# คุณภาพน้ำของลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำป่าสัก พื้นที่อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

ดร.ศีลาวุธ ดำรงศิริ*

น้ำเป็นปัจจัยพื้นฐานของทุก ๆ ชีวิต และทุก ๆ กิจกรรมของมนุษย์ ทรัพยากรน้ำจึงเป็นทรัพยากรพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อความเป็นอยู่และความอยู่รอดของประชาชนในทุก ๆ พื้นที่ อย่างไรก็ตาม ผลจากการศึกษาต่าง ๆ ล้วนแสดงให้เห็นว่า ในอนาคตมีแนวโน้มที่ปัญหาการขาดแคลนน้ำจะกลายเป็นปัญหาสำคัญที่จะทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งมีสาเหตุจากความต้องการที่เพิ่มมากขึ้น และความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ รวมถึงปัญหาน้ำเน่าเสีย อันเป็นหนึ่งในปัญหาหลักในด้านทรัพยากรน้ำของประเทศ (กรมทรัพยากรน้ำ, 2556) ทั้งนี้ นอกจากความขาดแคลนในด้านของปริมาณน้ำแล้ว คุณภาพของน้ำที่เสื่อมลงจนไม่อาจนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม ยิ่งทำให้ปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคยิ่งทวีความรุนแรง สวนทางกับความต้องการน้ำที่สะอาด มีคุณภาพที่ดี ที่กลับมีเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง พื้นฐานของปัญหาด้านคุณภาพน้ำมักเกิดจากการที่แหล่งน้ำทั้งตามธรรมชาติ และแหล่งกักเก็บน้ำที่ได้สร้างไว้ไม่ได้รับการดูแลเอาใจใส่ หรือถูกบุกรุกครอบครอง และยังได้รับมลสารจากการพัฒนาด้านอุตสาหกรรม สารเคมีจากภาคการเกษตร หรือแม้แต่สิ่งสกปรกจากชุมชนที่มักปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำต่าง ๆ (กรมทรัพยากรน้ำ, 2556) จนส่งผลเสียต่อความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ การเกษตร และการอุปโภคบริโภค

* สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ตระหนักเห็นถึงความสำคัญของการสร้างความเข้มแข็งให้แก่ชุมชนอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในการพัฒนาพื้นที่ศึกษาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในเขตอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี จึงได้สนับสนุนให้เกิดการศึกษาและส่งเสริมให้เกิดการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสมต่อการอุปโภคบริโภค และเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญปัญหาหนึ่งที่ชุมชนกำลังประสบอยู่ และมีความต้องการให้ปัญหานี้ได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556)

การศึกษาครั้งนี้เป็นความร่วมมือระหว่างนักวิชาการของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและบุคลากรของกรมชลประทาน และกรมทรัพยากรน้ำบาดาลโดยใช้พื้นที่ตำบลตาลเดี่ยว ตำบลห้วยแห้ง และตำบลชำผักแพว อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี เป็นพื้นที่โครงการนำร่องเพื่อสำรวจและรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านกายภาพ สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในด้านคุณภาพน้ำ ศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของทรัพยากรน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน รวมถึงสาเหตุ หรือแหล่งที่มาของมลพิษที่ตรวจพบ

**ลักษณะและภาพรวมของพื้นที่ และการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**

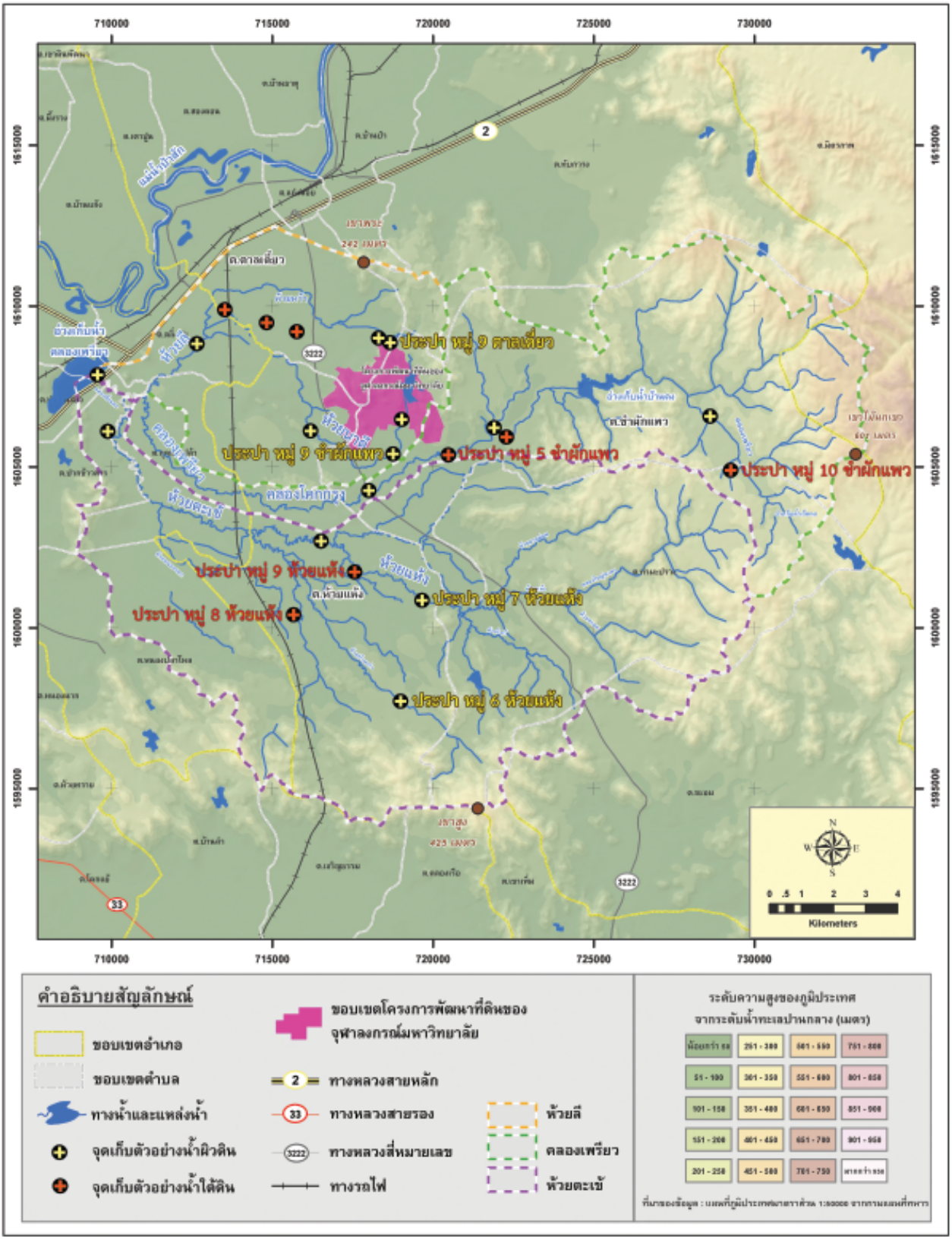
ประชากรที่อาศัยอยู่ในตำบลตาลเดี่ยว ตำบลห้วยแห้ง และตำบลชำผักแพว อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ได้มีการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำที่อยู่ในพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อยทั้ง 3 ได้แก่ ลุ่มน้ำห้วยลี ลุ่มน้ำคลองเพรียว และลุ่มน้ำห้วยตะเข้ ซึ่งลุ่มน้ำทั้ง 3 จะไหลมารวมกัน และถูกกักไว้ที่อ่างเก็บน้ำคลองเพรียวซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกไม่ไกลจากพื้นที่ศึกษาก่อนที่จะไหลไปบรรจบกับแม่น้ำป่าสัก

รูปที่ 1 แสดงขอบเขตลุ่มน้ำ ลำน้ำ และลำคลองสายหลักของลุ่มน้ำต่าง ๆ ในพื้นที่ ซึ่งจะถูกปิดกั้นด้วยฝายเป็นระยะเพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ รวมถึงการใช้เป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับน้ำประปาด้วย ทั้งนี้ ลำน้ำและหน้าฝายในบางจุดจะมีวัชพืชปกคลุมเป็นจำนวนมาก

ปัจจุบัน ภาคเกษตรกรรมเป็นเพียงกิจกรรมหลักเพียงกิจกรรมเดียวที่ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำผิวดินโดยตรง ส่วนประชาชนในพื้นที่จะใช้น้ำจากระบบน้ำประปาในการอุปโภคบริโภค ระบบประปาส่วนใหญ่อยู่ภายใต้การดูแลบำรุงรักษาโดยหมู่บ้านเอง และบางส่วนดูแลโดยองค์การบริหารส่วนตำบลในพื้นที่ ซึ่งน้ำประปาเหล่านี้ใช้น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินในระดับลึกเป็นแหล่งน้ำดิบ อย่างไรก็ตามเนื่องจากปริมาณน้ำประปาที่ไม่เพียงพอ ดังนั้นในบางพื้นที่จึงยังมีการขุดน้ำใต้ดินในระดับตื้นขึ้นมาใช้ประโยชน์ และจากการสำรวจพบว่าประชาชนส่วนมากไม่ได้บริโภคน้ำประปา เนื่องจากคุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสมต่อการบริโภค มีสี กลิ่นหรือรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ ประชาชนในพื้นที่จึงใช้น้ำเพื่อการบริโภคจากตู้ผลิตน้ำที่จัดตั้งขึ้นในชุมชนแทน

คณะผู้วิจัยได้แบ่งประเภทของน้ำเพื่อการสำรวจออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำประปา และได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยอาศัยระบบภูมิสารสนเทศ (GIS) และการสำรวจภาคสนาม โดยพิจารณาจากลักษณะความเป็นต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ และความเป็นตัวแทนที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ 3 ตำบล โดยได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง ดังนี้

- จุดเก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน 14 จุด อยู่ในลุ่มน้ำคลองเพรียว 3 จุด ห้วยตะเข้ 4 จุด และ ห้วยลี 6 จุด ซึ่งอยู่ในแนวลำคลองสายหลักต่าง ๆ และ บ่อ หรืออ่างเก็บน้ำที่เป็นแหล่งน้ำดิบของระบบประปาหมู่บ้าน และอีก 1 จุด ที่จุดรวมของ 3 ลุ่มน้ำ คือ อ่างเก็บน้ำคลองเพรียว (ลักษณะพื้นที่ดังรูปที่ 2–รูปที่ 5)
- จุดเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน 8 จุด แบ่งเป็นระดับลึกซึ่งได้จากหอแท็งค์น้ำต่าง ๆ 6 จุด (ลักษณะหอแท้งค์น้ำดังรูปที่ 6 และ 7) และ ระดับตื้น 2 จุด
- จุดเก็บน้ำประปา 8 จุด (ลักษณะโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำดังรูปที่ 8 และ 9) แบ่งเป็นน้ำประปาจากแหล่งน้ำผิวดิน 4 จุด จาก 4 หมู่บ้าน (หมู่ 6 และหมู่ 7 ตำบลห้วยแห้ง หมู่ 9 ตำบลชำผักแพว และหมู่ 9 ตำบลตาลเดี่ยว) และ น้ำประปาจากแหล่งน้ำใต้ดิน 4 จุด จาก 4 หมู่บ้าน (หมู่ 5 และหมู่ 10 ตำบลชำผักแพว หมู่ 8 และ หมู่ 9 ตำบลห้วยแห้ง ทั้งนี้ ตำบลตาลเดี่ยวใช้แหล่งน้ำผิวดินทั้งหมดจึงไม่มีตัวอย่างน้ำประปาในส่วนนี้)




**รูปที่ 1** แผนที่แสดงขอบเขตลุ่มน้ำ ลำน้ำ ตำบล และจุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาได้ทำการเก็บตัวอย่างในฤดูร้อน 1 ครั้ง ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2557 เพื่อเป็นตัวแทนของคุณภาพน้ำในช่วงที่มีน้ำน้อย และอาจเกิดการสะสมของสารมลพิษต่าง ๆ ได้ และ ในฤดูฝน 1 ครั้ง ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2557 ซึ่งเป็นตัวแทนช่วงเวลาที่มีน้ำมากรวมถึงอาจมีการชะล้างสิ่งต่าง ๆ ลงสู่แหล่งน้ำ

## ดัชนีคุณภาพน้ำที่ทำการศึกษา

นอกจากการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมแล้ว ประเด็นสำคัญอย่างหนึ่งในการสำรวจคุณภาพน้ำนั้น ก็คือการกำหนดดัชนีคุณภาพน้ำที่จะทำการศึกษา ทั้งนี้ ดัชนีคุณภาพน้ำต่าง ๆ จะสามารถแสดงปริมาณมลสารหรือความสกปรกได้ในตัวเอง และสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงแหล่งที่มาของการปนเปื้อนที่แตกต่างกันได้ อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ การตรวจสอบทุก ๆ ดัชนีคุณภาพน้ำที่ปรากฏในมาตรฐานคุณภาพน้ำประเภทต่าง ๆ นั้น จำเป็นต้องใช้งบประมาณที่สูงมาก ดังนั้นในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำผิวดิน คุณภาพน้ำใต้ดิน รวมถึงคุณภาพน้ำประปาเพื่อประเมินคุณภาพน้ำ และการปนเปื้อนของน้ำจากแหล่งมลพิษต่าง ๆ ในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้พิจารณาตรวจสอบคุณภาพน้ำตามดัชนีต่าง ๆ ที่สำคัญ รวมถึงสามารถบ่งชี้ความเป็นไปได้ในการปนเปื้อนที่สอดคล้องกับสภาพพื้นที่ในปัจจุบัน ซึ่งดัชนีคุณภาพน้ำที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วย อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดและด่าง ค่าความนำไฟฟ้า ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน บีโอดี (BOD 5) ค่าออกซิเจนละลาย แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม ไนเตรต โลหะหนัก และ สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ในกลุ่มออร์กาโนคลอรีน

## เกณฑ์และผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

### 1. เกณฑ์

การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำผิวดินจะประเมินตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) คุณภาพน้ำใต้ดินจะพิจารณาโดยอ้างอิงกับมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) และคุณภาพน้ำประปาจะใช้เกณฑ์ของมาตรฐานคุณภาพน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค

### 2. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

#### 2.1 สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์

สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ที่ได้ศึกษาเป็นกลุ่มออร์กาโนคลอรีนซึ่งตกค้างได้ยาวนาน จึงพิจารณาว่าน่าจะเป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้การปนเปื้อนสารเคมีจากการเกษตรกรรมได้เหมาะสม โดยเป็นดัชนีที่ตรวจวิเคราะห์สำหรับตัวอย่างน้ำผิวดินเท่านั้น ทั้งนี้ จากการสำรวจไม่พบการปนเปื้อนของสารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ในกลุ่มออร์กาโนคลอรีน รวมทั้งสิ้น 15 ชนิด ทั้งในฤดูร้อนและฤดูฝน บ่งชี้ได้ว่าแหล่งน้ำต่าง ๆ น่าจะปลอดภัยจากการปนเปื้อนจากสารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์

#### 2.2 ไนเตรต

ไนเตรต เป็นดัชนีที่ตรวจวัดทั้งในน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำประปา เนื่องจากเป็นมลสารที่มักพบการปนเปื้อนในแหล่งน้ำต่าง ๆ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการประกอบการเกษตรกรรมอันมีสาเหตุมาจากการใช้ปุ๋ยมากเกินควร อย่างไรก็ตาม จากการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมดไม่พบการปนเปื้อนไนเตรตในพื้นที่ศึกษา (น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร) ทั้งในตัวอย่างน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำประปา

**2.3 ออกซิเจนละลาย และบีโอดี**

ออกซิเจนละลาย และบีโอดี เป็นดัชนีที่ตรวจวิเคราะห์สำหรับตัวอย่างน้ำผิวดิน โดยออกซิเจนละลาย หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในแหล่งน้ำในขณะนั้น ส่วนค่าบีโอดี นั้นเป็นปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพในแหล่งน้ำนั้นจะต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในแหล่งน้ำ ดังนั้น บีโอดี จึงเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ในแหล่งน้ำนั้น ๆ ค่าบีโอดีที่มาก ก็หมายถึงมีสารอินทรีย์ที่เน่าเสียได้ปะปนอยู่มาก สำหรับในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ออกซิเจนจากอากาศจะละลายลงสู่แหล่งน้ำผ่านทางผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ เช่น ผิวน้ำหรือฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากคลื่นหรือการกระทบกับโขดหินต่าง ๆ ระหว่างการไหลของน้ำ ในขณะเดียวกันออกซิเจนในน้ำจะถูกใช้โดยจุลชีพในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ซึ่งเมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเพิ่มมากขึ้น อัตราการใช้ออกซิเจนในน้ำก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งหากอัตราการใช้นั้นมีมากกว่าอัตราการละลายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่แหล่งน้ำ ก็จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง และจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำ รวมถึงปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพที่ช้าลงของจุลชีพกลุ่มที่ใช้ออกซิเจน และเมื่อออกซิเจนหมดไปจากน้ำ กลุ่มจุลชีพกลุ่มหลักที่เติบโตอยู่ในน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งมักมีผลิตภัณฑ์เป็นกลุ่มสารที่มีกลิ่นเหม็น และมักมีอันตรายต่อสุขภาพ โดยมาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ได้กำหนดให้แหล่งน้ำควรมีค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่มากกว่า 4 มก./ล. และมีบีโอดี ไม่เกิน 2 มก./ล.

ผลการศึกษาในพื้นที่พบว่า โดยรวมแล้วแหล่งน้ำผิวดินหลายแห่งมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกเล็กน้อย โดยมีค่าออกซิเจนต่ำกว่ามาตรฐานหรือมีบีโอดีสูงกว่ามาตรฐานเป็นบางครั้ง ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการน้ำเสียจากชุมชนที่ปัจจุบันมีจำนวนมากถูกทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้ การที่ทางน้ำธรรมชาติหลายจุดถูกดัดแปลงให้มีลักษณะเป็นฝาย กลายเป็นแหล่งน้ำนิ่ง ซึ่งทำให้เกิดการสะสมของซากพืชซากสัตว์ และยังมีผลทำให้ออกซิเจนละลายลงสู่แหล่งน้ำได้ช้ากว่าแหล่งน้ำที่มีลักษณะของน้ำไหล โดยมีรายละเอียดของแต่ละลุ่มน้ำดังนี้

- **ลุ่มน้ำคลองเพรียว** พบว่าน้ำค่อนข้างสะอาด บ่งชี้ได้โดยค่าบีโอดีที่น้อยมาก อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 3 จุด อย่างไรก็ตาม พบว่ามีค่าออกซิเจนละลายต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานอยู่บ้าง โดยจุดเก็บตัวอย่างบริเวณคลองโคกกรุงตัดกับทางหลวงหมายเลข 3222 ซึ่งอยู่ด้านล่างลงมาถัดจากจุดเก็บตัวอย่างอื่นในลุ่มน้ำ มีค่าออกซิเจนละลายต่ำกว่ามาตรฐานทั้ง 2 ฤดูกาล
- **ลุ่มน้ำห้วยตะเข้** พบว่ามีสิ่งสกปรก (บีโอดี) มากกว่าตัวอย่างน้ำจากลุ่มน้ำคลองเพรียว แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 3 จุด มีค่าออกซิเจนละลายต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเป็นบางจุด
- **ลุ่มน้ำห้วยลี** ตัวอย่างน้ำบริเวณด้านต้นน้ำของลุ่มน้ำกลับมีค่าออกซิเจนละลายต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งอาจเป็นผลจากลักษณะน้ำขังนิ่งในฝายร่วมกับสิ่งสกปรกที่สะสมอยู่ ในขณะที่ตัวอย่างน้ำที่ปลายน้ำกลับมีออกซิเจนละลายสูงกว่าและผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนบีโอดีมีค่าสูงหลายตัวอย่าง ชี้ให้เห็นถึงการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกที่ตกค้างอยู่ในลำน้ำ
- **อ่างเก็บน้ำคลองเพรียว** จุดเก็บตัวอย่างเป็นบริเวณที่ลำห้วยจากลุ่มน้ำทั้ง 3 ไหลมาบรรจบกัน ไหลผ่านลำน้ำ ก่อนจะเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ มีค่าบีโอดีสูงเกินมาตรฐาน แต่ยังมีค่าออกซิเจนอยู่ในระดับมาตรฐานอยู่ ชี้ให้เห็นว่าแม้มีในน้ำได้รับสิ่งสกปรกมามากแต่ด้วยสภาพน้ำที่เป็นไปในลักษณะของน้ำไหล ก็ทำให้ค่าออกซิเจนละลายมีค่าสูงเพียงพอต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อสะสมตัวในอ่างเก็บน้ำที่กลับเป็นสภาพน้ำนิ่งก็อาจส่งผลให้ค่าออกซิเจนละลายลดลงได้ จากกิจกรรมของจุลชีพที่ย่อยกินสิ่งสกปรกที่สะสมอยู่

**2.4 แบคทีเรีย**

แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และแบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม เป็นดัชนีที่ตรวจวัดในตัวอย่างน้ำผิวดิน ตัวอย่างน้ำประปา และตัวอย่างน้ำใต้ดิน 2 ตัวอย่าง ที่มีการนำไปใช้ในการอุปโภคบริโภคโดยไม่ผ่านการบำบัดในฐานะแหล่งน้ำสำรองของหมู่ 10 ตำบลตาลเดี่ยว

ผลการตรวจสอบพบว่า แบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มในแหล่งน้ำผิวดินเกือบทั้งหมดมีค่าไม่เกินมาตรฐาน ยกเว้นตัวอย่างน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างบริเวณภายในพื้นที่ศึกษาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในจังหวัดสระบุรี ในฤดูร้อน โดยพบแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดมีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนดเล็กน้อย โดยอาจมีสาเหตุมาจากซากพืชซากสัตว์หรือมูลสัตว์เนื่องจากเป็นพื้นที่เกษตรกรรม อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มนั้น สามารถพบได้ทั่วไปทั้งในดิน ในน้ำ บนพืช สัตว์ สิ่งขับถ่ายของสัตว์ และสิ่งแวดล้อมที่อยู่ในภาวะเน่าเสีย โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้ไม่ได้เป็นสาเหตุของการเจ็บป่วยที่รุนแรง หากแต่การที่พบแบคทีเรียกลุ่มนี้ในปริมาณมากจะแสดงให้เห็นว่า แหล่งน้ำนั้นมีการปนเปื้อน มีการเติบโตของจุลชีพ และอาจมีแบคทีเรียที่อาจก่อโรค ไวรัสต่าง ๆ รวมถึงพยาธิอาจปะปนอยู่ได้ ทั้งนี้ น้ำในแม่น้ำป่าสักก็มักพบปัญหาปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม และฟีคอลโคลิฟอร์ม มีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนดอยู่บ่อยครั้งเช่นกัน

สำหรับผลการตรวจวัดตัวอย่างน้ำประปา พบว่า น้ำประปาเกือบทั้งหมด มีการปนเปื้อนแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม และฟีคอลโคลิฟอร์มเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างน้ำประปาที่ตรวจพบการปนเปื้อนจัดว่ามีค่าเกินกว่ามาตรฐานน้ำประปาทั้งหมด เนื่องจากเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาได้ระบุให้ต้องตรวจไม่พบแบคทีเรียกลุ่มดังกล่าว สาเหตุของการปนเปื้อนแบคทีเรียอาจเกิดมาจากระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ยังไม่ได้คุณภาพเพียงพอ หรืออาจมีการปนเปื้อนผ่านทางท่อส่งน้ำที่อาจมีการรั่วซึม ทั้งนี้ มีเพียงตัวอย่างน้ำประปาจากแหล่งน้ำใต้ดินของ หมู่ 9 ตำบลห้วยแห้งเท่านั้นที่ตรวจไม่พบการปนเปื้อนของแบคทีเรียทั้ง 2 ฤดูกาล สำหรับตัวอย่างน้ำใต้ดิน 2 ตัวอย่าง ที่เป็นแหล่งน้ำสำรองของหมู่ 10 ตำบลตาลเดี่ยวนั้นพบว่าไม่มีการปนเปื้อนของแบคทีเรีย

**2.5 แมงกานีส**

ตัวอย่างน้ำทั้งหมด ส่วนใหญ่ตรวจไม่พบโลหะหนัก หรือตรวจพบเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม มีโลหะหนักบางชนิดได้แก่ ปรอท และ แมงกานีส ที่พบว่ามีค่าเกินมาตรฐาน เป็นบางตัวอย่าง จากบางฤดูกาล แต่ไม่ได้สูงเกินไปมากนัก อย่างไรก็ตาม นอกจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติข้างต้น มีการตรวจพบว่าตัวอย่างน้ำประปา 2 ตัวอย่าง มีค่าแมงกานีสสูงเกินมาตรฐานน้ำประปา (0.4 มก./ล.) ทั้ง 2 ฤดูกาล คือ หมู่ 6 ตำบลห้วยแห้ง และหมู่ 9 ตำบลชำผักแพว ซึ่งพบว่าแหล่งน้ำดิบของระบบประปาจากทั้ง 2 จุดก็มีค่าแมงกานีสสูงเช่นกัน โดยเฉพาะหมู่ 6 ตำบลห้วยแห้งนั้นน้ำดิบ มีค่าแมงกานีสสูงกว่ามาตรฐานน้ำผิวดินอีกด้วย นอกจากนี้ ยังมีค่าความเป็นกรด–ด่างค่อนข้างต่ำ (pH = 6.1) ซึ่งทำให้น้ำประปาที่ได้มีค่าความเป็นกรด–ด่างต่ำกว่าช่วงค่ามาตรฐานของน้ำประปา (pH = 6.5) อีกด้วย ซึ่งคาดว่าน่าจะมีสาเหตุบางประการ และควรมีการศึกษาต่อไป

ทั้งนี้ แมงกานีสเป็นธาตุที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ และสามารถตรวจพบในดินได้ในช่วงตั้งแต่ 40–900 มก./กก. (ATSDR, 2014) การปนเปื้อนแมงกานีสออกสู่ธรรมชาติ มักมีสาเหตุหลักมาจากกิจกรรมการผลิตเหล็ก และเหล็กกล้า และมีสาเหตุรองลงมา ได้แก่ การใช้ถ่านโค๊กในการผลิตพลังงาน และการใช้น้ำมันที่ผสม MMT (Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl) ซึ่งใช้เพิ่มค่าออกเทนในยานพาหนะ นอกจากนี้ ยังใช้ในการผลิตแบตเตอร์รี่ การผลิตไม้ขีด และดอกไม้ไฟ การผลิตปุ๋ย และอาหารสัตว์ (ATSDR, 2014; SEPA, 2014; U.S. EPA, 2007) อย่างไรก็ตาม แมงกานีสสามารถละลายน้ำได้น้อยมาก ดังนั้นการตรวจพบแมงกานีสในน้ำเกินค่ามาตรฐานจึงมักมาจากแมงกานีสที่ถูกดูดติดมากับตะกอนดิน (ATSDR, 2014) สำหรับผลการทบทวนผลการศึกษาที่ผ่านมาของ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช (2556) ซึ่งทำการสำรวจบริเวณโดยรอบที่ดินของโครงการจัดตั้งสำนักงานจัดการพื้นที่จุฬาฯ–สระบุรี พบว่า มีการตรวจพบแมงกานีสในแหล่งน้ำผิวดิน ในดิน และดินตะกอนท้องน้ำอยู่บ้างในระดับหนึ่ง

**2.6 สารหนู**

สารหนูเป็นธาตุกึ่งโลหะ สารหนูในธรรมชาติอยู่ในองค์ประกอบของแร่นานาชนิดกระจายอยู่ทั่วโลก การปนเปื้อนของสารหนูมักมีสาเหตุมาจากละลายออกมาจากแร่เหล่านี้ที่มีอยู่ในพื้นที่ตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถพบการปนเปื้อนตามธรรมชาติได้ในช่วงตั้งแต่ 0.0005 มก./ล. จนถึง 5 มก./ล. โดยเฉพาะในแหล่งน้ำใต้ดิน โดยประเทศที่มีปัญหาการปนเปื้อนของสารหนูในระดับสูงในน้ำใต้ดิน ได้แก่ อาร์เจนตินา ชิลี เม็กซิโก จีน ฮังการี อินเดีย บังคลาเทศ และเวียดนาม ซึ่งค่าที่ตรวจวัดได้จะเป็นไปในลักษณะเฉพาะในแต่ละพื้นที่ขึ้นอยู่กับแร่ต่าง ๆ ในพื้นที่นั้น ๆ (Smedley และ Kinniburgh, 2002) นอกจากนั้นการเปิดพื้นที่หรือการขุดแร่ขึ้นมาบนพื้นดินจะทำให้แร่ที่มีสารหนูที่เคยอยู่ใต้ดินเกิดการสัมผัสกับอากาศ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแร่ที่มีองค์ประกอบของซัลไฟด์ทำให้เกิดกรด และทำให้เกิดการละลายของแร่ต่าง ๆ ซึ่งเร่งให้สารหนูหลุดออกมาจากสินแร่เหล่านั้น โดยตัวอย่างที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ได้แก่ ตำบลร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช (วรพิณ วิทยวราวัฒน์, 2537 ; นางสาวอรพันธ์ อันติมานนท์, 2548) และการปนเปื้อนในดินที่จังหวัดสุพรรณบุรี (ไพชยนต์ เจริญไชยศรี, 2551) โดยทั้งสองพื้นที่เป็นพื้นที่ที่อุดมไปด้วยสินแร่ดีบุก และมีแร่ที่มีสารหนูปะปนกันอยู่ในสายแร่ จึงมีสารหนูอยู่ในน้ำสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ อยู่แล้วเป็นพื้นฐาน ประกอบกับการทำเหมืองแร่ที่เร่งให้เกิดการชะล้างของสารหนูออกมาสู่ธรรมชาติ ซึ่งพบความเข้มข้นของสารหนูได้ถึงเกือบ 10 มก./ล. (ไพชยนต์ เจริญไชยศรี, 2551)

นอกจากสาเหตุจากธรรมชาติแล้ว สารหนูยังเป็นองค์ประกอบของสารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ หลายชนิด ยาฆ่าวัชพืชต่าง ๆ และยังใช้ในสารเคมีที่ใช้ในการรักษาเนื้อไม้อีกด้วย ซึ่งจากรายงานการศึกษาเมื่อปี 2008 ระบุไว้ว่าสารหนูที่ผลิตขึ้นมาใช้ในปัจจุบันคิดเป็นร้อยละ 50 ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมทำไม้ร้อยละ 30 นอกจากนี้ยังใช้ในงานอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตแก้ว และเซรามิค ที่ใช้เซมิคอนดักเตอร์ เซลล์แสงอาทิตย์ ไอโอด และสีย้อม เป็นต้น (Garelick และคณะ, 2008) ส่วนผลจากการสำรวจการปนเปื้อนในประเทศไทยนั้น มักพบการปนเปื้อนสารหนูในดินของพื้นที่เกษตรกรรม หากแต่ไม่พบสาเหตุที่แน่ชัด (Zarcinas และคณะ, 2004)

สำหรับการตรวจสอบในพื้นที่ศึกษานี้พบว่าแหล่งน้ำหลายแห่งทั้งในแหล่งน้ำผิวดิน ใต้ดิน และน้ำประปามีค่าสารหนูเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาล และมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาส่วนภูมิภาค (0.01 มก./ล.) หลายจุด ทั้งนี้ แม้ระดับสารหนูในแหล่งน้ำต่าง ๆ ถูกกำหนดไว้ที่ 0.01 มก./ล. แต่ในกรณีน้ำดื่มก็อาจอนุโลมได้ถึงระดับ 0.05 มก./ล. ซึ่งเมื่อพิจารณาด้วยเกณฑ์น้ำดื่มของประเทศไทย จะพบว่ามีตัวอย่างบางตัวอย่างที่มีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม ทั้งนี้ จากการทบทวนผลการสำรวจจากการศึกษาที่ผ่านมา (พันธวัศ สัมพันธ์พานิช, 2556) พบว่ามีการตรวจพบสารหนูในตัวอย่างดินและดินตะกอนในปริมาณที่สูงเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพดิน และมีค่าเกินมาตรฐานอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งในรายงานได้ให้ข้อสังเกตว่าน่าจะเป็นผลมาจากสารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ที่ใช้ในการเกษตรกรรม อย่างไรก็ตาม ในรายงานไม่เคยมีการตรวจพบสารหนูในแหล่งน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินมาก่อน จึงทำให้ไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดถึงสาเหตุของการปนเปื้อนสารหนูในแหล่งน้ำครั้งนี้ ดังนั้นควรต้องมีการเฝ้าระวัง ด้วยการติดตามและตรวจวิเคราะห์ต่อไป

**2.7 ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด**

ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด แม้ไม่ใช้สารมลพิษ แต่ก็ได้ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานของน้ำประปา โดยค่าของแข็งละลายน้ำ หมายถึง สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งไม่ได้เป็นตัวชี้วัดที่เฉพาะเจาะจง แต่ใช้ในลักษณะของการเฝ้าระวังที่จะบ่งชี้อย่างกว้าง ๆ ถึงปริมาณสารต่าง ๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ อย่างไรก็ตามปริมาณของแข็งละลายน้ำ จะส่งผลต่อรสชาติของน้ำ และเป็นดัชนีคุณภาพน้ำหนึ่งในมาตรฐานของน้ำบริโภค ทั้งนี้ มาตรฐานน้ำประปาได้มีการประยุกต์มาจากมาตรฐานน้ำดื่ม อันมีเป้าหมายให้น้ำประปาสามารถบริโภคได้ จึงมีการกำหนดค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำไว้ในมาตรฐานด้วยเช่นกัน

จากผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำประปาในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ตัวอย่างน้ำประปาจาก หมู่ 5 ตำบลชำผักแพว หมู่ 8 และหมู่ 9 ตำบลห้วยแห้ง มีค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงเกินมาตรฐานน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค (600 มก./ล.) ซึ่งเมื่อตรวจสอบย้อนไปดูที่แหล่งน้ำดิบ ก็พบว่า แหล่งน้ำดิบของทั้ง 3 ตัวอย่างนี้เป็นน้ำใต้ดิน ซึ่งมีค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำในปริมาณที่สูงอยู่แล้วแต่เดิม ทั้งนี้ ผลการตรวจวัดปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำใต้ดินของทั้ง 3 จุดนี้มีค่าต่ำมาก ซึ่งบ่งชี้ว่าไม่มีสารอินทรีย์ปะปนอยู่ ประกอบกับพบว่าโลหะหนักที่ตรวจวัดมีค่าไม่เกินมาตรฐาน จึงคาดว่าปริมาณของแข็งละลายน้ำที่มีค่าสูงในน้ำใต้ดินและน้ำประปาทั้ง 3 จุดนี้น่าจะเป็นผลจากสารอนินทรีย์อย่างแร่ธาตุต่าง ๆ ที่มักมีอยู่มากในน้ำใต้ดิน มิใช่การปนเปื้อนของสารที่เป็นอันตราย

## สรุปภาพรวมของคุณภาพน้ำในพื้นที่

น้ำผิวดินในแหล่งน้ำต่าง ๆ ในพื้นที่ มีปัญหาการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกจำพวกสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้อยู่ในระดับหนึ่ง ทำให้มีค่าออกซิเจนละลายและบีโอดีไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเป็นบางครั้ง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักมีสาเหตุมาจากน้ำทิ้งจากชุมชน โดยจากการตรวจสอบพบว่า ตัวอย่างน้ำจากลุ่มน้ำคลองเพรียวค่อนข้างสะอาด โดยมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ปนเปื้อนอยู่น้อยกว่า ตัวอย่างน้ำจากอีก 2 ลุ่มน้ำ ค่าปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมดและกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์มเกือบทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ ไม่พบการปนเปื้อนของสารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์กลุ่มออร์กาโนคลอรีน ไนเตรท และโลหะหนักต่าง ๆ ยกเว้น ปรอท และ แมงกานีส เป็นบางตัวอย่าง จากบางฤดูกาล สำหรับน้ำใต้ดินนั้นพบว่าส่วนใหญ่มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานทั้งหมด

สำหรับน้ำประปาในพื้นที่ศึกษา พบว่ามีการปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์มเล็กน้อย ซึ่งตามมาตรฐานแล้วไม่ควรมีการตรวจพบแบคทีเรียเหล่านี้ โดยคาดว่าน่าจะมีสาเหตุมาจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำหรือการรั่วซึมของท่อส่ง สำหรับสารปนเปื้อนอีกชนิดที่พบว่ามีค่าเกินมาตรฐาน คือ แมงกานีส โดยพบว่าน้ำประปาของ หมู่ 6 ตำบลห้วยแห้ง และหมู่ 9 ตำบลชำผักแพว มีค่าแมงกานีสสูงซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่แหล่งน้ำดิบมีแมงกานีสปนเปื้อนอยู่สูง ซึ่งคาดว่าน่าจะมีสาเหตุบางประการ และควรมีการศึกษาต่อไป นอกจากนี้ ตัวอย่างน้ำประปาจากหมู่ 5 ตำบลชำผักแพว หมู่ 8 และหมู่ 9 ตำบลห้วยแห้ง มีค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงเกินมาตรฐานน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค แต่คาดว่าน่าจะเป็นผลจากสารอนินทรีย์อย่างแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งมักพบในน้ำใต้ดิน

นอกจากนี้ สารหนูเป็นสารอีกชนิดหนึ่งที่พบการปนเปื้อนในหลายตัวอย่าง ทั้งในน้ำผิวดิน ใต้ดินและน้ำประปา ส่วนใหญ่มีค่าเกินมาตรฐานเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม มีบางตัวอย่างมีค่าเกินมาตรฐานน้ำดื่ม ซึ่งนับว่าเป็นอีกหนึ่งดัชนีที่ควรมีการติดตามเฝ้าระวังและศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ซึ่งได้รับสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช สำนักบริหารวิจัย ภายใต้โครงการ “การศึกษาเพื่อหาแนวทางการพัฒนาและจัดการแหล่งน้ำอย่างยั่งยืนพื้นที่โดยรอบที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี” และ จากโครงการสระบุรีชุมชนเข้มแข็ง สำนักบริหารยุทธศาสตร์และการงบประมาณ ภายใต้โครงการ “การพัฒนาและจัดการแหล่งน้ำอย่างยั่งยืนพื้นที่โดยรอบที่ดินจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี”

**เอกสารอ้างอิง**


กรมทรัพยากรน้ำ. 2556. ยุทธศาสตร์การวิจัยรายประเด็นภายใต้นโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติฉบับที่ 8 ที่เกี่ยวข้องกับกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (การวิจัยด้านการจัดการน้ำ).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2556. เอกสารประกอบการประชุมระดมสมองเพื่อพัฒนาข้อเสนอโครงการวิจัยแบบบูรณาการภายใต้โครงการสระบุรีชุมชนเข้มแข็ง วันที่ 23-24 พฤศจิกายน 2556.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111, ตอนที่ 16 ง (24 กุมภาพันธ์ 2537): 234.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 117, ตอนพิเศษ 95 ง (15 กันยายน 2543): 263.

พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. 2556. รายงานการวิจัย: การพัฒนาความเข้าใจด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อมเพื่อการบริหารจัดการอย่างยั่งยืน ปีที่ 3: กรณีศึกษาที่ดินของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี (โครงการบ้านนี้มีสุข). สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพชยนต์ เจริญไชยศรี, การศึกษาปริมาณสารหนูปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่เหมืองแร่เก่า ตำบลองค์พระ อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ระหว่างปี พ.ศ. 2549-2550. (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2551)

วรพิณ วิทยวราวัฒน์. 2537. การปนเปื้อนของสารหนู แคดเมียม และตะกั่วในลุ่มแม่น้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช. (วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์)

อรพันธ์ อันติมานนท์. "สถานการณ์ปัญหาทางสุขภาพที่เกิดจากมลพิษทางน้ำ (บทที่ 5)," สถานการณ์อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย. (สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ, 2548) [ออนไลน์], 1 สิงหาคม 2557. แหล่งที่มา http://www.hiso.or.th/hiso5/analysis/analysis6_1.php?number=2

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), U.S. Department of Health and Human Services, Toxicological Profiles [online], 1 August 2014. Source http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles.

Garelick, H., Jones, H., Dybowska, A., and Valsami-Jones, E. "Arsenic Pollution Source," Reviews of Environmental Contamination, 197 (2008): 18-60.

SEPA (Scottish Environment Protection Agency), Scottish Pollutant Release Inventory - Manganese [online], 1 August 2014. Source http://apps.sepa.org.uk/spripa/Pages/SubstanceInformation.aspx?pid=106

Smedley, P.L., and Kinniburgh, D.G. "A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters", Applied Geochemistry 17 (2002): 517568

U.S. EPA, Toxicity and Exposure Assessment for Children's Health - Manganese [online], 2007. Source http://www.epa.gov/teach/chem_summ/manganese_summary.pdf

Zarcinas, B.A., Pongsakul, P., McLaughlin, M.J., Cozens, G., "Heavy metals in soils and crops in southeast Asia. 2. Thailand," Environmental Geochemistry and Health, 26 (2004): 359371.