

ภาคผนวก ก

นิพนธ์ต้นฉบับ

ความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำบ่อตื้น และความสัมพันธ์ กับอุบัติการณ์เกิดโรคมะเร็งช่องปากและมะเร็งหลอดอาหารในพื้นที่ อำเภอหนาม่อม จังหวัดสงขลา

จเร วุฒิสานน์¹ ธวัช ชิตตระการ² และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ³

Abstract

Wutthisasna, J., Chittrakarn, T. and Bhongsuwan, T.

Concentration of heavy metals and major elements in shallow well water and its relation with the evidence of oral and esophagus cancers in Namom District, Songkhla Province

Songklanakar J. Sci. Technol., 2004, 26(5) : 709-725

Altogether 39 water samples were collected from shallow wells in Namom district, Songkhla province. Two groups of sampling wells were recognized, i.e., a cancer related group and a no-cancer related group, which were related with the presence or absence of evidence of oral or esophagus cancers at the home of well owner. The pH, TDS, hardness and concentration of heavy metals and major elements (Ba, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Zn, Pb, Mg and Ca) of water samples were measured. The results showed that the pH of all water samples ranged from 4.5 to 7.4 among which 64.1% of water samples were not complied with the rural drinking water quality criteria B.E. 2531. Heavy metal and major element concentrations in all samples did not comply with the quality criteria 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

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla, 90112 Thailand.

¹นักศึกษาลัทธิสุตรวท.ม. สาขาฟิสิกส์ ²Ph.D.(Nuclear Physics), รองศาสตราจารย์ ³Ph.D.(Applied Geophysics), ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Corresponding e-mail: btripob@ratree.psu.ac.th

รับต้นฉบับ 29 เมษายน 2547 รับลงพิมพ์ 28 มิถุนายน 2547

9 variables. Factor-1 included TDS, hardness, Mg and Ca, which were interpreted as a result of granite decomposition. Factor-2 included the concentrations of Ba and Zn, which originated from decomposed granite in the south of Krongrang and Tungkamin sub-districts before transporting towards the north into the Klong-Wa. Factor-3 included a single element, iron, which had no relation with any others. Results of the t-test revealed significant differences ($p < 0.1$) for TDS, hardness, Mg and Ca between no-cancer related group samples and cancer related group samples. The TDS, hardness, Mg and Ca content in water samples were certainly not related to cancer in this area but another alkali earth metal 'radium', a natural radioactive substance, which is a well known carcinogen, probably plays an important role in this case. Measurement and analysis of radium and radon content in this water is urgently needed to confirm the radium content and its relation with oral and esophagus cancers in this area.

Key words : heavy metals, major element, shallow well water, factor analysis, cluster analysis, cancer

บทคัดย่อ

จเร วุฒิสาสน์ ธวัช ชิตตระกูล และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ
ความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำบ่อตื้น และความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์เกิดโรคมะเร็งช่องปากและมะเร็งหลอดอาหารในพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา
ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2547 26(5) : 709-725

เก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้นในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา จำนวนทั้งหมด 39 ตัวอย่าง แบ่งบ่อเก็บตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีประวัติมะเร็งช่องปากและมะเร็งหลอดอาหารในบ้านที่ใช้น้ำบ่อ กับกลุ่มที่ไม่มีประวัติมะเร็งในบ้าน ตรวจวัดค่าพีเอช ปริมาณสารละลายทั้งหมด ความกระด้าง ความเข้มข้นของธาตุ Ba, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Zn, Pb, Mg และ Ca ในตัวอย่างน้ำทั้งหมด ค่าพีเอชของน้ำบ่อตัวอย่างจำนวน 64.1% อยู่ในช่วง 4.5-7.4 ตกเกณฑ์คุณภาพน้ำดื่มชนบท พ.ศ.2531 ความเข้มข้นโลหะหนักที่ตรวจวัดในตัวอย่างน้ำทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพ ยกเว้นความเข้มข้นแคดเมียมสูงกว่าเกณฑ์ 1 ตัวอย่าง (0.0055 มก./ล.) ความเข้มข้นเหล็กสูงกว่าเกณฑ์ 2 ตัวอย่าง (0.77 มก./ล. และ 0.59 มก./ล.) ผลวิเคราะห์สถิติพหุคูณด้วยเทคนิควิเคราะห์ปัจจัย พบว่า สามารถสกัดปัจจัยได้ 3 ปัจจัย จากจำนวน 9 ตัวแปร ปัจจัยที่ 1 ประกอบด้วย ค่าปริมาณสารละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง และความเข้มข้น Mg และ Ca ซึ่งเชื่อว่าเป็นผลจากการชะล้างมาจากหินแกรนิตในพื้นที่ ปัจจัยที่ 2 ประกอบด้วย ค่าความเข้มข้น Ba และ Zn ซึ่งมาจากหินแกรนิตผุทางตอนใต้ของตำบลคลองหรั่งและตำบลทุ่งขี้มัน ต่อเนื่องออกสู่คลองหวัะ เมื่อทดสอบนัยสำคัญของความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย t-test พบว่าปริมาณสารละลายทั้งหมด ความกระด้าง และความเข้มข้น Mg และ Ca ของกลุ่มน้ำบ่อตัวอย่างที่มีประวัติการเป็นมะเร็ง กับกลุ่มที่ไม่มีประวัติมะเร็ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นสูงกว่า 90% อย่างไรก็ตามเป็นที่แน่นอนว่าค่าปริมาณสารละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง และความเข้มข้น Mg และ Ca จะไม่มีผลเกี่ยวข้องกับการก่อมะเร็งในพื้นที่ แต่ธาตุหมู่ 2 อีกตัวหนึ่งคือ ธาตุกัมมันตรังสีเรเดียม ซึ่งรู้จักกันดีว่าเป็นสารก่อมะเร็ง อาจเกี่ยวข้องกับการก่อมะเร็งในพื้นที่นี้ จึงควรทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ธาตุเรเดียมและเรดอนในน้ำบ่อตัวอย่างอย่างเร่งด่วน เพื่อยืนยันการปรากฏของธาตุเรเดียมในน้ำ และหาความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์มะเร็งในพื้นที่ให้ชัดเจน

การทำเหมืองแร่จัดเป็นต้นกำเนิดสำคัญอันดับต้นๆ ของมลพิษโลหะในสิ่งแวดล้อม (Lee and Stuebing, 1990) เนื่องจากแร่มีค่าส่วนใหญ่เป็นสารประกอบของธาตุโลหะหนักเข้มข้น เศษแร่หรือหางแร่ที่ติดค้างอยู่ในพื้นที่ ซึ่งใน

ที่สุดก็จะไปปนเปื้อนดิน น้ำผิวดินและน้ำบาดาลก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และอาจเป็นพิษต่อมนุษย์ ความเข้มข้นมลพิษโลหะในน้ำมีความสัมพันธ์อย่างซับซ้อนกับกระบวนการทางกายภาพและชีวภาพ ได้แก่ ศักย์รีดอกซ์

ความแข็งแรงของอ็อกไซด์แต่ละชนิด ค่าพีเอช และกิจกรรมของตัวยัดจับอ็อกไซด์ทั้งชนิดอินทรีย์และอนินทรีย์ เป็นต้น (Larocque and Rasmussen, 1998)

จังหวัดสงขลามีประวัติการทำเหมืองแร่ส่งออกนารายได้เข้าประเทศมาเป็นเวลานาน แร่ที่สำคัญได้แก่ แร่ดีบุก และสังกะสี โดยมีเหมืองแร่กระจายไปในหลายพื้นที่ ส่วนใหญ่จะพบในบริเวณตอนใต้ของจังหวัด โดยเฉพาะในเขตอำเภอนาหม่อม อำเภอจะนะ อำเภอทิว อำเภอเทพา และอำเภอสะเดา ในราวปี พ.ศ.2510 ได้มีการเปิดเหมืองแร่ดีบุกหลายแห่งในอำเภอนาหม่อม เช่น เหมืองแร่ควนจง เหมืองแร่เทียนวิไลส เหมืองแร่ชินไพบี เหมืองแร่คุณผลิน เหมืองแร่บ้านนา เหมืองแร่ทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น ในการทำเหมืองมักต้องมีการเปิดหน้าดินซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สภาพดินเดิมและสภาพน้ำผิวดินมีการเปลี่ยนแปลงไป ในปัจจุบันเหมืองแร่เหล่านี้ได้หยุดกิจการแล้วทั้งหมด

สำหรับอำเภอนาหม่อม ในปัจจุบันพื้นที่ซึ่งเดิมเคยเป็นเหมืองแร่ก็ถูกแปรสภาพไปทำการเกษตร ส่วนใหญ่จะถูกพลิกฟื้นไปเป็นสวนยาง สวนผลไม้ ในอำเภอนาหม่อมไม่มีโรงงานอุตสาหกรรมที่จะก่อกมลพิษโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม ที่มีอยู่บ้างก็เป็นอุตสาหกรรมอาหารและยางพารา ประชากรในอำเภอนาหม่อมส่วนใหญ่จึงมีอาชีพทำสวนยางสวนผลไม้ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าฐานข้อมูลอุบัติการณ์ของโรคมะเร็ง ณ หน่วยมะเร็ง คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2533-2537 พบว่ามีผู้ป่วยโรคมะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งช่องปากในพื้นที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา เป็นจำนวนมากผิดปกติ โดยมีค่าอุบัติการณ์มาตรฐานอายุ ASR (Age-Standardized incidence Rates) เฉพาะในเพศชาย เท่ากับ 24.8 และ 16.8 คนต่อประชากรแสนคน ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงมากเมื่อเทียบกับอำเภออื่นๆ ค่า ASR ของมะเร็งหลอด

อาหารและมะเร็งในช่องปากที่รองมาจากอำเภอนาหม่อมคือ อำเภอควนเนียง มีค่า ASR เท่ากับ 11.9 และ 13.3 (Tongsuksai *et al.*, 1997) จะเห็นว่าค่า ASR อันดับสูงสุดและอันดับรองลงมา มีค่าที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด และจากผลการรวบรวมข้อมูลระหว่างปี พ.ศ.2532-2543 ของอุบัติการณ์โรคมะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งในช่องปากในอำเภอนาหม่อม (Table 1) พบว่าเพศชายมีเปอร์เซ็นต์ของการเป็นมะเร็งหลอดอาหารและในช่องปากมากกว่าเพศหญิง (หน่วยมะเร็ง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ติดต่อบุคคล) ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมกรรมการดื่มเหล้า การสูบบุหรี่ การกินหมาก กินยาเส้น ที่เชื่อกันว่าเป็นปัจจัยที่มีผลเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งในช่องปากของประชาชนในภาคใต้ของประเทศไทย (Prateepko, 1998) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถยืนยันสาเหตุของอุบัติการณ์มะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งช่องปากที่สูงผิดปกติในอำเภอนาหม่อมได้

แหล่งมลพิษโลหะหนักในอำเภอนาหม่อมจึงน่าจะมาจากการปรากฏของสายแร่โลหะหนักในพื้นที่และผลพวงจากการทำเหมืองในอดีต การปนเปื้อนของโลหะหนักบางชนิดที่เป็นพิษในน้ำบริโภค อาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ของโรคมะเร็ง เช่น การปนเปื้อนของธาตุแคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) สารหนู (As) และนิกเกิล (Ni) ในน้ำดื่ม ซึ่งธาตุโลหะหนักดังกล่าว ทางสถาบันวิจัยมะเร็งระหว่างประเทศ หรือ International Agency for Research on Cancer (IARC) ได้จัดให้อยู่ในกลุ่มสารก่อมะเร็ง โครเมียมวาเลนซี 6 (Cr⁶⁺) อาจก่อมะเร็งปอดในมนุษย์ผ่านทางหายใจ (Costa, 2003) แคดเมียมเป็นสารก่อมะเร็งปอดในมนุษย์ (Waalkes, 2000) เช่นเดียวกันและอาจเกี่ยวข้องเป็นสารก่อมะเร็งที่ต่อมลูกหมาก ไต และตับ (prostate, kidney and liver cancers) สำหรับ

Table 1. Oral and esophagus cancer cases in Namom district of the 12 year period (B.E. 2532-2543).

	Sub-district			
	Pijit	Namom	Tungkamin	Klongrang
Male Population (2543)	2046	3495	2329	1916
Female Population (2543)	2140	3548	2379	2024
Oral cancer and Esophagus Cancer in Male population	17	14	11	14
Oral cancer and Esophagus Cancer in Female population	3	3	1	2

นิกเกิลจัดเป็นสารก่อมะเร็งปอดและมะเร็งโพรงจมูก (Kasprzak *et al.*, 2003) ซึ่งมะเร็งที่เกิดจากพิษโลหะสามตัวดังกล่าวมักเกิดกับกลุ่มคนงานที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมหนักที่ใช้สารนั้นๆ โดยได้รับในปริมาณมากในระหว่างการทำงาน ส่วนใหญ่ผ่านทาง การหายใจ (inhalation) สารหนูเป็นสารก่อมะเร็งผิวหนัง เช่น ที่ปนเปื้อนอยู่ในดินและในน้ำบาดาลในพื้นที่เหมืองเก่าในอำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานการเชื่อมโยงระหว่างโลหะหนักในน้ำกับมะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งช่องปาก ซึ่งมีอุบัติการณ์มะเร็งสูงมากในประชากรเพศชายในอำเภอนาหม่อม

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาค่าความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำบาดาลซึ่งนิยมใช้บริโภคกันในหมู่ประชาชนจากอดีตจนถึงปัจจุบัน และรายงานผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปรากฏระหว่างความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักบางชนิดในน้ำบาดาลกับอุบัติการณ์มะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งช่องปากของประชาชนในอำเภอนาหม่อม ซึ่งยังคงใช้น้ำบาดาลสำหรับบริโภคและอุปโภคในชีวิตประจำวันอยู่ในปัจจุบัน

ธรณีวิทยาในอำเภอนาหม่อม

อำเภอนาหม่อม อยู่ในเขตจังหวัดสงขลา ตั้งอยู่ระหว่างเส้นพิกัดกริด 665000-680000 ตะวันออก และ 760000-777000 เหนือ ลักษณะภูมิประเทศประกอบด้วยที่ราบลุ่มบริเวณตอนกลางของพื้นที่ ซึ่งครอบคลุมอำเภอนาหม่อม โดยมีภูเขาล้อมรอบทั้งสี่ด้าน ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยหินตะกอน หินแปร หินอัคนีและดิน ทราาย กรวดที่ยังไม่จับตัว หินตะกอนและหินแปร มีอายุประมาณต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัส และปลายยุคไทรแอสซิก หินอัคนีมีอายุประมาณปลายยุคไทรแอสซิกถึงต้นยุคจูแรสซิก และดิน ทราาย กรวด สะสมตัวในยุคควอเทอร์นารี (Figure 1) จากผลการวิเคราะห์ธรณีเคมีของหินแกรนิตจากเหมืองทุ่งโพธิ์ในอำเภอนาหม่อม พบว่ามีความเข้มข้นธาตุตะกั่ว (Pb) อยู่ในช่วง 5-20 มก./กก. สังกะสี (Zn) อยู่ในช่วง 5-30 มก./กก. แบเรียม (Ba) มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 127 มก./กก. ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นแบเรียมในหินแกรนิตทั่วไป (830 มก./กก.) แต่จะพบความเข้มข้นแบเรียมมีค่าสูงสุดในบริเวณใกล้รอยสัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินตะกอน (Pungrassami, 1984) นอกจากนั้น

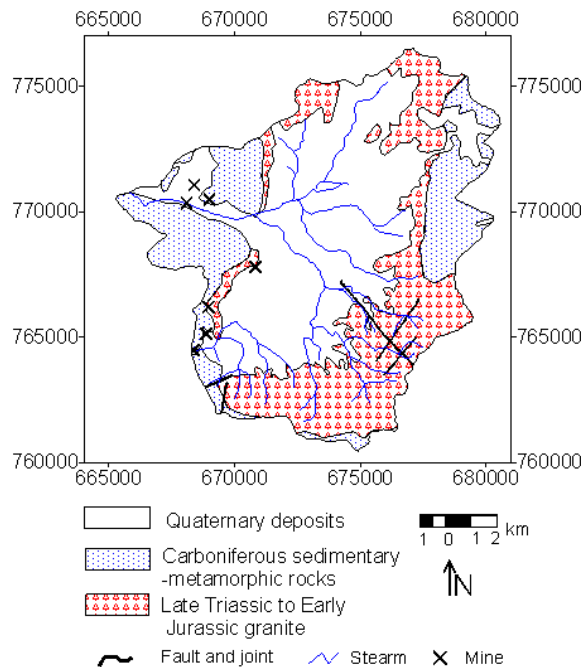


Figure 1. Geology map of Namom District, Songkhla province. (Redrawn from Pungrassami, 1984)

ยังพบว่าหินแกรนิตในเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์มีการแปรสภาพด้วยอิทธิพลของก๊าซและสารละลายร้อน โดยตรวจพบการแปรสภาพของแร่เฟลด์สปาร์ไปเป็นแร่ดินขาว (Kaolin) หินแกรนิตที่นี้จึงมีลักษณะพิเศษ คือ ฟู ร่วน และพรุน ทำให้ธาตุโลหะในหินมีโอกาสที่จะถูกชะล้างละลายไปอยู่ในดิน และในน้ำใต้ดินได้ง่าย สำหรับกรวดทรายท้องน้ำของยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) เกิดจากการผุพังของหินและสลายแร่ในยุคก่อนแล้วสะสมอยู่ตามที่ราบลุ่มลำนน้ำ ชั้นกรวดที่สะสมเป็นชั้นหนา 3-15 เมตร (Changlow, 2001) ชั้นกรวดทรายท้องน้ำเหล่านี้ หลายๆ บริเวณเป็นแหล่งลานแร่ดีบุก (Punggrassmi, 1984)

นอกจากนี้ยังมีรายงานการตรวจพบสินแร่กัมมันตรังสีสูงชนิดทอร์เบอร์ไนต์ (Torbernite สูตรเคมี $Cu(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8-12H_2O$) ในบริเวณเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์แร่กัมมันตรังสีสูงนี้มีธาตุยูเรเนียมประกอบอยู่ถึง 48% โดยน้ำหนัก แร่ดังกล่าวจัดเป็นแร่ทุติยภูมิในหินแกรนิต โดยจะพบแทรกอยู่ตามรอยแตกในหิน ในสายควอตซ์ในหินแกรนิตควอร์ตไซต์ และพบมากในหินแกรนิตฝู (Punggrassami, 1984) ธาตุกัมมันตรังสียูเรเนียมจะสลายตัวทางนิวเคลียร์ไปเป็นธาตุกัมมันตรังสีเรเดียม และก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนซึ่งทั้งคู่เป็นสารก่อมะเร็ง โดยเรเดียมพบเป็นสารก่อมะเร็งที่กระดูก ส่วนเรดอนเป็นสารก่อมะเร็งปอด (National Academy of Science, 1999) อย่างไรก็ตามยังไม่เคยมีรายงานความเกี่ยวข้องโดยตรงของเรเดียมและเรดอนในน้ำกับอุบัติการณ์มะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งช่องปาก

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้น และการเตรียมตัวอย่าง

ในการเลือกบ่อน้ำต้นที่จะเก็บตัวอย่าง ได้ตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นจากหน่วยมะเร็งว่าบ้านเรือนใดที่มีประวัติมีสมาชิกในบ้านเป็นมะเร็งในช่องปาก และมะเร็งหลอดอาหาร ที่มารับการรักษาที่โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ในช่วงปีพ.ศ. 2532-2543 น้ำบ่อตัวอย่างที่เก็บจากบ้านเรือนดังกล่าว จะกำหนดให้อยู่ในกลุ่มตัวอย่างที่มีประวัติมะเร็ง (cancer group) ซึ่งมีจำนวน 20 จุด และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นการสุ่มตัวอย่างจากบ้านเรือนที่ไม่มีสมาชิกในบ้านมีประวัติมารับ

การรักษาโรคมะเร็งช่องปากและมะเร็งหลอดอาหารที่โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ และกำหนดให้น้ำบ่อตัวอย่างนี้ อยู่ในกลุ่มตัวอย่างที่ไม่มีประวัติมะเร็ง (no cancer group) มีจำนวน 19 จุด รวมจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 39 จุด แม้ว่าบ้านเรือนหรือประชากรส่วนใหญ่ในอำเภอหาม่อมจะจัดอยู่ในกลุ่มไม่มีประวัติมะเร็ง ซึ่งหมายความว่าน้ำบ่อตัวอย่างที่ควรวิเคราะห์ของกลุ่มนี้ควรมีจำนวนตัวอย่างมากกว่านี้หลายเท่าตัวเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของกลุ่ม แต่เนื่องจากมีงบประมาณจำกัดจึงให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์น้ำบ่อกลุ่มที่มีประวัติมะเร็ง แล้วจึงเลือกสุ่มบ่อตัวอย่างกลุ่มไม่มีประวัติมะเร็งจากพื้นที่ทั้งอำเภอจำนวน 19 บ่อดังกล่าว โดยตำแหน่งบ่อที่เก็บน้ำตัวอย่างจะกระจายครอบคลุมพื้นที่อำเภอหาม่อม (Figure 2) ซึ่งได้ตรวจสอบพิภพภูมิศาสตร์ของบ่อเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องบอกพิภพภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (Trimble Navigator, Basic Plus, USA) เพื่อวิเคราะห์การกระจายของธาตุต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา

ได้เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำต้นที่เลือกไว้แล้ว ในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม พ.ศ.2546 จำนวนทั้งหมด 39 ตัวอย่าง โดยเก็บน้ำตัวอย่างละ 1 ลิตร บรรจุในขวดโพลีเอทิลีนที่ล้างสะอาดด้วยน้ำกลั่น วัดค่าพีเอช (pH, Eutech Instruments รุ่น pHScan1) และค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) (Eutech Instruments รุ่น TDSScan1) ก่อนที่จะปรับและรักษาสภาพน้ำตัวอย่างด้วยการเติมกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 15 มล. (APHA, 1998) 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

2. เทคนิคสถิติวิเคราะห์ที่ใช้

พิจารณาการกระจายของโลหะหนักและธาตุหลักแต่ละธาตุในน้ำบ่อตัวอย่าง เพื่อแสดงการกระจายของโลหะหนักและธาตุหลักในพื้นที่ โดยใช้โปรแกรม Surfer (Golden Software, USA) สร้างแผนที่คอนทัวร์ของความเข้มข้นโลหะในน้ำตัวอย่าง

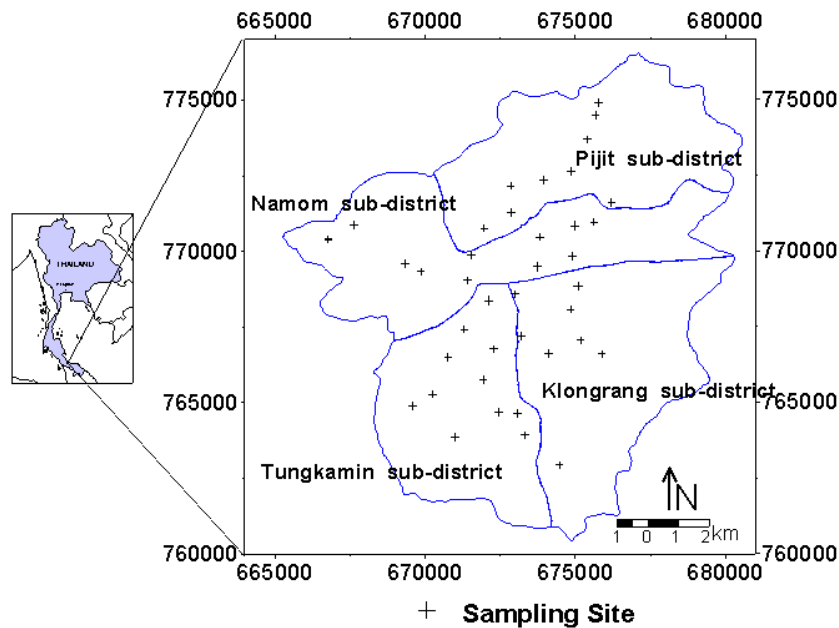


Figure 2. Sampling sites of well water in the study area.

ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำป่อด้อย่างทั้งหมด 11 ธาตุ (11 ตัวแปร) จากตำแหน่งป่อด้อย่างทั้งหมด 39 ตำแหน่ง รวมทั้งค่าพีเอช ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด และค่าความกระด้าง ทำให้ข้อมูลที่จะวิเคราะห์มีขนาดใหญ่และซับซ้อน จึงเลือกใช้เทคนิคสถิติพหุคูณ (multivariate) ในการรวบรวม แยกกลุ่ม และแปลความหมายอย่างมีนัยสำคัญ ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (factor analysis) เพื่อใช้อธิบายความหมายระหว่างตัวแปร (ความเข้มข้นของธาตุและสมบัติเคมีอื่นๆ) ที่มีความสัมพันธ์กัน โดยคำนวณค่าน้ำหนักปัจจัย (factor loading) ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่ม การวิเคราะห์ปัจจัยเป็นเทคนิคการจำแนกกลุ่มของตัวแปร (Davis, 1973) เพื่อที่จะลดจำนวนตัวแปรลงเป็นปัจจัย ซึ่งตัวแปรที่อยู่ในปัจจัยเดียวกัน จะมีความสัมพันธ์และอยู่ในทิศทางเดียวกัน (มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นบวก) หรือตรงข้ามกัน (มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นลบ) และใช้เทคนิควิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (principal component analysis, PCA) ในการแยกปัจจัย ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากในการพยากรณ์แบบจำลองคณิตศาสตร์ทางเคมีจากข้อมูลสมบัติเคมีของวัสดุตัวอย่าง (Chemometrics) เพื่อใช้ในการ

ค้นหาความสัมพันธ์ร่วมระหว่างตัวแปรว่าไอออนเอียงไปในทิศทางใด (Chapman, 1992) โดยปัจจัยที่ 1 จะมีความสัมพันธ์ในแบบเชิงเส้นระหว่างตัวแปรในปัจจัย และมีความแปรปรวนสูงสุด ปัจจัยที่ 2 ก็มีความสัมพันธ์เชิงเส้นเช่นกัน โดยปัจจัยที่ 2 จะตั้งฉากกับปัจจัยที่ 1 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยที่ 2 ไม่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ 1 สำหรับปัจจัยที่ 3, 4 และต่อๆ ไปก็เช่นเดียวกัน พิจารณาความผันแปรของปัจจัยจากค่าไอเกน (Eigen value) ซึ่งจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเลือกพิจารณาปัจจัยที่มีค่าไอเกนมากกว่า 1 เท่านั้น

ใช้เทคนิคการหมุนแกนแบบ Varimax (Kaizer, 1958) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกตัวแปรออกจากกัน หมุนแกนในการจัดกลุ่มตัวแปรว่าควรอยู่ในปัจจัยใด และเพื่อแยกตัวแปรที่มีค่าน้ำหนักปัจจัยกลางๆ ให้เด่นชัดขึ้น ส่วนตัวแปรที่มีค่าน้ำหนักปัจจัยมากหรือน้อย จะชัดเจนอยู่แล้ว (Kaizer, 1958) และทำการคำนวณหาค่าคะแนนปัจจัย (factor score) ของแต่ละน้ำป่อด้อย่างจาก 39 ตำแหน่ง โดยจะพิจารณาค่าที่เป็นบวกมาก หรือลบมาก ในการอธิบายความเข้มข้นของโลหะหนักในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง และนำค่าคะแนนปัจจัยไปสร้างแผนที่คอนทัวร์เพื่อจะใช้อธิบายการกระจายในพื้นที่ได้ชัดเจน

ยั้งขึ้น (Wang *et al.*, 2001)

ในการแปลผลความคล้ายกันหรือความต่างกัน (similarity) ของน้ำบ่อตัวอย่างจากตำแหน่งเก็บตัวอย่างต่างๆ ทั้ง 39 ตำแหน่ง ได้เลือกใช้เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (cluster analysis) ซึ่งเป็นเทคนิคการจัดกลุ่มตามความคล้ายความต่างของตัวแปร โดยในการศึกษานี้ใช้ค่าความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำ ความกระด้าง ค่าพีเอช และค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ทำการจัดกลุ่มของแต่ละตัวอย่าง โดยตัวอย่างในกลุ่มเดียวกันจะมีความคล้ายคลึงกันสูง (higher similarity) และกลุ่มที่แยกจากกันจะมีความต่างกัน โดยใช้หลักการรวมกลุ่มของ Ward (Ward's Method) ซึ่งแสดงการเชื่อมโยงกลุ่มโดยอาศัยระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean distance; Reghunath *et al.*, 2002)

ใช้การทดสอบ t-test เพื่อหาระดับความเชื่อมั่นที่จะเห็นความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ในกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม คือ น้ำบ่อตัวอย่างกลุ่มที่มีประวัติการเป็นมะเร็ง กับน้ำบ่อตัวอย่างกลุ่มที่ไม่มีประวัติการเป็นมะเร็ง ว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และแสดงกราฟของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มดังกล่าวด้วย Box plot โดยการ

แสดงค่าเฉลี่ย (mean) ค่าผิดพลาดมาตรฐาน (standard Error, SE) และ 1.96 เท่าของ SE

ผลและการวิเคราะห์ผล

1. การกระจายของโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำบ่อต้นในอำเภอหนองมอ จังหวัดสงขลา

ผลการวัดค่าพีเอช ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง (hardness) และความเข้มข้นธาตุ Mg, Ca, Ba, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Zn และ Pb ในน้ำบ่อตัวอย่าง (Table 2) เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบทของคณะกรรมการบริหารโครงการจัดให้มีน้ำสะอาดในชนบทที่วราชอาณาจักร พ.ศ. 2531 พบว่าน้ำบ่อตัวอย่างมีค่าพีเอชต่ำกว่าเกณฑ์คุณภาพ (เกณฑ์คุณภาพ 6.5 - 8.5) อยู่ 25 ตัวอย่าง คิดเป็น 64.1% ของตัวอย่างทั้งหมด ความเข้มข้นแคดเมียม (Cd) เกินเกณฑ์คุณภาพเพียง 1 ตัวอย่าง (0.0055 มก./ล. เกณฑ์คุณภาพ 0.005 มก./ล.) ความเข้มข้นเหล็ก (Fe) เกินเกณฑ์คุณภาพเพียง 2 ตัวอย่าง (0.59 มก./ล., 0.77 มก./ล. เกณฑ์คุณภาพ 0.5 มก./ล.) แต่ก็มีค่าสูงกว่าเกณฑ์

Table 2. Average TDS, pH and concentration of heavy metal in shallow well water in the sub-district of Namom District.

sub-district	Quality Criteria*	Pijit		Tungkamin		Klongrang		Namom		Average conc. In granite**
		mean	range	mean	range	mean	range	mean	range	
pH	6.5-8.5	6.3	5.3-7.1	5.9	4.8-7.4	6.1	4.7-6.8	5.6	4.5-6.7	-
TDS (mg/l)	1000	114.1	32.7-255.0	101.8	31.5-434.0	130.9	52.0-224.0	87.7	28.2-164.0	-
Hardness (mg/l)	300	20.2	4.1-42.2	20.6	2.3-91.7	33.4	12.8-87.7	17.4	1.9-54.9	-
Mg (mg/l)	-	1.308	0.168-3.630	0.957	0.246-3.220	1.746	0.306-5.420	0.804	0.010-1.270	0.56%
Ca (mg/l)	-	5.92	1.22-13.50	6.67	0.50-31.4	10.52	4.59-26.20	5.63	0.60-20.40	1.58%
Ba (mg/l)	-	0.37	0.21-0.72	0.41	0.17-0.70	0.34	0.22-0.49	0.34	0.17-0.66	830 mg/kg
Cr (mg/l)	0.05	N/D	N/D	0.006	0.006	0.004	0.004	N/D	N/D	-
Mn (mg/l)	0.3	0.098	0.008-0.202	0.057	0.012-0.162	0.072	0.004-0.252	0.078	0.007-0.296	0.06%
Fe (mg/l)	0.5	0.212	0.022-0.593	0.159	0.006-0.774	0.082	0.007-0.272	0.103	0.005-0.435	2.7%
Ni (mg/l)	-	0.007	0.007	0.006	0.006	0.008	0.008	0.005	0.005	-
Cu (mg/l)	1.0	0.012	0.005-0.018	0.027	0.007-0.047	0.019	0.015-0.023	0.017	0.016-0.018	20 mg/kg
Cd (mg/l)	0.005	0.003	0.002-0.006	0.002	0.001-0.003	0.002	0.001-0.003	0.002	0.002-0.003	-
Zn (mg/l)	5.0	0.044	0.014-0.122	0.060	0.010-0.138	0.035	0.009-0.112	0.034	0.004-0.106	60 mg/kg
Pb (mg/l)	0.05	N/D	N/D	0.011	0.010-0.012	N/D	N/D	N/D	N/D	20 mg/kg

N/D = non detectable

* Rural Drinking Water Quality Criteria (เกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบท โดยคณะกรรมการบริหารโครงการจัดให้มีน้ำสะอาดในชนบทที่วราชอาณาจักร 2531)

** Average concentration of elements in normal granite rocks (Govett, 1983)

คุณภาพไม่มากนัก ส่วนธาตุที่ตรวจวัดอื่นๆ ได้แก่ Mg, Ca, Ba, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn และ Pb ไม่พบว่าเกินเกณฑ์คุณภาพ

ได้สร้างแผนที่คอนทัวร์ของค่าความกระด้าง ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ค่าความเข้มข้นธาตุ Mg, Ca, Ba, Mn, Fe และ Zn (Figure 3) โดยละเว้นไม่ทำแผนที่คอนทัวร์ของธาตุ Cr, Cd, Cu, Ni และ Pb เนื่องจากค่าความเข้มข้นธาตุดังกล่าวที่วัดได้ในน้ำบ่อตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าขีดตรวจวัด (Detection Limit) ของเครื่อง ICP-AES ซึ่งขีดเริ่มต้นความเข้มข้นที่จะวิเคราะห์ได้ สำหรับ Cr ≥ 0.002 มก./ล., Cd ≥ 0.001 มก./ล., Cu ≥ 0.0004 มก./ล., Ni ≥ 0.005 มก./ล. และ Pb ≥ 0.002 มก./ล. โดยจำนวนตัวอย่างที่สามารถวัดความเข้มข้นได้มีเพียงไม่กี่ตัวอย่าง

ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) ตรวจพบว่าในน้ำบ่อตัวอย่าง มีค่า TDS ในช่วง 28-434 มก./ล. เมื่อพิจารณาจากแผนที่คอนทัวร์ใน Figure 3a พบว่าค่า TDS มากกว่า 170 มก./ล. จะจับกลุ่มอยู่บริเวณทางตอนใต้ของอำเภอนาหม่อม โดยมีอีกบริเวณหนึ่ง น้ำบ่อตัวอย่างจะมีค่า TDS ในช่วง 170-220 อยู่ในตำบลพิจิตร ได้ขีดเส้นประลงในแผนที่คอนทัวร์เพื่อแสดงบริเวณที่มีค่า TDS ผิดปกติให้เด่นชัดขึ้น ค่า TDS ของน้ำบ่อตัวอย่างที่อยู่ในตำบลพิจิตร ตำบลทุ่งขมิ้น และตำบลคลองหรั่ง มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน ส่วนน้ำบ่อตัวอย่างที่อยู่ในตำบลนาหม่อมจะมีค่าเฉลี่ย TDS น้อยที่สุด ซึ่งค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมดของน้ำบ่อตัวอย่างทั้งหมด ยังไม่สูงเกินเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบท 1000 มก./ล.

ความกระด้าง (Hardness) บริเวณที่น้ำบ่อตัวอย่างมีค่าความกระด้างสูงกว่า 30 มก./ล. พบอยู่ทางตอนใต้ของตำบลคลองหรั่ง (Figure 3b) และต่อเนื่องออกไปทางตำบลทุ่งขมิ้น และอีกบริเวณหนึ่งอยู่ในตำบลพิจิตร น้ำบ่อตัวอย่างมีความกระด้างในช่วง 40-50 มก./ล. ตัวอย่างนอกเหนือจากนี้มีค่าความกระด้างต่ำกว่า 40 มก./ล. ซึ่งระดับความกระด้างของน้ำบ่อตัวอย่างทั้งหมด ยังไม่สูงเกินเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบท 300 มก./ล. เส้นประในแผนที่ Figure 3b แสดงบริเวณที่น้ำมีความกระด้างสูงให้มีความชัดเจนขึ้น

แมกนีเซียม (Mg) ความเข้มข้น 2.4-4.8 มก./ล.

จับกลุ่มอยู่ทางตอนล่าง ตำบลคลองหรั่ง และตำบลทุ่งขมิ้น (Figure 3c) ซึ่งเป็นบริเวณที่ความเข้มข้นสูงสุดจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด เส้นประลงในแผนที่เน้นบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงให้มีความชัดเจนขึ้น น้ำบ่อตัวอย่างจากบริเวณพื้นที่ราบตอนกลางจะมีค่าความเข้มข้น Mg น้อยกว่า 2.4 มก./ล.

แคลเซียม (Ca) มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 10-30 มก./ล. จับกลุ่มกันอยู่ในบริเวณทางตอนใต้ของตำบลคลองหรั่ง และตำบลทุ่งขมิ้น (Figure 3d) เส้นประในแผนที่เน้นบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง น้ำบ่อตัวอย่างจากพื้นที่ราบตอนกลางมีความเข้มข้น Ca ต่ำกว่า 15 มก./ล. โดยค่าเฉลี่ยของความเข้มข้น Ca ในน้ำบ่อตัวอย่างจากตำบลคลองหรั่ง มีค่าสูงกว่าจากตำบลอื่นๆ

แบเรียม (Ba) ความเข้มข้น Ba ในน้ำบ่อตัวอย่างอยู่ในช่วง 0.4-0.6 มก./ล. และต่อเนื่องจากทางใต้ ตำบลคลองหรั่ง ไปถึงทิศตะวันตกของตำบลนาหม่อม และอีกบริเวณหนึ่งความเข้มข้น 0.4-0.6 มก./ล. จะจับกลุ่มอยู่ในพื้นที่ตำบลพิจิตร (Figure 3e) เส้นประในแผนที่เน้นบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง สังเกตว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ Ba ในน้ำบ่อตัวอย่างจากทุกตำบลมีค่าใกล้เคียงกัน

แมงกานีส (Mn) จับกลุ่มความเข้มข้นสูงอยู่ 2 กลุ่ม ในช่วง 0.16-0.28 มก./ล. ในเขตตำบลนาหม่อม และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ Mn ในแต่ละตำบลไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งค่าความเข้มข้น Mn ในน้ำบ่อตัวอย่างทั้งหมดยังไม่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคในชนบท 0.3 มก./ล.

เหล็ก (Fe) มีความเข้มข้นในช่วง 0.3-0.6 มก./ล. รวมตัวกันอยู่ 3 บริเวณทางด้านตำบลพิจิตรตอนล่าง ตำบลคลองหรั่ง และตำบลทุ่งขมิ้น มีเพียง 2 ตัวอย่าง ที่มีค่าความเข้มข้น Fe สูงเกินเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบท 0.5 มก./ล.

สังกะสี (Zn) มีความเข้มข้นในช่วง 0.04-0.12 มก./ล. จับกลุ่มเป็นแนวต่อเนื่อง จากทางตอนใต้ของตำบลคลองหรั่ง ออกไปทางทิศตะวันตกของตำบลนาหม่อม และอีกกลุ่มหนึ่ง 0.04 -0.10 มก./ล. อยู่ในตำบลพิจิตร แสดงให้ชัดเจนด้วยเส้นประ ซึ่งค่าความเข้มข้น Zn ในน้ำบ่อตัวอย่างทั้งหมด ยังไม่สูงเกินเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบท 5 มก./ล.

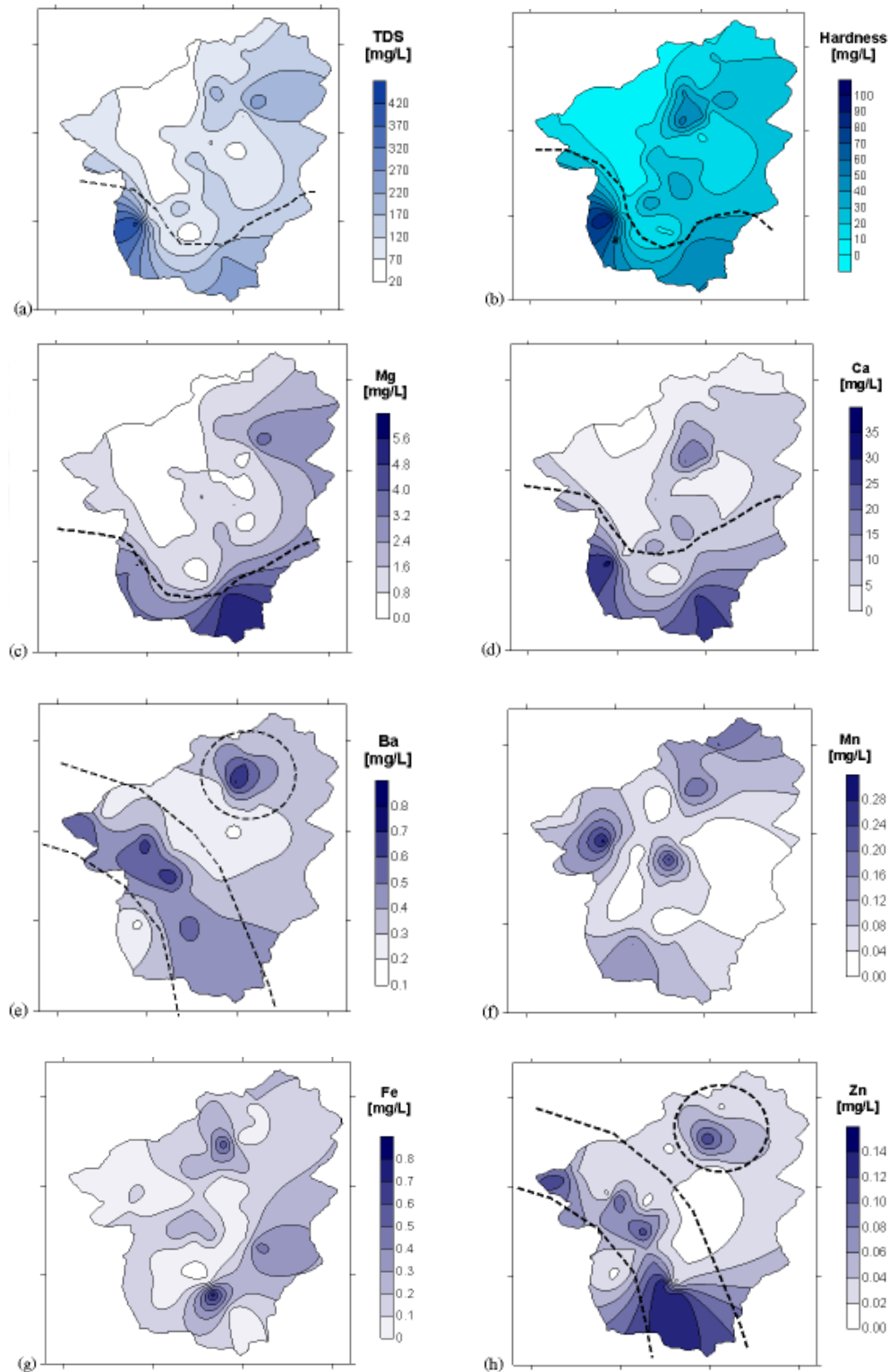


Figure 3. Contour maps of the chemical properties of well water samples: (a) TDS, (b) Hardness, (c) Mg, (d) Ca, (e) Ba, (f) Mn, (g) Fe and (h) Zn

ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง และค่าความเข้มข้น Mg และ Ca มีการกระจายในพื้นที่ลักษณะคล้ายคลึงกันคือ อยู่ในบริเวณทางตอนใต้ของตำบลคลองหรีง และตำบลทุ่งขมิ้น และอีกกลุ่มหนึ่งที่มีค่าความเข้มข้นสูงเช่นกันพบอยู่ในพื้นที่ตำบลพิจิตร เมื่อเทียบเคียงกับลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ (Figure 1) พบว่าบริเวณความเข้มข้นสูงดังกล่าวสอดคล้องกับตำแหน่งที่พบหินแกรนิต จึงเชื่อว่าหินแกรนิตในพื้นที่อำเภอหนองหาน่าจะเป็นแหล่งกำเนิดของโลหะหนักและธาตุหลักที่ตรวจพบในน้ำบ่อตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหินแกรนิตบริเวณนี้มีลักษณะผุกร่อนและพรุน ทำให้ธาตุประกอบในหินถูกน้ำ

ชะล้างออกมาได้โดยง่าย สำหรับความเข้มข้นของธาตุ Ba และ Zn ในน้ำบ่อตัวอย่างมีการกระจายที่คล้ายคลึงกันโดยมีความต่อเนื่องจากทางตอนใต้ของอำเภอหนองหานและออกไปทางทิศตะวันตกและเมื่อเทียบเคียงกับแผนที่ธรณีวิทยา การกระจายของ Ba และ Zn จะมีทิศทางคู่ขนานไปกับทางน้ำที่ไหลรวมตัวกันออกทางคลองหหวะ ส่วน Fe และ Mn มีการกระจาย ลักษณะการจับกลุ่มกันไม่ชัดเจนมากนัก

2. ความสัมพันธ์ของโลหะหนักในน้ำบ่อตัวอย่าง

ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโลหะหนัก โดยใช้

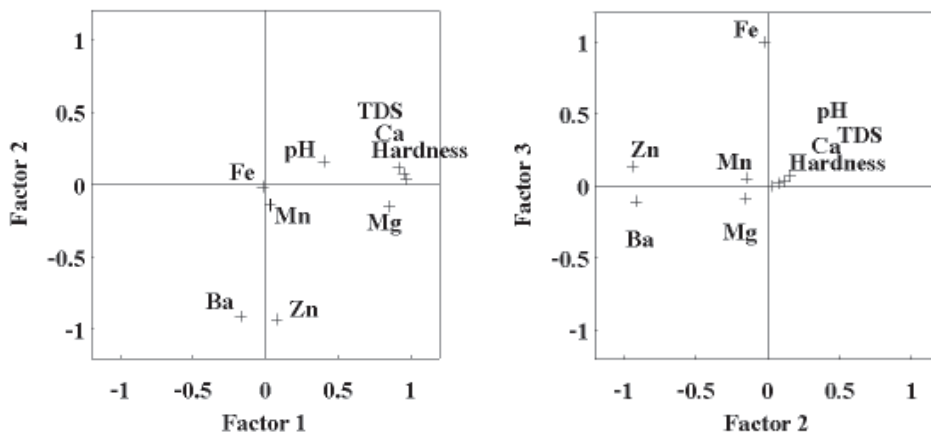


Figure 4. Factor loading plots of corresponding factors after VARIMAX rotation.



Figure 5. Distribution of Factor score 1 (TDS, Hardness, Mg and Ca) in study area. Area in gray color indicates Factor score > 0.7.

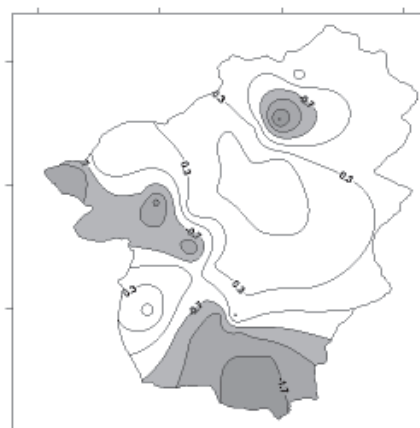


Figure 6. Distribution of Factor score 2 (Ba and Zn) in study area. Area in gray color indicates Factor score < -0.7.

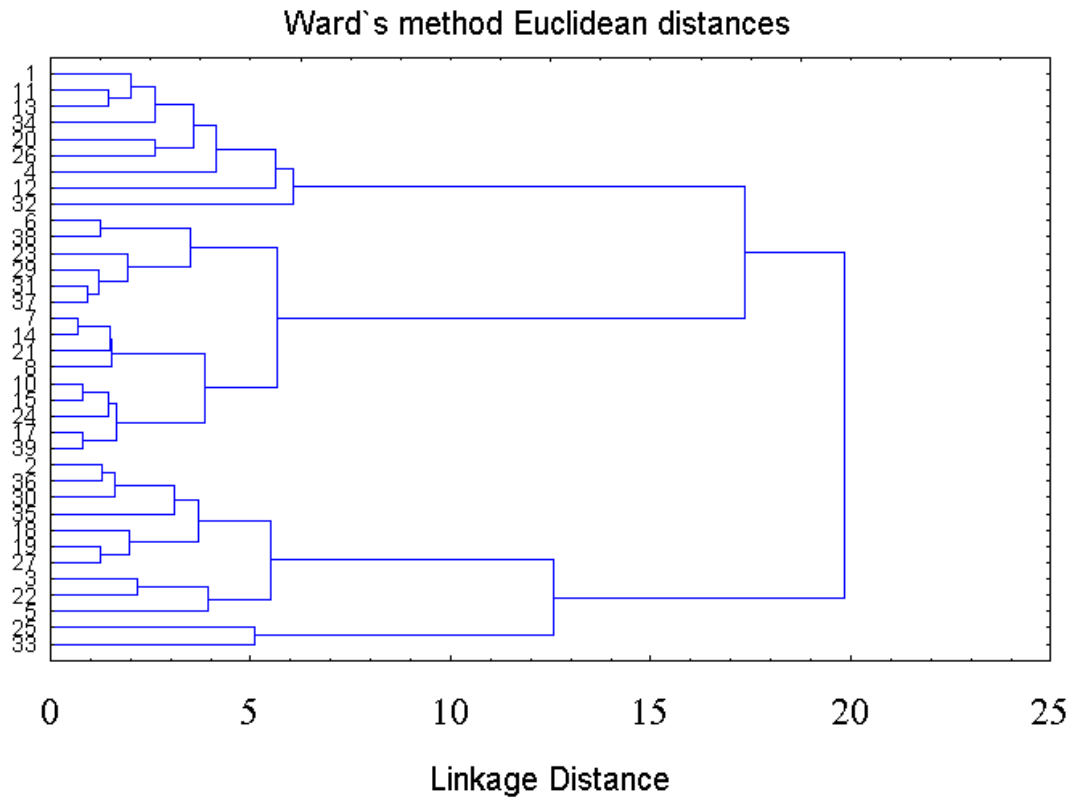


Figure 7. Dendrogram of the cluster analysis.

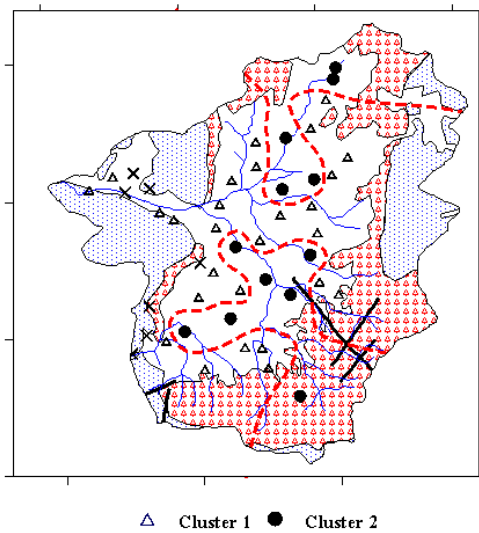


Figure 8. Cluster 1 and cluster 2 located at the linkage distance of 20.

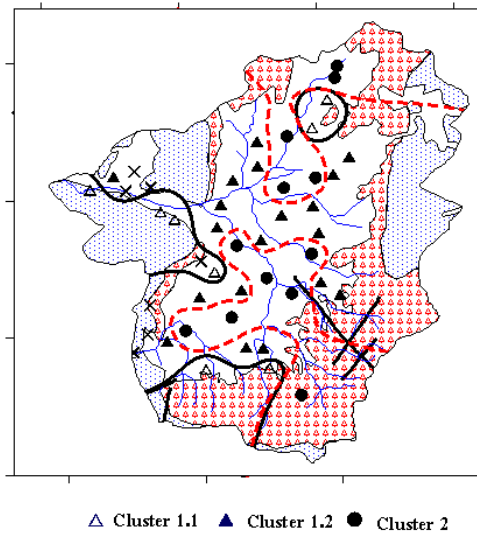


Figure 9. Cluster 1.1 and cluster 1.2 located at the linkage distance of 12.5.

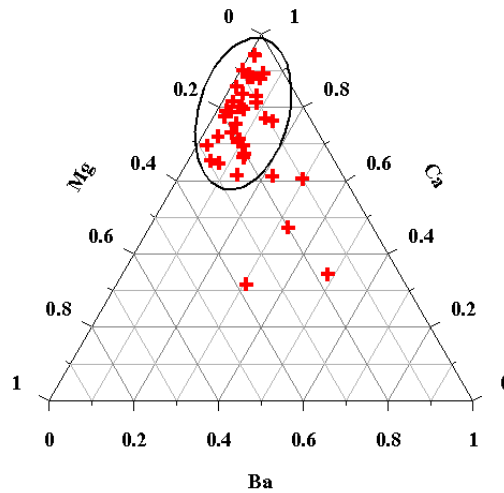


Figure 10. Ternary diagram showing the correlation of the alkaline earth metals Ba, Ca and Mg.

เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย วิเคราะห์จากตัวแปร 9 ตัว ประกอบด้วย ค่าพีเอช ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง และค่าความเข้มข้นของธาตุ Ba, Ca, Mg, Fe, Mn และ Zn แล้วใช้เทคนิควิเคราะห์องค์ประกอบหลัก PCA สกัดแยกปัจจัยแล้วตามด้วยการหมุนแกนโดยใช้เทคนิค Varimax (Anazawa and Ohmori, 2001; Morales et al., 1999; Simeonov et al., 2003) ผลการสกัดปัจจัยพบว่ามี 3 ปัจจัย ที่มีค่าไอเกนมากกว่า 1 (Table 2) และได้้นำค่าน้ำหนักปัจจัยมาลงจุดบนกราฟให้เห็นชัดเจนขึ้น ดังแสดงใน Figure 4

ปัจจัยที่ 1 สามารถอธิบายได้ดีที่สุด คิดเป็นร้อยละ 44.81 ของความแปรปรวน มีค่าไอเกนเท่ากับ 4.03 (Table 3) อธิบายการจำแนกปัจจัยได้มากที่สุดประกอบด้วยตัวแปร ได้แก่ ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง และค่าความเข้มข้นธาตุ Mg และ Ca ในน้ำบ่อตัวอย่าง ปัจจัยนี้มีค่าน้ำหนักปัจจัยมากกว่า 0.8 และเมื่อเทียบเคียงแผนที่ การกระจายของตัวแปรในปัจจัยที่ 1 (Figures 3a, 3b, 3c, 3d) กับแผนที่ธรณีวิทยา ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ตัวแปรในปัจจัยที่ 1 น่าจะมีความสัมพันธ์กับการปรากฏของหินแกรนิต เป็นไปได้สูงกว่าหินแกรนิตในพื้นที่อำเภอ

Table 3. Varimax rotated factor loading matrix.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8
pH	0.406	0.158	0.065	0.037	0.897	-0.001	-0.001	-0.011
TDS	0.921	0.115	0.027	0.052	0.165	-0.034	0.036	-0.324
hardness	0.971	0.035	-0.002	-0.006	0.217	0.017	0.014	0.091
Mg	0.857	-0.151	-0.088	0.083	0.006	0.477	0.025	0.011
Ca	0.954	0.075	0.017	-0.026	0.255	-0.088	0.010	0.105
Ba	-0.168	-0.911	-0.112	0.132	-0.063	-0.027	-0.325	0.030
Mn	0.033	-0.141	0.051	0.988	0.028	0.014	-0.004	-0.004
Fe	-0.018	-0.018	0.997	0.049	0.049	-0.014	0.014	-0.003
Zn	0.081	-0.933	0.130	0.079	-0.121	0.070	0.283	-0.014
Eigen value	4.033	1.954	1.116	0.855	0.582	0.192	0.160	0.108
Percentage of variance	44.81	21.71	12.39	9.50	6.47	2.13	1.78	1.20
Cumulative percentage	44.81	66.52	78.91	88.41	94.88	97.01	98.80	100.00

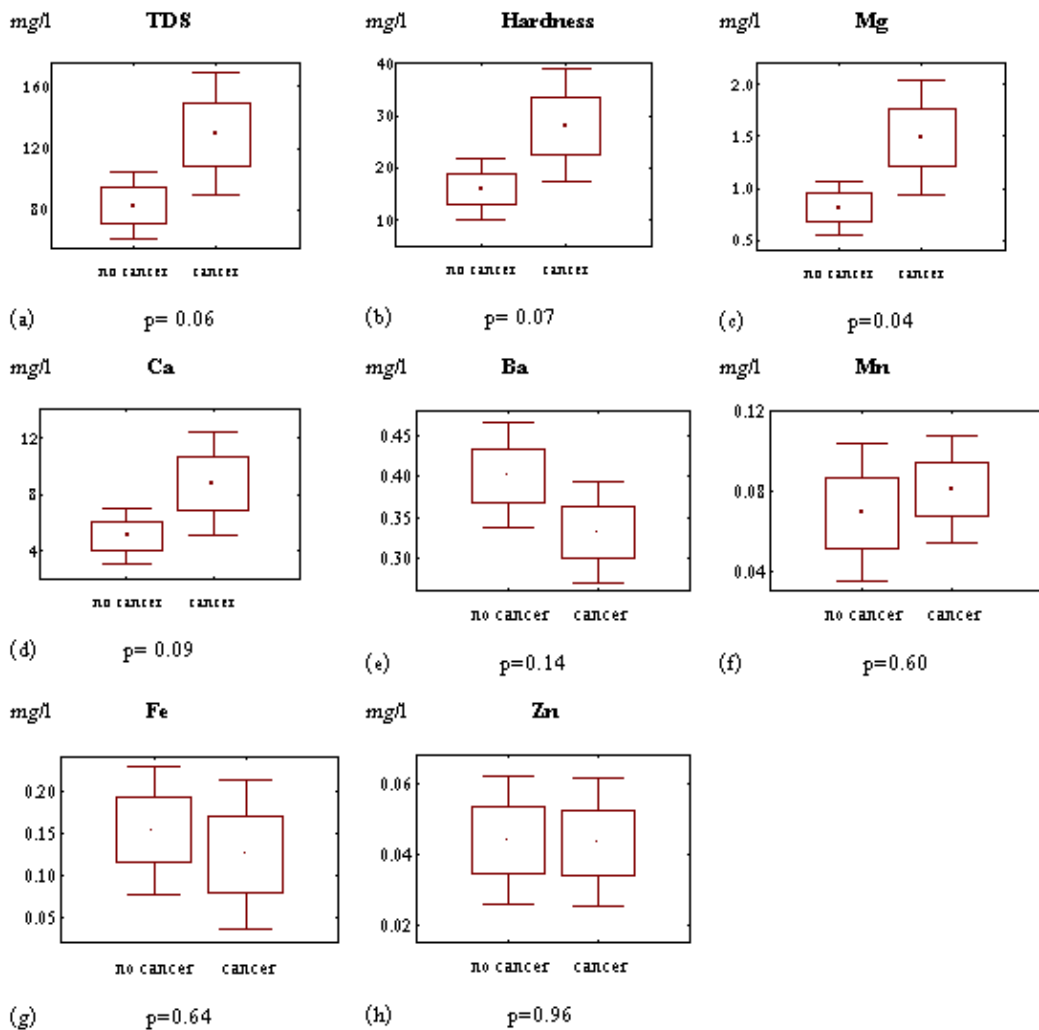


Figure 11. Box Plots and the T-test probability of the concentration of heavy metals in well water sampled from no cancer related sites, N = 19 (left) and cancer related sites, N = 20 (right) of each plot. (a) TDS, (b) Hardness, (c) Mg, (d) Ca, (e) Ba, (f) Mn, (g) Fe and (h) Zn (□ Mean; □ Standard Error; I ± 1.96 × Standard Error)

นาห่มอมนี่ เป็นต้นกำเนิดของโลหะหนักและธาตุหลักที่พบในน้ำบ่อตัวอย่าง โดยน่าจะเกิดจากการชะล้างหินแกรนิต ผุและล้างเอา Ca, Mg ออกมาโดยกระบวนการของน้ำใต้ดิน ปัจจุบันที่ 2 สามารถอธิบายได้ 21.71% มีค่าไอเกนเท่ากับ 1.95 (Table 3) โดยมีค่าความเข้มข้น Ba และ Zn เป็นสมาชิก มีค่าน้ำหนักปัจจัยน้อยกว่า -0.8 ซึ่งแสดงความแตกต่างกันระหว่างปัจจัยที่ 1 และ 2 อย่างชัดเจน แผนที่แสดงการกระจายของ Ba และ Zn ในพื้นที่ (Figures 3e, 3h) พบว่ามีการกระจายไปในทิศทางเดียวกัน และมี

ทิศทางคู่ขนานไปกับทางน้ำที่ไหลไปออกคลองห้วยในปัจจุบัน เหตุผลหนึ่งที่ทำให้น้ำบ่อตัวอย่างในบริเวณนี้แสดงความสัมพันธ์ที่ต่อเนื่องกัน อาจเป็นเพราะในทางธรณีเคมีธาตุ Ba และ Zn จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่เรียกว่า Strati-form Sediment-Hosted (SSH-type) ที่มีธาตุ Zn - Pb - Ba ประกอบกันอยู่ และเป็นผลจากการผุพังของหินเนื้อ จากการปะทุของน้ำใต้พิภพอุณหภูมิสูง ซึ่งเกิดการชะล้างแล้วพัดพาให้เคลื่อนที่ไปเมื่อมาเจอกับแร่กลุ่มซิลิเฟตก็จะจับกลุ่มรวมตัวกัน (Nassem *et al.*, 2002)

ปัจจัยที่ 3 สามารถอธิบายได้ 12.39% มีค่าไอเกนเท่ากับ 1.116 (Table 3) โดยปัจจัยนี้ประกอบด้วยตัวแปรเพียงตัวเดียว คือความเข้มข้นธาตุ Fe มีค่าน้ำหนักปัจจัยมากกว่า 0.8 และไม่แสดงความสัมพันธ์กับธาตุหลักอื่นใดเลย สำหรับปัจจัยอื่นๆ มีค่าไอเกนน้อยกว่า 1 จึงไม่ได้นำมาวิเคราะห์

3. ความสัมพันธ์ของตำแหน่งเก็บตัวอย่างกับความเข้มข้นโลหะหนักในน้ำ

เมื่อคำนวณคะแนนปัจจัย (factor score) เพื่อสร้างแผนที่คอนทัวร์ดูการกระจายของปัจจัยที่ 1 (F1) และปัจจัยที่ 2 (F2) ในพื้นที่ โดยกำหนดให้ค่าคะแนนปัจจัยที่มากกว่า 0.7 จะแสดงเป็นแถบสีเทา (Figure 5) ซึ่งพบว่าบริเวณที่มีคะแนนปัจจัย F1 มีค่ามากกว่า 0.7 จะตรงกับบริเวณที่เป็นหินแกรนิต เช่น ที่ตำบลพิจิตร และทางใต้ของตำบลทุ่งขมิ้นกับตำบลคลองหรั่ง ยืนยันข้อสรุปที่ว่าค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง ความเข้มข้นธาตุ Mg และ Ca ในน้ำบ่อตัวอย่างในอำเภอนาหม่อมนี้เป็นผลมาจากการผุพังของหินแกรนิต และการชะล้างของน้ำใต้ดินในพื้นที่

สำหรับคะแนนปัจจัย F2 ซึ่งมีความสัมพันธ์ตรงข้ามกับ F1 แสดงด้วยระดับสีเทาในบริเวณที่มีค่าน้อยกว่า -0.7 (Figure 6) เมื่อเทียบกับแผนที่ธรณีวิทยา คะแนนปัจจัย F2 จะมีค่าต่อเนื่องจากทางใต้ตำบลคลองหรั่ง ออกไปยังทิศตะวันตกของตำบลนาหม่อม คูขนานออกไปลงสู่คลองหะ และมีอีกบริเวณหนึ่งอยู่ที่ตำบลพิจิตร อาจสรุปได้ว่า Ba และ Zn ที่มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันเป็นผลจากทิศทางน้ำที่ไหลออกสู่คลองหะและละลาย Ba และ Zn ออกมาจากหินแกรนิตที่อยู่ทางตอนใต้ของตำบลคลองหรั่ง

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของน้ำบ่อตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์กลุ่ม (Simenov et al., 2003; Morales et al., 1999) จะพบว่าที่ความห่างยูคลิดเทียบเท่ากับ 20 สามารถจำแนกกลุ่มได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือกลุ่ม C1 และกลุ่ม C2 เมื่อนำพิกัดภูมิศาสตร์ของน้ำบ่อตัวอย่างในกลุ่ม C1 และ C2 ลงบนแผนที่ธรณีวิทยาและขีดเส้นประแสดงขอบเขต (Figure 8) จะพบว่ากลุ่ม C1 อยู่ทางใต้ตำบลคลองหรั่งและบริเวณตำบลพิจิตร กลุ่ม C2 อยู่บริเวณที่ราบตอนกลาง และทางทิศตะวันตก และทิศ

ตะวันออกของอำเภอนาหม่อม และในกลุ่ม C1 ยังสามารถจัดกลุ่มย่อยที่ความห่างยูคลิดเทียบเท่ากับ 12.5 ได้อีก 2 กลุ่ม เป็นกลุ่ม C1.1 และ C1.2 เมื่อลงพิกัดบนแผนที่ธรณีวิทยาแล้วขีดเส้นที่แสดงขอบเขต (Figure 9) ก็ จะเห็นถึงองค์ประกอบที่คล้ายกันในพื้นที่ตอนกลาง ทางทิศตะวันออกและทางทิศตะวันตก ซึ่งต่างกับกลุ่มน้ำบ่อตัวอย่างในพื้นที่ตอนเหนือและตอนใต้ของอำเภอนาหม่อม

4. ความสัมพันธ์ของธาตุโลหะหมู่ 2 (alkaline earth metals) Ba, Ca และ Mg

ธาตุโลหะหมู่ 2 alkaline earth ในตารางธาตุประกอบด้วย Be, Mg, Ca, Sr, Ba และ Ra ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แสดงผลวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุหมู่ 2 ได้แก่ Ca, Mg และ Ba ซึ่งวิเคราะห์ได้ไม่ยากนักด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สมัยใหม่ เช่น ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง ICP-AES ในงานวิเคราะห์ ยกเว้นธาตุเรเดียมซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติที่อาจพบมีอยู่ในน้ำในปริมาณที่น้อยมากจนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องมือทันสมัยทั่วไป

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของธาตุ Ba, Ca และ Mg ซึ่งเป็นธาตุในหมู่ 2 มาเขียนกราฟแบบ 3 แกน ที่เรียกว่า Ternary diagram (Figure 10) พบว่าทั้ง 3 ธาตุมีการจับกลุ่มกันดี มีเพียง 5 ตัวอย่าง (จากทั้งหมด 39 ตัวอย่าง) ที่หลุดออกมานอกกลุ่ม ซึ่งอาจสรุปได้ว่าธาตุหมู่ 2 ในน้ำบ่อตัวอย่าง (ยกเว้น ธาตุเบริลเลียม สตรอนเทียม และเรเดียม ที่ไม่ได้ตรวจวัด) ในพื้นที่อำเภอนาหม่อม มีการกระจายสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน

5. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นโลหะในน้ำและอุบัติการณ์โรคมะเร็งในช่องปาก และหลอดอาหาร

น้ำจากบ่อตัวอย่างจำนวน 20 จุด จากทั้งหมด 39 จุด เป็นน้ำตัวอย่างจากบ้านที่มีประวัติการเป็นโรคมะเร็งช่องปาก และมะเร็งหลอดอาหารที่มารับการรักษาที่หน่วยมะเร็ง คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ น้ำบ่อตัวอย่างจากบ้านที่ไม่มีประวัติมะเร็งจำนวน 19 จุด รวมทั้งหมดจำนวน 39 จุด กระจายออกไปทั้งพื้นที่อำเภอนาหม่อม และได้้นำข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนัก ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด และความกระด้าง มาทดสอบ t-test และแสดงผลแบบ Box plot แสดงใน

Figure 11

พิจารณาจาก Box plot พบว่าตัวแปรที่แสดงค่า $p > 0.1$ ประกอบด้วยธาตุ Ba, Fe, Mn และ Zn กล่าวได้ว่า 4 ธาตุนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 90% ของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มข้อมูลที่มีประวัติโรคเมะเร็งช่องปากและเมะเร็งหลอดอาหารกับกลุ่มข้อมูลที่ไม่มีประวัติการเป็นเมะเร็ง ตัวแปรที่มีค่า $p < 0.1$ ได้แก่ ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ($p = 0.06$) ค่าความกระด้าง ($p = 0.07$) และค่าความเข้มข้น Ca ($p = 0.09$) และ Mg ($p = 0.04$) ซึ่งหมายความว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรทั้งสี่ระหว่างกลุ่มข้อมูลที่มีประวัติการเป็นเมะเร็งกับกลุ่มข้อมูลที่ไม่มีประวัติเมะเร็ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 90% โดยเฉพาะ Mg ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 96% อย่างไรก็ตามขอเน้นว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ไม่มีประวัติเมะเร็งมาจากจำนวนตัวอย่างที่สุ่มมาเพียง 19 ตัวอย่าง ในอำเภอนาหม่อม ซึ่งยังไม่ใช่ตัวแทนที่ดีที่สุดของกลุ่มที่ไม่มีประวัติเมะเร็งซึ่งเป็นประชากรส่วนใหญ่

จาก Box plot แสดงให้เห็นว่าน้ำบ่อตัวอย่างในกลุ่มที่มีประวัติเมะเร็งจะมีค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง และค่าความเข้มข้น Ca และ Mg สูงกว่าน้ำบ่อตัวอย่างในกลุ่มที่ไม่มีประวัติเมะเร็ง

สรุปและเสนอแนะ

ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลัก ประกอบด้วย Mg, Ca, Ba, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Zn และ Pb ในน้ำบ่อต้นในอำเภอนาหม่อม พบว่ายังไม่เกินเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบทของคณะกรรมการบริหารโครงการจัดให้มีน้ำสะอาดทั่วราชอาณาจักร พ.ศ. 2531 ยกเว้นแคดเมียม 1 ตัวอย่าง และเหล็ก จำนวน 2 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 39 ตัวอย่างที่ตรวจวิเคราะห์ แต่ก็สูงกว่าเกณฑ์ไม่มากนัก ในแง่ของโลหะหนักผู้สนใจอาจเน้นศึกษาแคดเมียมและสารหนูในน้ำบ่อเพิ่มเติม แต่ควรพิจารณาเลือกเครื่องมือวิเคราะห์ที่มีความละเอียดสูง เช่น Hydride Generation AA หรือ ICP-MS เป็นต้น เนื่องจากปริมาณแคดเมียมและสารหนู (ไม่ได้รายงาน) ที่ตรวจพบในงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ในระดับต่ำ

ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง และความเข้มข้นของ Ca และ Mg ในน้ำบ่อต้น ในอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา มีความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์เมะเร็งในช่องปากและหลอดอาหาร แต่เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักเทียบกับเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบท พบว่าตัวอย่างเกือบทั้งหมดมีค่าอยู่ในเกณฑ์คุณภาพ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง และความเข้มข้นของ Ca และ Mg ในน้ำบ่อ อยู่ในระดับปกติ ไม่น่าจะมีความสัมพันธ์ในแง่ก่อให้เกิดเมะเร็งในพื้นที่ แต่การที่ธาตุหมู่ 2 ในบริเวณนี้มีการกระจายแบบสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน และธาตุในหมู่ 2 ยังมีธาตุเรเดียม (Ra) ซึ่งเป็นธาตุกัมมันตรังสีที่รู้จักกันดีว่าเป็นสารก่อเมะเร็งในมนุษย์ที่มีสมบัติทางเคมีที่คล้ายคลึงกับแคลเซียม ดังนั้นหากในน้ำบ่อตัวอย่างมีเรเดียมอยู่ด้วย อาจสามารถอธิบายความเกี่ยวพันกับอุบัติการณ์เมะเร็งในหลอดอาหารและในช่องปากของประชาชนในอำเภอนาหม่อมได้ ซึ่งจากการค้นพบสินแร่ทอร์เบอร์ไรต์ ($\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{-}12\text{H}_2\text{O}$) ที่เป็นแร่ยูเรเนียมในหินแกรนิตในอำเภอนาหม่อม ที่มีส่วนประกอบของธาตุยูเรเนียมซึ่งเป็นนิวไคลด์ตั้งต้นที่สลายตัวทางนิวเคลียร์ไปเป็นเรเดียมรวมทั้งจากผลการวิจัยของ Bhongsuwan และคณะ (2001) ที่พบว่าน้ำบาดาลในอำเภอนาหม่อมบางแห่ง มีปริมาณกัมมันตรังสีเรดอนสูงมาก และผลจากการวิเคราะห์โดยใช้สถิติพหุคูณในงานวิจัยขั้นนี้ได้ผลเป็นที่ชัดเจนว่าค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง และความเข้มข้นของ Ca และ Mg ในน้ำบ่อตัวอย่าง มีความสัมพันธ์กันและมีกำเนิดจากหินแกรนิตในพื้นที่ จึงเป็นไปได้อย่างยิ่งว่าจะมีการชะล้างธาตุเรเดียมในหินแกรนิตโดยกระบวนการทางธรรมชาติให้ไปปนเปื้อนอยู่ในดินและในน้ำใต้ดิน ดังนั้นเพื่อให้เกิดความชัดเจนในเรื่องนี้ คณะผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการวิจัยต่อเนื่อง เพื่อหาปริมาณเรเดียมในน้ำบ่อต้นในอำเภอนาหม่อมนี้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความเข้มข้นเรเดียมในน้ำโดยทั่วไปจะมีปริมาณน้อยมากในระดับ 10^{-3} นก./ล. (นาโนกรัม/ลิตร) จึงไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ทั่วไป จำเป็นต้องวิเคราะห์โดยใช้ระบบสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมาหรือแอลฟาในระดับต่ำมาก (low level gamma/alpha spectrometer) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ต้องใช้เวลานานในการเตรียมตัวอย่างและเวลาตรวจวัด

รังสี

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.) และบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ หลักสูตรวัสดุศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้อนุญาตให้ใช้เครื่องมือที่จำเป็นในการทำวิจัยขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ นพ.หัชชา ศรีปลั่ง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลมะเร็ง ขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ สุราษฎร์ธานี คุณบำรุง คงดี ที่สนับสนุนการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณคุณอภิชัย วชิรห่า แห่งบริษัทไทยยูนิค ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลหัววัดรังสีแอลฟา

เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการบริหารโครงการจัดให้มีน้ำสะอาดในชนบททั่วราชอาณาจักร. 2531. เกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบท, โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก, กรุงเทพฯ.

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

Anazawa, K. and Ohmori, H. 2001. Chemistry of surface water at volcanic summit area, Norikura, Central Japan: Multivariate statistical approach, *Chemosphere*, 45: 807-816.

Bhongsuwan, T., Chittrakarn, T. Chongkum, S., Polapongs, P., Sirijarukul, 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 Thesis, Graduate School, Prince of Songkla University.

Chapman, D. 1992. Water quality assessments: A guide to use of biota, sediments and water in environ-

ment monitoring, 2nd ed., Chapman & Hall, London.

Costa, M. 2003. Potential hazards of hexavalent chromate in our drinking water, *Toxicology and Applied Pharmacology*, 188: 1-5.

Davis, J.C. 1973. Statistics and data analysis in geology, John Wiley & Sons, New York.

Govett, G.J.S. 1983. Rock geochemistry in mineral exploration, Elsevier, Amsterdam.

Kaizer, H.F. 1958. The Varimax criterion for analytic 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.

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.

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.

Morales, M.M., Marti, P., Llopis, A., Campos, L. and Sagrado, S. 1999. An environmental study by factor analysis of surface seawaters in the Gulf of Valencia (Western Mediterranean), *Analytica Chimica Acta*, 394: 109-117.

Naseem, S., Sheikh, A.S., Qadeeruddin, M. and Shirin, K. 2002. Geochemical stream sediment survey in Winder Valley, Balochistan, Pakistan, *J of Geochemical Exploration*, 76: 1-12.

National Academy of Sciences, 1999. Health Effects of Exposure to Radon: BEIR-VI, National Academies Press, Washington D.C., 516 p.

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 Thesis, Graduate School, Prince of Songkla University.

Reghunath, R., Murthy, S.T.R. and Raghavan, T. 2002. The utility of multivariate statistical techniques

- in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India, *Water Research*, 36: 2437-2442.
- Simeonov, V., Stratis, J.A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsas, D., Anthemidis, A., Sofoniou, M. and Kouimtzis, Th. 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece, *Water Research*, 37: 4119-4124.
- Thongsuksai, P., Sriplung, H., Phungrassami, T. and Prechavittayakul, P. 1997. Cancer incidence in Songkhla, southern Thailand, 1990-1994, *South-east Asian J Trop Med Public Health*, 28(Suppl. 3): 1-10.
- Waalkes, M.P. 2000. Cadmium carcinogenesis in review, *J of Inorganic Biochemistry*, 79: 241-244.
- Wang, Y., Ma, T. and Luo, Z. 2001. Geostatistical and geochemical analysis of surface water leakage into groundwater on regional scale: a case study in the Liulin karst system, northwestern China, *J of Hydrology*, 246: 223-234.

ภาคผนวก ข



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ กองบรรณาธิการวารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวทท. สำนักวิจัยและพัฒนา โทร. 6959
 ที่ มอ 160/ วันที่ 2 มิถุนายน ๒๕๖๒
 เรื่อง ปรับปรุงต้นฉบับจากการพิจารณาของคณะผู้ทรงคุณวุฒิ

เรียน ผศ.ดร.ไพโรจน์ เพ็ญสุวนะ

ตามที่ท่านส่งต้นฉบับมายังกองบรรณาธิการวารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อพิจารณาตีพิมพ์นั้น กองบรรณาธิการฯ ได้เสนอต้นฉบับของท่านไปยังคณะผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา บัดนี้คณะผู้ทรงคุณวุฒิและบรรณาธิการประจำสาขาได้พิจารณาแล้ว มีข้อเสนอแนะให้ปรับปรุงแก้ไขตามที่ส่งมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อขอให้ท่านพิจารณาดำเนินการดังนี้

1. ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของคณะผู้ทรงคุณวุฒิ

2. ประเด็นใดที่ท่านไม่แก้ไข ขอให้ท่านชี้แจงเหตุผลประกอบ โดยขอให้ชี้แจงตามประเด็นเป็นข้อๆ ตามที่คณะผู้ทรงคุณวุฒิเสนอแนะ

3. การแก้ไขปรับปรุงต้นฉบับ และการชี้แจงเหตุผลการไม่ปรับปรุงแก้ไขของท่านตามข้อเสนอแนะของคณะผู้ทรงคุณวุฒิ จะได้รับการพิจารณาตีพิมพ์จากบรรณาธิการสาขา

4. ส่งต้นฉบับที่แก้ไขครั้งสุดท้าย จำนวน 1 ชุด

5. ส่ง comment ทั้งหมดที่ส่งมาพร้อมนี้ คืนกองบรรณาธิการฯ พร้อมกับต้นฉบับที่ท่านแก้ไข

6. ในการแก้ไขรอบแรกนี้ ท่านยังไม่ต้องส่งแผ่นข้อมูล (file) มายังกองบรรณาธิการฯ เพราะกองบรรณาธิการฯ จะส่งต้นฉบับแก้ไขครั้งสุดท้ายให้ Dr.Alan Geater บรรณาธิการภาษาอังกฤษตรวจสอบการใช้ภาษาก่อน

7. ลงนามในหนังสือยืนยันการส่งต้นฉบับมาตีพิมพ์ในวารสารฯ นี้เพียงแห่งเดียว โดยได้แนบหนังสือยืนยันฯ มาพร้อมนี้แล้ว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาดำเนินการต่อไปด้วย จักขอบคุณยิ่ง

(นายนิรันดร์ สุมาลี)
 บรรณาธิการจัดการ

โทรสาร 212839

e-mail: sasitorn.k@psu.ac.th

ภาคผนวก ค

ความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้น และความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์มะเร็งช่องปากและ
มะเร็งหลอดอาหารใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา

จเร วุฒิศาสตร์¹ ธวัช ชิตตระการ² ตรุณี ผ่องสุวรรณ³ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ^{4*}

Abstract

Wutthisasna, J.,¹ Chittrakarn, T.², Bhongsuwan, D.³ and Bhongsuwan, T.^{4*}

**Concentration of Ra-226 in shallow well water and its relation with the evidence of oral
and esophagus cancers in Namom District, Songkhla Province**

Altogether 150 water samples were collected from shallow wells distributed in Namom district, Songkhla province. Co-precipitation technique was used to absorb radium in the co-precipitate Ra-BaSO₄, which was measured for Ra-226 using a low background alpha spectrometer. The results showed that the Ra-226 concentration in well water in Namom district ranges 3.51 - 292.1 mBq/l, with a geometric mean 50.7 mBq/l. Ra-226 concentration in thirty one water samples or 29.31% exceeded 111 mBq/l, which was the maximum contaminant level of the US Environmental Protection Agency. Six villages having are arithmetic mean of Ra-226 concentration in well water exceeding the 111 mBq/l level include Ban Koktang Moo 2, Pijit sub-district; Ban Tungkho Moo 2, Namom sub-district; Ban Lancai Moo 2, Ban Tungpho Moo 3, Tungkamin sub-district; Ban Meapia Moo 3, Ban Tonpling Moo 5, Klongrang sub-district. Ban Tonpling Moo 5 had the highest concentration at 177.8 mBq/l. The high Ra-226 contaminated water wells are generally located in granite basement with associated fault/fracture zone. The estimated annual dose averaged over Namom district is 15.3 μSv while people living in Ban Tonpling Moo 5 met the highest estimated annual dose of 36.3 μSv. However, the ratios between the number of water wells with and without associated oral and esophagus cancer cases in the area where the estimated dose is over and below 8 μSv are not significantly different.

Keywords : Radium-226, shallow well water, Dose, Fault, cancer

บทคัดย่อ

จเรวุฒิศาสตร์ ธวัช ชิตตระการ ดรุณี ผ่องสุวรรณ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ
การกระจายความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้น และความสัมพันธกับมะเร็ง ในช่อง
ปาก และมะเร็งหลอดอาหารใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา

เก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้นใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา ทั้งหมด 150 ตัวอย่าง กระจายไปทั้ง
อำเภอ วัดความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้น โดยใช้เทคนิคการตกตะกอนร่วม
ด้วยตัวพาแบเรียม แล้วนำตะกอนไปวัดรังสีด้วยระบบสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟาที่มีประสิทธิภาพ 37 % ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้นใน อ.นาหม่อม มีค่าอยู่
ระหว่าง 3.5 - 292.1 mBq/l มีค่าเฉลี่ยเรขาคณิต 50.7 mBq/l ตัวอย่างน้ำจำนวน 31 ตัวอย่าง
หรือ 29.3 % มีความเข้มข้นเรเดียม-226 สูงกว่า MCL(Maximum Contaminant Level ,111
mBq/l) หมู่บ้านที่มีค่าเฉลี่ยเลขคณิต สูงกว่า MCL มี 6 หมู่บ้าน ได้แก่ บ้านโคกทั้ง หมู่ 2 ต.
พิจิตร, บ้านทุ่งค้อ หมู่ 2 ต.นาหม่อม , บ้านลานไทร หมู่ 2, บ้านทุ่งโพธิ์ หมู่ 3 ต.ทุ่งขมิ้น และ
บ้านแม่เปี้ยะ หมู่ 3 บ้านตันปริง หมู่ 5 ต.คลองหรั่ง โดยที่ บ้านตันปริง หมู่ 5 มีค่าความเข้มข้น
เฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 177.8 mBq/l บ่อน้ำตื้นที่พบว่ามีค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ในปริมาณสูง
ส่วนใหญ่จะพบอยู่เหนือบริเวณที่มีหินแกรนิตเป็นหินฐาน เมื่อประเมินค่าปริมาณรังสีเฉลี่ยที่
ประชาชนชาวนาหม่อมได้รับต่อปี โดยคิดจากค่าเฉลี่ยเรขาคณิต ของ อ.นาหม่อม มีค่า 10.4 μ Sv
ประชาชนที่บริโภคน้ำบ่อใน บ้านตันปริง หมู่ที่ 5 ต.คลองหรั่ง จะได้รับปริมาณรังสีสูงสุดเท่ากับ
36.4 μ Sv ต่อปี สัดส่วนบ่อน้ำที่มีประวัติอุบัติการณ์มะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งในช่องปากกับ
บ่อที่ไม่มีประวัติมะเร็ง ในพื้นที่ที่จะได้รับปริมาณรังสีต่อปีสูงกว่า และต่ำกว่า 8 μ Sv ไม่ได้แสดงค่า
ความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์เป็นมะเร็งอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ เรเดียม-226 น้ำบ่อตื้น ปริมาณรังสีที่ได้รับ รอยเลื่อน มะเร็ง

¹ นักศึกษาหลักสูตร วท.ม. สาขาฟิสิกส์ , ² Ph.D. (Nuclear Physics) รองศาสตราจารย์, ³
M.Eng.(Nuclear Technology), ⁴ Ph.D. (Applied Geophysics) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชา
ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

* Corresponding e-mail : tripop.b@psu.ac.th

ความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบ่อตื้น และความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์มะเร็งช่องปากและมะเร็งหลอดอาหารใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา

Concentration of Ra-226 in shallow well water and its relation with the evidence of oral and esophagus cancers in Namom District, Songkhla Province

จากข้อมูลอุบัติการณ์ของโรคมะเร็งของ หน่วยมะเร็ง คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 - 2537 พบว่ามีผู้ป่วยโรคมะเร็งหลอดอาหาร และมะเร็งในช่องปากในพื้นที่ อ.นาหม่อม จ.สงขลา จำนวนมากผิดปกติ โดยค่าอุบัติการณ์มาตรฐานอายุ ASR (age-standardized incidence rates) เฉพาะในเพศชายเท่ากับ 24.8 และ 16.8 คน ต่อประชากรแสนคนตามลำดับ (Tongsuksai *et al.*, 1997) ซึ่งเป็นค่าที่สูงเมื่อเทียบกับอำเภอใกล้เคียง จ.ระ และคณะ (2547) ได้ศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำบ่อตื้นใน อ.นาหม่อม พบว่าธาตุหลัก Ca และ Mg มีความสัมพันธ์ที่สู่น้ำบ่อกลุ่มที่มีสมาชิกในบ้านเป็นโรคมะเร็งจะมีปริมาณ Ca และ Mg สูงกว่ากลุ่มบ่อน้ำที่ไม่มีสมาชิกในบ้านเป็นมะเร็ง อย่างไรก็ตามค่าความเข้มข้นธาตุโลหะหนักและธาตุหลักรวมทั้ง Ca และ Mg ในน้ำบ่อทั้งหมดที่ตรวจวัดได้ยังไม่เกินค่ามาตรฐานน้ำดื่ม อีกทั้ง Ca และ Mg ไม่ได้เป็นสารก่อมะเร็ง ผู้วิจัยจึงได้สรุปว่าปริมาณโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำบ่อใน อ.นาหม่อม ไม่เกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์มะเร็งในพื้นที่นี้ อย่างไรก็ตามจากข้อมูลการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีทางอากาศ (กรมทรัพยากรธรณี, 2532) พบว่าบางพื้นที่ใน อ.นาหม่อมมีค่าความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูลที่ผิวดินสูงผิดปกติคือระหว่าง 8-12 สนล. และจากผลการวิจัยความเข้มข้นก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนในอากาศและในน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (ไตรภพ และคณะ 2544) พบว่าพื้นที่ อ.นาหม่อมเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงที่จะพบปัญหาการปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีธรรมชาติ (naturally occurring radionuclide) จากผลการตรวจวัดความเข้มข้นยูเรเนียมของหินแกรนิตสงขลา (Ishihara, 1980) และของหินแกรนิตในจังหวัดสงขลา พัทลุง ปัตตานี (สุขสวัสดิ์, 2537) พบว่ามีความเข้มข้นยูเรเนียมสมมูลสูงสุดประมาณ 18 สนล. ซึ่งสูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยยูเรเนียมสมมูลที่ผิวดินทั่วประเทศซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.2 สนล. (กรมทรัพยากรธรณี, 2532) และสูงกว่าค่าเฉลี่ยยูเรเนียมสมมูลในหินแกรนิตทั่วไป 4.8 สนล. (Faure, 1986) ประกอบกับใน อ.นาหม่อม เคยมีรายงานการตรวจพบแร่กัมมันตรังสีทอร์เบอร์ไนต์ (Pungrassami, 1984) ในเหมืองแร่แห่งหนึ่ง ซึ่งแร่ดังกล่าวมีส่วนประกอบของธาตุยูเรเนียมสูงถึง 48 % โดยน้ำหนัก จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงน่าจะเชื่อว่าพื้นที่ อ.นาหม่อม มีความเสี่ยงสูงที่จะพบปัญหาการปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีธรรมชาติ

เรเดียม-226 เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีอยู่ในอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238 (U-238 series) ที่มียูเรเนียม-238 เป็นนิวไคลด์ตั้งต้น มีครึ่งชีวิต 4.468×10^9 ปี (Pfennig *et al.*, 1995) สลายตัวแบบต่อเนื่องมาเป็นเรเดียม-226 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 1,600 ปี แล้วสลายตัวต่อไปเป็นแก๊สกัมมันตรังสีเรดอน-222 ที่มีครึ่งชีวิต 3.82 วัน แก๊สเรดอนยังคงสลายตัวต่อไปจนถึงผล

ผลิตสุดท้ายเป็นตะกั่วซึ่งเป็นนิวไคลด์เสถียร (Marovic *et al.*, 1982) ในธรรมชาติสามารถพบเรเดียมได้ทั่วไปในหิน ดิน น้ำใต้ดิน เนื่องจากเรเดียมเป็นธาตุในหมู่ 2 (alkaline earth) เช่นเดียวกับ Ca, Mg ซึ่งสารประกอบในธรรมชาติของมันมีความสามารถละลายน้ำได้ดีจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่เรเดียมมีการแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่ายผ่านทางระบบน้ำธรรมชาติ (Krishnaswami *et al.*, 1991) เรเดียม-226 สลายตัวให้รังสีแอลฟาซึ่งเป็นอนุภาคมีมวลและมีพลังงานสูง หากได้รับเรเดียม-226 เข้าสู่ร่างกายก็จะมีผลดูดซึมและสะสมภายในร่างกายคล้ายกับแคลเซียม เรเดียม-226 ที่ติดค้างอยู่ในร่างกายจะยังคงสลายตัวปลดปล่อยรังสีแอลฟาประตมยิงทำลายเซลล์เนื้อเยื่อทำให้เกิดการระคายเคืองเซลล์ผิดปกติจนอาจก่อตัวเป็นมะเร็งได้มากที่สุด Mays และ Rowland (1985) รายงานว่า เรเดียมที่สะสมในร่างกายจัดเป็นสารก่อมะเร็งในกระดุก มะเร็งโพรงจมูก มะเร็งไซนัส และมะเร็งในส่วนศีรษะ (head carcinomas)

การวัดความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำอาจทำได้หลายวิธี เช่น การตกตะกอนร่วม (co-precipitation) ด้วยตัวพาแบเรียม (barium carrier) (Loyd and Drake, 1989) แล้วจึงนำตะกอนที่ได้ไปวัดรังสีแกมมาที่มาจากเรเดียม-226 โดยตรงด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแกมมา หรือวัดรังสีแอลฟาของเรเดียม-226 ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟา (Lawire *et al.*, 2000) เทคนิคเครื่องมือขั้นสูงทั่วไปที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในน้ำ เช่น AAA (Atomic Absorption Analysis), ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry) ไม่สามารถวัดปริมาณหรือความเข้มข้นเรเดียมที่มีอยู่เพียงเล็กน้อยในระดับ 10^{-6} สนล. จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคการตรวจวัดรังสีระดับต่ำและ/หรือใช้เทคนิคทางเคมีในการจับเรเดียมในน้ำในขั้นตอนแรก (Oliveira *et al.*, 1998) แล้วตามด้วยการใช้เทคนิคการตรวจวัดรังสีระดับต่ำ

รายงานวิจัยนี้เป็นผลการศึกษาความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้นที่ยังคงนิยมใช้บริโภคกันใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา โดยใช้เทคนิคการตกตะกอนร่วมด้วยตัวพาแบเรียมเพื่อการจับเรเดียมในน้ำและเพื่อลดการรบกวนเนื่องจากการดูดกลืนรังสีแอลฟา ของธาตุอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องที่อาจมีปะปนอยู่ในน้ำ แล้ววิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ด้วยเทคนิคสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟา และประเมินปริมาณรังสีที่ประชาชนชาวนาหม่อมจะได้รับต่อปีจากเรเดียม-226 ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้น

ในการวิจัยครั้งนี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำบ่อต้นใน อ.นาหม่อม จากบ่อน้ำของบ้านจำนวน 150 หลังคาเรือน กระจายครอบคลุมพื้นที่ อ.นาหม่อม ทั้งหมด Figure 1 แสดงตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ ของบ่อน้ำที่เก็บตัวอย่าง ซึ่งตรวจสอบด้วยเครื่องบอกพิกัดภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (Trimble Navigator, Basic Plus, USA) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในช่วงเดือน เมษายน -

พฤษภาคม พ.ศ.2546 ตัวอย่างละ 10 ลิตร บรรจุในขวดโพลีเอทิลีนที่ล้างสะอาดด้วยน้ำกลั่น ปรับและรักษาสภาพน้ำตัวอย่างด้วยการเติมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 15 มล. ต่อ ตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร เพื่อให้ตัวอย่างอยู่ในสภาพที่เป็นกรดมีค่า pH ต่ำกว่า 2 แล้วเก็บรักษาน้ำตัวอย่างที่ อุณหภูมิ 4 °C (APHA, 1998)

2. การเตรียมตัวอย่างน้ำสำหรับการวัดด้วยระบบสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟา

นำตัวอย่างน้ำบ่อที่รักษาสภาพไว้ ตัวอย่างละ 10 ลิตร มาระเหยให้เหลือปริมาตร 1 ลิตร แล้วกรองน้ำเพื่อกำจัดตะกอนแขวนลอยด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Whatman, GF/F) นำน้ำตัวอย่างที่กรองแล้วมาผ่านกระบวนการตกตะกอนร่วม (Chart 1) (Kriege and Willtager, 1980; APHA, 1998) เริ่มด้วยการเติมกรด HCl 12 N ปริมาตร 20 มล. เติมตัวพาแบเรียมปริมาณ 8 มก. ให้ความร้อนและคนจนเดือด จากนั้นเติมกรด H₂SO₄ 18 N ปริมาตร 20 มล. ให้ความร้อน แล้วคนต่อไปเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดการตกตะกอนร่วมที่สมบูรณ์ และเพื่อให้ก๊าซ กัมมันตรังสีเรดอนที่ติดค้างอยู่สลายตัวออกไป ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างไปกรองด้วย กระดาษกรองชนิดใยแก้ว ตะกอนที่ติดค้างบนกระดาษกรองจะอยู่ในรูป Ba(Ra)SO₄ จากนั้นย้าย กระดาษกรองลงจานสเตนเลสขนาดเล็กที่ทำขึ้นเป็นพิเศษสำหรับวัดรังสี นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C แล้วเก็บตัวอย่างตะกอนที่ได้ไว้ในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 25 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่าง ตะกอนบนจานสเตนเลสไปวัดรังสีแอลฟาของเรเดียม-226 ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสี แอลฟา

3. การเปรียบเทียบมาตรฐานเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟาที่ใช้

เครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟาที่ใช้งานจำเป็นต้องได้รับการปรับเทียบที่เหมาะสมกับ ระเบียบวิธีที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับเทียบโดยการตรวจวัดสารอ้างอิงมาตรฐานที่ทราบค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ที่มีอยู่

3.1 การหาประสิทธิภาพการจับเรเดียมด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วมแบเรียม

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนค่าปริมาณแบเรียมที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอน เรเดียม และพบว่าปริมาณแบเรียม 8 มก. เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการตกตะกอน ร่วม และการวัดรังสีด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟาที่ใช้ ในการหาประสิทธิภาพการจับ เรเดียมในตัวอย่างน้ำ ได้นำสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรง 470.9 mBq มาตก ตะกอนร่วมโดยใช้ตัวพาแบเรียม 8 มก. แล้วจึงนำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการตกตะกอนครั้งที่ 1 มาตก ตะกอนซ้ำด้วยปริมาณตัวพาแบเรียม 8 มก. เท่าเดิม โดยการตกตะกอนซ้ำจำนวน 3 ครั้ง แล้วทิ้ง ตัวอย่างตะกอนให้อยู่ในภาวะสมดุลรังสีหลังจากนั้นนำไปวัดสเปกตรัมรังสีแอลฟา (Figures 2a, 2b, 2c) นับจำนวนรังสีแอลฟา (count) เฉพาะยอดพลังงานของเรเดียม-226 และหักลบรังสีภูมิ หลัง (Figure 3) ตัวอย่างตะกอนที่ได้จากการตกตะกอนร่วมซ้ำครั้งที่ 2 และ 3 จะมีจำนวนนับ

รังสีแอลฟาน้อยลงจนใกล้เคียงกับรังสีกัมมันต์ เมื่อนำจำนวนนับรังสีมาหาประสิทธิภาพการจับ
เรเดียมโดยวิธีการตกตะกอนร่วมในครั้งเดียว พบว่าสามารถจับเรเดียมในน้ำตัวอย่างได้ถึง
98.7%

3.2 การหาประสิทธิภาพของระบบวัดสเปกตรัมรังสีแอลฟาที่ใช้

การหาประสิทธิภาพของระบบวัดรังสีแอลฟาได้ใช้สารอ้างอิงมาตรฐาน ขององค์การพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA, The International Atomic Energy Agency) สำหรับเปรียบเทียบค่าจำนวนนับรังสีกับค่าความแรงรังสีเรเดียม-226 โดยใช้สารอ้างอิงมาตรฐาน IAEA-313, IAEA-314 และ IAEA RGU-1 (Strachnov *et al.*, 1991; Steger, 1987) ที่มีความแรงรังสีของเรเดียม-226 เท่ากับ 171, 366 และ 2476 mBq ตามลำดับ นำสารละลายมาตรฐานมาตกตะกอนร่วมด้วยแบเรียมตามวิธีการในหัวข้อที่ 2 แล้วนำตะกอนไปวัดด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟา โดยใช้เวลาวัดรังสีนาน 6 ชั่วโมง

4. การวัดปริมาณรังสีแอลฟาของเรเดียม-226 ในตะกอนที่เตรียมจากตัวอย่างน้ำบ่อต้น

ตะกอนร่วมเรเดียม-แบเรียมซัลเฟตในงานสแตนเลสที่เตรียมจากตัวอย่างน้ำบ่อต้นจำนวนทั้งหมด 150 ตัวอย่าง รวมทั้งตะกอนที่เตรียมจากสารมาตรฐานและตะกอนกัมมันต์ที่เตรียมจากน้ำกลั่น ได้นำมาตรวจวัดด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟา (Canberra Model 4701, USA) โดยใช้หัววัดชนิด Passivated Implanted Planar Silicon (Canberra Model A450, USA) ระบบเชื่อมต่อกับเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (MCA, Canberra Model 35+, USA) และเพื่อให้มีรังสีกัมมันต์มีค่าต่ำที่สุดจึงได้ทำการวัดรังสีของตะกอนตัวอย่างในระบบสุญญากาศระดับ < 300 μmHg โดยใช้ปั๊มสุญญากาศแบบโรตารี (Cenco Pressovac Model 90550, USA) สำหรับตัวอย่างตะกอนที่เตรียมจากน้ำบ่อ จะใช้เวลาวัดรังสีนานตัวอย่างละ 4 ชั่วโมง

ผลและการวิเคราะห์ผล

1. ประสิทธิภาพของระบบแอลฟาสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟาที่ใช้

ผลการหาประสิทธิภาพของสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟาที่ใช้ โดยใช้สารละลายที่เตรียมจากสารอ้างอิงมาตรฐาน IAEA-313, IAEA-314 และ IAEA RGU-1 ที่มีความแรงรังสีของเรเดียม-226 เท่ากับ 171, 366 และ 2476 mBq ตามลำดับ นำมาตกตะกอนร่วมด้วยตัวพาแบเรียมตามวิธีการในหัวข้อที่ 2 แล้วนำไปวัดด้วยสเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟา จากกราฟเปรียบเทียบมาตรฐาน (Figure 4) ที่พล็อตระหว่างอัตรานับ (cps) กับค่าความแรงรังสีของเรเดียม-226 ของสารมาตรฐาน (Bq) เมื่อคำนวณหาสมการเปรียบเทียบได้สมการ

$$\text{อัตรานับ (cps)} = 0.37 \times \text{ความแรงรังสีเรเดียม-226 (Bq)}$$

โดยมีค่า ส.ป.ส. $R^2 = 0.99$ จากสมการเปรียบเทียบมาตรฐานพบว่า ระบบวัดรังสีแอลฟาจากเรเดียม-226 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีประสิทธิภาพ 37 %

ผลการวัดค่ารังสีกัมมันต์ ซึ่งเตรียมจากการตกตะกอนร่วมโดยใช้ตัวอย่างน้ำกลั่น จำนวน 3 ครั้ง ตัวอย่างสเปกตรัมรังสีกัมมันต์แสดงใน Figure 3 ได้ค่าอัตรานับรังสีเฉลี่ยเท่ากับ 0.000987 cps โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เท่ากับ 0.000134 cps คำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัด (L.L.D.) ตามสมการของ Curie (1968) ได้เท่ากับ 1.7 mBq

2. ความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้น ใน อ.นาหม่อม

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อต้นทั้งหมด 150 ตัวอย่างแสดงใน Table 1 โดยความเข้มข้นเรเดียม-226 มีค่าอยู่ระหว่าง 3.5 - 292.1 mBq/l เมื่อนำค่าดังกล่าวมาเขียนกราฟแจกแจงความถี่ พบว่าข้อมูลมีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ไปทางขวา (Figure 5a) คือมีหางยาวไปทางค่าสูง โดยมีค่าทางสถิติที่สำคัญ ได้แก่ ค่าฐานนิยม (mode) ค่ามัธยฐาน (median) และค่าเฉลี่ยเลขคณิต (arithmetic mean) เท่ากับ 22.6, 50.3 และ 75.1 mBq/l ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่ามัธยฐานต่างกันค่อนข้างมาก ดังนั้นค่าเฉลี่ยเลขคณิตจึงไม่ใช่ค่าตัวแทนที่ดีของการแจกแจงข้อมูลนี้ หากพิจารณาการกระจายของข้อมูลในสิ่งแวดล้อมซึ่งหลายกรณีพบว่ามีการแจกแจงเป็นแบบ log-normal (Limpert *et al.*, 2001) รวมทั้งความเข้มข้นเรเดียม-226 ในสิ่งแวดล้อม (Malance *et al.*, 1996) ผลการแจกแจงค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้น อ.นาหม่อม ก็พบว่าการแจกแจงแบบ log-normal เช่นเดียวกัน ดังแสดงใน Figure 5b โดยมีค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (geometric mean) เท่ากับ 50.7 mBq/l ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ามัธยฐาน (50.3 mBq/l) ดังนั้นจึงควรใช้ค่ามัธยฐาน (50.3 mBq/l) หรือค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (50.7 mBq/l) เป็นค่าตัวแทนของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้นใน อ.นาหม่อม

3. ความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบ่อและการกระจายในพื้นที่

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้นทั่วทั้งพื้นที่ อ.นาหม่อม พบว่ามีค่ากระจายอยู่ในช่วงกว้าง (3.5 - 292.1 mBq/l) โดยมีค่ามัธยฐานต่ำกว่าค่าสูงสุดอยู่มาก จึงเป็นไปได้ว่าค่าความเข้มข้นสูงอาจกระจุกตัวในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง จึงได้วิเคราะห์ข้อมูลในระดับตำบลและหมู่บ้าน เพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่เสี่ยงต่อปัญหาเรเดียมในน้ำให้อยู่ในระดับหมู่บ้าน ไม่ให้กระทบพื้นที่ทั้งอำเภอ

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบ่อ อ.นาหม่อม เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ (MCL, Maximum Contaminant Level) ของทบวงการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (US.EPA, 1976) ที่กำหนดว่า ค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำดื่มไม่ควรเกิน 111 mBq/l ผลการศึกษาตัวอย่างน้ำบ่อจาก อ.นาหม่อมทั้ง

หมด พบว่ามี 31 ตัวอย่าง ที่มีความเข้มข้นเรเดียม-226 เกินค่า MCL หรือคิดเป็น 29.31% ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

เพื่อให้ทราบว่าประชาชนในแต่ละพื้นที่ของ อ.นาหม่อม จะมีโอกาสเสี่ยงที่จะได้รับปริมาณรังสีจากการบริโภคน้ำปนเปื้อนเรเดียม-226 มากน้อยเพียงใด จึงได้วิเคราะห์ข้อมูลโดยแยกตามเขตปกครองระดับตำบล และหมู่บ้าน (Table 1) ดังต่อไปนี้

ตำบลพิจิตร ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบ่อจำนวน 33 ตัวอย่าง จาก ต.พิจิตร 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 เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเรเดียม-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 พบแตกต่างจากของหมู่บ้านอื่นๆ ใน ต.พิจิตรอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งน่าจะมาจากลักษณะเฉพาะทางเคมีของชั้นดินและชั้นน้ำในบริเวณนี้

ตำบลนาหม่อม ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบ่อจำนวน 51 ตัวอย่าง ได้ค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 เฉลี่ยใน ต.นาหม่อม เท่ากับ 63.8 mBq/l ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดพบที่หมู่ 2 บ้านทุ่งคือ 118.1 mBq/l สูงกว่าค่า MCL ไม่มากนัก ความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุด (27.7 mBq/l) เป็นของตัวอย่างน้ำจากบ้านพรุมา หมู่บ้านที่ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรองมาจากหมู่ที่ 2 คือหมู่ที่ 10 บ้านดินวัด มีค่า 96.5 mBq/l ค่าสูงที่สุดกับค่ารองลงมาแตกต่างกันไม่มากนัก โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำจากทั้งหมด 10 หมู่บ้านใน ต.นาหม่อม มีการกระจายของข้อมูล โดยไม่มีหมู่บ้านที่มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดแยกออกมาอย่างเด่นชัด

ตำบลทุ่งขมิ้น ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบ่อต้นจำนวน 33 ตัวอย่าง พบความเข้มข้นของเรเดียม-226 เฉลี่ยของ ต.ทุ่งขมิ้น มีค่า 81.7 mBq/l โดยมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่า 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 อาจเป็นผลมาจากประวัติการเปิดหน้าดินเพื่อการทำเหมืองในอดีตทำให้บริเวณนี้มีการปนเปื้อนของเรเดียม-226 ในปริมาณมากกว่าหมู่บ้านใกล้เคียง

ตำบลคลองหรีง ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทั้งหมด 33 ตัวอย่าง ได้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเรเดียม-226 ของ ต.คลองหรีง มีค่า 107.0 mBq/l โดยหมู่ที่ 5 บ้านต้นปริงและหมู่ที่ 3 มี

ค่าเฉลี่ยสูงสุด 177.8 และ 157.4 mBq/l ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่า MCL หมู่ที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 110.7 mBq/l ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นเรเดียม-226 ต่ำสุดใน ต.คลองหรีง 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 ตำบลพิจิตรเป็นตำบลที่ตรวจพบมีค่าเฉลี่ยเรเดียม-226 ต่ำที่สุด แต่ก็ยังพบว่ามีหมู่บ้านที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเรเดียม-226 สูงกว่าค่า MCL คือหมู่ที่ 2 บ้านโคกทัง

4. การกระจายของเรเดียม-226 ใน อ.นาหม่อม และความสัมพันธกับธรณีวิทยาในพื้นที่

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 150 จุด มาทำแผนที่คอนทัวร์ (Figure 6) พบว่าพื้นที่ที่มีค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ระหว่าง 100 – 250 mBq/l จะอยู่เป็นบริเวณกว้างใน ต.คลองหรีง และกินเนื้อที่เข้าไปใน ต.นาหม่อมทางทิศตะวันตก เมื่อพิจารณาแผนที่ธรณีวิทยา (Figure 7) พบว่าบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีหินแกรนิตเป็นหินฐาน Pungrassami (1984) ตรวจพบรอยเลื่อนในหินแกรนิตบริเวณดังกล่าวซึ่งมีการแปรสภาพด้วยอิทธิพลของก๊าซและสารละลายร้อน โดยตรวจพบการแปรสภาพของแร่เฟลด์สปาร์ไปเป็นแร่ดินขาว หินแกรนิตที่นี้จึงมีลักษณะผุและพูน จึงน่าจะเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ธาตุโลหะรวมทั้งเรเดียมในหินมีโอกาสถูกชะล้างละลายออกมาด้วยกระบวนการของน้ำบาดาลได้ง่ายกว่าในหินแกรนิตทั่วไปซึ่งเป็นหินแข็งและแน่น (Dickson, 1990) ทำให้พื้นที่ในบริเวณนี้มีความเข้มข้นของเรเดียม-226 สูงกว่าในบริเวณข้างเคียง

5. ปริมาณเรเดียม-226 ที่ร่างกายได้รับต่อปี

ผลการตอบแบบสอบถามการใช้น้ำบริโภคของประชาชนใน อ.นาหม่อม พบว่าน้ำบ่อน้ำยังคงเป็นแหล่งน้ำหลักสำหรับการบริโภคและอุปโภคของประชาชน เมื่อประเมินปริมาณการบริโภคน้ำปนเปื้อนเรเดียม-226 ของชาว อ.นาหม่อม โดยอนุโลมใช้เกณฑ์ของ WHO (2002) ซึ่งประเมินอัตราการบริโภคน้ำไว้ที่ 2 ลิตร/วัน/คน ในเวลา 1 ปี จะดื่ม 730 ลิตร เมื่อใช้ค่าปัจจัย 2.8×10^{-7} Sv/Bq ซึ่งใช้สำหรับการประเมินปริมาณรังสีสมมูลที่ร่างกายของผู้ใหญ่ได้รับต่อปี (adult annual equivalent dose) ผลการคำนวณปริมาณรังสีที่ได้รับจากการบริโภคน้ำบ่อน้ำใน อ.นาหม่อม แสดงอยู่ใน Table 1

ICRP (International Commission on Radiological Protection) ได้กำหนดเกณฑ์ปริมาณรังสีที่บุคคลทั่วไปได้รับจากรังสีทุกชนิดด้วยค่าปริมาณรังสีขนาดเสี่ยง (committed dose) ว่าควรได้รับไม่เกิน 0.1 mSv หรือเท่ากับ 1/10 ของเกณฑ์ปลอดภัย 1 mSv (dose limit; ICRP, 1991) ซึ่งยังคงเป็นปริมาณรังสีที่สูงมากเมื่อเทียบกับปริมาณรังสีที่จะได้รับจากเรเดียม-226 ในน้ำดื่ม อย่างไรก็ตาม UNSCEAR (2000) ได้กำหนดปริมาณรังสีขนาดเสี่ยงที่จะได้รับ

จากเรเดียม-226 ต่อ อายุ-น้ำหนัก ว่าไม่ควรเกิน 8 $\mu\text{Sv}/\text{ปี}$ ในการศึกษาครั้งนี้ได้อนุโลมใช้เกณฑ์นี้เพื่อประเมินปริมาณรังสีที่ชาว อ.นาหม่อม จะได้รับจากเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้น โดยแยกพิจารณาในระดับตำบลดังต่อไปนี้

ตำบลพิจิตร ค่าปริมาณรังสีเฉลี่ยที่ประชาชนชาว ต.พิจิตร ได้รับต่อปี มีค่า 11.0 μSv ค่าสูงสุดอยู่ที่หมู่ที่ 2 บ้านโคกทังมีค่าสูงถึง 25.9 μSv และในหมู่ที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเกินกว่า 8 μSv โดยอาจแยกกลุ่มหมู่บ้านออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่ปริมาณรังสีที่ได้รับเข้าไปในร่างกายต่อปีเกินกว่า 8 μSv คือประชาชนในหมู่ที่ 1, 2, 3 และ 4 และกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มที่จะได้รับปริมาณรังสีต่อปีเฉลี่ยต่ำกว่า 8 μSv คือประชาชนในหมู่ที่ 5 และ 6

ตำบลนาหม่อม ค่าปริมาณรังสีที่ประชาชนใน ต.นาหม่อม ได้รับต่อปี จากปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำดื่ม มีค่าเฉลี่ย 13.0 μSv สูงกว่าใน ต.พิจิตรไม่มากนัก หมู่ที่ 2 บ้านทุ่งค้อมีค่าสูงสุดคือ 24.1 μSv โดยสามารถแยกกลุ่มหมู่บ้านออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกที่จะได้รับปริมาณรังสีต่อปีสูงกว่า 8 μSv คือประชาชนในหมู่ที่ 1, 2, 5, 6, 7, 8 และ 10 และกลุ่มที่ค่าได้รับปริมาณรังสีเฉลี่ยต่อปีต่ำกว่า 8 μSv คือประชาชนใน หมู่ที่ 3, 4 และ 9

ตำบลทุ่งขมิ้น ค่าปริมาณรังสีที่ประชาชนใน ต.ทุ่งขมิ้นได้รับต่อปี จากปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำบ่อที่ใช้ดื่มมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.7 μSv โดยประชาชนในหมู่ที่ 2, 3, 4, 6 และ 7 จะได้รับปริมาณรังสีเกินกว่า 8 μSv และประชาชนในหมู่ที่ 1 และ 5 จะได้รับปริมาณรังสีเฉลี่ยต่อปีต่ำกว่า 8 μSv

ตำบลคลองหรั่ง ประชาชนชาว ต.คลองหรั่งจะได้รับปริมาณรังสีต่อปี เฉลี่ยเท่ากับ 21.9 μSv โดยทุกหมู่บ้านใน ต.คลองหรั่ง จะได้รับปริมาณรังสีเกินกว่า 8 μSv หมู่บ้านที่ได้รับต่ำสุดคือ หมู่ที่ 6 บ้านปลักทิงได้รับ 13.6 μSv ต่อปี

จากการจัดอันดับหมู่บ้านที่ประชาชนจะได้รับปริมาณรังสีจากเรเดียม-226 ในน้ำ สูงสุด 10 อันดับแรก ประกอบด้วย บ้านต้นปริง หมู่ 5 ต.คลองหรั่ง (36.4 μSv) บ้านแม่เป็ยะ หมู่ 3 ต.คลองหรั่ง (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) บ้านทุ่งค้อ หมู่ 2 ต.นาหม่อม (24.1 μSv) บ้านคลองหรั่ง หมู่ 1 ต.คลองหรั่ง (22.6 μSv) บ้านทุ่งโพธิ์ หมู่ 7 ต.ทุ่งขมิ้น (21.2 μSv) บ้านดินวัด หมู่ 10 ต.นาหม่อม (19.7 μSv) และ บ้านแม่เป็ยะ หมู่ 2 ต.คลองหรั่ง (19.1 μSv)

เมื่อพิจารณาเกณฑ์ปริมาณรังสีขนาดเสี่ยง 8 μSv (UNSCEAR, 2000) ในจำนวนหมู่บ้านทั้งหมด 29 หมู่บ้านที่สำรวจพบว่า มีจำนวน 22 หมู่บ้าน มีโอกาสได้รับปริมาณรังสีสูงเกิน 8 μSv และมีเพียง 7 หมู่บ้านที่มีโอกาสได้รับปริมาณรังสีต่ำกว่า 8 μSv อย่างไรก็ตามปริมาณรังสีดังกล่าวคำนวณจากการบริโภคน้ำดื่มเพียงอย่างเดียว หากในอาหารอื่นๆ เช่น ข้าว เนื้อสัตว์ ผัก

และผลไม้ มีปริมาณเรเดียม-226 อยู่ในปริมาณสูงด้วย ประชาชนก็จะได้รับปริมาณรังสีเพิ่มมากขึ้นด้วยตามสัดส่วนที่บริโภคและความเข้มข้นเรเดียม-226 ในอาหารประเภทนั้น ๆ

6. ความสัมพันธ์เรเดียม-226 กับอุบัติการณ์โรคมะเร็งในช่องปากและหลอดอาหาร

จเร และคณะ (2547) ได้นำสมบัติเคมีของน้ำบ่อต้น อ.นาหม่อม จากบ่อน้ำบ้านที่มีประวัติการเป็นโรคมะเร็งช่องปาก และมะเร็งหลอดอาหาร (เฉพาะที่มีประวัติที่หน่วยมะเร็ง คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์) และบ่อน้ำบ้านที่ไม่มีประวัติมะเร็ง มาทดสอบทางสถิติด้วย t-test โดยพบว่า ค่าความเข้มข้น Ca และ Mg ระหว่างกลุ่มข้อมูลที่มีประวัติมะเร็ง กับกลุ่มข้อมูลที่ไม่มีประวัติการเป็นมะเร็ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า Ca และ Mg มีส่วนเกี่ยวข้องในการดูดซึมเรเดียมเข้าสู่ร่างกาย เมื่อแสดงตำแหน่งพิกัดบ่อน้ำทั้งหมด 150 บ่อ (บ่อที่มีประวัติมะเร็ง จำนวน 35 บ่อ ใช้สัญลักษณ์ ● และบ่อที่ไม่มีประวัติมะเร็ง 115 บ่อ ใช้สัญลักษณ์ +) ลงในแผนที่แสดงระดับปริมาณรังสีที่ประชาชนจะได้รับต่อปี (Figure 8) โดยใช้เกณฑ์ปริมาณรังสีขนาดเล็กลง 8 μ Sv พบว่า กลุ่ม 1 กลุ่มบ่อในพื้นที่ที่จะได้รับปริมาณรังสีสูงกว่าเกณฑ์ มีสัดส่วนบ่อที่มีประวัติมะเร็ง : บ่อไม่มีประวัติ เท่ากับ 16 : 61 คิดเป็น 26 % และ กลุ่ม 2 กลุ่มบ่อในพื้นที่ที่จะได้รับปริมาณรังสีต่ำกว่าเกณฑ์ มีสัดส่วนเท่ากับ 19 : 89 คิดเป็น 21 % จะเห็นว่าสัดส่วนบ่อทั้ง 2 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

จึงอาจกล่าวได้ว่า อุบัติการณ์มะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งช่องปากของประชาชนใน อ.นาหม่อมไม่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญกับการกระจายค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบ่อ แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงมีปัจจัยหลายอย่างที่ต้องพิจารณาร่วมด้วย เป็นต้นว่า (1) ข้อมูลจำนวนผู้ป่วยมะเร็งอาจยังคลาดเคลื่อน (2) นิสัยการบริโภคน้ำดื่ม และอาหาร และการปนเปื้อนเรเดียม-226 ในอาหารจำพวกพืชผักและเนื้อสัตว์ หรือ (3) อาจเป็นเพราะพฤติกรรมเสี่ยงอื่นๆ ที่มีอิทธิพลสูง เช่น การดื่มเหล้า การสูบบุหรี่ กินหมากและยาเส้น ที่เชื่อกันในปัจจุบันว่าเป็นปัจจัยหลักของการเกิดโรคมะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งช่องปาก และสอดคล้องกับพฤติกรรมกรรมการบริโภคที่อาจทำให้มีอุบัติการณ์มะเร็งดังกล่าวสูงในเพศชายใน อ.นาหม่อม อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมการดื่มเหล้า สูบบุหรี่ กินหมากและยาเส้นเป็นพฤติกรรมกรรมการบริโภคของชนทุกชาติ โดยเฉพาะเพศชาย แต่การกระจายของเรเดียมในน้ำบริโภคแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ซึ่งการปรากฏของเรเดียมที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำและอาหารในปริมาณสูงอาจมีผลเสริมพลังที่เรียกว่า synergistic effect ทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งของอวัยวะที่เกี่ยวข้อง เช่นเดียวกับการสูบบุหรี่กับการได้รับสัมผัสก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนที่เสริมพลังกันแล้วเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งปอดในมนุษย์ มากกว่าความเสี่ยงมะเร็งที่เกิดจากการสูบบุหรี่เพียงอย่างเดียว หรือได้รับสัมผัสก๊าซเรดอนเพียงอย่างเดียว

สรุป

ผลการศึกษาวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้นในเขต อ.นาหม่อม จ.สงขลาโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกโตรมิเตอร์รังสีแอลฟา และใช้เทคนิคการตกตะกอนร่วมโดยใช้ตัวพาแบเรียม พบว่ามีประสิทธิภาพในการจับเรเดียมถึง 99 % ผลการวิเคราะห์การแพร่กระจายของเรเดียม-226 ในน้ำบ่อต้นในพื้นที่ศึกษา พบว่าแหล่งกำเนิดเรเดียมน่าจะมาจากพื้นที่ที่ปรากฏมีหินแกรนิตเป็นหินฐานโดยเฉพาะในพื้นที่ที่พบหินแกรนิตผุ เช่น บริเวณใกล้เขตรอยเลื่อน กระบวนการชะล้างตามธรรมชาติได้ทำให้เรเดียมแพร่กระจายไปในพื้นที่ ดินตื้นในดินและในน้ำขึ้นกับสภาวะทางเคมี เมื่อคำนวณปริมาณรังสีที่ประชาชนชาว อ.นาหม่อมจะได้รับต่อปี พบว่าประชาชนใน ต.คลองหรีง จะได้รับปริมาณรังสีสูงกว่าประชาชนในตำบลอื่น โดยประชาชนใน ต.คลองหรีงทุกหมู่บ้านจะได้รับปริมาณรังสีสูงกว่า 8 μSv เมื่อพิจารณาเทียบเคียงค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบ่อใน อ.นาหม่อม กับพื้นที่ศึกษาในภูมิภาคอื่นของโลก (Table 2) พบว่าช่วงความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบ่อใน อ.นาหม่อม จะมีค่าสูงกว่าที่ตรวจพบในประเทศไต้หวัน ทางเหนือของสหรัฐอเมริกา และโปแลนด์ แต่ต่ำกว่าที่ตรวจพบในประเทศจีน และ เยอรมัน และเทียบเท่ากับที่ตรวจพบในประเทศอังกฤษ

ผลการวิเคราะห์การกระจายค่าความเข้มข้นเรเดียม-226 ในน้ำบ่อ ร่วมกับข้อมูลการเป็นมะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งช่องปากของประชาชนใน อ.นาหม่อม พบว่าไม่ได้มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามยังคงมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องและควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเป็นต้นว่า อัตราการบริโภคน้ำดื่ม การปนเปื้อนเรเดียม-226 ในอาหารจำพวกพืชผักและเนื้อสัตว์ และพฤติกรรมเสี่ยงอื่นๆ ที่มีอิทธิพลสูง เช่น การดื่มเหล้า การสูบบุหรี่ กินหมากและยาเส้น ที่เชื่อว่าเป็นปัจจัยหลักของการเกิดโรคมะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งช่องปาก การบริโภคน้ำปนเปื้อนเรเดียมสูงร่วมกับการมีพฤติกรรมเสี่ยงอื่นๆ อาจมีผลเสริมพลังที่เรียกว่า synergistic effect ทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งของอวัยวะดังกล่าวได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.) และบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ และหลักสูตรวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้อนุญาตให้ใช้เครื่องมือที่จำเป็นในการทำวิจัย ขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์สุราษฎร์ธานี นายบำรุง คงดี ที่สนับสนุนการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ คุณอภิชัย วชิรห้า แห่งบริษัทไทยยูนิค ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลหัววัดรังสีแอลฟา ขอขอบคุณสุกิจ อติพันธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี 2532. การสำรวจกัมมันตภาพรังสีทางอากาศ : ข้อมูลดิจิทัล, กรมทรัพยากรธรณี.
- จเร วุฒิศาสตร์ ธวัช ชิตตระการ และ ไตรภพ ผ่องสุวรรณ 2547. ความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำบ่อตื้น และความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์เกิดโรคมะเร็งช่องปากและมะเร็งหลอดอาหารในพื้นที่อำเภอหนองม่อม จังหวัดสงขลา. ว.สงขลานครินทร์ วทท. 26(5) : 709-725.
- ไตรภพ ผ่องสุวรรณ ธวัช ชิตตระการ สมพร จงคำ พรศรี พลพงษ์ สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล อภินันท์ ฐิติภรณ์พันธ์ 2544. การประเมินความเสี่ยงต่อเรดอนภายในและภายนอกอาคารในพื้นที่ชุมชน เขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา รายงานวิจัยเสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จำนวนหน้า 235 หน้า.
- สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล 2537. การวัดปริมาณยูเรเนียม-238 ในหินชนิดต่างๆ ในพื้นที่ จังหวัดสงขลาพัทลุง ปัตตานี. โครงการฟิสิกส์. สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- APHA, AWWA, WEF, 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th edition, American Public Health Association, Washington, DC.
- Bradley, E.J. 1993. Contract Report. Natural radionuclides in environmental media. NRPB-M439.
- Cothem, C.R. and Lappenbusch, W.L. 1983. Occurrence of uranium in drinking water in the United States. Health Phys., 45(1):89-93.
- Curie, L.A. 1968. Limits for qualitative detection and quantitative determination. Analyst. Chem., 40:586-593.
- Dickson, B.L. 1990. Radium in ground water. In: The environmental behavior of radium, Vol. 1 Intl. Atomic Energy Agency, Vienna, Chap. 4-2: 335-372.
- Faure, G. 1986. Principle of isotope geology (Second Edition), John Wiley & Sons, Inc., Singapore.
- Gan, I. 1985. Natural radionuclides in mineral waters. Sci. Total Environ., 45: 93-99.
- ICRP 60. 1991. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford.
- Ishihara, S., Sawata, H., Shibata, K., Terashima, S., Arrykul, S. and Sato, K. 1980. Granites and Sn-W deposits of peninsula Thailand. Mining Geol. Spec., Issue, 8.
- Krieger L. H. and Whittaker, E.L. 1980. Prescribed procedures for measurement of radioactivity in drinking water, EPA-600/4-80-032.

- Krishnasawami, S., Graustein, W.C., Turekian, K.K. and Dowd, J.F. 1982. Radium, thorium, and radioactive lead isotopes in ground waters: application to the in-situ determination of absorption rate constants and retardation factors. *Water Resour. Res.*, 18:1663-1675.
- Kuo, Y.C., Lai, S.Y., Huang, C.C. and Lin, Y.M. 1997. Activity concentrations and population dose from radium-226 in food and drinking water in Taiwan. *Appl. Radiat. Isot.*, 48(9): 1245-1249.
- Lawire, W.C., Desmond, J.A., Spence, D., Anderson, S. and Edmondson, C. 2000. Determination of radium-226 in environment and personal monitoring samples. *Appl. Radiat. Isot.*, 53: 133-137.
- Limpert, E., Stahel, W.A. and Abbt, M. 2001. Lognormal distributions across the sciences: keys and clues. *Biosc.*, 51(5):341-352.
- Loyd, D.H. and Drake, E.N. 1989. An alternative method for Ra determinations in water. *Health Phys.*, 57(1):71-77.
- 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). *J. Environ. Radioact.*, 30:55-67.
- Marovic, G., Sencar, J., Franic, Z. and Lokobaner, N. 1996. Radium-226 in thermal and mineral springs of Croatia and Associated Health Risk. *J. Environ. Radioact.*, 33:309-317.
- Mays, C.W. and Rowland, R.E. 1985. Cancer risk from the lifetime intake of Ra and U isotope. *Health Phys.*, 48:635-647.
- Oliveira J.D., Mazzilli, B., Sampa, M.H. and Silva, B. 1998. Seasonal variations of ^{226}Ra and ^{222}Rn in mineral spring water of Aguas da Prata, Brazil. *Appl. Radiat. Isot.*, 49(4):423-427.
- Pfennig, G., Klewe-Nebenius, H. and Seelmann-Eggebert, W. 1995. Chart of the nuclides, Institut für Radiochemie, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH.
- Pietrzak-Flis, Z., Suplinska, M.M. and Rosiak, L. 1997. The dietary intake of ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{228}Th and ^{226}Ra from food and drinking water by inhabitants of the Walbrzych region. *J. Radio. Nucl. Chem.*, 222(1-2):183-193.
- Punggrassami, T. 1984. Tin Mineralization of the Thung Pho-Thung Khamin mining District, Changwat Songkhla, Prince of Songkhla University, Thailand.

- Steger, H.F. 1987. The Preparation of RGU-1, A Uranium Radiometric Reference Material, In Preparation of Gamma-ray Spectrometry Reference Materials RGU-1, RGTh-1 and RGK-1 Report, IAEA/RL/148, Vienna.
- Strachnov, V., Valkovic, V., Zeisler, R. and Dekner, R. 1991. Report on the Intercomparison Run IAEA-313: ^{226}Ra , Th and U in Stream Sediment. IAEA/AL/037, IAEA, Vienna, Austria.
- Strachnov, V., Valkovic, V., Zeisler, R. and Dekner, R. 1991. Report on the Intercomparison Run IAEA-314: ^{226}Ra , Th and U in Stream Sediment. IAEA/AL/038, IAEA, Vienna, Austria.
- Thongsuksai, P., Sriplung, H., Phunggrassami, T. and Prechavittayakul, P. 1997. Cancer incidence in Songkhla, southern Thailand, 1990-1994. Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health, 28(3) : 1-10.
- UNSCEAR 2000. The United Nations scientific committee on the effects of atomic radiation, sources and effects of ionizing radiation, United Nations, New York.
- US Environmental Protection Agency 1976. Interim primary drinking water regulations, Washington, DC, EPA.570/9-76-003.
- WHO (World Health Organization) 2002. Guidelines for drinking water quality, third edition : radiological aspects.
- Zhuo, W., Iida, T. and Yang, X. 2001. Occurrence of ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{228}Ra and U in groundwater in Fujian Province, China. J. Environ. Radioact., 53:111-120.

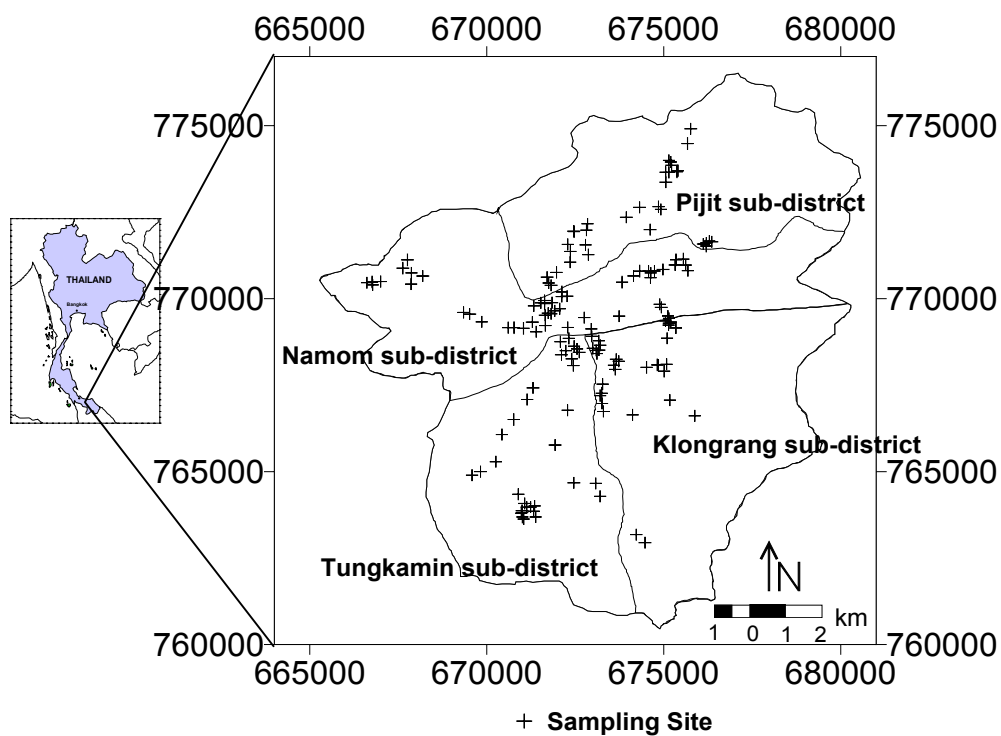
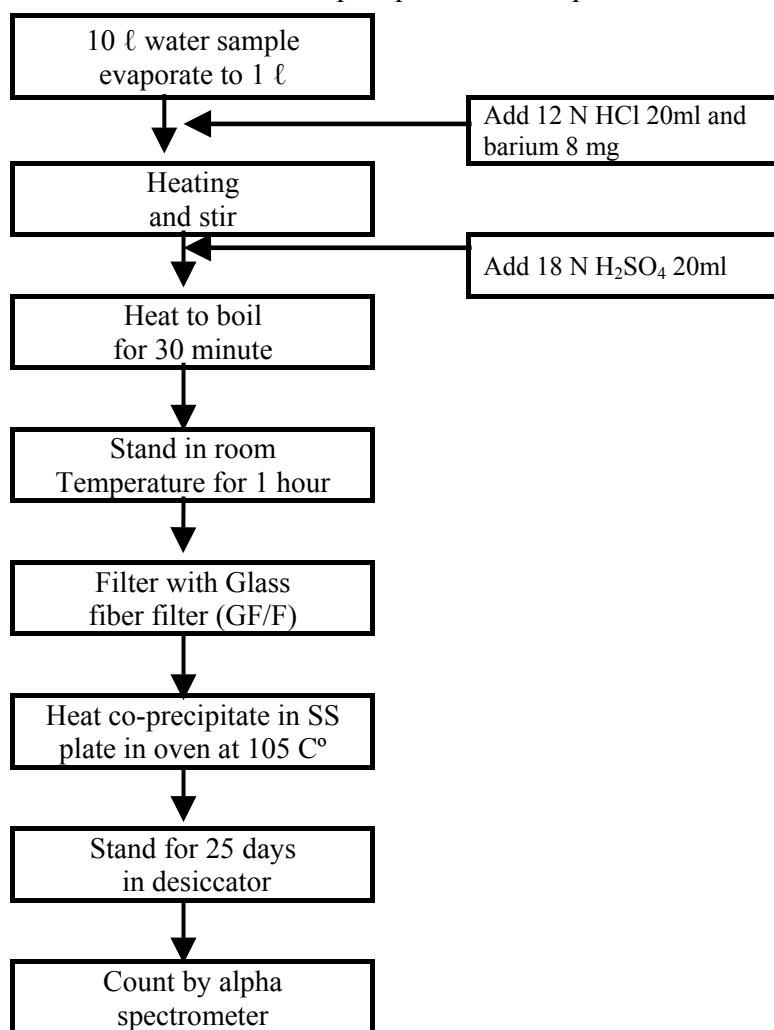


Figure 1 Map of Namom district showing the water sampling wells.

Chart 1 Flow chart of the co-precipitation technique used in the study.



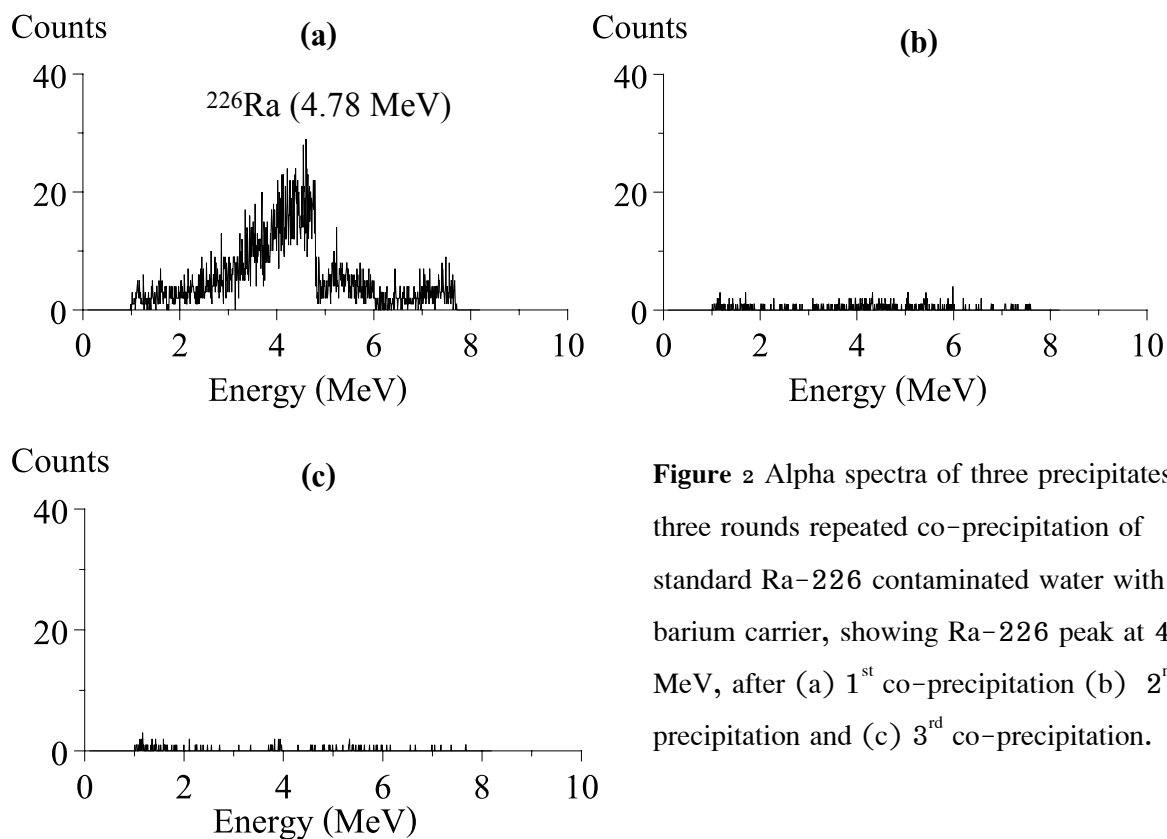


Figure 2 Alpha spectra of three precipitates after three rounds repeated co-precipitation of standard Ra-226 contaminated water with 8 mg barium carrier, showing Ra-226 peak at 4.78 MeV, after (a) 1st co-precipitation (b) 2nd co-precipitation and (c) 3rd co-precipitation.

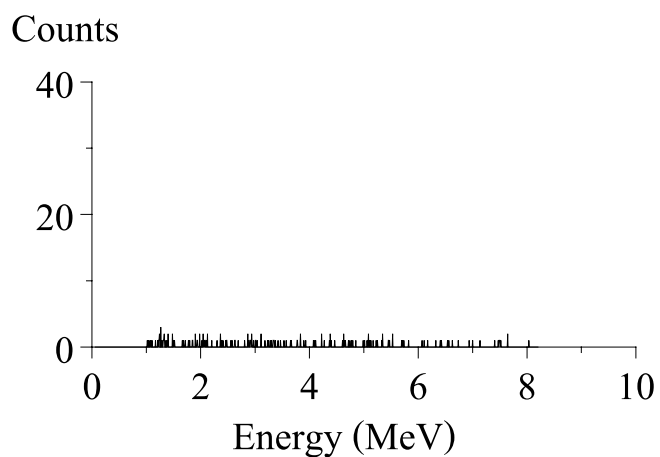


Figure 3 Alpha spectrum of background, counting time 6 hours.

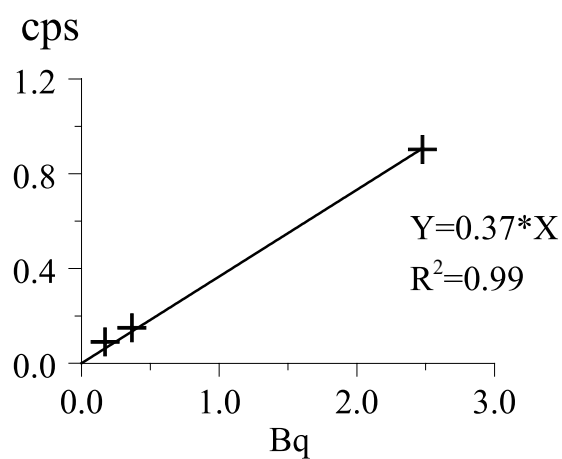


Figure 4 Standard calibration curve of count rate (cps) vs activity of Ra-226 (Bq) in standard water sample.

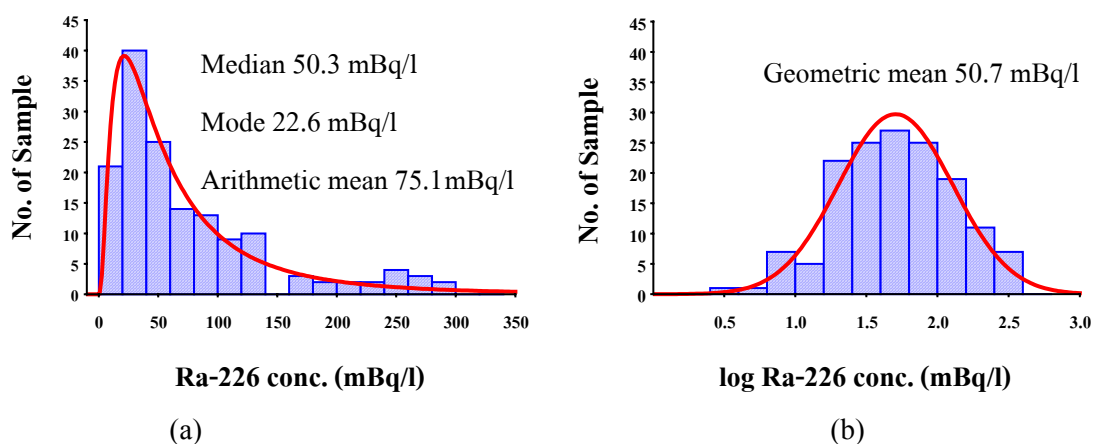


Figure 5 Histograms of Radium-226 concentration in all 150 water samples showing (a) a skewed distribution of linear data, (b) log-normal distribution of logarithmic data.

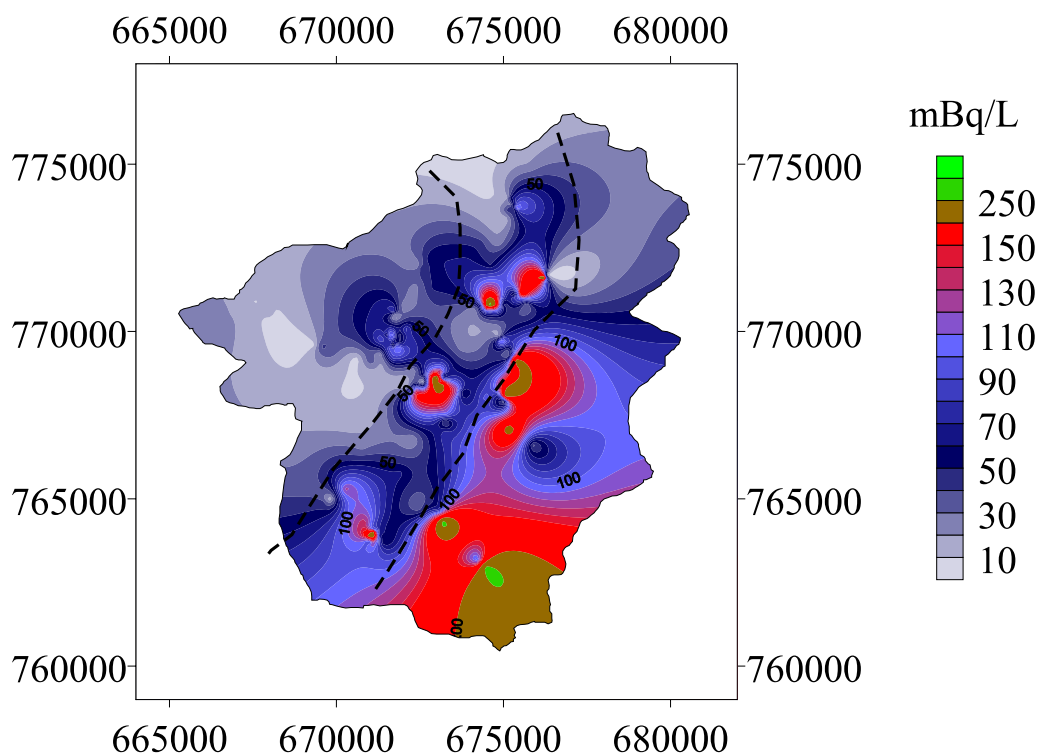


Figure 6 Contour map of Ra-226 concentration in shallow well water in Namom district, Songkhla province.

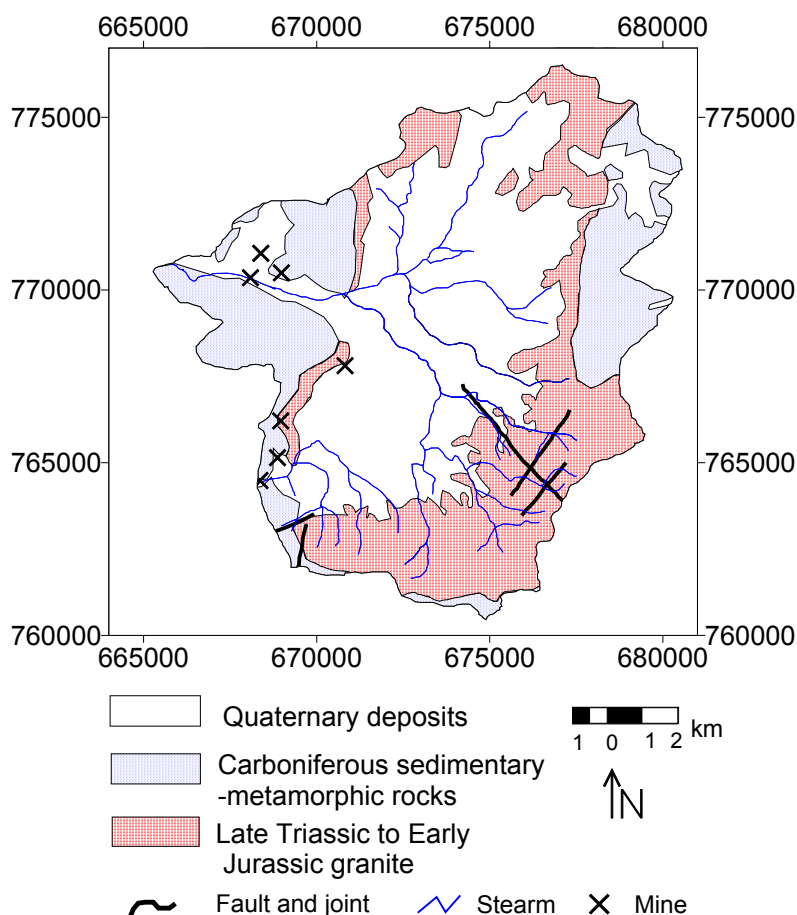


Figure 7 Geologic map of the Namom District (Redrawn from Pungrasami, 1984)

Table 1 Average concentration of Radium-226 in shallow well water and the estimated annual dose.

Subdistrict / village (No. of sample)	Village No.	Ra-226 concentration (mBq/l)			Mean annual Dose (μ Sv)
		Min. – max.	Mean	S.D.	
Ban Naenpijit (10)	1	12.7–115.1	44.4	31.1	9.17
Ban Koktang (5)	2	14.5–262.4	126.5	110.0	25.9
Ban Kokpayom (5)	3	22.6–57.5	41.0	14.0	8.4
Ban Plee-kway (4)	4	48.8–60.2	52.7	5.1	10.8
Ban Tungnawan (4)	5	3.5–83.4	33.6	34.6	6.9
Ban Klongmuangtok (5)	6	21.6–38.4	30.7	7.4	6.3
Mean of Pijit sub-district (33)		3.5–262.4	53.9	54.3	11.0
Ban Tungtanod (5)	1	29.0–198.7	89.8	68.9	18.4
Ban Tungkho (8)	2	23.8–285.0	118.1	98.8	24.1
Ban Plumau (3)	3	6.8–42.9	27.7	18.7	5.7
Ban Kwounjong (9)	4	9.3–28.1	16.9	7.4	3.4

Ban Namuang (9)	5	17.2-134.1	69.5	35.4	14.2
Ban Nai (3)	6	16.3-136.2	65.7	62.7	13.4
Ban Chaina (4)	7	26.5-75.1	57.1	21.5	11.7
Ban Tungpakain (3)	8	16.5-83.2	39.8	37.6	8.1
Ban Khochapu (3)	9	4.7-41.0	22.0	18.2	4.5
Ban Teenwat (4)	10	50.5-130.7	96.5	34.3	19.7
Mean of Namom sub-district (51)		4.7-285.0	63.8	59.5	13.0
Ban Tungkamin (4)	1	6.8-44.4	21.9	16.3	4.5
Ban Lancai (3)	2	34.5-269.8	124.9	126.7	25.5
Ban Tungpho (5)	3	91.9-253.9	151.3	69.1	30.9
Ban Natongsuk (4)	4	9.8-126.3	58.4	49.0	11.9
Ban Na (3)	5	22.2-28.1	24.3	3.3	5.0
Ban Tungkamin (7)	6	8.9-164.2	63.6	61.3	13.0
Ban Tungpho (7)	7	55.4-258.5	103.7	73.6	21.2
Mean of Tungkamin sub-district (33)		6.8-269.8	81.7	74.2	16.7
Ban Klongrang (7)	1	30.8-245.1	110.7	89.2	22.6
Ban Maepia (5)	2	50.1-115.2	93.2	27.8	19.1
Ban Meapia (7)	3	27.2-292.1	157.4	88.2	32.2
Ban Sea (7)	4	31.7-216.3	71.1	69.3	14.5
Ban Tonpling (2)	5	91.7-264.0	177.8	-	36.4
Ban Plukting (5)	6	24.3-107.1	66.7	31.5	13.6
Mean of Klongrang sub-district (33)		24.3-292.1	107.0	77.3	21.9
Overall Namom District (150)		3.5-292.1			
Arithmetic mean (150)			75.1	68.3	15.3
Geometric mean (150)			50.7	2.5 [▲]	10.4

Note [▲] Multiplicative standard deviation

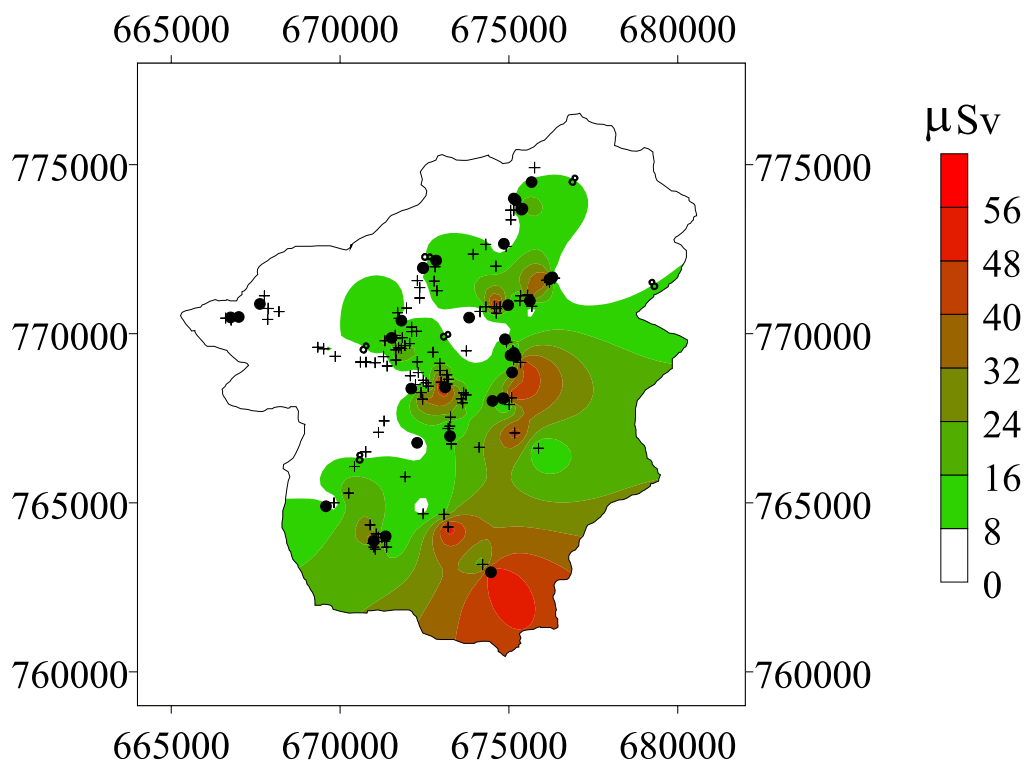


Figure 8 Contour map of the estimated annual dose (μSv) Radium-226 in Namom district. Symbols indicate shallow wells which cancer case found (\bullet) and not found ($+$).

Table 2. Mean concentration of Radium-226 in water

Country	Ra-226 conc. (mBq/l)	References
Namom district, Songkhla, Thailand	16.9 - 157.4	This study
Taiwan	0 - 28.1	Kuo et.al, 1997
China	1.2 - 941	Zhuo et al., 2001
North America United States	0.4 - 1.8	Cothorn and Lappenbusch, 1983
Germany	1 - 1,800	Gan, 1985
Poland	1.7 - 4.5	Pietrzak-Flis, 1997
U.K.	0 - 180	Bradley, 1993

A09

ภาคผนวก ง

การกระจายของนิวไคลด์กัมมันตรังสีเรเดียม-226 และความสัมพันธ์กับโลหะหนัก ในน้ำบ่อตื้น ใน

อ.นาหม่อม จ.สงขลา

DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDE RADIUM-226 AND CORRELATION WITH HEAVY METALS IN SHALLOW WELL WATER IN NAMOM DISTRICT SONGKHLA PROVINCE

จร เวชิตาสนา^{*}, ไทรภพ บ่องสุวรรณ¹, ธวัช จิตตระการ¹, หัซซา ศรีปลั่ง², สุกิจ อติพันธ์¹

Jare Wutthisasna^{*}, Tripob Bhongsuwan¹, Thawat-Chittrakan¹, Hutcha Sriplung², Sukit Atipun¹

¹*Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Songkhla 90112, Thailand;*

²*Epidemiology Unit, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University, Songkhla 90112, Thailand; e-mail address : // HYPERLINK "mailto:chare@dmsc.moph.go.th" / chare@dmsc.moph.go.th//*

บทคัดย่อ :

จากงานวิจัยการประเมินความเสี่ยงต่อเรดอนภายในและภายนอกอาคารในพื้นที่ชุมชนเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา พบว่าก๊าซกัมมันตรังสีเรดอนในพื้นที่ อ.นาหม่อม จ.สงขลา มีค่าสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ ในจังหวัดสงขลา จึงได้ศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อตรวจวิเคราะห์หาปริมาณนิวไคลด์กัมมันตรังสีเรเดียม-226 และปริมาณโลหะหนักในน้ำ โดยได้เก็บตัวอย่างน้ำบ่อตื้นใน อ.นาหม่อม จ.สงขลา จำนวน 39 จุด ตรวจวัด pH TDS และความเข้มข้นของ Ca Ba Cd Cr Cu Fe Mg Mn Pb Ni และ Zn จากการสร้างแผนที่คอนทัวร์โดยใช้เทคนิคกริกกิงในการกริดข้อมูลพบว่าโลหะหนักกระจายตัวออกเป็น 3 บริเวณ บริเวณ ค.พิจิตร บริเวณทิศตะวันตกของ ค.นาหม่อม และ บริเวณตอนล่างของ ค.ทุ่งขมื่น ค.คลองหรั่ง เมื่อใช้สถิติพหุคูณในการจำแนกความเหมือนของจุดเก็บตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม เมื่อใช้การวิเคราะห์แฟกเตอร์ สามารถจัดกลุ่มโลหะหนักได้เป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรก ประกอบด้วย TDS Ca Mg เป็นผลมาจากความกระด้างของตัวอย่างน้ำบ่อตื้น กลุ่มที่ 2 ได้แก่ Ba Zn คาดว่าเป็นผลมาจากการทำเหมืองแร่ในอดีตในบริเวณนี้ และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย Fe Mn Ni และค่า pH เป็นกลุ่มที่แยกตัวออกมาไม่มีความสัมพันธ์อย่างชัดเจนคาดว่าเกิดจากการมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันของโลหะหนักกลุ่มนี้ในตัวอย่างน้ำบ่อตื้นและลักษณะจำเพาะของบ่อน้ำที่เก็บตัวอย่าง เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมกับธาตุกัมมันตรังสี Ra-226 พบว่ามีความสัมพันธ์กับ TDS Ca และ Mg ไปในทางบวก

Abstract :

The study of radon risk assessment indoor/outdoor to public communities in Songkhla Lake Basin showed the anomalously high radon concentrations in air in Namom district, Songkhla province. This study is performed in order to analyse for radionuclide Radium-226 and heavy metals contents in shallow well water in Namom district. Altogether 39 well water samples were collected in the district. The analysed metals and other parameters include the pH, TDS, Ca, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb, Ni and Zn. Contouring using krigging grid generator shows that the distribution of metals can be grouped into three areas. First area is the (Tambol) Pijit sub-district, the second is the area west of (Tambol) Namom sub-district, the third area locates south of (Tambol) Tungkamin sub-district and Klongrang sub-district. Multivariate cluster analysis used to analyse for the similarity of sampling sites, which are grouped into three groups. Factor analysis of heavy metals shows three different groups. First group contains TDS, Ca, Mg, which represent the hardness of shallow well water samples, the second group contains Ba, Zn, which may be originated from mining activities in the past. The third group includes Fe, Mn, Ni, pH, which are not correlated with each others. Radionuclide Ra-226 concentration in water samples have a good correlation with TDS, Ca and Mg.

Keywords : Radium, Heavy metal, Multivariate, Factor analysis

ภาคผนวก จ

Decomposed Granite: A potential Source of Ra-226 in Shallow-Well Water in Namom District, Songkhla Province

Jare Wutthisasna

M.Sc. Student

Dept. of physics, Faculty of
Science, Prince of Songkla Univ.
90112, Thailand.

Telephone: +66-74-288764

E-mail: chare@dmsc.moph.go.th

Thawat Chittrakarn

Associate Professor

Dept. of physics, Faculty of Science,
Prince of Songkla Univ.
90112, Thailand.

Telephone: +66-74-288727

E-mail: tawat.c@psu.ac.th

Tripop Bhongsuwan

Assistant Professor

Dept. of physics, Faculty of
Science, Prince of Songkla U.
Songkhla 90112, Thailand.

Telephone: +66-74-288761

Corresponding E-mail:

tripop.b@psu.ac.th

Darunee Bhongsuwan

Assistant Professor

Material Science, Faculty of
Science, Prince of Songkla Univ.
90112, Thailand.

Telephone: +66-74-288565

E-mail: Darunee.b@psu.ac.th

ABSTRACT

Altogether 39 water samples were collected from shallow wells in Namom district, Songkhla province of Southern Thailand. The samples were chemically analysed for pH, TDS, hardness, major and trace elements (Ba, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Zn, Pb, Mg and Ca) and radiometric analysed for Ra-226. Results of multivariate factor analysis show that three factors are extracted from 10 variables. Factor 1 includes TDS, hardness, Mg and Ca. Factor 2 including Ba and Zn are of the stratiform sediment-hosted group. Factors 3 and 4 are Fe and Ra-226 which both have no relation with all other elements. However, we show that Ra-226 content in water samples has a good correlation with Ca and Mg contents. It can probably conclude that the alkaline earth metals Ca, Mg and Ra found in the area are the result of dissolution of the decomposed granite which is exposed in the fault zones in Tungkamin and Klongrang sub-districts where the high Ra-226 concentrations in the well water are present.

Keywords: Shallow well water, major elements, Factor analysis, Radium-226, Decomposed granite

1. Introduction

Radium is an alkaline earth element that comprises 4 isotopes in the natural environment, i.e., ^{223}Ra (half-life 11.68 d), ^{224}Ra (half-life 3.64 d), ^{226}Ra (half-life 1622 y), and ^{228}Ra (half-life 5.75 y). Radium may enter ground water by a number of processes including decay of dissolved parent isotopes, alpha-recoil, adsorption from aquifer surfaces, dissolution of aquifer solids, ion exchange, and leaching from radiation-damaged crystals (Krishnasawami et al., 1982). In Surface water, radium concentration generally ranges from 10 to 100 mBq/L (Iyengar, 1990). However, in ground water the concentration can reach values up to 38,000 mBq/L, depending on factors such as type of aquifer rock and chemical and physical water characteristics (Gascoyne, 1989).

The district of Nomom is located south-east of Hatyai district of Songkhla province in southern Thailand. The airborne radioactivity map of Namom area showed the ground concentration of equivalent uranium ranged 8-12 ppm (DMR, 1989). Bhongsuwan et al. (2001) reported the result of indoor-radon study in the Songkhla Lake Basin and found the highest radon concentration in air and in ground water in Namom district. Ishihara et al., (1980), Sirijarakul (1994)

reported that the Songkhla granite contained uranium of as high as 18 ppm eU, which was much higher than the average value for the whole Thailand (2.21 ppm eU; DMR, 1989) and the world average for granite (4.8 ppm eU; Faure, 1986)

This research aims to study the concentration of major elements and the radionuclide Ra-226 in shallow well water and the distribution of Ra-226 and its correlation with other means.

2. Study area and methods

2.1 Location and geology

The study area is located in Namom district of Songkhla province of Southern Thailand. The district comprises four sub-districts; Pijit, Tungkamin, Klongrang and Namom sub-districts, between the UTM coordinates 665000 E to 760000 E – 777000 N (Figure 1).

The area is surrounded by hills and consists of middle plain. Rocks exposed here include the Carboniferous to Late Triassic sedimentary and Late Triassic to Early Jurassic granite and metamorphic rocks were also exposed. Soil, sand and gravel found in this area were of Quaternary age (Figure 2).

Granite was found to be under the influences of pneumatolytic and hydrothermal activities. It

decomposed to soil and leaving the elements dissolved and transported into ground water system (Pungrassami, 1984).

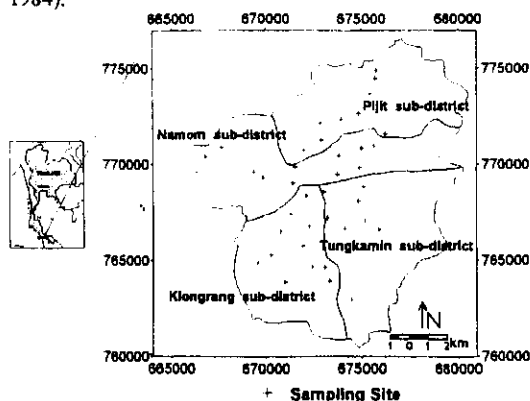


Figure 1. Sampling sites of well water in Namom District, Songkhla Province

Torbernite, a high radioactivity mineral ($\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{-}12\text{H}_2\text{O}$) was reported from this area. Such mineral has a uranium content of 48%. It was found in dikes and joints of granite and in quartz, quartzite and decomposed granite (Pungrassami, 1984).

2.2 Sampling collection and preparation

Altogether 39 water samples were collected from shallow wells in April-May 2002. Sampling wells were positioning using a GPS (Trimble Navigator, Basic Plus, USA) (Figure 1). All samples were analysed for pH, TDS and hardness. Some major and trace elements shown in Table 1, were analysed using an ICP-AES (Perkin Elmer, Model 4300 DV). Each water sample of 10 l was preserved for the pre-concentration procedure before the determination of Ra-226.

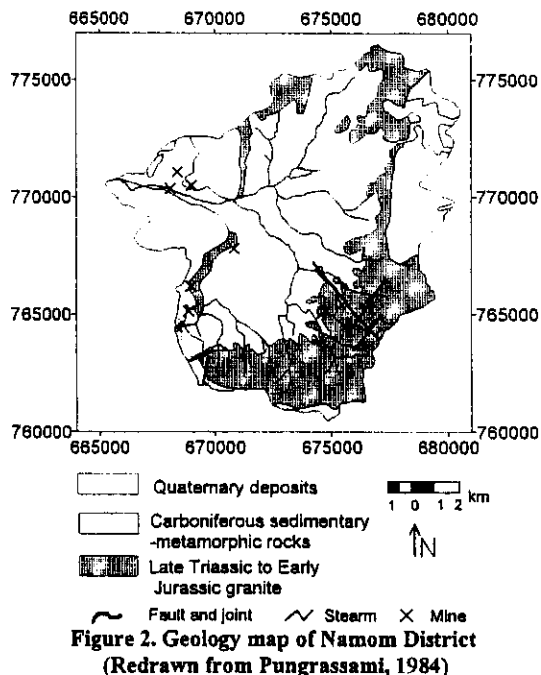


Figure 2. Geology map of Namom District (Redrawn from Pungrassami, 1984)

2.3 Preparation of water sample for radiometric analysis

A 10 l of each water sample was evaporated to 1 l. The co-precipitation of $(\text{Ba,Ra})\text{SO}_4$ was resulted after the barium carrier and sulfuric acid were added according to the method of USEPA (Krieger and Whittaker 1980). The precipitate was filtered on to a glass micro-fibred filter, which was placed on a stainless steel planchet and dried in the oven. The planchet was kept for a month to allow the decay of Ra-228 leaving only Ra-226 on the planchet for the measurement of Ra-226.

Table 1. Mean TDS, pH, and concentrations of major and trace elements and Ra-226 in shallow well water in the 4 sub-districts of the Namom District, Songkhla province.

Chemicals (mg/L)	Quality Criteri a*	Sub-districts							
		Pijit		Tungkamin		Klongrang		Namom	
		mean	Range	mean	range	mean	range	mean	range
pH	6.5-8.5	6.3	5.3-7.1	5.9	4.8-7.4	6.1	4.7-6.8	5.6	4.5-6.7
TDS	1000	114.1	32.7-255.0	101.8	31.5-434.0	130.9	52.0-224.0	87.7	28.2-164.0
Hardness	300	20.2	4.1-42.2	20.6	2.3-91.7	33.4	12.8-87.7	17.4	1.9-54.9
Mg	-	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	-	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	-	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	0.05	N/D	N/D	0.006	0.006	0.004	0.004	N/D	N/D
Mn	0.3	0.098	0.008-0.202	0.057	0.0124-0.162	0.072	0.004-0.252	0.078	0.007-0.296
Fe	0.5	0.212	0.022-0.593	0.159	0.006-0.774	0.082	0.007-0.272	0.103	0.005-0.435
Ni	-	0.007	0.007	0.006	0.006	0.008	0.008	0.005	0.005
Cu	1.0	0.012	0.005-0.018	0.027	0.007-0.047	0.019	0.015-0.023	0.017	0.016-0.018
Cd	0.005	0.003	0.002-0.006	0.002	0.001-0.003	0.002	0.001-0.003	0.002	0.002-0.003
Zn	5.0	0.044	0.014-0.122	0.060	0.010-0.138	0.035	0.009-0.112	0.034	0.004-0.106
Pb	0.005	N/D	N/D	0.011	0.010-0.012	N/D	N/D	N/D	N/D
Ra-226 (mBq/L)	111 **	73	23-262	125	9-599	182	36-463	33	7-97

N/D = non detectable

* Rural Drinking Water Quality Criteria, 1988 Thailand

** United States Environmental Protection Agency, National Primary Drinking Water standards (USEPA, 2000)

Table 2. Varimax rotated factor loading matrix.

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Factor 8	Factor 9
pH	0.426	-0.131	-0.176	0.086	-0.032	0.873	0.005	-0.004	0.011
TDS	0.909	-0.119	0.078	-0.007	0.069	0.129	0.051	0.029	0.358
Hardness	0.977	-0.030	0.032	0.002	-0.008	0.184	0.012	0.010	-0.093
Mg	0.814	0.120	0.225	-0.144	0.081	0.026	0.494	0.023	0.023
Ca	0.961	-0.065	-0.018	0.038	-0.030	0.212	-0.107	0.007	-0.116
Ba	-0.169	0.935	-0.048	-0.075	0.092	-0.052	-0.026	-0.278	-0.034
Mn	0.031	0.101	0.092	0.019	0.990	-0.023	0.015	-0.001	0.006
Fe	-0.029	0.028	0.123	0.989	0.019	0.061	-0.023	0.011	-0.001
Zn	0.076	0.915	0.170	0.123	0.055	-0.092	0.065	0.312	0.021
Ra-226	0.105	0.076	0.968	0.134	0.099	-0.132	0.038	0.014	0.008
Eigenvalue	3.960	2.066	1.219	1.040	0.869	0.364	0.204	0.149	0.129
Percentage of variance	39.60	20.66	12.19	10.40	8.69	3.64	2.04	1.49	1.29
Cumulative percentage	39.60	60.26	72.45	82.85	91.54	95.17	97.22	98.71	100.00

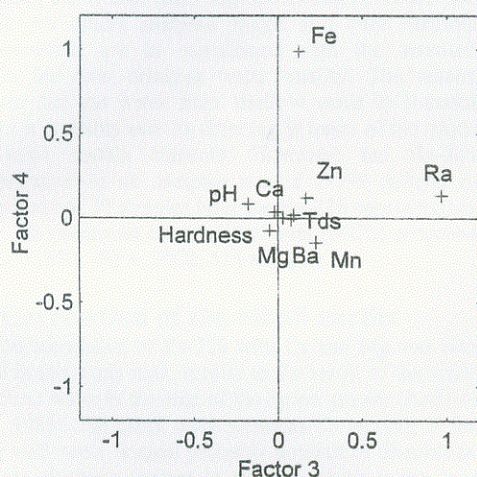


Figure 6. Loading Factor Plots for factors 3 and 4, following VARIMAX rotation

alkaline earth elements. Granite in the area west of the Namom district is probably the potential source of the natural elements distributed in the area especially the decomposed granite in the area of Tungkamin and Klongrang sub-districts.

Factor 2 indicates the geochemistry of Ba and Zn, which are the member elements of the stratiform sediment-hosted group (SSH-type) of Zn-Pb-Ba (with factor loading 0.93 and 0.951 for Ba and Zn; Table 2). The deposit of such SSH elements were associated with a high geo- thermal gradient and found in a general high heat flow area (Plant et al., 1990).

Factors 3 (Ra) and 4 (Fe) with loading of 0.97 and 0.99, do not show a closed correlation with any other elements (Figure 6, Table 2).

3.3 Distribution of Ra-226 and Geology of the area

Figure 7 shows a contour map of Ra-226 concentration in shallow well water samples. Ranges of high Ra-226 concentrations are found in Tungkamin and Klongrang sub-districts (Table 1) in the area where decomposed granite has been exposed to ground or in the abandon tin

mines (Figure 2). The highest concentration is as high as 599 mBq/L found in Tungkamin.

Contour lines ranged high Ra-226 concentrations of 80-200 mBq/L locate toward the south, south-east and to the east of the Namom district, where the granite is exposed, while the lower ranges of Ra-226 concentrations are found in the area where the granite is absent (Figure 2). Fault zones south-west and another one south-east of Namom district are consistent with the area with high Ra-226 concentrations. The decomposed granite occurred under the influences of pneumatolytic and hydrothermal activities of coarse-grained biotite granite in the study area (Pungrassmi, 1984) is found also in the fault zones and is probably a potential source of radium distributed in the area.

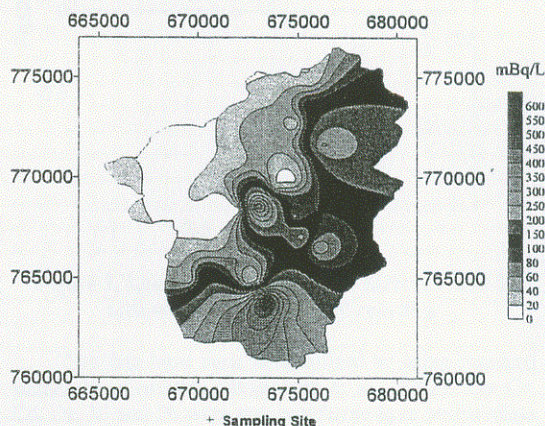


Figure 7. Contour of Radium-226 in the study area.

4. Conclusions

Concentrations of Ra-226 in shallow well water samples in Namom district show a good correlation with Ca and Mg. Radium, Ca and Mg, all are in the alkali earth elements, which are probably leaching from weathered granite, the host rock of the area.

Areas with high Ra-226 concentrations are consistent with the area where granite is the host rock. The highest Ra-226 concentrations were found in the area closed to the fault zones in the granite host rock, which was probably highly decomposed due to the

The precipitates on the planchet were analysed for Ra-226 using the Alpha spectrometric system (Canberra 4701 with PIPS-450 detector and Canberra S35+ multi-channel analyzer). The system had an efficiency of 37% at the alpha ray energy of Ra-226. With our geometry arrangement and methods of sample preparation, the minimum detectable activity (Curie, 1968) for Ra-226 was 1.78 mBq/L.

3. Results and discussions

3.1 Concentration of Ra-226, major and trace elements

Results of analysis for the pH, TDS, Hardness, Mg, Ca, Ba, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Zn and Pb in shallow well water samples are shown in Table 1. The pH of 25 out of 39 water samples is less than 6.5, which is the lower limit of the Rural Drinking Water Quality Criteria B.E.1988 of Thailand. The Cd concentration of only one sample exceeds the standard criteria (0.0055 mg/L; criteria 0.005 mg/L). Two water samples have the Fe concentration exceeding the criteria (0.59 mg/L, 0.77 mg/L; criteria 0.5 mg/L). All others analysed major and trace element concentrations are in compliance with the standard criteria for rural drinking water quality. The results indicate that the water from shallow wells in Namom district is probably safe for drinking in terms of the major and toxic metals contents. However, the Ra-226 concentration in all samples ranged 7-599 mBq/L in which 8 out of 39 samples have the Ra-226 concentration above the maximum contaminant level (MCL) proposed by the USEPA (EPA, 2000; 111 mBq/L).

3.2 Correlation of the alkali earths

A good correlation of Ra-226 with Ca and Mg was also found in this study area, similar to the result of the study of ground water in the area of the Stripa granite (Andrew et al., 1989). The alkali earth elements Ca and Mg in the study well water is most probably a result of dissolution of these elements present in granite, which is the host rock in this area.

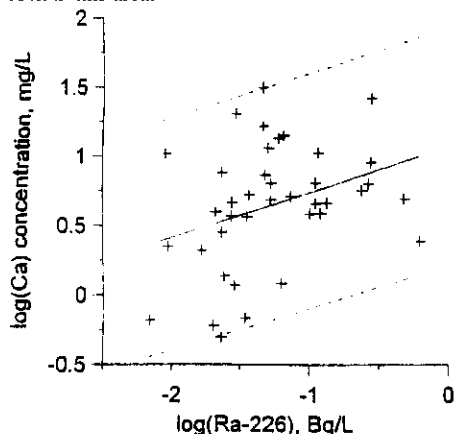


Figure 3. Ra-226 vs. Ca concentration plot.

Chemical analyzed data show that Ra-226 correlates well with the Ca and Mg data, which are within the $\pm 2 \cdot S_{y/x}$ (± 2 standard deviations around the best fitted line showing as dot lines in figures 3 and 4).

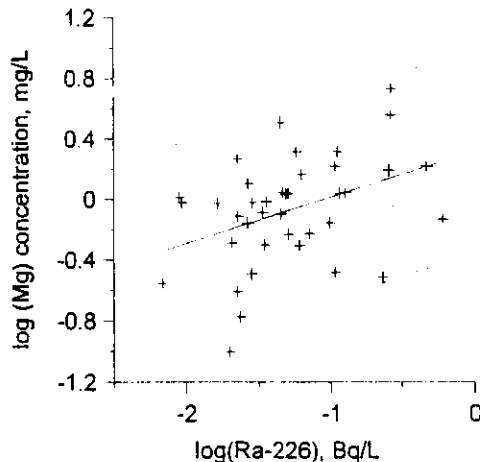


Figure 4. Ra-226 vs. Mg concentration plot.

3.3 Statistical treatment

Multivariate statistical method for classification, modeling and interpretation of large data sets was used in this research. Factor analysis interpretation of chemical elements was a powerful mean of detecting such similarities among the variables of samples. The techniques extracted the eigen values and the eigen vectors and analyzed for the matrix of correlations or covariances (Davis, 1973).

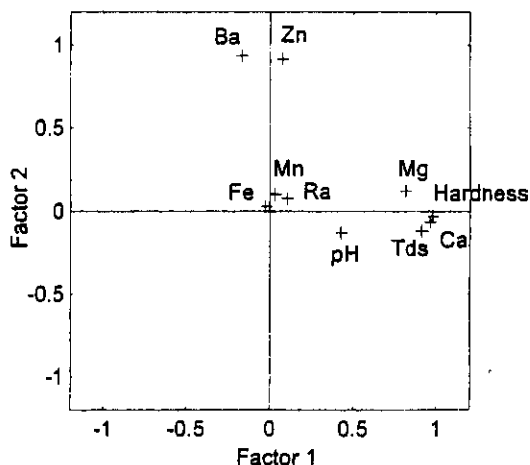


Figure 5. Loading factor plots for factors 1 and 2, following the VARIMAX rotation.

The data have been standardized by using standard statistical procedures (Reghunath et al., 2002). The Cr, Cd, Cu, Ni and Pb were not transferred in to multivariate analysis because their concentrations were below the detection limit of ICP-AES.

The Varimax rotational method developed by Kaiser (1958) is used in this study to increase the segregation between component loadings. Plot of factors 1 and 2 is shown in Figure 5 and Table 2 (factor loading 0.98, 0.96, 0.91, 0.81 for Hardness, Ca, TDS, and Mg, respectively). Factor 1 shows a high loading of

Influences of pneumatolytic and hydrothermal activities and at present becomes a potential of radium distributed in the study area.

Acknowledgement

The Health Systems Research Institute and The Graduate School, Prince of Songkhla University, financially supported this research. We would like to thank the Department of Physics and the Department of material, Faculty of Science, Prince of Songkhla University for permission to use equipment in research, and to Mr. Bamrung Kongdee, the director of Medical Science Center, Suratthani, for supports to the first author.

6.REFERANCE

- Andrew, J.N., Ford, D.J., Hussain N., Trivedi, D., Yongman, M.J., 1989 Natural radioelement solution by circulating ground waters in the Stripa granite. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53,1791-1802
- Bhongsuwan, T., Chittrakarn, T., Chongkum S., Polapongs, P., Sirijarukul, S., Thitipornpan, A., Wattanavatee, K. and Wuthisana, 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.
- Curie, L.A., 1968. Limits for qualitative detection and quantitative determination. *Analyst Chem.* 40:586-593
- Davis, J.C., 1973. *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley & Sons, New York.
- Department of Mineral Resources, 1989. Thailand nationwide airborne geophysical survey: Bangkok, Department of Mineral Resources.
- Faure, G 1986. *Principle of Isotope Geology* (Second Edition), John Wiley & Sons, Inc., Singapore.
- Gascoyne, M., 1998. High Levels of Uranium and Radium in Ground waters at Canada's Underground Research Laboratory, Lac du Bonnet, Manitoba, Canada. *Applied Geochemistry* 4, 557-591.
- Ishihara, S., Sawata, H., Shibata, K., Terashima, S., Arriykul, S., and Sato, K., 1980. Granites and Sn-W deposits of peninsular Thailand. In : *Mining Geol. Spec. Issue*, 8, Japan.
- Iyengar, M.A.R., 1990. The natural distribution of radium. The environmental behavior of radium, Technical Reports Series No.310, International Atomic Energy Agency, Vienna, 59-128.
- Kaizer, H.F., 1958. The Varimax criterion for analytical rotation in factor analysis, *Psychometrika*, 23:187-201
- Krieger L. H. and Whittaker, E.L. 1980. Prescribed procedures for measurement of radioactivity in drinking water, EPA-600/4-80-032
- Krishnasawami, S., Graustein, W.C., Turekian, K.K., and Dowd, J.F. 1982. Radium, thorium, and radioactive lead isotopes in ground waters: application to the in-situ determination of absorption rate constants and retardation factors. *Water Resour. Res* 18:1663-1675
- Plant, J.A., Breward, N., Simpson, P.R., Slater, D., 1990. Regional geochemistry and the identification of metallogenic provinces: examples from lead - zinc- barium, tin- uranium and gold deposits. *J. Geochem. Explor.* 39, 195-224.
- Pungrassami, T. 1984. Tin Mineralization of the Thung Pho-Thung Khamin District Changwat Songkhla, Prince of Songkhla University, Thailand.
- Sirijarukul, S., 1994. A measurement of U-238 in rocks in Songkhla, Phatthalung and Pattani province. Physics project, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hatyai.
- USEPA. (2000). United States Environmental Protection Agency National Primary Drinking Water standards
- WHO, 2004. Guidelines for drinking water quality, third edition . World Health Organization, Geneva.