

ความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้น ใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา

Concentration of Radium-226 in shallow well water in

Namom District, Songkhla Province

นายจร วุฒิสาน์

นายสุเทพ แสงงาม

โครงการนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข

พ.ศ. 2548

ISBN 974-506-725-3

ความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้น ใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา

Concentration of Radium-226 in shallow well water in

Namom District, Songkhla Province

นายจเร วุฒิสาสตร์ ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์สุราษฎร์ธานี

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

นายสุเทพ แสงงาม โรงเรียนธรรมโมสิต อ.นาหม่อม จ.สงขลา

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่ปรากฏเป็นของผู้วิจัย

มิใช่ความเห็นของสถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย รศ.ดร.ธวัช ชิตตระกูล ผศ.ดร.ไตรภพ ผ่องสุวรรณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ รศ.นพ.หัชชา ศรีปลั่ง หน่วยระบาดวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุน และข้อเสนอแนะเพื่อให้งานวิจัยครั้งนี้มี เนื้อหาครอบคลุมมากยิ่งขึ้น และสามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี

นายจเร วุฒิสานัน

หัวหน้าโครงการ

มีนาคม 2548

บทคัดย่อ

เก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้นใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา จำนวนทั้งหมด 150 ตัวอย่าง แยกตัวอย่างส่วนหนึ่งจำนวน 39 นำไปวิเคราะห์ ความเข้มข้นของ ธาตุ Ba, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Zn, Pb, Mg และ Ca และ เรเดียม -226 ค่าพิเอชของน้ำบ่อตัวอย่างจำนวน 64.1 % อยู่ในช่วง 4.5 - 7.4 ตกเกณฑ์คุณภาพน้ำดื่มชนบท พ.ศ.2531 ความเข้มข้นโลหะหนักที่ตรวจวัดในตัวอย่างน้ำทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพน้ำดื่มชนบท ยกเว้นความเข้มข้นแคดเมียมสูงกว่าเกณฑ์ 1 ตัวอย่าง (0.0055 มก./ล.) ความเข้มข้นเหล็กสูงกว่าเกณฑ์ 2 ตัวอย่าง (0.77 มก./ล. และ 0.59 มก./ล.) ผลวิเคราะห์สถิติพหุคูณด้วยเทคนิควิเคราะห์ปัจจัย สามารถสกัดปัจจัยได้ 3 ปัจจัย จากจำนวน 10 ตัวแปร ปัจจัยที่ 1 ประกอบด้วย ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง และความเข้มข้น Mg และ Ca ซึ่งเชื่อว่าเป็นผลจากการชะล้างมาจากหินแกรนิตในพื้นที่ ปัจจัยที่ 2 ประกอบด้วยค่าความเข้มข้น Ba ปัจจัยที่ 3 แสดงค่า Fe ค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 มีความสัมพันธ์กับ TDS Ca และ Mg ในเชิงบวก

ตัวอย่างน้ำบ่อตื้นใน อ.นาหม่อม ทั้งหมด 150 ตัวอย่าง วัดความเข้มข้นของเรเดียม-226 โดยใช้เทคนิคการตกตะกอนร่วมโดยแบเรียม แล้วนำไปวัดความแรงรังสีในด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟาความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้นใน อ.นาหม่อม อยู่ในช่วง 3.51-292.1 mBq/l ข้อมูลมีการกระจายแบบ log normal ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต 50.7 mBq/l ระดับหมู่บ้านเฉลี่ยเลขคณิต ที่มีค่ามากกว่า MCL(111 mBq/l) ต.พิจิตร มีหมู่ที่ 2 บ้านโคกทัง ต.นาหม่อม หมู่ที่ 2 บ้านทุ่งก่อ ต.ทุ่งขมิ้น หมู่ที่ 2 บ้านลานไทร หมู่ที่ 3 บ้านทุ่งโพธิ์ และ ต.คลองหรั่ง หมู่ที่ 3 บ้านแม่เปียะ หมู่ที่ 5 บ้านต้นปริง เมื่อประเมินค่าปริมาณรังสีที่ได้รับเข้าไปในร่างกายต่อปี อ.นาหม่อม มีค่า 10.4 μ Sv ต.คลองหรั่ง หมู่ที่ 5 บ้านต้นปริง ต.คลองหรั่ง ปริมาณรังสีที่ได้รับเข้าไปในร่างกายมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดใน อ.นาหม่อม 36.4 μ Sv ต่อปี ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเรเดียม-226 ออกจากน้ำบ่อตื้นนั้นการใช้ไส้กรองชนิดเรซินอัตราการกรอง 1.5 ลิตรต่อนาทีสามารถกำจัดเรเดียม-226 ได้ดีที่สุดถึง 99 %

คำสำคัญ : เรเดียม-226 โลหะหนัก ธาตุหลัก น้ำบ่อตื้น นาหม่อม สงขลา

ABSTRACT

Altogether 150 water samples were collected from shallow wells in Namom district, Songkhla province. Thirty nine representative samples were chemically analysed for pH, TDS, hardness, heavy metals and major elements (Ba, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Zn, Pb, Mg and Ca) and radiometric analysed for Ra-226. The result showed that the pH of water samples ranged 4.5 - 7.4 among with 64.1% of samples were not complied with the rural drinking water quality criteria B.E.2531. Heavy metals and major element concentrations in all samples were in compliance with the quality standards except for cadmium in 1 sample (0.0055 mg/l) and iron in 2 samples (0.77 and 0.59 mg/l). Results of multivariate factor analysis showed that three factors were extracted from 10 variables. Factor-1 including TDS, hardness, Mg and Ca were interpreted as a result of granite decomposition, Factor-2 included Ba and factor-3 was Fe. However we found that Ra-226 content in water samples have a good correlation with, TDS Ca and Mg contents.

Determination of Ra-226 in 150 water samples was performed using the co-precipitation of radium with barium sulfate and radiometric analysed using alpha spectrometer. The result showed that Ra-226 concentration in shallow well water in Namom district ranges 3.51 - 292.1 mBq/l. Log normal distribution of Ra-226 in well water samples of Namom district is well defined with the geometric mean of 50.7 mBq/l. The arithmetic means of Ra-226 concentration in water samples of the villages which exceeding the MCL (Maximum contaminate level, 111 mBq/l) level include (1) Ban Koktang Moo. 2, Pijit sub-districts, (2) Ban Tungkoh Moo.2, Namom sub-districts, (3) Ban Lancai Moo. 2, Tungkamin sub-districts, (4) Ban Tungpo Moo. 3, Tungkamin sub-districts, (5) Ban Maepea Moo.3, Klongrang sub-district (6) Ban Tonpling Moo.5, Klongrang sub-district. Annual equivalent dose averaged over all samples in Namom is equal to 10.4 μ Sv and dose for Moo. 5 Klongrang sub-district is highest at 36.4 μ Sv. Test removal of radium in water by cation exchange resin flow rate 1.5 l/min showed an efficiency of as high as 99%.

Keyword : Radium-226, Heavy metal, major element, shallow well water, Namom, Songkhla

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
บทคัดย่อ	(2)
Abstract	(3)
สารบัญ	(4)
รายการแผนภูมิ	(6)
รายการตาราง	(6)
รายการรูป	(6)
บทที่	
1. บทนำ	1
2. ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 ข้อมูลประชากรและข้อมูลทั่วไปในอำเภอนาหม่อม	4
จังหวัดสงขลา	
2.2 ลักษณะภูมิประเทศและธรณีวิทยา	4
2.3 โลหะหนักและธาตุหลักในน้ำบ่อตื้น	5
2.4 ข้อมูลงานวิจัยในอำเภอนาหม่อม ที่มีความสัมพันธ์กัน	7
2.5 การกำจัดความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำ	8
3. การดำเนินการวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง	10
3.2 รักษาสภาพตัวอย่าง และเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์	12
โลหะหนัก และธาตุหลัก	
3.3 สถิติสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ โลหะหนัก	13
ธาตุหลัก และเรเดียม-226	
3.4 เตรียมตัวอย่างสำหรับการวัดความเข้มข้นเรเดียม-226	14
3.4.1 ทฤษฎี	14
3.4.2 ปรับเทียบพลังงานของเครื่องมือวัด	17
3.4.3 คกตะกอนร่วมเรเดียม-226 โดยใช้ตัวพาเบเรียม	19
3.4.4 ปรับเทียบความแรงรังสีแอลฟาของเรเดียม-226	21

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4.5 ประสิทธิภาพการจับเรเดียม-226	23
3.4.6 ขีดจำกัดเครื่องมือวัดต่ำสุด(Lower limit of detection)	24
3.5 เก็บข้อมูลแบบสอบถาม	25
3.6 ประเมินปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับต่อปี	25
3.7 ประสิทธิภาพการกำจัดความเข้มข้นของเรเดียม-226	25
4. ผลการวิจัย	
4.1 ปริมาณความเข้มข้นของธาตุหลักและโลหะหนักในน้ำบ่อต้น	27
4.2 การกระจายของโลหะหนักและธาตุหลัก	27
4.3 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้น ใน อำเภอนาหม่อม	32
4.4 ปริมาณและการกระจายความเข้มข้นของเรเดียม-226	33
4.5 การกระจายของเรเดียม-226 ในอ.นาหม่อม และความสัมพันธ์กับ ธรณีวิทยาในพื้นที่	36
4.6 ความสัมพันธ์ของโลหะหนักธาตุหลัก และเรเดียม-226	37
4.7 ความสัมพันธ์ของเรเดียม-226 กับโลหะหนัก ธาตุหลัก และ TDS	40
4.8 ผลการสำรวจการใช้น้ำสำหรับบริโภค	41
4.9 ประเมินปริมาณเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับ	42
4.10 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเรเดียม-226	42
5. สรุปผล	44
บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก ก .แบบสำรวจการบริโภคน้ำดื่ม	50

รายการแผนภูมิ

แผนภูมิ	หน้า
3.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างโดยการตกตะกอนร่วมเรเดียม-226	20

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 จำนวนตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในแต่ละหมู่บ้าน	11
3.2 แสดง Channel พิกสูงสุดกับพลังงานของแต่ละนิวไคลด์	18
3.3 จำนวนนับรังสี	24
4.1 ความเข้มข้นของธาตุหลักและโลหะหนักในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นแยกเป็นตำบล	28
4.2 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้นและค่าปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับต่อปี	35
4.3 ค่าจากการคำนวณปัจจัยโดยสถิติพหุคูณ	39
4.4 ผลทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดเรเดียม-226	43

รายการรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนที่ธรณีวิทยา	5
2.2 แผนที่ความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูล ppmeU	7
3.1 จุดเก็บตัวอย่างบ่อน้ำตื้นทั้งหมด 150 จุด	10
3.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในอำเภอหนองมอมนำไปวิเคราะห์โลหะหนักธาตุหลัก และเรเดียม-226	13
3.3 อนุกรมกัมมันตรังสี	15
3.4 แสดงการลดลงของจำนวนอะตอมนิวไคลด์กัมมันตรังสีตามเวลา	16
3.5 แสดงระบบเครื่องมือวัดรังสีแอลฟา	17
3.6 สเปกตรัมรังสีแอลฟาจากสารมาตรฐานเรเดียม-226	18
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Channel กับพลังงานรังสีแอลฟา	18
3.8 สเปกตรัมรังสีแกมมาหลัง	21
3.9 สเปกตรัมสารมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรง 171 mBq	21

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 สเปกตรัมสารมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรง 366 mBq	22
3.11 สเปกตรัมสารมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรง 2476 mBq	22
3.12 กราฟเปรียบเทียบความแรงของเรเดียม-226	22
3.13 สเปกตรัมสารมาตรฐานเรเดียม 2476 mBq ตกตะกอนร่วมเป็น จำนวน 3 ครั้ง (a) ตกตะกอนครั้งที่ 1 (b) ตกตะกอนร่วมซ้ำเป็นครั้งที่ 2 (c) ตกตะกอนร่วมซ้ำเป็นครั้งที่ 3	24
3.14 (a) ชุดทดสอบประสิทธิภาพการกรอง (b) พงก้านกัมมันต์ (c) เรซิน	26
4.1 คอนทัวร์ความเข้มข้นของโลหะหนักและธาตุหลัก	31
4.2 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำดื่ม	32
4.3 การกระจายของข้อมูลเรเดียม-226 ตัวอย่างน้ำบ่อต้น เมื่อเปลี่ยนเป็นค่า Log	33
4.4 คอนทัวร์ความเข้มข้นของน้ำบ่อต้นใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา	37
4.5 ความเข้มข้นของเรเดียม-226 และปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด	40
4.6 (a) ความเข้มข้นเรเดียม-226 และ Ca (b) ความเข้มข้นของเรเดียม-226 และ Mg	40
4.7 เปรียบเทียบชนิดน้ำที่ใช้ในการบริโภค	41
4.8 เปรียบเทียบชนิดน้ำที่นำมาใช้ในการบริโภคแต่ละตำบล	41

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัดในการเกิดมะเร็งขึ้นในร่างกาย ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเกิดมะเร็ง เช่น การสูบบุหรี่ การดื่มเหล้า และการบริโภคอาหารที่มีสารก่อมะเร็งในร่างกาย ในชีวิตประจำวันมีส่วนสำคัญในการดำรงชีวิต การใช้น้ำบ่อตื้นเพื่อบริโภคเป็นที่นิยมในหมู่ประชาชนตลอดหลายสิบปีที่ผ่านมา หากน้ำที่นำมาบริโภคมีการปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดที่เป็นพิษมาบริโภคอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ของโรคมะเร็ง เช่น แคดเมียม (Cd) ก่อให้เกิดโรคมะเร็งปอดในมนุษย์ผ่านทางทางหายใจ และอาจเกี่ยวข้องเป็นสารก่อมะเร็งที่ต่อมลูกหมาก ไต และตับ โลหะหนักยังมีความเป็นพิษแม้จะได้รับเข้าไปในร่างกายเพียงเล็กน้อย นิกเกิล (Ni) จัดเป็นสารก่อมะเร็งปอดและมะเร็งโพรงจมูก การได้รับธาตุกัมมันตรังสีเรเดียม-226 เข้าสู่ร่างกายก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อเกิดมะเร็งในกระดูก มะเร็งโพรงจมูก มะเร็งไชนัส และมะเร็งในส่วนศีรษะ (Head carcinomas) (Mays and Rowland, 1985) เรเดียม-226 เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มีครึ่งชีวิต 1,600 ปี เรเดียม-226 เป็นสมาชิกในอนุกรมกัมมันตรังสียูเรเนียม-238 (U-238 series) โดยที่ ยูเรเนียม-238 สลายตัวแบบต่อเนื่องมาเป็น เรเดียม-226 แล้วจึงสลายตัวต่อเป็นกัมมันตรังสีเรดอน-222 (Rn-222) ที่มีครึ่งชีวิต 3.82 วัน ยูเรเนียม-238 สามารถพบได้ทั่วไปในวัสดุธรรมชาติ เช่น ในหิน ดิน ทราย แร่ และน้ำบาดาล เนื่องจาก ยูเรเนียม-238 มีความสามารถละลายน้ำได้ดี ทำให้มีการแพร่กระจายออกไปได้กว้างไกล

ข้อมูลโรคมะเร็ง ของหน่วยมะเร็ง คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533-2537 ในจังหวัดสงขลา พบว่ามีอุบัติการณ์ของการเกิดโรคมะเร็งหลอดอาหาร และมะเร็งในช่องปาก ของประชาชนในพื้นที่ อ.นาหม่อม จ.สงขลา มีค่าอุบัติการณ์มาตรฐานอายุ ASR (Age-Standardized incidence rates) เฉพาะในเพศชายเท่ากับ 24.8 และ 16.8 คนต่อประชากรแสนคนตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าสูงมากเมื่อเทียบกับอำเภออื่นๆ ค่า ASR ของมะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งในช่องปากที่รองลงมาคือ อำเภอกวนเนียงซึ่งมีค่า ASR เท่ากับ 11.9 และ 13.3 จะเห็นได้ว่าค่า ASR อันดับสูงสุดและอันดับรองลงมามีค่าที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (Tongsuksai *et al.*, 1997) พฤติกรรมการดื่มเหล้า สูบบุหรี่ กินหมาก กินยาเส้น ที่เชื่อกันว่าเป็นปัจจัยที่มีผลเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งในช่องปากของประชาชนในภาคใต้ของประเทศไทย (Prateepko, 1998) แต่ก็ยังไม่สามารถยืนยันสาเหตุของอุบัติการณ์มะเร็งที่มากผิดปกติในอำเภอนาหม่อม ได้ผลการวิจัยของ ไตรภพ และคณะ (2544) พบว่าน้ำบาดาลในอำเภอนาหม่อมบางแห่งมีปริมาณกัมมันตรังสีเรดอนสูงซึ่งกัมมันตรังสีเรดอนมาจากการสลายตัวของเรเดียม-226 ความเข้มข้นของกัมมันตรังสีเรดอนและ

อุบัติการณ์เกิดมะเร็งในช่องปากและหลอดอาหารในอำเภอนาหม่อม มีค่าไปในทิศทางที่สูงเหมือนกันเป็นไปได้ที่อาจมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน

จึงได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ของเรเดียม-226 โลหะหนักและธาตุหลัก การกระจายของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้น และประเมินปริมาณรังสีที่ประชาชนในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลาได้รับเข้าสู่ร่างกายต่อปี จากการบริโภคน้ำบ่อตื้น

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความสัมพันธ์ของเรเดียม-226 กับโลหะหนักและธาตุหลัก
2. หาปริมาณความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้น และการกระจายของเรเดียม-226 ในพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดเรเดียม-226 ออกจากน้ำบ่อตื้นที่ประชาชน ในอำเภอ นาหม่อมใช้บริโภค

คำถามการวิจัย

1. ความเข้มข้นของโลหะหนักหรือธาตุหลักในน้ำบ่อตื้นนั้นมีความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์มะเร็งในช่องปากและหลอดอาหารในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา หรือไม่
2. งานวิจัยการประเมินความเสี่ยงต่อเรดอนภายในและภายนอกอาคารในพื้นที่ชุมชน เขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา(ไทรภพ และคณะ 2544) อำเภอ นาหม่อม พบว่าความเข้มข้นของปริมาณก๊าซเรดอนในน้ำบาดาลจุดที่ความเข้มข้นสูงที่สุดอยู่ที่ อำเภอ นาหม่อม ซึ่งก๊าซเรดอนนั้นเกิดจากการสลายตัวของเรเดียม-226 อาจมีความเป็นไปได้ที่น้ำบ่อตื้นที่ประชาชนใน อำเภอ นาหม่อมใช้บริโภคนั้นมีการปนเปื้อนเรเดียม-226 ในปริมาณสูง
3. หากปริมาณความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้น อยู่ปริมาณสูงแล้วสามารถกำจัดได้อย่างไร

นิยามศัพท์

เรเดียม-226 เป็นธาตุกัมมันตรังสีอยู่ในอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238 ยูเรเนียม-238 สลายตัวแบบต่อเนื่องมาเป็นเรเดียม-226 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 1,600 ปี และสลายตัวต่อไปเป็นก๊าซเรดอน-222 ที่มีครึ่งชีวิต 3.82 วัน สลายตัวต่อไปจนให้ผลผลิตสุดท้ายเป็นตะกั่วซึ่งเป็นนิวไคลด์เสถียร

ขอบเขตการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาเฉพาะในน้ำบ่อตื้น ซึ่งมีใช้กันเกือบทุกครัวเรือนอีกทั้งยังเป็นแหล่งน้ำหลักที่ประชาชนชาวนาหม่อมใช้ในการบริโภค ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักและธาตุหลัก ว่ามีความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์การเกิดโรคมะเร็งช่องปากและหลอดอาหารหรือไม่ เก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้นที่ประชาชนใช้สำหรับการบริโภค ให้มีการกระจายไปทั้งขอบเขตในอำเภอ

นาหม่อม และการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้น จะดำเนินเก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้นจากบ้านที่เคยมีประวัติเข้ารับการรักษาโรคมะเร็งในช่องปากและหลอดอาหารที่ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และอีกส่วนหนึ่งจะสุ่มเก็บตัวอย่างให้กระจายทั่วทั้งอำเภอนาหม่อม

ระเบียบและวิธีการวิจัย

1. ศึกษาลักษณะพื้นที่ ทบพวนวรรณกรรม และกำหนดบริเวณที่จะทำการเก็บตัวอย่าง โดยกำหนดจากข้อมูลการวัดรังสีแกมมา และข้อมูลการเป็นมะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งในช่องปากใน อ.นาหม่อม
2. ออกแบบสอบถามสำหรับเก็บข้อมูลการใช้น้ำว่าประชาชนใช้แหล่งน้ำใดเป็นแหล่งน้ำหลักในการบริโภค
3. เก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้นจำนวน 39 ตัวอย่างส่งตรวจวิเคราะห์โลหะหนักและธาตุหลัก โดยใช้ ICP-AES
4. เก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้นจำนวน 150 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 10 ลิตรมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของปริมาณเรเดียม-226 โดยใช้เครื่องวัดแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์
5. วิเคราะห์ข้อมูลและประเมินปริมาณเรเดียม-226 ที่ประชาชนในอำเภอนาหม่อมได้รับต่อปีจากการบริโภคน้ำบ่อต้น
6. ศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดปริมาณเรเดียม-226 ด้วยเครื่องกรองน้ำแบบธรรมดา

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

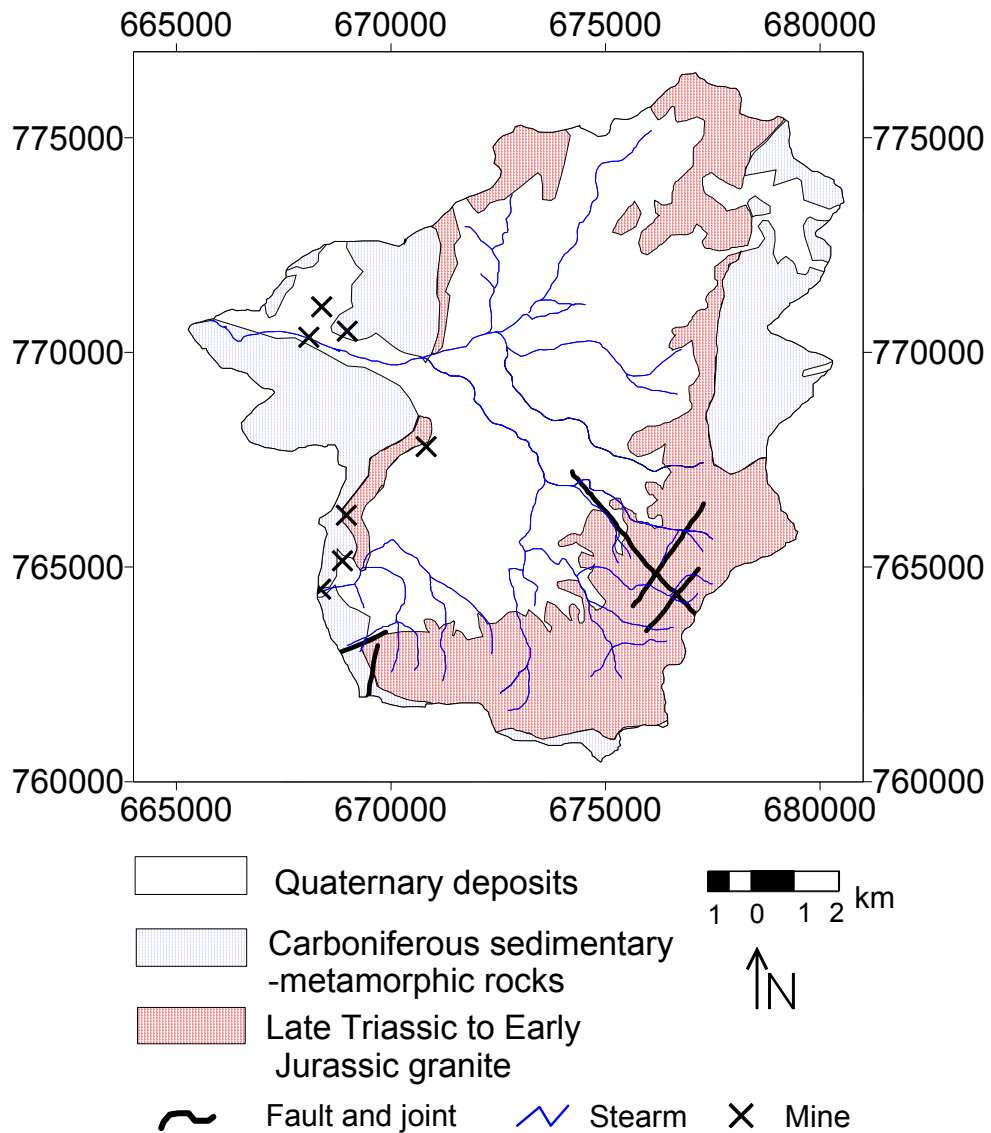
2.1 ข้อมูลประชากรและข้อมูลทั่วไปในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

อำเภอนาหม่อม แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 4 ตำบล ตำบลพิจิตร แบ่งออกเป็น 6 หมู่บ้าน 1,038 หลังคาเรือน มีประชากร 4,186 คน ตำบลนาหม่อม แบ่งออกเป็น 10 หมู่บ้าน 2,182 หลังคาเรือน มีประชากร 7,043 คน ตำบลทุ่งขมิ้น แบ่งออกเป็น 7 หมู่บ้าน 1,204 หลังคาเรือน มีประชากร 4,708 คน ตำบลคลองหรีด แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 6 หมู่บ้าน 929 หลังคาเรือน มีประชากร 3,940 คน (สำนักงานสถิติจังหวัดสงขลา, 2543)

2.2 ลักษณะภูมิประเทศ และ ธรณีวิทยา

อำเภอนาหม่อมอยู่ในเขต จังหวัดสงขลา ที่เส้นกริด 665000E-680000E และ 760000N-777000N ลักษณะภูมิประเทศประกอบด้วยที่ราบลุ่มบริเวณตอนกลางของพื้นที่ครอบคลุมอำเภอนาหม่อม และภูเขาล้อมรอบทั้งสี่ด้านซึ่งประกอบด้วยทางทิศเหนือมีเขาคอหงษ์ ควนตันไทร ควนหินปัก ควนใบพัด และควนโต๊ะไหม ทางทิศตะวันตกมีเขาคันหลาว ควนจง ควนรังแรง ควนอ่าวหมาก ควนขวาง และควนปายางซึ่งเป็นที่ตั้งของเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์อยู่ทางลาดเขาด้านทิศตะวันออก และเหมืองแร่ทุ่งขมิ้น อยู่ทางทิศเหนือมียอดสูงจากระดับน้ำทะเล 240 เมตร

ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยหินตะกอน หินแปร หินอัคนี ดิน ทราย และกรวดที่ยังไม่จับตัว หินตะกอนและหินแปรมีอายุประมาณต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัส ปลายยุคไทรแอสซิก หินอัคนีมีอายุประมาณปลายยุคไทรแอสซิกถึงต้นยุคจูแรสซิก ดิน ทราย กรวด สะสมตัวในยุคควอเทอร์นารี (รูปที่ 2.1) นอกจากนั้นยังพบว่าหินแกรนิตในเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์มีการแปรสภาพด้วย อิทธิพลของก๊าซและสารละลายร้อน (Pungrassami, 1984) โดยตรวจพบว่าแร่เฟลด์สปาร์เกิดการแปรสภาพไปเป็นแร่ดินขาว (Kaolin) หินแกรนิตที่นี้จึงมีลักษณะผุ ร่วน พรุณ ทำให้ธาตุโลหะในหินมีโอกาสถูกชะล้างละลายไปอยู่ในดิน และในน้ำได้ดินได้ง่าย สำหรับกรวดทรายท้องน้ำของยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) เกิดจากการผุพังของหินและสายแร่ในยุคก่อนแล้วสะสมอยู่ตามที่ราบลุ่มลำน้า ชั้นกรวดทรายมีความหนา 3 - 15 เมตร (Changlow, 2001) และหลายๆ บริเวณเป็นแหล่งลานแร่ดีบุก (Pungrassmi, 1984)



รูปที่ 2.1 แผนที่ธรณีวิทยา (ดัดแปลงมาจาก Pungrassami, 1984)

นอกจากนั้นยังมีรายงานการตรวจพบสินแร่กัมมันตรังสีสูงชนิดทอร์เบอร์ไนต์ (Torbernite สูตรเคมี $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8-12\text{H}_2\text{O}$) บริเวณเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์ แร่กัมมันตรังสีสูงนี้มีธาตุยูเรเนียม ประกอบอยู่ถึง 48 % โดยน้ำหนัก แร่ดังกล่าวจัดเป็นแร่ทุติยภูมิในหินแกรนิต โดยพบแร่ดังกล่าว แทรกอยู่ตามรอยแตกในหินแกรนิต สายควอตซ์ และหินแกรนิตควอร์ตไซต์ และพบมากใน หินแกรนิตผุ (Pungrassami, 1984)

2.3 โลหะหนักและธาตุหลักในน้ำป่อดิน

ของเสียอุตสาหกรรม ลักษณะโครงสร้างเคมีและการทำเหมืองแร่ จัดเป็นต้นกำเนิด สำคัญอันดับต้นๆ ของมลพิษโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม (Lee and Stuebing, 1990) เนื่องจากแร่มีค่า

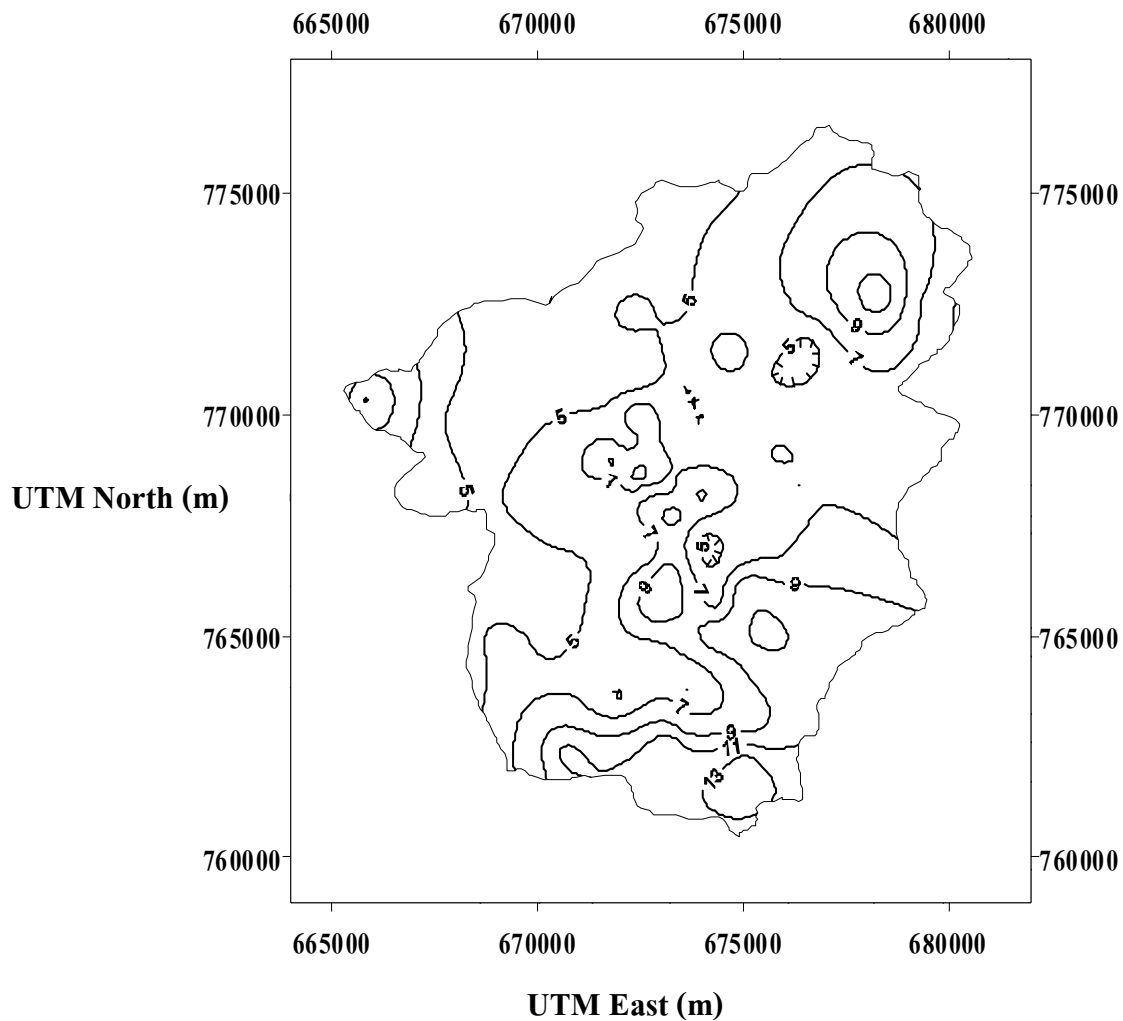
ส่วนใหญ่มีสารประกอบของธาตุโลหะหนักเข้มข้นเศษแร่ที่ค้างอยู่ในหางแร่ที่ติดค้างอยู่ในพื้นที่ ซึ่งในที่สุดก็จะไปปนเปื้อนดิน น้ำผิวดินและน้ำบาดาลก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และอาจเป็นพิษต่อมนุษย์ ความเข้มข้นมลพิษโลหะในน้ำมีความสัมพันธ์อย่างซับซ้อนกับกระบวนการทางกายภาพและชีวภาพ ได้แก่ ศักย์รีดอกซ์ ความแข็งแรงของอ็อกซิเดชันแต่ละชนิด ค่าพีเอช และกิจกรรมของตัวยัดจับอ็อกซิเจนทั้งชนิดอินทรีย์และอนินทรีย์ เป็นต้น (Larocque and Rasmussen, 1998)

ที่มาโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเกิดโดยธรรมชาติประการหนึ่ง อีกประการหนึ่งมาจากการกระทำของมนุษย์ (Anthropogenic) สาเหตุจากธรรมชาตินั้น เกิดจากการกัดเซาะ ชะล้าง ผุพังของหิน ดิน ที่มีแร่ธาตุเหล่านี้อยู่โดยทั่วไปแล้วโลหะเหล่านี้จะอยู่ในสภาวะสมดุลตามธรรมชาติ การทำเหมืองก็มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Ronald and Gorman, 1991) อันจะเกิดได้จากส่วนที่เหลือจากการทำเหมือง เนื่องจากการทำเหมืองจะมีการเปิดหน้าดิน ทำให้โลหะเสียสมดุลธรรมชาติ เกิดปฏิกิริยาทางเคมีการละลายของโลหะแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อม ในอดีตราวปี พ.ศ.2510 ได้มีการเปิดเหมืองแร่ดีบุกหลายแห่งใน อำเภอหนองมอม เช่น เหมืองแร่แม่น้ำน้อย เหมืองแร่ควนจง เหมืองแร่เทียนวิไลส เหมืองแร่ชินไต่บี่ เหมืองแร่คุณผลิน เหมืองแร่บ้านนา เหมืองแร่ทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น วิธีในการทำเหมืองมักจะต้องการเปิดหน้าดินซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สภาพดินเดิมและสภาพน้ำผิวดินมีการเปลี่ยนแปลงไป ในปัจจุบันเหมืองแร่เหล่านี้ได้หยุดกิจการทำเหมืองแล้วทั้งหมด

น้ำบ่อต้นเป็นแหล่งน้ำหลักในการอุปโภค หากปนเปื้อนจากโลหะหนักเช่น Cd, Cr, As และ Ni มากเกินไปก็จะทำให้ร่างกายได้รับอันตราย ซึ่งโลหะหนักดังกล่าว ทางสถาบันวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ หรือ International Agency for Research on Cancer (IARC) ได้จัดให้อยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็ง โครเมียมวาเลนซี 6 (Cr^{+6}) อาจก่อมะเร็งในปอดในมนุษย์ผ่านการหายใจ (Costa, 2003) แคดเมียมเป็นสารก่อมะเร็งปอดในมนุษย์ (Waalkes, 2000) และอาจเกี่ยวข้องเป็นสารก่อมะเร็งที่ต่อมลูกหมาก ไต และตับ (prostate, kidney and liver cancers) สำหรับนิเกิลจัดเป็นสารก่อมะเร็งปอดและมะเร็งโพรงจมูก (Kaspzak *et al.*, 2003) อีกทั้งยังมีรายงานว่า เรเดียม-226 ซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสีมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเป็นก่อมะเร็งในกระดูก มะเร็งโพรงจมูก มะเร็งไชนัส และมะเร็งในส่วนศีรษะ (Head carcinomas) (May and Rowland, 1985) และคุณสมบัติทางเคมีของเรเดียม Ca, Mg และ Sr ซึ่งเป็นธาตุในหมู่ 2 ได้แสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรงเชิงบวก (Sturchio *et al.*, 2001)

2.4 ข้อมูลงานวิจัยใน อำเภอนาหม่อมที่มีความสัมพันธ์กัน

ข้อมูลการเป็นมะเร็งจากหน่วยมะเร็ง คณะแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตั้งแต่ปี 2533-2537 ในจังหวัดสงขลานั้น พบว่ามะเร็งในหลอดทางเดินอาหาร (Esophagus) ของประชาชนในพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา มีค่าอุบัติการณ์มาตรฐานอายุ ASR ในเพศชาย สูงถึง 24.8 (Thongsuksai *et al.*, 1997) เชื่อกันว่าจะสัมพันธ์กับพฤติกรรมการดื่มเหล้า การสูบบุหรี่ การกินหมาก กินยาเส้น เป็นปัจจัยที่มีผลเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งในช่องปากของประชาชนในภาคใต้ของประเทศไทย (Prateepko, 1998) ซึ่งประชาชนในอำเภอนาหม่อมก็มีพฤติกรรมเช่นเดียวกับ อำเภออื่นในบริเวณใกล้เคียงแต่ก็มีค่า ASR สูงมากกว่าอำเภอใกล้เคียงอาจจะมีปัจจัยอื่นที่มามีเกี่ยวข้องมากกว่า พฤติกรรมการดื่มเหล้า การสูบบุหรี่ การกินหมาก กินยาเส้น



รูปที่ 2.2 แผนที่ความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูล ppmeU (สุกิจ อติพันธ์, ดัดต่อส่วนตัว)

จากรายงานการวิจัยการตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซเรดอนในน้ำบาดาล ในอำเภอนาหม่อม พบว่ามีค่าความเข้มข้นก๊าซเรดอน ในน้ำบาดาล ที่อำเภอนาหม่อมสูงกว่าอำเภออื่น ๆ ในจังหวัด สงขลา วัดค่าสูงสุดถึง 144.2 Bq/l (Bhongsuwan *et al.*, 2001) เมื่อหายใจเข้าไปก๊าซเรดอนจะทำการ สลายตัวปลดปล่อยอนุภาคแอลฟา ไปทำลายเนื้อเยื่อโดยรอบ ทำให้เนื้อเยื่อระคายเคืองก่อตัวเป็น สารก่อมะเร็ง (USEPA, 1993) ก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนมีกำเนิดมาจากไอโซโทป เรเดียม-226 ซึ่งมี ยูเรเนียม-238 เป็นไอโซโทปตั้งต้น ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการกำหนดขอบเขตของบริเวณที่มี รังสีภูมิหลังสูง โดยใช้เครื่องมือวัดรังสีแกมมาชนิดเคลื่อนที่ได้ใน อำเภอนาหม่อมมีความเข้มข้น ของยูเรเนียม-238 ในช่วง 8-11 ppmeU (รูปที่ 2.2) เมื่อเทียบกับแผนที่ธรณีวิทยา บริเวณ ดังกล่าวจะเป็นบริเวณที่ครอบคลุมไปด้วยชุดหินแกรนิต (สุกิจ อติพันธ์, คิดต่อส่วนตัว) ผลจาก ข้อมูลการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีทางอากาศ (กรมทรัพยากรธรณี, 2532) พบว่าในอำเภอนาหม่อม มีบางพื้นที่ที่มีค่ายูเรเนียมผิวดินสูงถึง 8-12 ppmeU การตรวจวัดความเข้มข้นยูเรเนียมของหินแกรนิต ในจังหวัดสงขลา พัทลุง ปัตตานี (สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล, 2537) พบว่าความเข้มข้นยูเรเนียมใน หินแกรนิตจังหวัดสงขลามีค่าสูงถึง 18 ppmeU ซึ่งสูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยยูเรเนียมในประเทศไทย (Thailand average, 2.21 ppmeU; กรมทรัพยากรธรณี, 2532) และความเข้มข้นเฉลี่ยของยูเรเนียมใน หินแกรนิตของโลก (world average, 4.8 ppmeU; Faure, 1986) เมื่อพิจารณาลักษณะทางธรณีวิทยา ของ อำเภอนาหม่อม ที่มีแนวหินแกรนิตดันเข้าไปในหินทราย และหินดินดาน ทำให้เกิดหินแปรใน แนวสัมผัส (Pungrassami, 1984) ซึ่งหินแกรนิตจะมีปริมาณยูเรเนียมและเรเดียมที่ปะปนอยู่ในชั้น หินและดินสูง อีกทั้งใน อำเภอนาหม่อมยังมีรายงานการตรวจพบแร่เทอร์เบอไรต์ (Pungrassami, 1984) ซึ่งมีส่วนประกอบของธาตุยูเรเนียมสูงถึง 48 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

จากหลายงานวิจัยข้างต้นทำให้ความชัดเจนถึงการมีอยู่ของธาตุยูเรเนียม-238 ในอำเภอนา หม่อม ซึ่งเป็นไอโซโทปตั้งต้นของเรเดียม-226 เมื่อในกระบวนการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินจะมีการ ละลายสารประกอบบางชนิดในน้ำออกมา (Lucas and Ilcewiz, 1985) ซึ่งเรเดียม-226 มี คุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ดีอยู่แล้ว ก็จะถูกชะล้างออกมาตามธรรมชาติ เมื่อนำน้ำใต้ดินที่มีการ ปะปนเปื้อนของเรเดียม-226 มาบริโภค ทำให้เรเดียมสะสมในร่างกายจัดเป็นสารก่อมะเร็งในกระดู กมะเร็งโพรงจมูก มะเร็งไชนัส และมะเร็งในส่วนศีรษะ (Head carcinomas)

2.5 การกำจัดความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำ

เรเดียมมีสมบัติทางเคมีที่เป็นค่าไม่สลายตัวเป็นสารประกอบเมื่อผสมรวมกับน้ำ ทำให้ สามารถแยกเรเดียมออกจากน้ำได้ (Clifford *et al.*, 1998) และเรเดียมยังมีคุณสมบัติทางเคมีอยู่ใน กลุ่มธาตุหมู่ 2 ซึ่งเป็นธาตุที่มีประจุจึงสามารถจับเรเดียมด้วยการกรองวิธีแลกเปลี่ยนไอออน Cothorn

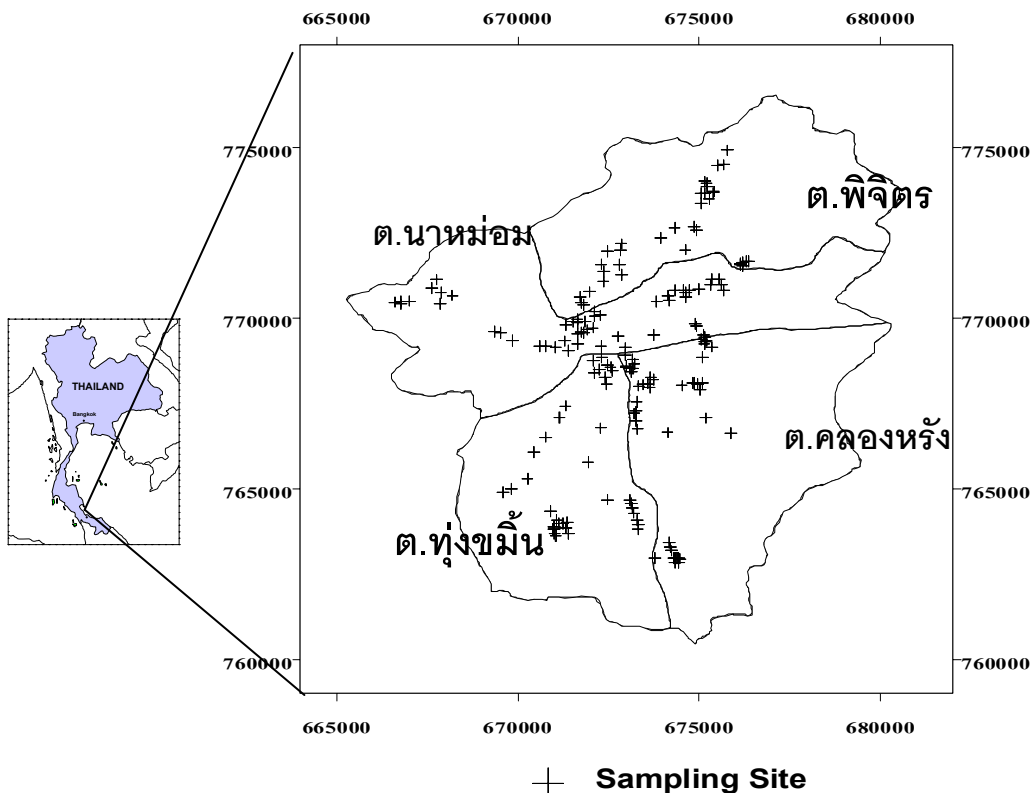
และ Reber (1991) รายงานการกรองเรเดียด้วยวิธีแลกเปลี่ยนไอออนมีประสิทธิภาพการกรองเรเดียได้ถึง 80 – 98 % ส่วนการกรองด้วยเทคนิคออสโมซิสผันกลับ(Reverse Osmosis) สามารถกรองเรเดียด้วยประสิทธิภาพสูงถึง 96 % ซึ่งหากมีเรเดียในน้ำบ่อตื้นในอำเภอนาหม่อมในปริมาณสูงก็อาจทำเครื่องกรองน้ำอย่างง่าย มาเพื่อกำจัดเรเดียได้

จากหลายงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นทำให้มีข้อมูลมากพอที่เชื่อว่าในพื้นที่ อำเภอนาหม่อมนี้อาจมีการปนเปื้อนของเรเดีย-226 อยู่ในน้ำบ่อตื้นในปริมาณที่ค่อนข้างสูง และยังมีความสัมพันธ์ที่อาจเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์เกิดโรคมะเร็งในช่องปากและหลอดอาหาร

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

ได้ประสานกับหน่วยทะเบียนมะเร็ง โรงพยาบาลสงขลาครินทร์ เพื่อตรวจสอบข้อมูลการเข้ารับการรักษา โรคมะเร็งในหลอดอาหารและมะเร็งช่องปากของประชากรในพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ในปี พ.ศ. 2532 – 2545 พิจารณาการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อดินออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเก็บตัวอย่างจากครัวเรือนที่มีประวัติการเข้ารับการรักษาโรคมะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งช่องปาก สามารถตามเก็บตัวอย่างในกลุ่มนี้ได้เป็นจำนวน 39 ตัวอย่าง กลุ่มที่สองสุ่มเก็บตัวอย่างจากบ่อน้ำดินที่ประชาชนใช้บริโภคในครัวเรือน โดยกระจายไปทั่วทั้งในอำเภอนาหม่อมซึ่งจะเก็บตัวอย่างทุกหมู่บ้าน จำนวนตัวอย่างที่จะสุ่มเก็บนั้นจะพิจารณาจากจำนวนครัวเรือนในแต่ละหมู่บ้าน ประกอบกับแผนที่ความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูลของอำเภอนาหม่อม (รูปที่ 2.2) สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำบ่อดินเป็นจำนวน 131 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 150 ตัวอย่าง (รูปที่ 3.1) กระจายครอบคลุมทั้งพื้นที่ อำเภอนาหม่อม ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อดินช่วงเดือน เมษายน – พฤษภาคม พ.ศ.2546 จำนวนตัวอย่างน้ำบ่อดินที่เก็บในแต่ละหมู่บ้านแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 จุดเก็บตัวอย่างบ่อน้ำดินทั้งหมด 150 จุด

ตารางที่ 3.1 จำนวนตัวอย่างน้ำปัสสาวะในแต่ละหมู่บ้าน

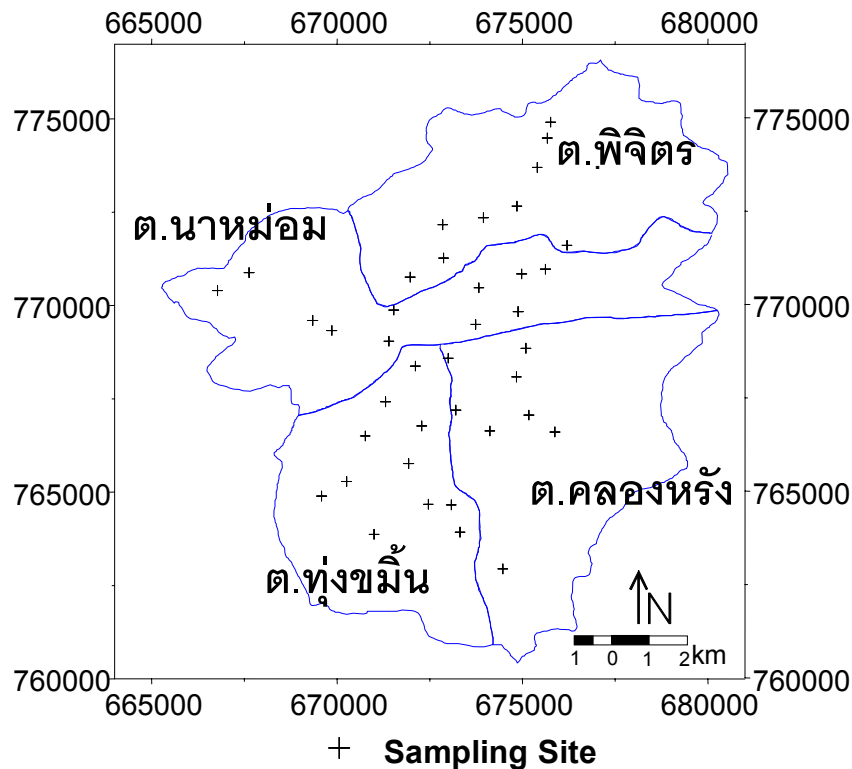
ตำบล	หมู่บ้าน	จำนวนตัวอย่างที่มี ข้อมูลประวัติเข้ารับ การรักษาโรคมาเร็ง	จำนวนตัวอย่าง ที่สุ่มเก็บกระจาย ทั้งอำเภอ
พิจิตร	หมู่ที่ 1 บ้านเนินพิจิตร	5	5
	หมู่ที่ 2 บ้านโคกทั้ง	2	3
	หมู่ที่ 3 บ้านโคกพะยอม	1	4
	หมู่ที่ 4 บ้านพลีควาย	1	3
	หมู่ที่ 5 บ้านทุ่งนาหวาน	1	3
	หมู่ที่ 6 บ้านคลองม่วงตก	2	3
นาหม่อม	หมู่ที่ 1 บ้านทุ่งโตนด	1	4
	หมู่ที่ 2 บ้านทุ่งค้อ	2	6
	หมู่ที่ 3 บ้านพรุเมา	-	3
	หมู่ที่ 4 บ้านควนจง	3	6
	หมู่ที่ 5 บ้านนาม่วง	-	9
	หมู่ที่ 6 บ้านโน	1	2
	หมู่ที่ 7 บ้านชาวนา	-	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 บ้านแม่เปียะ	-	5
	หมู่ที่ 3 บ้านแม่เปียะ	1	6
	หมู่ที่ 4 บ้านแซะ	4	3
	หมู่ที่ 5 บ้านตันปริง	1	1
	หมู่ที่ 6 บ้านปลักทิง	1	4

3.2 รักษาสภาพตัวอย่าง และเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ โลหะหนัก และธาตุหลัก

ในขณะที่เก็บตัวอย่างน้ำบ่อนั้น จะบันทึกข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์ของบ่อน้ำที่เก็บตัวอย่าง ด้วยเครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (Trimble Navigator, Basic Plus, USA) วัดค่าพีเอช (pH, Eutech Instruments รุ่น pHScan1) และปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) (Eutech Instruments รุ่น TDSscan1) เก็บตัวอย่างน้ำตัวอย่างละ 11 ลิตร บรรจุในขวดโพลีเอทิลีนที่ล้างสะอาด ด้วยน้ำกลั่น ก่อนที่จะปรับและรักษาสภาพน้ำตัวอย่างด้วยการเติมกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 15 มล. ต่อปริมาตรน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร (APHA, 1998) แยกตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกจำนวน 1 ลิตรนำไปตรวจวิเคราะห์โลหะหนัก และธาตุหลัก อีกกลุ่มหนึ่งจำนวน 10 ลิตร นำไปวิเคราะห์เรเดียม-226

คัดเลือกตัวอย่างที่เก็บจากกลุ่มประชากรที่มีประวัติการเป็นมะเร็งในช่องปาก และหลอดอาหารจำนวน 20 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่สุ่มเก็บจำนวน 19 ตัวอย่าง ตัวอย่างทั้งหมด 39 ตัวอย่าง กระจายไปทั้งอำเภอหนองหม่อม (รูปที่ 3.2) นำตัวอย่างน้ำบ่อนั้นดังกล่าวไปตรวจวิเคราะห์โลหะหนัก และธาตุหลัก กรองตะกอนแขวนลอยที่ติดมากับตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรองชนิดใยแก้ว (Whatman, GF/F) เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ก่อนส่งวิเคราะห์หาความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักด้วยเครื่อง ICP-AES (Perkin Elmer รุ่น 4300 DV) จำนวน 11 ธาตุ ประกอบด้วย Mg, Ca, Ba, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Zn และ Pb



รูปที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้นในอำเภอนาหม่อม นำไปวิเคราะห์โลหะหนักและธาตุหลัก

3.3 สถิติสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โลหะหนัก ธาตุหลัก และเรเดียม-226

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

การวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักทั้งหมด 11 ธาตุ (11 ตัวแปร) รวมทั้งค่าพีเอช ค่าปริมาณสารละลายทั้งหมด (TDS) และค่าความกระด้าง ในตัวอย่างน้ำบ่อต้นจากตำแหน่งบ่อเก็บตัวอย่างทั้งหมด 39 ตำแหน่ง ทำให้ข้อมูลที่จะวิเคราะห์มีขนาดใหญ่และซับซ้อน จึงเลือกใช้เทคนิคสถิติพหุคูณ (Multivariate) ในการรวบรวม แยกกลุ่ม และแปลความหมายอย่างมีนัยสำคัญ ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในสถิติพหุคูณเพื่ออธิบายความหมายระหว่างตัวแปร (ความเข้มข้นของธาตุและสมบัติเคมีอื่นๆ) ที่มีความสัมพันธ์กัน โดยคำนวณค่าน้ำหนักปัจจัย (Factor loading) ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่ม การวิเคราะห์ปัจจัยเป็นเทคนิคการจำแนกกลุ่มของตัวแปร (Davis, 1973) เพื่อที่จะลดจำนวนตัวแปรลงเป็นปัจจัย ซึ่งตัวแปรที่อยู่ในปัจจัยเดียวกัน จะมีความสัมพันธ์และอยู่ในทิศทางเดียวกัน (มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นบวก) หรือตรงข้ามกัน (มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นลบ) และใช้เทคนิควิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component analysis, PCA) ในการแยก

ปัจจัย ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากในการพยากรณ์แบบจำลองคณิตศาสตร์ทางเคมีจากข้อมูลสมบัติทางเคมีของวัสดุตัวอย่าง (Chemometrics) เพื่อใช้ในการค้นหาความสัมพันธ์ร่วมระหว่างตัวแปรว่าไอออนเชิงไปในทิศทางใด (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) ในการศึกษาใช้ค่าความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำ ความกระด้าง ค่าพีเอช และค่าปริมาณสารละลายทั้งหมด จัดกลุ่มของแต่ละตัวอย่าง โดยตัวอย่างในกลุ่มเดียวกันจะมีความคล้ายคลึงกันสูง (higher similarity) และกลุ่มที่แยกจากกันจะมีความต่างกัน โดยใช้หลักการรวมกลุ่มของ Ward (Ward's Method) ซึ่งแสดงการเชื่อมโยงกลุ่มโดยอาศัยระยะห่างยูคลิด (Euclidean distance; Reghunath, *et al.*, 2002)

3.4 เตรียมตัวอย่างสำหรับการวัดความเข้มข้นเรเดียม-226

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

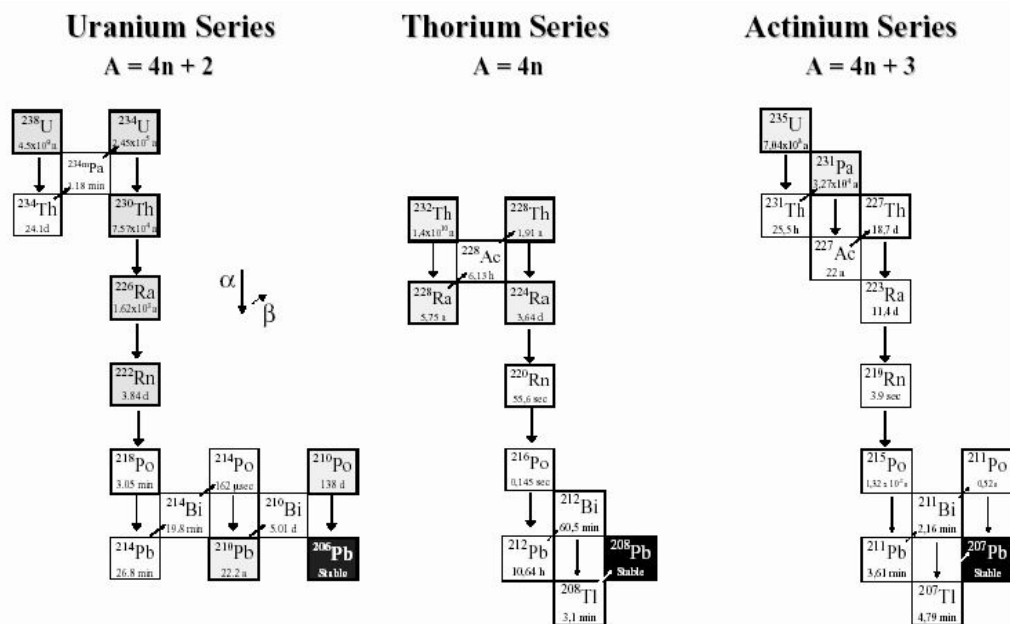
3.4.1 ทฤษฎี

1. อนุกรมกัมมันตรังสี

เมื่อนิวเคลียสกัมมันตรังสีที่เป็นต้นกำเนิดรังสีมีการสลายตัวอย่างต่อเนื่องจนได้นิวเคลียสสุดท้าย การสลายตัวเป็นลำดับ นี้เรียกว่า “อนุกรมกัมมันตรังสี” (radioactivity series) อนุกรมกัมมันตรังสีในธรรมชาติมี 4 อนุกรม แต่ละอนุกรมมีการสลายตัวตามลักษณะเฉพาะของอนุกรม อนุกรมทั้งสี่มีดังนี้

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

เมื่อ n คือจำนวนเต็มบวก จากรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าอนุกรมเนปทูเนียม มีครึ่งชีวิตสั้นที่สุด ส่วนอีกสามอนุกรมทอเรียม อนุกรมยูเรเนียม อนุกรมแอคทิเนียม มีครึ่งชีวิตที่ยาวนานมาก ในสามอนุกรมมีคุณสมบัติที่คล้ายกันคือ มีครึ่งชีวิตที่ยาวนานนิวไคลด์สุดท้ายสลายตัวให้ตะกั่วเหมือนกัน แต่ต่างไอโซโทปกัน ในทุกอนุกรมจะมีแก๊สเฉื่อยเกิดขึ้นที่เลขอะตอม 86



รูปที่ 3.3 อนุกรมกัมมันตรังสี

2. กฎการสลายตัวของนิวไคลด์

นิวเคลียสของนิวไคลด์กัมมันตรังสี จะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ และมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปกัมมันตรังสีชนิดต่างๆ เช่น แกมมา, แอลฟา, บีตา นั้น เรียกว่า “การสลาย (decay) นิวเคลียสที่เริ่มต้นเรียกว่า นิวเคลียสแม่ (parent) ” และนิวเคลียสใหม่ที่เกิดขึ้นเรียกว่า “นิวเคลียสลูก” (daughter) การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีนั้น อัตราการ

สลายตัวจะแปรผันตามกับจำนวนนิวเคลียสหรืออะตอมที่มีอยู่เดิมในขณะนั้น ถ้า N เป็นจำนวนอะตอมที่มีอยู่ ณ ขณะใดขณะหนึ่ง อัตราการสลายคือ

$$-\frac{dN}{dt} \propto N$$

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ λN เป็นอัตราการสลายตัวในแต่ละเวลา ทำการอินทิเกรต สมการ (1)

$$-\int \frac{dN}{N} = \lambda \int dt$$

ผลที่ได้เป็น

$$-\ln N = \lambda t + C \quad \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ $\ln N$ เป็นลอการิทึมฐาน e ของ N และ C เป็นค่าคงที่ของการอินทิเกรต เมื่อกำหนดค่าจาก $N = N_0$ เมื่อ $t = 0$ ดังนั้น

$$C = -\ln N_0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

แทนค่าสมการที่ (2) ลงไปในสมการ (3)

$$-\ln N = \lambda t - \ln N_0$$

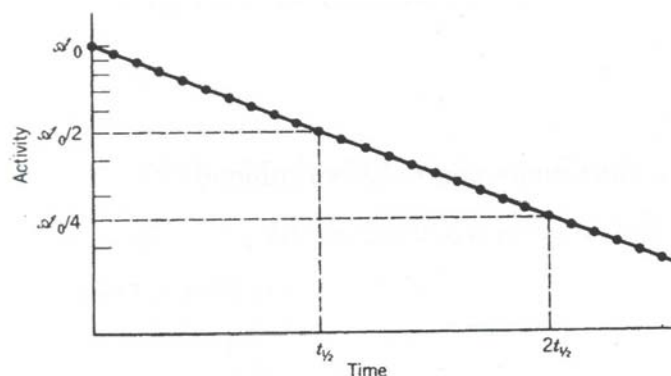
$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots(4)$$

สมการที่ (4) เรียกว่า “กฎการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสี (law of radioactive decay)”



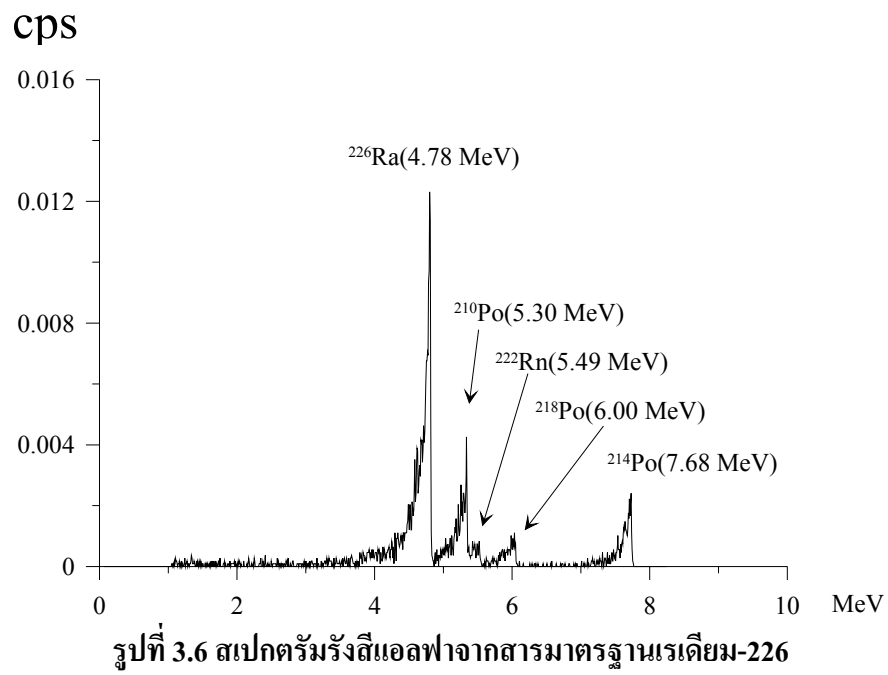
รูปที่ 3.4 แสดงการลดลงของจำนวนอะตอมนิวไคลด์กัมมันตรังสีตามเวลา

3.4.2 ปรับเทียบพลังงานของเครื่องมือวัด

งานวิจัยนี้วัดรังสีแอลฟาจากแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ (Alpha Spectrometer) เป็นระบบเครื่องมือวัดที่ดีที่สุดแบบหนึ่งที่น่าสนใจที่สุดในการวัดกัมมันตภาพรังสีของเรเดียม-226 สามารถวัดพลังงานรังสีแอลฟาของเรเดียม-226 ได้โดยตรง ซึ่งจะต้องทำการวัดวัดภายใต้ระบบสุญญากาศ (Lawire, 2000) เครื่องแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้ยี่ห้อ Canberra รุ่น 4701 หัววัดเป็นแบบ PIPS ขนาด active area 450 mm^2 ตัวอย่างน้ำบ่อต้นในธรรมชาติในงานวิจัยนี้มีปริมาณรังสีค่อนข้างน้อย จึงทำให้ค่า dead time ของหัววัดไม่มากนักในการวัดตัวอย่างน้ำบ่อต้นทั้งหมด 150 ตัวอย่างในงานวิจัยนี้ dead time มีค่าอยู่ในช่วง 0.00-0.05 % แอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ต่อเข้ากับ ADC ยี่ห้อ Canberra รุ่น S35 plus (รูปที่ 3.5) เพื่อแยกแยะพลังงาน ได้ใช้สารมาตรฐานเรเดียม-226 ขององค์การพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA, The International Atomic Energy Agency) วัดสเปกตรัมรังสีแอลฟา (รูปที่ 3.6) สำหรับปรับเทียบพลังงาน และนำไปเทียบเคียงสเปกตรัมมาตรฐานเรเดียม-226 ว่าพีกสูงสุดเป็นของนิวไคลด์ชนิดใดบันทึก channel ที่พีกสูงสุดได้แสดงข้อมูลในตาราง 3.2 นำค่าพลังงานไปพล็อตกราฟ (รูปที่ 3.7) เพื่อหา Resolution ของระบบแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถแยกแยะพลังงานได้ 8.02 keV ต่อ channel

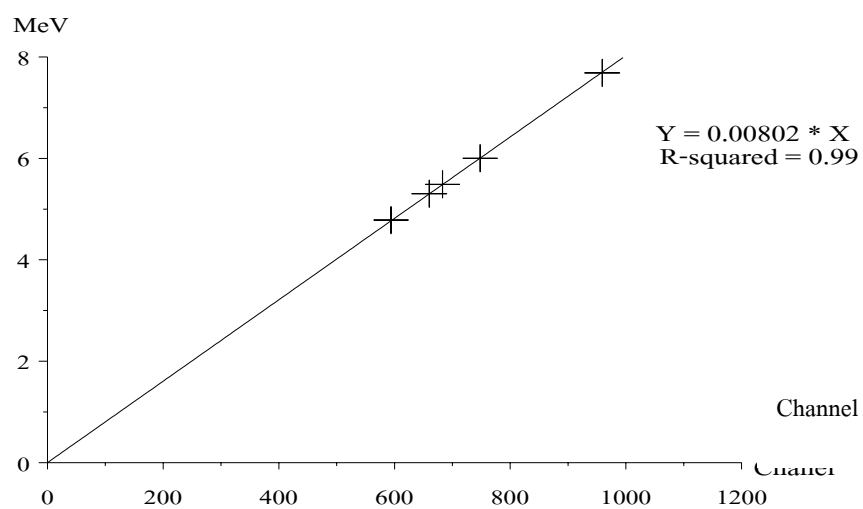


รูปที่ 3.5 แสดงระบบเครื่องมือวัดรังสีแอลฟา



ตาราง 3.2 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



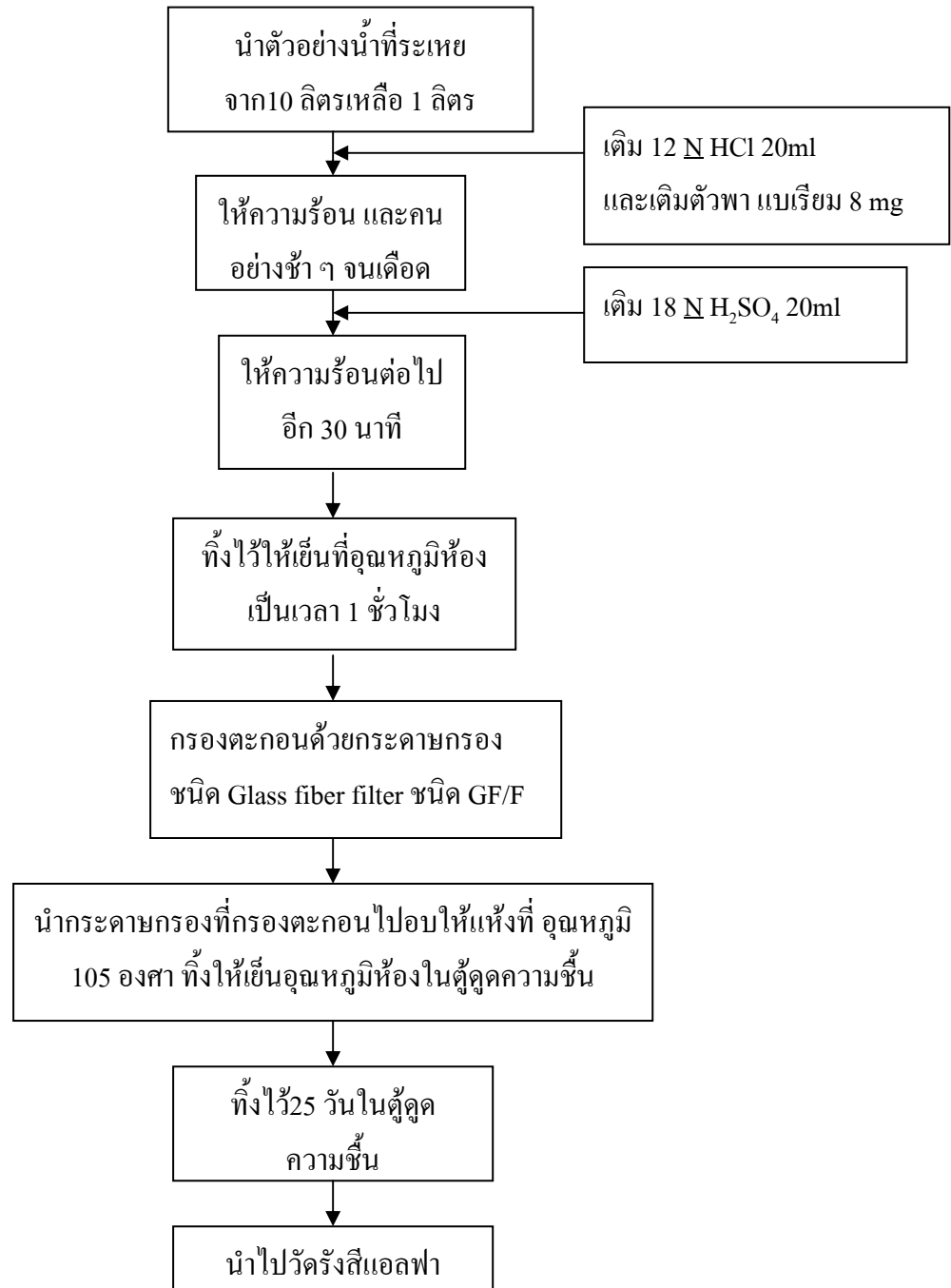
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Channel กับพลังงานรังสีแอลฟา

3.4.3 ตกตะกอนร่วมเรเดียม-226 โดยใช้ ตัวพาแบเรียม

ตัวอย่างน้ำบ่อตื้นที่รักษาสภาพไว้ 150 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 10 ลิตรนั้นได้ใช้ความร้อนระเหยให้เหลือปริมาตร 1 ลิตร อุปกรณ์ที่ใช้ในการระเหยตัวอย่างนี้เป็นอุปกรณ์ชนิดที่มีการเคลือบ Teflon เพื่อไม่ให้เกิดการซึมผ่านของโลหะหนักและเรเดียม-226 ไปสู่ภาชนะ เนื่องจากน้ำใต้ดินในธรรมชาติมีปริมาณเรเดียม-226 อยู่เป็นปริมาณน้อยจึงต้องนำตัวอย่างน้ำบ่อตื้นมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นปริมาณมาก เพื่อให้ปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นมีค่ามากกว่าขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่องมือวัด (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 3.66 วัน สลายตัวหมดไป ส่วนเรเดียม-228 สลายตัวให้รังสีบีตาไม่มีผลกระทบกับหัววัดชนิด PIPS รุ่นที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้เนื่องจากหัววัดรุ่นนี้สามารถวัดได้เฉพาะรังสีแอลฟา

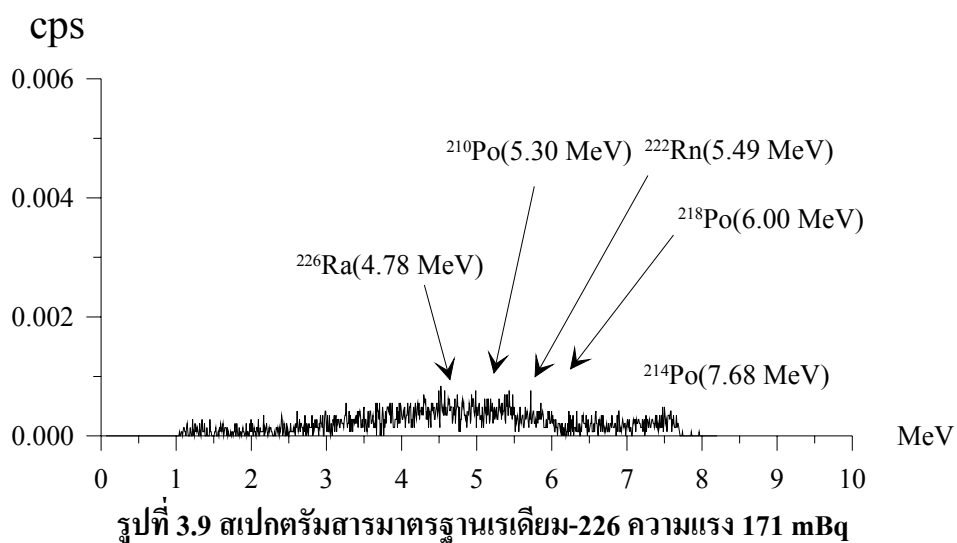
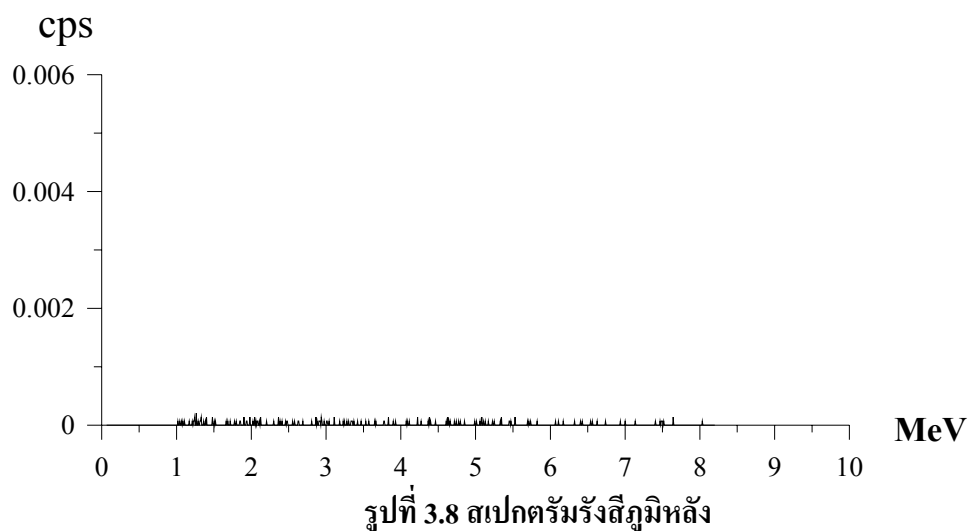
นำตะกอนที่เตรียมได้ซึ่งติดอยู่ในกระต่ายกรอง ไปวัดรังสีแอลฟาและนับค่าจำนวนนับรังสีต่อวินาที (cps) เฉพาะพีคของเรเดียม-226 ไปเทียบกับกราฟเปรียบเทียบความแรงของเรเดียม-226 (รูปที่ 3.12) ซึ่งค่าปริมาณรังสีที่ได้ที่ได้นั้นจะเป็นความแรงเรเดียม-226 ในปริมาณน้ำตัวอย่าง 10 ลิตร จึงต้องมาแปลงให้เหลือความแรงรังสีของเรเดียม-226 ต่อปริมาณน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร ตัวอย่างเช่น เมื่อนำจำนวนนับรังสีต่อวินาที (cps) ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานได้ความแรง 205 mBq จากตัวอย่างน้ำ 10 ลิตร ถ้าในน้ำ 1 ลิตร จะมีความแรง = $205/10$ mBq/l นั่นก็คือ 20.5 mBq/l วิธีการเตรียมตัวอย่างนั้นได้แสดงเป็นลำดับขั้นตอนในแผนภูมิ ที่ 3.1

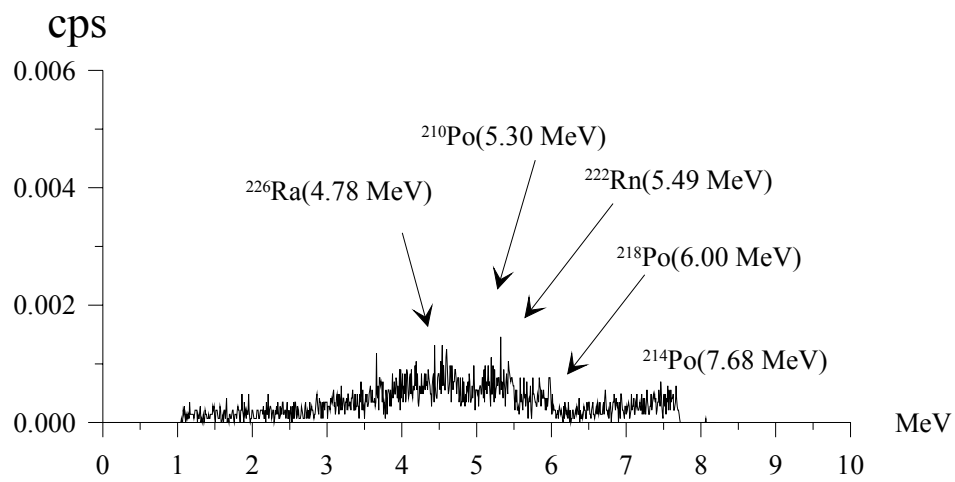
แผนภูมิ 3.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างโดยการตกตะกอนร่วมเรเดียม-226



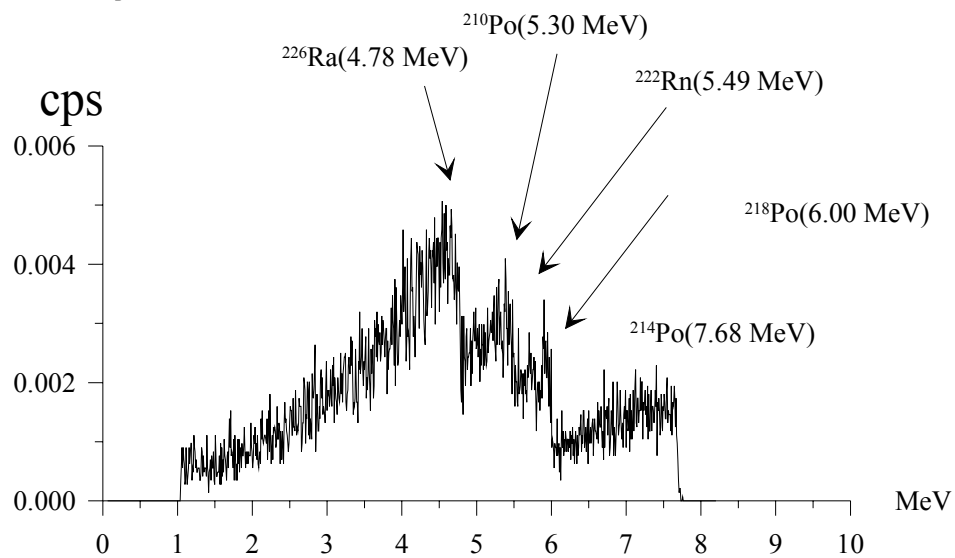
3.4.4 เปรียบเทียบความแรงรังสีแอลฟาของเรเดียม-226

ในการหาประสิทธิภาพของระบบวัดรังสีแอลฟาได้ใช้สารอ้างอิง ขององค์การพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ สำหรับเปรียบเทียบค่าจำนวนนับรังสีกับค่าความแรงรังสีแอลฟา โดยใช้สารอ้างอิงมาตรฐาน IAEA-313, IAEA-314 และ IAEA RGU-1 ที่มีความแรงรังสีของเรเดียม-226 เท่ากับ 171 mBq, 366 mBq และ 2476 mBq ตามลำดับ นำสารมาตรฐานมาตกตะกอนร่วมด้วยแบบเรียบตามวิธีการในหัวข้อที่ 2 แล้วนำไปวัดด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟา ได้สเปกตรัมตามรูปที่ 3.9, 3.10, 3.9 ใช้เวลาวัดรังสี 4 ชั่วโมง นำไปหักล้างรังสีภูมิหลัง (รูปที่ 3.8) คำนวณอัตรานับรังสีของสเปกตรัมเรเดียม-226 แล้วพล็อตกราฟเปรียบเทียบมาตรฐานโดย (รูปที่ 3.12) ระหว่างค่าจำนวนนับต่อวินาที (cps) กับค่าความแรงรังสีของเรเดียม-226 ของสารมาตรฐาน (Bq) กราฟที่ได้นี้จะนำไปเป็นกราฟมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบความแรงของเรเดียม-226 จากตัวอย่างน้ำบ่อต้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งค่าประสิทธิภาพของระบบวัดมีค่า 37 %

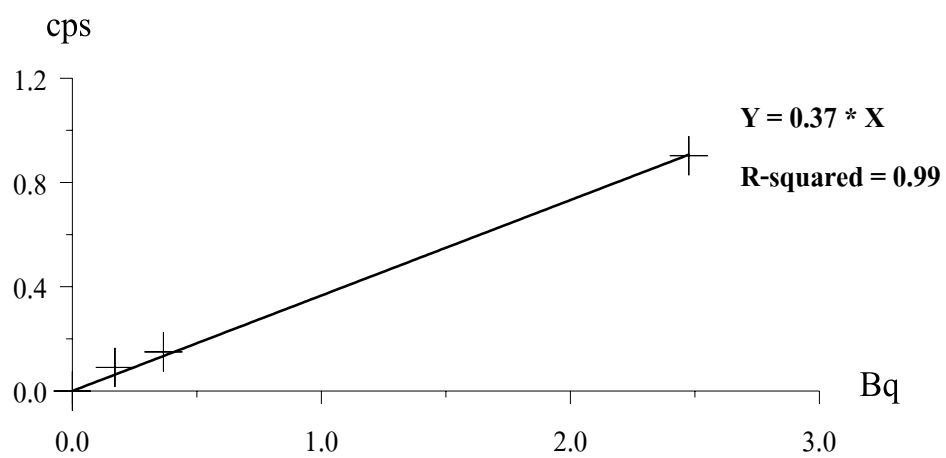




รูปที่ 3.10 สเปกตรัมสารมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรง 366 mBq



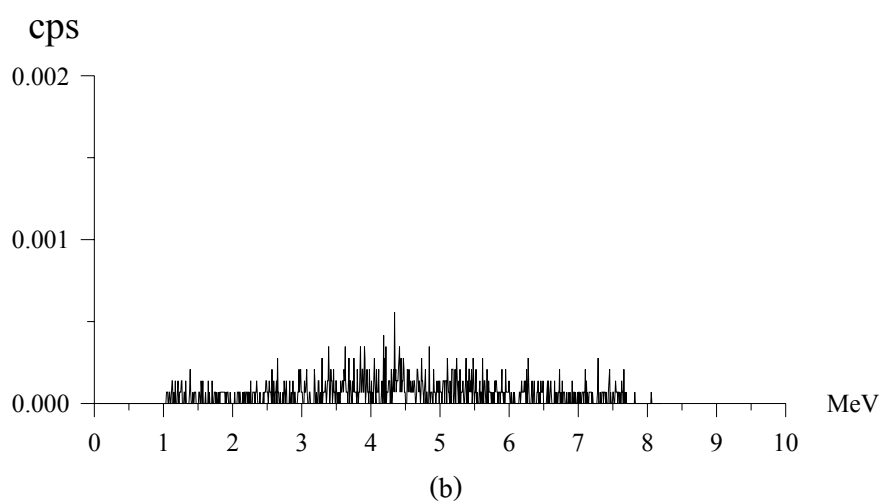
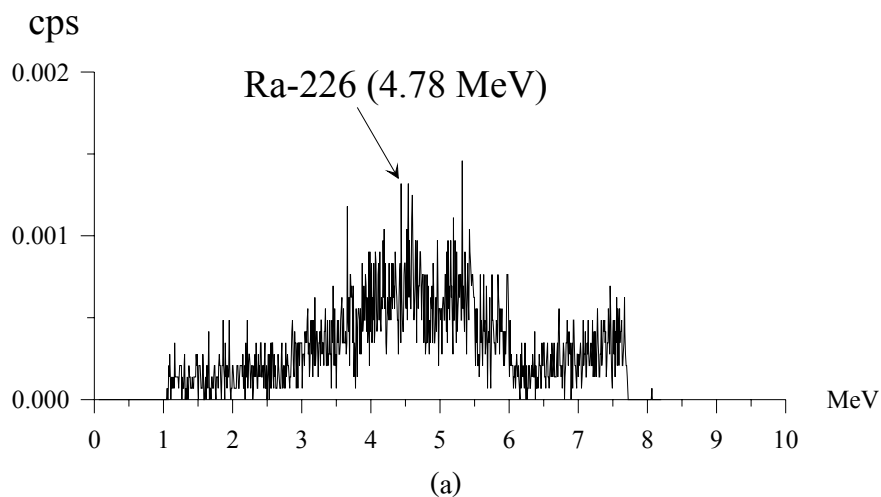
รูปที่ 3.11 สเปกตรัมสารมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรง 2476 mBq

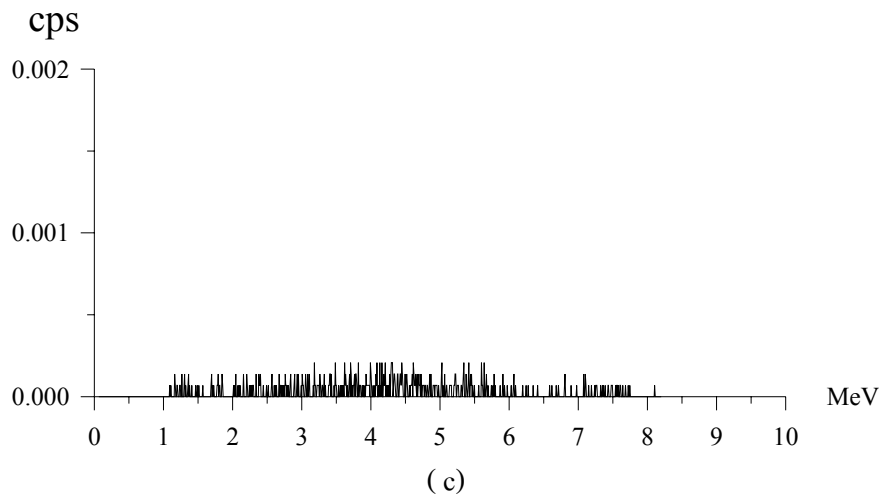


รูปที่ 3.12 กราฟเปรียบเทียบความแรงของเรเดียม-226

3.4.5 ประสิทธิภาพการจับเรเดียม-226

ได้นำสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรง 470.9 mBq ตกตะกอนร่วมโดยใช้ตัวพาแบเรียม 8 mg แล้วนำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการตกตะกอนแล้ว (ครั้งที่ 1) มาตกตะกอนซ้ำด้วยปริมาณตัวพาแบเรียม 8 mg เหมือนเดิม โดยการตกตะกอนซ้ำจำนวน 3 ครั้ง แล้วทิ้งตัวอย่างตะกอนให้อยู่ในภาวะสมดุลรังสีแล้วนำไปวัดสเปกตรัมรังสีแอลฟา (รูปที่ 3.13) นับจำนวนนับรังสีแอลฟา (count) เฉพาะยอดพลังงานของเรเดียม-226 และหักลบรังสีภูมิหลังตัวอย่างตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนร่วมซ้ำครั้งที่ 2 และ 3 จะมีจำนวนนับรังสีแอลฟาน้อยลงจนใกล้เคียงกับรังสีภูมิหลัง เมื่อนำจำนวนนับรังสีมาหาประสิทธิภาพการจับเรเดียมโดยวิธีการตกตะกอนร่วม พบว่าการตกตะกอนร่วมครั้งเดียวสามารถที่จะจับเรเดียมในน้ำตัวอย่างได้ถึงร้อยละ 98.7





รูปที่ 3.13 สเปกตรัมสารมาตรฐานเรเดียม 2476 mBq ตกตะกอนร่วมเป็นจำนวน 3 ครั้ง (a) ตกตะกอนครั้งที่ 1 (b) ตกตะกอนร่วมซ้ำเป็นครั้งที่ 2 (c) ตกตะกอนร่วมซ้ำเป็นครั้งที่ 3

3.4.6 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 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนนับรังสีภูมิหลังในหน่วย cps แล้วใช้สมการปรับเทียบมาตรฐานแปลงค่า L.L.D. ในหน่วย cps มาอยู่ในหน่วยกัมมันตภาพ (mBq)

ตารางที่ 3.3 จำนวนนับรังสี

วัดครั้งที่	cps
1	0.002083
2	0.001991
3	0.002269

ผลการวัดค่ารังสีภูมิหลังซึ่งเตรียมจากการตกตะกอนร่วมโดยใช้ตัวอย่างน้ำกลั่น จำนวน 3 ครั้ง (ตารางที่ 3.3) ซึ่งได้ทำการรวมจำนวนนับรังสีเฉพาะ พีคของเรเดียม-226 และนำมาหาอัตรานับรังสีเฉลี่ยเท่ากับ 0.000987 cps โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 0.000134 cps คำนวณค่า L.L.D. ตามสมการของ Curie (1968) ได้เท่ากับ 0.000623 cps เมื่อปรับเทียบด้วยค่าประสิทธิภาพของระบบวัด (37 %) ได้ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (L.L.D.) เท่ากับ 1.7 mBq

3.5 เก็บข้อมูลแบบสอบถาม

ศึกษาข้อมูลการบริโภคน้ำดื่มของประชาชนในอำเภอนาหม่อม จากการสำรวจข้อมูลเชิงพรรณนา โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือตัวอย่างแบบสอบถามได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก ก แบบสอบถามที่ใช้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะสอบถามข้อมูลแหล่งน้ำที่ใช้ในการบริโภค เช่น น้ำบ่อตื้น น้ำบาดาล น้ำประปาหมู่บ้าน น้ำฝน ส่วนที่สองจะสอบถามข้อมูลอุปโภค และสำรวจว่าน้ำที่ใช้มีการปรับปรุงก่อนการบริโภค อุปโภคหรือไม่ วิธีการสำรวจจะดำเนินการสอบถามข้อมูลจากครัวเรือนในทุกหมู่บ้านของอำเภอนาหม่อมเพื่อให้ข้อมูลมีการกระจายไปทั่วอำเภอ สอบถามครัวเรือนในงานวิจัยนี้ไปทั้งหมด 300 ครัวเรือน

3.6 ประเมินปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับต่อปี

ประเมินปริมาณการบริโภคน้ำและการได้รับปริมาณเรเดียม-226 เข้าสู่ร่างกายต่อปี ของชาวอำเภอนาหม่อม โดยอนุโลมใช้เกณฑ์ตาม WHO (2002) ซึ่งประเมินอัตราการบริโภคน้ำไว้ที่ 2 ลิตรต่อวัน ในเวลา 1 ปี จะดื่มน้ำเป็นปริมาณ 730 ลิตร ค่าปัจจัย 2.8×10^{-7} Sv/year (ซีเวิร์ด (Sv) เป็นหน่วยปริมาณรังสีสมมูล หรือ equivalent dose ที่พิจารณาผลทางชีววิทยาของรังสีเข้ามาเกี่ยวข้อง เปรียบเทียบความเสียหายของเนื้อเยื่อเมื่อถูกคลื่นพลังงานของรังสี) เป็นปัจจัยสำหรับการประเมินปริมาณรังสีสมมูลที่ร่างกายได้รับต่อปี (Annual equivalent Dose) ในผู้ใหญ่ ตัวอย่างเช่น หากดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อนของเรเดียม-226 ความเข้มข้น 30 mBq/l จะคำนวณปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับต่อปี เป็น $0.030 \text{ (Bq/l)} \times 730 \text{ (l/year)} \times 2.8 \times 10^{-7} \text{ (Sv/year)}$ เท่ากับ 6.1 μSv

3.7 ประสิทธิภาพการกำจัดเรเดียม-226

ในการทดสอบครั้งนี้ได้สร้างเครื่องกรองน้ำอย่างง่ายแบบคอลัมน์เดี่ยวสำหรับบรรจุสารกรองน้ำ และเลือกใช้สารกรองน้ำชนิดที่มีใช้ทั่วไป 2 ชนิด คือ พงถ่านกัมมันต์ (activated carbon) และ เรซิน แลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกชนิดกรดแก่ (strong acid cation exchange resin) ยี่ห้อ Dowex รุ่น HCR-S/S โดยได้แบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน (1) กรองน้ำปนเปื้อนเรเดียมด้วยพองถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียว (2) กรองน้ำปนเปื้อนเรเดียมด้วยเรซินเพียงอย่างเดียว และ (3) กรองน้ำปนเปื้อนเรเดียมด้วยพองถ่านกัมมันต์แล้วตามด้วยเรซิน โดยในการทดลองทั้ง 3 ตอน ใช้ถ่านกัมมันต์ปริมาตรละ 4 ลิตร เรซินปริมาณ 4 ลิตร บรรจุในคอลัมน์ (รูปที่ 3.14) กรองน้ำปนเปื้อนเรเดียมความแรง 294.7 mBq/l



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 3.14 (a) ชุดทดสอบประสิทธิภาพการกรอง (b) ผงถ่านกัมมันต์ (c) เรซิน

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1. ปริมาณความเข้มข้นของธาตุหลักและโลหะหนักในน้ำบ่อต้น

ผลการวัดค่าพีเอช ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด(TDS) ค่าความกระด้าง (hardness) และความเข้มข้นธาตุ Mg, Ca, Ba, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Zn และ Pb ในน้ำบ่อตัวอย่างแสดงในตาราง 4.1 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบท ของคณะกรรมการบริหารโครงการจัดให้มีน้ำสะอาดในชนบททั่วราชอาณาจักร พ.ศ.2531 พบว่าน้ำบ่อตัวอย่างมีค่าพีเอชต่ำกว่าเกณฑ์คุณภาพ (เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ 6.5 - 8.5) อยู่ 25 ตัวอย่าง คิดเป็น 64.1% ของตัวอย่างทั้งหมด ความเข้มข้นแคดเมียม (Cd) เกินเกณฑ์มาตรฐานเพียง 1 ตัวอย่าง (0.0055 มก./ล. ค่ามาตรฐาน 0.005 มก./ล.) ความเข้มข้นเหล็ก (Fe) เกินเกณฑ์มาตรฐานเพียง 2 ตัวอย่าง (0.59 มก./ล., 0.77 มก./ล. ค่ามาตรฐาน 0.5 มก./ล.) แต่ก็มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพไม่มากนัก ส่วนธาตุที่ตรวจวัดอื่นๆ ได้แก่ Mg, Ca, Ba, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn และ Pb ไม่พบว่าเกินเกณฑ์คุณภาพ

4.2 การกระจายของโลหะหนักและธาตุหลัก

ได้สร้างแผนที่คอนทัวร์ของค่าความกระด้าง ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมดค่าความเข้มข้นธาตุ Mg, Ca, Ba, Mn, Fe และ Zn ตามรูปที่ 4.1 และละเว้นไม่ทำแผนที่คอนทัวร์ของธาตุ Cr, Cd, Cu, Ni และ Pb เนื่องจากค่าความเข้มข้นที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าขีดตรวจวัด (Detection Limit) ของเครื่อง ICP-AES ขีดเริ่มต้นความเข้มข้นที่จะสามารถวิเคราะห์ได้ $Cr \geq 0.002$ มก./ล., $Cd \geq 0.001$ มก./ล., $Cu \geq 0.0004$ มก./ล., $Ni \geq 0.005$ มก./ล., $Pb \geq 0.002$ มก./ล. และจำนวนตัวอย่างที่สามารถวัดความเข้มข้นได้มีเพียงไม่กี่ตัวอย่าง

ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด(TDS) ตรวจพบว่าในน้ำบ่อตัวอย่าง มีค่า TDS ในช่วง 28 - 434 มก./ล. เมื่อพิจารณาจากแผนที่คอนทัวร์ใน รูปที่ 4.1 (a) พบว่าค่า TDS มากกว่า 170 มก./ล. จะจับกลุ่มอยู่บริเวณทางตอนใต้ของ อำเภอนาหม่อม โดยมีอีกบริเวณหนึ่ง น้ำบ่อตัวอย่างจะมีค่า TDS ในช่วง 170-220 อยู่ใน ตำบลเนินพิจิตร ได้ขีดเส้นประลงในแผนที่คอนทัวร์เพื่อแสดงบริเวณที่มีค่า TDS ผิดปกติให้มีความชัดเจนขึ้น ค่า TDS ของน้ำบ่อตัวอย่างที่อยู่ใน ตำบลพิจิตร ตำบลทุ่งขมิ้น และ ตำบลคลองหรีง มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน ส่วนน้ำบ่อตัวอย่างที่อยู่ใน ตำบลนาหม่อม จะมีค่าเฉลี่ย TDS น้อยที่สุด ซึ่งค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมดของน้ำบ่อตัวอย่างทั้งหมด ยังไม่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคในชนบท 1000 มก./ล.

ตาราง 4.1 ความเข้มข้นของธาตุหลักและโลหะหนักในตัวอย่างน้ำบ่อน้ำแยกเป็นตำบล

ตำบล	พิจิตร		ทุ่งขมิ้น		คลองหรั่ง		นาหม่อม		มาตรฐาน น้ำดื่ม*
	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	
pH	6.3	5.3-7.1	5.9	4.8-7.4	6.1	4.7-6.8	5.6	4.5-6.7	6.5-8.5
TDS (มก./ล.)	114.1	32.7-255.0	101.8	31.5-434.0	130.9	52.0-224.0	87.7	28.2-164.0	1000
Hardness (มก./ล.)	20.2	4.1-42.2	20.6	2.3-91.7	33.4	12.8-87.7	17.4	1.9-54.9	300
Mg (มก./ล.)	1.308	0.168-3.630	0.957	0.246-3.220	1.746	0.306-5.420	0.804	0.010-1.270	-
Ca (มก./ล.)	5.92	1.22-13.50	6.67	0.50-31.4	10.52	4.59-26.20	5.63	0.60-20.40	-
Ba (มก./ล.)	0.37	0.21-0.72	0.41	0.17-0.70	0.34	0.22-0.49	0.34	0.17-0.66	-
Cr (มก./ล.)	N/D	N/D	0.006	0.006	0.004	0.004	N/D	N/D	0.05
Mn (มก./ล.)	0.098	0.008-0.202	0.057	0.0124-0.162	0.072	0.004-0.252	0.078	0.007-0.296	0.3
Fe (มก./ล.)	0.212	0.022-0.593	0.159	0.006-0.774	0.082	0.007-0.272	0.103	0.005-0.435	0.5
Ni (มก./ล.)	0.007	0.007	0.006	0.006	0.008	0.008	0.005	0.005	-
Cu (มก./ล.)	0.012	0.005-0.018	0.027	0.007-0.047	0.019	0.015-0.023	0.017	0.016-0.018	1.0
Cd (มก./ล.)	0.003	0.002-0.006	0.002	0.001-0.003	0.002	0.001-0.003	0.002	0.002-0.003	0.005
Zn (มก./ล.)	0.044	0.014-0.122	0.060	0.010-0.138	0.035	0.009-0.112	0.034	0.004-0.106	5.0
Pb (มก./ล.)	N/D	N/D	0.011	0.010-0.012	N/D	N/D	N/D	N/D	0.05

* มาตรฐานน้ำดื่ม คณะกรรมการบริหารโครงการจัดให้มีน้ำสะอาดในชนบททั่วราชอาณาจักร 2531

ความกระด้าง (Hardness) บริเวณที่น้ำบ่อตัวอย่างมีค่าความกระด้างสูงกว่า 30 มก./ล. พบอยู่ทางตอนใต้ของ ตำบลคลองหรีง รูปที่ 4.1(b) และต่อเนื่องออกไปทาง ตำบลทุ่งขมิ้น และอีกบริเวณหนึ่งอยู่ใน ตำบลพิจิตร น้ำบ่อตัวอย่างมีความกระด้างในช่วง 40 - 50 มก./ล. น้ำบ่อตัวอย่างนอกเหนือจากนี้มีค่าความกระด้างต่ำกว่า 40 มก./ล. ซึ่งระดับความกระด้างของน้ำบ่อตัวอย่างทั้งหมด ยังไม่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคในชนบท ได้ขีดเส้นประลงในแผนที่คอนทัวร์เพื่อแสดงบริเวณความกระด้างสูงให้มีความชัดเจนขึ้น

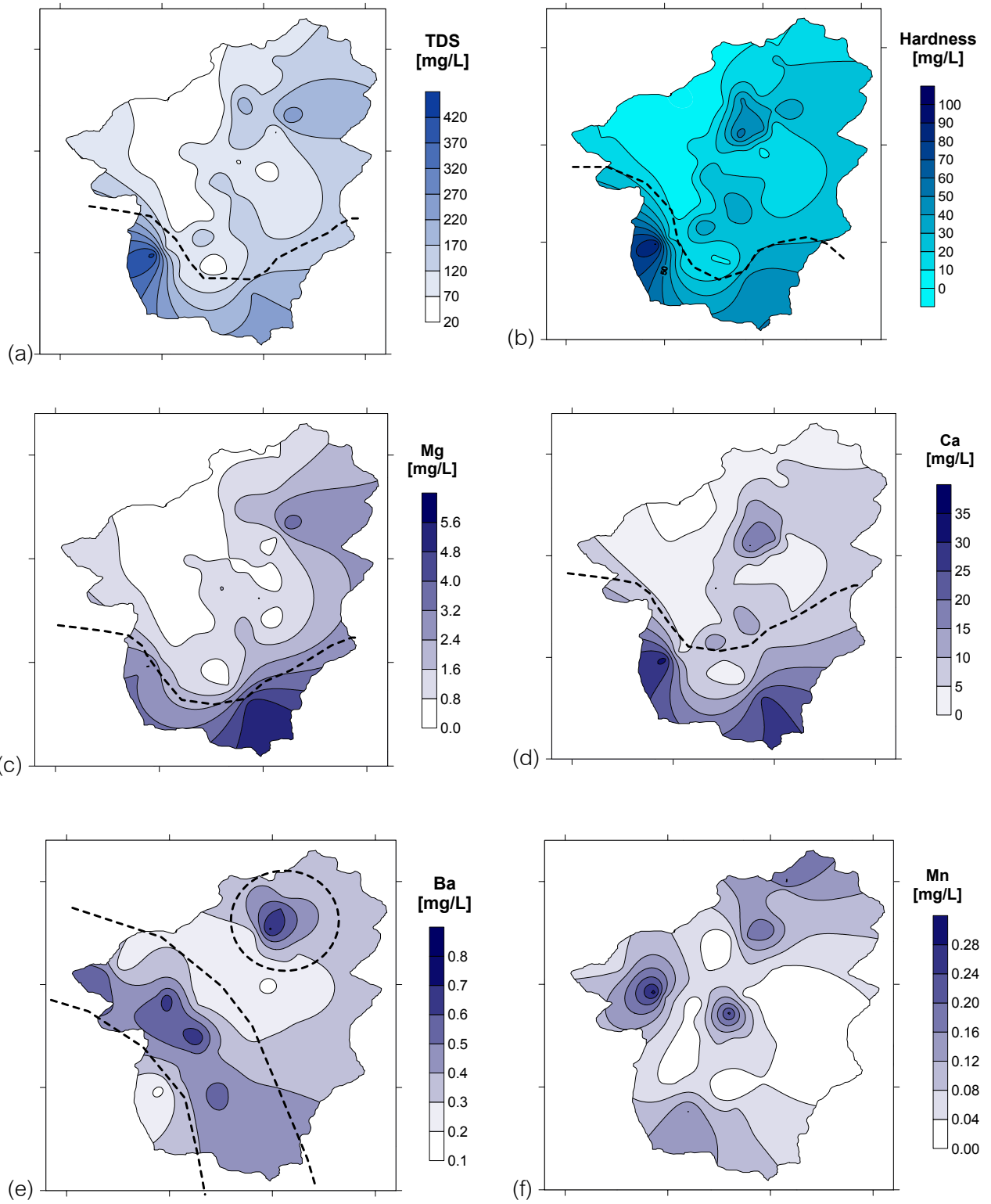
แมกนีเซียม (Mg) ความเข้มข้น 2.4 - 4.8 มก./ล. จับกลุ่มอยู่ทางตอนล่าง ตำบลคลองหรีง และ ตำบลทุ่งขมิ้น รูปที่ 4.1(c) ซึ่งเป็นบริเวณที่ความเข้มข้นสูงสุดจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด ขีดเส้นประลงในแผนที่คอนทัวร์เพื่อนำบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงให้มีความชัดเจนขึ้น น้ำบ่อตัวอย่างจากบริเวณพื้นที่ราบตอนกลางจะมีค่าความเข้มข้น Mg น้อยกว่า 2.4 มก./ล.

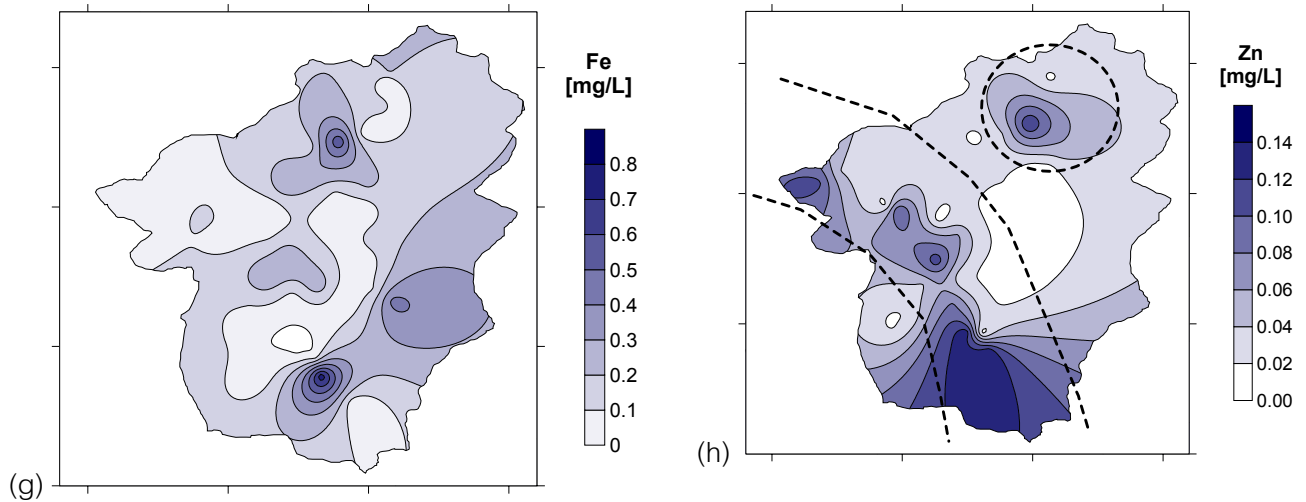
แคลเซียม (Ca) มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 10 - 30 มก./ล. จับกลุ่มกันอยู่ในบริเวณทางตอนใต้ของ ตำบลคลองหรีง และ ตำบลทุ่งขมิ้น รูปที่ 4.1(d) ขีดเส้นประลงในแผนที่คอนทัวร์เพื่อนำบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงให้มีความชัดเจนขึ้น น้ำบ่อตัวอย่างจากพื้นที่ราบตอนกลางมีความเข้มข้น Ca ต่ำกว่า 15 มก./ล. โดยค่าเฉลี่ยของความเข้มข้น Ca ในน้ำบ่อตัวอย่างจาก ตำบลคลองหรีง มีค่าสูงกว่าจากตำบลอื่นๆ

แบเรียม (Ba) ความเข้มข้น Ba ในน้ำบ่อตัวอย่างอยู่ในช่วง 0.4 - 0.6 มก./ล. และต่อเนื่องจากทางใต้ ตำบลคลองหรีง ไปถึงทิศตะวันตกของ ตำบลนาหม่อม และอีกบริเวณหนึ่งความเข้มข้น 0.4 - 0.6 มก./ล. จะจับตัวกันเป็นกลุ่มอยู่ในพื้นที่ ตำบลพิจิตร รูปที่ 4.1(e) ขีดเส้นประในแผนที่คอนทัวร์เพื่อนำบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงให้เด่นชัดขึ้น สังเกตว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ Ba ในน้ำบ่อตัวอย่างจากทุกตำบลมีค่าใกล้เคียงกัน

แมงกานีส (Mn) จับกลุ่มความเข้มข้นสูงอยู่ 2 กลุ่มในช่วง 0.16-0.28 มก./ล. อยู่ในเขต ตำบลนาหม่อม รูปที่ 4.1(f) และ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ Mn ในแต่ละตำบลไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งค่าความเข้มข้น Mn ในน้ำบ่อตัวอย่างทั้งหมด ยังไม่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคในชนบท

เหล็ก (Fe) มีความเข้มข้นในช่วง 0.3-0.6 มก./ล. รวมตัวกันอยู่ 3 บริเวณทางด้าน ตำบลเนินพิจิตร ตอนล่าง ตำบลคลองหรีง รูปที่ 4.1(g) และ ตำบลทุ่งขมิ้น มีเพียง 2 ตัวอย่าง ที่มีค่าความเข้มข้น Fe สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคในชนบท 0.5 มก./ล.





รูปที่ 4.1 คอนทัวร์ความเข้มข้นของโลหะหนักและธาตุหลัก

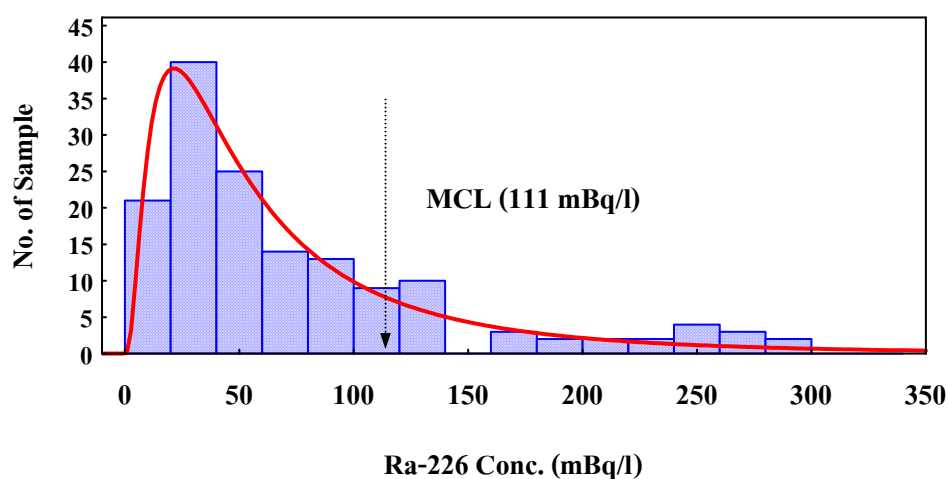
สังกะสี (Zn) มีความเข้มข้นในช่วง 0.04-0.12 มก./ล. จับกลุ่มเป็นแนวต่อเนื่อง จากทางตอนใต้ของ ตำบลคลองหรีง ออกไปทางทิศตะวันตก ของ ตำบลนาหม่อมรูปที่ 4.1(h) และอีกกลุ่มหนึ่ง 0.04-0.10 มก./ล. จับกลุ่มบริเวณ ตำบลพิจิตร แสดงให้ชัดเจนด้วยเส้นประ ซึ่งค่าความเข้มข้น Zn ในน้ำบ่อตัวอย่างทั้งหมด ยังไม่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคในชนบท

ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง และค่าความเข้มข้น Mg และ Ca มีการกระจายในพื้นที่ลักษณะคล้ายคลึงกันคือ อยู่ในบริเวณทางตอนใต้ของ ตำบลคลองหรีง และ ตำบลทุ่งขมิ้น และอีกกลุ่มหนึ่งที่มีค่าความเข้มข้นสูงเช่นกันพบอยู่ในพื้นที่ตำบลพิจิตร เมื่อเทียบกับลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ (รูปที่ 2.1) พบว่าบริเวณความเข้มข้นสูงดังกล่าวสอดคล้องกับตำแหน่งที่พบหินแกรนิต จึงเชื่อว่าหินแกรนิตในพื้นที่ อำเภอนาหม่อม น่าจะเป็นแหล่งกำเนิดของโลหะหนักและธาตุหลักที่ตรวจพบในน้ำบ่อตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหินแกรนิตบริเวณนี้มีลักษณะผุร่อน ทำให้ธาตุประกอบในหินถูกน้ำชะล้างออกมาได้โดยง่าย สำหรับความเข้มข้นของธาตุ Ba และ Zn ในน้ำบ่อตัวอย่างมีการกระจายที่คล้ายคลึงกันโดยมีความต่อเนื่องจากทางตอนใต้ของ อำเภอนาหม่อม และออกไปทางทิศตะวันตกและเมื่อเทียบกับแผนที่ธรณีวิทยา การกระจายของ Ba และ Zn จะมีทิศทางคู่ขนาน ไปด้วยทางน้ำที่ไหลรวมตัวกันออกทางคลองหว่า ส่วน Fe และ Mn มีการกระจาย ลักษณะการจับกลุ่มกันที่ไม่ชัดเจนมากนัก

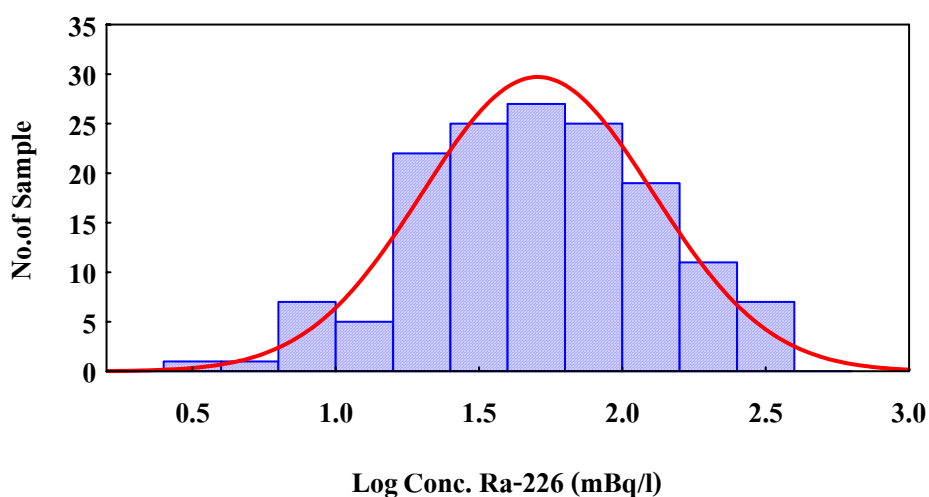
4.3 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้น ใน อำเภอนาหม่อม

การแจกแจงข้อมูลแบบปกติ (normal distribution) ข้อมูลจะมีการกระจายแบบต่อเนื่องอยู่รอบค่าเฉลี่ย เมื่อนำข้อมูลมาแจกแจงความถี่กราฟที่ได้จะมีลักษณะการกระจายเป็นรูปประฆังคว่ำ นำค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อต้นของอำเภอนาหม่อม มาเขียนกราฟแจกแจงความถี่กราฟจะลักษณะการกระจายของข้อมูลเบ้ไปทางขวา (รูปที่ 4.2) ไม่ได้เป็นการกระจายของข้อมูลแบบปกติ จึงนำข้อมูลมาคำนวณค่า $\log$ และเขียนกราฟแจกแจงความถี่ กราฟการแจกแจงความถี่จะแสดงลักษณะเป็นแบบปกติ (รูปที่ 4.3) ลักษณะการกระจายดังกล่าวได้แสดงให้เห็นว่าข้อมูลความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อต้นของอำเภอนาหม่อม เป็นการกระจายแบบ Log Normal ซึ่งการกระจายของข้อมูลในสิ่งแวดล้อม ที่บางข้อมูลมีค่าสูงแตกต่างไปจากกลุ่ม จะแสดงลักษณะการกระจายของข้อมูลแบบ Log Normal (Limpert *et al.*, 2001) งานวิจัยการวัดเรเดียม-226 ในดินที่เมือง Rio Grande do Norte ประเทศบราซิล (Malance *et al.*, 1996) ข้อมูลมีการกระจายแบบ Log-normal

ดังนั้นในการหาค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในระดับหมู่บ้านจะใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) เนื่องจากจำนวนตัวอย่างในระดับหมู่บ้านมีจำนวนน้อย ส่วนในการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งอำเภอนาหม่อมนั้นจะต้องใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean) ซึ่งค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้นในอำเภอนาหม่อม มีค่าเฉลี่ยเรขาคณิต 50.7 mBq/l และค่า Multiplicative (S.D.) 2.5 mBq/l (ตารางที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 การกระจายของข้อมูลความเข้มข้นเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อต้น



รูปที่ 4.3 การกระจายของข้อมูลเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นเมื่อเปลี่ยนเป็นค่า Log

4.4 ปริมาณและการกระจายความเข้มข้นของเรเดียม-226

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นทั้งหมด 150 ตัวอย่าง แสดงใน ตาราง 4.2 ความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้นใน อำเภอนาหม่อม จะมีค่าอยู่ในช่วง 3.51-292.1 mBq/l เมื่อพิจารณาค่าที่มากกว่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ MCL (Maximum Contaminate Level) ตามมาตรฐานของทบวงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US.EPA, 1976) ที่กำหนดค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบริโภคว่าไม่ควรเกิน 111 mBq/l ความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำจาก อำเภอนาหม่อมทั้งหมด พบว่ามีตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นเกิน MCL อยู่ 31 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 20.66 ของตัวอย่างทั้งหมด

ตำบลพิจิตร ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นจำนวน 33 ตัวอย่าง จาก ตำบลพิจิตร ค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 เฉลี่ยมีค่า 53.9 mBq/l ค่าเฉลี่ยสูงสุด (126.5 mBq/l) ตรวจพบที่หมู่ที่ 2 บ้านโคกทัง ซึ่งสูงกว่าค่า MCL ค่าเฉลี่ยต่ำสุด (30.7 mBq/l) ตรวจพบที่หมู่ที่ 6 บ้านคลองม่วงตก เมื่อพิจารณาค่าความความเข้มข้นเฉลี่ยเรเดียม-226 ในน้ำตัวอย่างจากหมู่ที่ 1, 3, 4, 5 และ 6 โดยไม่คิดค่าเฉลี่ยจากหมู่ที่ 2 พบว่าค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำจะมีความแตกต่างกันไม่มากนัก โดยมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 30.7 - 52.7 mBq/l และหมู่บ้านที่มีค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำเฉลี่ยรองจากหมู่ที่ 2 คือหมู่ที่ 4 บ้านพลีควาย สำหรับความเข้มข้นเฉลี่ยของเรเดียม-226 ในน้ำตัวอย่างจากหมู่ที่ 2 บ้านโคกทัง พบแยกออกไปจากของหมู่บ้านอื่นๆ ในตำบลพิจิตรอย่างเด่นชัดน่าจะมาจากลักษณะเฉพาะตัวทางธรณีวิทยาของชั้นดินในบริเวณหมู่ที่ 2

ตำบลนาหม่อม ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้นจำนวน 51 ตัวอย่าง ได้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของตัวอย่างน้ำจากทั้ง ตำบลนาหม่อม 63.8 mBq/l ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเรเดียม-226 สูงที่สุดพบที่หมู่ 2 บ้านทุ่งค้อ 118.1 mBq/l สูงกว่าค่า MCL ไม่มากนัก ความเข้มข้นเรเดียม-226 เฉลี่ยต่ำสุด (27.7 mBq/l) เป็นของตัวอย่างน้ำจากบ้านพรูเมา หมู่บ้านที่ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรองมาจากหมู่ที่ 2 คือหมู่ที่ 10 บ้านดินวัด มีค่า 96.5 mBq/l ค่าที่สูงที่สุดกับค่ารองลงมาแตกต่างกันไม่มากนัก โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำจากทั้งหมด 10 หมู่บ้านใน ตำบลนาหม่อม มีการกระจายของข้อมูล โดยไม่มีหมู่บ้านที่สูงสุดหรือต่ำสุดแยกออกมาอย่างเด่นชัด

ตำบลทุ่งขมิ้น ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นจำนวน 33 ตัวอย่าง พบความเข้มข้นเฉลี่ยของ ตำบลทุ่งขมิ้น มีค่า 81.7 mBq/l โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเรเดียม-226 สูงกว่าค่า MCL อยู่ 2 หมู่บ้านคือหมู่ที่ 2 บ้านลานไทร และหมู่ที่ 3 บ้านทุ่งโพธิ์ (124.9 และ 151.3 mBq/l) ตามลำดับ น้ำตัวอย่างจากหมู่ที่ 7 บ้านทุ่งโพธิ์ มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่า MCL คือ 103.7 mBq/l ส่วนค่าความเข้มข้นต่ำสุด (21.9 mBq/l) ตรวจพบที่หมู่ 1 บ้านทุ่งขมิ้น ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในหมู่ 4, 5, 6 มีค่าไม่สูงมากนัก น้อยกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยในหมู่ที่ 2, 3, 7 สำหรับหมู่ที่ 3 บ้านทุ่งโพธิ์ ที่พบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำสูงที่สุดนั้น อาจเป็นผลมาจากประวัติการเปิดหน้าดินเพื่อการทำเหมืองในอดีตทำให้บริเวณนี้ถูกการชะล้างมีการปนเปื้อนของเรเดียม-226 ในปริมาณมากกว่าหมู่บ้านใกล้เคียง

ตำบลคลองหรีง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทั้งหมด 33 ตัวอย่าง ได้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเรเดียม-226 ของ ตำบลคลองหรีง มีค่า 107.0 mBq/l โดยหมู่ที่ 5 บ้านต้นปริงและหมู่ที่ 3 บ้านแม่เปี้ยะ มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 177.8 และ 157.4 mBq/l ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่า MCL หมู่ที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 110.7 mBq/l ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเรเดียม-226 ต่ำสุดใน ตำบลคลองหรีง อยู่ที่หมู่ที่ 6 บ้านปลักทิง มีค่า 66.7 mBq/l ส่วนในหมู่ที่ 2, 4 และ 6 มีค่าเฉลี่ยยังไม่เกินค่า MCL

ความเข้มข้นเฉลี่ยของเรเดียม-226 จะมีค่ามากที่สุดที่ ต.คลองหรีง ต.ทุ่งขมิ้น ต.นาหม่อม ต.พิจิตร โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย ใน ต.พิจิตร เป็นตำบลที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด แต่ก็ยังพบว่ามีหมู่บ้านที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเรเดียม-226 สูงกว่าค่า MCL คือหมู่ที่ 2 บ้านโคกทัง

ตาราง 4.2 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้นและค่าปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับต่อปี

ตำบล / หมู่บ้าน (จำนวนตัวอย่าง)	หมู่ที่	ช่วงความ เข้มข้น เรเดียม-226 (mBq/l)	ค่าเฉลี่ย ความเข้มข้น ของเรเดียม- 226 (mBq/l)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย ปริมาณรังสี ที่ร่างกาย ได้รับ (μSv) ต่อปี
บ้านเนินพิจิตร (10)	1	12.7-115.1	44.4	31.1	9.17
บ้านโคกทัง (5)	2	14.5-262.4	126.5	110.0	25.9
บ้านโคกพะยอม (5)	3	22.6-57.5	41.0	14.0	8.4
บ้านพลีควาย (4)	4	48.8-60.2	52.7	5.1	10.8
บ้านทุ่งนาหว่าน(4)	5	3.5-83.4	33.6	34.6	6.9
บ้านคลองม่วงตก (5)	6	21.6-38.4	30.7	7.4	6.3
ค่าเฉลี่ย ตำบลพิจิตร (33)		3.5-262.4	53.9	54.3	11.0
บ้านทุ่งคโหนด (5)	1	29.0-198.7	89.8	68.9	18.4
บ้านทุ่งค้อ (8)	2	23.8-285.0	118.1	98.8	24.1
บ้านพรุมา (3)	3	6.8-42.9	27.7	18.7	5.7
บ้านควนจง (9)	4	9.3-28.1	16.9	7.4	3.4
บ้านนาม่วง (9)	5	17.2-134.1	69.5	35.4	14.2
บ้านโน (3)	6	16.3-136.2	65.7	62.7	13.4
บ้านชายนา (4)	7	26.5-75.1	57.1	21.5	11.7
บ้านทุ่งพระเคียน (3)	8	16.5-83.2	39.8	37.6	8.1
บ้านเกาะชะพู (3)	9	4.7-41.0	22.0	18.2	4.5
บ้านดินวัด (4)	10	50.5-130.7	96.5	34.3	19.7
ค่าเฉลี่ย ตำบลนาหม่อม (51)		4.7-285.0	63.8	59.5	13.0
บ้านทุ่งขมิ้น (4)	1	6.8-44.4	21.9	16.3	4.5
บ้านลานไทร (3)	2	34.5-269.8	124.9	126.7	25.5
บ้านทุ่งโพธิ์ (5)	3	91.9-253.9	151.3	69.1	30.9
บ้านนาทองสุก (4)	4	9.8-126.3	58.4	49.0	11.9

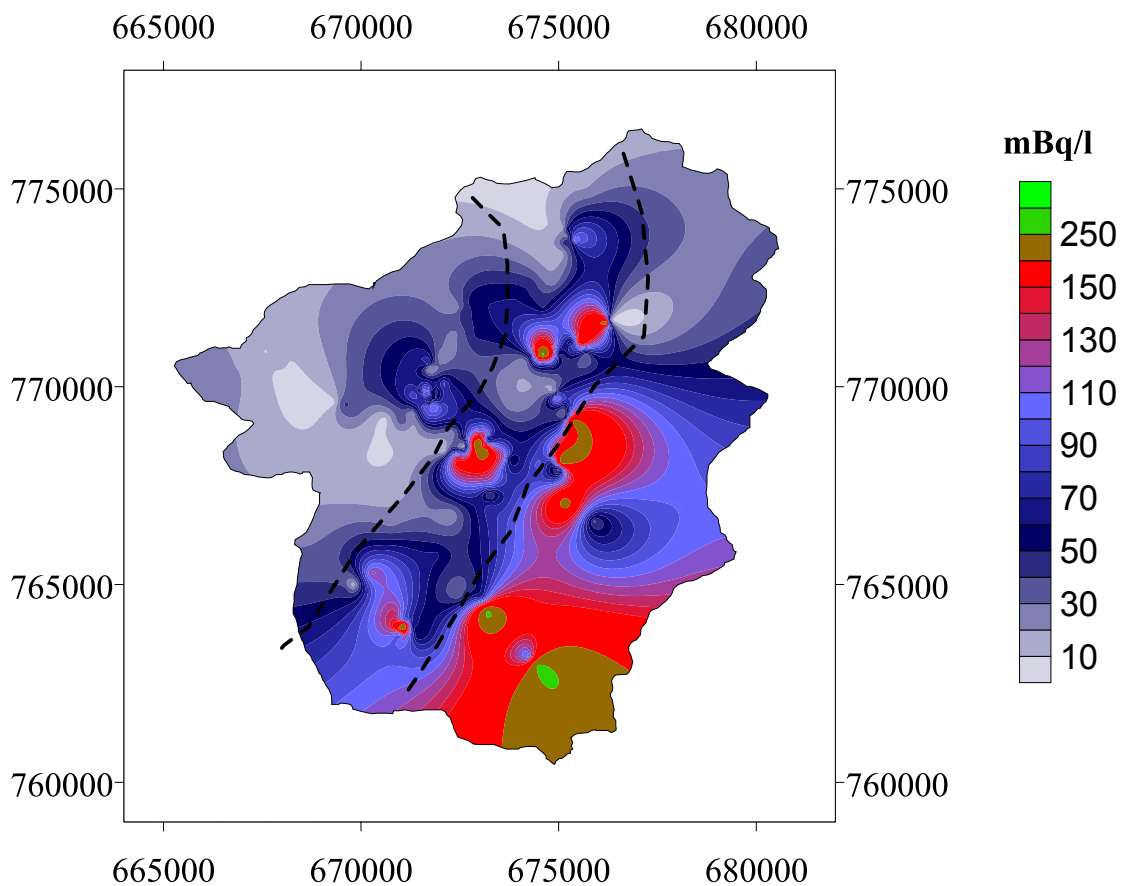
บ้านนา (3)	5	22.2-28.1	24.3	3.3	5.0
บ้านทุ่งขมิ้น (7)	6	8.9-164.2	63.6	61.3	13.0
บ้านทุ่งโพธิ์ (7)	7	55.4-258.5	103.7	73.6	21.2
ค่าเฉลี่ย ตำบลทุ่งขมิ้น (33)		6.8-269.8	81.7	74.2	16.7
บ้านคลองหรั่ง (7)	1	30.8-245.1	110.7	89.2	22.6
บ้านแม่เปิยะ (5)	2	50.1-115.2	93.2	27.8	19.1
บ้านแม่เปิยะ (7)	3	27.2-292.1	157.4	88.2	32.2
บ้านแซะ (7)	4	31.7-216.3	71.1	69.3	14.5
บ้านคันปริง (2)	5	91.7-264.0	177.8	121.8	36.4
บ้านปลักทิง (5)	6	24.3-107.1	66.7	31.5	13.6
ค่าเฉลี่ยตำบลคลองหรั่ง (33)		24.3-292.1	107.0	77.3	21.9
ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ของ อำเภอหม่อม (150)		3.5-292.1	75.1	68.3	15.3
ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต, Multiplicative (S.D.), ของ อำเภอนาหม่อม		3.5-292.1	50.7	2.5	10.4

4.5 การกระจายของเรเดียม-226 ใน อำเภอนาหม่อม และความสัมพันธ์กับธรณีวิทยาในพื้นที่

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 150 จุด มาทำแผนที่คอนทัวร์โดยการกริดข้อมูลแบบ Krigging (รูปที่ 4.4) พบว่าเส้นคอนทัวร์ของค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ระหว่าง 100 – 250 mBq/l จับกลุ่มอยู่เป็นบริเวณกว้างใน ตำบลคลองหรั่ง และกินเนื้อที่เข้าไปใน ตำบลนาหม่อมทางทิศตะวันตก เมื่อพิจารณาแผนที่ธรณีวิทยา (รูปที่ 2.1) พบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีชุดหินแกรนิตและรอยเลื่อน ซึ่งหินแกรนิตในอำเภอนาหม่อมมีการแปรสภาพด้วยอิทธิพลของก๊าซและสารละลายร้อน อีกทั้งยังพบการแปรสภาพของแร่เฟลด์สปาร์ไปเป็นแร่ดินขาว (Pungrassami, 1984) หินแกรนิตที่นี้จึงมีลักษณะผุ จึงน่าจะเป็นสาเหตุทำให้ธาตุโลหะรวมทั้งเรเดียม ในหินมีโอกาสถูกชะล้างละลายออกมาได้ง่ายกว่าในหินแกรนิตทั่วไปซึ่งเป็นหินแข็งและแน่น เรเดียมในหินผุนั้นสามารถถูกชะล้างออกมาด้วยกระบวนการทางพลศาสตร์ของน้ำใต้ดินและส่งผ่านต่อไปยังชั้นอุ้มน้ำ (Dickson, 1990) ทำให้พื้นที่ในบริเวณนี้มีความเข้มข้นของเรเดียม-226 สูงกว่าในบริเวณข้างเคียง

หากพิจารณาค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 ระหว่าง 40 - 120 mBq/l ถือได้ว่าเรเดียม-226 อาจจับกลุ่มกันเป็นแนวจาก ตำบลพิจิตร ลงมาถึง ตำบลทุ่งขมิ้น ต่อเนื่องจนถึงเหมืองทุ่งโพธิ์

ตามเส้นประที่ลากไว้ใน รูปที่ 4.4 เทียบเคียงแนวต่อเนื่องดังกล่าว กับแผนที่ธรณีวิทยา (รูปที่ 2.1) บริเวณแนวต่อเนื่องนี้มีความสัมพันธ์กับรอยเลื่อนที่ปรากฏอยู่ใน ทางใต้ของ ตำบลทุ่งขมิ้น ในแผนที่ธรณีวิทยา ทำให้ความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในระบบน้ำใต้ ดิน มีการแสดงตัวในลักษณะเช่นนี้ คาดว่าแนวต่อเนื่องดังกล่าวเป็นแนวรอยเลื่อนที่มีทิศทาง ตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 4.4 คอนทัวร์ความเข้มข้นของเรเดียม-226 น้ำป่อดั้นในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

4.6 ความสัมพันธ์ของโลหะหนักธาตุหลักและเรเดียม-226

นำข้อมูลของความเข้มข้นเรเดียม-226 โลหะหนัก และธาตุหลักในจุดเก็บตัวอย่างเดียวกัน จำนวน 39 ตัวอย่าง วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของทั้งหมด 10 ธาตุโดยใช้สถิติแบบพหุคูณ(ตาราง 4.3) ไม่นำธาตุ Cr, Cd, Cu, Ni และ Pb มาวิเคราะห์เนื่องจากค่าความเข้มข้นที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าขีดตรวจวัด (Detection Limit) ของเครื่อง ICP-AES และตัวอย่างที่สามารถวัดได้มีจำนวนน้อยจึงไม่นำมาวิเคราะห์

ปัจจัยที่ 1 สามารถอธิบายได้ดีที่สุดมีค่าไอเกนเท่ากับ 4.42 เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวน 44.21 อธิบายการจำแนกปัจจัยได้มากที่สุดประกอบด้วยตัวแปร ได้แก่ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ค่าความกระด้าง ค่าความเข้มข้นธาตุ Mg และ Ca ในน้ำบ่อตัวอย่าง ปัจจัยนี้มีค่าน้ำหนักปัจจัยมากกว่า 0.8 และเมื่อเทียบเคียงแผนการกระจายของตัวแปรในปัจจัยที่ 1 รูปที่ 4.1 (a) (b) (c) (d) กับแผนที่ธรณีวิทยา ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ตัวแปรในปัจจัยที่ 1 น่าจะมีความสัมพันธ์กับการปรากฏของหินแกรนิต เป็นไปได้สูงกว่าหินแกรนิตผุในพื้นที่ อำเภอนาหม่อมนี้ เป็นต้นกำเนิดของโลหะหนัก และธาตุหลักที่พบในน้ำบ่อตัวอย่าง โดยน่าจะเกิดจากการชะล้างหินแกรนิตผุและล้างเอา Ca, Mg ออกมาโดยกระบวนการของน้ำใต้ดิน

ปัจจัยที่ 2 สามารถอธิบายได้ 19.55% มีค่าไอเกนเท่ากับ 1.95 โดยปัจจัยนี้ประกอบด้วยตัวแปรเพียงตัวเดียวที่ค่าน้ำหนักปัจจัยมากกว่า 0.8 แต่มีค่าเป็นลบ แสดงให้เห็นว่าสมาชิกในธาตุหมู่ 2 มี Ba ที่แยกออกมาจากกลุ่ม

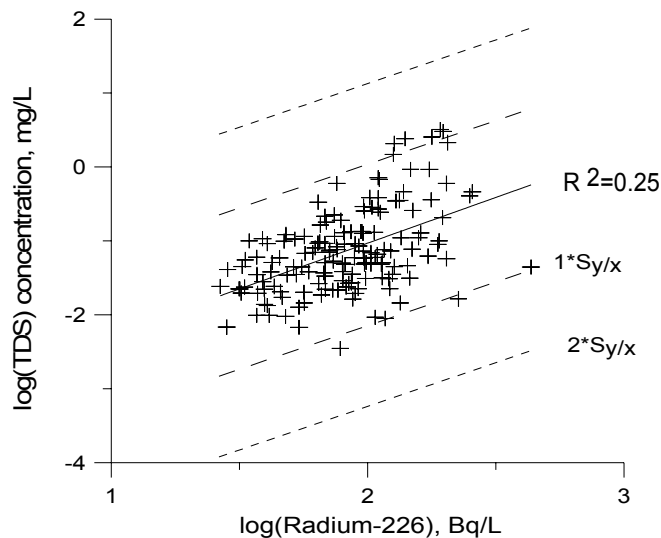
ปัจจัยที่ 3 สามารถอธิบายได้ 13.12 % มีค่าไอเกน เท่ากับ 1.31 โดยปัจจัยนี้ประกอบด้วยตัวแปรเพียงตัวเดียว คือความเข้มข้นธาตุ Fe มีค่าน้ำหนักปัจจัยมากกว่า 0.8 ไม่แสดงความสัมพันธ์กับธาตุหลักอื่นใดเลย

ตาราง 4.3 ค่าจากการคำนวณปัจจัยโดยสถิติพหุคูณ

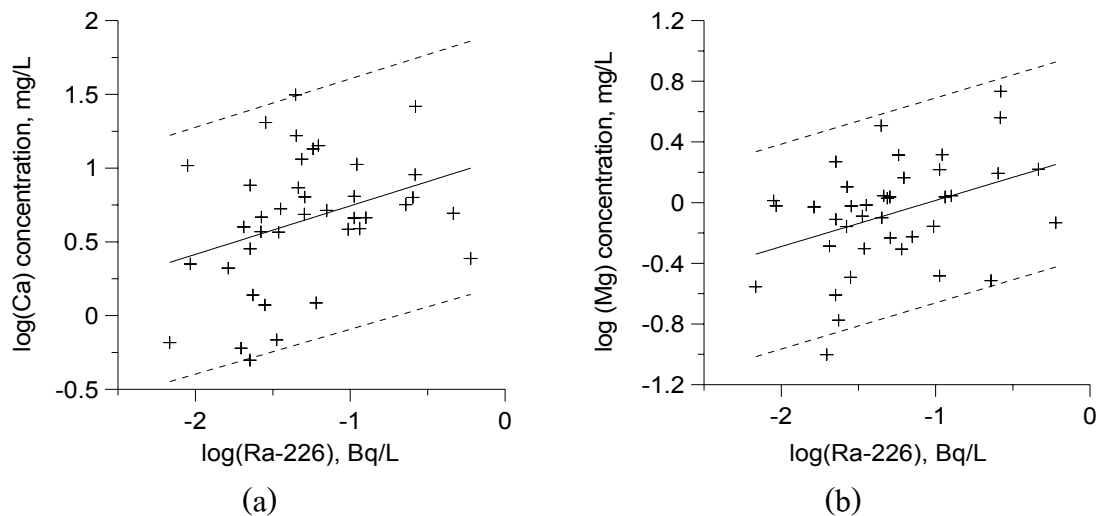
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9	Factor 10
TDS	0.906	0.178	-0.108	0.124	0.195	0.043	-0.079	0.033	0.272	0.002
pH	0.545	0.049	0.137	-0.137	-0.008	-0.116	-0.806	-0.002	0.005	-0.001
total hardness	0.950	0.069	-0.034	0.147	0.096	-0.036	-0.223	-0.041	-0.084	-0.033
Ba	-0.192	-0.917	0.013	0.026	0.079	0.336	0.036	-0.002	-0.007	0.000
Ca	0.919	0.085	0.014	0.144	0.043	-0.085	-0.288	-0.127	-0.130	0.036
Fe	-0.107	-0.011	0.985	-0.104	-0.041	0.011	-0.078	-0.016	-0.006	0.000
Mg	0.840	0.035	-0.221	0.158	0.249	0.185	0.009	0.351	0.020	0.001
Mn	0.234	-0.078	-0.043	-0.024	0.954	0.162	0.002	0.017	0.008	0.000
Zn	0.028	-0.336	0.013	0.026	0.180	0.920	0.084	0.019	0.005	0.000
Ra-226	0.253	-0.024	-0.114	0.957	-0.022	0.024	0.079	0.011	0.003	0.000
Eigenvalue	4.42	1.96	1.31	0.87	0.63	0.41	0.21	0.12	0.08	0.00
Percentage of variance	44.210	19.551	13.102	8.740	6.282	4.077	2.096	1.155	0.765	0.023
Cumulative percentage	44.210	63.761	76.862	85.603	91.885	95.962	98.057	99.212	99.977	100.000

4.7 ความสัมพันธ์ของเรเดียม-226 กับโลหะหนัก ธาตุหลัก และ TDS

นำค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าพีเอช ของตัวอย่างน้ำบ่อน้ำที่ทั้งหมด 150 ตัวอย่าง วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ซึ่งเรเดียม-226 แสดงความสัมพันธ์เชิงบวกกับ ปริมาณของแข็งทั้งหมด(รูปที่ 4.6) และไม่แสดงความสัมพันธ์กับค่าพีเอช ความสัมพันธ์จะอยู่ในช่วง $1 \cdot S_{y/x}$ ตัวอย่างความสัมพันธ์มีค่ามากกว่า $2 \cdot S_{y/x}$ มีเพียง 9 ตัวอย่าง เป็นไปได้ว่าหากตัวอย่างที่ทำการวัดค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ค่าเรเดียมก็จะมากตามไปด้วย นำตัวอย่างที่วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักและธาตุหลักจำนวน 39 ตัวอย่างมาหาความสัมพันธ์ พบว่าค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 มีความสัมพันธ์กับ Ca, Mg ในเชิงบวก (รูปที่ 4.7 (a), (b)) อยู่ในช่วงไม่เกิน $2 \cdot S_{y/x}$ ส่วนธาตุอื่นไม่แสดงความสัมพันธ์กับเรเดียม-226 ประเด็นนี้เนื่องจาก Ca, Mg, Ra มีคุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายกัน และในหินแกรนิตธาตุ Ca, Ra จะมีความสัมพันธ์กัน (Andrews *et al.*, 1989)



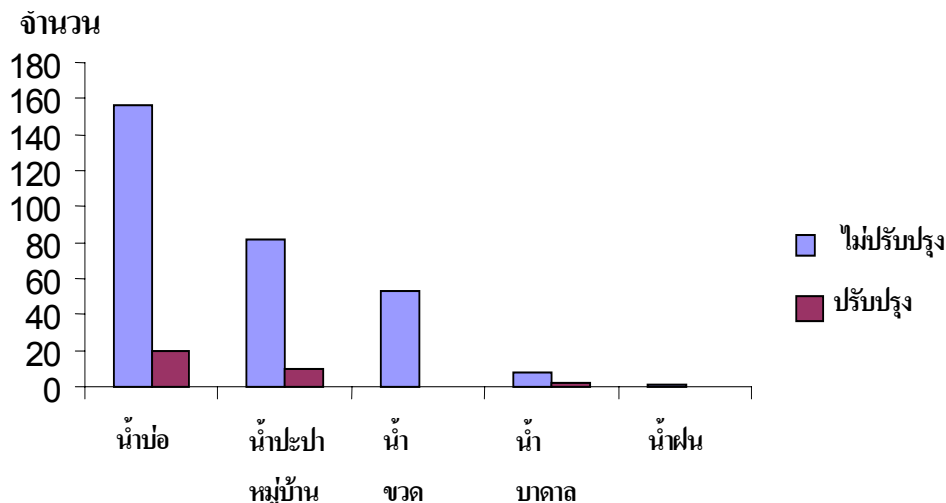
รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นเรเดียม-226 และ ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด



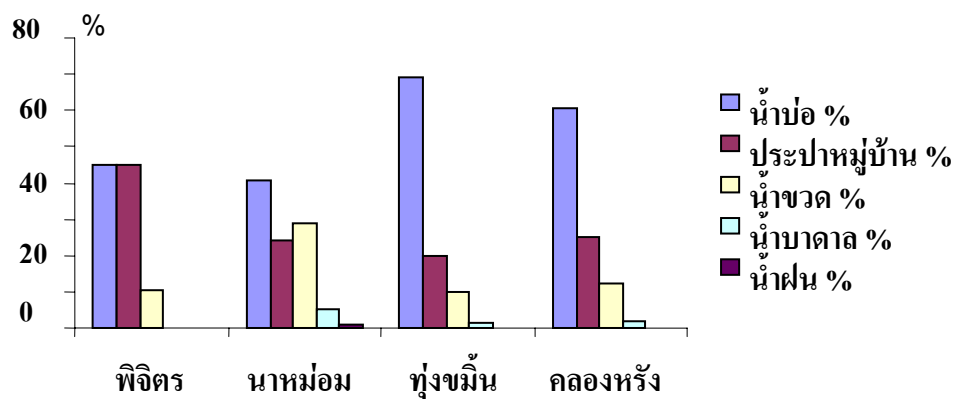
รูปที่ 4.6 (a) ความเข้มข้นเรเดียม-226 และ Ca (b) ความเข้มข้นเรเดียม-226 และ Mg

4.8 ผลการสำรวจการใช้น้ำสำหรับบริโภค

ใช้แบบสอบถามเก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้น้ำสำหรับบริโภคทั้งหมด 300 หลังคาเรือนผลจากแบบสอบถามแสดงในรูปที่ 4.7, รูปที่ 4.8 สามารถจัดลำดับข้อมูลการใช้น้ำได้ดังนี้ อันดับหนึ่งน้ำบ่อดั้นประชาชนบริโภคเป็นหลักมีจำนวน 156 หลังคาเรือน ใช้เครื่องกรองน้ำสำเร็จรูปและเครื่องกรองน้ำทำเองปรับปรุงน้ำก่อนบริโภค 20 บ่อ อันดับสองน้ำประปาหมู่บ้าน 82 บ่อ ใช้เครื่องกรองน้ำสำเร็จรูปและเครื่องกรองน้ำทำเองปรับปรุงก่อนการบริโภค 10 บ่อ อันดับสามน้ำดื่มบรรจุขวด 53 บ่อไม่มีการปรับปรุง อันดับสี่น้ำบาดาลมีทั้งหมด 8 บ่อ มีการใช้เครื่องกรองน้ำสำเร็จรูปปรับปรุงน้ำก่อนการบริโภค 2 บ่อ น้ำฝน 1 หลังคาเรือนไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ สรุปได้ว่าประชาชนใน อำเภอนาหม่อม ยังนิยมใช้น้ำบ่อดั้นในการบริโภคเป็นแหล่งให้น้ำหลัก ซึ่งเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่มาจากน้ำใต้ดิน และมีการปรับปรุงก่อนการบริโภคเป็นจำนวนน้อย ตำบลที่ประชาชนยังนิยมใช้น้ำบ่อเป็นจำนวนมากคือ ตำบลทุ่งขมิ้น รองลงมาเป็นตำบลคลองหรีง ตำบลพิจิตร ตามด้วย ตำบลนาหม่อม



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบชนิดน้ำที่ใช้ในการบริโภค



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบชนิดน้ำที่นำมาใช้ในการบริโภคแต่ละตำบล

4.9 ประเมินปริมาณเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับต่อปี

คำนวณหาปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับจากการบริโภคน้ำบ่อตื้น ใน อำเภอนาหม่อม (ตาราง 4.2) จากการจัดอันดับหมู่บ้านที่ประชาชนจะได้รับปริมาณรังสีจากเรเดียม-26 ในน้ำ สูงสุด 10 อันดับแรก ประกอบด้วย บ้านต้นปริง หมู่ 5 ต.คลองหรีด (36.4 μSv) บ้านแม่เป็ยะ หมู่ 3 ต.คลองหรีด (32.2 μSv) บ้านทุ่งโพธิ์ หมู่ 3 ต.ทุ่งขมิ้น (30.9 μSv) บ้านโคกทัง หมู่ 2 ต.พิจิตร (25.9 μSv) บ้านลานไทร หมู่ 2 ต.ทุ่งขมิ้น (25.5 μSv) บ้านทุ่งก่อ หมู่ 2 ต.นาหม่อม (24.1 μSv) บ้านคลองหรีด หมู่ 1 ต.คลองหรีด (22.6 μSv) บ้านทุ่งโพธิ์ หมู่ 7 ต.ทุ่งขมิ้น (21.2 μSv) บ้านดินวัด หมู่ 10 ต.นาหม่อม (19.7 μSv) และ บ้านแม่เป็ยะ หมู่ 2 ต.คลองหรีด (19.1 μSv) ICRP (International Commission on Radiological Protection) ได้กำหนดปริมาณรังสีที่ควรได้รับต่อปี จากการได้รับรังสีทุกชนิดในบุคคลทั่วไปว่าปริมาณรังสีในเกณฑ์ปลอดภัยเป็น 1 mSv/y (dose limit) (ICRP, 1991) และปริมาณรังสีขนาดเล็ย (committed dose) 0.1 mSv/y ซึ่งจะลดลงเป็น 10 เท่าของเกณฑ์ เมื่อเทียบค่าปริมาณรังสีที่ประชาชนได้รับต่อปีนั้น มีค่าแตกต่างจากกับค่าปริมาณรังสีขนาดเล็ยมาก

อย่างไรก็ตามปริมาณรังสีดังกล่าวคำนวณจากการบริโภคน้ำดื่มเพียงอย่างเดียว หากในอาหารอื่นๆ เช่น ข้าว เนื้อสัตว์ ผักและผลไม้ มีปริมาณเรเดียม-226 อยู่ด้วย ประชาชนก็จะได้รับปริมาณรังสีเพิ่มมากขึ้นด้วยตามสัดส่วนที่บริโภคและความเข้มข้นเรเดียม-226 ในอาหารประเภทนั้นๆ

4.10 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเรเดียม-226

ผลการศึกษาการกำจัดเรเดียมออกจากน้ำด้วยสารกรองน้ำ 2 ชนิด คือ ถ่านกัมมันต์ และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก โดยได้สร้างเครื่องกรองน้ำอย่างง่ายแบบคอลัมน์เดี่ยว นำน้ำปนเปื้อนเรเดียม-226 ความแรง 294.8 mBq/l มากรองผ่าน (1) ถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียว (2) เรซินเพียงอย่างเดียว และ (3) กรองผ่านถ่านกัมมันต์และน้ำที่ผ่านมากรองผ่านเรซินอีกครั้งหนึ่ง โดยให้น้ำไหลผ่านเครื่องกรองในอัตรา 1.5 ลิตรต่อนาที ผลการวัดความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำที่ผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกรองเรเดียมในน้ำได้ต่ำสุดเพียง 77 % (ตาราง 4.4) ขณะที่การกรองด้วยเรซินเพียงอย่างเดียวและกรองด้วยถ่านกัมมันต์แล้วตามด้วยเรซินจะมีประสิทธิภาพการกรองเรเดียมใกล้เคียงกัน คือ 98 และ 99 % ตามลำดับ (ตาราง 4.4) จึงเป็นที่ชัดเจนว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดเรเดียมออกจากน้ำเนื่องจากเรเดียมอยู่ในกลุ่มธาตุหมู่ 2 ซึ่งเป็นธาตุที่มีประจุจึงสามารถจับเรเดียมด้วยเปลี่ยนไอออน อย่างไรก็ตามเนื่องจากพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนของเรซินในกระบวนการกรอง จึงต้องมีการศึกษาอย่างละเอียดถึงประสิทธิภาพการกรองเรเดียมของเรซินเป็นฟังก์ชันกับปริมาตรและความจุไอออนของเรซิน ความเข้มข้นเรเดียมในน้ำ สภาพกรดของน้ำ อัตราไหลของน้ำกรอง และปริมาตรรวมของน้ำกรอง

ตาราง 4.4 ผลทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดเรเดียม-226

ชนิดการกรอง	กรองครั้งที่1 (mBq/l)	กรองครั้งที่2 (mBq/l)	กรองครั้งที่3 (mBq/l)	ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D.	ประสิทธิภาพ(%)
หลังผ่านถ่านกัมมันต์	33.3	85.9	88.0	69.1 ± 31.0	76.8
หลังผ่านเรซิน	4.7	4.7	4.0	4.4 ± 0.4	98.5
หลังผ่านถ่านกัมมันต์ แล้วตามด้วยเรซิน	3.3	1.4	2.2	2.3 ± 1.0	99.2

บทที่ 5 สรุปผล

ค่าความเข้มข้นโลหะหนัก และธาตุหลักเทียบกับเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบทของ คณะกรรมการ บริหารโครงการจัดให้มีน้ำสะอาดทั่วราชอาณาจักร พ.ศ. 2531 พบว่าตัวอย่างเกือบ ทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สามารถสรุปได้ว่าโลหะหนักและธาตุหลักไม่มีความเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์มะเร็งในช่องปากและมะเร็งในหลอดอาหารของ อ.นาหม่อม และจากการวิเคราะห์ ปริมาณความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้นในเขต อ.นาหม่อม จ.สงขลา ใช้เทคนิคการ ตกตะกอนร่วม โดยใช้ตัวพาเบเรียมเครื่องวิเคราะห์สเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟา ผลการวิเคราะห์ การแพร่กระจายของเรเดียม-226 ในพื้นที่ศึกษาร่วมกับข้อมูลธรณีวิทยาของพื้นที่ และการวิเคราะห์ โดยใช้สถิติพหุคูณนั้น เชื่อว่า แหล่งกำเนิดเรเดียมน่าจะมาจากพื้นที่ที่ปรากฏมีหินแกรนิตเป็นหิน ฐาน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่พบหินแกรนิตผุ หรือบริเวณใกล้เขตรอยเลื่อน กระบวนการชะล้างตาม ธรรมชาติได้ทำให้เรเดียมแพร่กระจายลงไปสู่ระบบน้ำตื้น คอนทัวร์ความเข้มข้นของเรเดียม-226 แสดงแถบความเข้มข้นสูงในทิศทางตะวันตกเฉียงใต้-ตะวันออกเฉียงเหนือ สอดคล้องแนวของรอย เลื่อนทางธรณีวิทยาในพื้นที่ อีกทั้งเรเดียม-226 ได้แสดงความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณ ของแ่งละลายทั้งหมด อาจมีความเป็นไปได้ที่จะทำการวัดปริมาณของแ่งละลายทั้งหมด แล้ว คาคะเนแนวโน้มค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นทั้งนี้ต้องมีการศึกษาใน รายละเอียดเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาปริมาณความเข้มข้นของเรเดียม-226 เฉลี่ยในแต่ละหมู่บ้าน นั้นมีหมู่บ้านที่มี ค่าเรเดียม-226 มากกว่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ MCL (111 mBq/l) มีตำบลพิจิตร หมู่ที่ 2 บ้าน โลกทั้ง ตำบลนาหม่อม หมู่ที่ 2 บ้านทุ่งค้อ ตำบลทุ่งขมิ้น หมู่ที่ 2 บ้านลานไทร หมู่ที่ 3 บ้านทุ่งโพธิ์ ตำบลคลองหรีง หมู่ที่ 3 บ้านแม่เปียะ หมู่ที่ 5 บ้านต้นปริง จึงควรศึกษาในด้านระบาดวิทยาของ พื้นที่เหล่านี้ในรายละเอียดเป็นพิเศษ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

1.จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดเรเดียม-226 พบว่าน้ำบ่อตื้นที่มีการปนเปื้อน ของเรเดียม-226 นั้นสามารถที่จะกำจัดให้ลดลงหรือให้หมดไปได้โดยการใช้เครื่องกรองน้ำที่ใช้สาร กรองชนิดเรซิน แลกเปลี่ยน อีออน ผลการทดสอบพบว่าเรซินแลกเปลี่ยนอีออนเพียงอย่างเดียวมี ประสิทธิภาพการกรองเรเดียมได้สูงถึง 99 % จึงควรจะมีการศึกษาในรายละเอียดเพิ่มเติมเพื่อ นำไปใช้แก้ปัญหาในพื้นที่จริงต่อไป

2. ในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 เฉพาะในน้ำบ่อต้นที่ประชาชนใช้บริโภคเพียงอย่างเดียว หากในอาหารอื่นๆ เช่น ข้าว เนื้อสัตว์ ผักและผลไม้ มีปริมาณเรเดียม-226 อยู่ด้วยประชาชนก็จะได้รับปริมาณรังสีเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงควรมีการศึกษาการได้รับรังสีอย่างอื่นเพิ่มเติม เพื่อนำมาประเมินความเสี่ยงและการได้รับธาตุกัมมันตรังสีชนิดอื่นๆเข้าสู่ร่างกาย
3. ควรจะมีการศึกษาทางด้านระบาดวิทยาในพื้นที่ที่มีค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 มากกว่าค่า MCL (111 mBq/l) ในรายละเอียดเป็นพิเศษ

บรรณานุกรม

กรมทรัพยากรธรณี, 2532. การสำรวจกัมมันตภาพรังสีทางอากาศ : ข้อมูลดิจิทัล, กรมทรัพยากรธรณี.

คณะกรรมการบริหารโครงการจัดให้มีน้ำสะอาดในชนบททั่วราชอาณาจักร 2531. เกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบท, โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก, กรุงเทพฯ.

สำนักงานสถิติจังหวัดสงขลา 2543. สำมะโนประชากรและเคหะ พ.ศ.2543, สำนักงานสถิติแห่งชาติ. สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล 2537. การวัดปริมาณยูเรเนียม-238 ในหินชนิดต่างๆ ในพื้นที่ จังหวัดสงขลา พัทลุง ปัตตานี, โครงการฟิสิกส์, สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ไทรภพ ผ่องสุวรรณ ธวัช ชิตตระการ สมพร จอคำ พรศรี พลพงษ์ สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล อภินันท์ ฐิติภรณ์พันธ์ 2544. การประเมินความเสี่ยงต่อเรดอนภายในและภายนอกอาคารในพื้นที่ชุมชนเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา รายงานวิจัยเสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จำนวนหน้า 235 หน้า.

Andrews, J.N., Ford, D.J., Hussain, N., Trivedi, D. and Youngman, M.J. 1989. Natural radioelement solution by circulating ground waters in the Stripa granite, Geochim. Cosmochim. Acta 53:1790-1802.

APHA, AWWA, WEF 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater 20th edition, American Public Health Association, Washington, DC.

Bhongsuwan, T., Chittrakarn, T., Chongkum S., Polapongs, P., Sirijarukal, S., Thitipornpan, A., Wattanavatee, K. and Wutthisasna, J. 2001. Radon Risk Assessment Indoor/Outdoor to Public Communities in Songkhla Lake Basin. Proc. The 8th Nuclear Science and Technology Conference., Bangkok, Thailand, June 20-21, 2001 :757-768.

Changlow S. 2001. Gravity Field Study of the Thung Pho-Thung Khamin Tin Mining District, Amphoe Namom, Changwat Songkhla. Master of Science Thesis in Physics Prince of Songkla University.

Chapman, D. 1992. Water quality assessments; ed. D. Chapman on behalf of UNESCO, WHO and UNEP, Chapman & Hall, London.

- Clifford, D., Vijjeswarapu, W. and Subramonian, S. 1998. Evaluating Various Adsorbents and Membranes for Removing Radium from Groundwater, J. Am. Water Works Assoc. pp 94-104.
- Costa, M. 2003. Potential hazard of hexavalent chromate in our drinking water, Toxicology and Applied Pharmacology, 188:1-5.
- Cothorn, C.R. and Reber, P.A. 1991. Radon, Radium and Uranium in drinking water, Lewis Publishers, Michigan USA.
- Curie, L. 1968. Limits for qualitative detection and quantitative determination, Anal. Chem. 40:586-593.
- Davis, J.C. 1973. Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley & Sons, New York.
- Dickson, B.L. 1990. Radium in ground water, The environmental behavior of Radium, Vol. 1 Intl. Atomic Energy Agency, Viena, Chap. 4-2 :335-372 .
- Faure, G. 1986. Principle of Isotope Geology (Second Edition), John Wiley & Sons, Inc., Singapore.
- ICRP(60), 1991. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford.
- Kaizer, H.F., 1958. The Varimax criterion for analytical rotation in factor analysis, Psychometrika, 23:187-201.
- Kasprzak, K.S., Sunderman, F.W. and Salnikowa, K. 2003. Nickel carcinogenesis, Mutation Research, 533: 67-97.
- Krieger L. H., Whittaker, E.L. 1980, Prescribed procedures for measurement of radioactivity in drinking water, EPA-600/4-80-032.
- Larocque, A.C.L. and Rasmussen, P.E. 1998. An overview of trace metals in the environment from mobilization to remediation, Environ. Geol., 33 : 85-90.
- Lawire, W.C., Desmond, J.A., Spence, D., Anderson, S. and Edmondson, C. 2000. Determination of radium-226 in environment and personal monitoring samples, Applied Radiation and Isotopes, 53: 133-137.
- Lee, Y.H. and Stuebing, R.B. 1990. Heavy metal contamination in the River Toad, Bufo Juxtasper (Inger), near a copper mine in East Malaysia, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 45:272 – 279.

- Limpert, E., Stahel, A.W. and Abbt, M. 2001. Log-normal distributions across the sciences :Keys and Clues, Bioscience, vol.51(5):341-352.
- Lucas, H.F., and Ilcewicz, F.H. 1985. Natural Ra-226 content of Illinois water supplies, Journal of the American Water Works Association. 50, 1523-1532.
- Malanca, A. Gaidolfi, L., Pessina, V. and Dallara, G. 1996. Distribution of ^{226}Ra , ^{232}Th , and ^{40}K in soil of Rio do Norte (Brazil), Journal of Environmental Radioactivity, 30:55-67.
- Mays, C.W., Rowland, R.E.1985. Cancer risk from the lifetime intake of Ra and U isotope, Health Physic, 48:635-647.
- Pungrassami, T. 1984. Tin Mineralization of the Thung Pho-Thung Khamin District Changwat Songkhla, Prince of Songkhla University, Thailand.
- Prateepko, S. 1998. A Case-control Study on Risk Factors for Oral Cancer in Southern Thailand , Master of Science Thesis in Epidemiology Prince of Songkla University.
- Reghunath, R., Murthy, T. and Raghavan. T. 2002. The Utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India, Water Research, 36:2437-2442.
- Ronald, R.H.C. and Gorman, C. 1991. Mining-Related non point-source pollution, Water Environment & Technology, 3(6):55-59.
- Sturchio, N.C., Banner, J.L., Binz, C.M., Heraty, L.B. and Musgrove, M. 2001. Radium geochemistry of ground water in Paleozoic carbonate aquifers , midcontinent, USA, Applied Geochemistry, 16:109-122.
- Thongsuksai, P., Sriplung H., Phungrassami, T. and Prechavittayakul, P. 1997. Cancer Incidence in Songkhla , Southern Thailand, 1990-1994, Southeast Asian J Trop Med Public Health, 28(3):1-10.
- USEPA. 1976. Interim primary drinking water regulations, US Environment Protection Agency, Washington, DC, EPA.570/9-76-003.
- USEPA. 1993. Radon measurement in schools. US Environment Protection Agency Washington, D OAR, Document No.402-R-92-014.
- Waalkes, M.P. 200. Cadmium carcinogenesis in review, J of Inorganic Biochemistry, 79: 241-244.
- WHO (World Health Organization) 2002.Guidelines for drinking water quality, third edition :radiological aspects.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

Rev.1 เลขที่แบบสอบถาม _____ วันที่.....

แบบสำรวจ การบริโภคน้ำดื่ม

ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์ _____

บ้านเลขที่ _____ หมู่ที่ _____ หมู่บ้าน _____ ตำบล _____ อำเภอ จังหวัดสงขลา

ข้อมูลทั่วไป

1. เพศ () 1.ชาย () 2.หญิง

2. ปีที่เกิด _____

ในหมู่บ้านมีการใช้ น้ำประปาหมู่บ้าน () มี () ไม่มี

น้ำบาดาล () มี ปริมาณการหลังคาเรือน.....หลัง () ไม่ทราบ () ไม่มี

แหล่งที่มาของน้ำดื่ม

ความถี่ในการใช้แต่ละรายการ 1= ไม่เคย 2 =นานๆ ครั้ง 3= 1-3 ครั้ง /เดือน 4= 1-3 ครั้ง / สัปดาห์ 5 = เกือบทุกวัน 6 = ทุกวัน 7 = จำไม่ได้ R= Racine C= Ceramic Ro = Revers osmosis					
รายการชนิดของน้ำดื่มกิน	ขั้นตอนการปรับปรุงก่อนการดื่ม (ขีด / หน้าช่องว่าง)	ปริมาณการกินน้ำในแต่ละวัน(จำนวนแก้ว)	ความถี่ในปัจจุบัน (ภายใน 6 เดือน)	ความถี่เมื่อ 10 ปีที่แล้ว	ระยะเวลาการใช้ดื่ม(ปี)
() 1. น้ำป่อ	_____ ไม่ได้ปรับปรุง _____ คัดกรอง _____ เครื่องกรองสำเร็จรูป _____ เครื่องกรองทำเอง _____ ถ่าน _____ ทราช _____ R _____ C _____ RO _____ อื่นๆ				
() 2. น้ำฝน	_____ ไม่ได้ปรับปรุง _____ คัดกรอง _____ เครื่องกรองสำเร็จรูป _____ เครื่องกรองทำเอง _____ ถ่าน _____ ทราช _____ R _____ C _____ RO _____ อื่นๆ				
() 3. น้ำประปาหมู่บ้าน	_____ ไม่ได้ปรับปรุง _____ คัดกรอง _____ เครื่องกรองสำเร็จรูป _____ เครื่องกรองทำเอง _____ ถ่าน _____ ทราช _____ R _____ C _____ RO _____ อื่นๆ				

() 4. น้ำบาดาล	_____ ไม่ได้ปรับปรุง _____ คัดกรอง _____ เครื่องกรองสำเร็จรูป _____ เครื่องกรองทำเอง _____ ถ่าน _____ ทราช _____ อื่นๆ _____ R _____ C _____ RO				
() 5. น้ำขุด					
() 6. น้ำแร่					
() 7. อื่น ๆ					
ระบุ.....					

น้ำที่ใช้อุปโภค อาบ ซักล้าง

ความถี่ในการใช้แต่ละรายการ 1= ไม่เคย 2 = นานๆ ครั้ง 3= 1-3 ครั้ง / เดือน 4= 1-3 ครั้ง / สัปดาห์ 5 = เกือบทุกวัน 6 = ทุกวัน 7 = จำไม่ได้ R= Racine C= Ceramic Ro = Revers osmosis				
รายการ	วิธีการปรับปรุงก่อนการใช้อุปโภค ซักล้าง คัด (ขีด / หน้าช่องว่าง)	ความถี่ในปัจจุบัน (ภายใน 6 เดือน)	ความถี่เมื่อ 10 ปีที่แล้ว	ระยะเวลาการใช้อุปโภค(ปี)
() 1. น้ำท้อ	_____ ไม่ได้ปรับปรุง _____ คัดกรอง _____ เครื่องกรองสำเร็จรูป _____ เครื่องกรองทำเอง _____ ถ่าน _____ ทราช _____ R _____ C _____ RO _____ อื่นๆ			
() 2. น้ำฝน	_____ ไม่ได้ปรับปรุง _____ คัดกรอง _____ เครื่องกรองสำเร็จรูป _____ เครื่องกรองทำเอง _____ ถ่าน _____ ทราช _____ R _____ C _____ RO _____ อื่นๆ			
() 3. น้ำประปาหมู่บ้าน	_____ ไม่ได้ปรับปรุง _____ คัดกรอง _____ เครื่องกรองสำเร็จรูป _____ เครื่องกรองทำเอง _____ ถ่าน _____ ทราช _____ R _____ C _____ RO _____ อื่นๆ			

() 4. น้ำบาดาล	ไม่ได้ปรับปรุง			
	คัดกรอง เครื่องกรองสำเร็จรูป เครื่องกรองทำเอง ถ่านทราย R C RO อื่นๆ			
() 5. อื่นๆระบุ				

ข้อมูลการสูบน้ำ () ไม่สูบน้ำ

ชนิดของขาสูบน้ำ	อายุที่เริ่มสูบน้ำ	อายุที่เลิกสูบน้ำ	รวมระยะเวลาที่สูบน้ำ (เดือน/ปี)	กันกรอง 1 = มี 2 = ไม่มี	จำนวนมวน ต่อวัน
() บัวไทย					
() บัวนอก					
() บัวทำเอง					
() อื่นๆ ระบุ					

ข้อมูลการดื่มเหล้า () ไม่ดื่มเหล้า

ชนิดของแอลกอฮอล์	อายุที่เริ่ม (ปี)	อายุที่หยุดดื่ม (ปี) 0 = ยังดื่มอยู่	รวมเวลาที่ดื่ม	ปริมาณที่ดื่ม	หน่วยวัด ประมาณการในการดื่มแต่ละครั้ง 1 = เป๊ก 2 = แก้วน้ำชา 3 = แก้วใหญ่ 4 = แบน 5 = ขวด	ความถี่ในการดื่ม 1 = ไม่เคย 2 = นานๆ ครั้ง 3 = 1-3 ครั้ง / เดือน 4 = 1-3 ครั้ง / สัปดาห์ 5 = เกือบทุกวัน 6 = ทุกวัน 7 = จำไม่ได้
() เบียร์						
() เหล้าต่างประเทศ						
() เหล้าไทยหรือวิสกี้						
() เหล้าขาว						
() หวาก						
() ชาคอง						
() อื่นๆระบุ						

เคี้ยวหมาก () ไม่เคี้ยวหมาก

เริ่มดื่มเมื่ออายุ (ปี)	เลิกเมื่ออายุ (ปี) 0 = ยังเคี้ยวอยู่	เวลาที่ใช้ในการเคี้ยว (นาที)	จำนวนหมาก (คำ)	ต่อช่วงเวลา 1 = วัน 2 = สัปดาห์ 3 = เดือน 4 = ปี	กลิ่นน้ำหมาก 1 = ไม่กลิ่น 2 = กลิ่นทุกครั้ง 3 = กลิ่นบางครั้ง