

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในน้ำบาดาลตามธรรมชาตินั้นจะมีแร่ธาตุ และธาตุต่างๆที่ถูกชะล้างละลายปะปนอยู่ด้วย ดังนั้นเมื่อน้ำบาดาลถูกสูบขึ้นมาใช้ในชีวิตประจำวัน จะมีธาตุแร่ธาตุติดตามมากับน้ำบาดาลขึ้นมาด้วย

ในการศึกษานี้ ได้วิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุในรูปความแรงจำเพาะของแร่ธาตุในตัวอย่งน้ำบาดาลในพื้นที่ที่มีศักยภาพแหล่งแร่ยูเรเนียมในบางพื้นที่ของจังหวัดขอนแก่น และ จังหวัดอุทัยธานี และได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแร่ธาตุกับองค์ประกอบทางเคมีในน้ำ ซึ่งผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

##### 5.1.1 ความแรงรังสีจำเพาะของแร่ธาตุ

###### • ตัวอย่างน้ำบาดาลจังหวัดขอนแก่น

ได้ทำการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะในตัวอย่งน้ำบาดาล ที่เก็บจากระบบประปาหมู่บ้านในบริเวณอำเภอภูเวียงและใกล้เคียง ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 20 ตัวอย่าง โดยใน จ.ขอนแก่นมีการชักตัวอย่างที่จุดเก็บน้ำก่อนเข้าระบบกรองและหลังผ่านระบบการกรองน้ำ แบ่งเป็นตัวอย่างน้ำที่เก็บหลังผ่านระบบกรอง 10 แหล่ง เก็บก่อนเข้าระบบกรอง 4 แหล่ง เก็บโดยตรงจากบ่อปั้มโยก 4 แหล่ง และ ไม่มีระบบกรอง 2 แหล่ง ผลจากการเปรียบเทียบค่าพบว่าธาตุในตัวอย่งน้ำบาดาลที่มีปริมาณความเข้มข้นลดลงเมื่อผ่านเข้าสู่ระบบกรองแล้ว ได้แก่ เรดอน-222, แร่ธาตุ-226, แร่ธาตุ-228, คลอไรด์, และเหล็ก ส่วนค่าของความนำไฟฟ้า, แคลเซียม, ความกระด้าง และแบเรียม พบว่ามีปริมาณความเข้มข้นที่ไม่เปลี่ยนแปลง

ผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของแร่ธาตุ-226 และ แร่ธาตุ-228 อยู่ในช่วง 0.020-1.410 พิกโคคูรีต่อลิตร และ 0.285-2.055 พิกโคคูรีต่อลิตร ตามลำดับ โดยตัวอย่างที่มีความแรงสูงสุดอยู่ที่ บ้านสุขสมบูรณ์ หมู่ 13 ตำบลนาจาน อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น พบว่ามีแร่ธาตุ-226 และ แร่ธาตุ-228 อยู่ในช่วง 1.410 และ 2.040 พิกโคคูรีต่อลิตร ซึ่งค่าปกติของความแรงรังสีจำเพาะของแร่ธาตุ-226 และแร่ธาตุ-228 ที่พบอยู่ในน้ำบาดาลทั่วไปจะอยู่ในช่วง  $2.0 \times 10^{-3}$ - $1.5 \times 10^{-3}$  พิกโคคูรีต่อลิตร และ 0.41-5.7 พิกโคคูรีต่อลิตร ตามลำดับ ในด้านความปลอดภัยจากตารางที่ 2.4 ในจังหวัดขอนแก่นไม่พบว่ามีค่าเกินเกณฑ์ที่กำหนด

- ตัวอย่างน้ำบาดาลจังหวัดอุทัยธานี

ได้ทำการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะในตัวอย่างน้ำบาดาล ที่เก็บจากระบบประปาหมู่บ้านในบริเวณอำเภอภูเวียงและใกล้เคียง ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 20 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างน้ำทั้งหมดเก็บก่อนผ่านเข้าระบบกรอง

ผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 อยู่ในช่วง 0.100-4.805 พิคโคคูรีต่อลิตร และ 0.045-32.365 พิคโคคูรีต่อลิตร ตามลำดับ ตัวอย่างที่มีความแรงรังสีจำเพาะเรเดียมรวมสูงสุดที่โครงการประปาขนาดย่อม หมู่ 4 ตำบลลานสัก อำเภอลานสัก จังหวัดอุทัยธานี โดยมีปริมาณเรเดียม-228 ที่พบว่าสูงถึง 32.365 พิคโคคูรีต่อลิตร ซึ่งมากกว่าปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำที่เก็บจากจุดเดียวกันถึงประมาณ 7 เท่า ซึ่งสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสำรวจโดยกรมทรัพยากรธรณี ที่ระบุว่า พื้นที่บริเวณภาคตะวันตกของประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นแหล่งแร่ทอเรียม ซึ่งเป็นธาตุต้นกำเนิดอนุกรมที่สลายตัวให้เรเดียม-228 ซึ่งบริเวณพื้นที่ศึกษาอยู่ในจังหวัดอุทัยธานี และเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพทอเรียมในหินแกรนิต

#### 5.1.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณเรเดียมกับองค์ประกอบทางเคมี

ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณเรเดียมในตัวอย่างน้ำบาดาล ที่เก็บจากทุกพื้นที่กับความกระด้าง แคลเซียม คลอไรด์ เหล็ก และแบเรียม พบว่าค่าปริมาณเรเดียมรวมมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณของคลอไรด์และเหล็ก และไม่พบความสัมพันธ์กับความกระด้างของน้ำ แคลเซียม และแบเรียม ส่วนเหล็กพบว่ามีความสัมพันธ์ในจังหวัดขอนแก่น

- แยกตามกลุ่มของพื้นที่ศึกษาใน จ.ขอนแก่น

ความสัมพันธ์กับแคลเซียม พบว่า น้ำที่เก็บจากบ่อบาดาลของอำเภอภูเวียง (PW01-PW13) มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เป็นลบ และมีขนาดใหญ่ จึงมีความสัมพันธ์กันมาก ส่วนน้ำตัวอย่างที่เก็บจากบ่อบาดาลของอำเภอชุมแพและสีชมพู (PW14-20) ซึ่งอยู่ด้านหลังของอุทยานแห่งชาติภูเวียง มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นบวก แต่ความสัมพันธ์มีลักษณะปานกลาง

ความสัมพันธ์กับธาตุคลอไรด์ พบว่า ตัวอย่างน้ำที่เก็บมาจากทุกบ่อมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะเรเดียมกับปริมาณธาตุคลอไรด์มีแนวโน้มเป็นบวกทั้งสามพื้นที่ โดยตัวอย่างน้ำจากบริเวณอุทยานแห่งชาติภูเวียงมีขนาดความสัมพันธ์ลักษณะปานกลาง ในขณะที่ตัวอย่างน้ำที่เก็บจากที่อื่นของอำเภอภูเวียง และ อำเภอชุมแพและสีชมพูมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ขนาดใหญ่

ความสัมพันธ์กับธาตุเหล็ก พบว่า ตัวอย่างน้ำทุกกลุ่มพื้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไปในทางบวก โดยตัวอย่างที่เก็บมาจากบริเวณอุทยานแห่งชาติภูเวียงอำเภอภูเวียง มีความสัมพันธ์ของปริมาณเรเดียมกับปริมาณเหล็กมากกว่าน้ำตัวอย่างของอำเภอชุมแพและอำเภอสีชมพู

ความสัมพันธ์กับธาตุแบเรียมใน 3 พื้นที่ศึกษา มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แตกต่างกัน โดยน้ำที่เก็บจาก บริเวณอุทยานแห่งชาติภูเวียงมีความสัมพันธ์ที่เป็นบวกและมีความสัมพันธ์กันมากกว่า น้ำที่เก็บจากอีก 2 พื้นที่ ที่มีความสัมพันธ์ในทางลบ

- แยกตามกลุ่มของพื้นที่ศึกษาใน จ.อุทัยธานี

ความสัมพันธ์ของปริมาณเรเดียมในตัวอย่งน้ำบาดาลกับธาตุแคลเซียมน้ำตัวอย่างที่เก็บจาก อำเภอบ้านไร่ มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นลบ คือเมื่อค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมเพิ่มขึ้นปริมาณแคลเซียมจะลดลง ส่วนน้ำตัวอย่างที่เก็บมาจากอำเภอลานสัก พบว่ามีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีเป็นบวก คือเมื่อค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมเพิ่มขึ้นปริมาณธาตุแคลเซียมเพิ่มขึ้นด้วย และมีความสัมพันธ์กันมาก

ความสัมพันธ์ธาตุคลอไรด์พบว่าในน้ำบาดาลที่เก็บมาจากอำเภอบ้านไร่ ทั้งสองพื้นที่ศึกษามีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตรงข้ามกันคือกลุ่มพื้นที่ A-1 มีแนวโน้มเป็นลบและมีขนาดเล็ก ส่วนพื้นที่ A-2 พบว่าแนวโน้มเป็นบวกและมีขนาดใหญ่ ส่วนความสัมพันธ์ของปริมาณเรเดียมและคลอไรด์ในน้ำที่เก็บมาจากอำเภอลานสัก แนวโน้มเป็นลบและมีขนาดปานกลาง

ความสัมพันธ์กับธาตุเหล็กพบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของทั้ง 3 พื้นที่ มีค่าเป็นบวก และมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มพื้นที่ A-3 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใหญ่ที่สุด รองลงมาคือกลุ่มพื้นที่ A-2 และเล็กที่สุดกลุ่มพื้นที่ A-1

ความสัมพันธ์กับธาตุแบเรียม โดยทั้ง 3 พื้นที่ พบว่ามีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน คือในพื้นที่อำเภอบ้านไร่ มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไปในทางบวก โดยพื้นที่ A-1 มีขนาดใหญ่มีความสัมพันธ์กันมาก ส่วนพื้นที่ A-2 มีขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ส่วนพื้นที่อำเภอลานสักพบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นลบ

- ความสัมพันธ์ของปริมาณธาตุกับระดับความลึก

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมรวมกับธาตุแคลเซียมพบว่าที่ จ.ขอนแก่น และอุทัยธานี ที่ระดับความลึก 40 - 60 เมตร มีค่าแนวโน้มในทางบวก แต่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างน้อย ในขณะที่ความสัมพันธ์ที่ระดับความลึก 20 - 40 เมตร และ 60 เมตรลงไปของทั้งสองจังหวัดมีแนวโน้มไปในทางลบ และมีขนาดของความสัมพันธ์น้อยถึงปานกลาง

ความสัมพันธ์ของปริมาณเรเดียมกับปริมาณคลอไรด์ จ.ขอนแก่น และอุทัยธานี ที่ระดับความลึก 20 - 40 เมตร และ 40 - 60 เมตร พบว่าค่าแนวโน้มไปในทางบวก มีความสัมพันธ์กันปานกลางถึงมาก ในขณะที่ระดับความลึก 60 เมตรลงไป จังหวัดขอนแก่นมีแนวโน้มไปในทางลบ มีความสัมพันธ์กันน้อย แต่จังหวัดอุทัยธานีมีแนวโน้มไปในทางบวกและมีความสัมพันธ์กันน้อย

ความสัมพันธ์ของปริมาณเรเดียมกับปริมาณเหล็ก จ.ขอนแก่น และอุทัยธานี ที่ระดับความลึก 20 – 40 เมตร และ 40 – 60 เมตร พบว่าจังหวัดขอนแก่นค่าแนวโน้มไปในทางบวก และในจังหวัดอุทัยธานีที่ระดับความลึก 20 – 40 เมตรไม่มีความสัมพันธ์กัน ส่วนในระดับความลึก 40 – 60 เมตรพบว่ามีความสัมพันธ์กันน้อย และที่ความสัมพันธ์ในระดับความลึก 60 เมตรลงไปพบว่าในจังหวัดอุทัยธานีมีแนวโน้มไปในทางลบมีความสัมพันธ์กันมาก และส่วนของจังหวัดขอนแก่นไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

ความสัมพันธ์ของปริมาณเรเดียมกับปริมาณแบเรียมใน จ.ขอนแก่น และอุทัยธานี ที่ระดับความลึก 20 – 40 เมตร และ 40 – 60 เมตร พบว่าค่าแนวโน้มไปในทางบวก แต่มีความสัมพันธ์กันน้อย ในขณะที่ความสัมพันธ์ที่ระดับความลึก 60 เมตรลงไปพบว่าแนวโน้มไปในทางลบ มีความสัมพันธ์กันปานกลาง

### 5.1.3 ในด้านความปลอดภัย

จากตารางที่ 2.4 ในจังหวัดขอนแก่นทำการเก็บตัวอย่างแบบคละกันทั้งน้ำที่ผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดและน้ำที่ยังไม่ผ่านเข้าสู่ระบบบำบัด ผลที่ได้ไม่พบว่ามีค่าความแรงรังสีเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่วนในจังหวัดอุทัยธานี ทุกตัวอย่างได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนที่จะผ่านเข้าสู่ระบบบำบัด ผลที่ได้พบว่ามีจำนวน 4 บ่อที่มีค่าความแรงรังสีเรเดียม-226 และเรเดียม-228 รวมสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่บ่อ UT-10, UT-14, UT-17 และ UT-19 มีค่าความแรงรังสีเรเดียมรวมเท่ากับ 11.765 พิคโคคูรีต่อลิตร (0.435 เบคเคอเรลต่อลิตร), 8.285 พิคโคคูรีต่อลิตร (0.307 เบคเคอเรลต่อลิตร), 7.958 พิคโคคูรีต่อลิตร (0.296 เบคเคอเรลต่อลิตร) และ 37.17 พิคโคคูรีต่อลิตร (1.376 เบคเคอเรลต่อลิตร) ตามลำดับ ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานการปนเปื้อนธาตุกัมมันตรังสีในน้ำ ได้กำหนดค่าสูงสุดในการปนเปื้อนไว้ไม่ควรเกิน 5 พิคโคคูรีต่อลิตร (0.185 เบคเคอเรลต่อลิตร) อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างน้ำที่ตรวจวัดนั้นเป็นตัวอย่างน้ำที่ทำการเก็บก่อนที่จะผ่านเข้าสู่ระบบบำบัด

ในการศึกษาน้ำได้ทำการวิเคราะห์ค่าเรดอนด้วย จากการวิจัยพบว่า ในหลายบ่อมีค่ามากกว่าที่เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ในตารางที่ 2.4 ซึ่งมาตรฐานค่า MCL (Maximum Contamination Level) กำหนดให้มีปริมาณก๊าซเรดอนในน้ำดื่มไม่เกิน 300 พิคโคคูรีต่อลิตร (666 dpmต่อลิตร) ในจังหวัดขอนแก่น พบว่า มีจำนวน 5 บ่อ โดย 4 บ่ออยู่ใน อ.ภูเวียง ที่เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าระบบกรอง ได้แก่ รหัสบ่อ pw04, pw06, pw11 และ pw12 มีค่าเรดอน-222 เท่ากับ 844 dpm/L, 1023 dpm/L, 882 dpm/L, 762 dpm/L และ 1 บ่ออยู่ใน อ.ชุมแพร ได้แก่ รหัสบ่อ pw15 เป็นตัวอย่างน้ำที่ผ่านระบบกรองแต่มีค่าเรดอนสูงมากเท่ากับ 1000 dpm/L

ส่วนในจังหวัดอุทัยธานีซึ่งนำตัวอย่างเก็บก่อนทำการบำบัด พบว่ามีจำนวน 12 บ่อที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดย 7 บ่ออยู่ใน อ.บ้านไร่ ได้แก่รหัสบ่อ UT-01, UT-05, UT-07, UT-08, UT-09,



UT-13, และ UT-20 มีค่าเรดอน-222 เท่ากับ 840 dpm/L, 2643 dpm dpm/L, 1418 dpm/L, 779 dpm/L, 1617 dpm/L, 1813 dpm/L และ 933 dpm/L ตามลำดับ และมี 5 บ่อ (จากที่เก็บ 6 บ่อ) อยู่ใน อ.ลานสัก ได้แก่ห้วยบ่อ UT-14, UT-15, UT-16, UT-17, UT-18 มีค่าเรดอน-222 เท่ากับ 1482 dpm/L 781 dpm/L, 2673 dpm/L, 2317 dpm/L และ 1122 dpm/L ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างน้ำที่ตรวจวัดนั้นเป็นตัวอย่างน้ำที่ทำการเก็บก่อนที่จะผ่านเข้าสู่ระบบบำบัด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในด้านความปลอดภัยน้ำบาดาลที่นำมาใช้อุปโภคบริโภค ควรที่จะผ่านการกรอง หรือผ่านกระบวนการบำบัด กรณีของเรเดียมจากรูปที่ 4.1 เปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นรวมของธาตุแต่ละตัวในน้ำ ระหว่างน้ำที่ผ่านระบบกรองกับน้ำที่ไม่ผ่านระบบกรอง จะพบว่าน้ำบาดาลที่ผ่านระบบกรองจะมีค่าความแรงรังสีของเรเดียมต่ำกว่าน้ำบาดาลที่ไม่ผ่านระบบกรอง เนื่องจากเรเดียม จะถูกบำบัดอยู่ในตะกอนกรอง และกรณีของเรดอนถ้าบ่อบาดาลใดที่มีปริมาณเรดอนสูง ควรที่จะมีถังพักน้ำเพื่อที่จะทิ้งเวลาการใช้น้ำไว้ เพื่อให้เรดอนฟุ้งกระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม

5.2.2 ในการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจากในพื้นที่ที่ทำการศึกษา บางพื้นที่จะมีการต่อน้ำเข้าสู่ถังพัก โดยไม่มีท่อเก็บน้ำตัวอย่างก่อนเข้าถึง

กรณีการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวัดค่าปริมาณก๊าซเรดอน ขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลนั้น ควรจะให้น้ำตัวอย่างจากในหลุมบาดาลถูกสูบขึ้นมาเติมในท่อน้ำ เพราะก๊าซเรดอนที่ละลายอยู่ในน้ำ จะมีการสูญเสียไปเนื่องจากการกระจายตัวสู่บรรยากาศได้ง่าย ดังนั้นการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจะควรจะให้เก็บจากแหล่งโดยตรง และให้มีการสัมผัสกับอากาศน้อยที่สุด

ถ้าเป็นการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม ควรเก็บทั้งก่อนการบำบัด และหลังการบำบัดเพื่อจะได้ประเมินค่าได้ถูกต้อง

### 5.2.3 การศึกษาเพิ่มเติมเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ประเมินค่าได้ถูกต้อง

ควรจะมีการศึกษาชั้นหินชั้นดินในพื้นที่ประกอบด้วย เนื่องจากชั้นดินชั้นหินที่ระดับความลึกต่างๆ กัน น่าจะมีผลกับความสัมพันธ์ของปริมาณเรเดียมกับปริมาณธาตุต่างๆ

ควรที่จะทำการศึกษา และประเมินผลความเสี่ยง และการสะสมตัวของธาตุกัมมันตรังสีจากการได้รับธาตุกัมมันตรังสี เนื่องจากการบริโภคน้ำที่มีปริมาณเรเดียมและเรดอนสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้เป็นประจำ โดยควรที่จะทำการศึกษา เก็บตัวอย่าง และข้อมูลให้มากขึ้นโดยในพื้นที่ที่พบว่ามีความเรเดียมและเรดอนสูง