

ความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำบ่อตื้น และความสัมพันธ์ กับอุบัติการณ์เกิดโรคมะเร็งช่องปากและมะเร็งหลอดอาหารในพื้นที่ อำเภอnahม่อม จังหวัดสงขลา

จเร วุฒิศาสตร์¹ 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. 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 อาจเกี่ยวข้องกัอุบัติการณ์มะเร็งในพื้นที่นี้ 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, ติดต่อบุคลากรส่วนตัว) 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 ส่วนใหญ่ผ่านทางหายใจ (inhalation) สารหนูเป็นสารก่อมะเร็งผิวหนัง เช่น ที่ปนเปื้อนอยู่ในดินและในน้ำบ่อตื้นในพื้นที่เหมืองเก่าในอำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานการเชื่อมโยงระหว่างโลหะหนักในน้ำกับมะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งช่องปาก ซึ่งมีอุบัติการณ์มะเร็งสูงมากในประชากรเพศชายในอำเภอนาหม่อม

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาค่าความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักในน้ำบ่อตื้นซึ่งนิยมใช้บริโภคกันในหมู่ประชาชนจากอดีตจนถึงปัจจุบัน และรายงานผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปรากฏระหว่างความเข้มข้นโลหะหนักและธาตุหลักบางชนิดในน้ำบ่อตื้นกับอุบัติการณ์มะเร็งหลอดอาหารและมะเร็งช่องปากของประชาชนในอำเภอนาหม่อม ซึ่งยังคงใช้น้ำบ่อตื้นสำหรับบริโภคและอุปโภคในชีวิตประจำวันอยู่ในปัจจุบัน

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

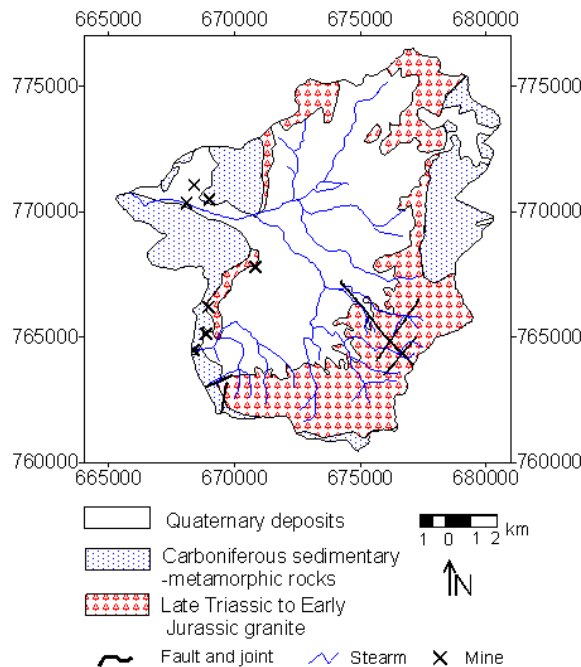


Figure 1. Geology map of Namom District, Songkhla province. (Redrawn from Pungrassami, 1984)

ยังพบว่าหินแกรนิตในเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์มีการแปรสภาพด้วยอิทธิพลของก๊าซและสารละลายร้อน โดยตรวจพบการแปรสภาพของแร่เฟลด์สปาร์ไปเป็นแร่ดินขาว (Kaolin) หินแกรนิตที่นี้จึงมีลักษณะพิเศษ คือ ฟู ร่วน และพรุน ทำให้ธาตุโลหะในหินมีโอกาสที่จะถูกชะล้างละลายไปอยู่ในดิน และในน้ำใต้ดินได้ง่าย สำหรับกรวดทรายท้องน้ำของยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) เกิดจากการผุพังของหินและสลายในยุคนั้นแล้วสะสมอยู่ตามที่ราบลุ่มลำนน้ำ 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 แม้ว่าบ้านเรือนหรือประชากรส่วนใหญ่ในอำเภอนาหม่อมจะจัดอยู่ในกลุ่มไม่มีประวัติมะเร็ง ซึ่งหมายความว่าน้ำบ่อตัวอย่างที่ควรวิเคราะห์ของกลุ่มนี้ควรมีจำนวนตัวอย่างมากกว่านี้หลายเท่าตัวเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของกลุ่ม แต่เนื่องจากมีงบประมาณจำกัดจึงให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์น้ำบ่อกลุ่มที่มีประวัติมะเร็ง แล้วจึงเลือกสุ่มบ่อตัวอย่างกลุ่มไม่มีประวัติมะเร็งจากพื้นที่ทั้งอำเภอจำนวน 19 บ่อดังกล่าว โดยตำแหน่งบ่อที่เก็บน้ำตัวอย่างจะกระจายครอบคลุมพื้นที่อำเภอนาหม่อม (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

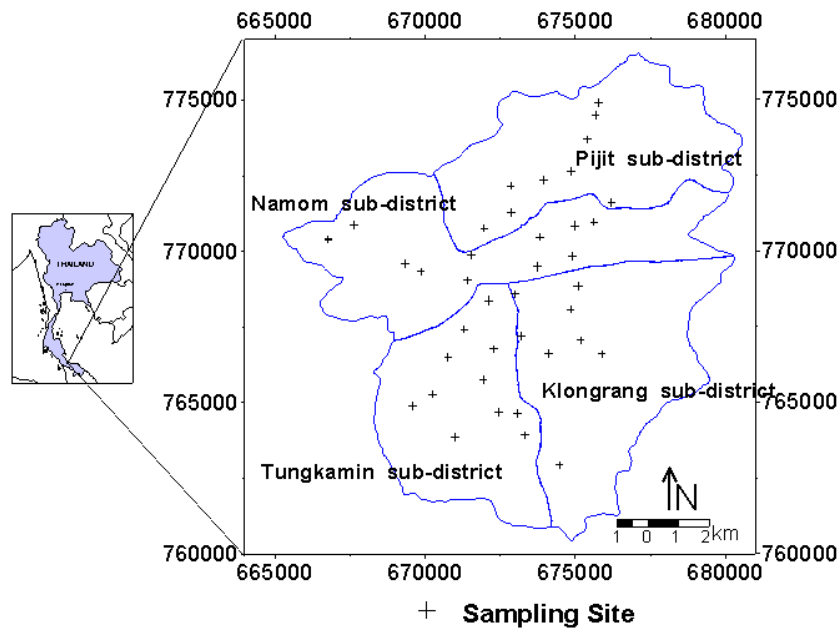


Figure 2. Sampling sites of well water in the study area.

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) ซึ่งแสดงการเชื่อมโยงกลุ่มโดยอาศัยระยะห่างยูคลิดเดียน (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 ไม่พบว่ามีเกินเกณฑ์คุณภาพ

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 ในน้ำบ่อตัวอย่างทั้งหมด ยังไม่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภคในชนบท 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 แสดงให้เห็นชัดเจนด้วยเส้นประ ซึ่งค่าความเข้มข้น Zn ในน้ำบ่อตัวอย่างทั้งหมด ยังไม่สูงเกินเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภคในชนบท 5 มก./ล.

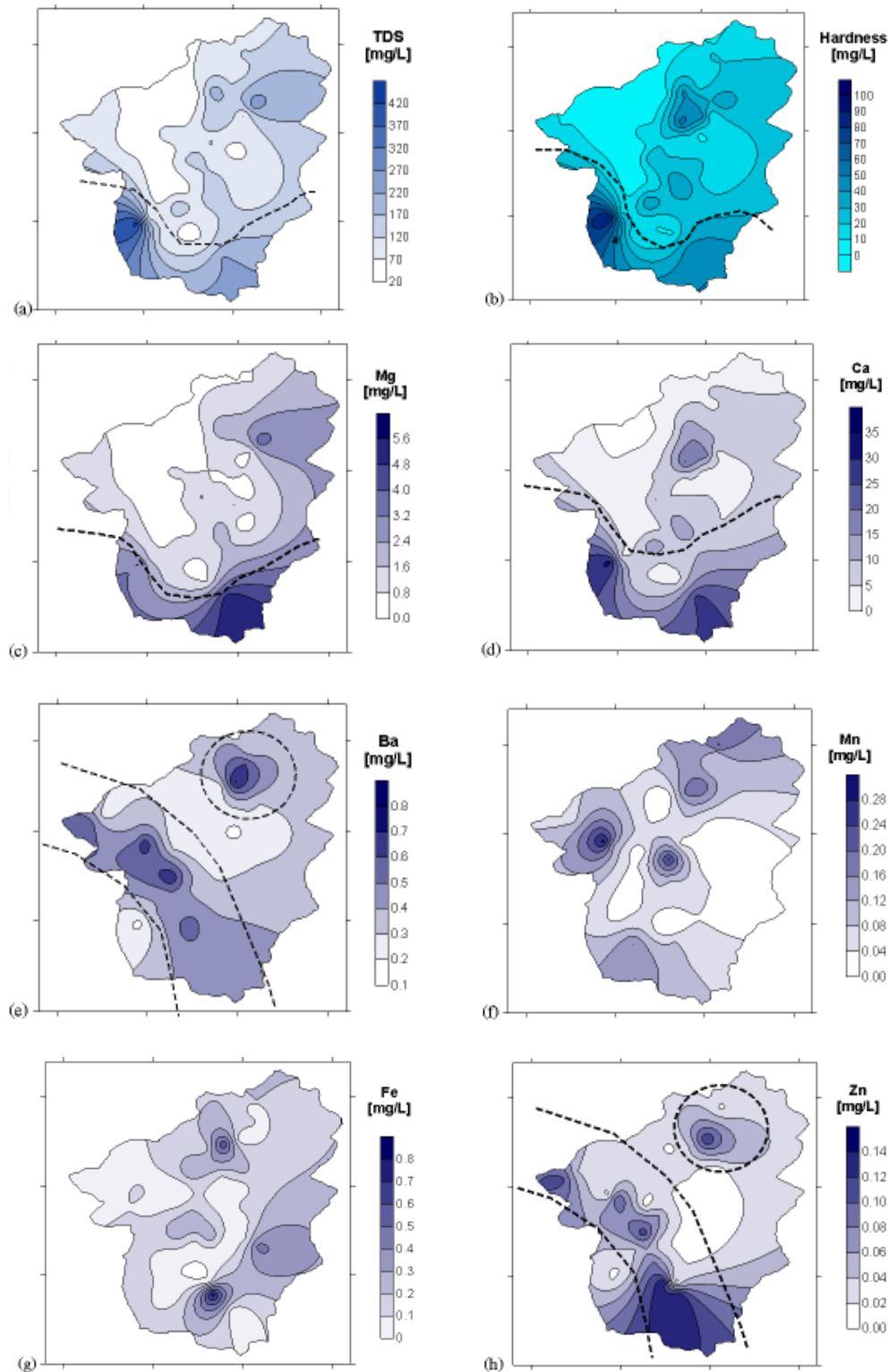


Figure 3. Contour maps of the chemical properties of well water samples: (a) TDS, (b) Hardness, (c) Mg, (d) Ca, (e) Ba, (f) Mn, (g) Fe and (h) Zn

ค่าปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ค่าความกระด้าง และค่าความเข้มข้น Mg และ Ca มีการกระจายในพื้นที่ ลักษณะคล้ายคลึงกันคือ อยู่ในบริเวณทางตอนใต้ของตำบล คลองหรั่ง และตำบลทุ่งขมิ้น และอีกกลุ่มหนึ่งที่มีค่าความเข้มข้นสูงเช่นกันพบอยู่ในพื้นที่ตำบลพิจิตร เมื่อเทียบเคียงกับลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ (Figure 1) พบว่า บริเวณความเข้มข้นสูงดังกล่าวสอดคล้องกับตำแหน่งที่พบ หินแกรนิต จึงเชื่อว่าหินแกรนิตในพื้นที่อำเภอหนอง ม่น่าจะเป็นแหล่งกำเนิดของโลหะหนักและธาตุหลักที่ตรวจ พบในน้ำบ่อตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหินแกรนิตบริเวณนี้ มีลักษณะผุกร่อนและพูน ทำให้ธาตุประกอบในหินถูกน้ำ

ชะล้างออกมาได้โดยง่าย สำหรับความเข้มข้นของธาตุ Ba และ Zn ในน้ำบ่อตัวอย่างมีการกระจายที่คล้ายคลึงกันโดย มีความต่อเนื่องจากทางตอนใต้ของอำเภอหนอง ม่น่า และ ออกไปทางทิศตะวันตกและเมื่อเทียบเคียงกับแผนที่ธรณี วิทยา การกระจายของ Ba และ Zn จะมีทิศทางคู่ขนาน ไปกับทางน้ำที่ไหลรวมตัวกันออกทางคลองหหวะ ส่วน Fe และ Mn มีการกระจาย ลักษณะการจับกลุ่มกันไม่ชัดเจน มากนัก

2. ความสัมพันธ์ของโลหะหนักในน้ำบ่อตัวอย่าง

ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโลหะหนัก โดยใช้

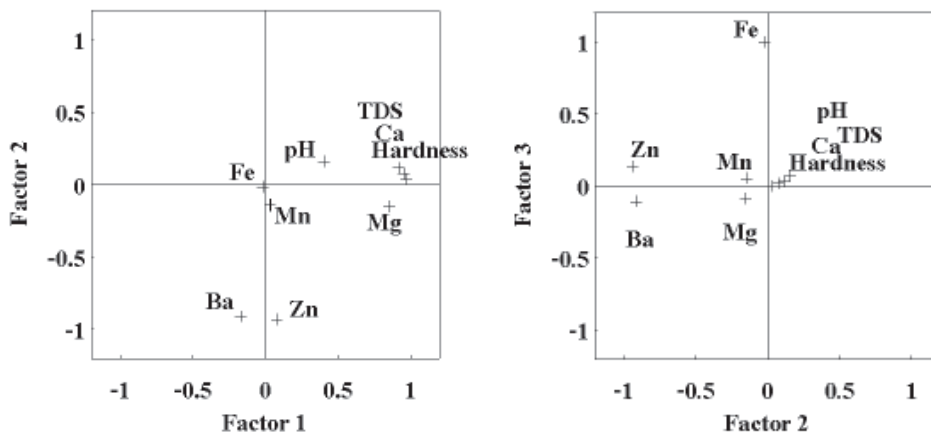


Figure 4. Factor loading plots of corresponding factors after VARIMAX rotation.



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

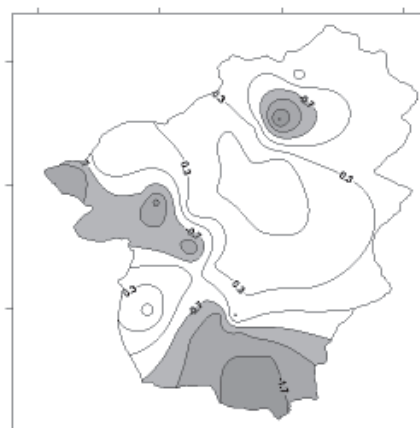


Figure 6. Distribution of Factor score 2 (Ba and Zn) in study area. Area in gray color indicates Factor score < -0.7.

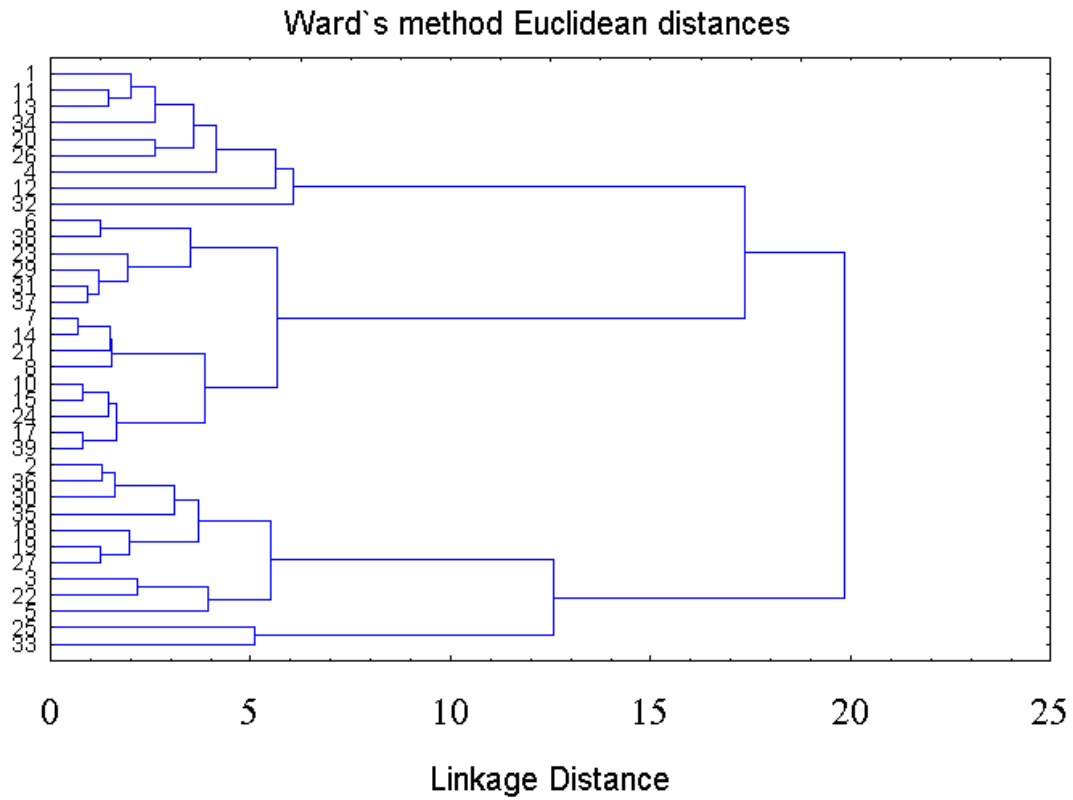


Figure 7. Dendrogram of the cluster analysis.

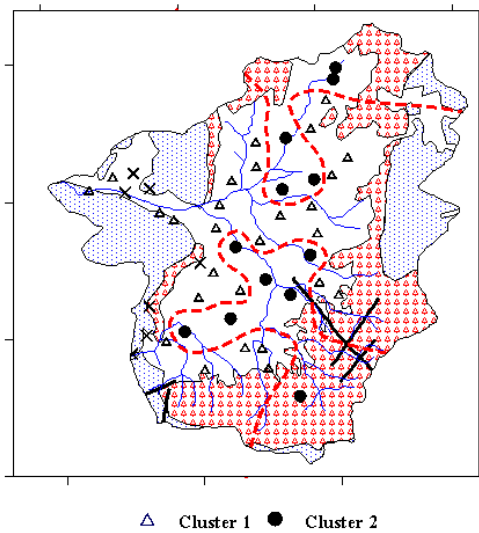


Figure 8. Cluster 1 and cluster 2 located at the linkage distance of 20.

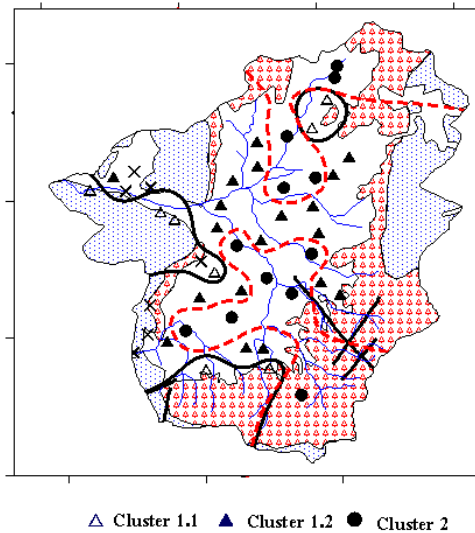


Figure 9. Cluster 1.1 and cluster 1.2 located at the linkage distance of 12.5.

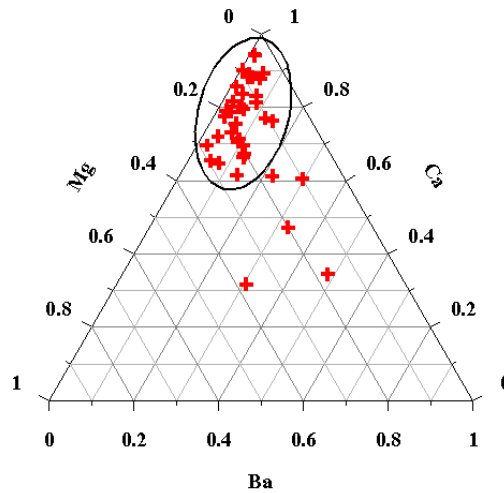


Figure 10. Ternary diagram showing the correlation of the alkaline earth metals Ba, Ca and Mg.

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

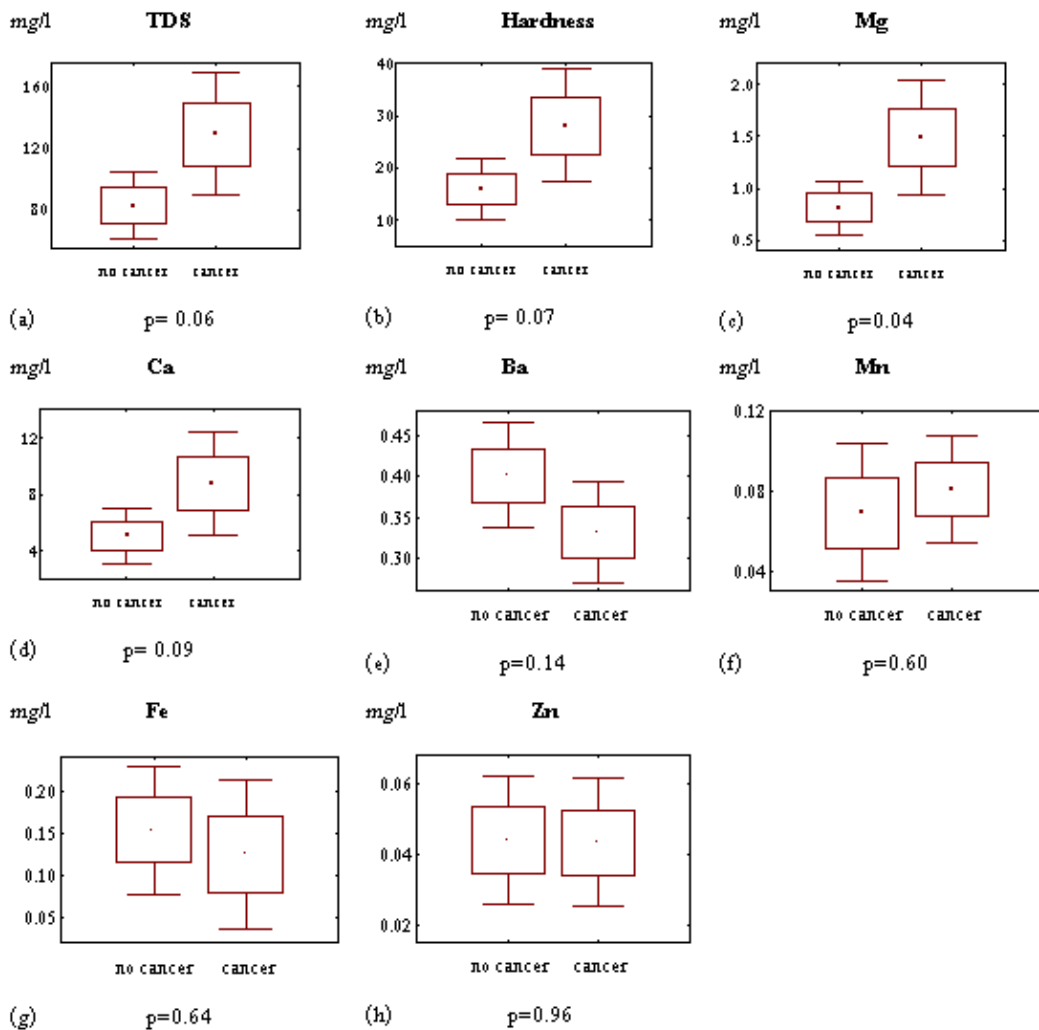


Figure 11. Box Plots and the T-test probability of the concentration of heavy metals in well water sampled from no cancer related sites, N = 19 (left) and cancer related sites, N = 20 (right) of each plot. (a) TDS, (b) Hardness, (c) Mg, (d) Ca, (e) Ba, (f) Mn, (g) Fe and (h) Zn (□ Mean; □ Standard Error; 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 เหตุผลหนึ่งที่ทำให้ น้ำบ่อตัวอย่างในบริเวณนี้ แสดงความสัมพันธ์ที่ต่อเนื่องกัน อาจเป็นเพราะในทางธรณีเคมีธาตุ Ba และ Zn จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่เรียกว่า Strati-form Sediment-Hosted (SSH-type) ที่มีธาตุ Zn - Pb - Ba ประกอบกันอยู่ และเป็นผลจากการผุพังของหินเนื้อ จากการปะทุของน้ำใต้พิภพอุณหภูมิสูง ซึ่งเกิดการชะล้างแล้วพัดพาให้เคลื่อนที่ไปเมื่อมาเจอกับแร่กลุ่มซิลิไฟต์ก็จะจับกลุ่มรวมตัวกัน (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 คูขนานออกไปลงสู่คลองหว่า และมีอีกบริเวณหนึ่งอยู่ที่ตำบลพิจิตร อาจสรุปได้ว่า Ba และ Zn ที่มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกันเป็นผลจากทิศทางน้ำที่ไหลออกสู่คลองหว่าและละลาย 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) ก็จะเห็นถึงองค์ประกอบที่คล้ายกันในพื้นที่ตอนกลาง 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 ซึ่งจากการค้นพบสินแร่ทอร์เบอร์ไนต์ ($\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{-}12\text{H}_2\text{O}$) 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 environment 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.