

บทที่ 5

การใช้ไอโซโทปเทคนิค

5.1 ไอโซโทปที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาวิจัย ได้ใช้ไอโซโทปเทคนิคในการดำเนินงาน โดยชนิดของไอโซโทปที่วิเคราะห์จากตัวอย่างน้ำบาดาล น้ำจากแม่น้ำ และอ่างเก็บน้ำ คือ Stable Isotopes ซึ่งประกอบด้วย ออกซิเจน-18 (^{18}O) และดิวทีเรียม (^2H) และ Radioactive Isotopes ประกอบด้วย ทริเทียม (^3H) และคาร์บอน-14 (^{14}C)

Stable Isotopes เป็นไอโซโทปที่ไม่สลายตัวเกิดอยู่ในธรรมชาติและมีมากที่สุด คือ ออกซิเจน-16 (^{16}O) มีประมาณ 99.76 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไฮโดรเจน-2 (^2H) หรือ Deuterium (D) มีประมาณ 0.015 % และออกซิเจน-18 (^{18}O) มีประมาณ 0.2 % การวิเคราะห์หาปริมาณ ^{18}O และ D จะแสดงอยู่ในรูปของ δ (เดลตา) ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของไอโซโทปทั้งสองจากตัวอย่าง ที่แตกต่างจากค่ามาตรฐานที่ยอมรับ มีหน่วยเป็นส่วนในพัน (Per mil, ‰)

$$\delta \text{ ตัวอย่าง} = \left[\frac{R \text{ ตัวอย่าง}}{R \text{ มาตรฐาน}} - 1 \right] \times 1,000 \quad \dots\dots\dots(5.1)$$

R หมายถึงอัตราส่วนของไอโซโทป คือ $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$ และ D/H มีหน่วยเป็น ‰

ค่า R มาตรฐาน คือ อัตราส่วนเฉลี่ย $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$ และ D/H ในน้ำทะเลมาตรฐาน (Standard Mean Ocean Water, SMOW)

ความสำคัญของเทคนิคการใช้ Stable Isotopes ในงานด้านการสำรวจแหล่งน้ำ คือ โดยทั่วไป $\delta ^{18}\text{O}$ และ $\delta \text{ D}$ จะต่างกัน ในน้ำที่มีต้นกำเนิดต่างกัน โดยค่า $\delta \text{ D}$ และ $\delta ^{18}\text{O}$ ของน้ำฝนจะขึ้นอยู่กับสถานที่ที่น้ำฝนตกลงมา น้ำฝนที่ตกลงมาในแผ่นดินที่ไกลจากทะเล มีความสูงมาก จะมีค่า $\delta \text{ D}$ และ $\delta ^{18}\text{O}$ น้อยกว่าในน้ำฝนที่ตกลงมาในบริเวณใกล้ชายฝั่งซึ่งมีอากาศร้อนกว่า $\delta \text{ D}$ และ $\delta ^{18}\text{O}$ จะใช้ในการหาต้นกำเนิดของน้ำที่มาจากที่ต่าง ๆ กันได้ ขบวนการที่จะทำให้ $\delta \text{ D}$ และ $\delta ^{18}\text{O}$ ของน้ำเปลี่ยนแปลงมีอยู่ 2 อย่าง คือ ขบวนการระเหย และความร้อนที่เกิดจากหินละลายภายในโลก ขบวนการระเหยจะทำให้ $\delta \text{ D}$ และ $\delta ^{18}\text{O}$ ในน้ำมีค่ามากขึ้น

^3H เป็นไอโซโทปกัมมันตภาพรังสี ซึ่งเกิดขึ้นในธรรมชาติ จากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกกับอากาศ หรืออาจจะเกิดจากกระเบิดนิวเคลียร์ที่มนุษย์ผลิตขึ้น ปริมาณ ^3H ที่ทำการวัดจะมีหน่วยเป็นทริเทียมยูนิท (TU) 1 TU จะเท่ากับ 1 อะตอม ^3H ใน 10^8 ของไฮโดรเจนอะตอม การสลายตัวของ ^3H มีระยะเวลาการสลายตัวครึ่งชีวิต (Half - life) เท่ากับ 12.43 ปี (IAEA, 1981) ^3H เป็นไอโซโทปที่สามารถใช้เป็นสารติดตามธรรมชาติ (Natural Tracer) เพื่อหาระยะเวลาการไหล หรือ ขบวนการทางกายภาพที่เกิดการผสม (mixing) ของน้ำบาดาลได้เป็นอย่างดี

คาร์บอน-14 เป็นไอโซโทปกัมมันตภาพรังสีกึ่งชีวิตหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นในธรรมชาติ จากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกกับไนโตรเจนอะตอมในอากาศ คาร์บอน-14 จะเข้าไปอยู่ในบรรยากาศของโลกและสลายตัวไปตามกาลเวลา ระยะเวลาการสลายตัวครึ่งชีวิตของคาร์บอน-14 (Half - life) เท่ากับ 5,568 ปี ซึ่งมีค่าผิดพลาด (error) ประมาณ 3% อายุที่ได้จากคาร์บอน-14 เป็นอายุก่อนปัจจุบัน (BP) เช่น ก่อน ค.ศ. 1950

การใช้ไอโซโทปเทคนิคในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแหล่งน้ำบาดาล สำหรับ Stable Isotopes จะใช้หาต้นกำเนิดหรือบริเวณที่น้ำจะไหลเพิ่มเติมเข้าไปยังแหล่งกักเก็บ ส่วน ^3H และ คาร์บอน-14 จะใช้ในการศึกษาถึงกลไกการไหล และปริมาณน้ำสำรองของแหล่งน้ำบาดาล ทิศทาง และอัตราการไหลของน้ำบาดาล และเป็นข้อมูลที่น่าไปหาการเคลื่อนตัวหรือการแผ่ขยายของสารที่ปะปนเข้าไปในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถทราบถึงบริเวณที่น้ำไหลเข้าไปเพิ่มเติมในแหล่งกักเก็บ และกลไกการไหลซึมของน้ำฝนลงใต้ดิน ข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญสำหรับการวางแผนพัฒนาและจัดการแหล่งน้ำบาดาล ตลอดจนการป้องกันแก้ไขวิกฤตการณ์น้ำบาดาลที่จะเกิดขึ้น

5.2 การเก็บตัวอย่างน้ำสำหรับวิเคราะห์ไอโซโทปและเคมี

การเก็บตัวอย่างน้ำ เป็นการเก็บจากบ่อน้ำบาดาลที่มีอยู่แล้ว และบ่อน้ำบาดาลที่ทำการเจาะสำรวจรวมทั้งน้ำจากแม่น้ำ อ่างเก็บน้ำและบึงต่าง ๆ ในบริเวณที่ศึกษา การเลือกบ่อน้ำบาดาลที่จะเก็บตัวอย่างขึ้นอยู่กับชั้นน้ำบาดาล และการกระจายตัวออกไปในบริเวณที่คาดว่าจะเป็แหล่งรับน้ำเพิ่มเติม

การเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาสารไอโซโทป แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ตัวอย่างน้ำจากบ่อน้ำบาดาลที่มีอยู่แล้ว บ่อที่ได้จากการเจาะสำรวจ และตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำ อ่างเก็บน้ำ หนอง บึง ที่กระจายอยู่ในบริเวณที่ศึกษา ตัวอย่างน้ำบาดาลที่เก็บสำหรับวิเคราะห์ ^{18}O และ D มีทั้งหมด 27 ตัวอย่าง น้ำจากอ่างเก็บน้ำ แม่น้ำ หนอง บึง หรือน้ำผิวดิน จำนวน 7 ตัวอย่าง ส่วนตัวอย่างน้ำบาดาลสำหรับการวิเคราะห์คาร์บอน-14 จำนวน 45 ตัวอย่าง และตัวอย่างน้ำบาดาลสำหรับวิเคราะห์ ^3H จำนวน 33 ตัวอย่าง ในขณะดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล จะดำเนินการวัดหาอุณหภูมิ และค่าการนำไฟฟ้าในภาคสนาม รายละเอียดบ่อน้ำบาดาล และน้ำผิวดินที่เก็บตัวอย่างน้ำวิเคราะห์ไอโซโทป แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 และ ตารางที่ 1 ภาคผนวก จ. ส่วนที่ตั้งของบ่อน้ำบาดาล และแหล่งน้ำผิวดิน แสดงไว้ในรูปที่ 5.1 นอกจากการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ไอโซโทปแล้ว ในขณะเดียวกันได้เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีด้วย

5.2.1 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลเพื่อวิเคราะห์คาร์บอน-14

การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล เพื่อวิเคราะห์ คาร์บอน-14 จะมีขั้นตอนการเก็บตัวอย่างที่ค่อนข้างยุ่งยากกว่าสารไอโซโทปตัวอื่น ๆ ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างสรุปได้ดังนี้

(1) เตรียมภาชนะพลาสติกที่มีความจุอย่างน้อย 20 ลิตร ล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5% ใช้แก๊สไนโตรเจนพ่นลงไปในภาชนะพลาสติก เพื่อไล่อากาศออก ปิดภาชนะให้แน่น

(2) เก็บตัวอย่างน้ำใส่ลงในภาชนะพลาสติก โดยให้มีที่ว่างเหลือประมาณ 1 ลิตร ก่อนเก็บตัวอย่างน้ำควรจะต้องสูบน้ำทิ้งในระยะเวลาหนึ่ง และน้ำจะต้องใสไม่มีตะกอนอยู่ด้วย ถ้ามีตะกอนอยู่จะต้องกรองออกเสียก่อน

(3) เติมน้ำละลายแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) จำนวน 50 มิลลิลิตร หรือน้ำละลายสตรอนเชียม จำนวน 100 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างน้ำ

(4) เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จำนวน 50 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างน้ำ

(5) เติมน้ำละลาย Magnifloc จำนวน 5 มิลลิลิตร ลงในภาชนะเก็บตัวอย่างน้ำ

(6) เขย่าภาชนะพลาสติกเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อให้สารละลายต่าง ๆ เข้ากัน

(7) วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำ ถ้า pH มีค่าเกิน 9.0 แสดงว่ามีการตกตะกอนของสารคาร์บอเนตสมบูรณ์ ในกรณีที่ค่า pH น้อยกว่า 9.0 ให้เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไป อีก 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้ววัดค่า pH ทำเช่นนี้ซ้ำอีกจนกระทั่งค่า pH สูงเกินกว่า 9.0

(8) ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง (หรือทิ้งไว้ค้างคืนยิ่งดี) แล้ววัด ค่า pH ซ้ำอีกครั้ง

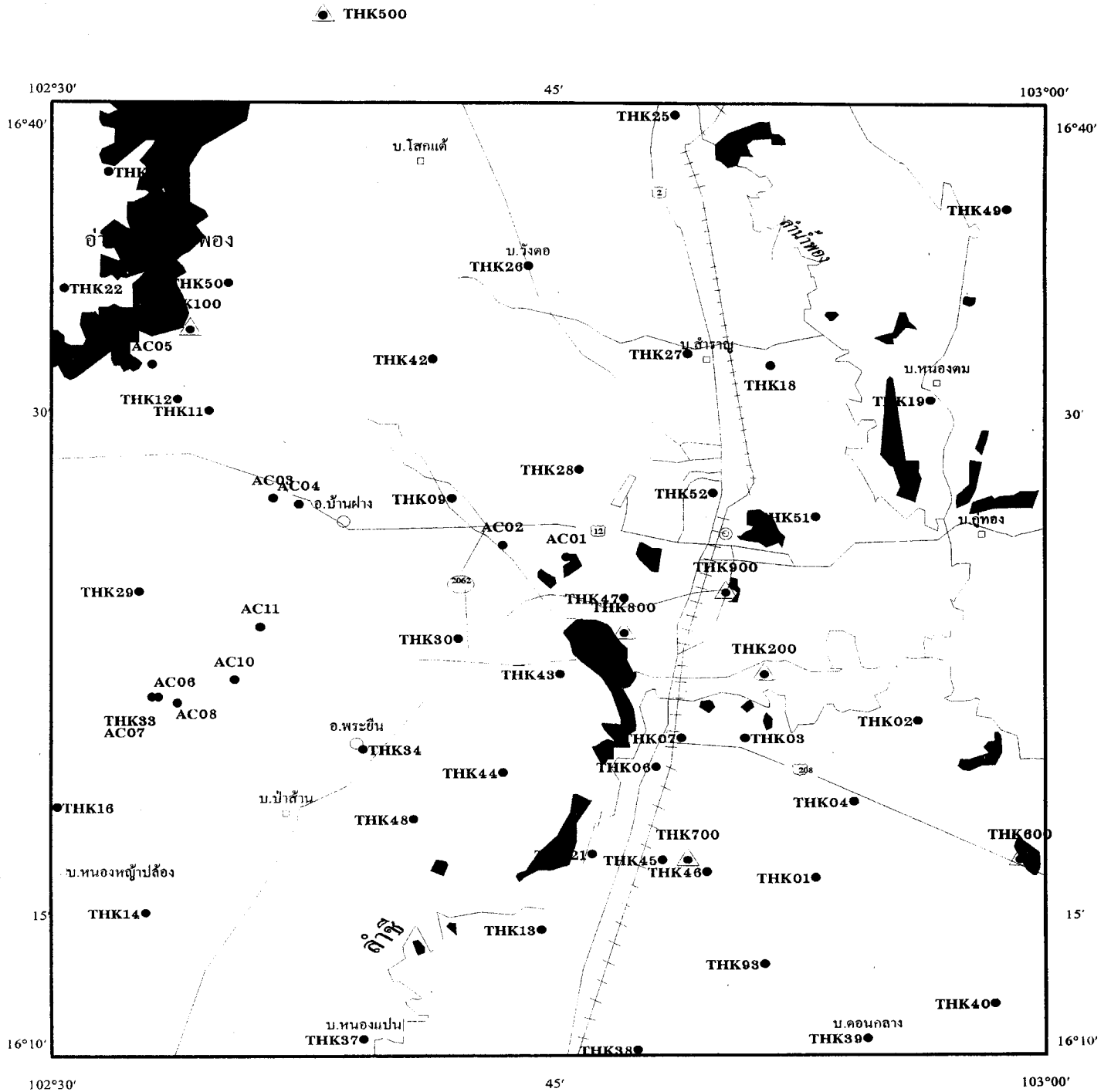
(9) รินเอาน้ำที่ใส่ออกให้เหลือแต่ตะกอน

(10) ถ่ายตะกอนลงในขวดเก็บตัวอย่างน้ำ ปิดฝาให้สนิท เพื่อส่งไปวิเคราะห์ในห้องทดลองต่อไป

5.2.2 วิธีเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ ^3H และ Stable Isotopes

การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลสำหรับวิเคราะห์หา ^3H จากบ่อน้ำบาดาลมีวิธีการเก็บง่าย ๆ คือ สูบน้ำทิ้งระยะหนึ่ง แล้วเก็บน้ำใส่ลงในขวดแก้วที่แห้งและสะอาด ปริมาณอย่างน้อย 2 ลิตร ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ ควรเป็นขวดแก้วมีคุณสมบัติในการซึมผ่านของอากาศต่ำ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนระหว่างตัวอย่างกับสิ่งแวดล้อม ปิดฝาให้สนิท บันทึกรายละเอียดบ่อน้ำบาดาล ณ วันที่เก็บตัวอย่างแล้ว ส่งห้องวิเคราะห์ สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลเพื่อวิเคราะห์ Stable Isotopes จะเก็บใส่ขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร ปิดฝาให้แน่น

ตัวอย่างน้ำที่วิเคราะห์หา Stable Isotopes ส่งไปวิเคราะห์ยังทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ กรุงเวียนนา ประเทศออสเตรีย ส่วนการวิเคราะห์คาร์บอน-14 และ ^3H วิเคราะห์ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กรุงเทพมหานคร ซึ่งได้รับความช่วยเหลือในการจัดตั้งห้องวิเคราะห์จากทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ ภายใต้โครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างทบวงการฯ กรมทรัพยากรธรณี และสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ วิธีการวิเคราะห์ ^3H ใช้เทคนิควิธีเพิ่มความเข้มข้น ^3H ในตัวอย่างน้ำด้วยเทคนิคอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis Techniques) ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีวิเคราะห์ที่กองวิเคราะห์วิจัย กรมทรัพยากรธรณี



- | | | |
|---|---|--|
| <p>สัญลักษณ์</p> <p>● จุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล</p> <p>● จุดเก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน</p> | <p>□ บ้าน</p> <p>○ อำเภอ</p> <p>○ จังหวัด</p> <p>● แหล่งน้ำผิวดิน</p> | <p>— ถนน</p> <p>++++ ทางรถไฟ</p> <p>— ทางน้ำ</p> |
|---|---|--|

รูปที่ 5.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ไอโซโทป

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดบ่อน้ำบาดาลและน้ำผิวดินที่เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ไอโซโทป

หมายเลขตัวอย่าง		หมายเลขบ่อ คำพิทักษ์	สถานที่ตั้งบ่อ		ชั้นน้ำ ชนิดหิน & หน่วยหินทางธรณีวิทยา	ความ ลึก (m)	ขนาด บ่อ (in)	ระยะท่อ กรอง (m)
ระยะที่ 1	ระยะที่ 2		จังหวัด อำเภอ	รายละเอียดสถานที่				
THK01		27325 5541 I	มหาสารคาม โกสุมพิสัย	ร.ร. บ้านวังโพน เขวาไร่	SANDSTONE PT	236	6	209.5-233.5
THK02		27689 5541 I	มหาสารคาม โกสุมพิสัย	ร.ร. บ้านโคกกลาง เขวาไร่	CLAYSTONE MS	140	6	80-120 open 120-140
THK03		26839 5541 II	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	ร.ร. บ้านวังหิน ท่าพระ	SILTSTONE SANDSTONE PT	94	6	30-42 60-78 open 78-94
THK04	ISO67	D1548 27539 5541 I	มหาสารคาม โกสุมพิสัย	บ้านหนองสระพัง หมู่ที่ 1 เขวาไร่	SAND QR	34	6	28-34
THK06	ISO65	F1000 26521 5541 I	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	บ้านหนองบัวคิม หมู่ที่ 7 ท่าพระ	SHALE PT	36	6	30-36
THK07	ISO53	B0082 26665 5541 I	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	สถานีแพร่พันธุ์สัตว์ท่าพระ ท่าพระ	SHALE PT	66	6	40-44
THK09		Y948 25507 5541 I	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	ร.ร.บ้านม่วง หมู่ที่ 10 บ้านดง	SHALE MS	48	6	36-48
THK11	ISO16	F469 24137 5542 III	ขอนแก่น บ้านฝาง	วัดบ้านบะขาว หมู่ที่ 6 หนองบัว	SILTSTONE PW	15	6	9-15
THK12	ISO15	F1459 24006 5542 II	ขอนแก่น หนองเรือ	บ้านหนองแสง หมู่ที่ 2 บ้านผือ	SANDSTONE PK	42	6	30-42
THK13		S311 25938 5541 III	ขอนแก่น บ้านฝาง	วัดบ้านหนองคอก หมู่ที่ 5 โนนสมบูรณ์	SILTSTONE PT	36	6	30-36
THK14		S 1300 23844 5541 III	ขอนแก่น มัญจาคีรี	บ้านโนนคุด หมู่ที่ 8 โพนเพ็ก	SHALE MS	37	5	18-24 30-37
THK16		S 1302 23301 5541 IV	ขอนแก่น มัญจาคีรี	บ้านคำแคนใต้ หมู่ที่ 12 คำแคน	SANDSTONE SK	43	5	37.43
THK18	ISO27	F 596 27186 5542 II	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	บ้านโคก หมู่ที่ 9 สำราญ	SHALE MS	64	5	52-64

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดบ่อน้ำบาดาลและน้ำผิวดินที่เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ไอโซโทป (ต่อ)

หมายเลขตัวอย่าง		หมายเลขบ่อน้ำ คำพิทักษ์	สถานที่ตั้งบ่อน้ำ		ชั้นน้ำ ชนิดหิน & หน่วยหินทางธรณีวิทยา	ความลึก (m)	ขนาดบ่อ (in)	ระยะท่อกรอง (m)
ระยะที่ 1	ระยะที่ 2		จังหวัด อำเภอ	รายละเอียดสถานที่				
THK19	ISO30	251426 27910 5542 II	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	วัดบ้านหนองเหล็กมโคกศรี	SHALE MS	24	-	บ่อ รพช.
THK21	ISO72	C0059 26227 5541 I	ขอนแก่น บ้านไผ่	ร.ร. มารณาธารา หมู่ที่ 11 โนนสมบูรณ์	SILT SILTSTONE SHALE PT	115	8	27-36 42-50 55-63 69-77 82-90 97-103
THK22		B86 23400 5542 III	ขอนแก่น ภูเวียง	สถานีอนามัยบ้านกุดขอนแก่น กุดขอนแก่น	SAND QR	32	6	21-32
THK23	ISO01	F 555 23762 5542 III	ขอนแก่น ภูเวียง	วัดบ้านหนองกงเขิน หมู่ที่ 1 หนองกงเขิน	SAND OR	27	6	21-27
THK25	ISO03	S509 26635 5542 II	ขอนแก่น น้ำพอง	บ้านคำแก่นคูณใหญ่ หมู่ที่ 7 ม่วงหวาน	SANDSTONE PP	72	4	24-30 36-42 42-72 OPEN
THK26	ISO10	MM171 25879 5542 III	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	วัดวิจารณ์าราม (บ วัดทอง) บ้านค้อ	SILTSTONE KK	43	5	30-36
THK27	ISO24	U814 26746 5542 II	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	วัดบ้านหนองสว่าง หมู่ที่ 11 สำราญ	SAND QR	15	5	12-15
THK28		F398 26090 5541 I	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	วัดบ้านโนนสวัสดิ์ หมู่ที่ 6 แดงใหญ่	SAND & GRAVEL QG	30	4	24-30
THK29	ISO40	F171 23733 5541IV	ขอนแก่น หนองเรือ	วัดบ้านยางคำ หมู่ที่ 1 ยางคำ	SILTSTONE SANDSTONE PK	44	6	30-44
THK30		F146 25546 5541IV	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	บ้านเหล่าผาคี หมู่ที่ 11 บ้านหัว	SANDSTONE KK	34	6	18-34
THK33		F462 23846 5541IV	ขอนแก่น บ้านฝาง	วัดบ้านแก่งเต่า หมู่ที่ 5 ป่ามะนาว	SANDSTONE PP	23	6	12-18
THK34	ISO63	F530 24979 5541IV	ขอนแก่น พระยืน	บ้านพระยืน หมู่ที่ 6 พระยืน	SILT QR	18	6	12-18

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดบ่อน้ำบาดาลและน้ำผิวดินที่เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ไอโซโทป (ต่อ)

หมายเลขตัวอย่าง		หมายเลขบ่อ คำพิภพ	สถานที่ตั้งบ่อ		ชั้นน้ำ ชนิดหิน & หน่วยหินทางธรณีวิทยา	ความ ลึก (m)	ขนาด บ่อ (in)	ระยะท่อ กรอง (m)
ระยะที่ 1	ระยะที่ 2		จังหวัด อำเภอ	รายละเอียดสถานที่				
THK37		L792 24879 5541 III	ขอนแก่น เมืองศิรี	ที่ทำการเกษตรตำบลหนองเป้น หนองเป้น	SAND OR	30	4	24-30
THK38	ISO81	S0664 26424 5541 II	ขอนแก่น บ้านไผ่	ร.ร. บ้านหนองแสง หมู่ที่ 1 หนองแสง	SILTSTONE PT	49	6	31-37 43-49
THK39	ISO82	D0660 27570 5541 II	มหาสารคาม โกสุมพิสัย	บ้านดอนกลาง หมู่ที่ 1 วังยาว	SILTSTONE PT	30	5	24-30
THK40	ISO80	L 0108 28290 5541 II	มหาสารคาม โกสุมพิสัย	วัดบ้านหนองกง หมู่ที่ 1 เหล่า	SILTSTONE PT	62	6	12-18 27-33
THK42	ISO19	- 25361 5542 III	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	บ้านโนนรัง หมู่ที่ 11 สาวะถี	SHALE MS	-	-	โยธา
THK43	ISO50	S 294 26009 5541 IV	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	สถานีอนามัยบ้านดอนช้าง ดอนช้าง	SHALE MS	24	5	9-21
THK44	-	- 25666 5541 IV	ขอนแก่น พระยืน	บ้านหนองแวง หมู่ที่ 7 หนองแวง	SILTSTONE PT	-	-	-
THK45	-	S0875 26451 5541 I	ขอนแก่น บ้านไผ่	บ้านหนองเม็ก หมู่ที่ 3 โนนสมบูรณ์	SILTSTONE PT	38	5	12-18 31-37
THK46	ISO73	O212536 26808 5541 I	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	บ้านห้วยเคอ หมู่ที่ 6 ท่าพระ	SILTSTONE PT	42	-	37-40
THK47	-	F 1284 26420 5541 I	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	ร.ร. บ้านหนองไจ้ หมู่ที่ 8 บ้านไจ้	SHALE MS	37	5	31-37
THK48	-	25402 5541 IV	ขอนแก่น พระยืน	ร.ร. โพธิ์ชุมดิน หมู่ที่ 5 พระนุ	SHALE MS	25	4	18-24
THK49	-	S346 28222 5542 II	ขอนแก่น น้ำพอง	บ้านคอกกึ หมู่ที่ 9 บัวใหญ่	SILT QR	34	5	24-30
THK50	-	F1275 24362 5542 III	ขอนแก่น บ้านฝาง	บ้านปากช่อง หมู่ที่ 5 โลกงาม	SANDSTONE PW	30	5	24-30

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดบ่อน้ำบาดาลและน้ำผิวดินที่เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ไอโซโทป (ต่อ)

หมายเลขตัวอย่าง		หมายเลขบ่อ คำพิภพ	สถานที่ตั้งบ่อ		ชั้นน้ำ ชนิดหิน & หน่วยหินทางธรณีวิทยา	ความ ลึก (m)	ขนาด บ่อ (in)	ระยะท่อ กรอง (m)
ระยะที่ 1	ระยะที่ 2		จังหวัด อำเภอ	รายละเอียดสถานที่				
THK51	ISO37	- 27331 5541 I	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	วัดบ้านคอนยาง หมู่ที่ 16 ศิลา	SAND OR	-	-	-
THK52	-	F 1511 26874 5541 I	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	ฝ่ายพัฒนาน้ำบาดาลเขต 3 ในเมือง	SAND & GRAVEL QR	28	6	24-28
THK93	ISO79	L 0228 27086 5541 II	มหาสารคาม โกสุมพิสัย	บ้านวังรุง หมู่ที่ 8 เขวาไร่	SHALE PT	30	6	24-30
THK100	-	- 24120 5542 III	ขอนแก่น หนองเรือ	อ่างเก็บน้ำพอง(บ้านคอนกอก) บ้านผือ	น้ำผิวดิน	-	-	-
THK200	-	- 27041 5541 I	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	อ่างเก็บน้ำ (บ้านคอนบม) เมืองเก่า	น้ำผิวดิน	-	-	-
THK500	-	- 24653 5542 IV	ขอนแก่น เขื่อนอุบลรัตน์	อ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์ เขื่อนอุบลรัตน์	น้ำผิวดิน	-	-	-
THK600	-	- 28449 5541 I	มหาสารคาม โกสุมพิสัย	บึงแพง หมู่ที่ 4 แพง	น้ำผิวดิน	-	-	-
THK700	-	- 26681 5541 I	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	อ่างเก็บน้ำห้วยเดช ท่าพระ	น้ำผิวดิน	-	-	-
THK800	-	- 26283 5541 I	ขอนแก่น เมืองขอนแก่น	บึงแก่นน้ำดอน เมืองเก่า	น้ำผิวดิน	-	-	-
THK900	-	- 26947 5541 I	ขอนแก่น เมืองเก่า	บึงแก่นนคร เมืองเก่า	น้ำผิวดิน	-	-	-

QG	ALLUVIUM	PP	PHU PHAN FORMATION
QG	GRAVEL SAND AND LATERITE	SK	SAO KHUA FORMATION
PT	PHU TOK FORMATION	PW	PHRA WIHAN FORMATION
MS	MAHASARAKHAM FORMATION	PK	PHU KRADUNG FORMATION

5.3 ผลวิเคราะห์น้ำบาดาลทางกายภาพและเคมี

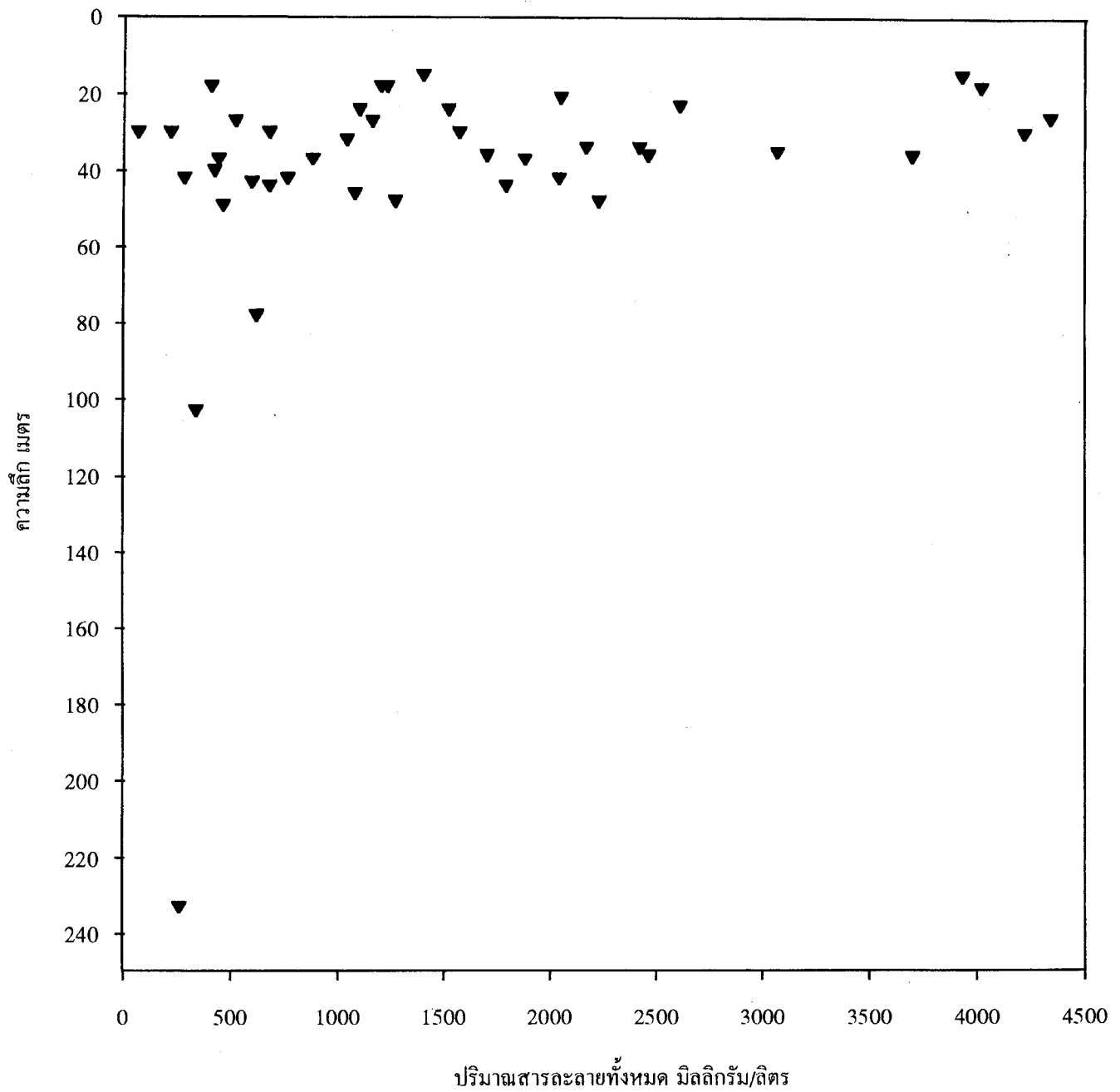
คุณภาพน้ำบาดาลของตัวอย่างที่เก็บมาจากบ่อน้ำบาดาลในบริเวณพื้นที่ศึกษา ทั้ง 52 ตัวอย่าง มีคุณภาพทางเคมีแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของชั้นน้ำ อุดหนุนโดยทั่วไปของน้ำบาดาลอยู่ระหว่าง $28^{\circ}-30^{\circ}\text{C}$ (ตารางที่ 1 ภาคผนวก จ) ตัวอย่างน้ำบาดาลที่วิเคราะห์ในห้องทดลอง ประกอบไปด้วย ค่าการนำไฟฟ้า เหล็ก คลอไรด์ ไนเตรท ความกระด้าง และปริมาณสารละลายทั้งหมด ผลวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 จากผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่า น้ำบาดาลในระดับลึกไม่เกิน 50 เมตร หลายบริเวณ มีปริมาณคลอไรด์สูงกว่า 600 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเกินมาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้ โดยเฉพาะในชั้นน้ำหมวดหินมหาสารคาม โคกกรวด และกรวดทรายแม่น้ำ ปริมาณเหล็กโดยทั่วไปอยู่ในมาตรฐานน้ำดื่ม คือน้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร แต่มีบางบ่อที่มีปริมาณเหล็กสูงกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนใหญ่จะเป็นบ่อน้ำบาดาลที่มีน้ำกร่อย-เค็ม คือมีปริมาณคลอไรด์สูง น้ำบาดาลส่วนใหญ่พบว่ามีค่าความกระด้างสูงกว่ามาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคได้ คือ 500 มิลลิกรัม/ลิตร บางตัวอย่างมีค่าความกระด้างถึง 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณสารละลายทั้งหมดในน้ำบาดาลที่ระดับความลึก 20-50 เมตร มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเกินมาตรฐานน้ำดื่ม คือ 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 5.2) ส่วนผลวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทจากตัวอย่างน้ำบาดาลทั้งหมด พบว่ามีบ่อน้ำบาดาล 25 แห่ง ที่มีค่าไนเตรทสูงกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม คือ 45 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีค่ามากกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร (ตารางที่ 5.2) ซึ่งถ้าใช้บริโภคจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน การที่น้ำบาดาลมีปริมาณไนเตรทสูงนี้บ่งชี้ว่าอาจจะเกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำบาดาลขึ้น จำเป็นจะต้องมีการศึกษาในรายละเอียด เพื่อป้องกันและแก้ไขต่อไป

คุณภาพน้ำบาดาลที่ได้จากการเจาะสำรวจ จำนวน 3 บ่อ บ่อ THK01 ในระดับลึก 233 เมตร ในชั้นน้ำภูทอก พบว่าน้ำที่ได้มีคุณภาพอยู่ในมาตรฐานน้ำดื่ม โดยมีค่าคลอไรด์ 10 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณสารละลายทั้งหมด 264 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนบ่อ THK02 ที่ระดับความลึก 140 เมตร ในชั้นน้ำมหาสารคาม ได้น้ำเค็มมีปริมาณคลอไรด์สูงถึง 10,771 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณสารทั้งหมด 62,756 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนบ่อ THK03 เจาะลึกประมาณ 94 เมตร ในชั้นน้ำภูทอกได้น้ำจืดมีปริมาณคลอไรด์ 67 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณสารละลายทั้งหมด 514 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถใช้อุปโภคบริโภคได้

5.4 ผลการศึกษาไอโซโทป

5.4.1 Stable Isotopes

ผลวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบาดาล และน้ำผิวดินในบริเวณที่ศึกษาเพื่อหาค่า $\delta^{18}\text{O}$ และ δD แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 น้ำฝนในบริเวณกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี ค.ศ. 1968-1987 มีค่าเฉลี่ย $\delta^{18}\text{O}$ เท่ากับ -6.60‰ และค่า δD เท่ากับ -43.6‰ ส่วนน้ำฝนที่หลวงพระบาง ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว $\delta^{18}\text{O}$ มีค่า -7.50‰ และ δD มีค่า -50.6‰ จะเห็นว่า $\delta^{18}\text{O}$ และ δD ในน้ำฝนที่หลวงพระบางมีค่าต่ำกว่าน้ำฝนในกรุงเทพมหานคร ทั้งนี้เนื่องจากระยะทางห่างจากทะเลของหลวงพระบางมากกว่ากรุงเทพมหานคร และพื้นที่ที่มีความสูงมากกว่า



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารละลายทั้งหมดกับความลึกของชั้นน้ำบาดาล

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

เลขที่	หมายเลข	การนำไฟฟ้า	เหล็ก	คลอไรด์	ไนเตรด	ความกระด้างทั้งหมด	ปริมาณสารทั้งหมด ที่ละลายได้	หมายเหตุ
	ตัวอย่าง	ไมโครซีเมน/ซม.	มก./ล	มก./ล	มก./ล	มก./ล	มก./ล	
1	THK01	407.00	0.70	10.00	0.00	27.00	264.00	
2	THK02	82150.00	0.05		1.67	10771.50	62756.00	เจาะได้น้ำเค็ม
3	THK03	790.00	0.20	67.00	0.40	280.00	514.00	
4	THK04	3720.00	5.00	440.00	900.00	560.00	2420.00	
5	THK06	3780.00	2.60	990.00	93.00	670.00	2460.00	
6	THK07	1040.00	0.12	170.00	7.30	340.00	676.00	
7	THK09	1950.00	0.34	410.00	46.00	39.00	1270.00	
8	THK11	2150.00	0.94	260.00	490.00	850.00	1400.00	
9	THK12	3140.00	0.24	320.00	500.00	580.00	2040.00	
10	THK13	2610.00	0.18	570.00	0.00	82.00	1700.00	
11	THK14	2890.00	1.00	590.00	440.00	1000.00	1880.00	
12	THK16	918.00	1.80	80.00	1.80	210.00	597.00	
13	THK18	1160.00	0.22	130.00	0.20	360.00	754.00	
14	THK19	1780.00	0.10	400.00	19.00	590.00	1160.00	
15	THK21	520.00	0.08	17.00	1.90	240.00	338.00	
16	THK22	1600.00	0.76	230.00	320.00	680.00	1040.00	
17	THK23	798.00	0.90	15.00	1.50	380.00	519.00	
18	THK25	434.00	0.26	2.40	3.60	210.00	282.00	
19	THK26	5690.00	9.60	1800.00	0.80	100.00	3700.00	
20	THK27	6050.00	35.00	1900.00	1.10	210.00	3930.00	
21	THK28	335.00	14.00	13.00	0.00	130.00	218.00	
22	THK29	2750.00	0.18	380.00	78.00	920.00	1790.00	
23	THK30	3330.00	1.00	740.00	430.00	1000.00	2170.00	
24	THK33	1840.00	0.60	250.00	270.00	700.00	1200.00	
25	THK34	1890.00	1.20	240.00	230.00	340.00	1230.00	
26	THK37	6490.00	22.00	1900.00	31.00	770.00	4220.00	
27	THK38	711.00	4.70	16.00	0.60	280.00	462.00	
28	THK39	2480.00	4.90	330.00	130.00	480.00	1610.00	
29	THK40	4010.00	0.70	630.00	510.00	850.00	2610.00	

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

เลขที่	หมายเลข ตัวอย่าง	การนำไฟฟ้า ไมโครซีเมน/ซม.	เหล็ก มก./ล	คลอไรด์ มก./ล	ไนเตรต มก./ล	ความกระด้างทั้งหมด มก./ล	ปริมาณสารทั้งหมด ที่ละลายได้ มก./ล	หมายเหตุ
30	THK42	3430.00	15.00	680.00	0.20	610.00	2230.00	
31	THK43	3160.00	22.00	880.00	0.40	800.00	2050.00	
32	THK44	2420.00	0.10	300.00	520.00	760.00	1570.00	
33	THK45	1350.00	0.10	110.00	220.00	540.00	878.00	
34	THK46	650.00	0.08	10.00	2.70	280.00	423.00	
35	THK47	677.00	0.04	17.00	0.30	44.00	440.00	
36	THK48	1700.00	0.12	120.00	9.80	200.00	1100.00	
37	THK49	101.00	0.70	1.20	0.70	43.00	66.00	
38	THK50	1040.00	0.38	110.00	160.00	470.00	676.00	
39	THK51	2100.00	0.30	400.00	290.00	390.00	1370.00	
40	THK52	1070.00	1.50	170.00	0.40	210.00	696.00	
41	THK93	950.00	0.08	89.00	82.00	390.00	618.00	
42	THK100	205.00	0.34	4.00	2.60	93.00	133.00	
43	THK200	487.00	1.20	94.00	1.70	120.00	317.00	
44	THK500	185.00	0.28	8.80	1.50	84.00	120.00	
45	THK600	108.00	1.00	12.00	5.70	40.00	70.00	
46	THK700							
47	THK800	535.00	2.30	130.00	1.30	72.00	348.00	
48	THK900	496.00	0.70	96.00	7.50	92.00	322.00	
49	AC01	6670.00	3.90	1700.00	91.00	740.00	4340.00	
50	AC02	4720.00	2.00	640.00	740.00	1300.00	3070.00	
51	AC03	624.00	0.12	24.00	3.00	230.00	406.00	
52	AC04	1170.00	0.20	60.00	0.10	320.00	761.00	
53	AC05	1670.00	0.46	190.00	240.00	670.00	1080.00	
54	AC06	2340.00	0.16	250.00	530.00	800.00	1520.00	
55	AC07	1900.00	0.16	210.00	360.00	760.00	1240.00	
56	AC08	2330.00	0.82	360.00	420.00	800.00	1510.00	
57	AC09	1560.00	0.50	160.00	260.00	580.00	1010.00	
58	AC10	1140.00	0.60	110.00	24.00	390.00	741.00	

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

เลขที่	หมายเลข	การนำไฟฟ้า	เหล็ก	คลอไรด์	ไนเตรต	ความกระด้างทั้งหมด	ปริมาณสารทั้งหมด ที่ละลายได้	หมายเหตุ
	ตัวอย่าง	ไมโครซีเมน/ซม.	มก./ล	มก./ล	มก./ล	มก./ล	มก./ล	
59	AC11	6190.00	0.68	1300.00	760.00	1100.00	4020.00	

$\delta^{18}\text{O}$ และ δD ของน้ำบาดาล น้ำฝน และน้ำผิวดินได้พล็อตเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน (SMOW) ไว้ในรูปที่ 5.3 จากผลวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่า น้ำผิวดินจะมีค่า $\delta^{18}\text{O}$ มากกว่า ปริมาณน้ำฝนที่กรุงเทพมหานครและหลวงพระบาง โดยมีค่า $\delta^{18}\text{O}$ ระหว่าง - 3.37 และ -6.13 ‰ ส่วน δD มีค่าระหว่าง -35.2 และ -54.7 ‰ แสดงว่าน้ำผิวดินทั้งหมดเกิดการระเหยขึ้นจึงทำให้ $\delta^{18}\text{O}$ มีค่าสูง โดยเฉพาะบึงขนาดเล็กจะมีการระเหยเกิดขึ้นสูงมากทำให้ $\delta^{18}\text{O}$ และ δD มีค่าสูงมาก เช่น บึงหมายเลข THK 900 มีค่า $\delta^{18}\text{O}$ - 3.37 ‰ และ δD 3.37 ‰ น้ำผิวดินส่วนใหญ่ไม่มีความสัมพันธ์กับน้ำบาดาลหรือเป็นต้นกำเนิดน้ำบาดาล

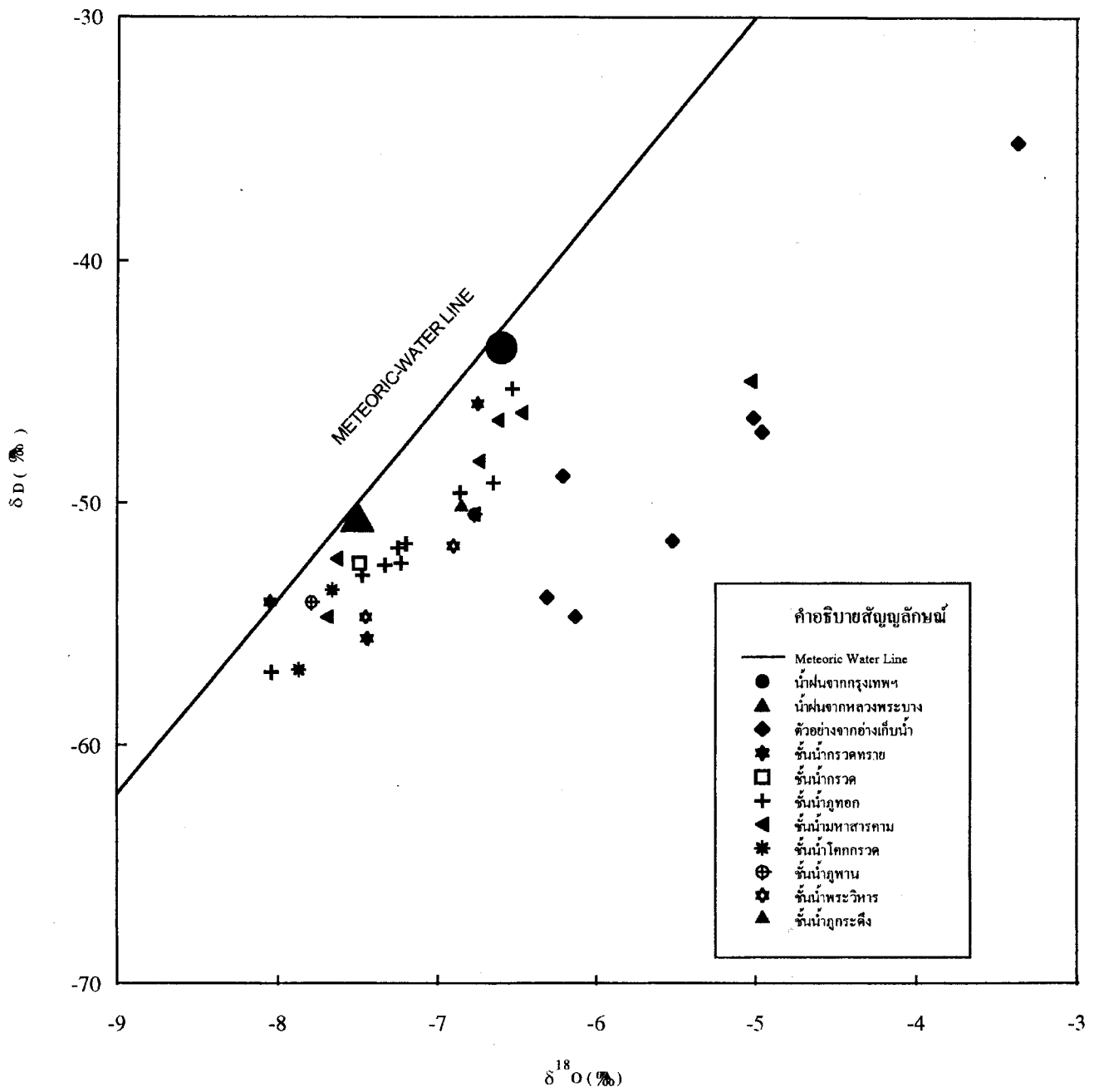
$\delta^{18}\text{O}$ ในน้ำบาดาลทั้งหมด มีค่าระหว่าง -6.53 และ -8.04 ‰ ส่วน δD มีค่าระหว่าง -45.3 และ 57.0 ‰ โดยเกือบทั้งหมดจากเบียงเบนไปจากเกณฑ์มาตรฐานน้ำฝน (รูปที่ 5.3) แสดงว่าน้ำบาดาลมีต้นกำเนิดมาจากน้ำฝนที่ตกลงมาในบริเวณนั้น แต่มีการระเหยเกิดขึ้นก่อนที่จะซึมลงไปใต้ดิน หรือบางบริเวณเกิดการผสมกันระหว่างน้ำจากผิวดินหรือน้ำจากชั้นน้ำบาดาลอื่นๆ รวมทั้งชั้นน้ำที่มีความเค็มอยู่ด้วย

จากรูปที่ 5.3 พบว่าน้ำบาดาลจะสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

กลุ่มที่ 1 : เป็นชั้นน้ำบาดาลที่มีค่า $\delta^{18}\text{O}$ น้อยกว่า -7 ‰ ได้แก่ชั้นน้ำโคกกรวด ภูทอก และชั้นน้ำกรวดทรายแม่น้ำ (รูปที่ 5.3) โดยแต่ละชั้นน้ำมีค่า Stable Isotopes ดังนี้

1. ชั้นน้ำโคกกรวด ระดับความลึก 36-103 เมตร $\delta^{18}\text{O}$ มีค่าระหว่าง -7.66 และ 7.87 ‰ และ δD มีค่าระหว่าง -53.6 และ 56.9 ‰
2. ชั้นน้ำภูทอก ความลึก 30-233.5 เมตร $\delta^{18}\text{O}$ มีค่าระหว่าง -6.86 และ -8.04 ‰ และ δD มีค่าระหว่าง -49.6 และ -57.0 ‰
3. ชั้นน้ำหินร่วน ความลึก 15-30 เมตร $\delta^{18}\text{O}$ มีค่าระหว่าง -6.75 และ -8.05 ‰ และ δD มีค่าระหว่าง -45.9 และ -55.5 ‰

น้ำบาดาลในกลุ่มที่ 1 จะมีต้นกำเนิดมาจากน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่โดยตรง แล้วไหลซึมลงไปยังแหล่งน้ำบาดาล มีการระเหยเกิดขึ้นน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำบาดาลในกลุ่มที่ 2 เนื่องจากชั้นน้ำกลุ่มนี้มีความพรุนและคุณสมบัติในการซึมซาบได้สูงกว่า ทำให้น้ำฝนไหลซึมลงไปยังแหล่งกักเก็บได้เร็วกว่า โดยเฉพาะในชั้นน้ำภูทอกที่พบในบริเวณด้านทิศใต้ และตะวันออกเฉียงใต้ของตัวเมืองขอนแก่น เป็นชั้นน้ำที่ได้คุณภาพดี และมีปริมาณมาก แต่ $\delta^{18}\text{O}$ ในน้ำบาดาล ชั้นภูทอกจะพบว่ามีค่าน้อยในบริเวณที่เป็น Recharge Areas หรือบริเวณที่น้ำไหลเข้าไปเพิ่มเติม แต่ในบริเวณที่รอยต่อระหว่างชั้นน้ำหรือบริเวณที่น้ำไหลออก (Discharge Areas) ค่า $\delta^{18}\text{O}$ จะสูงขึ้น (รูปที่ 5.4) ซึ่งแสดงว่า บริเวณนี้ น้ำบาดาลเกิดการผสมกันขึ้นระหว่างน้ำที่ไหลมาจากชั้นน้ำภูทอกและน้ำที่ไหลมาจากชั้นน้ำอื่นๆ เช่นชั้นน้ำกรวดทราย ชั้นน้ำมหาสารคาม และชั้นน้ำที่ระดับลึกไหลเข้าไปปะปน ซึ่งบางบริเวณจะมีน้ำกร่อยถึงเค็มเข้ามาด้วยทำให้ $\delta^{18}\text{O}$ เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ^{18}O และ 2H

กลุ่มที่ 2 : เป็นชั้นน้ำที่ $\delta^{18}\text{O}$ น้อยกว่า -7% ได้แก่ชั้นน้ำภูกระดึง พระวิหารและชั้นน้ำมหาสารคาม (รูปที่ 5.3) โดยมีค่า Stable Isotopes ดังนี้

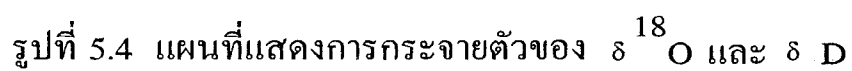
1. ชั้นน้ำภูกระดึง ความลึก 42 เมตร $\delta^{18}\text{O}$ มีค่า -6.85% และ δD มีค่า -50.2%
2. ชั้นน้ำพระวิหาร ความลึก 15-30 เมตร $\delta^{18}\text{O}$ มีค่า -6.90 และ -7.45% ส่วน δD มีค่าระหว่าง -51.8 และ -54.7%
3. ชั้นน้ำมหาสารคาม ลึก 20-40 เมตร $\delta^{18}\text{O}$ มีค่าระหว่าง -5.03 และ -7.2% และ δD มีค่าระหว่าง -45.0 และ -51.7%

น้ำบาดาลในชั้นน้ำภูกระดึงและพระวิหาร ซึ่งวางตัวอยู่บริเวณด้านตะวันตกของตัวเมือง ขอนแก่น และคาดว่าเป็นบริเวณที่น้ำไหลเข้าไปเพิ่มเติมยังชั้นน้ำระดับลึกต่อไปนั้น จะมีต้นกำเนิดมาจากน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ แต่ชบวนการไหลซึมลงไปยังชั้นน้ำค่อนข้างช้า เนื่องจากเป็นชั้นน้ำที่มีความพรุนน้อย และมีความแข็งมาก ทำให้น้ำฝนที่ตกลงมาเกิดกักขังหรือไหลซึมช้า ๆ ลงไป ซึ่งจะทำให้มีการระเหยเกิดขึ้นมากโดยมีค่า $\delta^{18}\text{O}$ สูงขึ้น ส่วนชั้นน้ำมหาสารคามที่มีค่า $\delta^{18}\text{O}$ ส่วนใหญ่สูงนั้นเนื่องจาก ชั้นน้ำมหาสารคามมีชั้นเกลือแทรกอยู่ และเป็นชั้นน้ำที่มีความพรุนและ ความซึมได้ค่อนข้างสูง ต้นกำเนิดน้ำบาดาลจะมาจากน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่ไหลซึมลงโดยตรง แต่น้ำบาดาลส่วนหนึ่งในบริเวณนี้จะมีค่า $\delta^{18}\text{O}$ ใกล้เคียงกับกลุ่มที่ 1 การที่น้ำบาดาลมีค่า $\delta^{18}\text{O}$ สูงเนื่องจากการผสมกับน้ำเค็มที่มาจากชั้นเกลือหินที่แทรกอยู่ และการผสมกับน้ำจากชั้นน้ำอื่นๆ ที่ระดับลึกกว่าลงไป โดยเฉพาะบริเวณที่เป็น Discharge Areas หรือพื้นที่น้ำไหลออก

5.4.2 ^3H (Tritium)

การใช้ ^3H ในการศึกษาอัตราการไหลซึมของน้ำฝนลงไปในชั้นน้ำบาดาลนั้น วิธีที่ง่ายที่สุด คือ การวัดหาปริมาณ ^3H ในชั้นน้ำบาดาล เนื่องจากน้ำฝนจะมีปริมาณ ^3H สูงหลังจากที่มีการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ การทดลองนิวเคลียร์ได้เริ่มขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 1953 จึงทำให้ปริมาณ ^3H ได้น้ำฝนมีค่าสูงขึ้น และต่อมาในปี พ.ศ. 1962-1963 ได้มีการทดลองนิวเคลียร์ครั้งที่ยิ่งใหญ่ที่สุด ทำให้อัตราปริมาณ ^3H ในน้ำฝนสูงที่สุดในระหว่างนี้ ส่วนน้ำฝนก่อนมีการทดลองนิวเคลียร์ จะมีปริมาณ ^3H ต่ำประมาณว่าไม่เกิน 2-8 TU (Tacther 1962) ปริมาณ ^3H ในน้ำฝนของประเทศไทย ที่สถานีกรุงเทพมหานคร แสดงไว้ในรูปที่ 5.5 จะมีปริมาณ ^3H สูงที่สุดใน ค.ศ. 1964 หลังจากนั้นปริมาณ ^3H จะค่อย ๆ ลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณ ^3H ในน้ำฝนจะแตกต่างกันออกไป ตามสถานที่ตั้งและฤดูกาล ดังนั้น สำหรับน้ำบาดาลที่พบ ^3H มีปริมาณสูง แสดงว่าส่วนหนึ่งของน้ำบาดาลจะเข้ามาหลังจากที่มีการทดลองนิวเคลียร์ มีหลายกรณีที่สามารถใช้ ^3H เป็นตัวบ่งชี้ถึงน้ำที่ไหลเข้าไปเพิ่มเติมยังแหล่งน้ำบาดาลภายหลังจากการเริ่มต้นทดลองนิวเคลียร์

ผลวิเคราะห์ ^3H ในน้ำบาดาล น้ำผิวดิน ในบริเวณศึกษา พบว่าน้ำผิวดินซึ่งเป็นแอ่งน้ำและแม่น้ำมีปริมาณ ^3H ตั้งแต่ 2.6 ถึง 3.9 TU สำหรับในน้ำบาดาล ^3H จะแตกต่างกันไปตั้งแต่



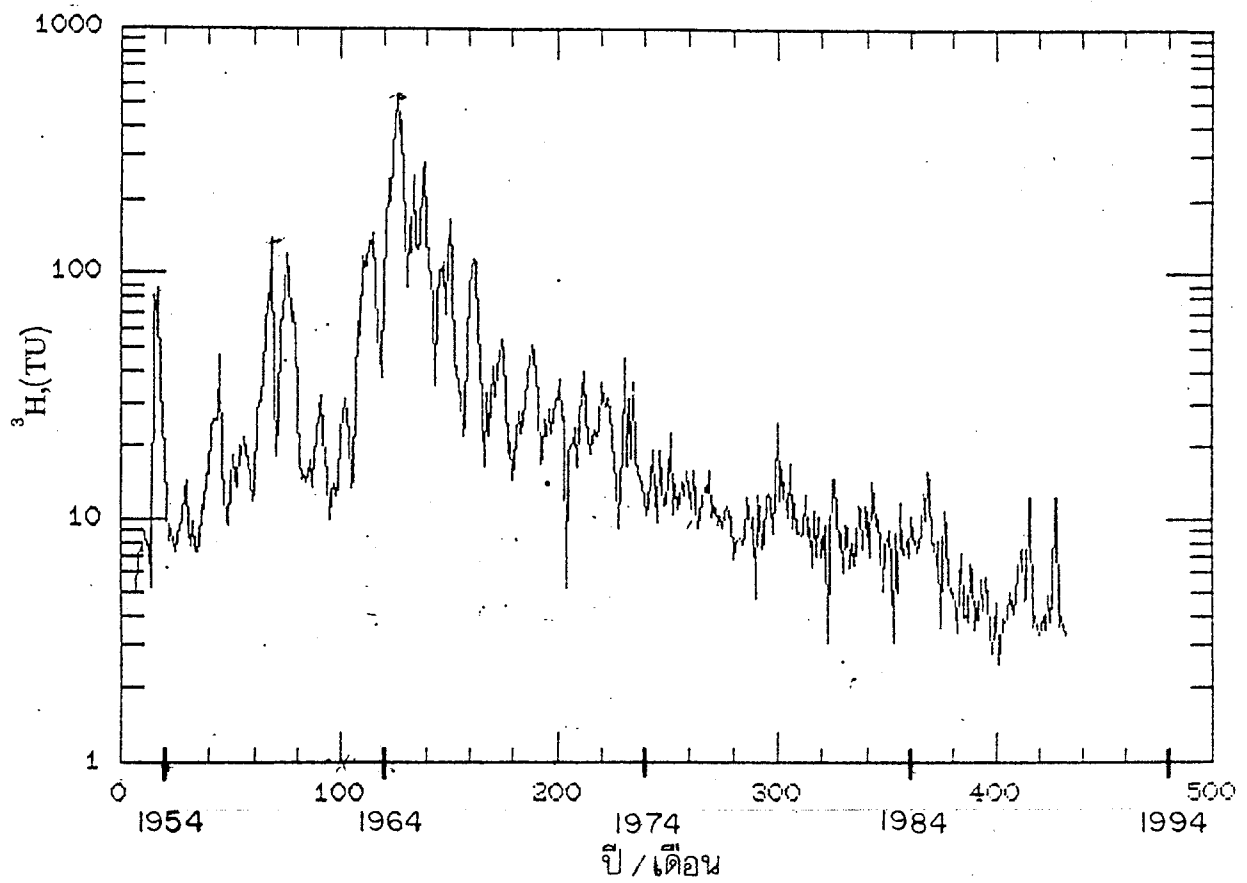
ตารางที่ 5.3 ผลวิเคราะห์ Stable Isotopes

หมายเลขบ่อ	วันที่เก็บตัวอย่าง	ความลึก (ม.) และชนิดของชั้นน้ำ	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)
THK01	26 ก.พ.39	233.5 PT	-7.33	-52.6
THK02	19 ก.พ.39	140 MS	ไม่ได้วิเคราะห์	ไม่ได้วิเคราะห์
THK03	20 ก.พ.39	78 PT	-6.86	-49.6
THK04	26 ก.พ.39	34 QR	-6.75	-45.9
THK06	26 ก.พ.39	36 MS	-6.77	-50.5
THK07	27 ก.พ. 39	44 MS	-7.20	-51.7
THK09	20 ก.พ. 39	48 MS	-6.47	-46.3
THK11	18 ก.พ. 39	15 PW	-6.90	-51.8
THK12	18 ก.พ. 39	42 PK	-6.85	-50.2
THK13	22 ก.พ. 39	36 PT	-7.23	-52.5
THK18	16 ก.พ. 39	64 MS	-5.03	-45.0
THK19	16 ก.พ. 39	24 MS	-7.63	-52.3
THK21	26 พ.ย. 38	103 KK	-7.87	-56.9
THK25	21 ก.พ. 39	72 PP	-6.77	-50.5
THK26	19 ก.พ. 39	36 KK	-7.66	-53.6
THK27	19 ก.พ. 39	15 QR	-7.44	-55.6
THK28	20 ก.พ. 39	30 QG	-7.49	-52.5
THK38	29 พ.ย. 38	49 PT	-7.47	-53.0
THK39	29 พ.ย. 38	30 PT	-6.53	-45.3

ตารางที่ 5.3 ผลวิเคราะห์ Stable Isotopes (ต่อ)

หมายเลขบ่อ	วันที่เก็บตัวอย่าง	ความลึก (ม.) และชนิดของชั้นน้ำ	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)
THK40	29 พ.ย. 38	33 PT	-6.65	-49.2
THK42	20 ก.พ. 39	- MS	-6.62	-46.6
THK45	26 พ.ย. 38	37 PT	-7.25	-51.9
THK46	26 พ.ย. 38	40 PT	-8.04	-57.0
THK47	28 พ.ย. 38	37 MS	-7.69	-54.7
THK48	28 พ.ย. 38	24 MS	-6.74	-48.3
THK49	16 ก.พ. 39	30 QR	-8.05	-54.1
THK50	18 ก.พ. 39	30 PW	-7.45	-54.7
THK100	18 ก.พ. 39	เขื่อนน้ำพอง	-7.44	-55.6
THK200	28 พ.ย. 38	อ่างเก็บน้ำ	-6.21	-48.9
THK500	25 พ.ย. 38	เขื่อนน้ำพอง	-6.31	-53.9
THK600	29 พ.ย. 38	บึง	-5.52	-51.6
THK700	26 พ.ย. 38	อ่างเก็บน้ำ	-6.13	-54.7
THK800	28 พ.ย. 38	บึง	-4.96	-47.7
THK900	28 พ.ย. 38	บึง	-3.37	-35.2

QR = ชั้นน้ำบาดาลที่ราบลุ่ม KK = ชั้นน้ำโคกกรวด
 QG = ชั้นน้ำกรวดทราย PP = ชั้นน้ำภูพาน
 PT = ชั้นน้ำภูทอก PW = ชั้นน้ำพระวิหาร
 MS = ชั้นน้ำมหาสารคาม PK = ชั้นน้ำภูกระดึง



รูปที่ 5.5 ปริมาณ ^3H ในน้ำฝนรายเดือน บริเวณกรุงเทพมหานคร

0.1 ถึง 4.3 TU การที่น้ำบาดาลมีค่าปริมาณ ^3H สูงเนื่องจากเป็นน้ำที่เกิดหลังการทดลองนิวเคลียร์ ผลวิเคราะห์ ^3H ในน้ำบาดาลและน้ำผิวดินแสดงไว้ในตารางที่ 5.4

^3H ในชั้นน้ำภูกระดึง พระวิหาร และ โคกกรวดจะพบว่ามีค่าสูง ตั้งแต่ 1.1 ถึง 4.3 TU แสดงว่า น้ำที่ไหลเข้าไปเพิ่มเติมยังชั้นน้ำในระดับลึกระหว่าง 10-30 เมตรหลังจากที่มีการทดลองนิวเคลียร์ หรือ ประมาณ 40 ปีมาแล้ว ส่วนในระดับลึกลงไปจะมีน้ำไหลเข้าไปเพิ่มเติมน้อยมาก โดยค่า ^3H จะมีปริมาณ ต่ำลงตั้งแต่ 0.9 ถึง 1.9 TU เช่น THK16 THK26 และ THK29 (รูปที่ 5.6) ส่วนในชั้นน้ำมหาสารคาม ระดับลึกไม่เกิน 30 เมตร จะมีปริมาณ ^3H มากกว่า 1 TU โดยมีค่าระหว่าง 2.3 ถึง 4.1 TU แสดงว่าน้ำที่ไหลเข้าไปเพิ่มเติมในชั้นน้ำมหาสารคาม เป็นน้ำใหม่ที่มีอายุน้อยกว่า 40 ปีอยู่ด้วย หรือ เป็นน้ำฝนที่เกิดหลังจากการทดลองระเบิดนิวเคลียร์ ส่วนที่ระดับลึกลงไปจะพบปริมาณ ^3H น้อยกว่า 1 TU แสดงว่าน้ำที่ไหลซึมลงไปยังชั้นน้ำระดับลึก ในปัจจุบันไม่มี หรือการไหลเข้าไปเพิ่มเติมยังชั้นน้ำระดับลึก ๆ หรือไม่มีน้ำปัจจุบันไหลลงไปเพิ่มเติม เช่น THK09 THK47 และ THK48 (รูปที่ 5.6) ในชั้นน้ำภูทอกซึ่งเป็นชั้นน้ำที่มีคุณภาพน้ำดีและมีปริมาณสูงพบว่ามีค่า ^3H ในชั้นน้ำระดับลึกไม่เกิน 40 เมตร จะมีค่า ^3H ระหว่าง 1.2 ถึง 3.1 TU ซึ่งแสดงว่ามีน้ำที่อายุน้อยกว่า 40 ปีไหลเข้าไปเพิ่มเติมได้ ส่วนชั้นน้ำที่ระดับลึกลงไปจะมี ^3H ต่ำ ระหว่าง 0.3 ถึง 0.6 TU เช่นที่บ่อเจาะสำรวจ โรงเรียนบ้านวังโพน อำเภอโกสุมพิสัย (THK01) ชั้นน้ำลึก 233 เมตร มี ^3H ปริมาณ 0.1 TU (รูปที่ 5.7) แสดงว่าในชั้นน้ำระดับลึก จะไม่มีน้ำใหม่หรือน้ำปัจจุบันไหลเข้าไปเพิ่มเติมในแหล่งน้ำบาดาล หรือน้ำที่จะไหลเข้าไปเพิ่มเติมยังแหล่งกักเก็บจะใช้ระยะเวลานานมาก ชั้นน้ำในกรวดทราย ส่วนใหญ่จะมีค่า ^3H มากกว่า 1 TU ระหว่าง 2.1 ถึง 3.7 TU ซึ่งแสดงถึงน้ำที่ไหลเข้าไปเพิ่มเติม เป็นน้ำที่มีอายุน้อยกว่า 40 ปีอยู่ด้วย แต่มีบางแห่งที่พบ ^3H ต่ำ เช่น THK28 มีค่า ^3H ปริมาณ 0.1 TU (รูปที่ 5.6) ซึ่งอาจจะเกิดการผสมกันระหว่างน้ำเก่าและน้ำใหม่

ผลจากการศึกษาหาปริมาณ ^3H ในน้ำบาดาลทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความลึกของชั้นน้ำแล้วพบว่าน้ำบาดาล ที่ระดับตื้นหรือไม่เกิน 50 เมตร จะมีปริมาณ ^3H อยู่ระหว่าง 2-4 TU (รูปที่ 5.7) ส่วนที่ระดับลึกลงไปจะมีปริมาณ ^3H น้อยลงแต่ก็มีบางบ่อที่พบว่ามี ^3H ต่ำ ในชั้นน้ำระดับตื้นซึ่งอาจจะเกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำเก่ากับน้ำใหม่ หรือ บริเวณนั้นอาจจะไม่มีน้ำที่ไหลซึมลงไปโดยตรงจากน้ำฝนที่ตกลงมา ซึ่งจะต้องศึกษาร่วมกับค่า คาร์บอน-14

5.4.3 คาร์บอน-14

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ คาร์บอน-14 จากตัวอย่างน้ำบาดาลในบริเวณที่ศึกษาทั้งหมด จำนวน 44 ตัวอย่าง พบว่า เปอร์เซนต์คาร์บอน-14 เมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนปัจจุบัน (modern carbon) จะมีค่าตั้งแต่ 7.34 ± 1.18 ถึง 124.84 ± 2.61 (pmc) ตามตารางที่ 5.5 ซึ่งจะมีตัวอย่างน้ำบาดาลอยู่หลายบริเวณที่เปอร์เซนต์คาร์บอน-14 มีมากกว่า คาร์บอนปัจจุบัน จึงเป็นไปได้หรือเป็นค่าที่ไม่ถูกต้อง ทำให้ไม่สามารถนำมาคำนวณหาอายุได้ ทั้งนี้เนื่องจากในบริเวณนี้เป็นน้ำปัจจุบันหรือน้ำที่ผสมกันระหว่างน้ำเก่าและน้ำใหม่โดยจะยืนยันได้จากการพบว่าในน้ำบาดาลแหล่งนี้จะมีปริมาณ ^3H สูงระหว่าง 2 ถึง 4 TU จากการคำนวณหาอายุโดยใช้คาร์บอน-14 ในแต่ละตัวอย่างน้ำบาดาล พบว่าน้ำบาดาลส่วนใหญ่ มีอายุตั้งแต่ 310 ± 180 ถึง 6820 ± 310 ปีก่อนปัจจุบัน

(ก่อน ค.ศ. 1950) (ตารางที่ 5.5) ยกเว้นบ่อน้ำบาดาล THK01 ที่ได้เจาะสำรวจในชั้นน้ำภูทอก ที่ระดับลึก 203-233.5 เมตร มีค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอน-14 เท่ากับ 7.34 ± 1.18 ซึ่งคำนวณหาอายุได้ถึง $20,980 \pm 1,400$ ปีก่อนปัจจุบัน ซึ่งเป็นน้ำที่มีอายุมากแสดงว่าในปัจจุบันไม่มีน้ำไหลเข้าไปเพิ่มเติมในชั้นน้ำระดับลึก

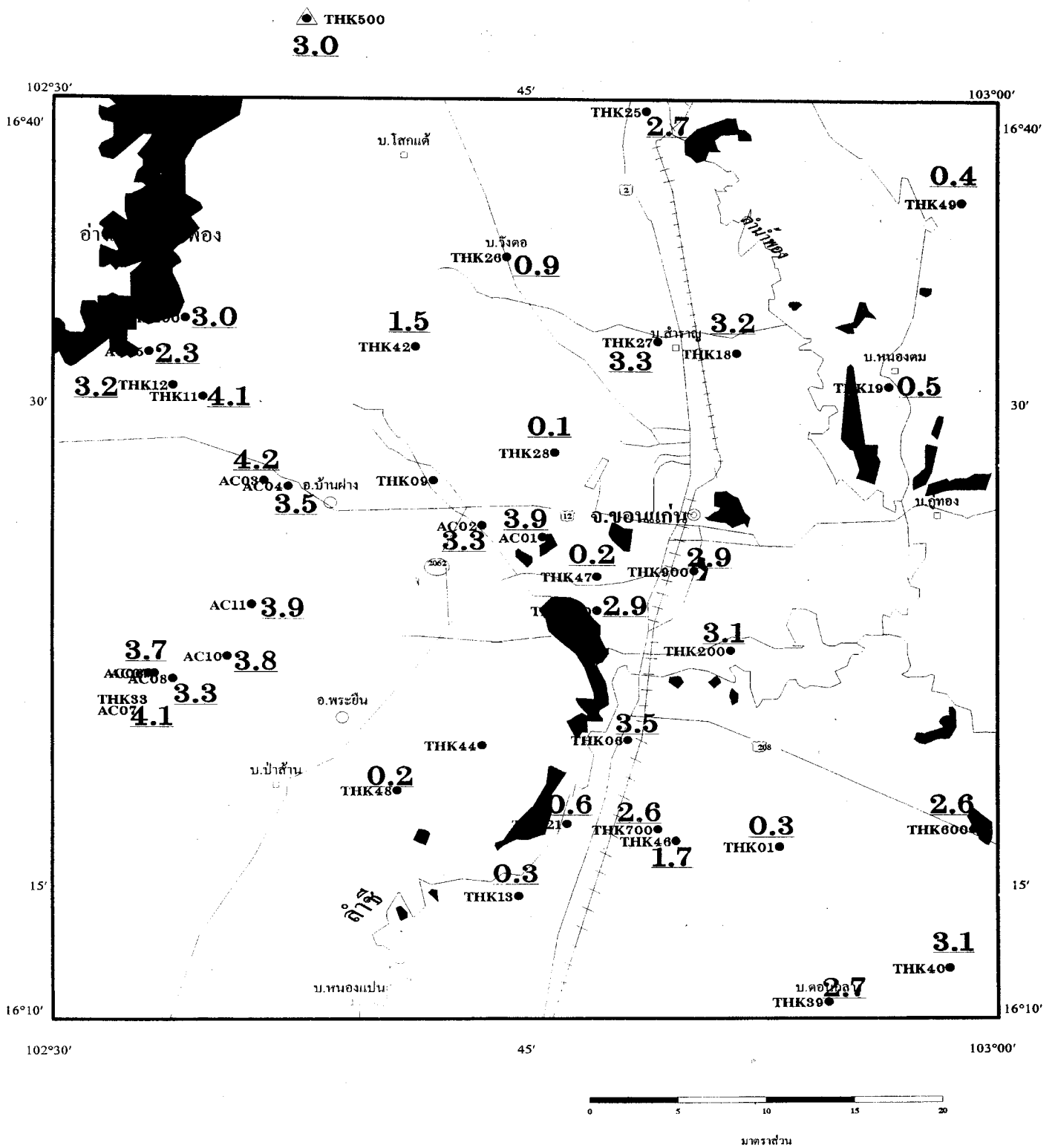
จากรูป 5.8 แสดงการกระจายตัวอายุน้ำบาดาลในชั้นน้ำบาดาลต่าง ๆ พบว่าในแต่ละชั้นน้ำหรือในแต่ละบริเวณจะมีอายุแตกต่างกันออกไป โดยในชั้นน้ำภูกระดึง พระวิหาร และโคกกรวดซึ่งอยู่ทางตะวันตกจะมีอายุค่อนข้างน้อยระหว่าง 390 ถึง 2,660 ปีก่อนปัจจุบัน ซึ่งยืนยันกับผลวิเคราะห์ ^3H ซึ่งมีค่าสูงแสดงว่าน้ำฝนในบริเวณนี้ จะไหลซึมเข้าไปเพิ่มเติมโดยตรงและทิศทางการไหลของน้ำส่วนใหญ่จะไหลในแนวตั้งมากกว่า ในแนวนอนและจะไม่ต่อเนื่องกับชั้นน้ำอื่น ๆ ส่วนในชั้นน้ำมหาสารคามนั้นอายุน้ำบาดาลจะมากกว่าในชั้นน้ำที่กล่าวมาแล้วระหว่าง 310 ถึง 6,777 ปีก่อนปัจจุบัน แต่มีบางบริเวณที่มีอายุปัจจุบันในขณะที่มีปริมาณ ^3H ต่ำ แสดงว่าชั้นน้ำมหาสารคาม มีการผสมกันระหว่างน้ำเก่ากับน้ำใหม่หรืออาจจะมีการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม โดยมีทิศทางการไหลของน้ำบาดาลจากบริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ไปยังทิศตะวันออกเฉียงใต้ ลงสู่ลำน้ำชี

ในชั้นน้ำภูทอกอายุน้ำบาดาลในระดับลึกไม่เกิน 50 เมตร จะมีอายุน้อยในบริเวณที่เป็น Recharge Areas หรือบริเวณน้ำไหลเข้าไปเพิ่มเติมและมีอายุมากขึ้นตามแนวทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งเป็นการไหลของน้ำบาดาลเฉพาะในพื้นที่นั้น (Local Flow) (รูปที่ 5.8) น้ำบาดาลมีอายุ 1,310-6,820 ปีก่อนปัจจุบัน ส่วนในระดับลึก 233 เมตร จะมีอายุมากถึง 20,980 ปีก่อนปัจจุบัน ส่วนในชั้นน้ำกรวดทรายบริเวณซึ่งอยู่ในที่ราบลุ่มของน้ำพองและน้ำชี นั้น อายุของน้ำบาดาลในบริเวณขอบแอ่งจะน้อยกว่าน้ำบาดาลในบริเวณใจกลางแอ่งระหว่าง 1,340 ถึง 3,720 ปีก่อนปัจจุบัน และ ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลทั่วไป จะไหลจากทางตะวันออกเฉียงเหนือไปยังตะวันออกเฉียงใต้ และจากตะวันตกเฉียงเหนือไปยังตะวันออกเฉียงใต้

การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์คาร์บอน-14 ในน้ำบาดาลเมื่อเทียบความลึกของชั้นน้ำ (รูปที่ 5.9) จะพบว่า ในระดับความลึก 20-50 เมตร เปอร์เซ็นต์คาร์บอน-14 จะอยู่ระหว่าง 40-100 ซึ่งจะมีอายุระหว่าง 310 ± 180 ถึง $6,770 \pm 310$ ปีก่อนปัจจุบันและยังมีน้ำอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งมีปริมาณเปอร์เซ็นต์คาร์บอน-14 มากกว่า 100 ของคาร์บอนปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นบริเวณที่เป็นน้ำใหม่ทั้งหมด จะพบอยู่ทั่วไปในเกือบทุกชั้นน้ำ กระจายอยู่บริเวณที่เป็น Recharge Areas ส่วนในระดับลึก 230 เมตร จะมีเปอร์เซ็นต์คาร์บอน-14 เพียง 7.84 pmc ซึ่งคำนวณหาอายุได้ $20,098 \pm 1,400$ ปี ยกเว้นบ่อน้ำบาดาลที่ THK03 ซึ่งอยู่ที่ระดับความลึก 78 เมตร จะมีค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอน-14 เท่ากับ 84.9 pmc และ THK21 (รูปที่ 5.9) ที่ระดับลึก 103 เมตร มีค่าเปอร์เซ็นต์คาร์บอน-14 ประมาณ 88 ซึ่งเป็นค่าที่สูงเนื่องจากบ่อน้ำบาดาลทั้งสองแห่งนี้มีชั้นน้ำระดับตื้นเข้าปะปนด้วย ซึ่งจะเป็นน้ำใหม่ทำให้อายุที่ได้จากการคำนวณไม่ถูกต้อง จากการหาอายุน้ำบาดาลโดยใช้คาร์บอน-14 นี้พอจะสรุปได้ว่าน้ำบาดาลที่ระดับตื้นจะมีอายุน้อยหรือเป็นน้ำปัจจุบัน แต่ในระดับลึกลงไปจะมีอายุแก่มาก แสดงถึงไม่มีการไหลเข้าไปเพิ่มเติมของน้ำปัจจุบัน

จากผลวิเคราะห์ปริมาณ ^3H และอายุน้ำบาดาลจากคาร์บอน-14 นำมาเปรียบเทียบกับกัน (รูปที่ 5.10) พบว่าน้ำบาดาลที่มีปริมาณ ^3H น้อยกว่า 1 TU จะมีอายุระหว่าง 1,000 ถึง 7,000 ปีก่อนปัจจุบัน แสดงถึงต้นกำเนิดของน้ำบาดาลในบริเวณนี้มีการไหลซึมลงไปค่อนข้างช้า หรือบริเวณที่น้ำไหลเข้าเพิ่มเติมอยู่ในระยะที่ห่างไกลออกไปจากแหล่งน้ำบาดาล แต่มีบางบ่อน้ำบาดาลที่พบว่า น้ำมีค่า ^3H ต่ำ แต่มีอายุน้อยซึ่งแสดงถึงบริเวณนี้มีการผสมกันระหว่างน้ำเก่าและน้ำใหม่ ส่วนน้ำบาดาลที่มีค่า ^3H สูงกว่า 1 TU จะมีอายุระหว่าง 300 ถึง 3,000 ปีก่อนปัจจุบัน แสดงถึงต้นกำเนิดน้ำบาดาลเหล่านี้มาจากน้ำฝนที่ไหลซึมลงไปเร็วกว่าพวกแรก และมีต้นกำเนิดหรือบริเวณรับน้ำไม่ไกลจากแหล่งกักเก็บน้ำ แต่ยังมีบางบริเวณที่พบน้ำบาดาลที่มีปริมาณ ^3H สูงแต่มีอายุมากเช่นเดียวกันซึ่งอาจจะเกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำเก่ากับน้ำปัจจุบัน

การคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำบาดาล จากการหาอายุน้ำบาดาล โดยใช้วิธีคาร์บอน-14 ในบริเวณพื้นที่ศึกษาเป็นไปได้ยาก เนื่องจากการไหลของน้ำบาดาลในแต่ละชั้นน้ำไม่ต่อเนื่องกันและชั้นน้ำเป็นหินแข็งทำให้ความพรุนหรือช่องว่างที่มีอยู่ไม่ต่อเนื่อง และอายุน้ำบาดาลบางบริเวณคำนวณไม่ได้เนื่องจากน้ำบาดาลที่เกิดอยู่ในแหล่งกักเก็บมีน้ำเกิดใหม่เข้าไปปะปนกันอยู่ตลอดเวลา ยกเว้นในชั้นน้ำภูทอก ซึ่งเป็นบริเวณที่มีน้ำบาดาลศักยภาพสูง คุณภาพดี ในระดับลึกไม่เกิน 100 เมตรและชั้นน้ำกรวดทรายในลุ่มน้ำพอง-ชี ที่อาจจะประเมินอัตราการไหลของน้ำบาดาลจากบริเวณที่รับน้ำไปยังบริเวณด้านน้ำออก (Discharge Areas) ได้ จากข้อมูลอายุน้ำบาดาล การคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำบาดาล ในชุดหินภูทอกได้ ตั้งแต่ 1.88 ถึง 2.7 เมตร/ปี แต่บางบริเวณอาจสูง 7.7 เมตร/ปี ส่วนในชั้นน้ำหินร่วนบริเวณลุ่มน้ำพอง-ชี อัตราการไหลประมาณ 4 เมตร/ปี



- จุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล
- จุดเก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน
- 0.3
- ปริมาณ ^3H (TU.)

- บ้าน
- อำเภอ
- จังหวัด
- แหล่งน้ำผิวดิน

- ถนน
- +++ ทางรถไฟ
- ทางน้ำ

รูปที่ 5.6 แผนที่แสดงปริมาณ ^3H ในน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

ตารางที่ 5.4 ปริมาณ ^3H ในน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

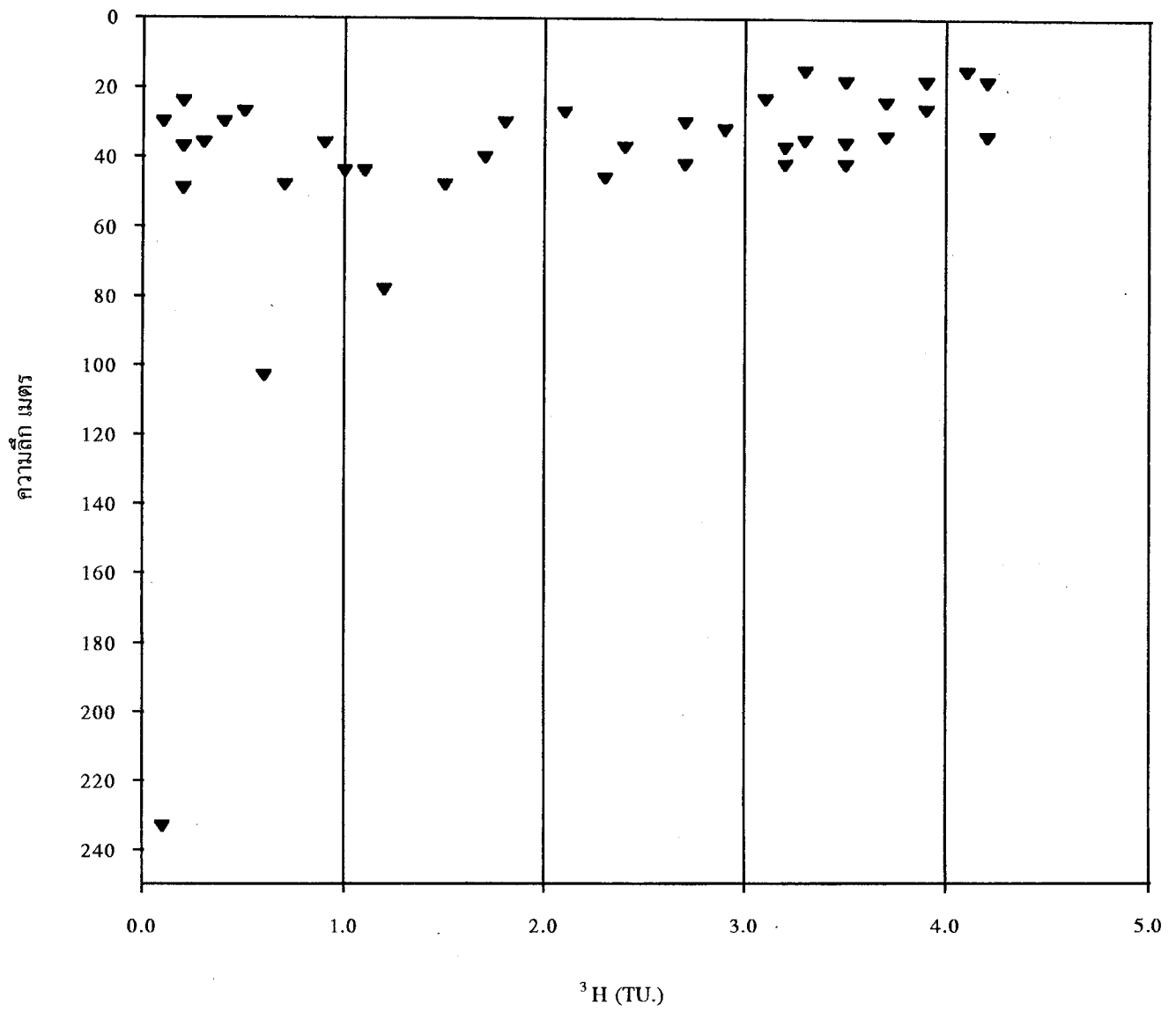
หมายเลขตัวอย่าง	ระยะท่อกรอง (ม.)	วันที่เก็บตัวอย่าง	ปริมาณทริเทียม (T.U.)
THK01	203-233.5	26 ก.พ. 39	0.1 ± 0.2
THK02	80-140	19 ก.พ. 39	ไม่ได้วิเคราะห์
THK03	30-40 60-78 open 78-94	20 ก.พ. 39	0.2 ± 0.0
THK04	28-34	26 ก.พ. 39	3.7 ± 0.1
THK06	30-36	26 ก.พ. 39	3.5 ± 0.1
THK07	40-44	27 ก.พ. 39	1.0 ± 0.1
THK09	36-48	20 ก.พ. 39	0.7 ± 0.1
THK11	9-15	18 ก.พ. 39	4.1 ± 0.3
THK12	36-42	18 ก.พ. 39	3.2 ± 0.1
THK13	30-36	22 ก.พ. 39	0.3 ± 0.1
THK14	18-24 30-27	12 พ.ค. 39	3.2 ± 0.1
THK16	37-43	12 พ.ค. 39	1.9 ± 0.1
THK18	52-64	16 ก.พ. 39	3.2 ± 0.2
THK19	24-27	16 ก.พ. 39	0.5 ± 0.1
THK21	27-36 45-50 55-63 69-77 82-90 97-103	26 พ.ย. 38	0.6 ± 0.1
THK22	21-32	13 พ.ค. 39	2.9 ± 0.1
THK23	21-27	13 พ.ค. 39	2.1 ± 0.1
THK25	24-30 36-42	21 ก.พ. 39	2.7 ± 0.1
THK26	30-36	19 ก.พ. 39	0.9 ± 0.1

ตารางที่ 5.4 ปริมาณ ^3H ในน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

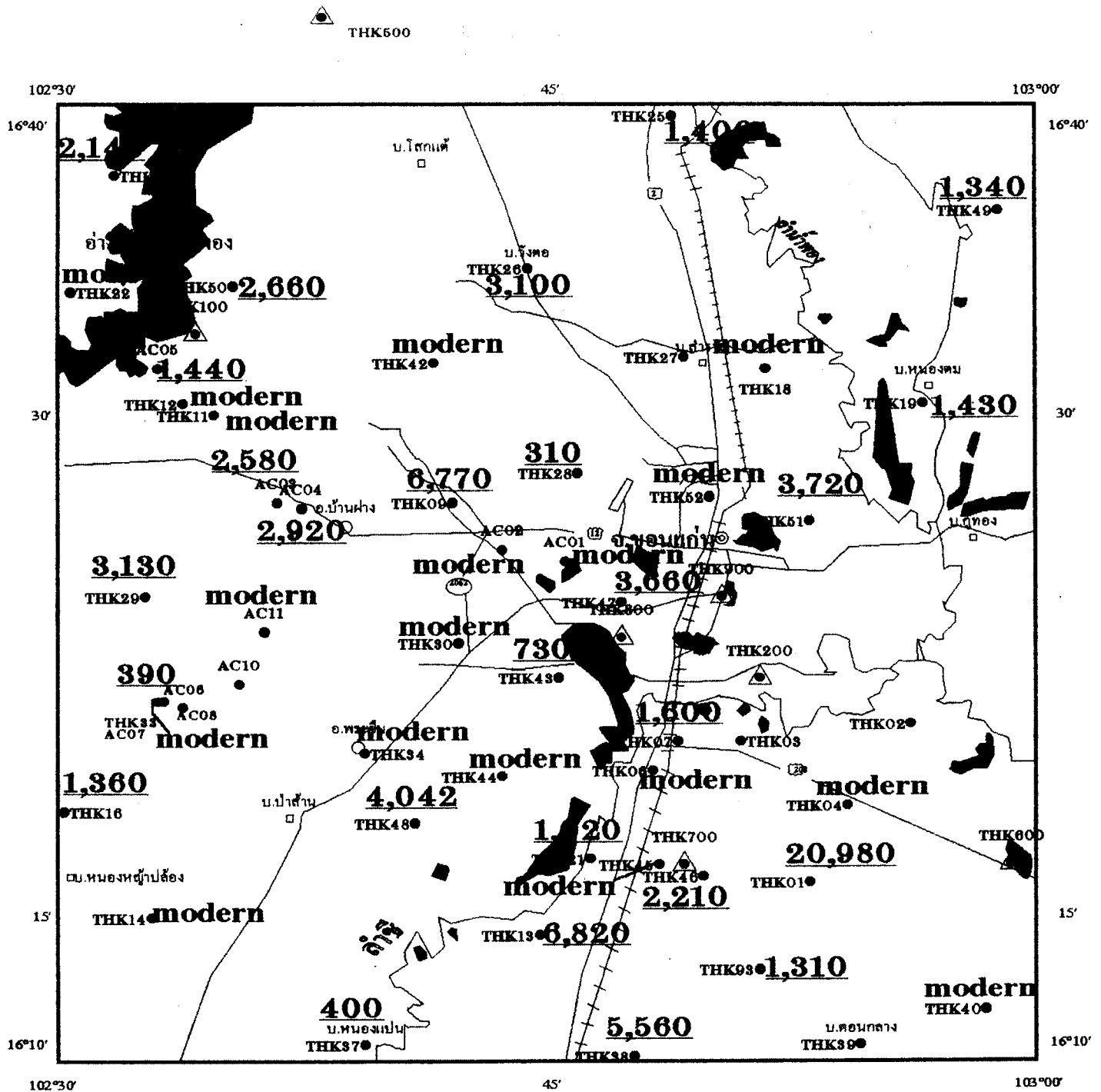
หมายเลขตัวอย่าง	ระยะท่อกรอง (ม)	วันที่เก็บตัวอย่าง	ปริมาณทริเทียม (T.U.)
THK27	12-15	19 ก.พ. 39	3.3 ± 0.1
THK28	24-30	20 ก.พ. 39	0.1 ± 0.1
THK29	30-44	12 พ.ค. 39	1.1 ± 0.1
THK30	18-34	11 พ.ค. 39	4.1 ± 0.1
THK33	12-18	12 พ.ค. 39	3.5 ± 0.1
THK34	12-18	11 พ.ค. 39	2.9 ± 0.1
THK37	24-30	14 พ.ค. 39	1.8 ± 0.1
THK38	31-37 43-49	29 พ.ย. 39	0.2 ± 0.1
THK39	24-30	29 พ.ย. 38	2.7 ± 0.1
THK40	12-18 27-33	29 พ.ย. 38	3.1 ± 0.1
THK42	42-48	20 ก.พ. 39	1.5 ± 0.1
THK43	9-21	11 พ.ค. 39	2.3 ± 0.1
THK44	24-30	11 พ.ค. 39	2.7 ± 0.1
THK45	12-18 31-37	26 พ.ย. 39	2.4 ± 0.1
THK46	37-40	26 พ.ย. 38	1.7 ± 0.2
THK47	31-37	28 พ.ย. 38	0.3 ± 0.1
THK48	18-24	28 ก.พ. 39	0.3 ± 0.1
THK49	24-30	16 ก.พ. 39	0.4 ± 0.1
THK50	24-30	18 ก.พ. 39	
THK51	-	14 พ.ค. 39	3.4 ± 0.3
THK52	24-68	15 พ.ค. 39	1.8 ± 0.3
THK93	24-30	27 ก.พ. 38	1.2 ± 0.3
AC01	26	23 ก.พ. 39	4.0 ± 0.3

ตารางที่ 5.4 ปริมาณ ^3H ในน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

หมายเลขตัวอย่าง	ระยะท่อกรอง (ม)	วันที่เก็บตัวอย่าง	ปริมาณทริเทียม (T.U.)
AC02	29-35	23 ก.พ. 39	3.3 ± 0.3
AC03	12-18	23 ก.พ. 39	4.3 ± 0.3
AC04	36-42	23 ก.พ. 39	3.5 ± 0.4
AC05	40-46	27 ก.พ. 39	2.3 ± 0.3
AC06	18-24	27 ก.พ. 39	3.7 ± 0.4
AC07	12-18	27 ก.พ. 39	4.1 ± 0.4
AC08	21-27	27 ก.พ. 39	
AC09	-	27 ก.พ. 39	3.3 ± 0.3
AC10	24-30	27 ก.พ. 39	3.8 ± 0.4
AC11	12-18	27 ก.พ. 39	3.9 ± 0.4
THK100	น้ำผิวดิน	18 ก.พ. 39	3.0 ± 0.2
THK200	น้ำผิวดิน	28 พ.ย. 38	3.1 ± 0.2
THK500	น้ำผิวดิน	25 พ.ย. 38	3.0 ± 0.2
THK600	น้ำผิวดิน	29 พ.ย. 38	2.6 ± 0.1
THK700	น้ำผิวดิน	26 พ.ย. 38	2.6 ± 0.1
THK800	น้ำผิวดิน	28 พ.ย. 38	2.9 ± 0.1
THK900	น้ำผิวดิน	28 พ.ย. 38	2.9 ± 0.1



รูปที่ 5.7 ปริมาณ ^3H เปรียบเทียบกับความลึกของชั้นน้ำบาดาล



รูปที่ 5.8 แผนที่แสดงอายุน้ำบาดาลโดยใช้คาร์บอน-14

ตารางที่ 5.5 เปอร์เซนต์คาร์บอน-14 และอายุน้ำบาดาลที่ได้จากการคำนวณ

หมายเลขตัวอย่าง	ระยะท่อกรอง (ม)	วันที่เก็บตัวอย่าง	$\delta^{14}\text{C}$ (pmc)	อายุที่ได้จากการคำนวณ (Years in BP)
THK01	203-233.5	26 ก.พ. 39	7.34 ± 1.18	20980 ± 1400
THK02	80-140	19 ก.พ. 39	ไม่ได้วิเคราะห์	-
THK03	30-40 60-78 open 78-94	26 ก.พ. 39	84.9 ± 2.04	1300 ± 200
THK04	28-34	26 พ.ย. 38	100.14 ± 2.22	-
THK06	30-36	22 ก.พ. 39	103.92 ± 2.26	-
THK07	40-44	27 พ.ย. 38	81.92 ± 1.98	1600 ± 200
THK09	36-48	20 ก.พ. 39	43.04 ± 1.63	6770 ± 310
THK11	9-15	18 ก.พ. 39	124.58 ± 2.47	-
THK12	36-42	18 ก.พ. 39	134.87 ± 2.54	-
THK13	30-36	22 ก.พ. 39	42.77 ± 1.63	6820 ± 310
THK14	18-24 30-27	12 พ.ค. 39	124.84 ± 2.61	-
THK16	37-43	12 พ.ค. 39	84.44 ± 1.95	1360 ± 190
THK19	24-27	16 ก.พ. 39	83.71 ± 2.02	1430 ± 200
THK21	27-36 45-50 55-63 69-77 82-90 97-103	26 พ.ย. 38	88.06 ± 2.06	1020 ± 190
THK22	21-32	13 พ.ค. 39	118.50 ± 2.25	-
THK23	21-27	13 พ.ค. 39	76.63 ± 1.77	2140 ± 190
THK24	-	21 ก.พ. 39	81.85 ± 1.78	1610 ± 180
THK25	24-30 36-42	21 ก.พ. 39	84.05 ± 1.82	1400 ± 180
THK26	30-36	18 ก.พ. 39	68.01 ± 2.57	3100 ± 310
THK27	12-15	18 ก.พ. 39	117.17 ± 2.16	-
THK28	24-30	20 ก.พ. 39	96.22 ± 2.09	310 ± 180
THK29	30-40	12 พ.ค. 39	67.75 ± 1.70	3130 ± 200
THK30	18-34	11 พ.ค. 39	119.54 ± 2.18	-

ตารางที่ 5.5 เปอร์เซ็นต์คาร์บอน - 14 และอายุน้ำบาดาลที่ได้จากการคำนวณ

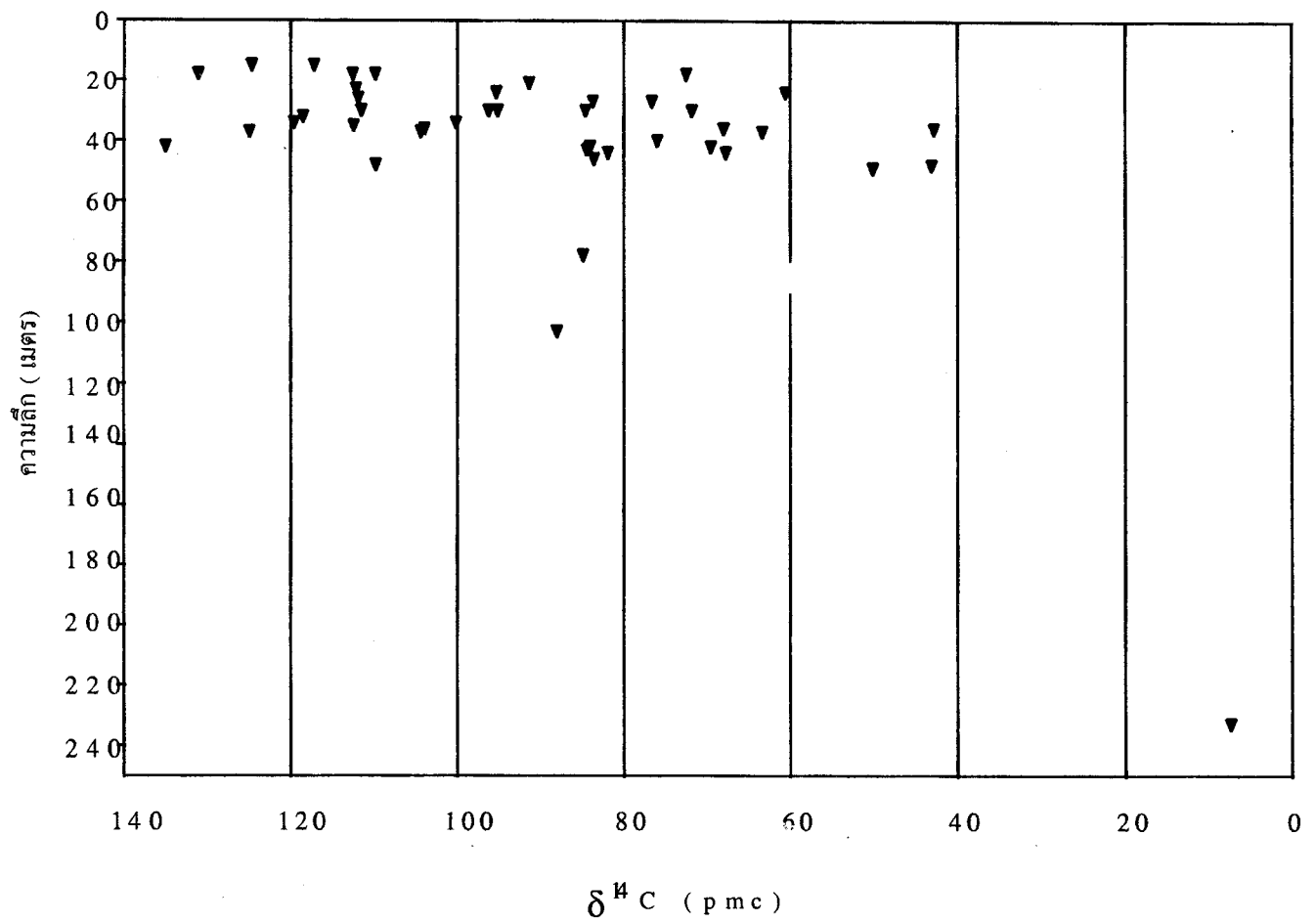
หมายเลขตัวอย่าง	ระยะท่อกรอง (ม)	วันที่เก็บตัวอย่าง	$\delta^{14}\text{C}$ (pmc)	อายุที่ได้จากการคำนวณ (Years in BP)
THK33	12-18	12 พ.ค. 39	112.57 ± 2.11	-
THK34	12-18	11 พ.ค. 39	130.95 ± 1.97	-
THK37	24-30	14 พ.ค. 39	95.13 ± 1.93	400 ± 160
THK38	31-37	29 พ.ค. 39	50.07 ± 1.69	$5,560 \pm 280$
	43-49			
THK40	12-18	29 พ.ย. 38	112.18 ± 2.29	-
	27-33			
THK42	42-48	20 ก.พ. 39	109.80 ± 2.08	-
THK43	9-21	11 พ.ค. 39	91.37 ± 1.87	730 ± 170
THK44	24-30	11 พ.ค. 39	111.53 ± 2.09	-
THK45	12-18	26 พ.ย. 39	104.40 ± 2.09	-
	31-37			
THK46	37-40	26 พ.ย. 38	75.97 ± 1.79	$2,210 \pm 190$
THK47	31-37	28 พ.ย. 38	63.39 ± 1.66	$3,660 \pm 210$
THK48	18-24	28 พ.ย. 38	60.60 ± 1.57	$4,042 \pm 210$
THK49	24-30	16 ก.พ. 39	84.59 ± 2.50	$1,340 \pm 240$
THK50	24-30	18 ก.พ. 39	71.83 ± 1.73	$2,660 \pm 200$
THK51	-	14 พ.ค. 39	62.91 ± 1.75	$3,720 \pm 230$
THK52	-	15 พ.ค. 39	101.92 ± 2.02	-
AC01	26	23 ก.พ. 39	111.90 ± 2.09	-
AC02	29-35	23 ก.พ. 39	112.46 ± 2.08	-
AC03	12-18	23 ก.พ. 39	72.49 ± 1.69	$2,580 \pm 190$
AC04	36-42	23 ก.พ. 39	69.55 ± 1.70	$2,920 \pm 200$
AC05	40-46	27 ก.พ. 39	83.58 ± 1.82	$1,440 \pm 188$
AC06	18-24	27 ก.พ. 39	95.31 ± 1.90	390 ± 160
AC11	12-18	27 ก.พ. 39	109.85 ± 2.10	-

หมายเหตุ:

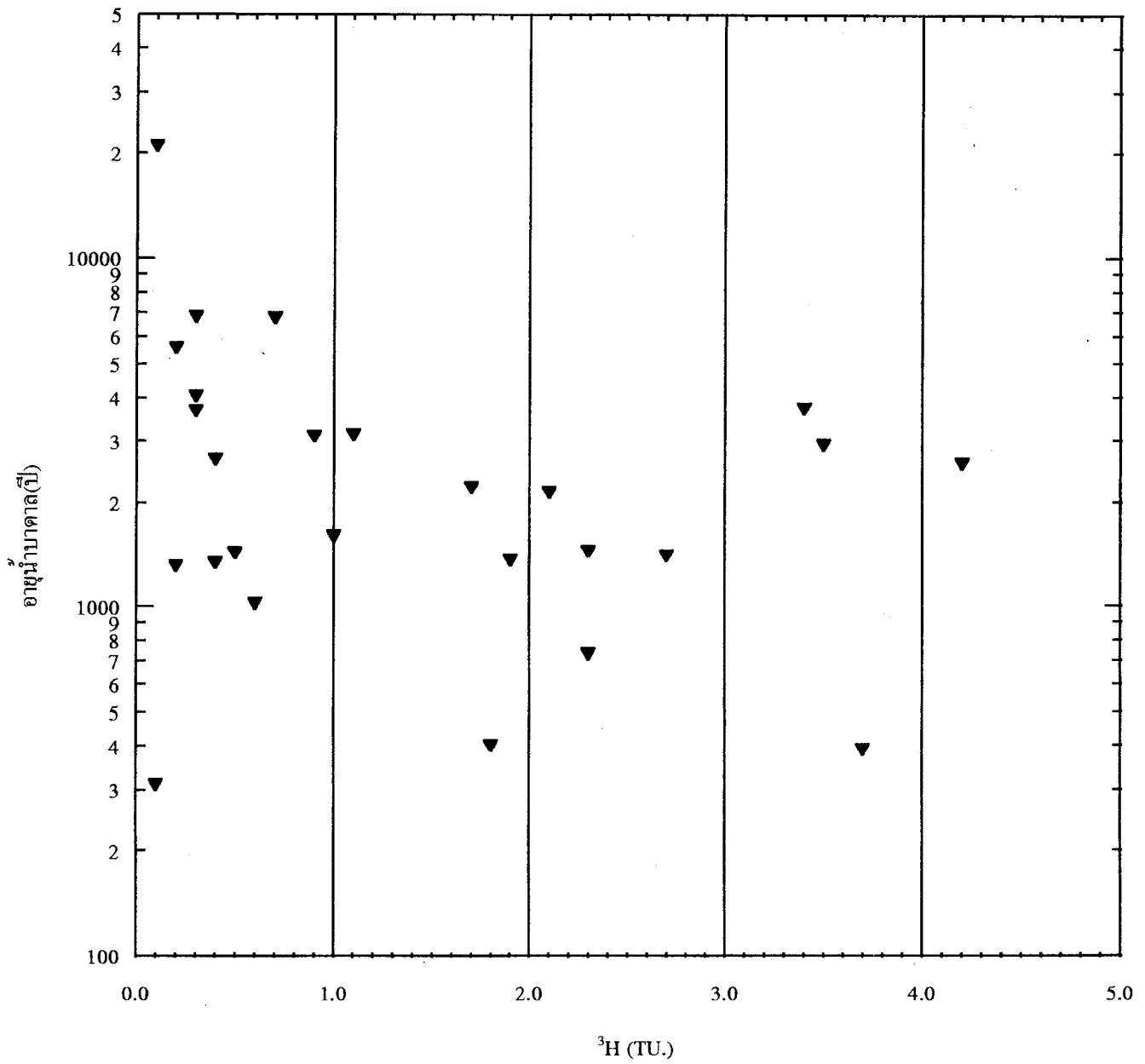
$\delta^{13}\text{C}$ ที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าประมาณ โดยกำหนดให้

$\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่างคาร์บอนไดออกไซด์จากน้ำมีค่าเท่ากับ -12.00 ± 2

$\delta^{13}\text{C}$ ของสารมาตรฐาน ANU SUCROSE มีค่าเท่ากับ -11.00 ± 2



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ $\delta^{14}\text{C}$ (pme) กับความลึกของชั้นน้ำบาดาล



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุน้ำบาดาลกับปริมาณ ^3H

ตารางที่ 5.6 เปอร์เซนต์คาร์บอน - 14 และอายุน้ำบาดาลที่ได้จากการคำนวณและปริมาณ ^3H

หมายเลขตัวอย่าง	ระยะท่อกรอง (ม)	ปริมาณ ^3H (TU.)	$\delta^{14}\text{C}$ (pmc)	อายุที่ได้จากการคำนวณ (Years in BP)
THK01	203-233.5	0.1 ± 0.2	7.34 ± 1.18	20980 ± 1400
THK 03	30-40	0.2 ± 0.0	84.9 ± 2.04	$1,310 \pm 200$
	60-78			
THK 04	28-34	3.7 ± 0.1	100.14 ± 2.22	-
THK06	30-36	3.5 ± 0.1	103.92 ± 2.26	-
THK07	40-44	1.0 ± 0.1	81.92 ± 1.98	$1,600 \pm 200$
THK09	36-48	0.7 ± 0.1	43.04 ± 1.63	$6,770 \pm 310$
THK11	9-15	4.1 ± 0.3	124.58 ± 2.47	-
THK12	36-42	3.2 ± 0.1	134.87 ± 2.54	-
THK13	30-36	0.3 ± 0.1	42.77 ± 1.63	$6,820 \pm 310$
THK14	18-24	3.2 ± 0.1	124.84 ± 2.61	-
	30-27			
THK16	37-43	1.9 ± 0.1	84.44 ± 1.95	$1,360 \pm 190$
THK19	24-27	0.5 ± 0.1	83.71 ± 2.02	$1,430 \pm 200$
THK21	27-36	0.6 ± 0.1	88.06 ± 2.06	$1,020 \pm 190$
	45-50			
	55-63			
	69-77			
	82-90			
	97-103			
THK22	21-32	2.9 ± 0.1	118.50 ± 2.25	-
THK23	21-27	2.1 ± 0.1	76.63 ± 1.77	$2,140 \pm 190$
THK24	-		81.85 ± 1.78	$1,610 \pm 180$
THK25	24-30	2.7 ± 0.1	84.05 ± 1.82	$1,400 \pm 180$
	36-42			
THK26	30-36	0.9 ± 0.1	68.01 ± 2.57	$3,100 \pm 310$
THK27	12-15	3.3 ± 0.1	117.17 ± 2.16	-
THK28	24-30	0.1 ± 0.1	96.22 ± 2.09	310 ± 180
THK29	30-44	1.1 ± 0.1	67.75 ± 1.70	$3,130 \pm 200$
THK30	18-34	4.1 ± 0.1	119.54 ± 2018	-

ตารางที่ 5.6 เปอร์เซนต์คาร์บอน - 14 และอายุน้ำบาดาลที่ได้จากการคำนวณและปริมาณ ^3H

หมายเลขตัวอย่าง	ระยะที่กรอง (ม)	ปริมาณ ^3H (TU.)	$\delta^{14}\text{C}$ (pmc)	อายุที่ได้จากการคำนวณ (Years in BP)
THK33	12-18	3.5 ± 0.1	112.57 ± 2.11	-
THK34	12-18	2.9 ± 0.1	130.95 ± 1.97	-
THK37	24-30	1.8 ± 0.1	95.13 ± 1.93	400 ± 160
THK38	31-37	0.2 ± 0.1	50.07 ± 1.69	$5,560 \pm 280$
	43-49			
THK40	12-18	3.1 ± 0.1	112.18 ± 2.29	-
	27-33			
THK42	42-48	1.5 ± 0.1	109.80 ± 2.08	-
THK43	9-21	2.3 ± 0.1	91.37 ± 1.87	730 ± 170
THK44	24-30	2.7 ± 0.1	111.53 ± 2.09	-
THK45	12-18	2.4 ± 0.1	104.40 ± 2.09	-
	31-37			
THK46	37-40	1.7 ± 0.2	75.97 ± 1.79	$2,210 \pm 190$
THK47	31-37	0.3 ± 0.1	63.39 ± 1.66	$3,660 \pm 210$
THK48	18-24	0.3 ± 0.1	60.60 ± 1.57	$4,042 \pm 210$
THK49	24-30	0.4 ± 0.1	84.59 ± 2.50	$1,340 \pm 240$
THK50	24-30		71.83 ± 1.73	$2,660 \pm 200$
THK51	-	3.4 ± 0.3	62.91 ± 1.75	$3,720 \pm 230$
THK52	-	1.8 ± 0.3	101.92 ± 2.02	-
AC01	26	4.0 ± 0.3	111.90 ± 2.09	-
AC02	29-35	3.3 ± 0.3	112.46 ± 2.08	-
AC03	12-18	4.3 ± 0.3	72.49 ± 1.69	$2,580 \pm 190$
AC04	36-42	3.5 ± 0.4	69.55 ± 1.70	$2,920 \pm 200$
AC05	40-46	2.3 ± 0.3	83.58 ± 1.82	$1,440 \pm 188$
AC06	18-24	3.7 ± 0.4	95.31 ± 1.90	390 ± 160
AC11	12-18	3.9 ± 0.4	109.85 ± 2.10	-

หมายเหตุ:

$\delta^{13}\text{C}$ ที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าประมาณ โดยกำหนดให้

$\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่างคาร์บอนตจากน้ำมีค่าเท่ากับ -12.00 ± 2

$\delta^{13}\text{C}$ ของสารมาตรฐาน ANU SUCROSE มีค่าเท่ากับ -11.00 ± 2

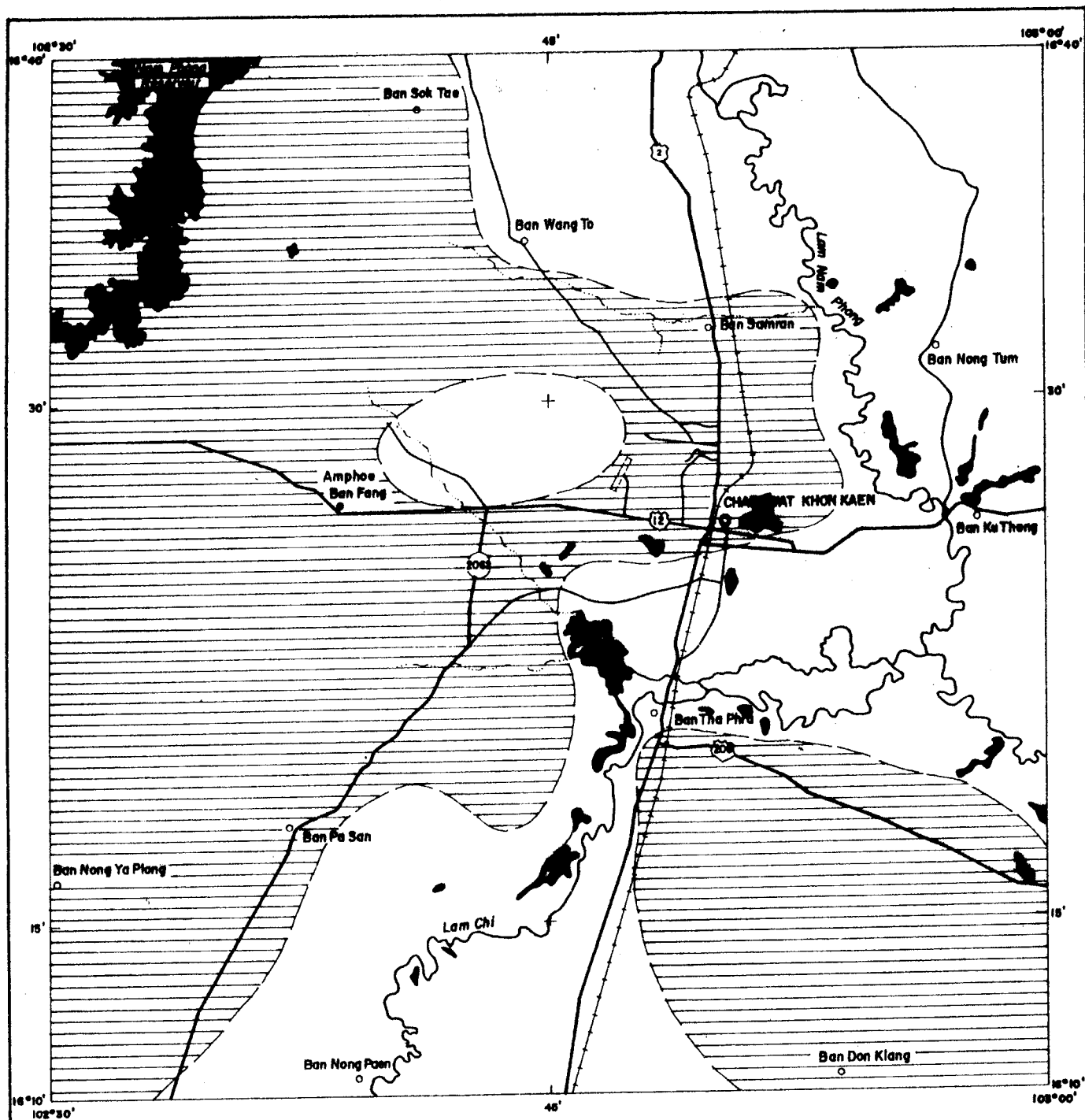
5.5 ระบบการไหลของน้ำบาดาล

จากผลการศึกษาเกี่ยวกับอุทกธรณีวิทยา และไอโซโทปเทคนิคของพื้นที่ศึกษาแล้วสามารถสรุประบบการไหลของน้ำบาดาลได้ ดังรูปที่ 5.11

จากรูปจะพบว่าพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ประมาณ ร้อยละ 60 จะเป็นพื้นที่น้ำไหลเข้า หรือ พื้นที่เพิ่มเติม (recharged area) ซึ่งจะอยู่ด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาเป็นส่วนใหญ่ และมีพื้นที่ด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นพื้นที่ของชั้นหินอุ้มน้ำกู่ทอก ส่วนพื้นที่น้ำไหลออก (discharged area) มีประมาณร้อยละ 40 ซึ่งอยู่ตามแนวของแม่น้ำชีและแม่น้ำพอง และเป็นจุดๆหนึ่งด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือเมืองขอนแก่น

อนึ่ง บริเวณชั้นหินอุ้มน้ำกู่ทอก ซึ่งเป็นบริเวณที่ให้น้ำที่ดี และมีปริมาณมาก จะพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 70 เป็นพื้นที่ซึ่งน้ำไหลเข้า ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าพื้นที่ดังกล่าวมีการประกอบเกษตรกรรม ปลูกพืชไร่เป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง ไม้ผล และป่าไม้เสื่อมโทรม ซึ่งถือว่าพื้นที่ดังกล่าวค่อนข้างปลอดภัยจากการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลจากอุตสาหกรรมมีเฉพาะการเกษตรกรรมเท่านั้นที่จะมีโอกาสทำให้เกิดมลภาวะในชั้นน้ำบาดาลขึ้น ซึ่งตัวชี้ที่เด่นชัด ได้แก่ ปริมาณไนเตรทในน้ำบาดาลของบริเวณดังกล่าว และพื้นที่อื่นๆมีปริมาณสูงกว่าปกติ

จากการศึกษาครั้งนี้ ยังสามารถแยกชั้นน้ำบาดาลได้เป็นสามชั้น กล่าวคือ ชั้นน้ำบาดาลระดับบน ซึ่งเป็นชั้นน้ำที่มีอายุน้อยชั้นแรก มีความลึกประมาณ 15-50 เมตร และชั้นที่สองมีความลึก 50-150 เมตร และชั้นน้ำบาดาลระดับล่าง มีความลึกมากกว่า 150 เมตร ซึ่งพบบริเวณชั้นหินอุ้มน้ำกู่ทอก ซึ่งเป็นน้ำที่มีอายุมาก



SYMBOLS

- | | |
|-------------------------|---------------|
| ○ Ban (Village) | — Road |
| ● Amphoe (District) | —+—+— Railway |
| ◎ Changwat (Province) | — River |
| ● Reservoir | |
| ▨ Recharge Area | |
| □ Discharge Area | |

0 5 10 Km

SCALE

รูปที่ 5.11 ระบบการไหลของน้ำบาดาล