้รังสีแอลฟาซึ่งเป็นรังสีที่มีมวลและวิ่งด้วยความเร็วสูง เมื่อเข้าไปภายในร่างกายก็จะไปชนกับเนื้อเยื่อทำให้เนื้อเยื่อเกิดการระคายเคือง ทำให้เป็นต้นเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง

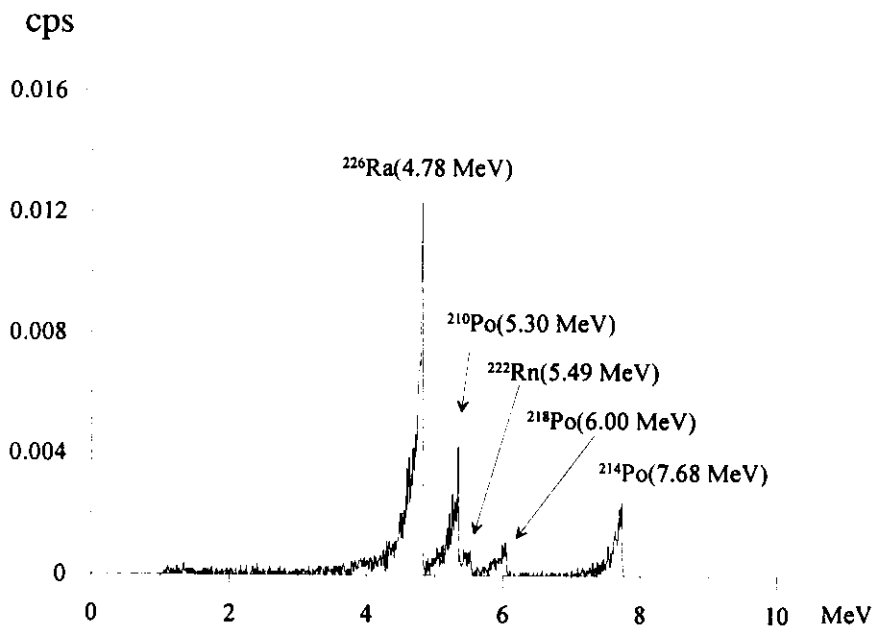
2.5.2 ปรับเทียบพลังงานของเครื่องมือวัด

งานวิจัยนิวตรังสีแอลฟาจากแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ (Alpha Spectrometer) เป็นระบบเครื่องมือวัดที่ดีที่ สุดแบบหนึ่งที่น่าสนใจที่สุดในการวัดกัมมันตภาพรังสีของเรเดียม-226

สามารถวัดพลังงานรังสีแอลฟาของเรเดียม-226 ได้โดยตรง ซึ่งจะต้องทำการวัดด้วยตัวระบบ
 สุนัขอากาศ (Lawire, 2000) เครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้ยี่ห้อ Canberra รุ่น 4701 หัววัด
 เป็นแบบ PIPS ขนาด active area 450 mm^2 ในงานวิจัยนี้เป็นการวัดตัวอย่างน้ำบ่อต้นในธรรม
 ชาติมีปริมาณรังสีในระดับต่ำจึงทำให้ dead time ของหัววัดเกิดขึ้นไม่มากมีค่าอยู่ในช่วง 0.00-
 0.05 % แอลฟาสเปกโตรมิเตอร์เชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง MCA ยี่ห้อ Canberra
 รุ่น S35 plus (ภาพประกอบ 2.5) เพื่อแยกแยะพลังงาน ได้ใช้สารมาตรฐานเรเดียม-226 ของ
 องค์การพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA, The International Atomic Energy Agency)
 วัดสเปกตรัมรังสีแอลฟา (ภาพประกอบ 2.6) สำหรับปรับเทียบพลังงาน และนำไปเทียบเคียง
 สเปกตรัมมาตรฐานเรเดียม-226 ว่าพีคสูงสุดเป็นของนิวไคลด์ชนิดใดบันทึก channel ที่พีคสูงสุด
 ได้แสดงข้อมูลในตาราง 2.2 นำค่าพลังงานไปพล็อตกราฟ (ภาพประกอบ 2.7) เพื่อหา
 Resolution ของระบบแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถแยกแยะพลังงานได้ 8.02
 keV ต่อ channel



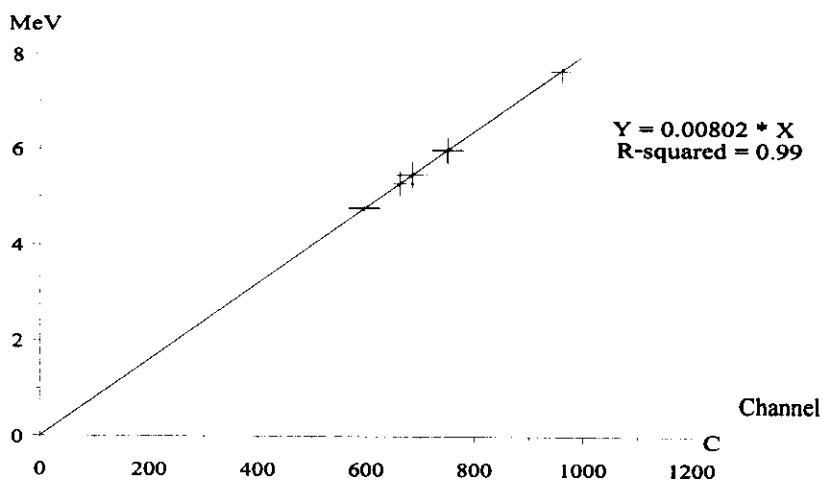
ภาพประกอบ 2.5 แสดงระบบเครื่องมือวัดรังสีแอลฟา



ภาพประกอบ 2.6 สเปกตรัมรังสีแอลฟาจากสารมาตรฐานเรเดียม-226

ตาราง 2.2 แสดง Channel พิกสูงสุดกับพลังงานของแต่ละนิวไคลด์

นิวไคลด์	พลังงาน (MeV)	Channel
Ra-226	4.784	594
Po-210	5.304	660
Rn-222	5.489	683
Po-218	6.002	748
Po-214	7.686	959

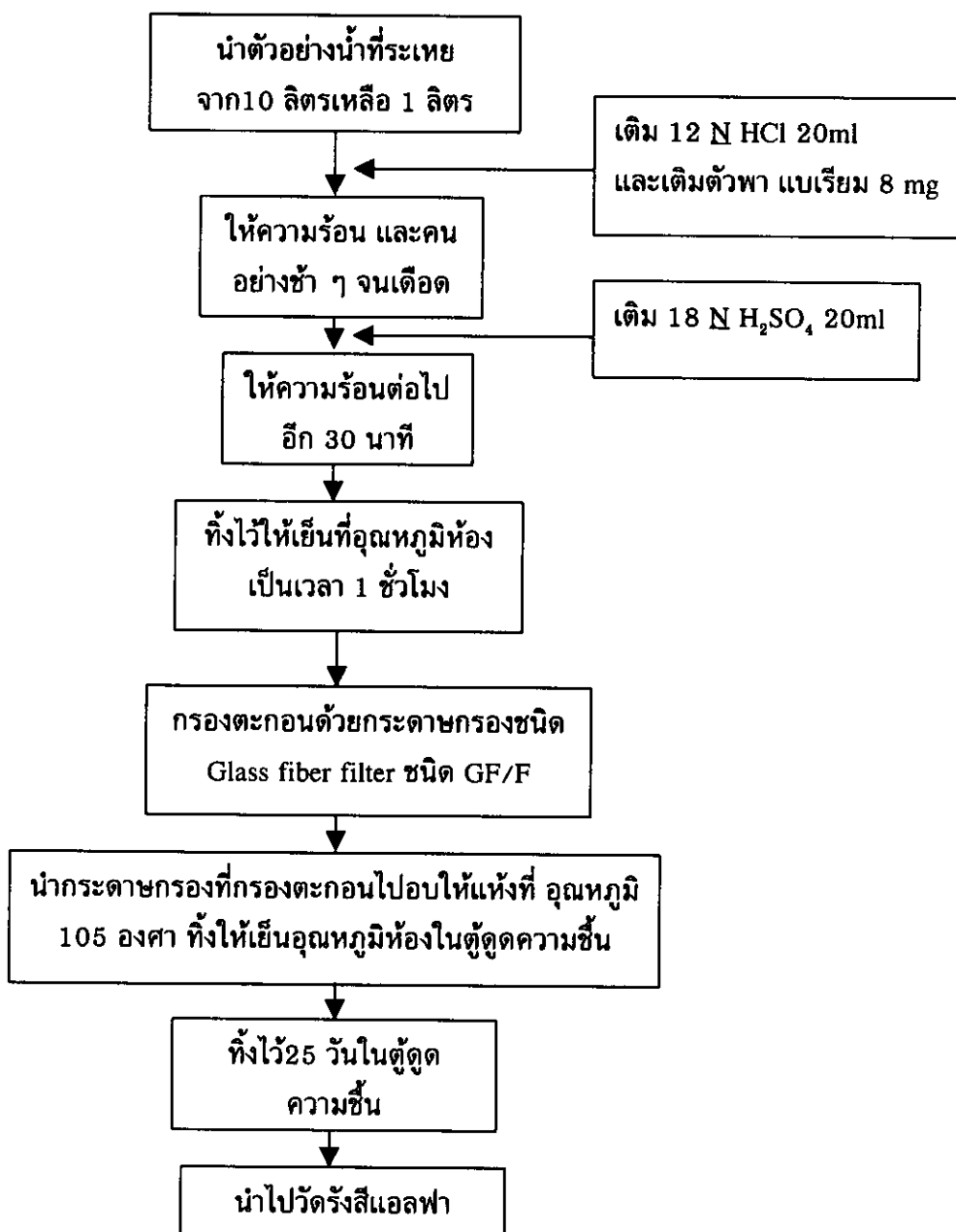


ภาพประกอบ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Channel กับพลังงานรังสีแอลฟา

2.5.3 ตกตะกอนร่วมเรเดียม-226 โดยใช้ตัวพาแบเรียม

ตัวอย่างน้ำบ่อต้นที่รักษาสภาพไว้ 150 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 10 ลิตรนั้นได้ใช้ความร้อนระเหยให้เหลือปริมาตร 1 ลิตร อุปกรณ์ที่ใช้ในการระเหยตัวอย่างนี้เป็นอุปกรณ์ชนิดที่มีการเคลือบ Teflon เพื่อไม่ให้มีการซึมผ่านของโลหะหนักและเรเดียม-226 ไปสู่ภาชนะ เนื่องจากน้ำใต้ดินในธรรมชาติมีปริมาณเรเดียม-226 อยู่เป็นปริมาณน้อยจึงต้องนำตัวอย่างน้ำบ่อต้นมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นปริมาณมาก เพื่อให้ปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อต้นมีค่ามากกว่าขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่องมือวัด (Lower limit of detection) นำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการให้ความร้อนจนเหลือปริมาตร 1 ลิตร มาตกตะกอนร่วมใช้แบเรียมเป็นตัวพา ซึ่งได้ประยุกต์วิธีการของ Krieger and Willtager (1980) วิธีที่ 900.1 และ APHA (1998) วิธีที่ 7110 (เหตุที่ต้องทำการประยุกต์วิธีมาตรฐานเนื่องจากระบบการวัดรังสีแอลฟาโดยเครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีคุณลักษณะที่ไม่เหมือนกับวิธีมาตรฐาน ขนาดของหัววัดและ geometry ก็มีความแตกต่างกันกับวิธีมาตรฐาน) เติมกรดไฮโดรคลอริก 12 นอร์มอล 20 มล. ตัวพาแบเรียม ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 8 มก. แล้วให้ความร้อนจนเดือด เติมกรดซัลฟิวริกให้ความร้อนต่อไปอีก 30 นาทีทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้อง นำน้ำที่ผ่านกระบวนการทางเคมีไปกรองตะกอนโดยใช้กระดาษกรองยี่ห้อ Whatman ชนิด glass fiber filter (GF/F) ขนาดรู 0.7 μm ตะกอนที่ได้จะต้องมีความหนาแน่นไม่เกิน 2.7 mg/cm^2 หากมีความหนาแน่นมากกว่านี้รังสีแอลฟาจะสูญเสียพลังงานไม่สามารถทะลุทะลวงไปถึงหัววัดได้ (Lloyd and Drake, 1989) นำตะกอนที่ผ่านการกรองแล้วทิ้งไว้ 4 สัปดาห์เพื่อให้อยู่ในภาวะสมดุลรังสีของ daughter's product และ เรเดียม-224 มีค่าครึ่งชีวิต 2.66 วัน สลายตัวหมดไป ส่วนเรเดียม-228 สลายตัวให้รังสีบีตาไม่มีผลกระทบกับหัววัดชนิด PIPS รุ่นที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้เนื่องจากหัววัดรุ่นนี้สามารถวัดได้เฉพาะรังสีแอลฟา

นำตะกอนที่เตรียมได้ซึ่งติดอยู่ในกระดาษกรอง ไปวัดรังสีแอลฟาและนับค่าจำนวนนับรังสีต่อวินาที (cps) เฉพาะพีคของเรเดียม-226 ไปเทียบกับกราฟเปรียบเทียบความแรงของเรเดียม-226 (ภาพประกอบ 2.13) ซึ่งค่าปริมาณรังสีที่ได้ที่ได้นั้นจะเป็นความแรงเรเดียม-226 ในปริมาณน้ำตัวอย่าง 10 ลิตร จึงต้องมาแปลงให้เหลือความแรงรังสีของเรเดียม-226 ต่อปริมาณน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร ตัวอย่างเช่น เมื่อนำจำนวนนับรังสีต่อวินาที (cps) ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานได้ความแรง 205 mBq จากตัวอย่างน้ำ 10 ลิตร ถ้าในน้ำ 1 ลิตร จะมีความแรง $=205/10 \text{ mBq/l}$ นั่นก็คือ 20.5 mBq/l วิธีการเตรียมตัวอย่างนั้นได้แสดงเป็นลำดับขั้นตอนตามภาพประกอบ 2.8

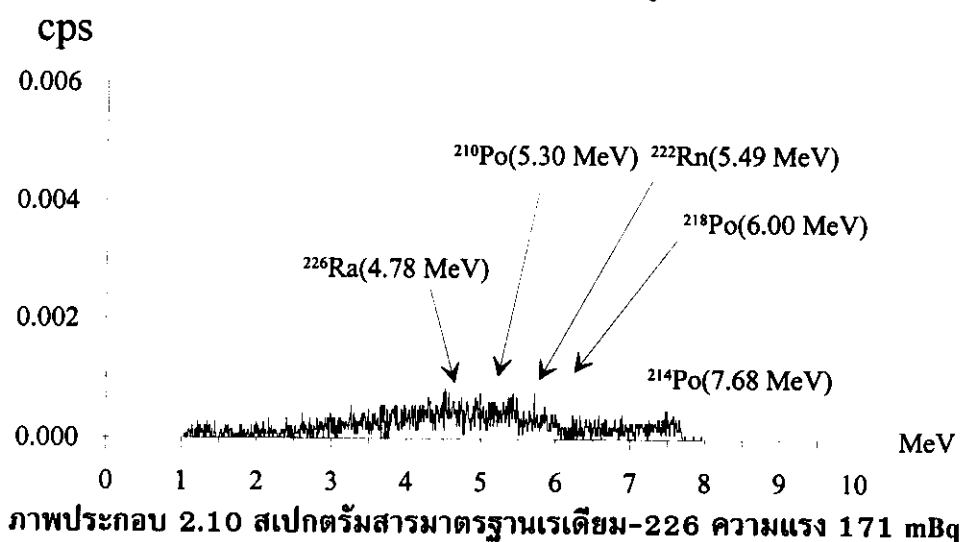
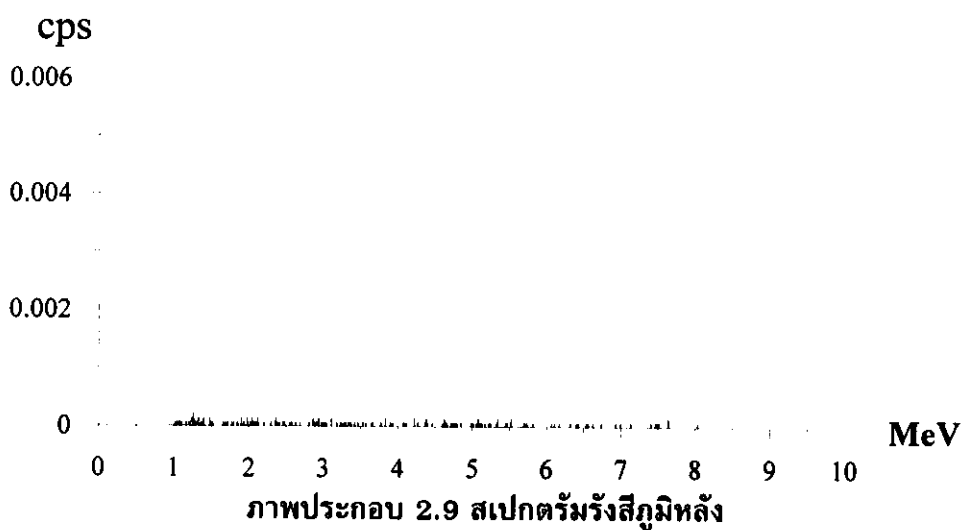


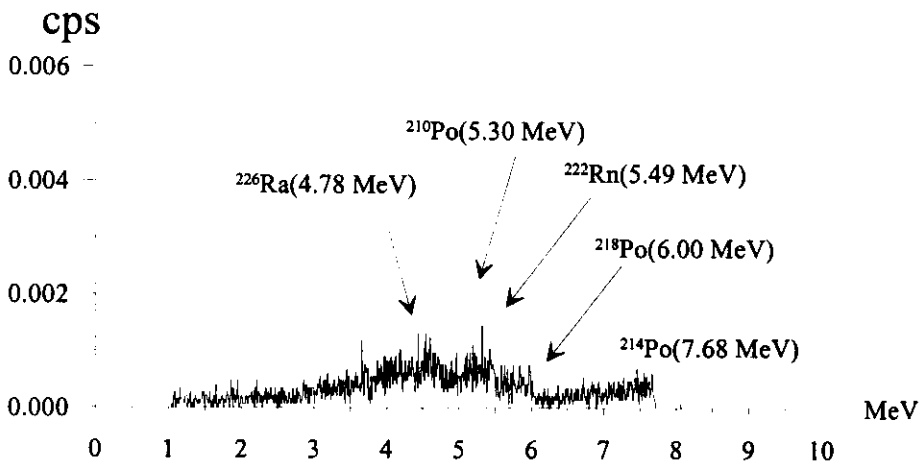
ภาพประกอบ 2.8 วิธีการเตรียมตัวอย่างโดยการตกตะกอนร่วมเรเดียม-226

2.5.4 ปรับเทียบความแรงรังสีแอลฟาของเรเดียม-226

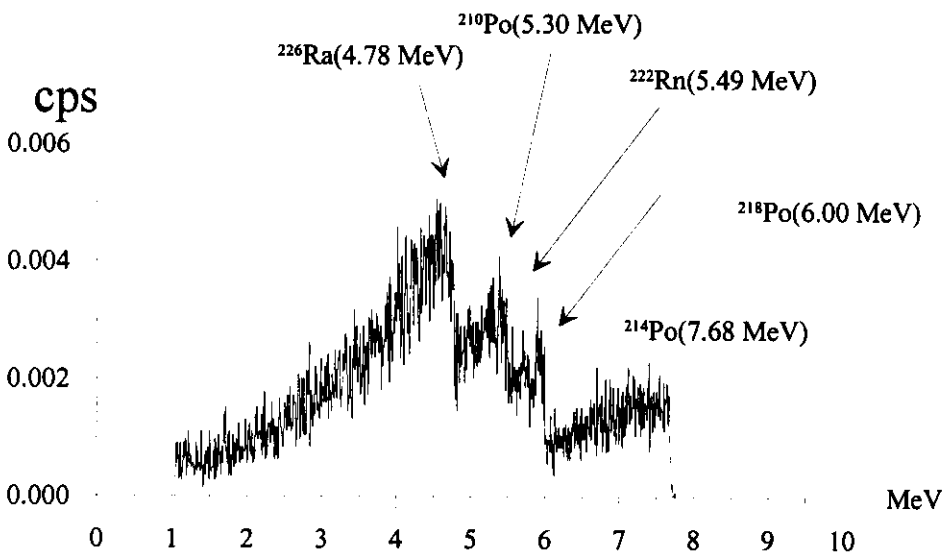
ในการหาประสิทธิภาพของระบบวัดรังสีแอลฟาได้ใช้สารอ้างอิง ขององค์การพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA, The International Atomic Energy Agency) สำหรับปรับเทียบค่าจำนวนนับรังสีกับค่าความแรงรังสีแอลฟา โดยใช้สารอ้างอิงมาตรฐาน IAEA-313, IAEA-314 และ IAEA RGU-1 ที่มีความแรงรังสีของเรเดียม-226 เท่ากับ 171 mBq, 366

mBq และ 2476 mBq ตามลำดับ นำสารมาตรฐานมาตกตะกอนร่วมด้วยแบเรียมตามวิธีการในหัวข้อ 2.5.3 แล้วนำไปวัดด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟา ได้สเปกตรัมตามภาพประกอบ 2.10, 2.11, 2.12 ใช้เวลาวัดรังสี 4 ชั่วโมง นำไปหักล้างรังสีภูมิหลัง (ภาพประกอบ 2.9) คำนวณอัตรานับรังสีของสเปกตรัมเรเดียม-226 แล้วลือตกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานโดย (ภาพประกอบ 2.13) ระหว่างค่าจำนวนนับต่อวินาที (cps) กับค่าความแรงรังสีของเรเดียม-226 ของสารมาตรฐาน (Bq) กราฟที่ได้นี้จะนำไปเป็นกราฟมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบความแรงของเรเดียม-226 จากตัวอย่างนำบ่อต้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งค่าประสิทธิภาพของระบบวัดมีค่า 37 %

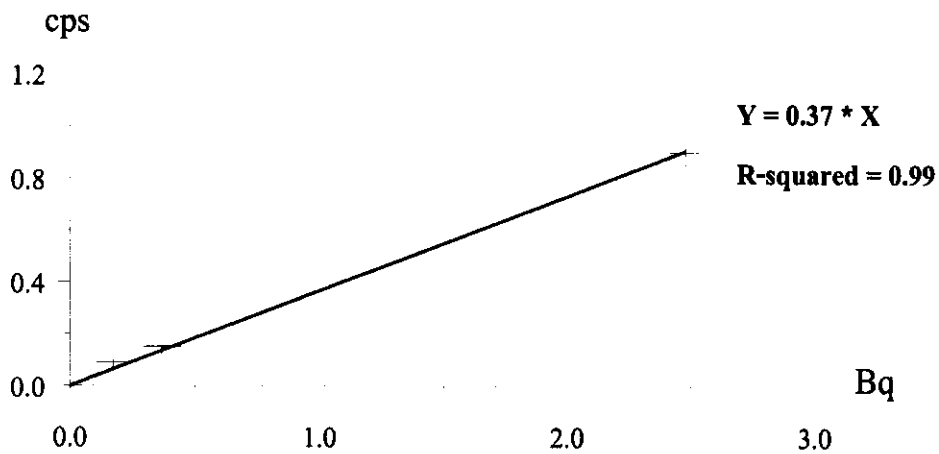




ภาพประกอบ 2.11 สเปกตรัมสารมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรง 366 mBq



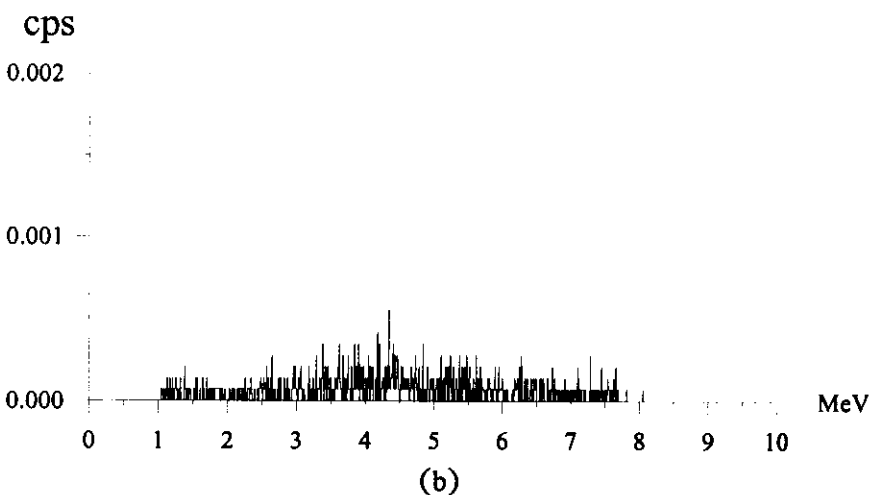
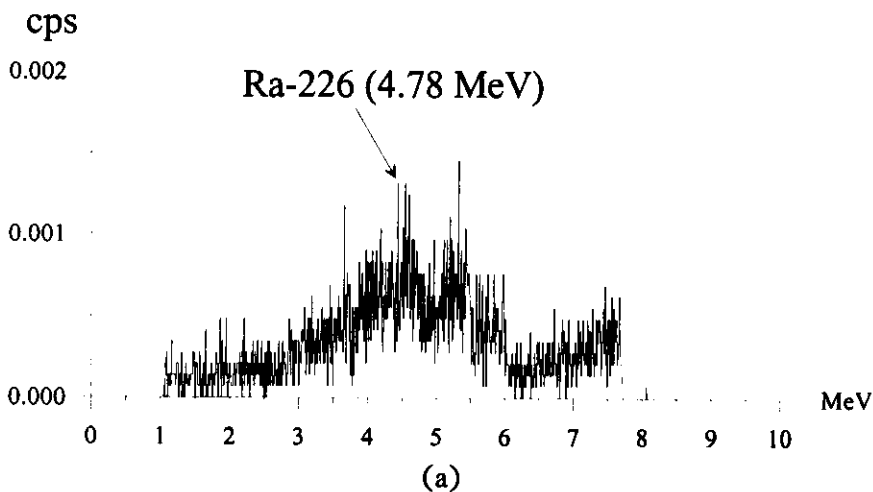
ภาพประกอบ 2.12 สเปกตรัมสารมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรง 2476 mBq

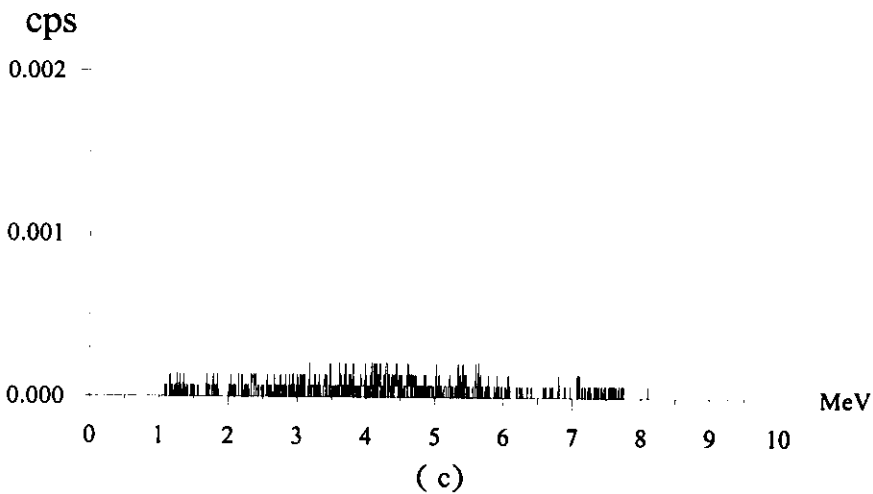


ภาพประกอบ 2.13 กราฟปรับเทียบความแรงของเรเดียม-226

2.5.5 ประสิทธิภาพการจับเรเดียม-226

ได้นำสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรง 470.9 mBq ตกตะกอนร่วมโดยใช้ตัวพาแบเรียม 8 mg แล้วนำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการตกตะกอนแล้ว (ครั้งที่ 1) มาตกตะกอนซ้ำด้วยปริมาณตัวพาแบเรียม 8 mg เหมือนเดิม โดยการตกตะกอนซ้ำจำนวน 3 ครั้ง แล้วทั้งตัวอย่างตะกอนให้อยู่ในภาวะสมดุลรังสีแล้วนำไปวัดสเปกตรัมรังสีแอลฟา (ภาพประกอบ 2.14) นับจำนวนนับรังสีแอลฟา (count) เฉพาะยอดพลังงานของเรเดียม-226 และหักลบรังสีภูมิหลังตัวอย่างตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนร่วมซ้ำครั้งที่ 2 และ 3 จะมีจำนวนนับรังสีแอลฟาน้อยลงจนใกล้เคียงกับรังสีภูมิหลัง เมื่อนำจำนวนนับรังสีมาหาประสิทธิภาพการจับเรเดียมโดยวิธีการตกตะกอนร่วม พบว่าการตกตะกอนร่วมครั้งเดียวสามารถที่จะจับเรเดียมในน้ำตัวอย่างได้ถึงร้อยละ 98.7





ภาพประกอบ 2.14 สเปกตรัมสารมาตรฐานเรเดียม 2476 mBq ตกตะกอนร่วมเป็นจำนวน 3 ครั้ง (a) ตกตะกอนครั้งที่ 1 (b) ตกตะกอนร่วมซ้ำเป็นครั้งที่ 2 (c) ตกตะกอนร่วมซ้ำเป็นครั้งที่ 3

2.5.6 ขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่องมือวัด (Lower limit of detection)

ได้ทดลองหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (Lower Limit of Detection, L.L.D.) ของระบบสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟาที่ใช้ โดยคำนวณค่า L.L.D. จากสูตรของ Curie (1968) $L.L.D. = 4.66\sigma$ เมื่อ σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับรังสีกัมมันตรังสีในหน่วย cps แล้วใช้สมการปรับเทียบมาตรฐานแปลงค่า L.L.D. ในหน่วย cps มาอยู่ในหน่วยกัมมันตภาพ (mBq)

ตารางที่ 2.3 จำนวนนับรังสี

วัดครั้งที่	cps
1	0.002083
2	0.001991
3	0.002269

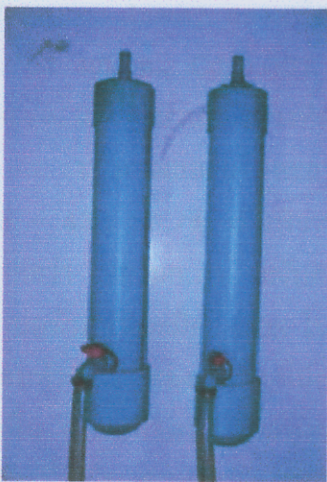
ผลการวัดค่ารังสีกัมมันตรังสีหลังซึ่งเตรียมจากการตกตะกอนร่วมโดยใช้ตัวอย่างน้ำกลั่นจำนวน 3 ครั้ง (ตารางที่ 2.3) ซึ่งได้ทำการรวมจำนวนนับรังสีเฉพาะ พีคของเรเดียม-226 และนำมาหาอัตรานับรังสีเฉลี่ยเท่ากับ 0.000987 cps โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 0.000134 cps ค่าคำนวณค่า L.L.D. ตามสมการของ Curie (1968) ได้เท่ากับ 0.000623 cps เมื่อปรับเทียบด้วยค่าประสิทธิภาพของระบบวัด (37 %) ได้ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (L.L.D.) เท่ากับ 1.7 mBq

2.6 ประเมินปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับต่อปี

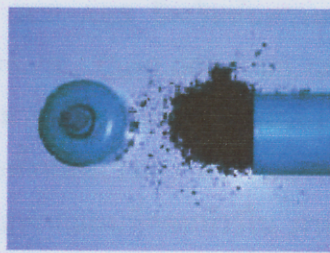
ประเมินปริมาณการบริโภคน้ำและการได้รับปริมาณเรเดียม-226 เข้าสู่ร่างกายต่อปี ของชาว อ.นาทม่อม โดยอนุโลมใช้เกณฑ์ตาม WHO (2002) ซึ่งประเมินอัตราการบริโภคน้ำไว้ที่ 2 ลิตรต่อวัน ในเวลา 1 ปี จะดื่มน้ำเป็นปริมาณ 730 ลิตร ค่าปัจจัย 2.8×10^{-7} Sv/year (ซีเวิร์ต (Sv) เป็นหน่วยปริมาณรังสีสมมูล หรือ equivalent dose ที่พิจารณาผลทางชีววิทยาของรังสีเข้ามาเกี่ยวข้องเปรียบเทียบความเสียหายของเนื้อเยื่อเมื่อดูดกลืนพลังงานของรังสี) เป็นปัจจัยสำหรับการประเมินปริมาณรังสีสมมูลที่ร่างกายได้รับต่อปี (Annual equivalent Dose) ในผู้ใหญ่ ตัวอย่าง เช่น หากดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนของเรเดียม-226 ความเข้มข้น 30 mBq/l จะคำนวณปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับต่อปีเป็น $0.030 \text{ (Bq/l)} \times 730 \text{ (l/year)} \times 2.8 \times 10^{-7} \text{ (Sv/year)}$ เท่ากับ $6.1 \mu \text{ Sv}$

2.7 ประสิทธิภาพการกำจัดเรเดียม-226

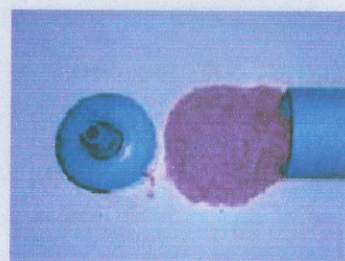
ในการทดสอบครั้งนี้ได้สร้างเครื่องกรองน้ำอย่างง่ายแบบคอลัมน์เดี่ยวสำหรับบรรจุสารกรองน้ำ และเลือกใช้สารกรองน้ำชนิดที่มีใช้ทั่วไป 2 ชนิด คือ ผงถ่านกัมมันต์ (activated carbon) และ เรซิน แลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกชนิดกรดแก่ (strong acid cation exchange resin) ยี่ห้อ Dowex รุ่น HCR-S/S โดยได้แบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน (1) กรองน้ำปนเปื้อนเรเดียมด้วยผงถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียว (2) กรองน้ำปนเปื้อนเรเดียมด้วยเรซินเพียงอย่างเดียว และ (3) กรองน้ำปนเปื้อนเรเดียมด้วยผงถ่านกัมมันต์แล้วตามด้วยเรซิน โดยในการทดลองทั้ง 3 ตอน ใช้ผงถ่านกัมมันต์ปริมาตรละ 4 ลิตร เรซินปริมาณ 4 ลิตร บรรจุในคอลัมน์ (ภาพประกอบ 2.15) กรองน้ำปนเปื้อนเรเดียมความแรง 294.7 mBq/l



(a)



(b)



(c)

ภาพประกอบ 2.15 (a) ชุดทดสอบประสิทธิภาพการกรอง (b) ผงถ่านกัมมันต์ (c) เรซิน