รายงานการศึกษาวิจัย

# การศึกษาธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ เพื่อหาพื้นที่พัฒนาและบริหารจัดการแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี

**สำนักวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา**

**กรมทรัพยากรน้ำ**

*กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*

*ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562*

# บทคัดย่อ

กรมทรัพยากรน้ำได้ดำเนินการศึกษาธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ เพื่อหาพื้นที่พัฒนาและบริหารจัดการแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี โดยได้นำผลการสำรวจทางกายภาพของพื้นที่และสภาพปัญหาด้านทรัพยากรน้ำ และใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินมาสรุปผลร่วมกับการศึกษาธรณีฟิสิกส์เพื่อให้หน่วยงานท้องถิ่นสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินในอนาคตได้อย่างเหมาะสม พื้นที่ศึกษาอยู่ในลุ่มน้ำสงครามตอนบนและลุ่มน้ำห้วยหลวง มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีของสถานีอำเภอบ้านดุง 1,917.2 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำท่ารายปีของสถานีบ้านโคกคำไหล (KH93) 350.61 ล้านลูกบาศก์เมตร ชั้นหินฐานรากเป็นชั้นหินตะกอนจำพวกหินทรายเนื้อละเอียด หินทรายแป้งและหินดินเหนียว สีแดงอิฐ แตกร่วน ของชุดภูทอกปิดทับชั้นหินชุดมหาสารคาม และมีชั้นดินปิดทับข้างบนจำพวก ดินทรายปนทรายแป้ง ดินเหนียวปนทรายแป้ง และลูกรังปนดินเหนียว ความหนาระหว่าง 0 ถึง 11 เมตร สามารถพบหินทราย หินทรายแป้งปรากฏบริเวณอุทยานอ้อมฤดี ตำบลอ้อมกอ น้ำใต้ดินที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต และมีพื้นที่น้ำใต้ดินเค็มกระจายตัวบริเวณตอนกลางของพื้นที่อำเภอ รอบๆ อ่างท่ามะนาว ของตำบลบ้านดุง ตำบลโพนสูงและเทศบาลตำบลศรีสุทโธ และพื้นที่บางส่วนของตำบลถ่อนนาลับ ตำบลบ้านจันทน์ ตำบลนาคำ ตำบลบ้านชัยและตำบลบ้านตาด คิดเป็นร้อยละ 6.42 ของพื้นที่ทั้งหมด ปริมาณการใช้น้ำอุปโภคบริโภคต่อคนต่อปี มีค่าเฉลี่ย 53.68 ลูกบาศก์เมตร (147 ลิตรต่อคนต่อวัน) การประเมินด้วยแบบจำลองทางคณิศาสตร์ พบว่า พื้นที่ศึกษามีปริมาณน้ำต้นทุนเป็นน้ำผิวดิน 351.54 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และน้ำใต้ดิน 22.34 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี เมื่อนำผลการศึกษาธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้ามาใช้ร่วมกับการจำลองทางคณิตศาสตร์ ช่วยให้สามารถกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมในการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินได้

## Abstract

Department of Water Resources (DWR) has conducted a research procect on the study of Resistivity survey for water area development and management at Ban Dung, Udon Thani. The methodology was based on the result of physical survey, geophysical survey, water resources problem with an integration mathematical model of surface water and groundwater. The result can be utilized as the foundation guidelines in local authorities for both surface water and groundwater development and management. The study area is in the Upper Songkhram River Basin and is bordered by the western of Huai Luang River Basin. Approximately 1,917.2 millimeter of average annual rainfall and about 350.61 million cubic meters of annual runoff are detected in Amphoe Ban Dung station (354005) and Ban Khok Kham Lai Station (KH93) respectively. The foundations are sedimentary rocks like brick red coloured and friable, consist of fine-grained sandstone, siltstone and claystone of the Phu Thok formation which is above on Mahasarakham formation and covered with a layer of top soil, silty sand, silty clay and latteritic mixed with clay between 0 and 11 meters thick. Sandstone and siltstone can be found in Om Ruedee Park, Om Rudee Subdistrict. Most of the groundwater is being developed in the area are carbonate and bicarbonate groups. Representing 6.42 percent of the total area is saline groundwater, distribution in the middle and other of the district area (around Tha Manao reservoir), Tambon Ban Dung, Phon Sung and Si Suttho, and some areas of Tambon Thon Na Lab, Ban Chan, Na Kham, Ban Chai and Ban Tat. The water consumption per person per year averages 53.68 cubic meters (147 liters per person per day). It was found that the study area had 351.54 million cubic meters of surface water per year and 22.34 million cubic meters of groundwater per year. By conducing this research, the results of geophysical studies by measuring electrical resistivity and mathematical simulations can identify the optimal areas for both surface water and groundwater resources development.

# คำนำ

กรมทรัพยากรน้ำได้จัดทำโครงการการศึกษาธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเพื่อหาพื้นที่พัฒนาและบริหารจัดการแหล่งน้ำผิวดิน ในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของพื้นที่ดินเค็มที่สามารถพัฒนาเป็นพื้นที่แหล่งน้ำผิวดินและแนวทางการบริหารจัดการการใช้ประโยชน์น้ำในพื้นที่ดินเค็ม การศึกษาของโครงการได้รวบรวม เก็บและและวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า การใช้ที่ดินการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา การสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะการสำรวจชั้นดินชั้นหิน การสำรวจการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและระดับน้ำใต้ดิน การใช้น้ำอุปโภคบริโภค และการประมวลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกันช่วยให้สามารถกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมในการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินได้ จากนั้นได้มีการถ่ายทอดองค์ความรู้โดยการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการและประชุมสรุปผลการดำเนินโครงการให้กับผู้แทนชุมชน ผู้นำชุมชน และผู้แทนองค์กรปกครองท้องถิ่น

รายงานเล่มนี้มีเนื้อหา 5 บท ประกอบด้วย (1) บทนำ (2) ทบทวนวรรณกรรม (3) วิธีการศึกษา (4) ผลการศึกษา และ (5) สรุปและข้อเสนอแนะ

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการการศึกษาธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเพื่อหาพื้นที่พัฒนาและบริหารจัดการแหล่งน้ำผิวดิน ในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ดำเนินการสำเร็จได้ด้วยดีจากความร่วมมือและความช่วยเหลือ อีกทั้งคำแนะนำจากหลายฝ่าย ที่สำคัญยิ่งคือ ความอนุเคราะห์ด้านงบประมาณสนับสนุนในการดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณ นายการุณย์ เปรมวุติ (ผู้อำนวยการสำนักวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา) ที่ได้สนับสนุนโครงการนี้มาตลอด ขอขอบคุณอย่างสูงต่อสำนักงานทรัพยากรน้ำ ภาค 3 และ ภาค 8 ที่ได้ให้การอนุเคราะห์เครื่องมือสำรวจความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ขอขอบคุณทีมงานวิจัยทั้งจากส่วนกลางและภูมิภาคในพื้นที่ (สทภ.3) ที่ได้ร่วมงานสำรวจภาคสนาม

สำหรับงานวิจัยนี้ที่ได้ขอความอนุเคราะห์เกี่ยวกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลชนิดดิน พื้นที่ดินเค็มการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ข้อมูลทรัพยากรธรณีวิทยาและการปรับปรุงพื้นที่ดินเค็ม ข้อมูลทรัพยากรน้ำบาดาลและข้อมูลทรัพยากรน้ำของพื้นที่ศึกษา ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานต่างๆ ประกอบด้วย กรมอุตุนิยมวิทยา กรมพัฒนาที่ดิน กรมชลประทาน กรมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรน้ำบาดาลและกรมทรัพยากรน้ำ

ขอขอบพระคุณท่านนายกองค์การบริหารส่วนตำบลและข้าราชการในสังกัดหน่วยงานองค์กรปกครองท้องถิ่นในพื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ทุกท่านที่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับท้องถิ่นและเห็นความสำคัญของโครงการวิจัยนี้ รวมทั้งได้เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการและประชุมสรุปถ่ายทอดผลการศึกษา และขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ด้วยที่ได้ให้การสนับสนุนการดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงตามที่คาดหวังไว้ทุกประการ

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิติกรรมประกาศ | ค |
| คำนำ | ง |
| สารบัญ | จ |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูป | ฌ |
| **บทที่ 1 บทนำ** | |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 1 |
| 1.3 พื้นที่ศึกษาและชุมชนเป้าหมาย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 1.5 ขอบเขตและแผนการดำเนินงานวิจัย | 2 |
| **บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม** | |
| 2.1 สภาพแวดล้อมทั่วไปของพื้นที่ศึกษา | 3 |
| 2.2 กรอบแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 17 |
| **บทที่ ๓ วิธีการศึกษา** | |
| 3.1 กายภาพพื้นที่ศึกษา | 26 |
| 3.2 การดำเนินการศึกษา | 26 |
| **บทที่ 4 ผลการศึกษา** | |
| 4.1 สถานภาพและศักยภาพเกี่ยวกับชุมชนด้านทรัพยากรน้ำ | 115 |
| 4.2 สถานภาพและศักยภาพเกี่ยวกับกายภาพพื้นที่ด้านทรัพยากรน้ำ | 116 |
| **บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ** | |
| 5.1 สรุป | 143 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 148 |
| **เอกสารอ้างอิง** | |

# สารบัญ (ต่อ)

**ภาคผนวก**

ภาคผนวก ก ข้อมูลและสำรวจความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Resistivity survey)

ภาคผนวก ข คำบรรยายหลุมเจาะสำรวจดิน

ภาคผนวก ค ผลวิเคราะห์รูปแบบทางเคมีของน้ำใต้ดิน

ภาคผนวก ง ผลการจำลองสภาพแบบจำลอง SWAT พื้นที่ลุ่มน้ำสาพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงคราม และพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำห้วยหลวง

ภาคผนวก จ ข้อมูลนำเข้าบ่อสังเกตการณ์และบ่อสูบ สำหรับแบบจำลอง MODFLOW

ภาคผนวก ฉ ข้อมูลนำเข้าบ่อสังเกตการณ์ สำหรับแบบจำลอง MT3D

ภาคผนวก ช การจัดประชุมและแบบสอบถามเพื่อโครงการแนวทางเสริมสร้างเครือข่ายและความรู้ความเข้าใจของชุมชน

# สารบัญตาราง

หน้า


ตารางที่ 2.1-1 รายละเอียดสถานีตรวจวัดภูมิอากาศ 4
ตารางที่ 2.1-2 ลักษณะอุตุนิยมวิทยา จังหวัดอุดรธานี เฉลี่ยรายเดือน 30 ปี พ.ศ. 2532-2561 7
ตารางที่ 2.1-3 สถานีวัดน้ำฝนและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและรายปีในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง 7
ตารางที่ 2.1-4 รายละเอียดสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง 7
ตารางที่ 2.1-5 พื้นที่การใช้ที่ดินตามประเภทการใช้ประโยชน์ปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2554 8
ตารางที่ 3.1-1 รายละเอียดประชากรของแต่ละตำบล ในอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 27
ตารางที่ 3.2-1 การสำรวจข้อมูลการใช้น้ำอุปโภคบริโภคโดยการรวบรวมข้อมูลมาตรวัดน้ำประปา 28
ตารางที่ 3.2-2 รายละเอียดบ่อน้ำบาดาลและแหล่งน้ำผิวดินในการวัดระดับน้ำและคุณภาพน้ำ 30
ตารางที่ 3.2-3 รายการวิเคราะห์คุณภาพน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน 32
ตารางที่ 3.2-4 รายละเอียดน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินที่เก็บตัวอย่างส่งวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 33
ตารางที่ 3.2-5 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินรายเดือน ช่วงพฤศจิกายน 2561 ถึง กันยายน 2562 37
ตารางที่ 3.2-6 การสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะรายตำบลของอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 42
ตารางที่ 3.2-7 สรุปจุดสำรวจชั้นดินโดยสว่านมือหมุนรายตำบล อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 43
ตารางที่ 3.2-8 จุดสำรวจชั้นดินโดยสว่านมือหมุนรายตำบล อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 44
ตารางที่ 3.2-9 รายละเอียดบ่อไพโซมิเตอร์ในพื้นที่ศึกษา อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 47
ตารางที่ 3.2-10 สถิติข้อมูลภูมิอากาศที่สถานีหนองคาย จังหวัดหนองคาย ในช่วงปี 2532-2561 50
ตารางที่ 3.2-11 สถิติข้อมูลภูมิอากาศที่สถานีอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี ในช่วงปี 2532-2561 50
ตารางที่ 3.2-12 สถิติข้อมูลภูมิอากาศที่สถานีสกลนคร จังหวัดสกลนคร ในช่วงปี 2532-2561 51
ตารางที่ 3.2-13 สถานีวัดน้ำฝนรายเดือนและรายปีในพื้นที่อำเภอบ้านดุงและพื้นที่ข้างเคียง 55
ตารางที่ 3.2-14 สถานีวัดน้ำท่าและสถิติปริมาณน้ำท่ารายปีในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง 59
ตารางที่ 3.2-15 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีในบริเวณพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง 59
ตารางที่ 3.2-16 ข้อมูลที่รวบรวมเพื่อนำเข้าแบบจำลอง SWAT 64
ตารางที่ 3.2-17 ลุ่มน้ำย่อย แบ่งด้วยแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำห้วยหลวง 69
ตารางที่ 3.2-18 ลุ่มน้ำย่อย แบ่งด้วยแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงคราม 70
ตารางที่ 3.2-19 ข้อมูลสถานีฝนและสภาพภูมิอากาศที่เตรียมเพื่อนำเข้าแบบจำลอง SWAT 75
ตารางที่ 3.2-20 ข้อกำหนดขอบเขตเงื่อนไขแบบจำลอง 92
ตารางที่ 3.2-21 การประเมินข้อมูลนำเข้าในการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน 97
ตารางที่ 3.2-22 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ หลังจากปรับเทียบแบบจำลอง 101
ตารางที่ 3.2-23 อัตราการเพิ่มเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน หลังจากปรับเทียบแบบจำลอง 102
ตารางที่ 3.2-24 ค่าการแพร่กระจายของมวลสารของแต่ละหน่วยหิน 111
ตารางที่ 3.2-25 รายละเอียดจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ 112

# สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.1-1 อัตราการใช้น้ำประปาของชุมชนรายตำบล อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 115
ตารางที่ 4.1-2 คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยของการประชุมเชิงปฏิบัติการให้ความรู้ แนวทางการบริหารจัดการน้ำเบื้องต้น 116
ตารางที่ 4.2-1 ช่วงความหนาของชั้นดินรายตำบล ของอำเภอบ้านดุง 130
ตารางที่ 4.2-2 ผลลัพธ์จากการจำลองสภาพแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำห้วยหลวง 135
ตารางที่ 4.2-3 ผลลัพธ์จากการจำลองสภาพแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงคราม 136
ตารางที่ 4.2-4 สมดุลน้ำใต้ดินรายปี ในการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินทั้งระบบตามขอบเขตรายตำบลของอำเภอบ้านดุง 139
ตารางที่ 4.2-5 ผลการทำนายอัตราการสูบกรณีต่างๆ 142
ตารางที่ 5.1-1 ปริมาณน้ำต้นทุนน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน 144
ตารางที่ 5.1-2 แหล่งน้ำน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินรายตำบล 145

# สารบัญรูป

หน้า


รูปที่ 2.1.1 ภูมิประเทศพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียง 5
รูปที่ 2.1-2 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียง 6
รูปที่ 2.1-3 ทรัพยากรดินในพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียง 10
รูปที่ 2.1-4 ธรณีวิทยาพื้นที่ศึกษา อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 15
รูปที่ 2.1-5 แผนที่แสดงปริมาณและคุณภาพน้ำ อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 16
รูปที่ 2.2-1 อุปกรณ์และรูปแบบการจัดวางขั้วไฟฟ้า 19
รูปที่ 2.2-2 ระบบการไหลของน้ำบาดาล 21
รูปที่ 2.2-3 ลักษณะการไหลและเฮดของน้ำในพื้นที่พื้นที่รับน้ำ พื้นที่ปันน้ำ และพื้นที่สูญเสียน้ำ 22
รูปที่ 3.2-1 บ่อบาดาลรูปแบบต่างๆ และอุปกรณ์วัดระดับน้ำ คุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างน้ำในสนาม 29
รูปที่ 3.2-2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า 36
รูปที่ 3.2-3 ตำแหน่งและการกระจายตัวของจุดสำรวจความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะรายตำบล 41
รูปที่ 3.2-4 อุปกรณ์และการเจาะชั้นดินโดยสว่านมือหมุน 42
รูปที่ 3.2-5 ตำแหน่งสำรวจชั้นดินด้วยสว่านมือหมุน สำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ และบ่อไพโซมิเตอร์ 46
รูปที่ 3.2-6 แบบของบ่อไพโซมิเตอร์ 47
รูปที่ 3.2-7 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดภูมิอากาศ 49
รูปที่ 3.2-8 แสดงการผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศสถานีหนองคาย จังหวัดหนองคาย 52
รูปที่ 3.2-9 แสดงการผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศสถานีอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี 53
รูปที่ 3.2-10 แสดงการผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศสถานีสกลนคร จังหวัดสกลนคร 54
รูปที่ 3.2-11 การผันแปรรายเดือนของปริมาณฝนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดในพื้นที่อำเภอบ้านดุง และข้างเคียง 56
รูปที่ 3.2-12 เส้นชั้นปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยบริเวณพื้นที่อำเภอบ้านดุงและพื้นที่ใกล้เคียง 58
รูปที่ 3.2-13 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่าบริเวณพื้นที่อำเภอบ้านดุงและใกล้เคียง 60
รูปที่ 3.2-14 การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ จำนวน 3 สถานี 61
รูปที่ 3.2-15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำของแต่ละสถานีในลุ่มน้ำโขง (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) 62
รูปที่ 3.2-16 วัฏจักรอุทกวิทยา 63
รูปที่ 3.2-17 ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (DEM) 65
รูปที่ 3.2-18 แผนที่การใช้ที่ดิน 66
รูปที่ 3.2-19 แผนที่กลุ่มชุดดิน 67

# สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.2-20 ขอบเขตลุ่มน้ำย่อย แบ่งด้วยแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำห้วยหลวง 71
รูปที่ 3.2-21 ขอบเขตลุ่มน้ำย่อย แบ่งด้วยแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงคราม 72
รูปที่ 3.2-22 หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา แบ่งด้วยแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำห้วยหลวง 73
รูปที่ 3.2-23 หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา แบ่งด้วยแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงคราม 74
รูปที่ 3.2-24 กราฟแสดงการสอบเทียบปริมาณน้ำท่าที่สถานี KH.93 76
รูปที่ 3.2-25 แผนที่อุทกธรณีวิทยา พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 79
รูปที่ 3.2-26 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา ตามแนว BD1-BD1’ ถึง BD3-BD3’พื้นที่อำเภอบ้านดุง 80
รูปที่ 3.2-27 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา ตามแนว BD4-BD4’และ BD5-BD5’พื้นที่อำเภอบ้านดุง81
รูปที่ 3.2-28 แผนที่น้ำบาดาล พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 82
รูปที่ 3.2-29 ภาพตัดขวางศักยภาพน้ำบาดาลของพื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 83
รูปที่ 3.2-30 แผนที่แสดงการกระจายตัวของดินเค็ม พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 85
รูปที่ 3.2-31 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง 88
รูปที่ 3.2-32 ฐานข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยาและระบบจำลองการไหลและการแพร่กระจายความเค็ม ในน้ำใต้ดิน 89
รูปที่ 3.2-33 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ 90
รูปที่ 3.2-34 การออกแบบกริด และขอบเขตของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ 92
รูปที่ 3.2-35 ขอบเขตแม่น้ำ 94
รูปที่ 3.2-36 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำใต้ดิน 95
รูปที่ 3.2-37 ตำแหน่งบ่อสูบน้ำ 96
รูปที่ 3.2-38 การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านและค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ 99
รูปที่ 3.2-39 การกระจายตัวของพื้นที่การเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดิน 100
รูปที่ 3.2-40 การกระจายตัวของเส้นระดับแรงดันเท่ากันและทิศทางการไหลหลักของน้ำใต้ดิน 105
รูปที่ 3.2-41 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของชุดข้อมูลนำเข้าแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน 106
รูปที่ 3.2-42 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ของน้ำใต้ดิน 108
รูปที่ 3.2-43 การกระจายตัวของค่าความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น 109
รูปที่ 3.2-44 ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำใต้ดิน ระหว่างค่าตรวจวัด และคำนวณ 110
รูปที่ 4.2-1 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินรายเดือนของแต่ละตำบล อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดร 118
รูปที่ 4.2-2 การกระจายตัวของค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS, mg/l) 120

# สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.2-3 ภาพตัดขวางการกระจายตัวของค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS, mg/l) ของน้ำใต้ดิน พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ตามแนว BD1-BD1’ ถึง BD3-BD3’ 121
รูปที่ 4.2-4 ภาพตัดขวางการกระจายตัวของค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS, mg/l) ของน้ำใต้ดิน พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ตามแนว BD4-BD4’ และ BD5-BD5’ 122
รูปที่ 4.2-5 ผลการจำแนกตัวอย่างน้ำรายกลุ่มตำบลที่มีพื้นที่ติดต่อกันบริเวณตอนบน และตอนล่างทางด้านตะวันออกและตะวันตกของพื้นที่ศึกษา 123
รูปที่ 4.2-6 แผนที่แสดงการกระจายตัวของรูปแบบทางเคมีของน้ำใต้ดินของพื้นที่อำเภอบ้านดุง 124
รูปที่ 4.2-7 ผลสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ระดับความลึก 10, 20, 30, 40 และ 50 เมตร 128
รูปที่ 4.2-8 ผลสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ระดับความลึก 60, 70, 80, 90 และ 100 เมตร 129
รูปที่ 4.2-9 ความหนาของชั้นดินในพื้นที่ อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 131
รูปที่ 4.2-10 การจำแนกสภาพชั้นดินที่มีการขุดในบางตำบลของอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี 132
รูปที่ 4.2-11 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลสูบทดสอบบ่อ PW3 133
รูปที่ 4.2-12 ความสัมพันธ์ของค่าระดับแรงดันน้ำใต้ดินระหว่างค่าตรวจวัดในภาคสนามและคำนวณ 138
รูปที่ 4.2-13 ผลการจำลองการแพร่กระจายน้ำใต้ดินเค็ม 140
รูปที่ 4.2-14 พื้นที่กรณีศึกษาการคาดคะเนเพื่อประเมินปริมาณน้ำที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ พื้นที่ตำบลโพนสูง 141
รูปที่ 5.1-1 พื้นที่เหมาะสมในการพัฒนาน้ำผิวดินในพื้นที่อำเภอบ้านดุง 146
รูปที่ 5.1-2 พื้นที่เหมาะสมในการพัฒนาน้ำใต้ดินในพื้นที่อำเภอบ้านดุง 147

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี เป็นส่วนหนึ่งของแอ่งสกลนคร ซึ่งจากลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ ในอดีตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเคยเป็นแอ่งทะเลสาบน้ำเค็มขนาดใหญ่เมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องจึงมีอัตราการระเหยตัวสูง จนถึงจุดอิ่มตัว ทำให้เกิดการตกตะกอนและการสะสมตัวของชั้นเกลือและชั้นแร่โพแทชขึ้นต่อมากลายเป็นชั้นเกลือหินและโพแทชสลับด้วยชั้นตะกอนดินอยู่บริเวณใต้ดิน เรียกชื่อว่าชั้นเกลือหินมหาสารคาม ชั้นเกลือใต้ดินมีคุณสมบัติที่ไม่สามารถคงรูปอยู่ได้เมื่อมีแรงมากระทำ ส่งผลให้เกิดการโค้งงอจากแรงดันจากการไหลของเกลือ บีบอัดจนเกิดเป็นโดมเกลือขึ้น การโผล่ของชั้นเกลือใกล้ผิวดินจึงเป็นสาเหตุของการเกิดดินเค็มและน้ำใต้ดินเค็มในพื้นที่ และแม้ว่าสถิติปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีในพื้นที่พบว่า มีปริมาณสูง มีค่า 1,909.1 มิลลิเมตร แต่ในบางปีมีค่าปริมาณน้ำฝนที่ต่ำ น้อยกว่า 1000 มิลลิเมตร เป็นสาเหตุหนึ่งของการขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภคได้

พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี เป็นส่วนหนึ่งของลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงครามตอนบน (0224) ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูงสลับที่ราบดอน และที่ราบลุ่ม แหล่งน้ำสำคัญในพื้นที่ คือ ลำห้วยหลวง ลำห้วยสงคราม และลำห้วยทวน ดินที่พบในพื้นที่เป็นดินปนทราย และมีความเค็มสูง เป็นอำเภอที่มีประชากรมากเป็นอันดับสองของจังหวัด ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ทำให้มีความต้องการการใช้น้ำทั้งเพื่ออุปโภคบริโภค และเกษตรกรรมในปริมาณมาก ประชาชนที่ขาดแคลนน้ำอุปโภค-บริโภค และน้ำเพื่อการเกษตร จึงมีการพึ่งพาตนเองด้วยการขุดเจาะบ่อน้ำใต้ดินระดับตื้น ความลึกประมาณไม่เกิน 15 เมตร ปริมาณน้ำประมาณ 0.5-1.5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง เพื่อนำน้ำจืดมาใช้ในการอุปโภค-บริโภค แต่วิธีดังกล่าวมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการพัฒนาเพื่อการเกษตร จากสภาพปัญหาดังกล่าว ทำให้เกิดแนวคิดเพื่อช่วยแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำจืดเพื่อการอุปโภค บริโภค และเพื่อการเกษตร โดยการศึกษาข้อมูลทางกายภาพ ข้อมูลด้านอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ ร่วมกับการสำรวจธรณีฟิสิกส์ไฟฟ้า เพื่อวัดความต้านทางไฟฟ้าหาขอบเขตพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม และพื้นที่ที่สามารถนำน้ำใต้ดินระดับตื้นมาพัฒนาเป็นน้ำผิวดินที่สามารถใช้ได้ตลอดทั้งปี จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ ร่วมกับข้อมูลความต้องการน้ำของพื้นที่ เพื่อศึกษาและจัดทำแบบจำลองในการประเมินศักยภาพน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม ในการปรับตัวเกี่ยวกับการขาดแคลนน้ำ การลุกล้ำของน้ำใต้ดินเค็มในพื้นที่ และปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาศักยภาพของพื้นที่ดินเค็มที่สามารถพัฒนาเป็นพื้นที่แหล่งน้ำผิวดินให้แก่เกษตรกรในพื้นที่อำเภอบ้านดุง และพื้นที่ใกล้เคียง

2. เพื่อศึกษาแนวทางการบริหารจัดการการใช้ประโยชน์น้ำในพื้นที่ดินเค็ม

**1.3 พื้นที่ศึกษาและชุมชนเป้าหมาย**

พื้นที่ศึกษา อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ประกอบด้วย 1 เทศบาลเมืองและ 12 ตำบล

**1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

(1) กลุ่มเป้าหมายโครงการที่เป็นผู้แทนจากชุมชนและ/หรือหน่วยงานท้องถิ่น ของ 1 เทศบาล และ 12 ตำบล ของพื้นที่ ในเขตอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับศักยภาพและสถานภาพในการบริหารจัดการน้ำผิวดินในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็มของตนเอง

(2) พื้นที่ที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม ในอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี สำหรับใช้ในการปรับตัวและวางแผนการใช้น้ำในพื้นที่ให้เหมาะสมกับศักยภาพพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม

**1.5 ขอบเขตและแผนการดำเนินงานวิจัย**

**แผนการดำเนินการวิจัย**

- รวบรวมและสำรวจข้อมูลทางด้านกายภาพพื้นที่และด้านบริบทชุมชน เพื่อวางแผนการสำรวจเพิ่มเติม
- ทบทวนวรรณกรรม ตรวจสอบข้อมูลของพื้นที่ และวางแผนการสำรวจพื้นที่เบื้องต้น โดยใช้ข้อมูลจากการสอบถามชาวบ้าน รายงาน/งานวิจัยที่มีผู้ศึกมาก่อน แผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม แผนที่น้ำบาดาล เป็นต้น
- คัดเลือกพื้นที่ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษาเพื่อทำการสำรวจสภาพทางธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา และธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ โดยทำการสำรวจหาค่าการเปลี่ยนแปลงในแนวดิ่ง (Vertical depth sounding)
- วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่/จัดทำแบบจำลองผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์และแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เพื่อการบริหารจัดการน้ำ โดยข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจะถูกทำมาแปลความหมาย และสามารถใช้คาดคะเนขอบเขตการแทรกตัวของชั้นน้ำเค็มและพื้นที่ที่คาดว่าจะพบแหล่งน้ำจืด เพื่อประเมินพื้นที่ที่มีศักยภาพพัฒนาเป็นแหล่งน้ำผิวดิน และทำการศึกษาสถานภาพ/ศักยภาพการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ดินเค็ม
- ประเมินผลเชิงพื้นที่จากแบบจำลอง และจัดทำฐานข้อมูลการสำรวจ
- จัดการประชุมพัฒนาแนวทางการบริหารจัดการน้ำจากแบบจำลอง รวมถึงจัดการประชุมเผยแพร่ผลงาน

# บทที่ 2

# การทบทวนวรรณกรรม

## 2.1 สภาพแวดล้อมทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลทั่วไป

อำเภอบ้านดุง เดิมเป็นส่วนหนึ่งของอำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี โดยเมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ.2502 กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย ได้มีประกาศยกฐานะ 3 ตำบล ในพื้นที่อำเภอหนองหาน ประกอบด้วย 3 ตำบล คือ ตำบลบ้านดุง ตำบลบ้านจันทน์ และตำบลดงเย็น เป็น"กิ่งอำเภอบ้านดุง" และกรมการปกครอง ได้ประกาศยกฐานะกิ่งอำเภอบ้านดุง เป็น "อำเภอบ้านดุง" เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2506 ทางราชการ ได้ตั้งชื่ออำเภอว่า "อำเภอบ้านดุง" ก็เพราะว่า ที่ว่าการอำเภอบ้านดุง ได้ตั้งอยู่ในท้องที่ตำบลบ้านดุง ซึ่งเป็นชื่อที่ประชาชนรู้จักกันดีอยู่แล้ว

ที่ตั้งและอาณาเขต

อำเภอบ้านดุง ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ของจังหวัดอุดรธานี ห่างจากตัวจังหวัดอุดรธานี โดยระยะทางรถยนต์ 75 กิโลเมตร และห่างจากกรุงเทพมหานคร ตามเส้นทางรถยนต์โดยใช้ทางหลวงหมายเลข ๒ (AH12) ทางหลวงหมายเลข ๒๒ (AH15) และ ๒๒๙๖ มีระยะทาง 640 กิโลเมตร

เนื้อที่

อำเภอบ้านดุงมีเนื้อที่ 923.768 ตารางกิโลเมตร หรือ 577,355 ไร่

อาณาเขต

ทิศเหนือ ติดต่อกับ อำเภอโพนพิสัยและอำเภอเฝ้าไร่ จังหวัดหนองคาย

ทิศใต้ ติดต่อกับ อำเภอทุ่งฝนและอำเภอพิบูลย์รักษ์ จังหวัดอุดรธานี และอำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร

ทิศตะวันออก ติดต่อกับ อำเภอบ้านม่วง และอำเภอเจริญศิลป์ จังหวัดสกลนคร

ทิศตะวันตก ติดต่อกับ อำเภอเพ็ญและอำเภอสร้างคอม จังหวัดอุดรธานี

2.1.1 ลักษณะภูมิประเทศ

อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี เป็นอำเภอที่แยกตัวออกมาจากอำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี และมีประชากรมากเป็นอันดับสองของจังหวัด มีประชากรประมาณ 125,471 คน (พ.ศ. 2557) ความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่คิดเป็น 135.82 คน/ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัด และเป็นส่วนหนึ่งของแอ่งสกลนคร ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 923.8 ตารางกิโลเมตร ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนตื้น มีที่ดอนสลับที่นา บางส่วนเป็นเนินเขาเตี้ยๆ มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางเฉลี่ยน้อยกว่า 200 เมตร แหล่งน้ำสำคัญในพื้นที่ คือ ลำห้วยหลวง ลำห้วยสงคราม และลำห้วยทวน (รูปที่ 2.1.1)

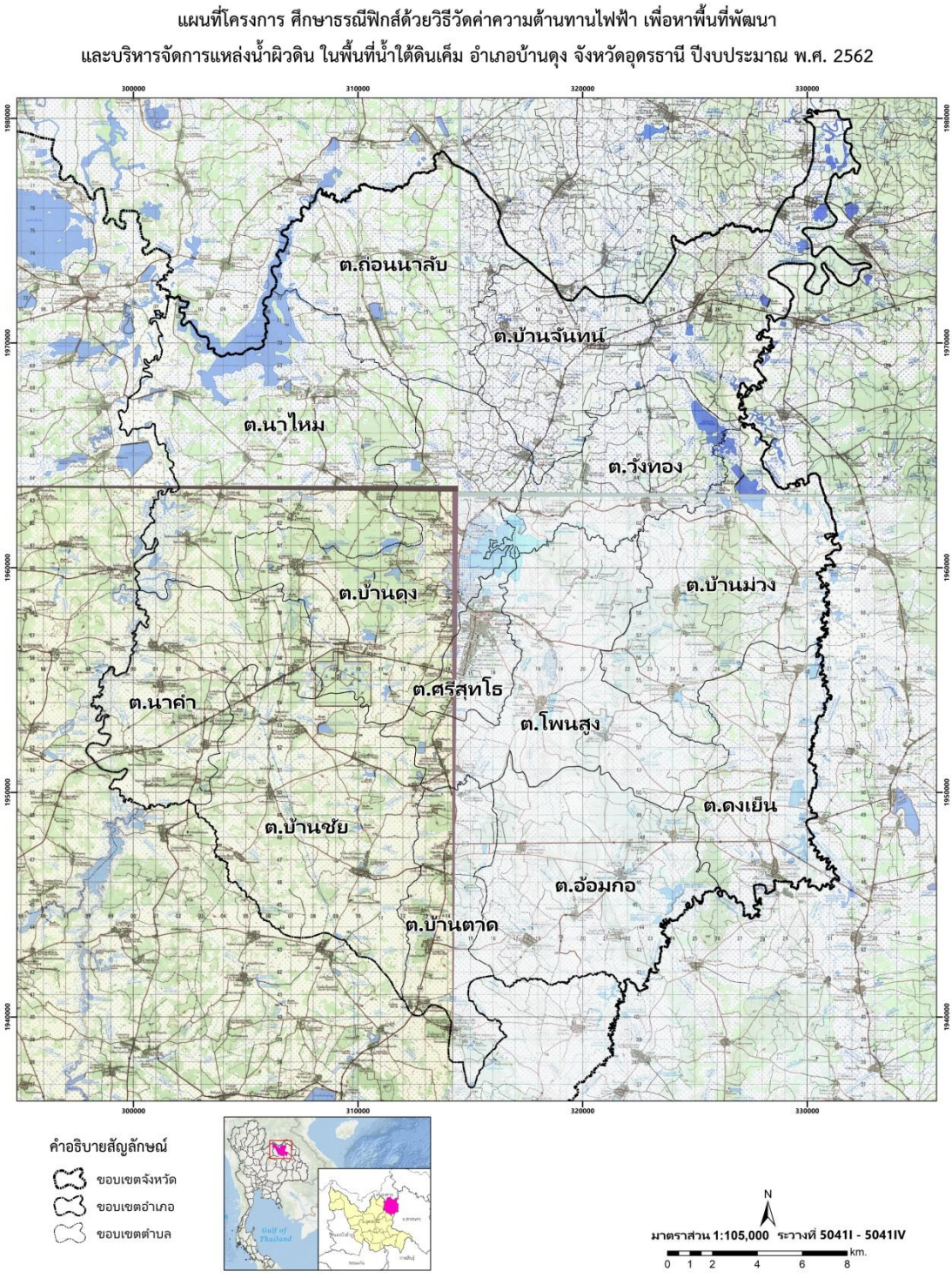
2.1.2 ลักษณะภูมิอากาศ

โดยทั่วไปมีลักษณะภูมิอากาศ แบ่งออกเป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว อากาศร้อนอบอ้าวในฤดูร้อน และหนาวเย็นมากในฤดูหนาว เดือนที่มีอากาศร้อนอบอ้าวมากที่สุด คือ เดือนเมษายน และหนาวเย็นที่สุดในเดือนมกราคม

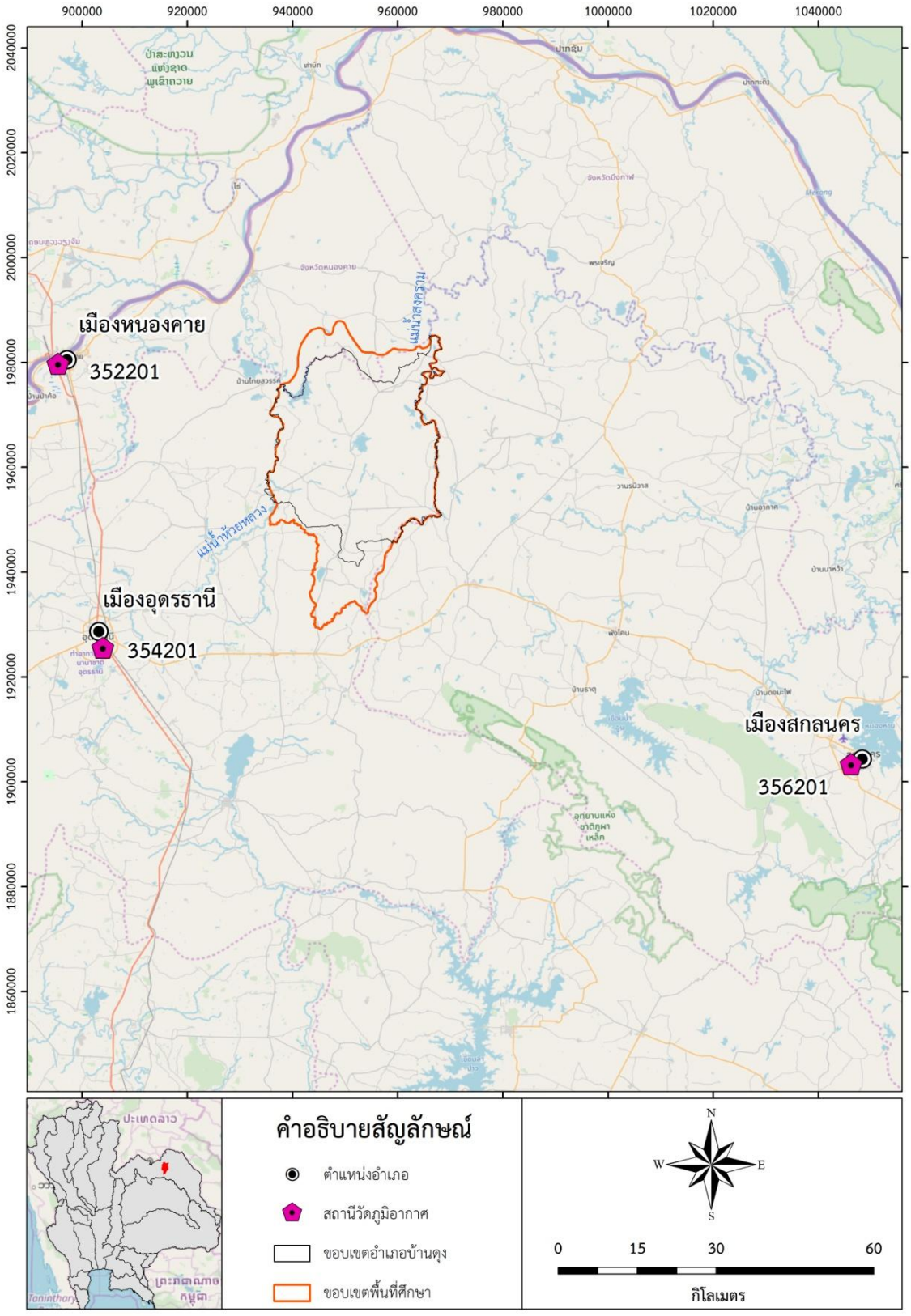
ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของสถานีวัดภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียง จำนวน 3 สถานี คือ 1) สถานีภูมิอากาศหนองคาย (352201) จังหวัดหนองคาย 2) สถานีภูมิอากาศอุดรธานี (354201) จังหวัดอุดรธานี และ 3) สถานีภูมิอากาศสกลนคร (356201) จังหวัดสกลนคร โดยมีช่วงปีสถิติข้อมูลที่บันทึกปี พ.ศ. 2532 - 2561 (รูปที่ 2.1-2 และตารางที่ 2.1-1) มีการตรวจวัดและบันทึก ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ทิศทางลม และปริมาณน้ำระเหยจากถาด ระหว่างปี พ.ศ. 2532 – 2561 และข้อมูลจาก กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีภูมิอากาศอุดรธานี พบว่า อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 34.93 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 20.19 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ย 27.56 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 71.54 ปริมาณน้ำฝน 1,458.21 มิลลิเมตร และจำนวนวันฝนตก 123 วัน โดยในเดือนสิงหาคมจะมีปริมาณฝนตก และจำนวนวันฝนตกสูงสุด ซึ่งสามารถสังเกตุการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลจากฤดูร้อนสู่ฤดูฝนราวเดือนเมษายน มีปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นชัดเจนจาก 75.83 มิลลิเมตร เป็น 193.21 มิลลิเมตร ในเดือนพฤษภาคม และเปลี่ยนจากฤดูฝนเข้าสู่ฤดูหนาวราวเดือนตุลาคม โดยมีปริมาณน้ำฝนลดลงอย่างชัดเจนจาก 254.17 มิลลิเมตร ในเดือนกันยายน เป็น 93.86 มิลลิเมตร (ตารางที่ 2.1-2)

ตารางที่ 2.1-1 รายละเอียดสถานีตรวจวัดภูมิอากาศ

| **รหัสสถานี** | **พิกัดตะวันออก** | **พิกัดเหนือ** | **ที่ตั้ง** | |
|---|---|---|---|---|
| | | | **อำเภอ** | **จังหวัด** |
| 352201 | 102° 43' 0.0" | 17° 52' 0.0" | เมือง | หนองคาย |
| 354201 | 102° 48’ 0.0” | 17° 23’ 0.0” | เมือง | อุดรธานี |
| 356201 | 104° 08’ 0.0” | 17° 09’ 0.0” | เมือง | สกลนคร |




รูปที่ 2.1.1 ภูมิประเทศพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียง




รูปที่ 2.1-2 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียง

ตารางที่ 2.1-2 ลักษณะอุตุนิยมวิทยา จังหวัดอุดรธานี เฉลี่ยรายเดือน 30 ปี พ.ศ. 2532-2561

| เดือน | อุณหภูมิ (C°) | | | ความชื้นสัมพัทธ์ (%) | | | ฝน | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | สูง | ต่ำ | เฉลี่ย | สูงสุด | ต่ำสุด | เฉลี่ย | ปริมาณ (มม.) | วันฝนตก (วัน) |
| มกราคม | 32.80 | 13.7 | 23.25 | 73.00 | 61.00 | 65.83 | 6.95 | 2 |
| กุมภาพันธ์ | 35.40 | 15.8 | 25.60 | 72.00 | 56.00 | 62.93 | 23.06 | 3 |
| มีนาคม | 37.60 | 19.1 | 28.35 | 73.00 | 51.00 | 61.23 | 48.44 | 5 |
| เมษายน | 39.90 | 22.5 | 31.20 | 73.00 | 48.00 | 63.30 | 75.83 | 8 |
| พฤษภาคม | 37.00 | 23.9 | 30.45 | 81.00 | 66.00 | 73.73 | 193.21 | 17 |
| มิถุนายน | 35.80 | 24.2 | 30.00 | 83.00 | 70.00 | 77.73 | 222.12 | 18 |
| กรกฎาคม | 34.30 | 24.0 | 29.15 | 84.00 | 73.00 | 79.17 | 227.70 | 20 |
| สิงหาคม | 33.50 | 23.7 | 28.60 | 86.00 | 77.00 | 81.07 | 295.38 | 21 |
| กันยายน | 33.20 | 23.5 | 28.35 | 88.00 | 78.00 | 81.63 | 254.17 | 17 |
| ตุลาคม | 33.60 | 20.9 | 27.25 | 80.00 | 69.00 | 75.30 | 93.86 | 8 |
| พฤศจิกายน | 34.10 | 16.9 | 25.50 | 78.00 | 64.00 | 69.27 | 14.96 | 2 |
| ธันวาคม | 32.00 | 14.1 | 23.05 | 77.00 | 60.00 | 67.30 | 5.99 | 1 |
| รวม/เฉลี่ย | 34.93 | 20.19 | 27.56 | 79.00 | 64.42 | 71.54 | 1458.21 | 123 |

ที่มา: ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา (2561)

ตารางที่ 2.1-3 รายชื่อสถานีวัดน้ำฝนและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและรายปีในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง

| ที่ | ชื่อสถานี | รหัสสถานี | ช่วงปี | ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (มิลลิเมตร) | | | | | | | | | | | | รายปี |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | |
| 1 | โพนพิสัย จ.หนองคาย | 352002 | 2532-2553 2556-2560 | 13.5 | 18.5 | 35.4 | 81.9 | 215.6 | 379.5 | 392.3 | 446.3 | 333.5 | 74.8 | 10.0 | 3.6 | 2004.7 |
| 2 | เพ็ญ จ.อุดรธานี | 354001 | 2532-2561 | 4.9 | 18.3 | 50.9 | 90.8 | 271.0 | 309.4 | 323.1 | 382.2 | 314.5 | 103.2 | 12.9 | 6.9 | 1888.3 |
| 3 | บ้านดุง จ.อุดรธานี | 354005 | 2532-2561 | 11.4 | 20.3 | 40.0 | 88.6 | 248.7 | 309.6 | 360.8 | 433.7 | 303.1 | 83.1 | 13.8 | 4.1 | 1917.2 |
| 4 | เมือง จ.อุดรธานี | 354201 | 2532-2561 | 6.5 | 20.8 | 48.4 | 75.8 | 193.2 | 222.1 | 227.7 | 295.4 | 254.2 | 93.9 | 14.5 | 5.8 | 1458.2 |
| 5 | สว่างแดนดิน จ.สกลนคร | 356008 | 2532-2557 | 4.9 | 18.3 | 24.8 | 60.9 | 217.5 | 244.2 | 288.8 | 311.7 | 229.6 | 55.4 | 6.2 | 3.6 | 1465.8 |
| 6 | เจริญศิลป์ จ.สกลนคร | 356016 | 2533-2560 | 8.6 | 21.9 | 32.7 | 71.1 | 195.1 | 210.5 | 275.8 | 295.9 | 222.0 | 52.2 | 11.6 | 4.0 | 1401.3 |

ตารางที่ 2.1-4 รายละเอียดสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง

| รหัสสถานี | พิกัดตะวันออก | พิกัดเหนือ | บ้าน/ตำบล | อำเภอ | จังหวัด |
|---|---|---|---|---|---|
| KH.74 | 965,291 | 1,975,673 | บ้านท่าห้วยหลัว | บ้านม่วง | สกลนคร |
| KH.93 | 960972 | 1946438 | บ้านโคกคำไหล | บ้านดุง | อุดรธานี |
| KH.98 | 1,006,601 | 1,981,461 | บ้านท่ากกแดง | เซกา | หนองคาย |

2.1.3 ทรัพยากรธรรมชาติ

ก. ทรัพยากรดิน

จากข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดิน จังหวัดอุดรธานี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549) พบว่า ทรัพยากรดินจังหวัดอุดรธานี มีทั้งหมด 26 กลุ่มชุดดิน และในพื้นที่อำเภอบ้านดุงมีเพียง 6 กลุ่มชุดดินคือ ชุดดินโพนพิสัย (Pp) ชุดดินพล (Pho) ชุดดินเพ็ญ (Pn) ชุดดินเรณู (Rn) ชุดดินร้อยเอ็ด (Re) ชุดดินหนองกุง (Nkg) และพื้นที่ชื้นแฉะ (MARSH) พื้นที่นาเกลือ (SALTFARM) พื้นที่น้ำ (W) (รูปที่ 2.1-3)

การใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการสำรวจการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ในที่ดินของจังหวัดอุดรธานี ปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2554 (กรมพัฒนาที่ดิน 2554) พื้นที่เกษตรกรรมมีพื้นที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มมากที่สุด ร้อยละ2.18 รองลงมาคือพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่ป่าไม้มีพื้นที่เปลี่ยนแปลงลดลงมากที่สุด ร้อยละ 1.61 (ตารางที่ 2.1-5) พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินมีการเปลี่ยนแปลงชี้ให้เห็นถึงโอกาสการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับปริมาณการใช้น้ำและความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นตามกิจกรรมที่เพิ่มขึ้น เช่น พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น แสดงว่ามีโอกาสที่ความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้นตาม

ตารางที่ 2.1-5 พื้นที่การใช้ที่ดินตามประเภทการใช้ประโยชน์ ปี พ.ศ. 2550 และปี พ.ศ. 2554

| ประเภทการใช้ประโยชน์ | 2550 (ไร่) | 2554 (ไร่) | พื้นที่เปลี่ยนแปลง (+เพิ่มขึ้น/-ลดลง) | ร้อยละที่เปลี่ยน (+เพิ่มขึ้น/-ลดลง) |
|---|---|---|---|---|
| พื้นที่เกษตรกรรม | 4,903287 | 5,063,421 | 160,134 | 2.18 |
| พื้นที่ป่าไม้ | 1,144,810 | 1,026,835 | -117,975 | -1.61 |
| พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง | 409,721 | 421,090 | 11,369 | 0.16 |
| พื้นที่แหล่งน้ำ | 250,064 | 252,339 | 2,275 | 0.03 |
| พื้นที่เบ็ดเตล็ด | 623,557 | 567,754 | -55,803 | -0.76 |
| รวม | 7,331,439 | 7,331,439 | | |

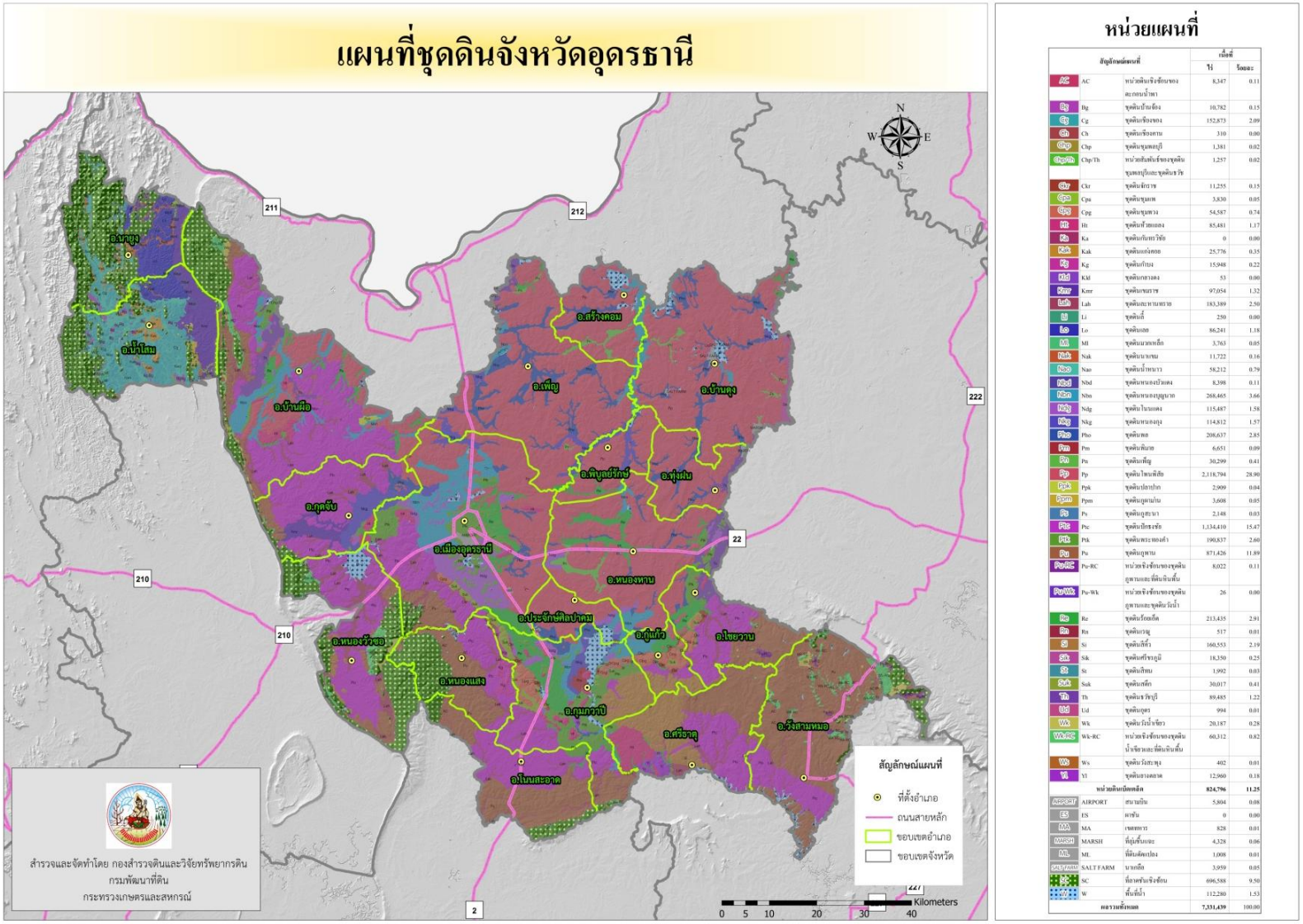
ข. ทรัพยากรน้ำ

1) แหล่งน้ำธรรมชาติที่สำคัญ ในอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ซึ่งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำหลักและเกี่ยวข้องกับลุ่มน้ำสาขา ได้แก่ ลุ่มน้ำสาขาน้ำสงครามตอนบน และลุ่มน้ำห้วยหลวง รายละเอียดดังนี้

ลุ่มน้ำห้วยหลวง เกิดจากเทือกเขาในเขตอำเภอหนองวัวซอ ไหลลงสู่ลำห้วยหลวง และไหลลงแม่น้ำโขง ในพื้นที่จังหวัดหนองคาย ครอบคลุมอำเภอหนองวัวซอ อำเภอกุดจับ อำเภอเมือง อำเภอประจักษ์ศิลปาคม อำเภอหนองหาน อำเภอเพ็ญ อำเภอทุ่งฝน อำเภอพิบูลย์รักษ์ อำเภอบ้านดุง และอำเภอสร้างคอม รวมเนื้อที่ลุ่มน้ำ 3,933 ตารางกิโลเมตร ความยาวลำห้วย 1,497.5 กิโลเมตร ปริมาณน้ำตลอดลำห้วย โดยเฉลี่ย 35,940,000 ลูกบาศก์เมตร การไหลของน้ำระยะเวลา 6 เดือน ระหว่างเดือนพฤษภาคม–ตุลาคมระดับน้ำต่ำสุด 0–100 เซนติเมตร สูงสุด 100–400 เซนติเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน 2554)

ลุ่มน้ำสงคราม เกิดจากลำห้วยสาขาต่าง ๆ ที่ไหลลงจากภูเขาในเขตอำเภอวังสามหมอ อำเภอไชยวาน และอำเภอส่องดาว จังหวัดสกลนคร แม่น้ำสงครามเป็นเขตแดนกั้นระหว่างจังหวัดอุดรธานี และสกลนคร ไหลผ่านจังหวัดหนองคาย และลงสู่แม่น้ำโขงที่จังหวัดนครพนม ครอบคลุม อำเภอไชยวาน อำเภอหนองหาน อำเภอทุ่งฝน อำเภอบ้านดุง รวมเนื้อที่ลุ่มน้ำ 980 ตารางกิโลเมตร ความยาวลำห้วย 736 กิโลเมตร ปริมาณน้ำตลอดลำห้วยโดยเฉลี่ย 13,248,000 ลูกบาศก์เมตร การไหลของน้ำระยะเวลา 6 เดือน ระหว่างเดือนพฤษภาคม–ตุลาคม ระดับน้ำต่ำสุด 0–100 เซนติเมตร สูงสุด 100–400 เซนติเมตร ตามลำดับ (กรมพัฒนาที่ดิน 2554)

จากข้อมูลกรมพัฒนาที่ดิน (2554) พบว่า ในพื้นที่ศึกษาอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ไม่มีพื้นที่ชลประทาน มีเพียงแหล่งน้ำที่น้ำที่สำคัญคือ อ่างเก็บน้ำท่ามะนาว อ่างเก็บน้ำห้วยเจียม และหนองทวน และคู คลองในจังหวัดอุดรธานี จำนวน 734 แห่ง เป็นคู คลอง ในอำเภอบ้านดุง จำนวนมากที่สุดคือ 81 แห่ง




## หน่วยแผนที่

| สัญลักษณ์แผนที่ | | | เนื้อที่ | |
|---|---|---|---|---|
| | | | ไร่ | ร้อยละ |
| AC | AC | หน่วยพื้นที่เบ็ดเตล็ด ตะกอนน้ำพา | 8,347 | 0.11 |
| Bg | Bg | ชุดดินบ้านเอื้อง | 10,782 | 0.15 |
| Cg | Cg | ชุดดินเชียงของ | 152,873 | 2.09 |
| Ch | Ch | ชุดดินเชียงตาน | 310 | 0.00 |
| Chp | Chp | ชุดดินชุมพลบุรี | 1,381 | 0.02 |
| Chp/Th | Chp/Th | หน่วยดินคับซ้อนชุดดินชุมพลบุรีและชุดดินธวัช | 1,257 | 0.02 |
| Ckr | Ckr | ชุดดินกันทรารมย์ | 11,255 | 0.15 |
| Cpa | Cpa | ชุดดินชุมแพ | 3,830 | 0.05 |
| Cpg | Cpg | ชุดดินชุมพวง | 54,587 | 0.74 |
| Ht | Ht | ชุดดินห้วยแถลง | 85,481 | 1.17 |
| Ka | Ka | ชุดดินกันทรวิชัย | 0 | 0.00 |
| Kak | Kak | ชุดดินแก่งคอย | 25,776 | 0.35 |
| Kg | Kg | ชุดดินกำแพง | 15,948 | 0.22 |
| Kkl | Kkl | ชุดดินกลางดง | 53 | 0.00 |
| Kmr | Kmr | ชุดดินเขมราฐ | 97,054 | 1.32 |
| Lah | Lah | ชุดดินละหานทราย | 183,389 | 2.50 |
| Li | Li | ชุดดินลี้ | 250 | 0.00 |
| Lo | Lo | ชุดดินเลย | 86,241 | 1.18 |
| Ml | Ml | ชุดดินมหาสารคาม | 3,763 | 0.05 |
| Nak | Nak | ชุดดินนางรอง | 11,722 | 0.16 |
| Nao | Nao | ชุดดินน้ำพอง | 58,212 | 0.79 |
| Nbd | Nbd | ชุดดินหนองบัวแดง | 8,398 | 0.11 |
| Nbn | Nbn | ชุดดินหนองบุญนาก | 268,465 | 3.66 |
| Ndg | Ndg | ชุดดินโนนแดง | 115,487 | 1.58 |
| Nkg | Nkg | ชุดดินหนองกุง | 114,812 | 1.57 |
| Pbo | Pbo | ชุดดินพอ | 208,637 | 2.85 |
| Pm | Pm | ชุดดินพิมาย | 6,651 | 0.09 |
| Pn | Pn | ชุดดินเพ็ญ | 30,299 | 0.41 |
| Pp | Pp | ชุดดินโพนพิสัย | 2,118,794 | 28.90 |
| Ppk | Ppk | ชุดดินปราปาก | 2,909 | 0.04 |
| Ppm | Ppm | ชุดดินภูหมาบ | 3,608 | 0.05 |
| Ps | Ps | ชุดดินภูสะนา | 2,148 | 0.03 |
| Psc | Psc | ชุดดินปรือซอ | 1,134,410 | 15.47 |
| Ptk | Ptk | ชุดดินพระทองคำ | 190,837 | 2.60 |
| Pu | Pu | ชุดดินภูพาน | 871,426 | 11.89 |
| Pu-RC | Pu-RC | หน่วยพื้นที่ซับซ้อนชุดดินภูพานและพื้นที่หินพื้น | 8,022 | 0.11 |
| Pu-Wk | Pu-Wk | หน่วยพื้นที่ซับซ้อนชุดดินภูพานและชุดดินวังน้ำ | 26 | 0.00 |
| Re | Re | ชุดดินโรยเอ็ด | 213,435 | 2.91 |
| Rn | Rn | ชุดดินเรณู | 517 | 0.01 |
| Si | Si | ชุดดินสีทา | 160,553 | 2.19 |
| Sk | Sk | ชุดดินศรีขรภูมิ | 18,350 | 0.25 |
| St | St | ชุดดินสีทน | 1,992 | 0.03 |
| Suk | Suk | ชุดดินสกล | 30,017 | 0.41 |
| Th | Th | ชุดดินธวัชบุรี | 89,485 | 1.22 |
| Ud | Ud | ชุดดินอุดร | 994 | 0.01 |
| Wk | Wk | ชุดดินวังน้ำเขียว | 20,187 | 0.28 |
| Wk-RC | Wk-RC | หน่วยพื้นที่ซับซ้อนชุดดินน้ำเขียวและพื้นที่หินพื้น | 60,312 | 0.82 |
| Ws | Ws | ชุดดินวังสะพุง | 402 | 0.01 |
| Yl | Yl | ชุดดินยางตลาด | 12,960 | 0.18 |
| หน่วยดินเบ็ดเตล็ด | | | 824,796 | 11.25 |
| AIRPORT | AIRPORT | สนามบิน | 5,804 | 0.08 |
| ES | ES | ผาชัน | 0 | 0.00 |
| MA | MA | เขตเทศบาล | 828 | 0.01 |
| MARSH | MARSH | พื้นที่ชื้นแฉะ | 4,328 | 0.06 |
| ML | ML | พื้นที่ดัดปรุง | 1,008 | 0.01 |
| SALT FARM | SALT FARM | นาเกลือ | 3,959 | 0.05 |
| SC | SC | พื้นที่ลาดชันซับซ้อน | 696,588 | 9.50 |
| W | W | พื้นที่น้ำ | 112,280 | 1.53 |
| ผลรวมทั้งหมด | | | 7,331,439 | 100.00 |

รูปที่ 2.1-3 ทรัพยากรดินในพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียง

ค.ธรณีวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยและของพื้นที่ศึกษา

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย หรือที่ราบสูงโคราช (The Khorat Plateau) มีลักษณะทางภูมิศาสตร์และทางธรณีวิทยาที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวแตกต่างไปจากภูมิภาคอื่นๆของประเทศอย่างเห็นได้เด่นชัด โดยมีลักษณะภูมิเทศของที่ราบสูงโคราชค่อยๆ ลาดต่ำไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ โดยตอนกลางมีลักษณะเป็นแอ่ง ประกอบไปด้วยแอ่งสกลนครทางตอนเหนือและแอ่งโคราชทางตอนใต้ โดยมีเทือกเขาภูพานทอดตัวคั่นอยู่ระหว่างแอ่งทั้งสองนี้

ธรณีวิทยาทั่วไป พบมีการกระจายตัวของหินชั้นของกลุ่มหินโคราช (Khorat Group) ซึ่งเป็นชั้นหินสีแดงมหายุคมีโซโซอิก ซึ่งสะสมตัวบนภาคพื้นทวีป (non-marine red beds) เป็นส่วนใหญ่ ประกอบด้วย หินทรายแป้ง หินทราย หินโคลน และหินกรวดมน ความหนาของหินทั้งสิ้นอาจถึง 4,000 เมตร มีอายุตั้งแต่ยุคไทรแอสซิกตอนปลายถึงยุคครีเทเชียส-เทอร์เชียรี มีการวางตัวแบบไม่ต่อเนื่อง อยู่บนพื้นผิวที่เกิดจากการผุกร่อนของหินมหายุคพาลีโอโซอิกตอนบน กลุ่มหินโคราชสามารถแบ่งออกเป็น 9 หมวดหิน ลำดับชั้นหินจากล่างไปหาบน ดังนี้

<u>หมวดหินห้วยหินลาด</u> ประกอบด้วยหินกรวดมนเนื้อปูน หินกรวดมน หินทรายสีเทาดำ ความหนาแปรเปลี่ยนระหว่าง 100-400 เมตร บ่งอายุปลายยุคไทรแอสซิก วางตัวอยู่บนหินปูนยุคเพอร์เมียนแบบรอยชั้นสัมผัสไม่ต่อเนื่อง หมวดหินนี้เป็นหมวดหินฐานของกลุ่มหินโคราช

<u>หมวดหินน้ำพอง</u> ประกอบด้วย หินทราย หินดินดานและหินกรวดมน ความหนาของหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 100-1,500 เมตร วางตัวอยู่บนหมวดหินห้วยหินลาดหรือบนหินปูนยุคเพอร์เมียน ในบริเวณที่ไม่มีหมวดหินห้วยหินลาด

<u>หมวดหินภูกระดึง</u> ประกอบด้วย หินดินดานและหินทรายแป้ง สีน้ำตาลแดง แทรกสลับด้วยหินทรายสีเทาอมเขียว ความหนาของหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 800-1,200 เมตร วางตัวอยู่บนหมวดหินน้ำพองหรือบนหินยุคเพอร์เมียน ในบริเวณที่ไม่มีหมวดหินน้ำพอง

<u>หมวดหินพระวิหาร</u> ประกอบด้วย หินทรายเนื้อควอตซ์สีขาว มักแสดงลักษณะชั้นเฉียงระดับและมีชั้นบางๆของหินทรายแป้งและหินดินดานแทรกสลับ ความหนาแปรเปลี่ยนระหว่าง 100-250 เมตร

<u>หมวดหินเสาขัว</u> ประกอบด้วยหินดินดาน และหินทรายแป้ง สีน้ำตาดแดง แทรกสลับด้วยหินทรายเนื้อละเอียด สีน้ำตาลแดง ความหนาของหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 200-760 เมตร

<u>หมวดหินภูพาน</u> มีลักษณะค่อนข้างเด่น ประกอบด้วยหินทรายปนหินกรวดมนชั้นหนา ที่แสดงการวางชั้นเฉียงระดับ ความหนาของหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 80-140 เมตร

<u>หมวดหินโคกกรวด</u> ประกอบด้วยหินทรายแป้ง หินดินดานสีแดง แทรกสลับด้วยหินทรายสีน้ำตาลแดง ความหนาของหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 430-700 เมตร

<u>หมวดหินมหาสารคาม</u> ประกอบด้วย หินทรายแป้ง และหินทราย มีชั้นโพแทช ยิปซัมและเกลือหิน หนาเฉลี่ย 200 เมตร ความหนาหมวดหินแปรเปลี่ยนระหว่าง 600-1,000 เมตร เกิดจากการสะสมตัวของแอ่ง 2 แอ่ง คือ แอ่งสกลนครกับแอ่งโคราช อายุยุคครีเทเชียสตอนปลาย

หมวดหินภูทอก ประกอบด้วยหินทรายเนื้อละเอียด หินทรายแป้ง และหินดินดานสีน้ำตาลแดงสด พบชั้นเฉียงระดับขนาดใหญ่ ความหนาแปรเปลี่ยนระหว่าง 200-730 เมตร เกิดจากการสะสมตัวในสภาพแวดล้อมแบบตะกอนพัดพาจากกระแสน้ำละลม วางตัวแบบต่อเนื่องอยู่บนหมวดหินมหาสารคาม

ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ประกอบด้วย หินตะกอนอายุยุคครีเทเชียสตอนปลาย และตะกอนร่วนอายุควอเทอร์นารีถึงปัจจุบัน ประกอบด้วย หน่วยหินตะกอนน้ำพา หมวดหินภูทอก และหมวดหินมหาสารคาม มีลักษณะการกระจายตัวของหมวดหิน ของ 3 หน่วยหิน เรียงลำดับจากอายุอ่อนไปแก่ ดังนี้ (รูปที่ 2.1-4)

หน่วยหินตะกอนน้ำพา เป็นตะกอนร่วนและกึ่งแข็งตัวพวก ดินเหนียว ทรายแป้ง ทรายกรวดและลูกรัง สะสมและกระจายตัวอยู่ตามลุ่มน้ำสงครามและห้วยหลวง ทางด้านตะวันตกและตะวันออกของพื้นที่ศึกษาตามลำดับ

หมวดหินภูทอก เป็นพวกหินทราย หินทรายแป้งและหินโคลน สีแดงอิฐ พบกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างเกือบทั้งพื้นที่ศึกษา

หมวดหินมหาสารคาม เป็นพวกหินทรายแป้ง และหินทราย มีชั้นโพแทช ยิปซัมและเกลือหิน พบเป็นบริเวณแคบๆ ตอนกลางของพื้นที่ศึกษา

ง.อุทกธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

สภาพอุทกธรณีวิทยาพื้นที่ทั้งหมดของอำเภอบ้านดุง รองรับด้วยชั้นหินดินดาน หินทราย หินทรายแป้ง หินโคลน และเกลือหินของชุดมหาสารคาม น้ำบาดาลกักเก็บในโครงสร้างของแนวแตกและแนวต่อระหว่างชั้นหิน ในปริมาณ 2 –10 ลบ.ม./ชม. คุณภาพน้ำจืด ยกเว้นเขตด้านทิศตะวันออกของอำเภอบ้านดุง เช่น บ้านหนองสองห้อง บ้านดุง บ้านนาโฮง ของตำบลบ้านดุง และบ้านฝาง บ้านโพนสูงเหนือ บ้านโพนสูงสวัสดิ์ บ้านโพนสูงใต้ ของตำบลโพนสูง

แหล่งน้ำที่มีปริมาณสูงมากกว่า 20 ลบ.ม./ชม. คุณภาพน้ำดี ได้แก่ บ้านดงแสนสุข ตำบลดงเย็น ด้านทิศใต้ของตำบลโพนสูง ต่อเข้าไปในเขตของบ้านโนนสะอาด ตำบลบ้านชัย บ้านงิ้ว ตำบลบ้านตาด บ้านโนนสมบูรณ์ บ้านไผ่ล้อม บ้านโคกคำไหล ตำบลอ้อมกอ บริเวณที่มีปริมาณน้ำน้อยกว่า 2 ลบ.ม./ชม. ได้แก่พื้นที่ด้านทิศตะวันตกของอำเภอบ้านดุงเย็นความลึกของชั้นน้ำบาดาลประมาณ 20-40 เมตร บางแห่ง 40-70 เมตร ระดับน้ำบาดาล 4-8 เมตร บางแห่ง 8-15 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ได้น้ำจืด ยกเว้นบางพื้นที่ได้น้ำกร่อยเค็ม เนื่องจากมีปริมาณเกลือคลอไรด์สูง เช่น บ้านหนองสองห้อง บ้านดุง บ้านหนองไฮ ตำบลบ้านดุง บ้านโพนสูงเหนือ บ้านโพนสูงสวัสดิ์ บ้านศรีเมืองใต้ ตำบลโพนสูง บ้านนาคำ บ้านนาดี บ้านชัย บ้านทุ่ง บ้านกล้วย ตำบลบ้านชัย บ้านถ่อนนาลับ บ้านหนองลาด ตำบลถ่อนนาลับ บ้านนาขี้นาค ตำบลนาไหม และพบการปนเปื้อนของไนเตรท ที่บ้านนาโฮง ตำบลบ้านดุง มีปริมาณไนเตรท 62 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 2.1-5)

จ.สภาพปัญหา

จากรายงานการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2555 พบว่า ในปี พ.ศ. 2554 จังหวัดอุดรธานีมีพื้นที่เกษตรกรรมเป็นประเภทการใช้ที่ดินที่มีเนื้อที่มากที่สุดคือ 5,063,421 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 69.07 ของเนื้อที่จังหวัด โดยที่ ข้าว อ้อย ยางพาราและมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ มีพื้นที่ป่าไม้ 1,026,835 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 14.01 ของเนื้อที่จังหวัด โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าผลัดใบสมบูรณ์ รองลงมาเป็นป่าผลัดใบรอสภาพฟื้นฟู และป่าดิบสมบูรณ์ ที่เหลือเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด 567,754 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 7.73 ของเนื้อที่จังหวัด พื้นที่แหล่งน้ำ 252,339 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.45 ของเนื้อที่จังหวัด และพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง 421,090 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.74 ของเนื้อที่จังหวัด โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของจังหวัดอุดรธานี ระหว่างปี พ.ศ. 2550 และ ปี พ.ศ. 2554 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีเนื้อที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของชุมชนเป็นสถานที่ราชการ พื้นที่เกษตรกรรมมีพื้นที่เพิ่มขึ้น (พื้นที่ไม้ยืนต้นเพิ่มขึ้นและพืชไร่ลดลง) พื้นที่ป่าไม้ลดลง พื้นที่แหล่งน้ำเพิ่มขึ้น และมีพื้นที่เบ็ดเตล็ดลดลง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและพื้นที่เกษตรกรรมมีผลต่อความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ปัญหาด้านเกษตรกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงครามตอนบนที่พบคือ หน้าดินตื้น ดินขาดความอุดมสมบูรณ์เป็นดินทรายและดินเค็ม เป็นพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนเกิดการชะล้างพังทลายสูงทำให้สูญเสียหน้าดิน

ปัญหาด้านความเค็ม อำเภอบ้านดุงเป็นพื้นที่ที่มีการผลิตเกลือสินเธาว์รายย่อยมากที่สุดในประเทศ มีการผลิต ทั้งแบบเตาต้มและลานตาก รวมทั้งสิ้น 215 ราย คิดเป็นพื้นที่ผลิตเกลือทั้งสิ้น 3,103 ไร่ 2 งาน 90 ตารางวา (กรมทรัพยากรธรณี, 2549) และมีผลผลิตเกลือต่อปี (พ.ศ. 2544) รวม 310,000 ตัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 60 ของผลผลิตเกลือสินเธาว์โดยผู้ผลิตรายย่อยในประเทศทั้งหมด หรือคิดเป็นร้อยละ 20 ของผลผลิตเกลือสินเธาว์ในประเทศทั้งหมดในปีเดียวกัน ด้วยวิธีการทำเหมืองละลายเกลือใต้ดินโดยการอัดน้ำจืดลงไปในชั้นเกลือใต้ดินเพื่อละลายเกลือให้เป็นน้ำเกลือ เข้มข้นก่อนสูบขึ้นสู่พื้นดินเพื่อนำไปผลิตเป็นเกลือบริสุทธ์ เนื่องจากภายหลังการละลายชั้นเกลือใต้ดินจะเกิดและเหลือโพรงไว้ใต้ดิน หากเกินความสามารถการรับน้ำหนักของโพรงใต้ดินมีโอกาสเกิดการทรุดตัวของดินชั้นบนได้ จนบางพื้นที่ในปี 2542 กรมทรัพยากรธรณี ประกาศเป็นเขตห้ามสูบน้ำเกลือ และในปี พ.ศ. 2543 กรมพัฒนาที่ดินจึงได้มีการส่งเสริมและพัฒนาอาชีพแก่เกษตรกรในการเลิกทำนาเกลือ ให้หันมาประกอบอาชีพทางการเกษตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) นอกจากนั้นยังมีโอกาสที่ความเค็มแพร่กระจายสู่พื้นที่รอบข้างได้อีก

ในปี 2554 กรมทรัพยากรธรณี ได้คัดเลือกพื้นที่ศึกษาที่เป็นพื้นที่ดินเค็มเพื่อแก้ไขปัญหาในเขตตำบลโพนสูง อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี เนื่องจากปัจจัยที่เหมาะสมในการคัดเลือกพื้นที่เป้าหมาย มีเกณฑ์ดังนี้

1) พื้นที่อำเภอบ้านดุงเป็นพื้นที่ประสบปัญหาดินเค็มจัด และเค็มปานกลาง

2) อยู่ใกล้แหล่งวัสดุทางธรณีวิทยาเช่นดินเคลย์ท้องถิ่น ดินเคลย์นาหว้า ที่สามารถนำมาใช้ปรับปรุงดินตามแนวทางของกรมทรัพยากรธรณี

3) ไม่เป็นพื้นที่อ่อนไหวต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม หากใช้แนวทางแก้ไขดินเค็มของกรมทรัพยากรธรณีอันจะส่งผลให้การดำเนินงานและการทดลองไม่สำเร็จสมบูรณ์

4) เป็นพื้นที่มีประชาชนประกอบอาชีพทำการเกษตรเป็นหลัก ซึ่งทั้งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นนาข้าวเกษตรกรมีความสนใจและสมัครใจที่จะร่วมโครงการฯ สามารถประยุกต์เปรียบเทียบนำวิธีแก้ไขดินเค็มที่หลากหลายนำไปใช้ได้อย่างเหมาะสมกับพื้นที่เกษตรกร และพัฒนาเป็นแหล่งเรียนรู้ในอนาคตได้

5) เป็นพื้นที่ที่การชลประทานหรือแหล่งน้ำเพียงพอที่จะใช้ทดลองแก้ไขปัญหาและทำการเกษตร

โดยที่แนวทางการแก้ไขปัญหาพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีวิธีการและขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การขุดบ่อหรือสระน้ำขนาดย่อมเพื่อกักเก็บน้ำเค็ม

ขั้นตอนที่ 2 การล้างดินเค็มออกจากแปลงนา โดยใช้น้ำฝนหรือน้ำจากชลประทาน

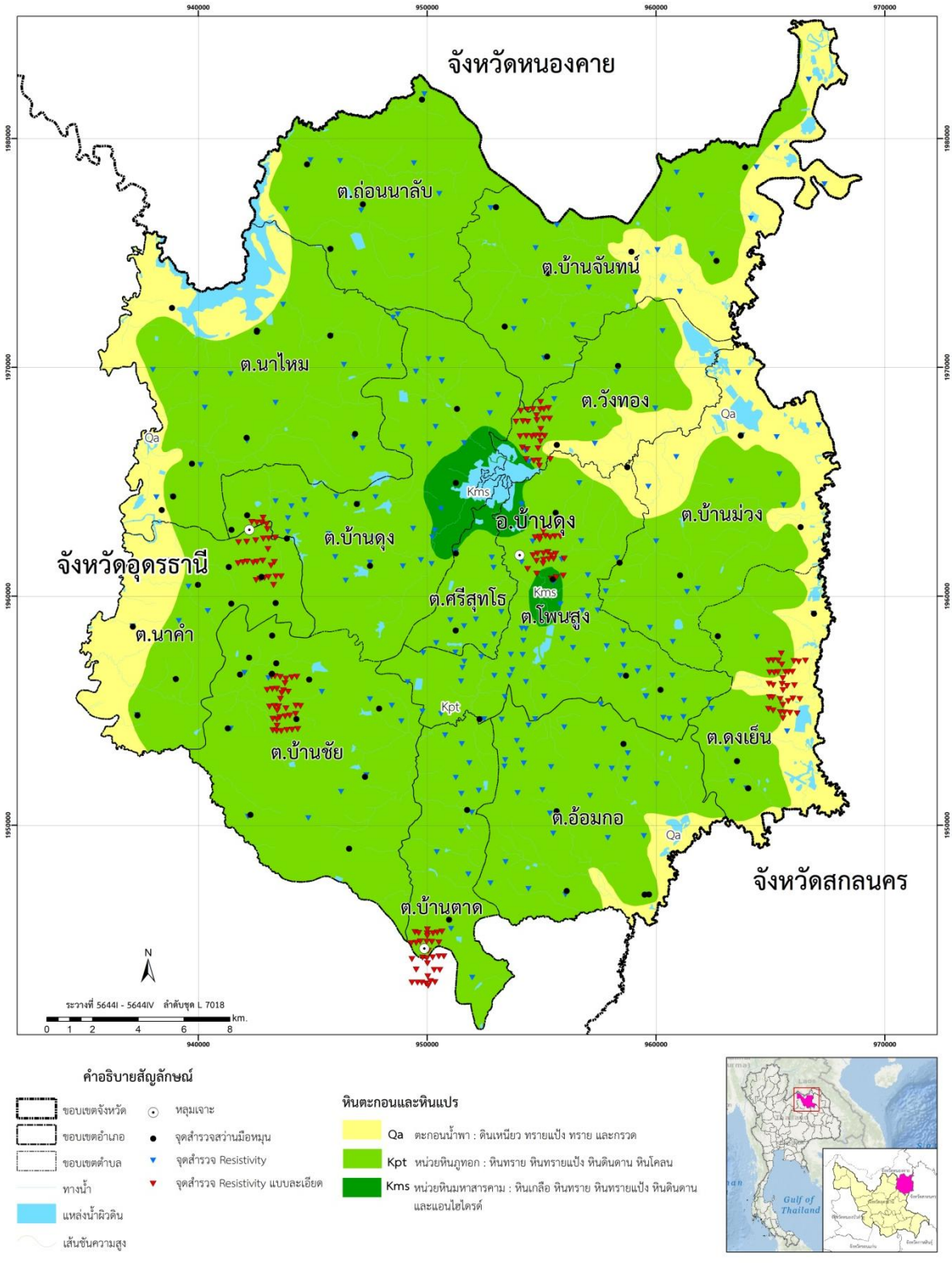
ขั้นตอนที่ 3 ปรับโครงสร้างดิน โดยใช้ดินเคลย์หรือดินเหนียวที่หาได้ในท้องถิ่น

ขั้นตอนที่ 4 ป้องกันการซึมผ่านของน้ำเค็มใต้ดินและเพิ่มความชื้นในดิน โดยใช้แร่เบนทอไนต์ (ถ้ามี)

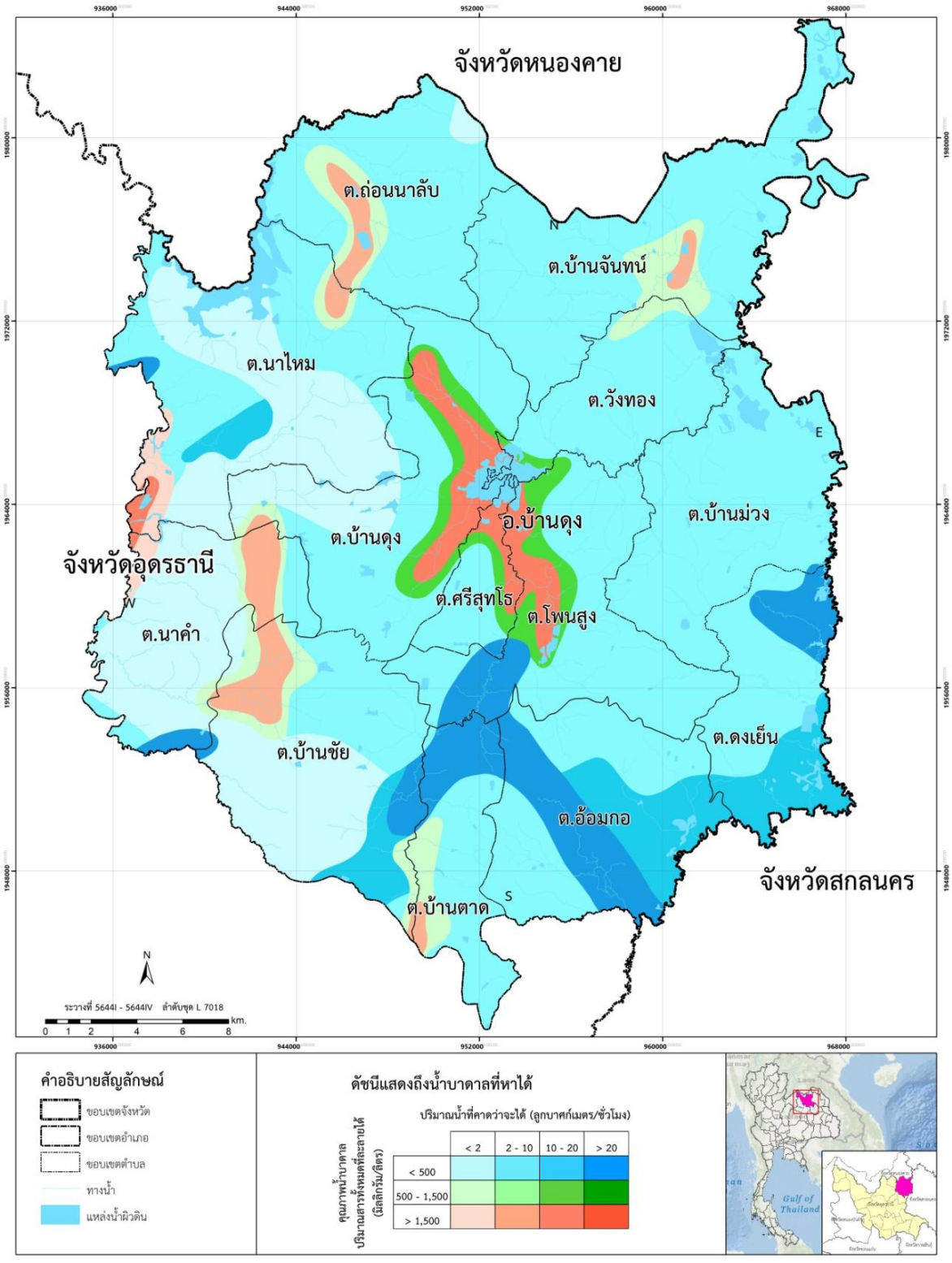
ขั้นตอนที่ 5 ใส่ปุ๋ยตามวิธีการของเกษตรกรที่เคยปฏิบัติ

ขั้นตอนที่ 6 คัดเลือกพันธุ์ข้าวและพืชที่เหมาะกับพื้นที่ดินเค็ม

และสามารถสรุปได้ว่า ดินเคลย์นาหว้าและแร่เบนทอไนต์มีส่วนช่วยในการปรับปรุงโครงสร้างดินให้สามารถดึงดูดธาตุอาหารที่มีความจำเป็นของพืช และช่วยในการยึดเกาะของรากพืช ดินเคลย์ท้องถิ่นหากมีปริมาณอินทรียวัตถุที่สูงจะส่งผลดีต่อพืชมากกว่าดินเคลย์นาหว้า เพราะมีสารอาหารที่จำเป็นต่อพืชอยู่มาก ช่วยลดต้นทุนในการใช้ปุ๋ย และการปรับปรุงโครงสร้างดินให้ได้ผลต่อการปลูกพืชมากที่สุด ควรให้มีอัตราส่วนปริมาณดินต่อทราย อยู่ที่ 3 ต่อ 4 อีกทั้งการหมุนเวียนน้ำยังมีส่วนสำคัญในการลดความเค็มในการปลูกพืช




รูปที่ 2.1-4 ธรณีวิทยาพื้นที่ศึกษา อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี




รูปที่ 2.1-5 แผนที่แสดงปริมาณและคุณภาพน้ำ อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี
(ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2558)

## 2.2 กรอบแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัญหา: ปัญหาการขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภค และน้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม

แนวคิด: ในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็มมักพบน้ำจืดระดับตื้นกว่า 15 เมตร ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาใช้ประโยชน์ได้ การสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าสามารถช่วยแบ่งแยกขอบเขตน้ำจืดและน้ำเค็มออกจากกันได้ จึงเห็นว่าองค์ความรู้นี้จะเป็นประโยชน์ต่อการช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำของพื้นที่ดังกล่าวได้

องค์ประกอบด้านกายภาพของพื้นที่ศึกษา : (1) สภาพภูมิอากาศ ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ การระเหย ความชื้น (2) แหล่งน้ำผิวดิน ประกอบด้วย แหล่งน้ำในไร่นา แหล่งน้ำตามธรรมชาติ แหล่งน้ำเพิ่มเติมจากภายนอก (3) พื้นที่ดินเค็ม (4) ลักษณะธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่

องค์ประกอบด้านบริบทชุมชน : การบริหารจัดการน้ำของชุมชน และภูมิปัญญาในการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม

แนวทางการวิจัย : การสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นแหล่งน้ำผิวดิน โดยผ่านการสร้างแบบจำลอง 2D Resistivity และสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ด้านการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ และประเมินหาแนวทางป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็ม โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผ่านโปรแกรม SWAT, MODFLOW และ MT3D

### การสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Resistivity survey)

การสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Resistivity survey) เป็นการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าลงไปในดินด้วยตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าตรง (direct current, DC) หรือใช้ไฟฟ้าสลับที่มีความถี่ต่ำปล่อยลงไปในดินอย่างช้าๆ คล้ายกระแสไฟฟ้าตรง สิ่งที่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์และการเดินของกระแสไฟฟ้าคือ คุณสมบัติทางกายภาพของดิน-หินที่ประกอบด้วยแร่องค์ประกอบในเนื้อดิน-หิน รูพรุน ของเหลวในรูพรุน หรือองค์ประกอบอื่นๆที่มีอยู่ในเนื้อดิน-หิน

วัตถุประสงค์ของการสำรวจหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ คือ เพื่อทราบสภาพทางธรณีวิทยาใต้ผิวดิน โดยอาศัยคุณสมบัติเฉพาะตัวทางไฟฟ้าของสภาพดิน-หินใต้ผิวดิน หากสภาพใต้ผิวดินไม่มีความแตกต่างทางกายภาพในด้านไฟฟ้า การสำรวจวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะก็ไม่สามารถนำมาประยุกต์สำรวจได้ ลักษณะธรณีวิทยาที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์สำรวจด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ได้แก่ การหาชั้นดิน-หินที่มีองค์ประกอบของแร่ รูพรุน และค่าการซึมผ่านแตกต่างกัน ใช้หาชั้นหินอุ้มน้ำหรือชั้นน้ำบาดาล ใช้หาขอบเขตการแทรกตัวของชั้นน้ำเค็ม ใช้หาขอบเขตของรอยเลื่อนหรือรอยเฉือน ใช้หาโพรงใต้ผิวดิน ใช้ตรวจสภาพการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ผิวดิน เป็นต้น

สำหรับการสำรวจหาค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ เพื่อหาขอบเขตการแทรกตัวของชั้นน้ำเค็ม ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการ คือ (1) การนำไฟฟ้าของน้ำหรือสารละลายที่แทรกอยู่ ซึ่งจะ

ขึ้นกับปริมาณของเกลือแร่ที่ละลายอยู่หรือคุณภาพของน้ำ (2) ปริมาณของสารละลายที่แทรกหรือถูกกักเก็บอยู่ในช่องว่าง ซึ่งเกี่ยวกับค่าความพรุน ในการสำรวจอาศัยการจัดวางขั้วไฟฟ้า 4 ตัว โดยขั้วไฟฟ้า 2 ตัว จะทำหน้าที่เป็นขั้วนำไฟฟ้า (Current electrodes, CC) และอีก 2 ตัวจะทำหน้าที่เป็นขั้ววัดความต่างศักย์ (Potential electrodes, PP) ขั้วทั้งสี่จะปักลงไปในดินในพื้นที่สำรวจ เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านลงไปในดินระหว่างขั้ว CC ก็จะทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างขั้ว PP จากการวัดค่าความต่างศักย์ที่ได้และทราบค่ากระแสไฟฟ้าที่ปล่อยลงไป ทำให้สามารถคำนวณค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะได้ โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จะเป็นค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของหินหรือวัสดุที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทั้งหมด ค่าเฉลี่ยนี้เรียกว่า ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะปรากฏ (Apparent resistivity, $\rho_a$) ดังนั้นต้องนำค่า $\rho_a$ ไปแปลความหมายและคำนวณออกมาเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะจริง (True resistivity, $\rho$) โดย $\rho$ จะมีค่าดังสมการ

$$\rho = \frac{RA}{L}$$ โดยที่

$\rho$ = ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ มีหน่วยเป็น ohm–m

R = ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ เป็นสัดส่วนผกผันกับค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะ (Conductivity,$\sigma$)

A = พื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็นตารางเมตร

L = ความยาว มีหน่วยเป็นเมตร

การจัดวางขั้วไฟฟ้าหรือการวางตำแหน่งของขั้วไฟฟ้า (Electrode array) สามารถทำได้หลายรูปแบบ แต่รูปแบบที่นิยมใช้มีอยู่ 3 รูปแบบ คือ (รูปที่ 2.2-1)

(1) การจัดแบบเวนเนอร์ (Wenner configuration) โดยจัดให้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าทุกตัวมีค่าเท่ากันหมด ค่าความต้านทานไฟฟ้าปรากฏจะมีค่าเท่ากับ

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I}$$ โดยที่

a = ระยะห่างของขั้วไฟฟ้า

V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า และ I = กระแสไฟฟ้าที่ปล่อยลงไป

(2) การจัดแบบชลัมเบอร์เจ (Schlumberger configuration) โดยกำหนดให้ระยะ L ระหว่างขั้วไฟฟ้า CC มีค่ามากๆ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะ b ซึ่งเป็นระยะระหว่างขั้ว PP โดยอย่างน้อย L ต้องมากกว่า 5 เท่าของระยะ ($L \geq 5b$) ค่าความต้านทานไฟฟ้าปรากฏจะมีค่าเท่ากับ

$$\rho_a = \pi \frac{(L/2)^2 - (b/2)^2}{b} \frac{V}{I}$$

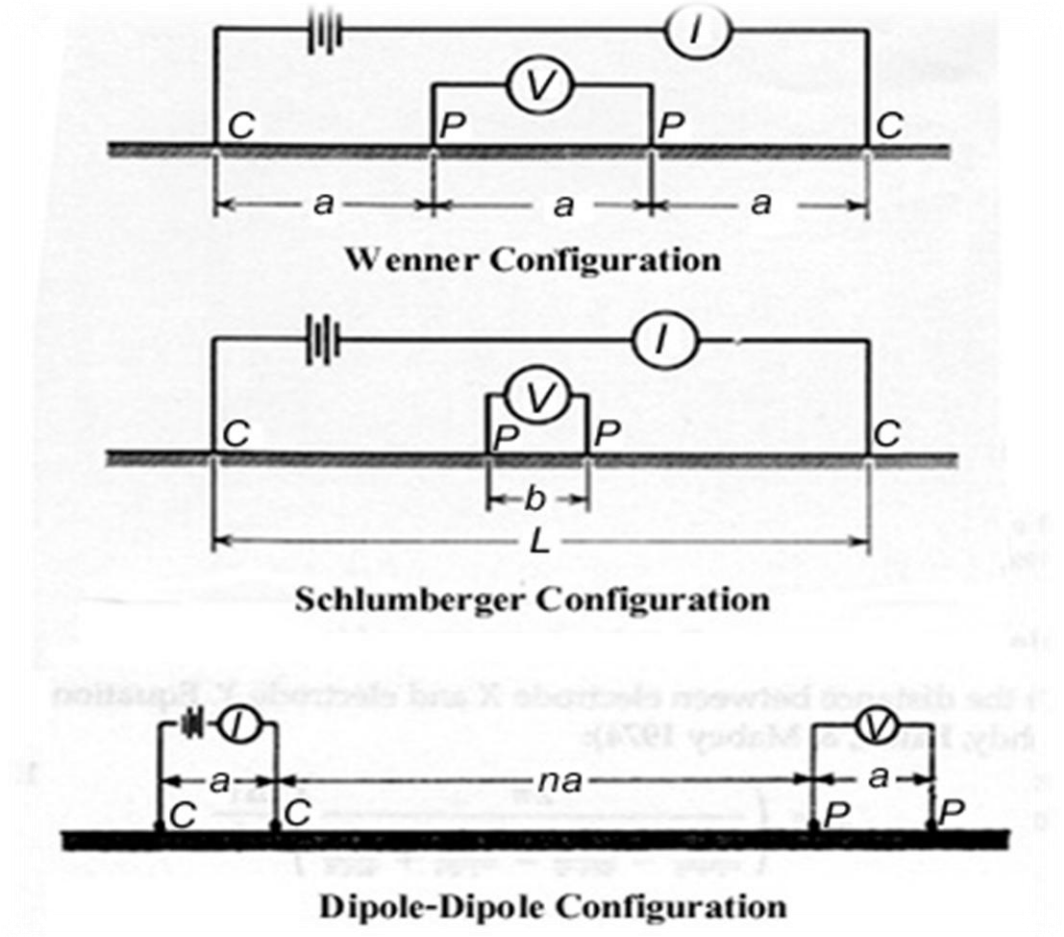
(3) การจัดแบบไดโพล-ไดโพล (Dipole-Dipole) โดยให้ระยะห่างระหว่างขั้ว CC=PP=a และระยะห่างระหว่างชุดของขั้ว CC และ PP ห่างเท่ากับ na ค่าความต้านทานไฟฟ้าปรากฏจะมีค่าเท่ากับ

$$\rho_a = n(n+1)(n+2)a\frac{V}{I}$$

1. เครื่องวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ
2. แบตเตอร์รี่

7. ขั้วกระแสไฟฟ้า จำนวน 2 ตัว
(Current electrodes, CC)

3. ม้วนสายไฟฟ้า
4. ค้อน
5. สายวัดระยะ
6. ขั้ววัดความต่างศักย์ จำนวน 2 ตัว
(Potential electrodes, PP)




รูปที่ 2.2-1 อุปกรณ์และรูปแบบการจัดวางขั้วไฟฟ้า

แนวคิดและทฤษฎีหลักๆ ที่เป็นพื้นฐานในงานทางด้านน้ำบาดาลที่สำคัญได้แก่ การศึกษาของ Darcy (1856), Toth (1963) และ Freeze and Witherspoon (1967) การศึกษาของดาร์ซี่ ในปี ค.ศ. 1856 เป็นพื้นฐานความรู้ของการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งได้ทำการศึกษาให้น้ำไหลในท่อผ่านวัตถุพรุน ผลการศึกษาที่ได้พบว่าความเร็วการไหลของน้ำในวัตถุพรุนเป็นความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของวัตถุพรุน (Hydraulic Conductivity, K) และค่าความแตกต่างของแรงดันของน้ำต่อหน่วยระยะทางหรือ Hydraulic Gradient (i) ดังสมการที่ 2.1

$$v = K \cdot \frac{dh}{dl} \qquad \text{.....} \quad (2.1)$$

v = ความเร็วของน้ำในวัตถุพรุน $[LT^{-1}]$

K = ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหินอุ้มน้ำนั้น ๆ (Hydraulic Conductivity) $[LT^{-1}]$

dh/dl = Hydraulic Gradient (i) ระหว่างจุด 2 จุดที่น้ำไหลผ่าน

เมื่อวิเคราะห์กฎการไหลของน้ำในวัตถุพรุนของดาร์ซี่ร่วมกับสมการสมดุล (Continuity Equation) ได้สมการหลักการไหลของน้ำผ่านชั้นหินอุ้มน้ำแบบ 3 มิติ (Governing Equation) ในกรณีที่ระดับน้ำคงที่ดังสมการที่ 2.2

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \cdot \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \cdot \frac{\partial h}{\partial z}\right) = 0 \qquad \text{.....} \quad (2.2)$$

เมื่อ

$K_x$, $K_y$, $K_z$ = ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ในแนว x, y และ z $[LT^{-1}]$

H = ค่า Hydraulic Head $[L]$

กรณีที่ระดับน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงตามเวลา สมการหลักการไหลของน้ำบาดาลสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.3 คือ

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \cdot \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \cdot \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \cdot \frac{\partial h}{\partial z}\right) \pm W = S_s \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \qquad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ

W = อัตราการสูบหรือสูญเสียน้ำ (-) หรือ Sink การเพิ่มเติมน้ำต่อระบบ (+) หรือ Source

$S_s$ = ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำ (Specific Storage) ในแนวแกน x, y และ z $[L^{-1}]$

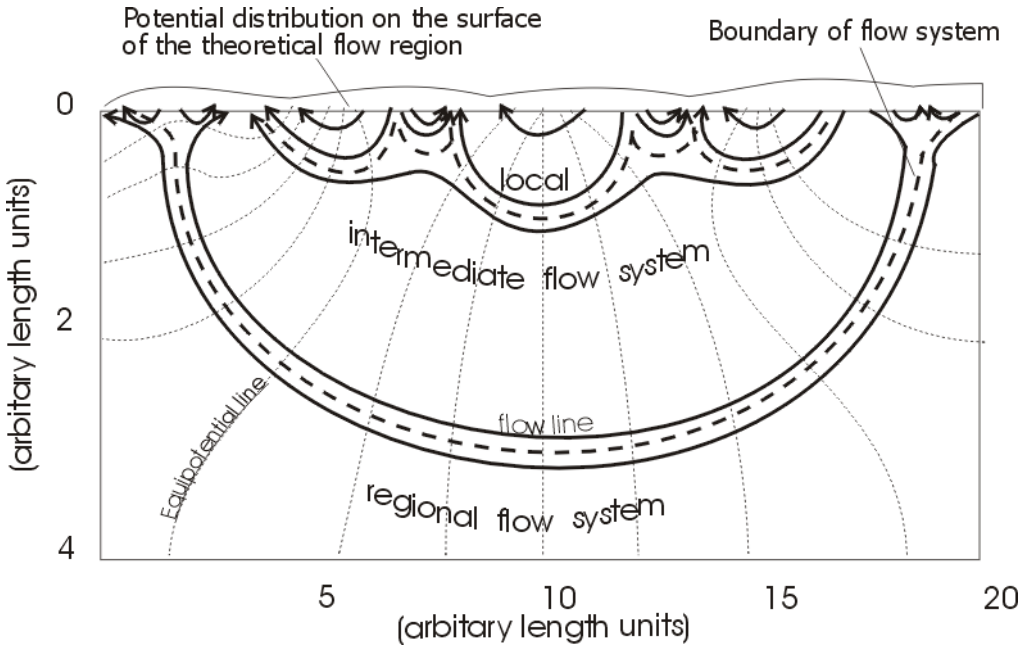
t = เวลา

$\partial h/\partial t$ = การเปลี่ยนแปลงของเฮดต่อเวลา

งานทางด้านน้ำบาดาลในช่วงต้นส่วนใหญ่เป็นงานที่วิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาลเฉพาะจุด หรือเฉพาะการไหลของน้ำเข้าหรือออกจากบ่อบาดาลบ่อใดบ่อหนึ่งเท่านั้น แต่ลักษณะการไหลของน้ำบาดาลในธรรมชาติที่อยู่ในแอ่งกักเก็บมีความซับซ้อนค่อนข้างสูง Toth (1963) จึงได้เสนอแนวคิดในการวิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาลในแอ่งกักเก็บน้ำบาดาล โดยการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพสิ่งแวดล้อมทางอุทกธรณีวิทยา (Hydrogeologic Environments) ซึ่งประกอบด้วยสภาพภูมิอากาศ (Climate) สภาพภูมิประเทศ (Topography) สภาพธรณีวิทยา (Geology) อุทกธรณีเคมี และข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของวัฏจักรของน้ำในระบบอุทกวิทยา ร่วมกับข้อมูลชลศาสตร์การไหลของน้ำบาดาลในแอ่งกักเก็บในเชิงคณิตศาสตร์ สามารถจำแนกระบบการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งกักเก็บได้เป็น 3 ระบบ ดังนี้ (รูปที่ 2.2-2)

1) ระบบการไหลเฉพาะแห่ง เป็นการไหลของน้ำในระดับตื้น พื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำอยู่ในระยะใกล้กันทำให้ระยะทางและเวลาการไหลสั้น การเปลี่ยนแปลงทิศทางและอัตราการไหลของน้ำไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับการซึมของน้ำเข้าสู่ระบบน้ำบาดาลและการคายระเหยที่ผิวดิน คุณภาพของน้ำมีความเข้มข้นของสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS), $HCO^{-3}$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ ต่ำ มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแนวดิ่งค่อนข้างสูง

2) ระบบการไหลขนาดกลาง การไหลของน้ำบาดาลที่เกิดเป็นบริเวณกว้างขึ้น มีความเข้มข้นของสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS) เพิ่มขึ้นตามระยะทางการไหล คุณภาพน้ำมีการเปลี่ยนแปลงของสารละลาย $SO^{=}_{4}$ และ $Cl^{-}$ บ้างเล็กน้อย ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลน้อย

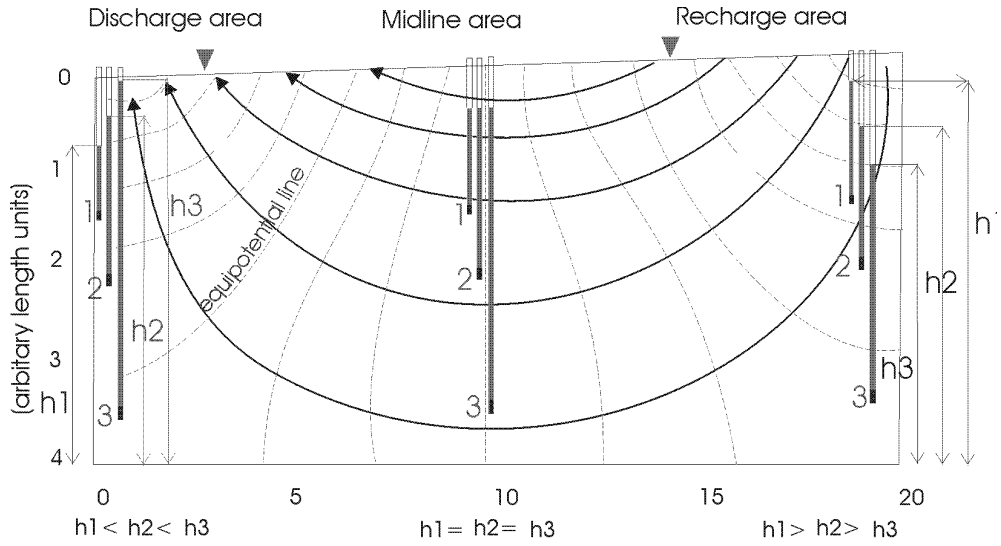



รูปที่ 2.2-2 ระบบการไหลของน้ำบาดาล (จาก Toth, 1963)

3) ระบบการไหลบริเวณกว้าง มีพื้นที่รับน้ำเป็นสันปันน้ำของแอ่งกักเก็บและพื้นที่สูญเสียน้ำเป็นบริเวณที่มีระดับภูมิประเทศต่ำที่สุดของแอ่งน้ำบาดาลมีระยะการไหลไกล ค่อนข้างลึก อัตราการไหลช้าใช้เวลานาน อุณหภูมิของน้ำค่อนข้างสูง คุณภาพของน้ำบาดาลมีปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้สูง $Cl^-$ และ $SO^{=}_4$ สูง และมีค่า $HCO^-_3$ ลดลง

ระบบการไหลของน้ำบาดาลในแอ่งกักเก็บน้ำบาดาลประกอบด้วยพื้นที่ 3 ส่วน คือ พื้นที่รับน้ำ (Recharge Area) เป็นพื้นที่ที่น้ำบาดาลไหลลง พื้นที่ปันน้ำ (Midline Area) เป็นพื้นที่ที่น้ำบาดาลไหลในแนวราบ และพื้นที่สูญเสียน้ำ (Discharge Area) เป็นพื้นที่ที่น้ำบาดาลไหลขึ้น ระบบการไหลของน้ำบาดาลมีความสัมพันธ์กับพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำ แสดงในรูปที่ 2.2-3

การศึกษาของ Freeze and Witherspoon ในปี ค.ศ. 1967 เป็นการประยุกต์ใช้วิธีทางคณิตศาตร์ (Numerical method) โดยวิธีการคำนวณแบบไฟไนท์ดิฟเฟอเรนซ์ หาการแพร่กระจายของศักย์ของของไหล ลักษณะ และรูปแบบการไหลของน้ำบาดาลตามเงื่อนไขและขอบเขตสภาพความเป็นจริงของพื้นที่ การศึกษาด้านน้ำบาดาลได้มีการพัฒนามากขึ้นโดยการนำวิธีการทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้เป็นเหตุให้การศึกษาน้ำบาดาลตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ถึงปัจจุบันมีการนำเทคนิคทางคณิตศาสตร์มาพัฒนาและใช้กันอย่างแพร่หลาย (Spitz and Moreno, 1996) และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในปัจจุบันมีจำนวนมากกว่า 1,000 แบบจำลอง (Anderson and Woessner, 1992)




รูปที่ 2.2-3 ลักษณะการไหลและเฮดของน้ำในพื้นที่พื้นที่รับน้ำ พื้นที่ปันน้ำ และพื้นที่สูญเสียน้ำ (จาก Toth, 1963 อ้างใน )

ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำบาดาลสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ระบบการไหลของน้ำบาดาลได้ เมื่อน้ำบาดาลไหลไปตามเส้นทางการไหลในโซนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ จะมีผลทำให้ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ และอิออนหลัก ๆ เกือบทั้งหมดเพิ่มขึ้น จากการสำรวจน้ำบาดาลในหลายๆ ส่วนของโลก Freeze and Cherry (1979) พบว่าน้ำบาดาลระดับตื้นในบริเวณพื้นที่รับน้ำจะมีปริมาณสารที่ละลายอยู่ต่ำกว่าน้ำบาดาลระดับลึกที่อยู่ระบบเดียวกัน และมีปริมาณของสารที่ละลายอยู่ในน้ำน้อยกว่าโซนที่อยู่ตื้น ๆ ในพื้นที่สูญเสียน้ำ

จากการศึกษาของ Chebotarev (1955) และ Back (1961) ได้สรุปว่าเมื่อเส้นทางการไหลของน้ำบาดาล (Flow path) ที่มีระยะทางเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณสารที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น และส่วนประกอบทางเคมีของน้ำบาดาลมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงไปจนมีส่วนประกอบใกล้เคียงกับน้ำทะเล ซึ่งต่อมา Toth (1984) ได้สรุปอย่างกว้างๆ ถึงวิวัฒนาการของอิออนหลักในระบบการไหล เมื่ออายุของน้ำมากขึ้นและระยะทางการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นดังนี้

$HCO^-_3 \rightarrow HCO^-_3, SO^{=}_4 \rightarrow SO^{=}_4 \rightarrow SO^{=}_4, Cl^- \rightarrow Cl^-, SO^{=}_4, \rightarrow Cl^-$

| | | |
|---|---|---|
| การไหลเฉพาะแห่ง | ปานกลาง | ระดับกว้าง |
| โซนการไหลระดับตื้น | ปานกลาง | ระดับลึก |
| น้ำบาดาลไหลเร็ว | ไหลช้า | กึ่งไหลช้า |

เส้นทางการไหลเพิ่มขึ้น ⟶

อายุของน้ำเพิ่มขึ้น ⟶

บริเวณที่เป็นพื้นที่รับน้ำมักจะมีค่าสารทั้งหมดที่ละลายได้ต่ำ มีปริมาณออกซิเจนในน้ำ (Dissolved oxygen) สูง มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ และมักจะไม่มีอิออนบวกที่เด่น (Back, 1961) ปริมาณไบคาร์บอเนตในพื้นที่รับน้ำมักได้รับอิทธิพลจากคาร์บอนไดออกไซด์ และแร่คาร์บอเนตที่ละลายน้ำ พื้นที่รับน้ำที่ดินมีสารอินทรีย์สูงๆ จะเป็นตัวให้คาร์บอนไดออกไซด์แก่น้ำที่เพิ่มเติมเข้ามา เนื่องจากขบวนการทางชีวภาพ (Microbial) ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของแรงดันบางส่วนของ $CO_2$ ($P_{CO2}$) ในน้ำ ทำให้มีการจับตัวกัน เกิดเป็นกรดคาร์บอนิค ดังสมการ

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$

เมื่อเส้นทางการไหลเพิ่มขึ้นซัลเฟตจะเป็นอิออนหลัก เนื่องจากยิบซัมและแอนไฮไดรท์จะละลายได้ดีกว่าแคลไซต์และโดโลไมต์ สำหรับระบบการไหลที่ลึกและมีอายุแก่ขึ้น ชนิดของน้ำบาดาลจะมีวิวัฒนาการไปเป็นน้ำชนิดคลอไรด์ เนื่องจากแร่ซัลเฟตและคาร์บอเนตจะสูญเสียไปเนื่องจากการตกผลึกและเนื่องจากความสามารถในการละลายของแร่คลอไรด์สูง

**แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อประเมินสถานภาพและศักยภาพการบริหารจัดการน้ำ**

**การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT**

เครื่องมือ Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็นเครื่องมือสำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำใต้ดิน ปริมาณตะกอน และปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก ขนาดใหญ่และซับซ้อน แบบจำลอง SWAT อาศัยข้อมูลเชิงกายภาพ ได้แก่ ข้อมูลความสูงต่ำของพื้นที่ (DEM) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลคุณสมบัติดิน และข้อมูลภูมิอากาศ เพื่อการประมาณค่าดัชนีที่บ่งชี้ความสมบูรณ์ของลุ่มน้ำ โดยแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย และภายในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยจะถูกแบ่งเป็นหน่วยจัดการอุทกวิทยา (Hydrologic Response Units, HRUs) ซึ่งเป็นการซ้อนทับกันของชั้นข้อมูลเชิงกายภาพ

การประมาณค่าทางอุทกวิทยาจะใช้หลักการทางด้านสมดุลของน้ำ โดยปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในดิน จะเท่ากับปริมาณน้ำที่ดินได้รับมา ลบกับปริมาณน้ำที่ดินสูญเสียไป ปริมาณน้ำที่ดินได้รับมาประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำชลประทาน ส่วนปริมาณน้ำที่สูญเสียไปประกอบด้วย ปริมาณน้ำไหลบ่า ปริมาณการคายระเหยของน้ำ ปริมาณการซึมลึกลงไปใต้ดินของน้ำ และปริมาณการไหลลงแม่น้ำ (Neitsch et al., 2009) แสดงได้ดังสมการ

$$SWt = SW + \sum_{i=1}^{t} (Ri - Qi - ETi - Pi - QRi)$$

เมื่อ SW = ปริมาณน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ (Available water capacity, AWC) (มิลลิเมตร)

t = ช่วงระยะเวลา i คือ เวลา (วัน)

R = ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)

Q = ปริมาณน้ำไหลบ่า (มิลลิเมตร)

ET = ปริมาณการคายระเหย (มิลลิเมตร)

P = ปริมาณน้ำที่ซึมลึกลงไปในดิน (มิลลิเมตร)

QR= ปริมาณน้ำที่ไหลลงแม่น้ำ (มิลลิเมตร)

การสร้างแบบจำลอง SWAT ประกอบไปด้วยขั้นตอนสำคัญทั้งหมด 7 ขั้นตอน คือ

- การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำย่อยและตำแหน่งอ่างเก็บน้ำ
- การสร้างหน่วยจัดการอุทกวิทยา (HRUs)
- การป้อนข้อมูลภูมิอากาศ
- การป้อนข้อมูลอ่างเก็บน้ำ
- การป้อนพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน
- การสอบเทียบแบบจำลองและตรวจสอบ
- การจำลองสถานการณ์

**การวิเคราะห์การไหลของน้ำใต้ดินด้วยแบบจำลอง MODFLOW และ MT3D**

**(McDonald and Harbaugh, 1989)**

แบบจำลองน้ำใต้ดิน (Groundwater models) เป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินและคำนวณสมดุลน้ำใต้ดิน หรือใช้เป็นเครื่องมือจำลองสภาพต่างๆที่เกิดขึ้นในธรรมชาติที่ทำการทดลองและคาดคะเนเหตุการณ์ต่างๆในปัจจุบันและอนาคต การจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ประกอบด้วยการจำลองเพื่อปรับเทียบค่าตัวแปรต่างๆของชั้นหินอุ้มน้ำในสภาวะคงตัว (Steady state) และการจำลองที่สภาวะไม่คงตัว (Transient state) สำหรับแบบจำลอง MODFLOW และ MT3D (McDonald and Harbaugh, 1989) เป็นแบบจำลองที่นิยมใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินในระบบ 3 มิติ เนื่องจากประยุกต์เข้ากับปัญหาได้ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน เป็นการคำนวณแบบ finite difference (Anderson and Woessener, 1992) สมการหลักที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[Kx\frac{\partial h}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[Ky\frac{\partial h}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[Kz\frac{\partial h}{\partial z}\right]\pm W=Ss\frac{\partial h}{\partial t}$$

โดย Kx, Ky, Kz = ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) ในแนวแกน x, y, z

h = ระดับแรงดันน้ำใต้ดิน

W = การเติมน้ำ (+) หรือสูบน้ำออก (-) ต่อหน่วยปริมาตร

Ss = ค่าการกักเก็บจำเพาะ (Specific Storage)

T = เวลา

ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลอง ประกอบด้วย การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual model) จากข้อมูลสนามและอื่นๆ เพื่อเตรียมข้อมูลเข้าสู่ระบบการจำลองคณิตศาสตร์ โดยการประมวลข้อมูลทางลักษณะทางกายภาพอุทกวิทยา ธรณีวิทยา และอุทกวิทยาของพื้นที่ศึกษา ที่มีความซับซ้อนตามธรรมชาติให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมพร้อมที่จะนำไปใช้ในการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการออกแบบแบบจำลองเป็นการกำหนดขนาดและขอบเขตแบบจำลอง เพื่อที่จะนำข้อมูลต่างๆสู่แบบจำลอง จากนั้นจะเป็นการปรับเทียบแบบจำลองและการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง การจำลองเพื่อประเมินแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินนั้นมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อประมาณการน้ำต้นทุนของพื้นที่

# บทที่ 3
# วิธีการศึกษา

## 3.1 กายภาพพื้นที่ศึกษา

**ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง**

พื้นที่ศึกษาอยู่ในเขตอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 1 เทศบาลเมือง และ 12 ตำบล ประกอบด้วย 1) ตำบลบ้านดุง 2) ตำบลโพนสูง 3) ตำบลถ่อนนาลับ 4) ตำบลนาไหม 5) ตำบลนาคำ 6) ตำบลบ้านชัย 7) ตำบลบ้านจันทน์ 8) ตำบลวังทอง 9) ตำบลบ้านม่วง 10) ตำบลดงเย็น 11) ตำบลบ้านตาด และ 12) ตำบลอ้อมกอ มีจำนวนประชากรทั้งสิ้น คน (สำนักทะเบียนอำเภอบ้านดุง 2559) โดยที่เทศบาลเมืองบ้านดุง (ศรีสุทโธ) มีจำนวนประชากรมากที่สุด (15,889 คน) และตำบลนาไหม มีพื้นที่รับผิดชอบมากที่สุด (102.76 ตารางกิโลเมตร) (ตารางที่ 3.1-1)

องค์ประกอบด้านกายภาพของพื้นที่ศึกษา : (1) สภาพภูมิอากาศ ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ การระเหย ความชื้น (2) แหล่งน้ำผิวดิน ประกอบด้วย แหล่งน้ำในไร่นา แหล่งน้ำตามธรรมชาติ แหล่งน้ำเพิ่มเติมจากภายนอก (3) พื้นที่ดินเค็ม (4) ลักษณะธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ นอกจากนี้ยังรวมถึง ข้อมูลธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา บ่อบาดาล แหล่งน้ำในพื้นที่ ปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำฝนรายวัน การใช้ที่ดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

องค์ประกอบด้านบริบทชุมชน : การบริหารจัดการน้ำของชุมชน และภูมิปัญญาในการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม รวมถึงสภาพปัญหาด้านทรัพยากรน้ำ

## 3.2 การดำเนินการศึกษา

การสำรวจกายภาพพื้นที่สถานภาพและศักยภาพพื้นที่และชุมชนด้านทรัพยากรน้ำ มีวิธีการและเครื่องมือ ประกอบด้วย

3.2.1 ปริมาณการใช้น้ำอุปโภคบริโภคและสภาพปัญหาด้านทรัพยากรน้ำ

เป็นการสำรวจและรวบรวมข้อมูลมาตรวัดน้ำประปาของชุมชนในพื้นที่ศึกษา 12 ตำบล โดยเก็บข้อมูลประชากรตัวแทนจากแต่ละตำบล ๆ ละ 3-4 หมู่บ้าน นำมาประมวลและสรุปเป็นค่าปริมาณการใช้น้ำประปาเฉลี่ยจำนวนลิตรต่อคนต่อวัน ของแต่ละชุมชน และรวบรวมข้อมูลด้านทรัพยากรน้ำของชุมชนโดยการสัมภาษณ์ผู้นำท้องถิ่น การตอบแบบสอบถามจากตัวแทนของหน่วยงานท้องถิ่นที่เกี่ยวข้อง การสำรวจข้อมูลการใช้น้ำอุปโภคบริโภคมีรายละเอียดของประชากรตัวแทนแต่ละตำบล ดังนี้ (ตารางที่ 3.2-1)

เทศบาลศรีสุทโธ ใช้ข้อมูลของประปาส่วนภูมิภาค

ตำบลบ้านดุง ประกอบด้วย บ้านโนนสวรรค์ หนองสองห้อง หนองไฮ ปอพาน ดุงเหนือ วังพระองค์ โนนสำราญ ปอพานใต้ และบ้านหนองสองห้องใต้

ตำบลโพนสูง ประกอบด้วย บ้านดงค้าพัฒนา โนนสำราญ และบ้านหนองแต้

ตำบลถ่อนนาลับ ประกอบด้วย บ้านถ่อนนาลับ นามั่ง โพธิ์ชัย และบ้านโพธิ์ท่าเมือง

ตำบลนาไหม ประกอบด้วย บ้านท่าบ่อยาง ผึ้ง ศรีบุญทัน และบ้านแสนอุดม

ตำบลบ้านชัย ประกอบด้วย ข้อมูล 3 หมู่บ้าน

ตำบลนาคำ ประกอบด้วย บ้านโนนงาม โนนอุดม และหัวดงยาง

ตำบลบ้านจันทน์ ประกอบด้วย บ้านจันทน์ โนนศึกษา ทรายมูล หนองกา โนนสิมมา เหล่าอุดม บ่อศิลา ดงหวาย ทรัพย์สมบูรณ์ นาเจริญ สายน้ำผึ้ง ดงบาตร นาสีทอง ทรายทอง และบ้านโนนสิมมาเหนือ

ตำบลวังทอง ประกอบด้วย บ้านวังทอง วังดารา เหล่าหลวง คำเจริญ วังแสนสุข วังสมบัติ เหล่าหลวงใต้ และบ้านวังชัย

ตำบลดงเย็น ประกอบด้วย บ้านดงเย็น ดงสง่า และบ้านดงแสนสุข

ตำบลบ้านม่วง ประกอบด้วย บ้านม่วง แลบ้านะสามัคคี

ตำบลอ้อมกอ ประกอบด้วย บ้านดงดารา เดชอุดม และบ้านโนนสมบูรณ์

ตำบลบ้านตาด ประกอบด้วย บ้านโนนทองหลาง โนนสวรรค์ และบ้านสมวิไล

พบว่า แหล่งน้ำต้นทุนที่นำมาใช้ส่วนใหญ่เป็นน้ำใต้ดินทั้งจากบ่อน้ำตื้นและบ่อน้ำลึก มีเพียงบางแห่งที่ได้จากสระน้ำซึ่งเป็นแหล่งน้ำผิวดิน เนื่องจากความเชื่อของชาวบ้านว่าน้ำจากแหล่งน้ำใต้ดินมีความสะอาดมากกว่าน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน (รูปที่ 3.2-1 ตารางที่ 3.2-1)

ตารางที่ 3.1-1 รายละเอียดประชากรของแต่ละตำบล ในอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี

| ลำดับที่ | ตำบล/เทศบาล | จำนวน หมู่บ้าน/ ชุมชน | จำนวน ครัวเรือน (หลังคาเรือน) | จำนวน ประชากร (คน) | พื้นที่ รับผิดชอบ (ตร.กม.) | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ศรีสุทโธ | 12/20 | 5,708 | 15,889 | 20.95 | |
| 2 | บ้านดุง | 18 | 3,522 | 12,198 | 82.05 | |
| 3 | โพนสูง | 17 | 3,491 | 11,455 | 95.70 | |
| 4 | ถ่อนนาลับ | 8 | 1,571 | 5,442 | | |
| 5 | นาไหม | 13 | 2,734 | 10,511 | 102.76 | |
| 6 | นาคำ | 13 | 2,658 | 10,151 | 50.10 | |
| 7 | บ้านชัย | 9 | 2,519 | 8,858 | 80.83 | |
| 8 | บ้านจันทร์ | 18 | 3,782 | 14,395 | 99.00 | |
| 9 | วังทอง | 9 | 1,648 | 6,246 | 48.01 | |
| 10 | บ้านม่วง | 14 | 2,331 | 8,551 | 88.00 | |
| 11 | ดงเย็น | 8 | 1,858 | 6,875 | 45 | |
| 12 | บ้านตาด | 10 | 1,988 | 7,098 | 49.39 | |
| 13 | อ้อมกอ | 10 | 2,458 | 8,704 | 89.0 | |

ที่มา สำนักทะเบียนอำเภอบ้านดุง 2559

ตารางที่ 3.2-1 การสำรวจข้อมูลการใช้น้ำอุปโภคบริโภคโดยการรวบรวมข้อมูลมาตรวัดน้ำประปา

| ลำดับที่ | ตำบล/เทศบาล | แหล่งข้อมูล | ช่วงเวลาบันทึกข้อมูล | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ศรีสุทโธ | ข้อมูลของประปาส่วนภูมิภาค | 2561 | |
| 2 | บ้านดุง | บ้านโนนสวรรค์/หนองสองห้อง/หนองไฮ/ปอพาน/ดุงเหนือ/วังพระองค์/โนนสำราญ/ปอพานใต้/หนองสองห้องใต้ | 2560-2562 | |
| 3 | โพนสูง | บ้านดงค้าพัฒนา/โนนสำราญ/หนองแต้ | 2558-2561 | |
| 4 | ถ่อนนาลับ | บ้านถ่อนนาลับ/นามั่ง/โพธิ์ชัย/โพธิ์ท่าเมือง | 2561 | |
| 5 | นาไหม | บ้านท่าบ่อยาง/ผึ้ง/ศรีบุญทัน/แสนอุดม | ต.ค .61-มี.ค .62 | |
| 6 | นาคำ | โนนงาม/โนนอุดม/หัวดงยาง | 2559-2561 | บ้านนาดีใช้น้ำผิวดินและน้ำใต้ดินทำประปา |
| 7 | บ้านชัย | 3 หมู่บ้าน | 2559-2561 | |
| 8 | บ้านจันทร์ | 15 หมู่ บ้านจันทน์/โนนศึกษา/ทรายมูล/หนองกา/โนนสิมมา/เหล่าอุดม/บ่อศิลา/ดงหวาย/ทรัพย์สมบูรณ์/นาเจริญ/สายน้ำผึ้ง/ดงบาตร/นาสีทอง/ทรายทอง/โนนสิมมาเหนือ | เม.ย.60 - มี.ค.61 | |
| 9 | วังทอง | บ้านวังทอง/วังดารา/เหล่าหลวง/คำเจริญ/วังแสนสุข/วังสมบัติ/เหล่าหลวงใต้/วังชัย | 2561 | |
| 10 | บ้านม่วง | บ้านม่วง/สามัคคี | 2560 | |
| 11 | ดงเย็น | บ้านดงเย็น/ดงสง่า/ดงแสนสุข | 2559-2561 | |
| 12 | บ้านตาด | บ้านโนนทองหลาง/โนนสวรรค์/สมวิไล | 2559-2561 | |
| 13 | อ้อมกอ | บ้านดงดารา/เดชอุดม/โนนสมบูรณ์ | 2559-2561 | |

3.2.2 การสำรวจการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำและคุณภาพน้ำ

วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำอย่างหนึ่งคือการติดตามตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำและคุณภาพน้ำของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยการคัดเลือกตัวแทนของบ่อน้ำบาดาล แหล่งน้ำผิวดินในการวัดระดับน้ำและคุณภาพน้ำทั้งที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม (ตารางที่ 3.2-2) เครื่องมือวัดระดับน้ำ ประกอบด้วย ม้วนสายไฟ และเทปวัดระยะเป็นเมตร และสำหรับเครื่องมือวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม ในการศึกษาครั้งนี้ใช้คือ เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity meter, EC) และเครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) (รูปที่ 3.2-1)

การสำรวจการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ และคุณภาพน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ได้ดำเนินการสำรวจบ่อบาดาลในพื้นที่ตามบัญชีรายชื่อบ่อบาดาลจังหวัดอุดรธานี พร้อมกับบ่อน้ำตื้นซึ่งจะมีตัวแทนของตัวอย่างในแต่ละตำบลสำหรับตรวจวัดระดับน้ำ คุณภาพน้ำในภาคสนามรายเดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2561 ถึงเดือนสิงหาคม 2562 จำนวน 77 ตัวอย่างของแต่ละเดือน และเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน จำนวน 2 ครั้ง คือ ในช่วงแล้งและช่วงน้ำหลากสำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจำนวน 16 และ20 พารามิเตอร์ สำหรับน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน ตามลำดับ (ตารางที่ 3.2-3) ส่งห้องปฏิบัติการของสำนักวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ ครั้งแรก จำนวน 73 ตัวอย่าง ครั้งที่ ๒ จำนวน 83 ตัวอย่าง (ตารางที่ 3.2-4) ระดับน้ำใต้ดินที่ได้ติดตามการเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 3.2-5) ใช้เพื่อเป็นข้อมูลสอบเทียบกับแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน และสำหรับผลทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างน้ำจะนำมาศึกษารูปแบบทางเคมีของน้ำใต้ดิน เป็นการจำแนกประเภทน้ำใต้ดินโดยการทำแผนภูมิ Piper

รูปที่ 3.2-1 บ่อบาดาลรูปแบบต่างๆ และอุปกรณ์วัดระดับน้ำ คุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างน้ำในสนาม

ตารางที่ 3.2-2 รายละเอียดบ่อน้ำบาดาลและแหล่งน้ำผิวดินในการวัดระดับน้ำและคุณภาพน้ำ

| No. | หมายเลขบ่อ | X | Y | สถานที่ | หมู่ที่ | บ้าน | ตำบล | ลึก (ม.) | ลึกพัฒนา (m.) | ระยะน้ำลด | ปริมาณน้ำ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | E236 | 328593 | 1946555 | อนุสาวรีย์ | 1 | ดงเย็น | ดงเย็น | 45.00 | 45.00 | 21.68 | 14.41 |
| 2 | 5810D050 | 328371 | 1950859 | ศาลาประชาคม | 2 | ป่าเป้า | ดงเย็น | 50.00 | 50.00 | 23.00 | 6.00 |
| 3 | DCD27759 | 329595 | 1955522 | ศาลาประชาคม | 3 | ดงแสนสุข | ดงเย็น | 53.00 | - | 37.00 | 5.55 |
| 4 | E263 | 328808 | 1952548 | สาธารณะ | 7 | โนนชัยศิลป์ | ดงเย็น | 30.00 | 30.00 | 20.36 | 6.00 |
| 5 | 5910C012 | 328279 | 1950517 | ร.ร.บ้านป่าเป้า | 2 | ป่าเป้า | ดงเย็น | 50.00 | 50.00 | 0.00 | 7.00 |
| 6 | DCD27796 | 307813 | 1973859 | โรงเรียนบ้านนามั่ง | 2 | นามั่ง | ถ่อนนาลับ | 53.00 | - | 27.00 | 5.00 |
| 7 | E1263 | 308017 | 1973675 | บ้านนางทองจันทร์ | 2 | นามั่ง | ถ่อนนาลับ | 48.00 | 48.00 | 7.50 | 1.14 |
| 8 | 5910C011 | 312385 | 1973853 | วัดทุ่งสว่างอารมณ์ | 3 | ทุ่งใหญ่ | ถ่อนนาลับ | 74.00 | 74.00 | 0.00 | 8.00 |
| 9 | ขฉ0146 | 313728 | 1978221 | โรงเรียน | 7 | โพธิ์ท่าเมือง | ถ่อนนาลับ | - | - | - | - |
| 10 | E1330 | 299461 | 1951861 | โรงเรียน | 1 | บ้านชัย | นาคำ | 30.00 | 30.00 | 3.70 | 1.03 |
| 11 | ML1374 | 300621 | 1951612 | วัด ประปา | 2 | บ้านพรสันติ | นาคำ | 48.00 | 48.00 | 22.50 | 4.54 |
| 12 | E1403 | 307219 | 1955562 | สาธารณะ ประปา | 4 | คำสง่า | นาคำ | 36.00 | 36.00 | 10.50 | 0.91 |
| 13 | ML1373 | 301167 | 1954797 | ศาลาประชาคม ประปา | 5 | หัวดงยาง | นาคำ | 40.00 | 40.00 | 6.60 | 0.81 |
| 14 | E1404 | 305948 | 1958540 | สาธารณะ ประปา | 7 | นาดี | นาคำ | 18.00 | 18.00 | 7.50 | 0.91 |
| 15 | ML1370 | 307747 | 1956704 | วัด ประปา | 8 | บ้านดงวัฒนา | นาคำ | 48.00 | 48.00 | 7.50 | 9.09 |
| 16 | DQ170 | 302762 | 1950562 | สาธารณะ ประปา | 10 | โนนสมโรจน์ | นาคำ | 54.00 | 54.00 | 25.00 | 4.50 |
| 17 | DQ130 | 303063 | 1952174 | สาธารณะ ประปา | 11 | โนนงาม | นาคำ | 48.00 | 46.00 | 6.00 | 6.00 |
| 18 | 5310E001 | 301585 | 1956103 | โรงเรียน | 12 | ดอนขี้เหล็ก | นาคำ | 33.00 | 33.00 | 7.00 | 4.00 |
| 19 | E1327 | 302395 | 1963219 | สาธารณะ | 5 | ท่าบ่อยาง | นาไหม | 42.00 | 42.00 | 13.07 | 4.80 |
| 21 | UD177 | 307614 | 1967704 | โรงเรียนนาไหมพิทยาคม รัชมังคลาภิเษก | 8 | สุวอ | นาไหม | 60.00 | 60.00 | 16.00 | 5.00 |
| 23 | ML1123 | 306129 | 1962829 | วัดป่าเถรภูมิ | 10 | เมืองนาขำ | นาไหม | 36.00 | 36.00 | 9.90 | 2.73 |
| 24 | UD135 | 310598 | 1963662 | วัดศรีนวลวราราม (ประปา) | 12 | โนนประเสริฐ | นาไหม | 90.00 | 90.00 | 20.00 | 9.50 |
| 26 | 6010H051 | 322630 | 1971573 | โรงเรียนทรัพย์อุดมวิทยา | 1 | จันทน์ | บ้านจันทน์ | 56.00 | 56.00 | 0.00 | 6.00 |
| 27 | E1192 | 325589 | 1971208 | สาธารณะ | 2 | โนนศึกษา | บ้านจันทน์ | 45.00 | 45.00 | 6.00 | 0.91 |
| 28 | E1322 | 325483 | 1971256 | โรงเรียนบ้านตูม | 4 | ตูม | บ้านจันทน์ | 18.00 | 18.00 | 9.27 | 1.03 |
| 29 | UD127 | 318996 | 1968263 | วัดประสิทธิ์มงคล | 8 | ดงยาง | บ้านจันทน์ | 100.00 | 65.00 | 0.00 | 0.00 |
| 30 | DCD27780 | 320742 | 1963764 | ที่สาธารณะ | 12 | ทรัพย์สมบูรณ์ | บ้านจันทน์ | 42.00 | 42.00 | 24.00 | 3.00 |
| 31 | E943 วัด | 328964 | 1975588 | ที่สาธารณะ | 18 | โนนสิมมา | บ้านจันทน์ | 30.00 | 30.00 | 11.40 | 1.14 |
| 32 | ML1190 | 305037 | 1954076 | ที่สาธารณะ | 1 | ชัย | บ้านชัย | 42.00 | 42.00 | 3.77 | 1.64 |
| 33 | E270 | 306037 | 1950016 | ที่สาธารณะ | 3 | กล้วย | บ้านชัย | 30.00 | 30.00 | 7.20 | 2.73 |
| 34 | E1332 | 304387 | 1947530 | โรงเรียนบ้านนาสีนวล | 4 | นาสีนวล | บ้านชัย | 24.00 | 24.00 | 10.61 | 1.03 |
| 35 | DCD27786 | 304876 | 1946525 | วัดนาสีนวล | 4 | นาสีนวล | บ้านชัย | 35.00 | 0.00 | 27.00 | 5.00 |
| 36 | E940 | 309957 | 1946525 | ที่สาธารณะ | 5 | โนนสะอาด | บ้านชัย | 30.00 | 30.00 | 5.25 | 9.96 |
| 37 | E1135 | 309795 | 1951529 | ที่สาธารณะ | 7 | โนนสีทอง | บ้านชัย | 36.00 | 36.00 | 0.90 | 6.82 |
| 38 | DL54 | 308125 | 1952744 | ที่สาธารณะ | 8 | ดงไพรวัลย์ | บ้านชัย | 36.00 | 36.00 | 7.50 | 0.91 |
| 39 | E939 | 308211 | 1952724 | ที่สาธารณะ | 8 | ดงไพรวัลย์ | บ้านชัย | 24.00 | 24.00 | 10.61 | 4.80 |
| 40 | DCD27752 | 309509 | 1956704 | วัดหนองไฮ | 7 | หนองไฮ | บ้านดุง | 97.00 | - | 48.00 | 20.00 |

ตารางที่ 3.2-2 (ต่อ) รายละเอียดบ่อน้ำบาดาลและแหล่งน้ำผิวดินในการวัดระดับน้ำและคุณภาพน้ำ

| No. | หมายเลขบ่อ | X | Y | สถานที่ | หมู่ที่ | บ้าน | ตำบล | ลึก (ม.) | ลึกพัฒนา (m.) | ระยะน้ำลด | ปริมาณน้ำ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 41 | ML1641 | 307180 | 1959802 | โรงเรียนบ้านปอพาน | 8 | ปอพาน | บ้านดุง | 64.00 | 64.00 | 10.50 | 4.54 |
| 42 | 5310F003 | 317693 | 1964919 | วัดกุดโดธรรมมายิการาม | 10 | ศรีสามารถ | บ้านดุง | 60.00 | 52.00 | 13.00 | 6.00 |
| 43 | DCD27753 | 316210 | 1963087 | วัดมงคลชัยศรี | 11 | สันติสุข | บ้านดุง | 97.00 | - | 20.00 | 28.00 |
| 44 | DL57 | 310352 | 1956265 | ที่สาธารณะ | 13 | โนนสำราญ | บ้านดุง | 36.00 | 36.00 | 3.00 | 3.41 |
| 45 | DL47 | 312953 | 1964437 | รพ.ส่งเสริมสุขภาพ (ประปา) | 14 | สระแก้ว | บ้านดุง | 30.00 | 24.00 | 14.10 | 2.27 |
| 46 | DCD27755 | 313069 | 1964270 | รพ.ส่งเสริมสุขภาพ (ประปา) | 14 | สระแก้ว | บ้านดุง | 41.00 | - | 27.00 | 4.00 |
| 48 | 5410D002 | 313116 | 1940736 | วัดโนนทองหลาง | 2 | โนนทองหลาง | บ้านตาด | 48.00 | 42.00 | 24.00 | 3.50 |
| 49 | ML1323 | 313024 | 1942746 | บ้านสมวิไล | 5 | สมวิไล | บ้านตาด | 58.50 | 58.50 | 9.00 | 6.00 |
| 50 | ML1126 | 312912 | 1944687 | วัดบ้านโนนสวรรค์ | 6 | โนนสวรรค์ | บ้านตาด | 30.00 | 30.00 | 19.77 | 2.00 |
| 51 | ML1256 | 314173 | 1947062 | ศูนย์การเรียนรู้ | 8 | มีชัย | บ้านตาด | 36.00 | 36.00 | 11.81 | 4.54 |
| 52 | 5910C009 | 312928 | 1949129 | ที่นางดอกไม้ พัฒนา | 9 | คำภูเงิน | บ้านตาด | 52.00 | 52.00 | 0.00 | 15.00 |
| 53 | ML1258 | 326059 | 1956411 | ศาลาประชาคม | 3 | กมลศิลป์ | บ้านม่วง | 36.00 | 36.00 | 6.98 | 3.28 |
| 54 | DCD27805 | 324247 | 1959121 | ที่สาธารณะ | 5 | ศรีเมือง | บ้านม่วง | 137.00 | - | 100.00 | 12.00 |
| 55 | 6110B044 | 324160 | 1960076 | ที่ดินนายทองพูล | 5 | ศรีเมือง | บ้านม่วง | 54.00 | 42.00 | 0.00 | 12.00 |
| 56 | ML1411 | 323807 | 1954321 | โรงเรียน | 7 | หนองสวรรค์ | บ้านม่วง | 56.00 | 56.00 | 0.00 | 0.18 |
| 57 | ML1193 | 321986 | 1956088 | ที่สาธารณะ | 8 | ศรีวัฒนา | บ้านม่วง | 42.00 | 42.00 | 31.00 | 1.13 |
| 58 | UD125 | 329271 | 1959571 | ที่สาธารณะ | 9 | ม่วง | บ้านม่วง | 100.00 | 60.00 | 26.00 | 4.45 |
| 59 | ML1324 | 313985 | 1950932 | ที่สาธารณะ | 8 | โนนสำราญ | โพนสูง | 45.00 | 45.00 | 32.00 | 6.00 |
| 60 | E1402 | 319629 | 1959409 | โรงเรียนบ้านดงค้าพัฒนา | 10 | ดงค้าพัฒนา | โพนสูง | 36.00 | 36.00 | 16.50 | 0.91 |
| 61 | DL514 | 313662 | 1952346 | ที่สาธารณะ | 16 | หนองแต้ | โพนสูง | 42.00 | 42.00 | 19.80 | 4.54 |
| 62 | DW-1 | 317177 | 1953068 | ที่สาธารณะ |  | โพนสูงใต้ | โพนสูง | 5.40 |  |  |  |
| 63 | DCD27804 | 322708 | 1963126 | ที่สาธารณะ | 1 | วังทอง | วังทอง | 38.00 | - | 23.00 | 3.30 |
| 64 | 6010A023 | 320536 | 1962151 | อบต.วังทอง | 1 | วังทอง | วังทอง | 44.00 | 44.00 | 9.00 | 10.00 |
| 65 | 6010A024 | 320201 | 1964539 | ที่สาธารณะ | 3 | เหล่าหลวง | วังทอง | 60.00 | 60.00 | 24.00 | 3.00 |
| 66 | 6110E038 | 318051 | 1962424 | วัดโคกสว่างบำเพ็ญ | 5 | คำแมด | วังทอง | 50.00 | 48.00 | 0.00 | 4.00 |
| 67 | DL688 | 323048 | 1966656 | บ้านเลขที่ 70 | 7 | วังสมบัติ | วังทอง | 44.00 | 44.00 | 24.00 | 4.54 |
| 68 | 5810C024 | 319803 | 1963092 | โครงการศูนย์การเรียนรู้ตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียงฯ | 8 | เหล่าหลวงใต้ | วังทอง | 74.00 | 72.00 | 0.00 | 4.00 |
| 69 | UD180 | 315624 | 1958022 | โรงเรียนอนุบาลศรีสุทโธ | 1 | ดงคำ ๑ | ศรีสุทโธ | 64.00 | 64.00 | 30.00 | 2.00 |
| 70 | E520 | 315359 | 1956822 | โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราช | 7 | อาสาพัฒนา 1 | ศรีสุทโธ | 43.50 | 43.50 | 19.62 | 22.10 |
| 71 | E401 | 315208 | 1955984 | วัดศรีผดุงพัฒนา | 7 | อาสาพัฒนา 1 | ศรีสุทโธ | 42.00 | 42.00 | 19.48 | 5.04 |
| 72 | ML1253 | 321589 | 1946146 | ที่สาธารณะ | 1 | อ้อมกอ | อ้อมกอ | 36.00 | 36.00 | 22.04 | 1.44 |
| 74 | ML1255 | 324034 | 1948043 | ที่สาธารณะ | 2 | ดงดารา | อ้อมกอ | 36.00 | 36.00 | 18.59 | 2.57 |
| 75 | E831 | 321170 | 1943777 | ที่สาธารณะ | 3 | โคกคำไหล | อ้อมกอ | 66.00 | 66.00 | 1.49 | 8.43 |
| 76 | 5510A019 | 317507 | 1943175 | สาธารณะ | 8 | เดชอุดม | อ้อมกอ | 42.00 | 42.00 | 18.00 | 6.00 |
| 77 | E1396 | 317225 | 1947420 | ที่สาธารณะ | 9 | โนนสมบูรณ์ | อ้อมกอ | 36.00 | 36.00 | 4.20 | 2.27 |
| 78 | 5910H013 | 320866 | 1952723 | โรงเรียนบ้านปากดง | 11 | ปากดง | โพนสูง | 68.00 | 68.00 |  |  |
| 82 | 5310F04 | 302249 | 1967526 | โรงเรียนบ้านผึ้ง | 2 | บ้านผึ้ง | นาไหม | 90.00 | 72.00 | 28.00 | 5.00 |
| 83 | UD161 | 305026 | 1964938 | สาธารณะ | 13 | ทุ่งกว้างพัฒนา | นาไหม | 84.00 | 66.00 | 37.00 | 6.00 |
| 86 | 5901H009 | 317447 | 1957863 | ศาลาประชาคม | 13 | ทุ่งโพธิ์ทอง | โพนสูง | 62.00 | 62.00 | 0.0 | 4.00 |
| 87 | ML1536 | 310365 | 1956271 | บ้านโนนสำราญ | 13 | โนนสำราญ | บ้านดุง | 48.00 | 48.00 | 3.00 | 5.00 |
| 89 | ML1124 | 308317 | 1952823 | ศาลาประชาคม | 10 | โนนผักหวาน | บ้านตาด | 36.00 | 36.00 | 22.00 | 3.00 |
| 90 | 5310F05 | 299784 | 1951931 | วัดบ.นาคำศูนย์เด็กเล็ก | 1 | นาคำ | นาคำ | 60.00 | 45.00 |  |  |
| 91 | 5510D57 | 302471 | 1961201 | วัดสุวรรณภูมิ | 7 | นาคำวัง | นาไหม | 56.00 | 56.00 | 34.00 | 3.00 |
| 92 | E1314 | 321051 | 1943619 | ศาลาประชาคม | 3 | โคกคำไหล | อ้อมกอ | 36.00 | 36.00 |  | 4.68 |

ตารางที่ 3.2-2 (ต่อ) รายละเอียดบ่อน้ำบาดาลและแหล่งน้ำผิวดินในการวัดระดับน้ำและคุณภาพน้ำ

| No. | หมายเลขบ่อ | X | Y | สถานที่ | หมู่ที่ | บ้าน | ตำบล | ลึก (ม.) | ลึกพัฒนา (m.) | ระยะน้ำลด | ปริมาณน้ำ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 93 | DW14 | 328974 | 1973991 | โนนสิมมาเหนือ | 18 | โนนสิมมาเหนือ | บ้านจันทน์ | 5.60 | | | |
| 94 | PW-BD1 | 317428 | 1957481 | วัดป่าสุวรรณรังษี | 9 | ผึ้ง | โพนสูง | 32.5 | 27.00 | | |
| 95 | MW-BD1 | 317425 | 1957482 | | | | | 15.5 | 15.00 | | |
| 96 | MW-BD2 | 317427 | 1957472 | | | | | 10.5 | 10.00 | | |
| 97 | PW-BD2 | 305702 | 1959003 | วัดป่าบ้านนาดี | 7 | นาดี | นาคำ | 30.0 | 30.00 | | |
| 98 | MW-BD3 | 305712 | 1959004 | | | | | 15.0 | 15.00 | | |
| 99 | MW-BD4 | 305710 | 1959010 | | | | | 10.0 | 10.00 | | |
| 100 | PW-BD3 | 312712 | 1940471 | โรงเรียนบ้านโนนทองหลาง | 2 | โนนทองหลาง | บ้านตาด | 30.0 | 30.00 | | |
| 101 | MW-BD5 | 312709 | 1940468 | | | | | 15.0 | 15.00 | | |
| 102 | MW-BD6 | 312711 | 1940461 | | | | | 10.0 | 10.00 | | |

ตารางที่ 3.2-3 รายการวิเคราะห์คุณภาพน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน

| ลำดับ | พารามิเตอร์น้ำใต้ดิน | พารามิเตอร์น้ำผิวดิน |
|---|---|---|
| 1 | ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) | ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) |
| 2 | ความเป็นกรด-ด่าง (pH Value) | ความเป็นกรด-ด่าง (pH Value) |
| 3 | - | ความขุ่น |
| 4 | ความเค็ม (salinity) | ความเค็ม (salinity) |
| 5 | ปริมาณมวลสารทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS) | ปริมาณมวลสารทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS) |
| 6 | - | ปริมาณสารทั้งหมด (TS) |
| 7 | - | ปริมาณสารแขวนลอย (SS) |
| 8 | Total hardness as $CaCO_3$ | Total hardness as $CaCO_3$ |
| 9 | Non-carbonate hardness as $CaCO_3$ คาร์บอเนต | Non-carbonate hardness as $CaCO_3$ |
| 10 | Fe เหล็ก | Fe |
| 11 | Mn แมงกานีส | Mn |
| 12 | Mg แมกเนเซียม | Mg |
| 13 | Na โซเดียม | Na |
| 14 | Ca แคลเซียม | Ca |
| 15 | K โปแตสเซียม | K |
| 16 | สภาพด่างของน้ำ (Alkalinity, Alk) | สภาพด่างของน้ำ (Alkalinity, Alk) |
| 17 | Cl คลอไรด์ | Cl |
| 18 | $SO_4$ ซัลเฟต | $SO_4$ |
| 19 | $NO_3$ ไนเตรท | $NO_3$ |
| 20 | - | ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด |

ตารางที่ 3.2-4 รายละเอียดตัวอย่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินที่เก็บตัวอย่างส่งวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

| ลำดับที่ | รหัส | หมายเลขบ่อ | แหล่งที่มา | ตะวันออก | เหนือ | จุดเก็บตัวอย่าง | หมู่ที่ | ตำบล | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | UD1 | DW2 | น้ำผิวดิน | 318,563 | 1,954,338 | อ่างเก็บน้ำกวง | | โพนสูง | |
| 2 | UD2 | DW3 | น้ำผิวดิน | 329,271 | 1,959,571 | บึงเก็บน้ำทุ่งใหญ่ | | ศรีสุทโธ | |
| 3 | UD3 | DW4 | น้ำผิวดิน | 307,080 | 1,971,122 | อ่างเก็บน้ำห้วยเจียม | | ถ่อนนาลับ | (=DW12) |
| 4 | UD4 | DW9 | น้ำผิวดิน | 314,532 | 1,957,459 | สะพาน | | ศรีสุทโธ | |
| 5 | UD5 | DW10 | น้ำผิวดิน | 306,902 | 1,974,377 | ห้วยหลวง | | นาไหม | นามั่ง |
| 6 | UD6 | DW7 | น้ำผิวดิน | 308,198 | 1,952,981 | อ่างเก็บน้ำ | | บ้านชัย | |
| 7 | UD7 | DW11 | น้ำผิวดิน | 306,880 | 1,968,293 | อ่างหนองชักชิ่น | | นาไหม | |
| 8 | UD8 | DW6 | น้ำผิวดิน | 317,528 | 1,959,965 | อ่างท่ามะนาวด้านตะวันออก | | โพนสูง | |
| 9 | UD9 | DW1 | น้ำใต้ดิน | 317,777 | 1,953,068 | นาข้าวสาธารณะ | | โพนสูง | บ่อน้ำตื้น |
| 10 | UD10 | E236 | น้ำใต้ดิน | 328593 | 1946555 | ศาลาประชาคมบ.ดงเย็น | 1 | ดงเย็น | |
| 11 | UD11 | 5810D050 | น้ำใต้ดิน | 328371 | 1950859 | ศาลาประชาคมบ.ป่าเป้า | 2 | ดงเย็น | |
| 12 | UD12 | DCD27759 | น้ำใต้ดิน | 329595 | 1955522 | ศาลาประชาคมดงแสนสุข | 3 | ดงเย็น | |
| 13 | UD13 | E263 | น้ำใต้ดิน | 328808 | 1952548 | บ้านโนนชัยศิลป | 7 | ดงเย็น | |
| 14 | UD14 | 5910C012 | น้ำใต้ดิน | 328279 | 1950517 | ร.ร.บ้านป่าเป้า | 0 | ดงเย็น | |
| 15 | UD16 | ขฉ0146 | น้ำใต้ดิน | 313728 | 1978221 | โรงเรียนบ้านโพธิ์ท่าเมือง | 7 | ถ่อนนาลับ | ประปา |
| 16 | UD17 | E1403 | น้ำใต้ดิน | 307219 | 1955562 | บ้านคำสง่า | 4 | นาคำ | ประปา |
| 17 | UD18 | ML1373 | น้ำใต้ดิน | 301167 | 1954797 | ศาลาประชาคมบ.หัวดงยาง | 5 | นาคำ | ประปา |
| 18 | UD19 | E1404 | น้ำใต้ดิน | 305948 | 1958540 | บ้านนาดี | 7 | นาคำ | |
| 19 | UD20 | ML1370 | น้ำใต้ดิน | 307747 | 1956704 | วัดบ้านดงวัฒนา | 8 | นาคำ | ประปา |
| 20 | UD21 | DQ170 | น้ำใต้ดิน | 302762 | 1950562 | บ้านโนนสมโรจน์ | 10 | นาคำ | ประปา |
| 21 | UD22 | DQ130 | น้ำใต้ดิน | 303063 | 1952174 | บ้านโนนงาม | 11 | นาคำ | ประปา |
| 22 | UD23 | 5310E001 | น้ำใต้ดิน | 301585 | 1956103 | โรงเรียนบ้านดอนขี้เหล็ก | 12 | นาคำ | |
| 23 | UD24 | E1327 | น้ำใต้ดิน | 302395 | 1963219 | บ้านท่าบ่อยาง | 5 | นาไหม | |
| 24 | UD25 | UD177 | น้ำใต้ดิน | 307614 | 1967704 | โรงเรียนนาไหมพิทยาคมฯ | 8 | นาไหม | บ้านพักครู |
| 25 | UD26 | ML1123 | น้ำใต้ดิน | 306129 | 1962829 | วัดป่าบ้านเมืองนาชำ/เถรภูมิ | 10 | นาไหม | |
| 26 | UD27 | UD135 | น้ำใต้ดิน | 310598 | 1963662 | วัดศรีนวลวราราม | 12 | นาไหม | ประปา |
| 27 | UD28 | 6010H051 | น้ำใต้ดิน | 322630 | 1971573 | โรงเรียนทรัพย์อุดมวิทยา | 1 | บ้านจันทน์ | |
| 28 | UD29 | E1192 | น้ำใต้ดิน | 325589 | 1971208 | บ้านโนนศึกษา | 2 | บ้านจันทน์ | |
| 29 | UD30 | UD127 | น้ำใต้ดิน | 318996 | 1968263 | วัดประสิทธิ์มงคล | 8 | บ้านจันทน์ | |
| 30 | UD31 | E943 วัด | น้ำใต้ดิน | 328964 | 1975588 | บ้านโนนสิมมา | 18 | บ้านจันทน์ | |
| 31 | UD32 | ML1190 | น้ำใต้ดิน | 305037 | 1954076 | บ้านชัย | 1 | บ้านชัย | |
| 32 | UD33 | E270 | น้ำใต้ดิน | 306037 | 1950016 | บ้านกล้วย | 3 | บ้านชัย | |
| 33 | UD34 | DCD27786 | น้ำใต้ดิน | 304876 | 1946525 | วัดนาสีนวล | 4 | บ้านชัย | |
| 34 | UD35 | E940 | น้ำใต้ดิน | 309957 | 1946525 | บ้านโนนสะอาด | 5 | บ้านชัย | |
| 35 | UD36 | E1135 | น้ำใต้ดิน | 309795 | 1951529 | บ้านโนนสีทอง | 7 | บ้านชัย | |
| 36 | UD37 | DL54 | น้ำใต้ดิน | 308125 | 1952744 | บ้านดงไพรวัลย์ | 8 | บ้านชัย | |
| 37 | UD39 | DCD27752 | น้ำใต้ดิน | 309509 | 1956704 | วัดหนองไฮ | 7 | บ้านดุง | |
| 38 | UD40 | ML1641 | น้ำใต้ดิน | 307180 | 1959802 | โรงเรียนบ้านปอพาน | 8 | บ้านดุง | |
| 39 | UD41 | 5310F003 | น้ำใต้ดิน | 317693 | 1964919 | วัดกุดโดธรรมมายิการาม | 10 | บ้านดุง | |
| 40 | UD42 | DCD27753 | น้ำใต้ดิน | 316210 | 1963087 | สันติสุข วัดมงคลชัยศรี | 11 | บ้านดุง | |
| 41 | UD44 | DL47 | น้ำใต้ดิน | 312953 | 1964437 | รพ.ส่งเสริมสุขภาพสระแก้ว | 14 | บ้านดุง | ประปา |
| 42 | UD45 | 5410D002 | น้ำใต้ดิน | 313116 | 1940736 | วัดโนนทองหลาง | 2 | บ้านตาด | |
| 43 | UD46 | ML1323 | น้ำใต้ดิน | 313024 | 1942746 | บ้านสมวิไล | 5 | บ้านตาด | |
| 44 | UD47 | ML1126 | น้ำใต้ดิน | 312912 | 1944687 | วัดบ้านโนนสวรรค์ | 6 | บ้านตาด | |

ตารางที่ 3.2-4 (ต่อ) รายละเอียดตัวอย่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินที่เก็บตัวอย่างส่งวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

| ลำดับที่ | รหัส | หมายเลขบ่อ | แหล่งที่มา | ตะวันออก | เหนือ | จุดเก็บตัวอย่าง | หมู่ที่ | ตำบล | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 45 | UD48 | ML1256 | น้ำใต้ดิน | 314173 | 1947062 | ศูนย์การเรียนรู้ | 8 | บ้านตาด | |
| 46 | UD49 | 5910C009 | น้ำใต้ดิน | 312928 | 1949129 | ที่นางดอกไม้ พัฒนา | 9 | บ้านตาด | |
| 47 | UD51 | ML1258แทน | น้ำใต้ดิน | 326059 | 1956411 | บ้านกมลศิลป์ | 3 | บ้านม่วง | ประปา |
| 48 | UD52 | DCD27805 | น้ำใต้ดิน | 324247 | 1959121 | ศรีเมือง | 5 | บ้านม่วง | |
| 49 | UD53 | ML1411 แทน | น้ำใต้ดิน | 323807 | 1954321 | รร.บ้านหนองสวรรค์ | 7 | บ้านม่วง | |
| 50 | UD54 | ML1193แทน | น้ำใต้ดิน | 321986 | 1956088 | บ้านศรีวัฒนา | 8 | บ้านม่วง | |
| 51 | UD55 | UD125 | น้ำใต้ดิน | 329271 | 1959571 | ที่สาธารณะบ้านม่วง | 9 | บ้านม่วง | |
| 52 | UD56 | ML1324 | น้ำใต้ดิน | 313985 | 1950932 | บ้านโนนสำราญ | 8 | โพนสูง | |
| 53 | UD57 | E1402 | น้ำใต้ดิน | 319629 | 1959409 | โรงเรียนบ้านดงค้าพัฒนา | 10 | โพนสูง | |
| 54 | UD58 | DL514 | น้ำใต้ดิน | 313662 | 1952346 | บ้านหนองแต้ | 16 | โพนสูง | |
| 55 | UD59 | DCD27804 | น้ำใต้ดิน | 322708 | 1963126 | ที่สาธารณะ | 1 | วังทอง | |
| 56 | UD60 | 6010A023 | น้ำใต้ดิน | 320536 | 1962151 | อบต.วังทอง | 1 | วังทอง | |
| 57 | UD61 | DL688 | น้ำใต้ดิน | 323048 | 1966656 | บ้านเลขที่ 70 | 7 | วังทอง | |
| 58 | UD62 | 5810C024 | น้ำใต้ดิน | 319803 | 1963092 | โครงการศูนย์การเรียนรู้ตามแนวพระราชดำริฯ | 8 | วังทอง | |
| 59 | UD63 | E520 | น้ำใต้ดิน | 315359 | 1956822 | รพ.สมเด็จพระยุพราช | 7 | ศรีสุทโธ | |
| 60 | UD64 | E401 | น้ำใต้ดิน | 315208 | 1955984 | วัดศรีผดุงพัฒนา | 7 | ศรีสุทโธ | |
| 61 | UD65 | ML1253 | น้ำใต้ดิน | 321589 | 1946146 | บ้านอ้อมกอ | 1 | อ้อมกอ | |
| 62 | UD66 | ML1255 | น้ำใต้ดิน | 324034 | 1948043 | บ้านดงดารา | 2 | อ้อมกอ | |
| 63 | UD67 | 5510A019 | น้ำใต้ดิน | 317,507 | 1,943,175 | สาธารณะบ้านเดชอุดม | 8 | อ้อมกอ | |
| 64 | UD68 | E1396 | น้ำใต้ดิน | 317,225 | 1,947,420 | บ้านโนนสมบูรณ์ | 9 | อ้อมกอ | |
| 65 | UD69 | 5910H013 | น้ำใต้ดิน | 320,866 | 1,952,719 | โรงเรียนบ้านปากดง | 11 | โพนสูง | |
| 66 | UD70 | DW4 เค็ม | น้ำใต้ดิน | 314723 | 1960527 | | | | |
| 67 | UD71 | 5310F04 | น้ำใต้ดิน | 317,447 | 1,957,863 | บ้านทุ่งโพธิ์ทอง | 13 | โพนสูง | |
| 68 | UD72 | UD161 | น้ำใต้ดิน | 310,365 | 1,956,271 | บ้านโนนสำราญ | 8 | โพนสูง | |
| 69 | UD73 | 5901H009 | น้ำใต้ดิน | 317,447 | 1,957,863 | บ้านทุ่งโพธิ์ทอง | 13 | โพนสูง | |
| 70 | UD74 | ML1536 | น้ำใต้ดิน | 310,365 | 1,956,271 | บ้านโนนสำราญ | 8 | โพนสูง | |
| 71 | UD75 | ML1124 | น้ำใต้ดิน | 308317 | 1952823 | บ้านโนนผักหวาน | 10 | ตาด | |
| 72 | UD76 | 5310F05 | น้ำใต้ดิน | 299,784 | 1,951,931 | ศูนย์เด็กรร.บ้านนาคำ | 1 | นาคำ | |
| 73 | UD77 | 5510D57 | น้ำใต้ดิน | 302471 | 1961201 | วัดสุวรรณภูมิ | 1 | นาไหม | |
| 74 | UD78 | E1314 | น้ำใต้ดิน | 321540 | 1943677 | บ้านโคกคำไหล | 3 | อ้อมกอ | |
| 75 | UD79 | DW13 | น้ำผิวดิน | 304713 | 1951916 | ห้วยต้อน บ้านโนนงาม | 11 | นาคำ | |
| 76 | UD80 | DW14 | น้ำใต้ดิน | 328974 | 1973991 | โนนสิมมาเหนือ | 18 | บ้านจันทน์ | |
| 77 | UD81 | PW-BD1 | น้ำใต้ดิน | 317428 | 1957481 | วัดป่าสุวรรณรังษี | 9 | โพนสูง | |
| 78 | UD82 | PW-BD2 | น้ำใต้ดิน | 305702 | 1959003 | | | | |
| 79 | UD83 | MW-BD3 | น้ำใต้ดิน | 305712 | 1959004 | | | | |
| 80 | UD84 | MW-BD4 | น้ำใต้ดิน | 305710 | 1959010 | วัดป่าบ้านนาดี | 7 | นาคำ | |
| 81 | UD85 | PW-BD3 | น้ำใต้ดิน | 312712 | 1940471 | | | | |
| 82 | UD86 | MW-BD5 | น้ำใต้ดิน | 312709 | 1940468 | | | | |
| 83 | UD87 | MW-BD6 | น้ำใต้ดิน | 312711 | 1940461 | โรงเรียนบ้านโนนทองหลาง | 2 | บ้านตาด | |
| 84 | UD88 | DW15 | น้ำผิวดิน | 301978 | 1967423 | บ้านผึ้ง | 2 | นาไหม | ประปา |

สีเทา เป็นตัวอย่างที่เก็บส่งวิเคราะห์เพิ่มในครั้งที่ ๒

3.2.3 การสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Resistivity survey)

วิธีการและเครื่องมือ

หลักการทางธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Resistivity survey) เป็นการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าลงไปในดินด้วยตัวกำเนิดกระแสไฟฟ้าตรง (direct current, DC) หรือใช้ไฟฟ้าสลับที่มีความถี่ต่ำปล่อยลงไปในดินอย่างช้าๆ คล้ายกระแสไฟฟ้าตรง สิ่งที่มีผลต่อค่าการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์และการเดินของกระแสไฟฟ้าคือ คุณสมบัติทางกายภาพของดิน-หินที่ประกอบด้วยแร่องค์ประกอบในเนื้อดิน-หิน รูพรุน ของเหลวในรูพรุน หรือองค์ประกอบอื่นๆที่มีอยู่ในเนื้อดิน-หิน สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือ ประกอบด้วย (รูปที่ 3.2-2)

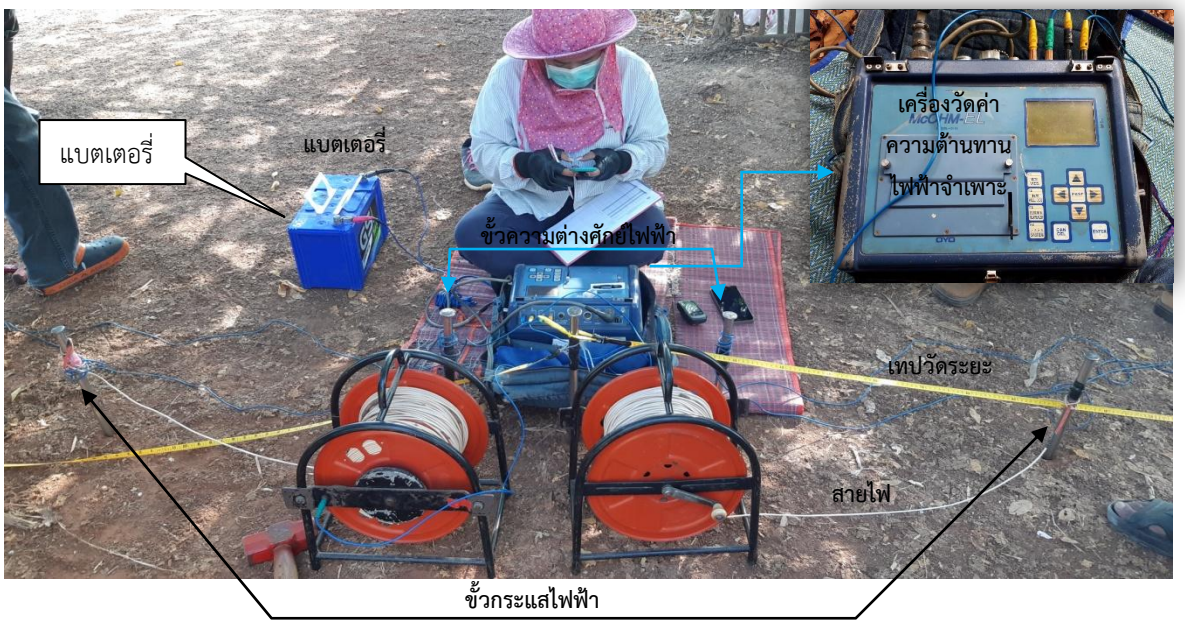
1. เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า
2. แบตเตอรี่
3. สายไฟ
4. ขั้วกระแสไฟฟ้าและขั้วความต่างศักย์ไฟฟ้า
5. ค้อนและเทปวัดระยะทาง

การสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ในพื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี เลือกใช้วิธีการวางขั้วแบบชลัมเบอร์เจร์ (Schlumberger configuration) ในการศึกษาความหนาของชั้นดิน หรือความลึกชั้นหิน ความลึกของเกลือหิน รวมทั้งระดับและขอบเขตของน้ำใต้ดินจืด กร่อยถึงเค็ม และหาความต่อเนื่องตามแนวดิ่ง ณ จุดที่ทำการสำรวจโดยวางแผนดำเนินการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ประมาณ 450 จุด แบ่งออกเป็น (สำรวจกระจายครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษามีระยะห่างระหว่างตำแหน่งสำรวจประมาณ ๒ กิโลเมตร และสำรวจเพิ่มความละเอียดของข้อมูลในบริเวณใกล้พื้นที่ทำนาเกลือ และพื้นที่คาดว่ามีน้ำใต้ดินกร่อยถึงเค็มโดยให้มีระยะห่างระหว่างตำแหน่งสำรวจถี่ขึ้นประมาณ ๑ กิโลเมตร เพื่อพิจารณาจุดเจาะสำรวจและติดตั้งบ่อพิโซมิเตอร์โดยให้มีระยะห่างระหว่างตำแหน่งสำรวจถี่ขึ้นประมาณ ๒๐๐ x ๒๐๐ เมตร) มีทั้งสิ้นจำนวน642 ครั้ง (จุด) รายละเอียดดังนี้ (ตารางที่ 3.2-6)

๑. กำหนดจุดสำรวจครอบคลุมทั้งพื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ซึ่งแต่ละจุดสำรวจห่างกันประมาณ 2 ตารางกิโลเมตร จำนวน 202 ครั้ง (จุด) (ภาคผนวก )

๒. กำหนดจุดสำรวจในพื้นที่ใกล้นาเกลือ และพื้นที่ที่พบว่ามีปัญหาน้ำใต้ดินกร่อยถึงเค็ม โดยจุดสำรวจห่างกันประมาณ 1 ตารางกิโลเมตร จำนวน 251 ครั้ง (จุด) (ภาคผนวก )

๓. กำหนดจุดสำรวจเป็นแนวเส้นสำรวจในพื้นที่ที่สนใจ โดยพิจารณาจากข้อมูลบ่อบาดาลและแผนที่น้ำบาดาล และจากการสอบถามข้อมูลสภาพพื้นที่ของหน่วยงานท้องถิ่น รวมถึงประชาชนในพื้นที่เกี่ยวกับสภาพปัญหาการขาดแคลนน้ำและคุณภาพน้ำ ทำให้ได้ 6 พื้นที่ คือ 1) บ้านฝาง ตำบลโพนสูง จำนวน 27 ครั้ง 2) บ้านนาดี ตำบลนาคำ จำนวน 28 ครั้ง 3) บ้านทุ่ง ตำบลบ้านชัย จำนวน 34 ครั้ง 4) บ้านกำแมด ตำบลวังทอง จำนวน 30 ครั้ง 5) บ้านป่าเป้า ตำบลดงเย็น จำนวน 35 ครั้ง และ 6) บ้านโคกกลาง ตำบลบ้านตาด จำนวน 35 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 189 ครั้ง




รูปที่ 3.2-2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า

ตารางที่ 3.2-5 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินรายเดือน ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2561 ถึง กันยายน 2562

| หมายเลขบ่อ | สถานที่ | หมู่ที่ | บ้าน | ตำบล | ลึกพัฒนา (m.) | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E236 | อนุสาวรีย์ | 1 | ดงเย็น | ดงเย็น | 45.00 | 2.50 | 15.87 | | 4.97 | | 5.11 | 7.39 | 2.61 | 2.55 | - | 3.02 |
| 5810D050 | ศาลาประชาคม | 2 | ป่าเป้า | ดงเย็น | 50.00 | 5.50 | 6.10 | 6.50 | 7.00 | 7.50 | 7.77 | 8.83 | 5.26 | 4.70 | - | 5 |
| DCD27759 | ศาลาประชาคม | 3 | ดงแสนสุข | ดงเย็น | - | 6.60 | 12.41 | 7.63 | 7.77 | 6.72 | 10.56 | 10.88 | 8.89 | 7.05 | - | 5.37 |
| E263 | สาธารณะ | 7 | โนนชัยศิลป | ดงเย็น | 30.00 | 27.80 | 11.50 | 12.10 | 13.06 | 14.00 | 7.44 | 13.85 | 13.57 | 16.75 | - | 21.27 |
| 5910C012 | โรงเรียน | 2 | ป่าเป้า | ดงเย็น | 50.00 | 7.20 | 7.76 | 8.18 | 9.19 | 9.37 | 9.20 | 4.82 | 7.33 | 6.40 | - | 6.18 |
| DCD27796 | โรงเรียน | 2 | บ้านนามั่ง | ถ่อนนาลับ | - | 13.39 | - | | | | | | | | - | |
| E1263 | บ้านนางทองจันทร์ | 2 | นามั่ง | ถ่อนนาลับ | 48.00 | 12.07 | 21.22 | 18.35 | - | | | | | 21.25 | - | |
| 5910C011 | วัดทุ่งสว่างอารมณ์ | 3 | ทุ่งใหญ่ | ถ่อนนาลับ | 74.00 | 5.39 | 5.70 | 6.52 | 5.83 | 6.30 | 6.40 | 4.83 | 3.90 | 4.20 | - | 4.20 |
| ขฉ0146 | โรงเรียน | 7 | โพธิ์ท่าเมือง | ถ่อนนาลับ | - | | 21.86 | 9.07 | 4.12 | 3.78 | 1.24 | 7.93 | 2.35 | 4.05 | - | |
| ML1374 | วัด ประปา | 2 | พรสันติ | นาคำ | 48.00 | 12.56 | - | | | | | | | | - | |
| E1403 | สาธารณะ ประปา | 4 | คำสง่า | นาคำ | 36.00 | 14.10 | 4.70 | 12.53 | 13.87 | 8.83 | 19.68 | 5.22 | 5.08 | 5.05 | - | 2.82 |
| ML1373 | ศาลาประชาคม ประปา | 5 | หัวดงยาง | นาคำ | 40.00 | 17.40 | 23.87 | 18.44 | 16.19 | 20.01 | 19.41 | 21.93 | 17.26 | 16.60 | - | |
| E1404 | สาธารณะ ประปา | 7 | นาดี | นาคำ | 18.00 | 6.45 | 7.21 | 12.41 | 6.73 | 7.48 | 7.84 | 4.57 | 5.93 | 4.95 | - | 3.90 |
| ML1370 | วัด ประปา | 8 | ดงวัฒนา | นาคำ | 48.00 | 25.30 | | 16.91 | 15.92 | 35.20 | 22.81 | | 12.30 | 14.05 | - | |
| DQ170 | สาธารณะ ประปา | 10 | โนนสมโรจน์ | นาคำ | 54.00 | 17.50 | 17.88 | 18.35 | 18.51 | 19.34 | 18.91 | 18.90 | 18.69 | 19.05 | - | |
| DQ130 | สาธารณะ ประปา | 11 | โนนงาม | นาคำ | 46.00 | 10.50 | 11.07 | 12.30 | 12.31 | 12.73 | 13.86 | 14.74 | 11.27 | 10.20 | - | |
| 5310E001 | โรงเรียน | 12 | ดอนขี้เหล็ก | นาคำ | 33.00 | 9.70 | 9.80 | 10.22 | 12.03 | 12.26 | 11.83 | 10.33 | 10.49 | 9.20 | - | |
| E1327 | สาธารณะ | 5 | ท่าบ่อยาง | นาไหม | 42.00 | สูบ | 30.86 | 21.50 | 19.58 | 25.89 | 24.29 | 27.60 | 23.23 | 24.05 | - | |
| UD177 | โรงเรียนนาไหมพิทยาคมฯ | 8 | สุวอ | นาไหม | 60.00 | 4.31 | 4.86 | 19.64 | 6.21 | 5.76 | 5.87 | 5.18 | 4.30 | 3.70 | - | 3.09 |
| ML1123 | วัดป่าเถรภูมิ | 10 | เมืองนาซำ | นาไหม | 36.00 | | | | - | - | | 6.02 | - | 4.65 | - | 0.05 |
| UD135 | วัดศรีนวลวราราม (ประปา) | 12 | โนนประเสริฐ | นาไหม | 90.00 | >29 | 29.70 | 12.61 | 25.14 | 15.42 | 28.30 | 26.69 | 26.80 | 20.50 | - | |
| 6010H051 | โรงเรียนทรัพย์อุดมวิทยา | 1 | บ้านจันทน์ | บ้านจันทน์ | 56.00 | 4.30 | 4.70 | 4.49 | 5.33 | 5.51 | 6.26 | 5.71 | 4.25 | 3.90 | - | 3.25 |

ตารางที่ 3.2-5(ต่อ) การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินรายเดือน ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2561 ถึง กันยายน 2562

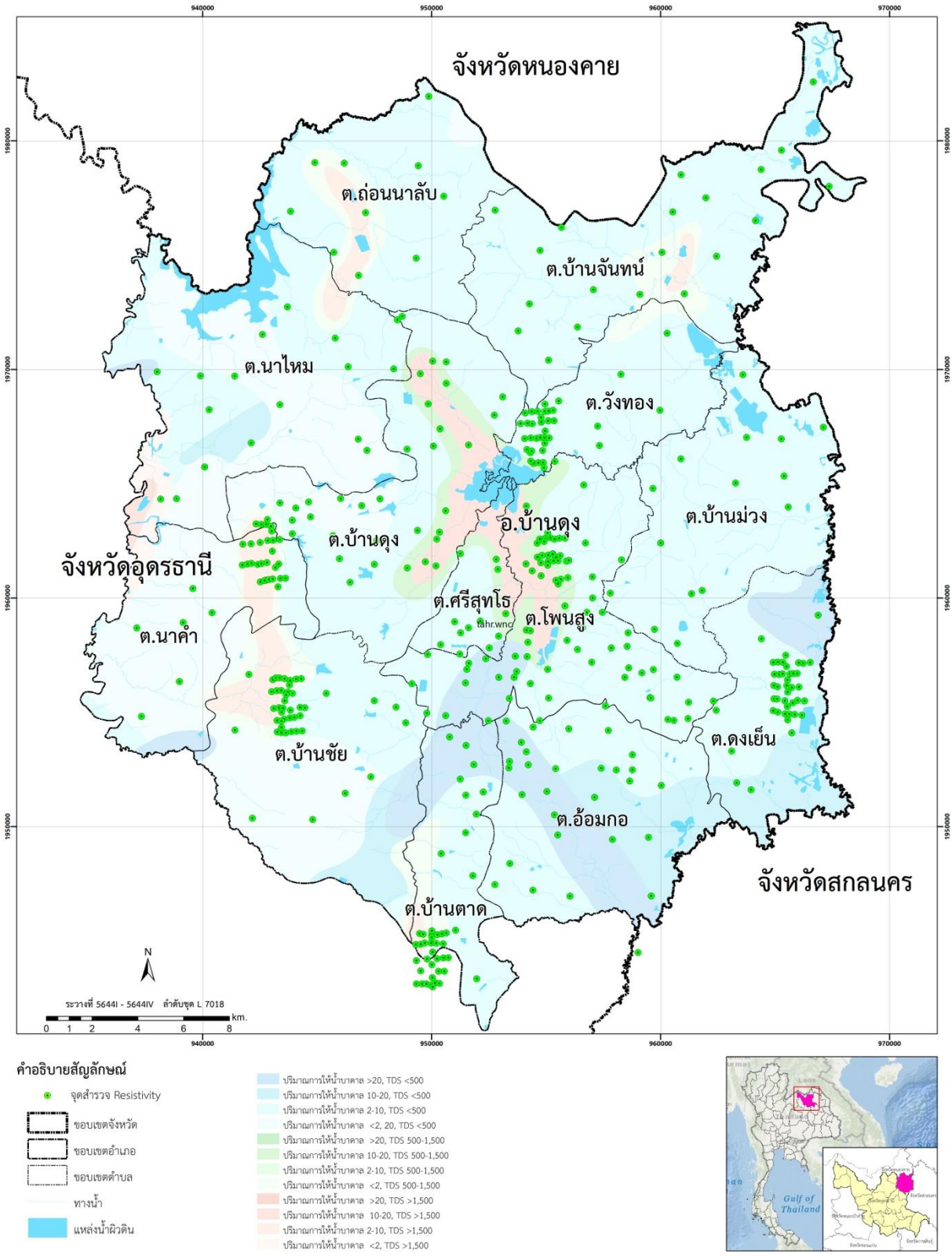
| หมายเลขบ่อ | สถานที่ | หมู่ที่ | บ้าน | ตำบล | ลึกพัฒนา (m.) | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E1192 | สาธารณะ | 2 | โนนศึกษา | บ้านจันทน์ | 45.00 | 6.80 | 7.12 | 7.95 | 8.35 | 8.72 | 10.28 | 9.49 | 7.86 | 7.50 | - | 5.48 |
| E1322 | โรงเรียน | 4 | ตูม | บ้านจันทน์ | 18.00 | 4.50 | - | | | | | | | | - | |
| UD127 | วัดประสิทธิ์มงคล | 8 | ดงยาง | บ้านจันทน์ | 65.00 | สูบ | 25.82 | 27.32 | 40.95 | 11.71 | | 12.80 | 24.15 | 22.94 | - | |
| DCD27780 | ที่สาธารณะ | 12 | ทรัพย์สมบูรณ์ | บ้านจันทน์ | 42.00 | 5.30 | 5.89 | 6.45 | 7.26 | 7.51 | 7.79 | 7.70 | 6.95 | 6.70 | - | |
| E943 วัด | ที่สาธารณะ | 18 | โนนสิมมา | บ้านจันทน์ | 30.00 | 4.00 | 4.25 | 4.54 | 4.85 | 4.89 | 5.47 | 5.17 | 3.13 | 3.20 | - | 0.75 |
| ML1190 | ที่สาธารณะ | 1 | ชัย | บ้านชัย | 42.00 | 5.60 | 5.83 | 12.48 | 7.05 | 8.01 | 8.20 | 7.98 | 6.69 | 5.60 | - | |
| E270 | ที่สาธารณะ | 3 | กล้วย | บ้านชัย | 30.00 | 11.60 | 7.14 | 11.80 | 12.44 | 7.78 | 11.68 | 6.82 | 6.14 | 3.85 | - | |
| E1332 | โรงเรียน | 4 | นาสีนวล | บ้านชัย | 24.00 | 7.25 | 8.20 | 8.65 | 9.30 | 8.96 | | | 9.01 | 8.40 | - | |
| DCD27786 | วัด | 4 | นาสีนวล | บ้านชัย | - | 9.00 | 13.55 | 12.35 | 13.39 | 12.81 | 13.06 | 15.58 | 15.12 | 11.60 | - | |
| E940 | ที่สาธารณะ | 5 | โนนสะอาด | บ้านชัย | 30.00 | 8.60 | 10.00 | 10.50 | 22.15 | 11.49 | 11.37 | 8.35 | 8.76 | 9.00 | - | |
| E1135 | ที่สาธารณะ | 7 | โนนสีทอง | บ้านชัย | 36.00 | 12.30 | 13.71 | 12.96 | 20.65 | 13.42 | 12.14 | 12.02 | 12.21 | 11.70 | - | |
| DL54 | ที่สาธารณะ | 8 | ดงไพรวัลย์ | บ้านชัย | 36.00 | 5.45 | 5.82 | 6.13 | 6.90 | 9.35 | 7.59 | 9.26 | 6.83 | 6.25 | - | |
| E939 | ที่สาธารณะ | 8 | ดงไพรวัลย์ | บ้านชัย | 24.00 | | 0.73 | | | | | | | | - | |
| DCD27752 | วัด | 7 | หนองไฮ | บ้านดุง | - | 14.00 | 16.50 | 18.79 | 19.98 | 24.44 | 10.82 | 21.23 | 20.14 | 17.35 | - | |
| ML1641 | โรงเรียน | 8 | ปอพาน | บ้านดุง | 64.00 | 4.50 | 5.32 | 6.31 | 5.98 | 6.36 | 7.32 | 7.05 | 7.02 | 6.50 | - | 3.26 |
| 5310F003 | วัดกุดโดธรรมมายิการาม | 10 | ศรีสามารถ | บ้านดุง | 52.00 | สูบ | 4.06 | 4.45 | 5.77 | 5.66 | 6.30 | 6.54 | 4.70 | 4.40 | - | 2.86 |
| DCD27753 | วัดมงคลชัยศรี | 11 | สันติสุข | บ้านดุง | - | สูบ | 2.83 | 3.82 | 4.82 | 4.88 | 5.56 | 4.32 | 3.26 | 2.95 | - | 3.49 |
| DL57 | ที่สาธารณะ | 13 | โนนสำราญ | บ้านดุง | 36.00 | 11.00 | - | | | | | | | | - | |
| DL47 | รพ.ส่งเสริมสุขภาพ (ประปา) | 14 | สระแก้ว | บ้านดุง | 24.00 | | 31.42 | 32.90 | 41.35 | 15.35 | 23.52 | 22.97 | 12.52 | 31.30 | - | |
| DCD27755 | รพ.ส่งเสริมสุขภาพ (ประปา) | 14 | สระแก้ว | บ้านดุง | - | | - | 24.34 | 11.32 | 14.50 | 13.71 | 12.22 | 12.87 | | - | |
| 5410D002 | วัด | 2 | โนนทองหลาง | บ้านตาด | 42.00 | 6.80 | 14.80 | 10.06 | 14.20 | 8.84 | 6.32 | 15.65 | 15.40 | 15.25 | - | |
| ML1323 | ที่สาธารณะ | 5 | สมวิไล | บ้านตาด | 58.50 | 16.00 | 14.49 | 6.18 | 14.80 | 16.26 | 17.95 | 10.08 | 12.23 | 16.65 | - | |
| ML1126 | วัด | 6 | โนนสวรรค์ | บ้านตาด | 30.00 | 8.00 | 6.10 | 6.87 | 12.84 | 8.52 | 8.50 | 9.09 | 7.88 | 8.25 | - | |
| ML1256 | ศูนย์การเรียนรู้ | 8 | มีชัย | บ้านตาด | 36.00 | 8.00 | 8.47 | 10.22 | 9.87 | 10.69 | 10.70 | 11.34 | 9.00 | 7.90 | - | |

ตารางที่ 3.2-5(ต่อ) การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินรายเดือน ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2561 ถึง กันยายน 2562

| หมายเลขบ่อ | สถานที่ | หมู่ที่ | บ้าน | ตำบล | ลึกพัฒนา (m.) | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5910C009 | ที่นางดอกไม้ พัฒนา | 9 | คำภูเงิน | บ้านตาด | 52.00 | 2.42 | 2.64 | 3.19 | 3.05 | 3.45 | 3.29 | 4.35 | 1.84 | 1.95 | - | |
| ML1258 | ศาลาประชาคม | 3 | กมลศิลป์ | บ้านม่วง | 36.00 | สูบ | 16.69 | 17.07 | 17.02 | 17.47 | 18.26 | 17.95 | 19.47 | 16.55 | - | |
| DCD27805 | ที่สาธารณะ | 5 | ศรีเมือง | บ้านม่วง | - | >28.5 | 28.50 | 28.96 | 31.16 | 27.11 | 31.43 | 31.63 | 27.40 | 19.85 | - | |
| 6110B044 | ที่ดินนายทองพูล | 5 | ศรีเมือง | บ้านม่วง | 42.00 | 4.70 | 5.20 | 5.68 | | 6.21 | 7.20 | 9.43 | 4.40 | 4.20 | - | 3.75 |
| ML1411 | โรงเรียน | 7 | หนองสวรรค์ | บ้านม่วง | 56.00 | สูบ | 17.86 | 18.45 | 18.65 | 18.71 | | 15.00 | 14.89 | 20.48 | - | |
| ML1193 | ที่สาธารณะ | 8 | ศรีวัฒนา | บ้านม่วง | 42.00 | สูบ | 13.45 | 14.51 | 15.50 | 18.97 | | 12.42 | 25.50 | 16.80 | - | |
| UD125 | ที่สาธารณะ | 9 | ม่วง | บ้านม่วง | 60.00 | 12.20 | 13.00 | 13.42 | 11.87 | 15.87 | 19.52 | 10.08 | 14.52 | 12.30 | - | |
| ML1324 | ที่สาธารณะ | 8 | โนนสำราญ | โพนสูง | 45.00 | 8.00 | 7.88 | 8.65 | 8.95 | 9.11 | 8.73 | 9.42 | 8.18 | 8.15 | - | |
| E1402 | โรงเรียน | 10 | ดงค้าพัฒนา | โพนสูง | 36.00 | | 10.02 | | - | - | - | 29.71 | 9.60 | - | - | |
| DL514 | ที่สาธารณะ | 16 | หนองแต้ | โพนสูง | 42.00 | 9.40 | 8.85 | 7.41 | 5.85 | 10.64 | 12.96 | 9.16 | 6.24 | 7.40 | - | |
| DW-1 | ที่สาธารณะ | 3 | โพนสูงใต้ | โพนสูง | 5.40 | 2.40 | 2.63 | 2.86 | 3.45 | 3.34 | | | 0.89 | 0.77 | - | 0.97 |
| DCD27804 | ที่สาธารณะ | 1 | วังทอง | วังทอง | - | - | 15.00 | 19.42 | 15.95 | 20.51 | 10.50 | 16.92 | 10.37 | 4.40 | - | 9.32 |
| 6010A023 | อบต.วังทอง | 1 | วังทอง | วังทอง | 44.00 | 4.40 | 4.52 | 5.14 | 5.43 | 5.73 | 5.95 | 5.80 | 4.90 | 4.55 | - | 3.69 |
| 6010A024 | ที่สาธารณะ | 3 | เหล่าหลวง | วังทอง | 60.00 | 4.90 | 5.25 | 5.71 | 6.19 | 6.59 | 6.91 | 5.18 | 5.85 | 5.60 | - | 3.47 |
| 6110E038 | วัดโคกสว่างบำเพ็ญ | 5 | คำแมด | วังทอง | 48.00 | 5.30 | 5.45 | 5.71 | 6.25 | 6.54 | 6.89 | 7.17 | 5.90 | 5.20 | - | |
| DL688 | บ้านเลขที่ 70 | 7 | วังสมบัติ | วังทอง | 44.00 | | 19.04 | 22.52 | 24.36 | 24.21 | 26.34 | 25.90 | 22.60 | 22.00 | - | |
| 5810C024 | โครงการศูนย์การเรียนรู้ตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียงฯ | 8 | เหล่าหลวงใต้ | วังทอง | 72.00 | | | | 40.85 | 22.18 | 24.34 | 24.35 | 22.32 | 21.90 | - | |
| UD180 | โรงเรียนอนุบาลศรีสุทโธ | 1 | ดงคำ | ศรีสุทโธ | 64.00 | 3.21 | 3.90 | 4.70 | 4.91 | 5.25 | | 4.46 | 4.80 | 4.80 | - | |
| E520 | โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราช | 7 | อาสาพัฒนา1 | ศรีสุทโธ | 43.50 | 5.87 | 17.00 | 6.39 | 10.32 | 6.51 | 4.05 | 6.71 | 5.56 | 16.20 | - | 15.35 |
| E401 | วัดศรีผดุงพัฒนา | 7 | อาสาพัฒนา1 | ศรีสุทโธ | 42.00 | 15.47 | 16.50 | 17.90 | 19.42 | 15.16 | 19.80 | 19.05 | 18.07 | 16.25 | - | |
| ML1253 | ที่สาธารณะ | 1 | อ้อมกอ | อ้อมกอ | 36.00 | 9.70 | 11.67 | 10.58 | 14.20 | 15.60 | | 9.21 | 8.33 | 9.80 | - | 8.3 |
| ML1255 | ที่สาธารณะ | 2 | ดงดารา | อ้อมกอ | 36.00 | 8.60 | 9.02 | 9.79 | 9.67 | 11.94 | | 10.39 | 17.91 | 9.45 | - | |

ตารางที่ 3.2-5(ต่อ) การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินรายเดือน ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2561 ถึง กันยายน 2562

| หมายเลขบ่อ | สถานที่ | หมู่ที่ | บ้าน | ตำบล | ลึกพัฒนา (m.) | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| E831 | ที่สาธารณะ | 3 | โคกคำไหล | อ้อมกอ | 66.00 | 3.60 | 4.03 | 4.52 | 4.98 | 17.40 | | 16.57 | 4.11 | 4.35 | - | 2.15 |
| 5510A019 | ที่สาธารณะ | 8 | เดชอุดม | อ้อมกอ | 42.00 | 16.40 | 17.47 | 15.02 | 18.04 | 15.49 | | 8.13 | 14.05 | 14.00 | - | |
| E1396 | ที่สาธารณะ | 9 | โนนสมบูรณ์ | อ้อมกอ | 36.00 | 20.30 | 18.32 | 10.88 | 13.84 | 11.89 | | 15.54 | 8.24 | 17.10 | - | |
| 5910H013 | โรงเรียนบ้านปากดง | 11 | ปากดง | โพนสูง | 68.00 | 12.30 | 22.58 | 23.66 | 23.14 | 23.21 | | 23.41 | 23.00 | 22.90 | - | |
| 5310F04 | โรงเรียนบ้านผึ้ง | 2 | ผึ้ง | นาไหม | 72.00 | | 21.27 | 19.64 | 20.19 | 15.11 | 26.03 | 11.97 | 22.40 | 25.20 | - | |
| UD161 | บ้านทุ่งกว้างพัฒนา | 13 | ทุ่งกว้างพัฒนา | นาไหม | 66.00 | | 19.60 | 32.73 | 9.95 | 8.49 | 7.72 | 8.80 | 15.82 | 11.45 | - | 6.13 |
| 5901H009 | ศาลาประชาคม | | ทุ่งโพธิ์ทอง | โพนสูง | 62.00 | | 8.70 | 10.18 | 10.53 | 11.13 | | 12.85 | 13.08 | 18.50 | - | |
| ML1536 | ที่สาธารณะ | 13 | โนนสำราญ | บ้านดุง | 48.00 | | 13.55 | 12.77 | 13.05 | 14.94 | 13.29 | 12.32 | 9.28 | 12.60 | - | |
| ML1324 | ที่สาธารณะ | 8 | โนนสำราญ | โพนสูง | 45.00 | | 11.46 | | | | | | | | - | |
| ML1124 | วัด | 10 | โนนผักหวาน | บ้านตาด | 36.00 | | 10.10 | 10.15 | 11.03 | 6.32 | 11.20 | 11.01 | 12.60 | 9.60 | - | |
| 5310F05 | วัดข้างศูนย์เด็กเล็ก | 1 | นาคำ | นาคำ | 45.00 | | 11.20 | 12.99 | 13.00 | 14.74 | 13.31 | 13.27 | 12.50 | 12.00 | - | |
| 5510D57 | วัดสุวรรณภูมิ | 7 | นาคำวัง | นาไหม | 56.00 | | >32.76 | 31.55 | 27.86 | 19.12 | 35.82 | 32.96 | 13.80 | 32.45 | - | |
| E1314 | ศาลาประชาคม | 3 | โคกคำไหล | อ้อมกอ | 36.00 | | | | | | | | 23.89 | 16.1 | - | |
| DW14 | ที่สาธารณะ | 18 | โนนสิมมาเหนือ | บ้านจันทร์ | 5.60 | | | | | | | | | 0.85 | - | |
| PW-BD1 | วัดป่าสุวรรณรังษี | 9 | ผึ้ง | โพนสูง | 27.0 | | | | | | | | 8.28 | 7.5 | - | 5.91 |
| MW-BD1 | | | | | 15.0 | | | | | | | | 7.13 | 6.1 | - | 3.35 |
| MW-BD2 | | | | | 10.0 | | | | | | | | 7.13 | 4.75 | - | 3.11 |
| PW-BD2 | วัดป่าบ้านนาดี | 7 | นาดี | นาคำ | 30.0 | | | | | | | | | 14.7 | - | 11.45 |
| MW-BD3 | | | | | 15.0 | | | | | | | | | 2.95 | - | 2.00 |
| MW-BD4 | | | | | 10.0 | | | | | | | | | 3 | - | 2.22 |
| PW-BD3 | โรงเรียนบ้านโนนทองหลาง | 2 | โนนทองหลาง | บ้านตาด | 30.0 | | | | | | | | | 1.17 | - | |
| MW-BD5 | | | | | 15.0 | | | | | | | | | 1.1 | - | |
| MW-BD6 | | | | | 10.0 | | | | | | | | | 0.95 | - | |




รูปที่ 3.2-3 ตำแหน่งและการกระจายตัวของจุดสำรวจความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะรายตำบล อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี

ตารางที่ 3.2-6 การสำรวจวัดความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะรายตำบลของอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี

| ลำดับที่ | อำเภอบ้านดุง ตำบล/เทศบาล | การสำรวจ ๑ (ครั้ง) | การสำรวจ ๒ (ครั้ง) | การสำรวจพื้นที่จำเพาะ พื้นที่ | (ครั้ง) | รวมทั้งสิ้น | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ๑ | ศรีสุทโธ | 13 | 0 | - | - | 13 | |
| ๒ | บ้านดุง | 33 | 52 | - | - | 85 | |
| ๓ | โพนสูง | 49 | 25 | บ้านฝาง | 27 | 101 | |
| ๔ | ถ่อนนาลับ | 8 | 17 | - | - | 25 | |
| ๕ | นาไหม | 12 | 36 | - | - | 48 | |
| ๖ | นาคำ | 4 | 24 | บ้านนาดี | 28 | 56 | |
| ๗ | บ้านชัย | 4 | 33 | บ้านทุ่ง | 34 | 71 | |
| ๘ | บ้านจันทร์ | 12 | 24 | - | - | 36 | |
| ๙ | วังทอง | 7 | 17 | บ้านกำแมด | 30 | 54 | |
| ๑๐ | บ้านม่วง | 15 | 10 | - | - | 25 | |
| ๑๑ | ดงเย็น | 7 | 9 | บ้านป่าเป้า | 35 | 51 | |
| ๑๒ | บ้านตาด | 12 | 2 | บ้านโคกกลาง | 35 | 49 | |
| ๑๓ | อ้อมกอ | 26 | 2 | - | - | 28 | |
| | รวม | 202 | 251 | | 189 | 642 | |

3.2.4 การเจาะสำรวจชั้นดิน โดยสว่านมือหมุน

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจชั้นดินโดยสว่านมือหมุน (รูปที่ 3.2-4) มีดังนี้ กระบอกเก็บตัวอย่าง ก้านเจาะ ก้านสำหรับหมุน และปะแจคอม้า

การสำรวจชั้นดินและชั้นหิน เพื่อประเมินและเทียบเคียงผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ในระดับตื้นโดยได้กำหนดสำรวจในจุดเดียวกับจุดสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าและมีระยะห่างระหว่างหลุมเจาะสำรวจชั้นดินโดยสว่านมือหมุน โดยกระจายตัวห่างกันประมาณ 3-5 กิโลเมตร ซึ่งกำหนดไว้ประมาณ 90 จุด และดำเนินการสำรวจ 76 จุด (ตารางที่ 3.2-7 และ 3.2-8 รูปที่ 3.2-5) พร้อมกันนี้ได้สำรวจชั้นดิน ชั้นหินในบริเวณใกล้เคียงตำแหน่งที่มีการเจาะสำรวจชั้นดินร่วมด้วย สำหรับใช้ในการประเมินและจัดทำแผนที่ความหนาของชั้นดินในพื้นที่ศึกษา

รูปที่ 3.2-4 อุปกรณ์และการเจาะชั้นดินโดยสว่านมือหมุน

ตารางที่ 3.2-7 สรุปจำนวนจุดสำรวจชั้นดินโดยสว่านมือหมุนรายตำบล อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี

| ลำดับที่ | อำเภอบ้านดุง<br>ตำบล/เทศบาล | จุดสำรวจ (แห่ง) | บ้าน | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| ๑ | ศรีสุทโธ | 2 | ศรีอุดม และศรีสมบัติ | |
| ๒ | บ้านดุง | 7 | บ้านนาดี บ้านปอพาน หนองสองห้อง โนนธงชัย วังพระองค์ และโนนสำราญ | |
| ๓ | โพนสูง | 10 | นาจาน สุขสบาย ดงค้าพัฒนา ปากดงเหนือ โพนสูงเหนือ ฝาง | |
| ๔ | ถ่อนนาลับ | 4 | โพธิ์ท่าเมือง นามั่ง ถ่อนนาลับ หนองลาด | |
| ๕ | นาไหม | 9 | บ้านผึ้ง นาไหม ศรีบุญทัน ทุ่งกว้างพัฒนา นาซำ โนนประเสริฐ นาคำวัง | |
| ๖ | นาคำ | 8 | นาดี ดอนขี้เหล็ก ดงพัฒนา โนนอุดม พรสันติ คำสง่า | |
| ๗ | บ้านชัย | 12 | โนนสีทอง โนนสะอาด บ้านชัย บ้านทุ่ง กล้วย นาสีนวล ดงไพรวัลย์ | |
| ๘ | บ้านจันทร์ | 7 | ดงหวาย บ้านจันทร์ ดงยาง หัวฝาย โนนศึกษา บ่อศิลา | |
| ๙ | วังทอง | 2 | วังสมบัติ คำเจริญ | |
| ๑๐ | บ้านม่วง | 4 | สามัคคี เมืองไพร โนนเมือง สุขสบาย | |
| ๑๑ | ดงเย็น | 4 | ดงแสนสุข ดงสว่าง ดงสง่า | |
| ๑๒ | บ้านตาด | 2 | โนนทองหลาง | |
| ๑๓ | อ้อมกอ | 5 | โนนศรีทอง, โนนสมบูรณ์, อ้อมกอ โคกคำไหล | |
| | รวม | 76 | | |

ตารางที่ 3.2-8 จุดสำรวจชั้นดินโดยสว่านมือหมุนรายตำบล อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี

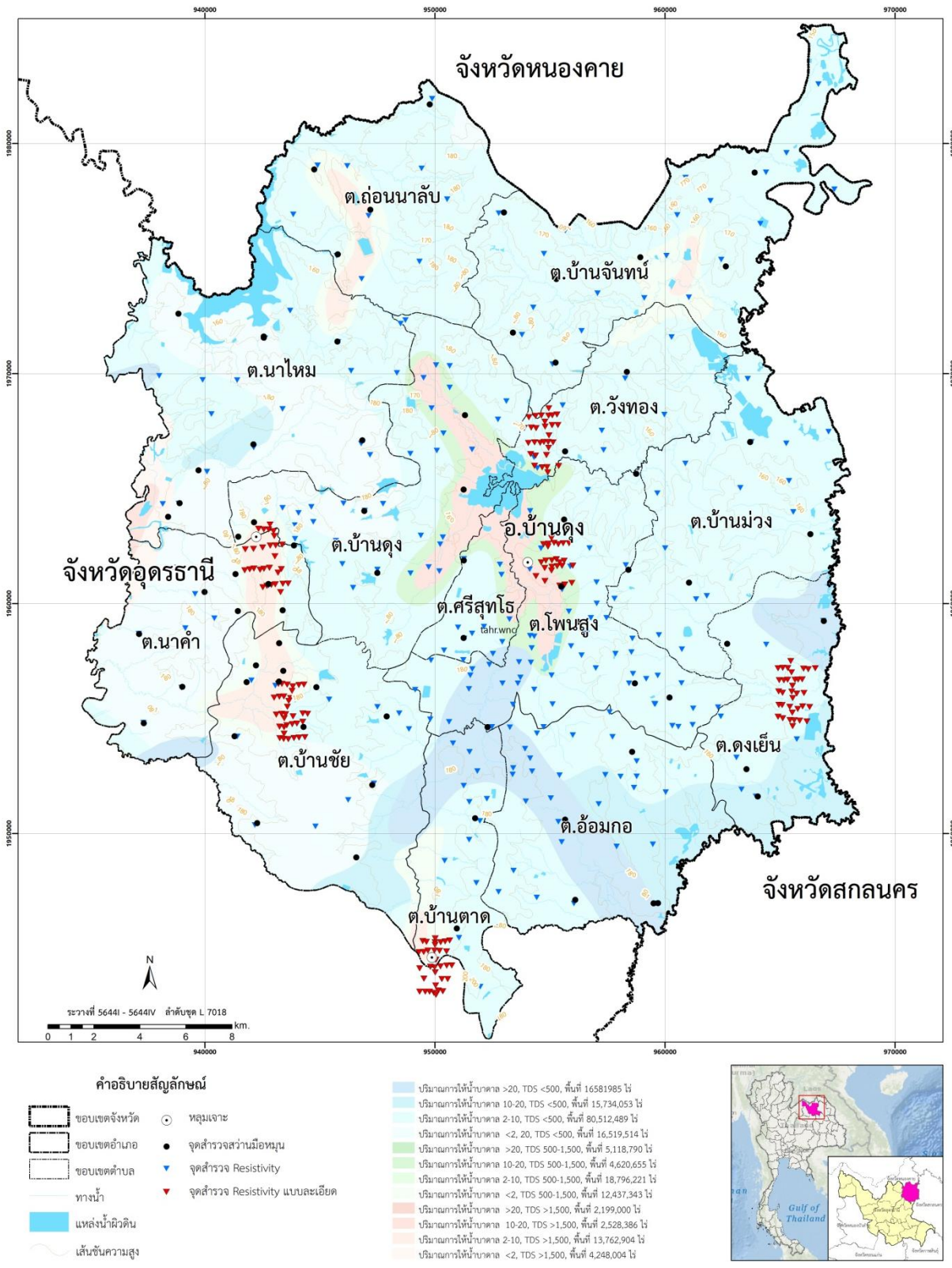
| ชื่อจุด | พิกัดตะวันออก | พิกัดเหนือ | สถานที่ | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| AH-AK01 | 321680 | 1949105 | เนินสวนยาง สวนอ้อย บ้านโนนสีทอง | ตำบลอ้อมกอ |
| AH-AK16 | 318680 | 1946263 | นาข้าวติดริมคลองขุดลอก บ้านโนนสมบูรณ์ | |
| AH-AK23 | 322592 | 1942509 | นาข้าวใกล้น้ำสงคราม บ้านอ้อมกอ | |
| AH-AK27 | 319006 | 1942770 | บ้านโนนหอม | |
| AH-AK28 | 322400 | 1942509 | สวนอ้อยริมถนน บ้านโคกคำไหล | |
| AH-BC02 | 306523 | 1954308 | บ้านทุ่ง | ตำบลบ้านชัย |
| AH-BC03 | 305488 | 1953377 | บ้านชัย | |
| AH-BC04 | 306665 | 1953101 | บ้านทุ่ง | |
| AH-BC07 | 305063 | 1952658 | บ้านชัย | |
| AH-BC08 | 306465 | 1952645 | บ้านทุ่ง | |
| AH-BC09 | 308079 | 1952342 | บ้านดงไพรวัลย์ | |
| AH-BC15 | 311084 | 1950984 | นาข้าว บ้านโนนสีทอง | |
| AH-BC17 | 304463 | 1950330 | บ้านกล้วย | |
| AH-BC18 | 307466 | 1950637 | บ้านกล้วย | |
| AH-BC26 | 310370 | 1948030 | นาข้าว บ้านโนนสะอาด | |
| AH-BC30 | 305325 | 1946531 | บ้านนาสีนวล | |
| AH-BC35 | 309578 | 1944913 | นาข้าว บ้านโนนสะอาด | |
| AH-BD20 | 314895 | 1963939 | บ้านหนองสองห้อง | ตำบลบ้านดุง |
| AH-BD32 | 314738 | 1960710 | บ้านโนนธงชัย | |
| AH-BD40 | 310400 | 1959925 | บ้านวังพระองค์ | |
| AH-BD45 | 305603 | 1959589 | บ้านปอพาน | |
| AH-BD55 | 304894 | 1958984 | บ้านปอพาน | |
| AH-BD56 | 307298 | 1958522 | บ้านปอพาน | |
| AH-BD65 | 310881 | 1957216 | บ้านโนนสำราญ | |
| AH-BJ04 | 327789 | 1974060 | บ้านบ่อศิลา | ตำบลบ้านจันทน์ |
| AH-BJ08 | 316871 | 1972676 | ทุ่งนา บ้านดงหวาย | |
| AH-BJ14 | 322713 | 1970545 | ทุ่งนา บ้านจันทน์ | |
| AH-BJ16 | 326407 | 1970028 | บ้านโนนศึกษา | |
| AH-BJ21 | 319049 | 1969717 | สระขุดบ้านดงยาง | |
| AH-BJ26 | 317088 | 1967455 | บ้านหัวฝาย | |
| AH-BJ32 | 318895 | 1966092 | ข้างสวนยาง บ้านหัวฝาย | |
| AH-BM04 | 327221 | 1962377 | บ้านโนนเมือง | ตำบลบ้านม่วง |
| AH-BM14 | 329699 | 1958304 | บ้านเมืองไพร | |
| AH-BM17 | 324380 | 1956370 | บ้านสามัคคี | |
| AH-BT10 | 314780 | 1946441 | บ้านงิ้ว | ตำบลบ้านตาด |
| AH-BT13 | 313838 | 1941688 | นาข้าว ข้างๆ สระน้ำ บ้านโนนทองหลาง | |
| AH-DY04 | 330166 | 1954518 | นาข้าว บ้านดงแสนสุข | ตำบลดงเย็น |
| AH-DY05 | 325948 | 1953665 | นาข้าว บ้านหนองสว่าง | |
| AH-DY12 | 326607 | 1948200 | นาข้าว กระต็อบต้นมะม่วงแก้ว บ้านดงสง่า | |
| AH-DY16 | 327062 | 1947000 | ทุ่งนา บ้านดงสง่า | |
| AH-NK07 | 303357 | 1956627 | บ้านดอนขี้เหล็ก | ตำบลนาคำ |
| AH-NK09 | 304730 | 1957360 | สวนปาล์มติดต่อนาข้าว บ้านนาดี | |
| AH-NK10 | 306138 | 1956885 | สระขุด บ้านดงพัฒนา | |
| AH-NK13 | 304781 | 1955759 | สระน้ำ บ้านนาดี | |
| AH-NK14 | 306721 | 1955730 | บ้านคำสง่า | |

ตารางที่ 3.2-8 (ต่อ) จุดสำรวจชั้นดินโดยสว่านมือหมุนรายตำบล อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี

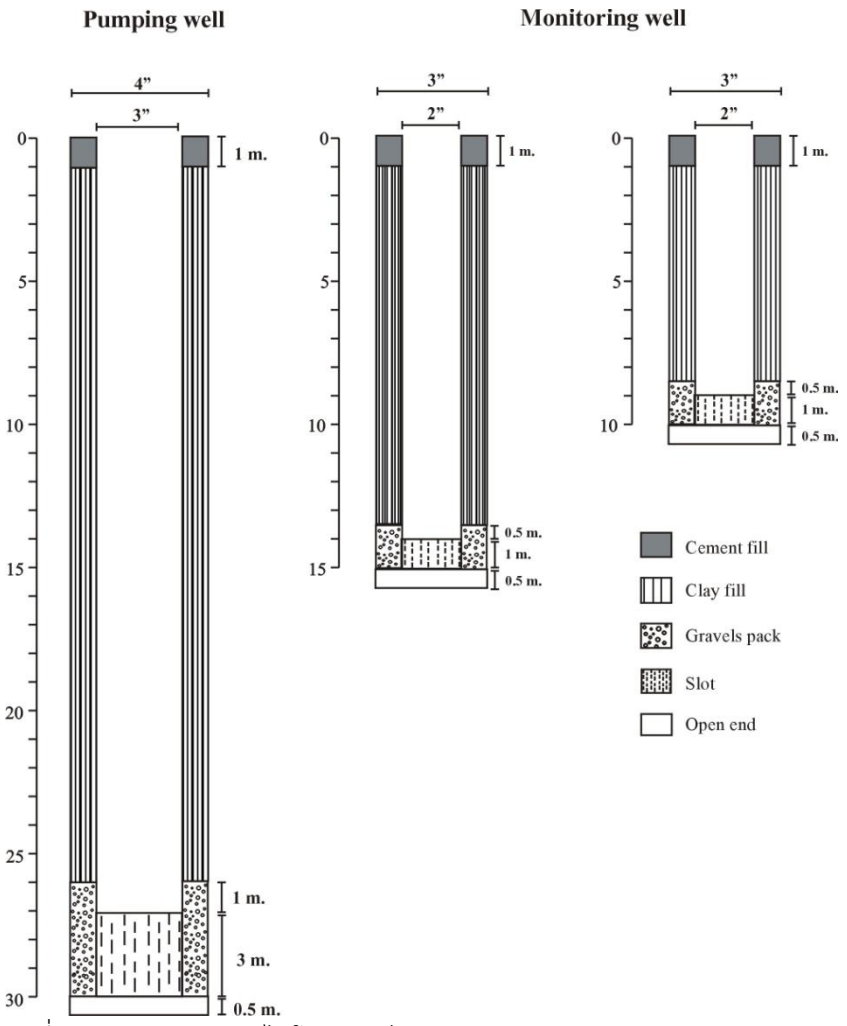
| ชื่อจุด | พิกัดตะวันออก | พิกัดเหนือ | สถานที่ | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| AH-NK16 | 300463 | 1954893 | ทุ่งนา บ้านนายนาวี แสงบุญ บ้านหัวดงยาง | ตำบลนาคำ |
| AH-NK22 | 302265 | 1952550 | บ้านโนนสีทอง | |
| AH-NK25 | 300545 | 1951023 | ทุ่งนา บ้านพรสันติ | |
| AH-NM03 | 302610 | 1968737 | บ้านผึ้ง | ตำบลนาไหม |
| AH-NM08 | 306281 | 1967576 | ทุ่งนา บ้านนาไหม | |
| AH-NM08(2) | 306282 | 1967626 | บ้านนาไหม | |
| AH-NM10 | 309470 | 1967304 | ทุ่งนา บ้านศรีบุญทัน | |
| AH-NM21 | 302400 | 1960513 | บ้านทุ่งกว้างพัฒนา | |
| AH-NM32 | 305681 | 1962968 | บ้านนาซำ | |
| AH-NM36 | 310415 | 1962990 | ทุ่งนา บ้านโนนประเสริฐ | |
| AH-NM38 | 303267 | 1961916 | บ้านนาคำ | |
| AH-NM44 | 301887 | 1959941 | บ้านนาคำ | |
| AH-PS02 | 322237 | 1961158 | | ตำบลโพนสูง |
| AH-PS04 | 319047 | 1959274 | บ้านดงค้าพัฒนา | |
| AH-PS17 | 321764 | 1957006 | บ้านสุขสบาย | |
| AH-PS18 | 318832 | 1956373 | บ้านฝาง | |
| AH-PS51 | 321886 | 1952074 | บ้านปากดงเหนือ | |
| AH-PS25 | 319499 | 1954821 | บ้านโพนสูงเหนือ | |
| AH-PS63 | 323369 | 1951412 | บ้านปากดงเหนือ | |
| AH-PS65 | 315444 | 1950382 | นาข้าว บ้านนาจาน | |
| AH-ST02 | 314641 | 1957636 | บ้านศรีสมบัติ | ศรีสุทโธ |
| AH-ST10 | 314527 | 1954276 | บ้านศรีอุดม | |
| AH-TL01 | 313800 | 1977464 | บ้านโพธิ์ท่าเมือง | ตำบลถ่อนนาลับ |
| AH-TL06 | 308703 | 1974804 | นาข้าว บ้านนามั่ง | |
| AH-TL13 | 311075 | 1972982 | นาข้าว บ้านถ่อนนาลับ | |
| AH-TL16 | 309604 | 1971091 | สระน้ำประจำไร่นารหัส อด.562.2562 บ้านหนองลาด | |
| AH-WT05 | 321976 | 1965587 | สระขุด บ้านวังสมบัติ | ตำบลวังทอง |
| AH-WT21 | 319191 | 1962226 | ทุ่งนา บ้านคำเจริญ | |

3.2.5 การเจาะและติดตั้งบ่อไพโซมิเตอร์

ดำเนินการคัดเลือกพื้นที่ตัวแทนจำนวน ๓ แห่ง โดยพิจารณาเลือกพื้นที่ซึ่งคาดว่ามีน้ำใต้ดินเค็มและ/หรือขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภค โดยใช้ข้อมูลสภาพปัญหาด้านทรัพยากรน้ำ บ่อบาดาลและคุณภาพน้ำ การสำรวจธรณีฟิสิกส์ การสำรวจชั้นดิน ในการเจาะและติดตั้งบ่อไพโซมิเตอร์สำหรับทดสอบคุณสมบัติชั้นหินอุ้มน้ำ ประกอบด้วย แห่งที่ 1 วัดป่าสุวรรณรังษี ตำบลโพนสูง แห่งที่ 2 วัดป่าบ้านนาคำ ตำบลนาดี และแห่งที่ 3 โรงเรียนบ้านโนนทองหลาง ตำบลบ้านตาด (รูปที่ 3.2-5 และตารางที่ 3.2-9) โดยเป็นเครื่องมือในการตรวจสอบคุณสมบัติของตัวกลาง (mass media) ที่น้ำสามารถผ่านได้โดยการทดสอบสูบน้ำเพื่อหาคุณสมบัติชั้นหินอุ้มน้ำในบ่อสูบ (pumping well) และวัดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ (monitoring well) มีรูปแบบของบ่อไพโซมิเตอร์แสดงดังรูปที่ 3.2-6




รูปที่ 3.2-5 ตำแหน่งสำรวจชั้นดินด้วยสว่านมือหมุน การสำรวจค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ และบ่อไพโซมิเตอร์




รูปที่ 3.2-6 แบบของบ่อไพโซมิเตอร์

ตารางที่ 3.2-9 รายละเอียดบ่อไพโซมิเตอร์ในพื้นที่ศึกษา อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี

| ชื่อ | พิกัดตะวันออก | พิกัดเหนือ | สถานที่ | ตำบล | ความลึก (เมตร) | ช่วงท่อกรุ (เมตร) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PW1 | 317428 | 1957481 | วัดสุวรรณรังษี | โพนสูง | 32.5 | 24.0-27.0 |
| MW1 | 317425 | 1957482 | วัดสุวรรณรังษี | | 15.5 | 14.0-15.0 |
| MW2 | 317427 | 1957472 | วัดสุวรรณรังษี | | 10.5 | 9.0-10.0 |
| PW2 | 305702 | 1959003 | วัดป่านาดี | นาคำ | 30.5 | 27.0-30.0 |
| MW3 | 305712 | 1959004 | วัดป่านาดี | | 15.5 | 14.0-15.0 |
| MW4 | 305710 | 1959010 | วัดป่านาดี | | 10.5 | 9.0-10.0 |
| PW3 | 312712 | 1940471 | ร.ร.บ้านตาดโนนทองหลาง | บ้านตาด | 30.5 | 27.0-30.0 |
| MW5 | 312709 | 1940468 | ร.ร.บ้านตาดโนนทองหลาง | | 15.5 | 14.0-15.0 |
| MW6 | 312711 | 1940461 | ร.ร.บ้านตาดโนนทองหลาง | | 10.5 | 9.0-10.01 |

3.2.6 การประเมินศักยภาพของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยการจัดทำแบบจำลอง

ก. การประเมินปริมาณน้ำต้นทุนของแหล่งน้ำผิวดิน โดยใช้แบบจำลอง SWAT

ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำต้นทุนของแหล่งน้ำผิวดิน ประกอบด้วย ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า ซึ่งได้รวบรวมและวิเคราะห์เชิงสถิติเบื้องต้นมีรายละเอียดดังนี้

สภาพภูมิอากาศ

เป็นข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีวัดภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 3 สถานี คือ 1)สถานีภูมิอากาศหนองคาย จังหวัดหนองคาย 2) สถานีภูมิอากาศอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี และ 3) สถานีภูมิอากาศสกลนคร จังหวัดสกลนคร โดยมีช่วงปีสถิติข้อมูลที่บันทึกปี พ.ศ. 2532 - 2561 ดังแสดงที่ตั้งสถานีในรูปที่ 3.2-7 และข้อมูลในตารางที่ 3.2-10 ถึง ตารางที่ 3.2-12

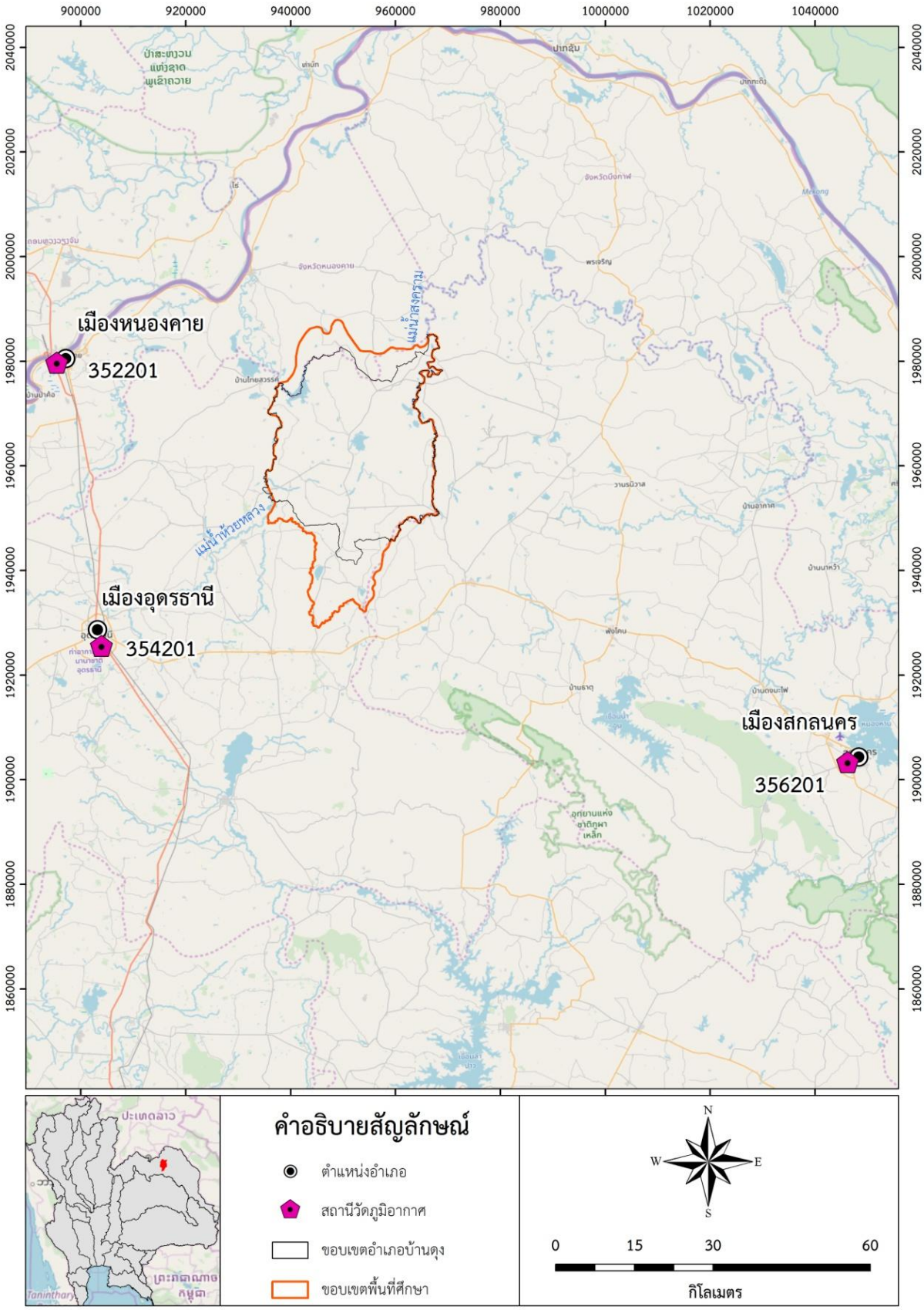
สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปในบริเวณอำเภอบ้านดุง มีอากาศร้อนจัดในฤดูร้อนและหนาวจัดในฤดูหนาว ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดจากทะเลจีนใต้ นอกจากนี้ในแต่ละปีจะได้รับอิทธิพลจากพายุดีเปรสชั่น และไต้ฝุ่นจากทะเลจีนใต้ ทำให้มีฝนตกหนักในฤดูฝน อิทธิพลของลมมรสุมทั้งสองทำให้เกิดฤดูกาล 3 ฤดู ดังนี้

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงกลางเดือนพฤษภาคม มีอากาศร้อนอบอ้าวและแห้งแล้ง โดยจะร้อนสุดในช่วงเดือนเมษายนประมาณ 39.9 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเดือนเมษายนประมาณ 30.4 องศาเซลเซียส

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่ประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม โดยตกหนักถึงหนักมากในบางครั้ง มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,726.2 มิลลิเมตรต่อปี

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ มีอากาศหนาวและแห้งมาก โดยเฉพาะในเดือนมกราคมมีอุณหภูมิต่ำสุดประมาณ 13.7 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปี 23.3 องศาเซลเซียส

โดยสรุปค่าสถิติข้อมูลที่สำคัญของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศบริเวณรอบๆ พื้นที่อำเภอบ้านดุง ได้แสดงดังตารางที่ 3.2-10 ถึง ตารางที่ 3.2-12 และแสดงการผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศได้ดังรูปที่ 3.2-8 ถึง รูปที่ 3.2-10




รูปที่ 3.2-7 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดภูมิอากาศ

ตารางที่ 3.2-10 สถิติข้อมูลภูมิอากาศที่สถานีหนองคาย จังหวัดหนองคาย ในช่วงปี 2532-2561

สถานี : สถานีอุตุนิยมวิทยาหนองคาย ความสูงของสถานีเหนือน้ำทะเลปานกลาง 140.0 เมตร

รหัสสถานี: 352201

ละติจูด : 17° 52' 00" องศาเหนือ

ลองติจูด : 102° 43' 00" องศาะวันออก

| ข้อมูล | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | รายปี |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ความชื้นสัมพัทธ์ (%)** | | | | | | | | | | | | | |
| เฉลี่ย | 68.5 | 65.3 | 64.6 | 66.8 | 76.8 | 81.5 | 83.8 | 84.5 | 83.1 | 76.1 | 70.4 | 68.5 | 74.2 |
| เฉลี่ยสูงสุด | 78.0 | 73.0 | 76.0 | 78.0 | 84.0 | 88.0 | 91.0 | 89.0 | 86.0 | 80.0 | 80.0 | 76.0 | 78.0 |
| เฉลี่ยต่ำสุด | 64.0 | 60.0 | 56.0 | 54.0 | 68.0 | 69.0 | 78.0 | 80.0 | 78.0 | 68.0 | 65.0 | 63.0 | 64.0 |
| **ปริมาณการระเหยจากถาด (มม.)** | | | | | | | | | | | | | |
| เฉลี่ย | 3.5 | 4.2 | 4.8 | 5.5 | 4.8 | 4.1 | 3.8 | 3.8 | 3.9 | 4.1 | 3.8 | 3.5 | 49.8 |
| **ความเร็วลม (นอต)** | | | | | | | | | | | | | |
| เฉลี่ย | 8.9 | 9.3 | 9.5 | 10.3 | 10.7 | 9.9 | 9.8 | 9.9 | 9.4 | 9.5 | 9.3 | 9.4 | 9.7 |
| สูงสุด | 13.0 | 14.0 | 13.0 | 14.0 | 16.0 | 15.0 | 14.0 | 15.0 | 13.0 | 14.0 | 12.0 | 14.0 | 13.9 |
| **อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)** | | | | | | | | | | | | | |
| เฉลี่ย | 23.5 | 25.5 | 28.3 | 30.3 | 29.7 | 29.1 | 28.6 | 28.3 | 28.2 | 27.6 | 25.8 | 23.4 | 27.4 |
| เฉลี่ยสูงสุด | 29.7 | 32.0 | 34.5 | 36.2 | 34.5 | 33.2 | 32.4 | 32.1 | 32.1 | 32.2 | 31.2 | 29.4 | 32.5 |
| เฉลี่ยต่ำสุด | 17.2 | 19.0 | 22.1 | 24.4 | 24.8 | 25.0 | 24.8 | 24.6 | 24.4 | 23.1 | 20.3 | 17.4 | 22.3 |
| สูงสุด | 32.0 | 35.0 | 36.8 | 39.4 | 37.9 | 35.9 | 34.2 | 33.2 | 33.5 | 33.8 | 33.8 | 31.6 | 34.8 |
| ต่ำสุด | 14.3 | 16.3 | 19.0 | 22.2 | 23.9 | 23.8 | 23.7 | 23.9 | 23.3 | 21.0 | 17.0 | 14.5 | 20.2 |

ตารางที่ 3.2-11 สถิติข้อมูลภูมิอากาศที่สถานีอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี ในช่วงปี 2532-2561

สถานี : สถานีอุตุนิยมวิทยาอุดรธานี ความสูงของสถานีเหนือน้ำทะเลปานกลาง 174.0 เมตร

รหัสสถานี: 354201

ละติจูด : 17° 23’ 00.0” องศาเหนือ

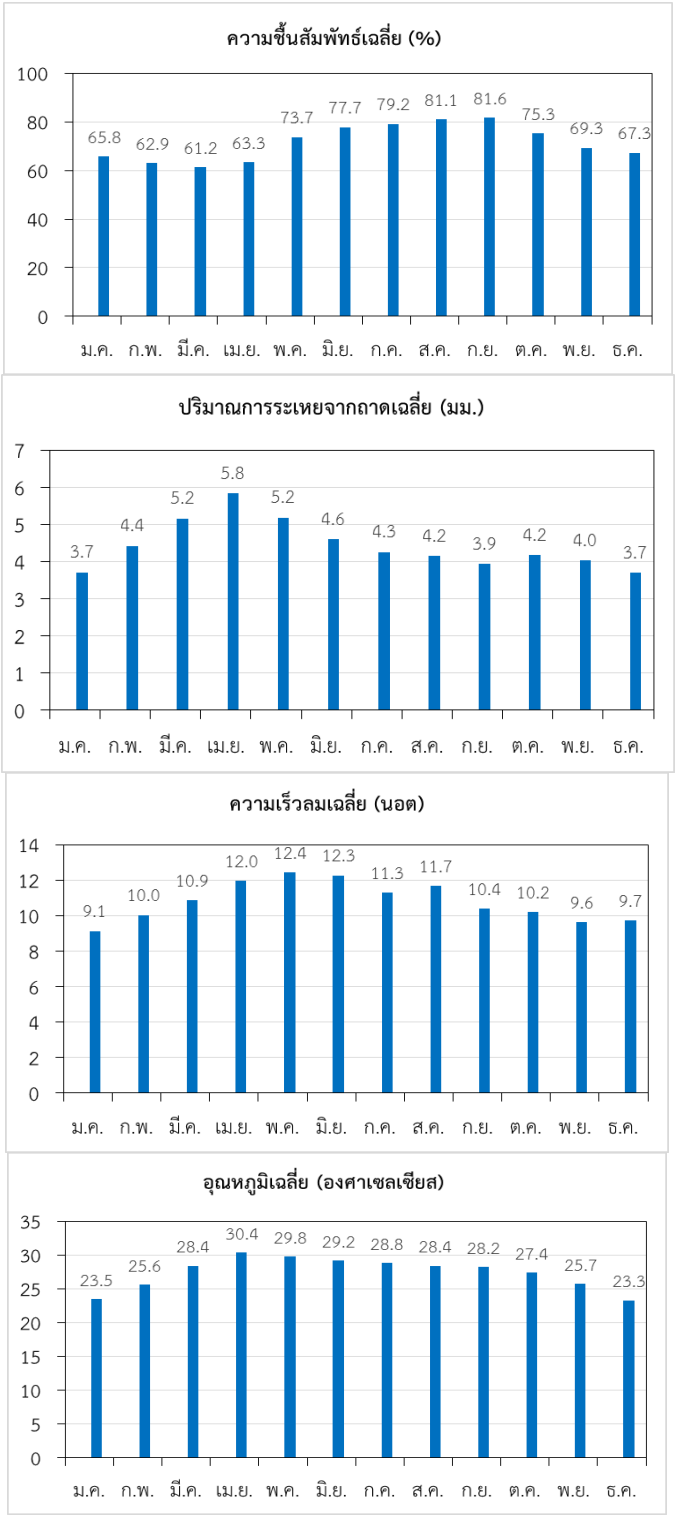
ลองติจูด : 102° 48’ 00.0” องศาตะวันออก

| ข้อมูล | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | รายปี |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ความชื้นสัมพัทธ์ (%)** | | | | | | | | | | | | | |
| เฉลี่ย | 65.8 | 62.9 | 61.2 | 63.3 | 73.7 | 77.7 | 79.2 | 81.1 | 81.6 | 75.3 | 69.3 | 67.3 | 71.5 |
| เฉลี่ยสูงสุด | 73.0 | 72.0 | 73.0 | 73.0 | 81.0 | 83.0 | 84.0 | 86.0 | 88.0 | 80.0 | 78.0 | 77.0 | 79.0 |
| เฉลี่ยต่ำสุด | 61.0 | 56.0 | 51.0 | 48.0 | 66.0 | 70.0 | 73.0 | 77.0 | 78.0 | 69.0 | 64.0 | 60.0 | 64.4 |
| **ปริมาณการระเหยจากถาด (มม.)** | | | | | | | | | | | | | |
| เฉลี่ย | 3.7 | 4.4 | 5.2 | 5.8 | 5.2 | 4.6 | 4.3 | 4.2 | 3.9 | 4.2 | 4.0 | 3.7 | 53.2 |
| **ความเร็วลม (นอต)** | | | | | | | | | | | | | |
| เฉลี่ย | 9.1 | 10.0 | 10.9 | 12.0 | 12.4 | 12.3 | 11.3 | 11.7 | 10.4 | 10.2 | 9.6 | 9.7 | 10.8 |
| สูงสุด | 13.0 | 13.0 | 15.0 | 16.0 | 17.0 | 17.0 | 16.0 | 16.0 | 14.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 14.7 |
| **อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)** | | | | | | | | | | | | | |
| เฉลี่ย | 23.5 | 25.6 | 28.4 | 30.4 | 29.8 | 29.2 | 28.8 | 28.4 | 28.2 | 27.4 | 25.7 | 23.3 | 27.4 |
| เฉลี่ยสูงสุด | 30.2 | 32.6 | 35.0 | 36.5 | 34.8 | 33.4 | 32.6 | 32.2 | 32.1 | 32.0 | 31.3 | 29.6 | 32.7 |
| เฉลี่ยต่ำสุด | 16.7 | 18.5 | 21.8 | 24.3 | 24.8 | 25.0 | 24.9 | 24.6 | 24.3 | 22.9 | 20.0 | 16.9 | 22.1 |
| สูงสุด | 32.8 | 35.4 | 37.9 | 39.9 | 37.0 | 35.8 | 34.3 | 33.5 | 33.2 | 33.6 | 34.1 | 32.0 | 35.0 |
| ต่ำสุด | 13.7 | 15.8 | 19.1 | 22.5 | 23.9 | 24.2 | 24.0 | 23.7 | 23.5 | 20.9 | 16.9 | 14.1 | 20.2 |

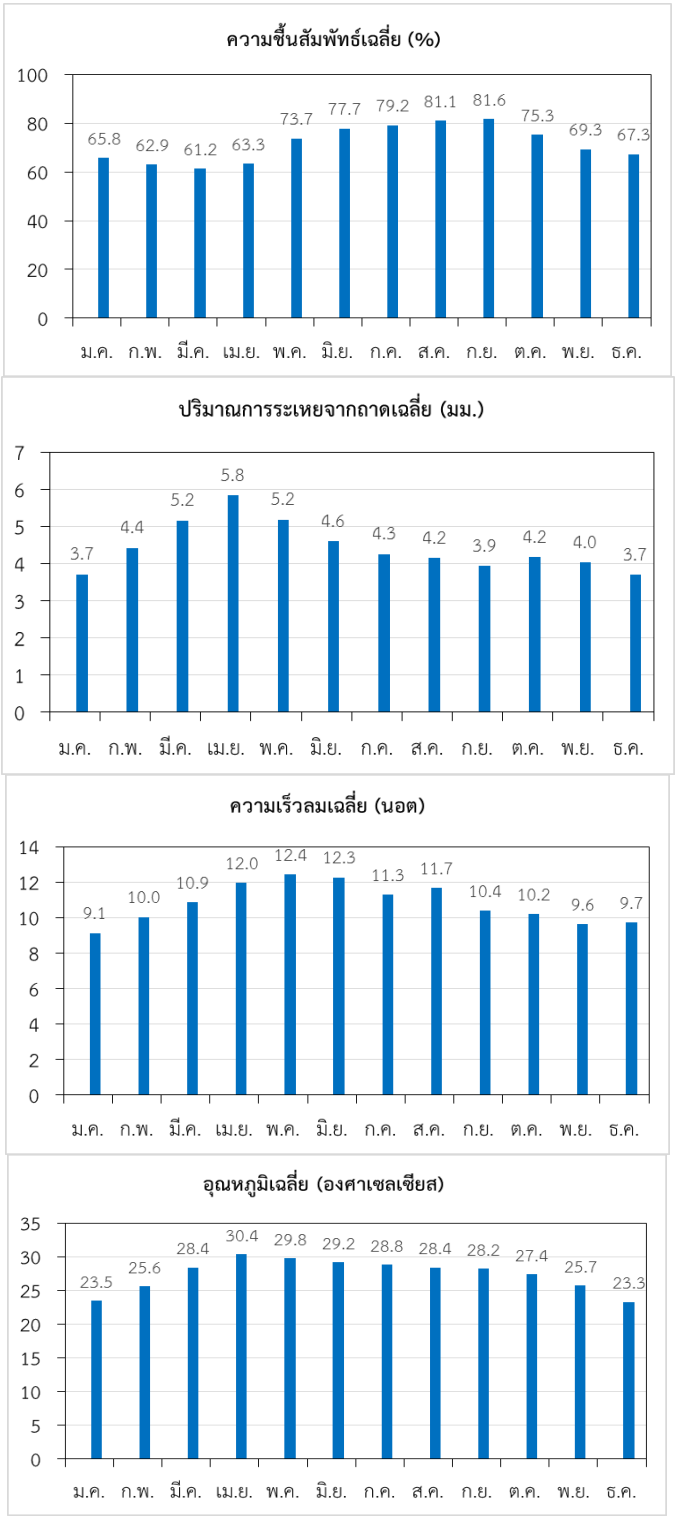
ตารางที่ 3.2-12 สถิติข้อมูลภูมิอากาศที่สถานีสกลนคร จังหวัดสกลนคร ในช่วงปี 2532-2561

สถานี : สถานีอุตุนิยมวิทยาสกลนคร
รหัสสถานี: 356201
ละติจูด : 17° 09’ 00.0” องศาเหนือ
ลองติจูด : 104° 08’ 00.0” องศาตะวันออก
ความสูงของสถานีเหนือน้ำทะเลปานกลาง 171.0 เมตร
ความสูงของฐานเรือนเทอร์โมมิเตอร์ 1.20 เมตร
ความสูงของเครื่องวัดลมจากพื้นดิน 10.65 เมตร
ความสูงของปากเครื่องวัดฝนจากพื้นดิน 1.00 เมตร

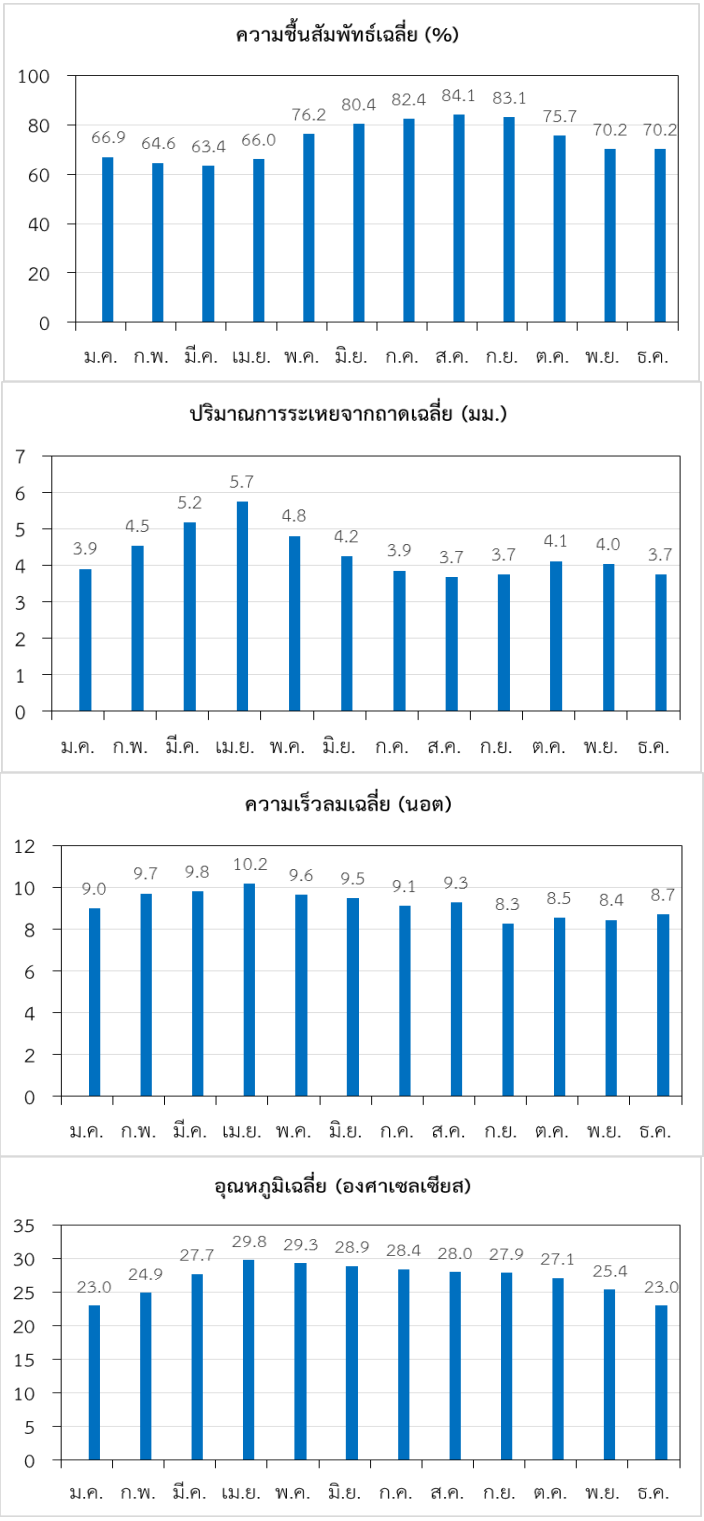
| ข้อมูล | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | รายปี |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ความชื้นสัมพัทธ์ (%)** | | | | | | | | | | | | | |
| เฉลี่ย | 66.9 | 64.6 | 63.4 | 66.0 | 76.2 | 80.4 | 82.4 | 84.1 | 83.1 | 75.7 | 70.2 | 70.2 | 73.6 |
| เฉลี่ยสูงสุด | 75.0 | 72.0 | 72.0 | 76.0 | 84.0 | 87.0 | 88.0 | 89.0 | 88.0 | 80.0 | 75.0 | 76.0 | 80.2 |
| เฉลี่ยต่ำสุด | 63.0 | 57.0 | 53.0 | 50.0 | 68.0 | 72.0 | 78.0 | 81.0 | 78.0 | 70.0 | 67.0 | 67.0 | 67.0 |
| **ปริมาณการระเหยจากถาด (มม.)** | | | | | | | | | | | | | |
| เฉลี่ย | 3.9 | 4.5 | 5.2 | 5.7 | 4.8 | 4.2 | 3.9 | 3.7 | 3.7 | 4.1 | 4.0 | 3.7 | 51.6 |
| **ความเร็วลม (นอต)** | | | | | | | | | | | | | |
| เฉลี่ย | 9.0 | 9.7 | 9.8 | 10.2 | 9.6 | 9.5 | 9.1 | 9.3 | 8.3 | 8.5 | 8.4 | 8.7 | 9.2 |
| สูงสุด | 11.0 | 14.0 | 13.0 | 14.0 | 14.0 | 13.0 | 14.0 | 13.0 | 11.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.8 |
| **อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)** | | | | | | | | | | | | | |
| เฉลี่ย | 23.0 | 24.9 | 27.7 | 29.8 | 29.3 | 28.9 | 28.4 | 28.0 | 27.9 | 27.1 | 25.4 | 23.0 | 26.9 |
| เฉลี่ยสูงสุด | 29.2 | 31.2 | 33.6 | 35.2 | 33.8 | 32.7 | 31.8 | 31.5 | 31.6 | 31.4 | 30.8 | 29.1 | 31.8 |
| เฉลี่ยต่ำสุด | 16.7 | 18.5 | 21.8 | 24.3 | 24.8 | 25.0 | 24.9 | 24.6 | 24.3 | 22.9 | 20.0 | 16.9 | 22.1 |
| สูงสุด | 31.7 | 34.4 | 36.0 | 38.5 | 36.1 | 34.9 | 33.3 | 32.7 | 32.7 | 33.0 | 33.6 | 31.8 | 34.1 |
| ต่ำสุด | 13.7 | 15.8 | 19.1 | 22.5 | 23.9 | 24.2 | 24.0 | 23.7 | 23.5 | 20.9 | 16.9 | 14.1 | 20.2 |




รูปที่ 3.2-8 แสดงการผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศสถานีหนองคาย จังหวัดหนองคาย




รูปที่ 3.2-9 แสดงการผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศสถานีอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี




รูปที่ 3.2-10 แสดงการผันแปรรายเดือนของตัวแปรภูมิอากาศสถานีสกลนคร จังหวัดสกลนคร

ปริมาณน้ำฝน

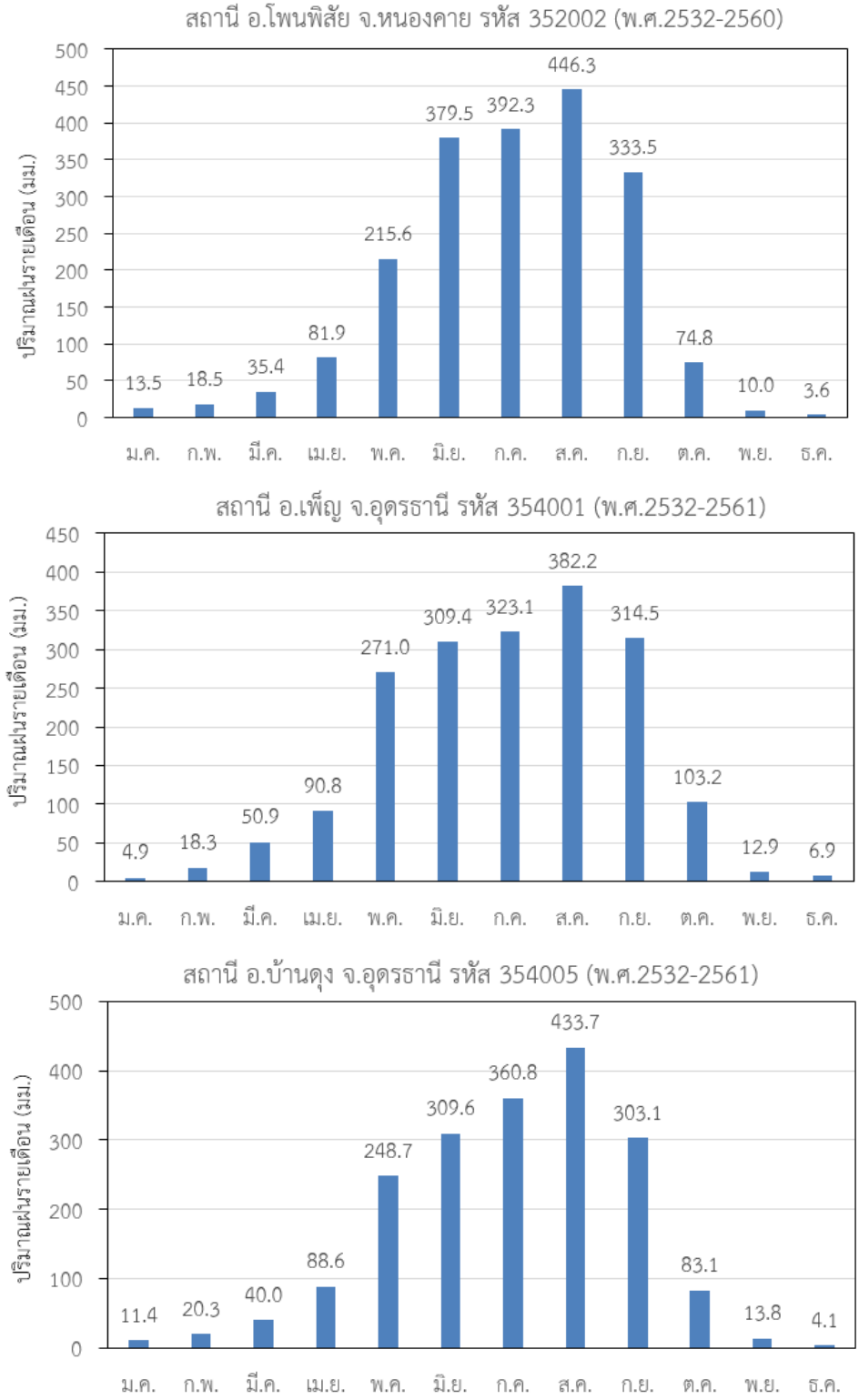
เป็นข้อมูลปริมาณฝนรายวัน รายเดือนและรายปี ของกรมอุตุนิยมวิทยา ระหว่างปี พ.ศ. 2532-2561 จำนวน 6 สถานี ในพื้นที่อำเภอบ้านดุงและข้างเคียง (ตารางที่ 3.2-13) และที่ตั้งสถานีแสดงในรูปที่ 3.2-12 การผันแปรรายเดือนของปริมาณฝนเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนที่ตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอบ้านดุงและข้างเคียงแสดงดังรูปที่ 3.2-11

การวิเคราะห์ปริมาณฝนรายเดือนและรายปี

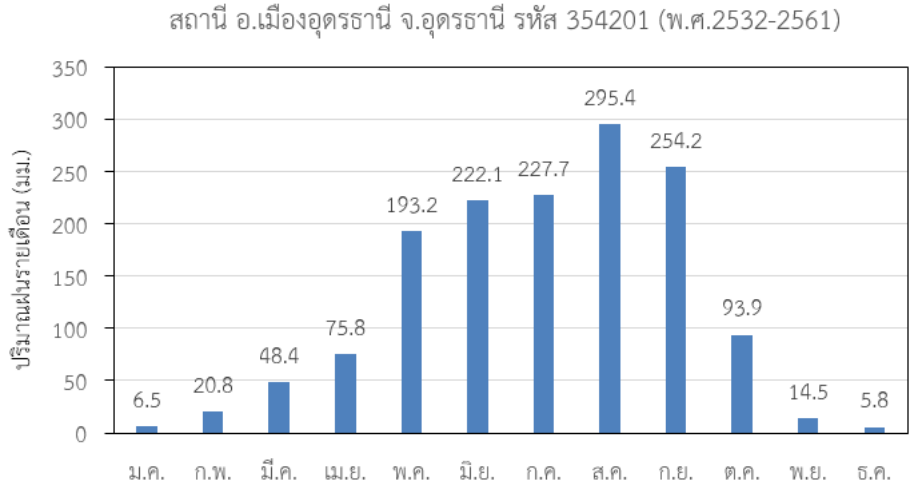
จากข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนและรายปีของสถานีดังกล่าว สามารถแสดงการกระจายรายเดือนของปริมาณฝนเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 6 สถานี ในพื้นที่อำเภอบ้านดุงและข้างเคียงได้ และนำมาสร้างแผนที่แสดงเส้นชั้นปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีในพื้นที่อำเภอบ้านดุง (รูปที่ 3.2-12) พบว่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีของพื้นที่อำเภอบ้านดุง ผันแปรตามพื้นที่โดยปริมาณฝนต่ำสุด กระจายตัวอยู่บริเวณพื้นที่ด้านตะวันออกเฉียงใต้ ปริมาณฝนประมาณ 1,500-1,600 มิลลิเมตร และมีแนวโน้มสูงขึ้นไปทางบริเวณพื้นที่ด้านตะวันตกเฉียงเหนือ มีปริมาณฝนสูงสุดประมาณ 1,900-2,000 มิลลิเมตร

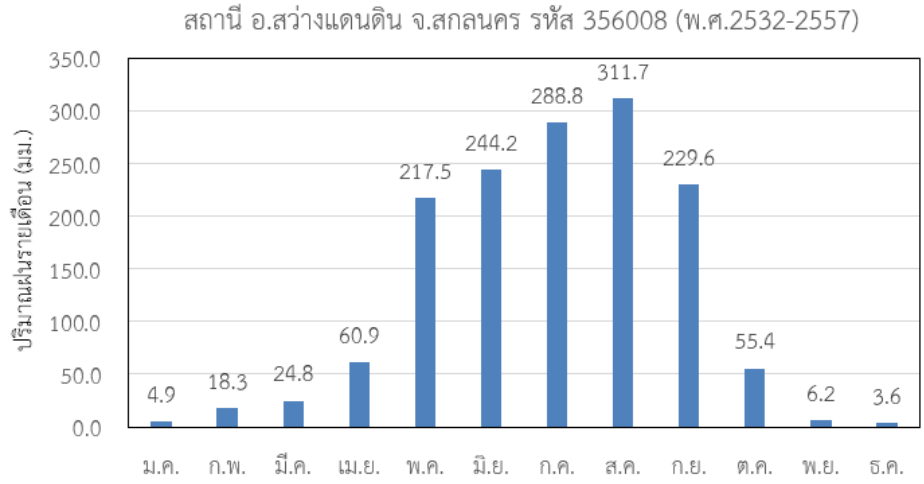
ตารางที่ 3.2-13 สถานีวัดน้ำฝนรายเดือนและรายปีในพื้นที่อำเภอบ้านดุงและพื้นที่ข้างเคียง

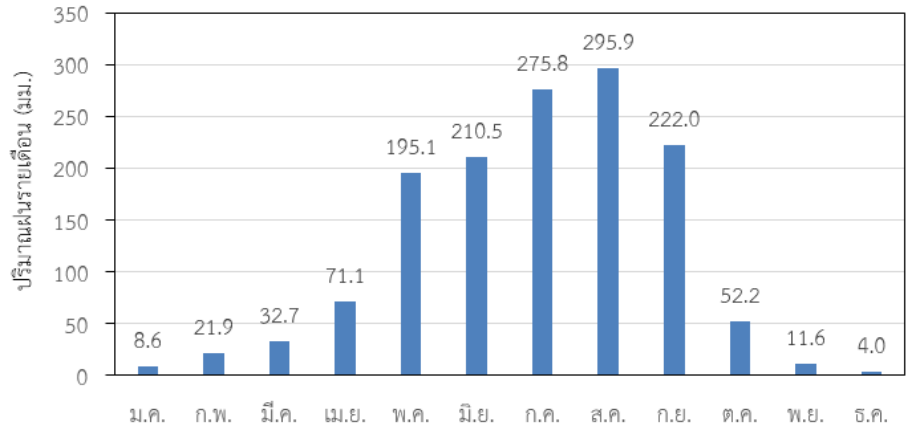
| ชื่อสถานี | รหัสสถานี | ช่วงปี | ปริมาณฝนรายเดือน (มม.) | | | | | | | | | | | | รายปี |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | |
| 1. อ.โพนพิสัย จ.หนองคาย | 352002 | 2532-2553<br>2556-2560 | 13.5 | 18.5 | 35.4 | 81.9 | 215.6 | 379.5 | 392.3 | 446.3 | 333.5 | 74.8 | 10.0 | 3.6 | 2004.7 |
| 2. อ.เพ็ญ จ.อุดรธานี | 354001 | 2532-2561 | 4.9 | 18.3 | 50.9 | 90.8 | 271.0 | 309.4 | 323.1 | 382.2 | 314.5 | 103.2 | 12.9 | 6.9 | 1888.3 |
| 3. อ.บ้านดุง จ.อุดรธานี | 354005 | 2532-2561 | 11.4 | 20.3 | 40.0 | 88.6 | 248.7 | 309.6 | 360.8 | 433.7 | 303.1 | 83.1 | 13.8 | 4.1 | 1917.2 |
| 4. อ.เมืองอุดรธานี จ.อุดรธานี | 354201 | 2532-2561 | 6.5 | 20.8 | 48.4 | 75.8 | 193.2 | 222.1 | 227.7 | 295.4 | 254.2 | 93.9 | 14.5 | 5.8 | 1458.2 |
| 5. อ.สว่างแดนดิน จ.สกลนคร | 356008 | 2532-2557 | 4.9 | 18.3 | 24.8 | 60.9 | 217.5 | 244.2 | 288.8 | 311.7 | 229.6 | 55.4 | 6.2 | 3.6 | 1465.8 |
| 6. อ.เจริญศิลป์ จ.สกลนคร | 356016 | 2533-2560 | 8.6 | 21.9 | 32.7 | 71.1 | 195.1 | 210.5 | 275.8 | 295.9 | 222.0 | 52.2 | 11.6 | 4.0 | 1401.3 |



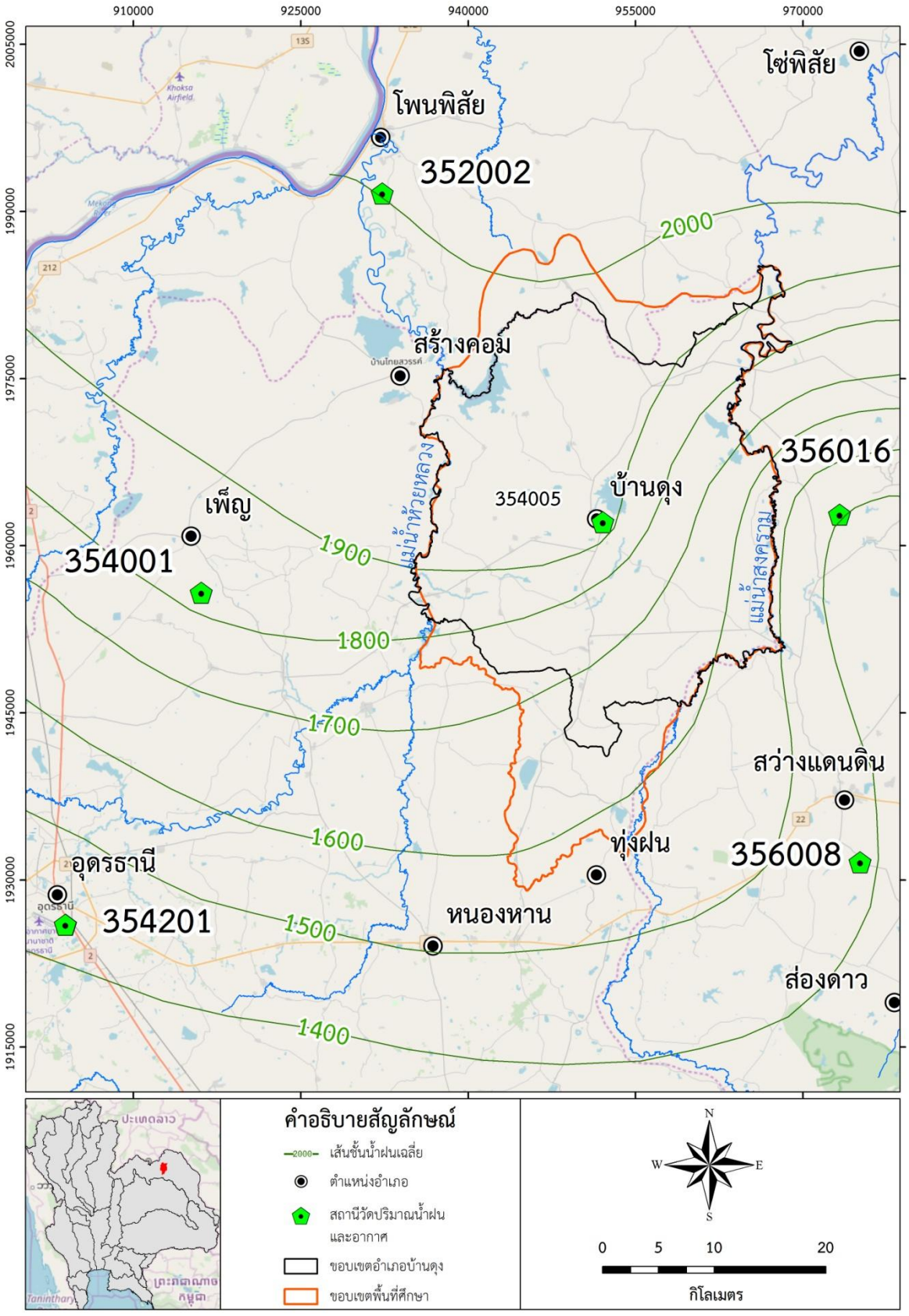

รูปที่ 3.2-11 การผันแปรรายเดือนของปริมาณฝนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดในพื้นที่อำเภอบ้านดุงและข้างเคียง




รูปที่ 3.2-11(ต่อ) การผันแปรรายเดือนของปริมาณฝนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดในพื้นที่อำเภอบ้านดุงและข้างเคียง




รูปที่ 3.2-12 เส้นชั้นปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยบริเวณพื้นที่อำเภอบ้านดุงและพื้นที่ใกล้เคียง

ปริมาณน้ำท่า

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลาต่างๆ นั้น ได้รวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทาน (2530-2559) แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีที่ตรวจวัดได้ที่สถานีวัดน้ำท่า เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ากับพื้นที่รับน้ำฝน รวมถึงใช้สำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง SWAT

การรวบรวมและทบทวนข้อมูล

การศึกษาในครั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน รายเดือนและรายปี ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการควบคุมการไหลของน้ำจากอ่างเก็บน้ำหรืออาคารชลศาสตร์ จำนวน 3 สถานี ประกอบด้วย สถานีบ้านท่าห้วยหลัว จังหวัดสกลนคร สถานีบ้านโคกคำไหล จังหวัดอุดรธานี และสถานีบ้านท่ากกแดง จังหวัดหนองคาย (ตารางที่ 3.2-14 และรูปที่ 3.2-13)

ตารางที่ 3.2-14 สถานีวัดน้ำท่าและสถิติปริมาณน้ำท่ารายปี ในพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง

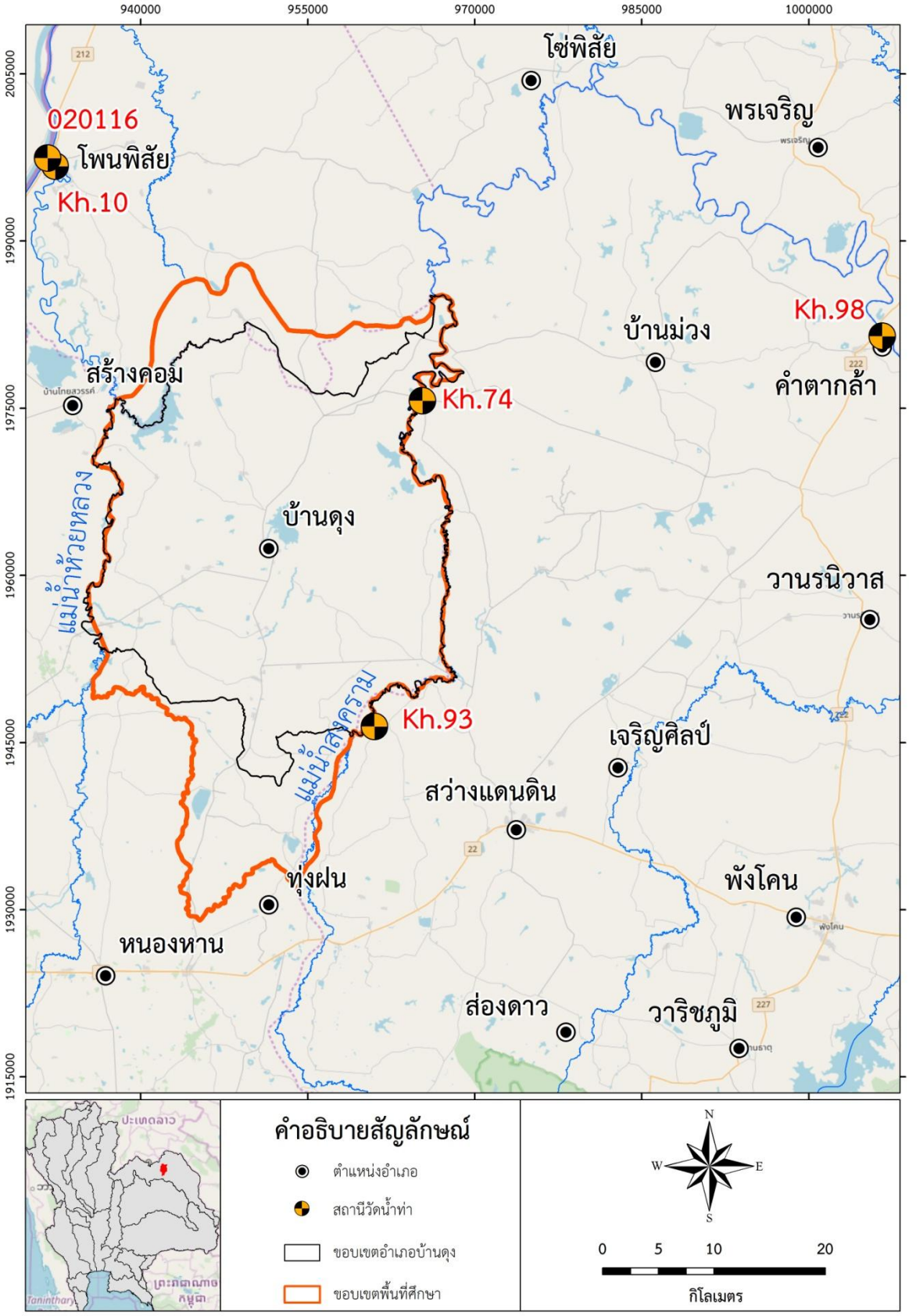
| สถานีวัดน้ำท่า | รหัสสถานี | พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.) | ตำแหน่ง | | ช่วงสถิติปีข้อมูล | ปริมาณน้ำท่ารายปี | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | UTM X | UTM Y | | เฉลี่ย | สูงสุด | ต่ำสุด |
| 1. บ้านท่าห้วยหลัว อ.บ้านม่วง จ.สกลนคร | KH.74 | 2,199 | 965291 | 1975673 | เม.ย. 2530-มี.ค. 2549<br>เม.ย. 2554-มี.ค. 2559 | 104.81 | 403.98 | 1.49 |
| 2. บ้านโคกคำไหล อ.บ้านดุง จ.อุดรธานี | KH.93 | 760 | 960972 | 1946438 | เม.ย. 2529-มี.ค. 2549<br>เม.ย. 2554-มี.ค. 2559 | 29.22 | 121.35 | 0.12 |
| 3. บ้านท่ากกแดง อ.เซกา จ.หนองคาย | KH.98 | 5,089 | 1006601 | 1981461 | เม.ย. 2542-มี.ค. 2543<br>เม.ย. 2544-มี.ค. 2545<br>เม.ย. 2554-มี.ค. 2559 | 373.05 | 1279.72 | 5.91 |

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปี

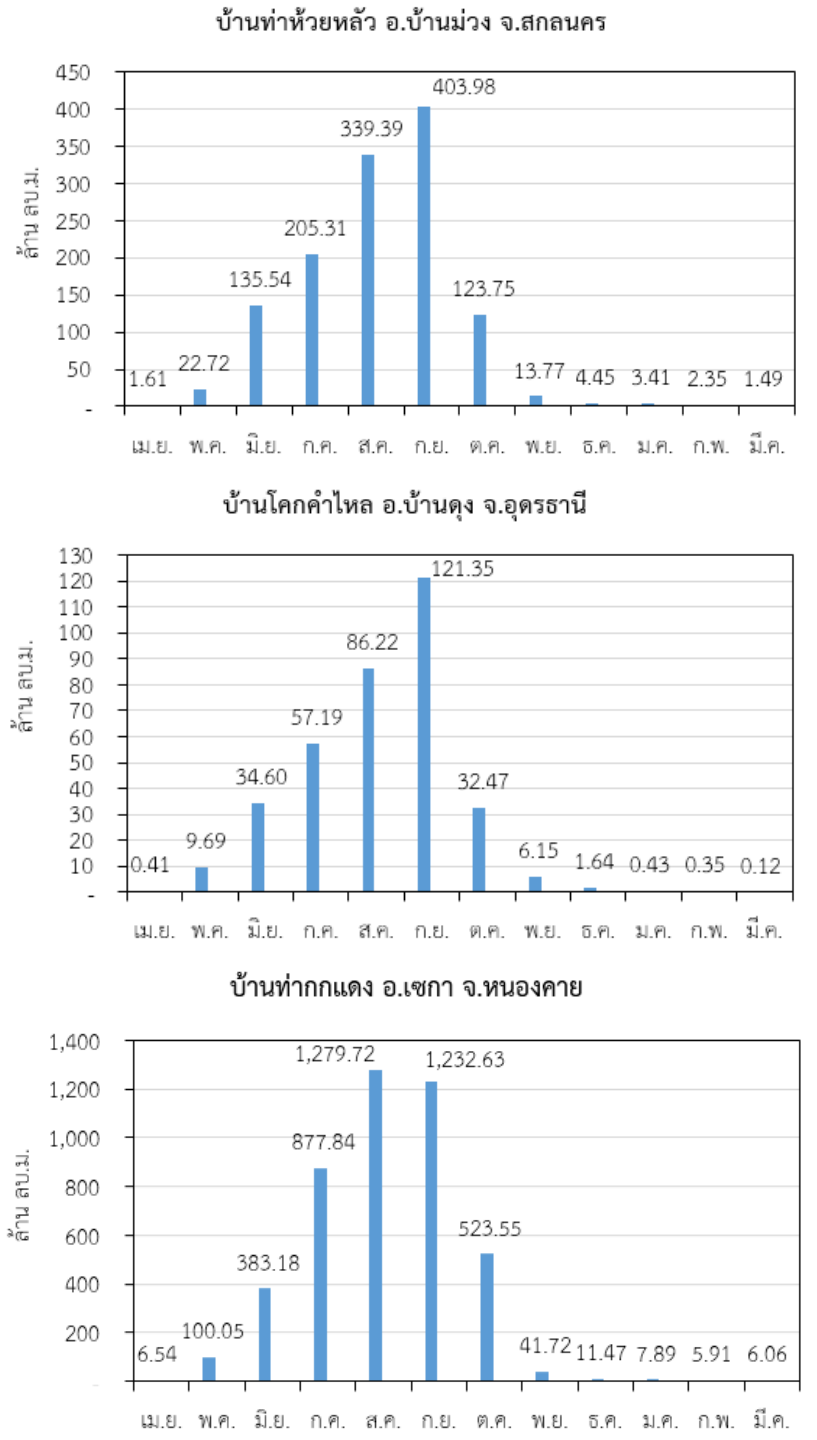
ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปี จำนวน 3 สถานี (ตารางที่ 3.2-14) และค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนและรายปี (ตารางที่ 3.2-15 และรูปที่ 3.2-14) แสดงการกระจายรายเดือนของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ข้างเคียง มีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่เดือนพฤษภาคมและเริ่มลดลงในตุลาคม โดยมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนสำหรับสถานี KH.74 และKH.93 หรือในเดือนสิงหาคมสำหรับสถานี KH.98 และมีค่าต่ำสุดในเดือนมีนาคม สำหรับสถานี KH.74 และKH.93 หรือในเดือนกุมภาพันธ์ สำหรับสถานี KH.98

ตารางที่ 3.2-15 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนและรายปีเฉลี่ยของสถานีในบริเวณพื้นที่ศึกษาและข้างเคียง

| รหัสสถานี | พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.) | ช่วงสถิติปีข้อมูล | **เม.ย.** | **พ.ค.** | **มิ.ย.** | **ก.ค.** | **ส.ค.** | **ก.ย.** | **ต.ค.** | **พ.ย.** | **ธ.ค.** | **ม.ค.** | **ก.พ.** | **มี.ค.** | ปริมาณน้ำท่ารายปี(ล้าน ลบ.ม.) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | ฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) | ฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) | ทั้งปี |
| KH.74 | 2,199 | 2530-2549<br>2554-2559 | 1.61 | 22.72 | 135.54 | 205.31 | 339.39 | 403.98 | 123.75 | 13.77 | 4.45 | 3.41 | 2.35 | 1.49 | 1230.69 | 27.08 | 1257.77 |
| KH.93 | 760 | 2529-2549<br>2554-2559 | 0.41 | 9.69 | 34.60 | 57.19 | 86.22 | 121.35 | 32.47 | 6.15 | 1.64 | 0.43 | 0.35 | 0.12 | 341.52 | 9.09 | 350.61 |
| KH.98 | 5,089 | 2542-2543<br>2544-2545<br>2554-2559 | 6.54 | 100.05 | 383.18 | 877.84 | 1279.72 | 1232.63 | 523.55 | 41.72 | 11.47 | 7.89 | 5.91 | 6.06 | 4396.97 | 79.59 | 5.91 |
| เฉลี่ย | | | 2.85 | 44.15 | 184.44 | 380.12 | 568.44 | 585.98 | 226.59 | 20.55 | 5.85 | 3.91 | 2.87 | 2.56 | 1588.52 | 439.79 | 2028.31 |




รูปที่ 3.2-13 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่าบริเวณพื้นที่อำเภอบ้านดุงและใกล้เคียง




รูปที่ 3.2-14 การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ จำนวน 3 สถานี

ในการศึกษาปริมาณน้ำท่า สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน) (2555) ได้ทำการทบทวนการรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีวัดน้ำในลุ่มน้ำโขงของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อยู่ในลุ่มลุ่มน้ำโขง ภาคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 173 สถานี ตามลำดับ มีเพียง 56 สถานี ตามลำดับ ที่มีช่วงเวลาของการจดบันทึกข้อมูลค่าปริมาณน้ำท่าครบตลอดทั้งปี และทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปี เฉลี่ยและพื้นที่รับน้ำ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ แสดงดังรูปที่ 3.2-15 และมีความสัมพันธ์เชิงเส้นในรูปสมการถดถอย ดังนี้

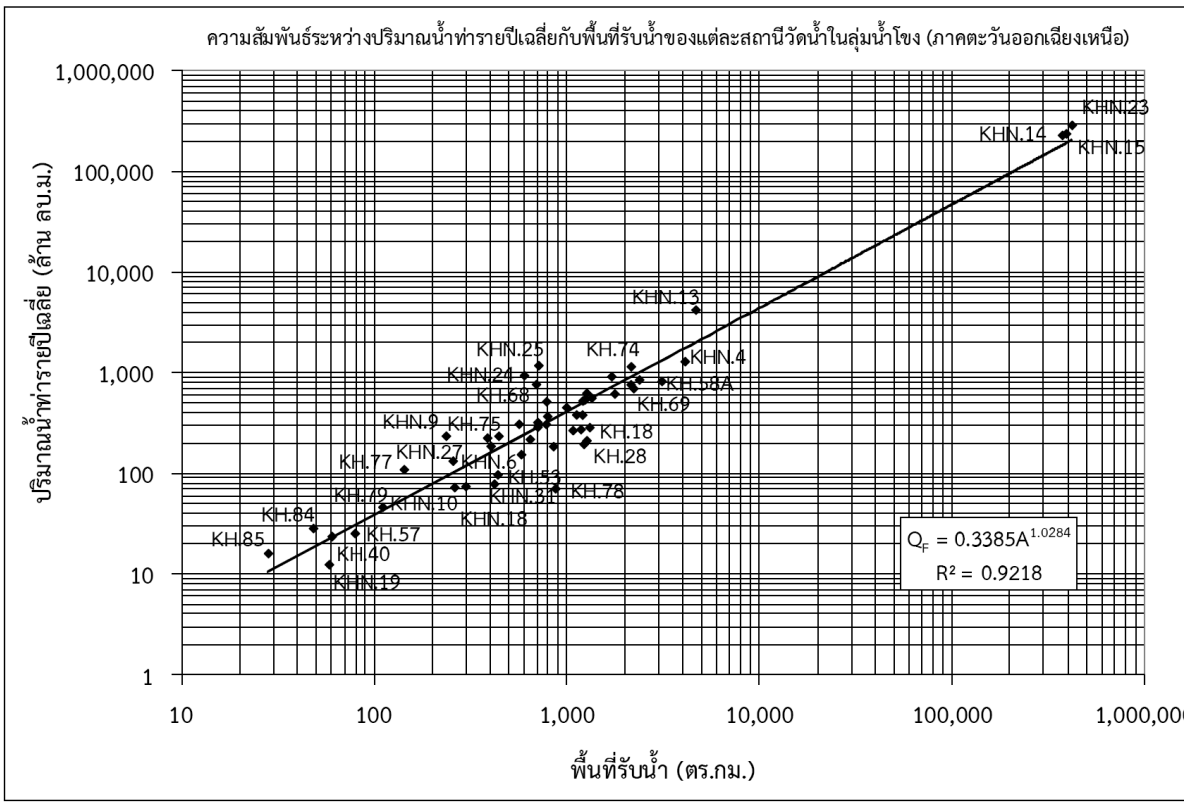
$$Q_F = aA^b \quad (1)$$

โดย $Q_F$ คือ ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)

A คือ พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)

a และ b คือ สัมประสิทธิ์ถดถอย

ดังนั้น $Q_F = 0.3385A^{1.0284}$ $(R^2 = 0.9218)$




รูปที่ 3.2-15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำของแต่ละสถานีวัดน้ำในลุ่มน้ำโขง (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)

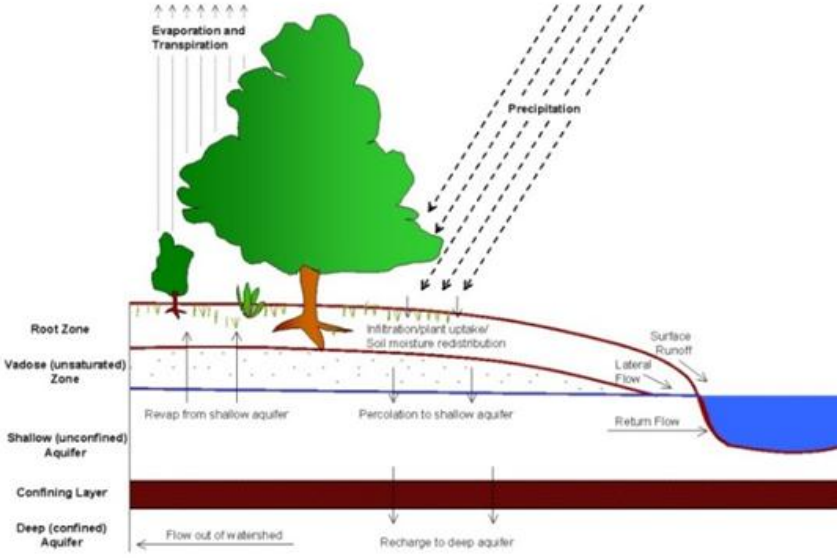
การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT

Arnold et al. (1998) ได้พัฒนาเครื่องมือ Soil and Water Assessment Tool (SWAT) สำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำใต้ดิน ปริมาณตะกอน และปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก ขนาดใหญ่และซับซ้อน แบบจำลอง SWAT อาศัยข้อมูลเชิงกายภาพ ได้แก่ ข้อมูลความสูงต่ำของพื้นที่ (DEM) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลคุณสมบัติดิน และข้อมูลภูมิอากาศ เพื่อการประมาณค่าดัชนีที่บ่งชี้ความสมบูรณ์ของลุ่มน้ำ โดยแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย และภายในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยจะถูกแบ่งเป็น หน่วยจัดการอุทกวิยา (Hydrologic Response Units, HRUs) ซึ่งเป็นการซ้อนทับกันของชั้นข้อมูลเชิงกายภาพ

การประมาณค่าทางอุทกวิทยาจะใช้หลักการทางด้านสมดุลของน้ำ แสดงดังรูปที่ 3.2-16 โดยปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในดินจะเท่ากับปริมาณน้ำที่ดินได้รับมา ลบกับปริมาณน้ำที่ดินสูญเสียไป ปริมาณน้ำที่ดินได้รับมาประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำชลประทาน ส่วนปริมาณน้ำที่สูญเสียไปประกอบด้วย ปริมาณน้ำไหลบ่า ปริมาณการคายระเหยของน้ำ ปริมาณการซึมลึกลงไปใต้ดินของน้ำ และปริมาณการไหลลงแม่น้ำ (Neitsch et al., 2011) ดังสมการ (2)

$$SW_t = SW + \sum_{i=1}^{t}(R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \qquad (2)$$

เมื่อ SW คือ ปริมาณน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ (Available water capacity, AWC) (มิลลิเมตร)
t คือ ช่วงระยะเวลา i คือ เวลา (วัน)
R คือ ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)
Q คือ ปริมาณน้ำไหลบ่า (มิลลิเมตร)
ET คือ ปริมาณการคายระเหย (มิลลิเมตร)
P คือ ปริมาณน้ำที่ซึมลงไปในดิน (มิลลิเมตร)
QR คือ ปริมาณน้ำที่ไหลลงแม่น้ำ (มิลลิเมตร)



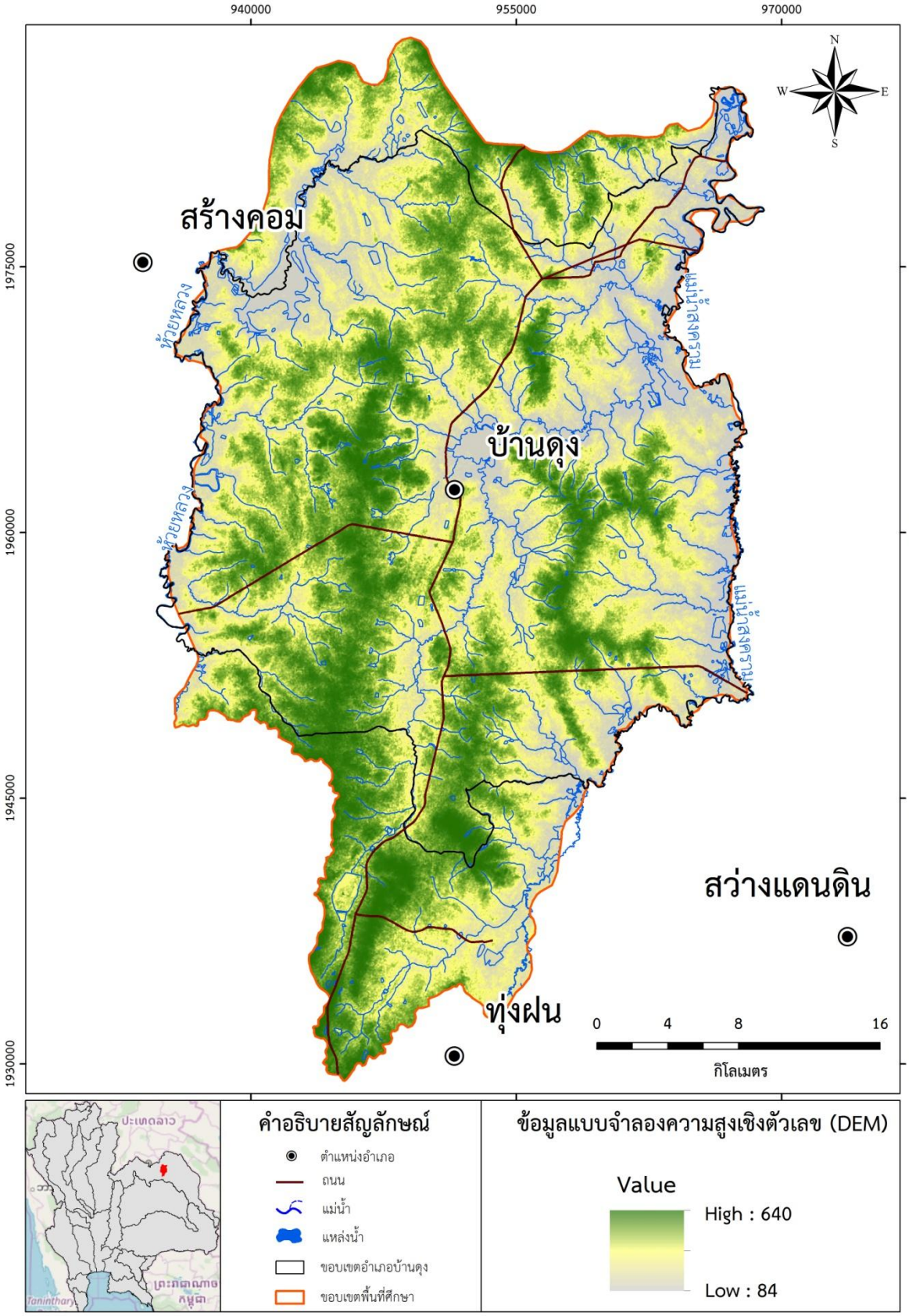

รูปที่ 3.2-16 วัฏจักรอุทกวิทยา

การรวบรวมข้อมูลเพื่อนำเข้าแบบจำลอง

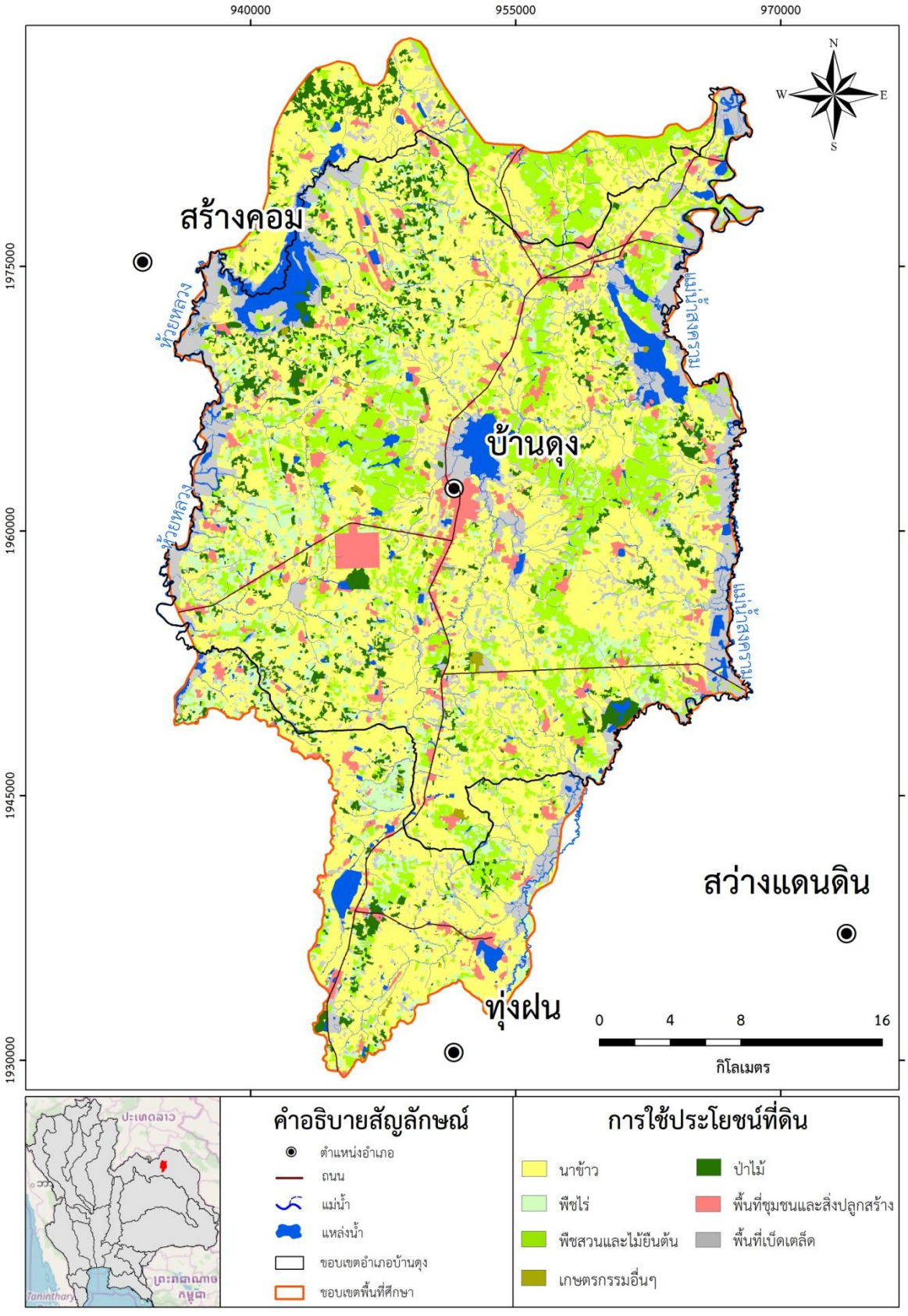
การศึกษาวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลอง SWAT ในการจำลองการไหลของน้ำผิวดินและปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน โดยแบบจำลอง SWAT จะต้องใช้งานร่วมกับโปรแกรมทางด้าน GIS ได้แก่ โปรแกรม ArcGIS ArcView และ Mapwindow GIS และเรียกชื่อว่า ArcSWAT AVSWAT และ MWSWAT ตามลำดับ และการศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกใช้ แบบจำลอง ArcSWAT เป็นแบบจำลองที่ทำงานร่วมกับโปรแกรม ArcGIS การสร้างแบบจำลองต้องเตรียมข้อมูลเพื่อนำเข้าแบบจำลองดังตารางที่ 3.2-16 และรูปที่ 3.2-17 ถึงรูปที่ 3.2-19

ตารางที่ 3.2-16 ข้อมูลที่รวบรวมเพื่อนำเข้าแบบจำลอง SWAT

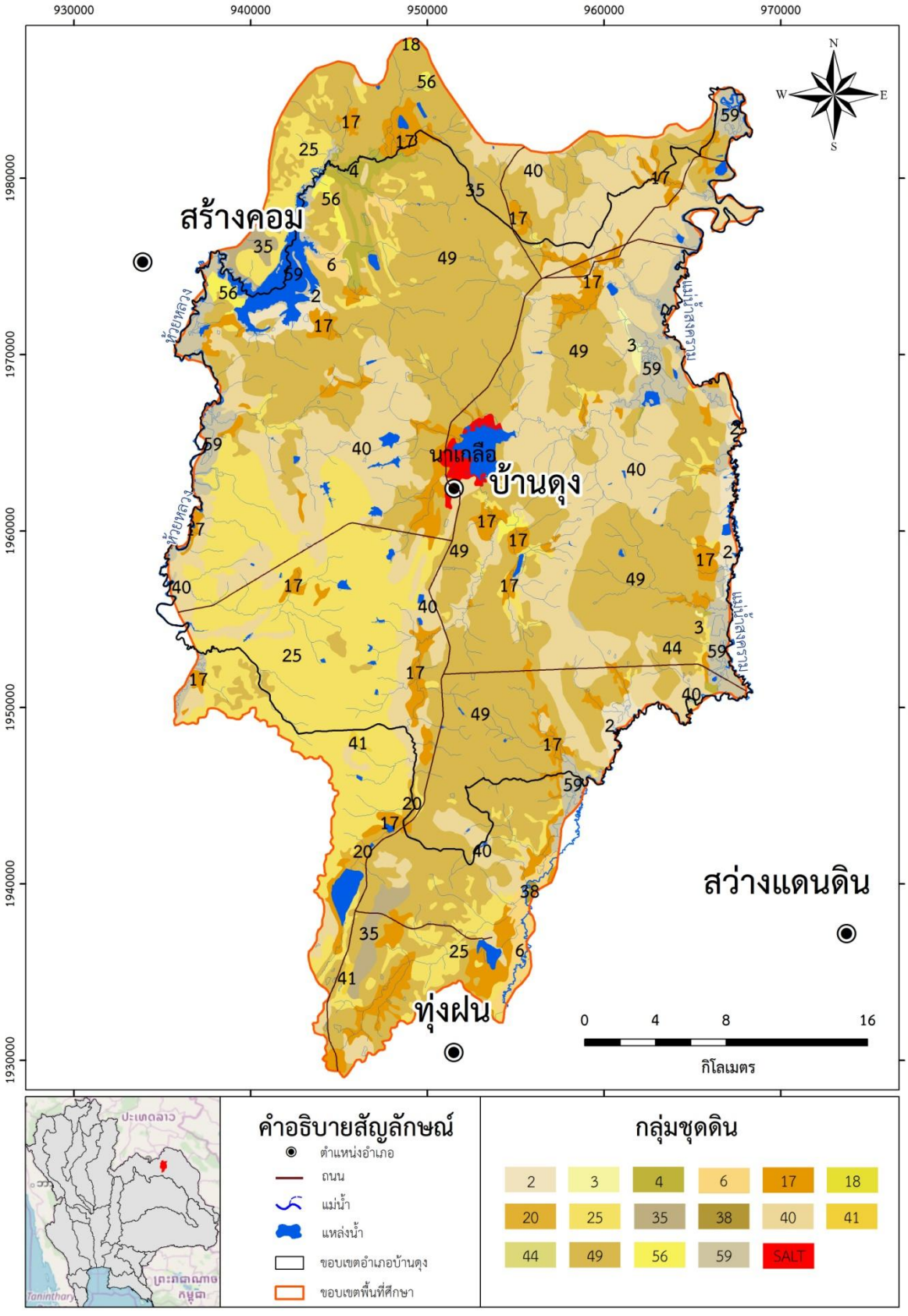
| ชั้นข้อมูล | หน่วยงาน |
|---|---|
| 1. ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) ขนาด 30x30 เมตร (รูปที่ 3.2-17) | - The United States National Aeronautics and Space Administration (NASA) |
| 2. ข้อมูล GIS แผนที่การใช้ที่ดิน (รูปที่ 3.2-18) | - กรมพัฒนาที่ดิน (2558) |
| 3. ข้อมูล GIS แผนที่กลุ่มชุดดิน (รูปที่ 3.2-19) | - กรมพัฒนาที่ดิน (2558) |
| 4. ข้อมูล GIS ขอบเขตลุ่มน้ำและเส้นลำน้ำ (รูปที่ 3.2-17) | - กรมทรัพยากรน้ำ |
| 5. ข้อมูลฝนรายวันและข้อมูลภูมิอากาศ (รูปที่ 3.2-7) | - กรมอุตุนิยมวิทยา |
| 6. ข้อมูลปริมาณน้ำท่า | - กรมชลประทาน |




รูปที่ 3.2-17 ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (DEM)




รูปที่ 3.2-18 แผนที่การใช้ที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558)




รูปที่ 3.2-19 แผนที่กลุ่มชุดดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2558)

การสร้างแบบจำลอง SWAT

ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญทั้งหมด 7 ขั้นตอน ดังนี้

- การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำย่อยและตำแหน่งอ่างเก็บน้ำ
- การสร้างหน่วยจัดการอุทกวิทยา (HRUs)
- การป้อนข้อมูลภูมิอากาศ
- การป้อนข้อมูลอ่างเก็บน้ำ
- การป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน
- การสอบเทียบแบบจำลองและตรวจสอบ
- การจำลองสถานการณ์

1) การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำย่อยและตำแหน่งอ่างเก็บน้ำ

การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำย่อยสร้างมาจาก DEM ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย ดังนี้

- เป็นตำแหน่งจุดควบคุมการไหลของน้ำ ได้แก่ ฝาย และเขื่อน รวมทั้งจุดควบคุมน้ำที่คาดว่าจะทำการก่อสร้างขึ้นมาในอนาคต
- เป็นตำแหน่งของสถานีที่ต้องการสอบเทียบแบบจำลอง ได้แก่ ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่า
- เป็นตำแหน่งที่ต้องการทราบผลลัพธ์จากแบบจำลอง

เนื่องจากขอบเขตพื้นอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ครอบคลุมพื้นที่ของลุ่มน้ำห้วยหลวงที่อยู่ทางด้านทิศตะวันตก และลุ่มน้ำสงครามที่อยู่ทางด้านทิศตะวันออก ดังนั้นการจำลองจึงได้ทำการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำสาขาของแม่น้ำห้วยหลวง จำนวน 15 ลุ่มน้ำย่อย (รูปที่ 3.2-20) และแม่น้ำสงครามจำนวน 21 ลุ่มน้ำย่อย (รูปที่ 3.2-21) รวมทั้งหมดเป็น 36 ลุ่มน้ำย่อย เพื่อครอบคลุมลุ่มน้ำสาขาย่อยที่อยู่ในขอบเขตพื้นที่อำเภอบ้านดุง รายละเอียดพื้นที่ในแต่ละลุ่มน้ำสาขาดังแสดงในตารางที่ 3.2-17 และตารางที่ 3.2-18

2) การสร้างหน่วยจัดการอุทกวิทยา (HRUs)

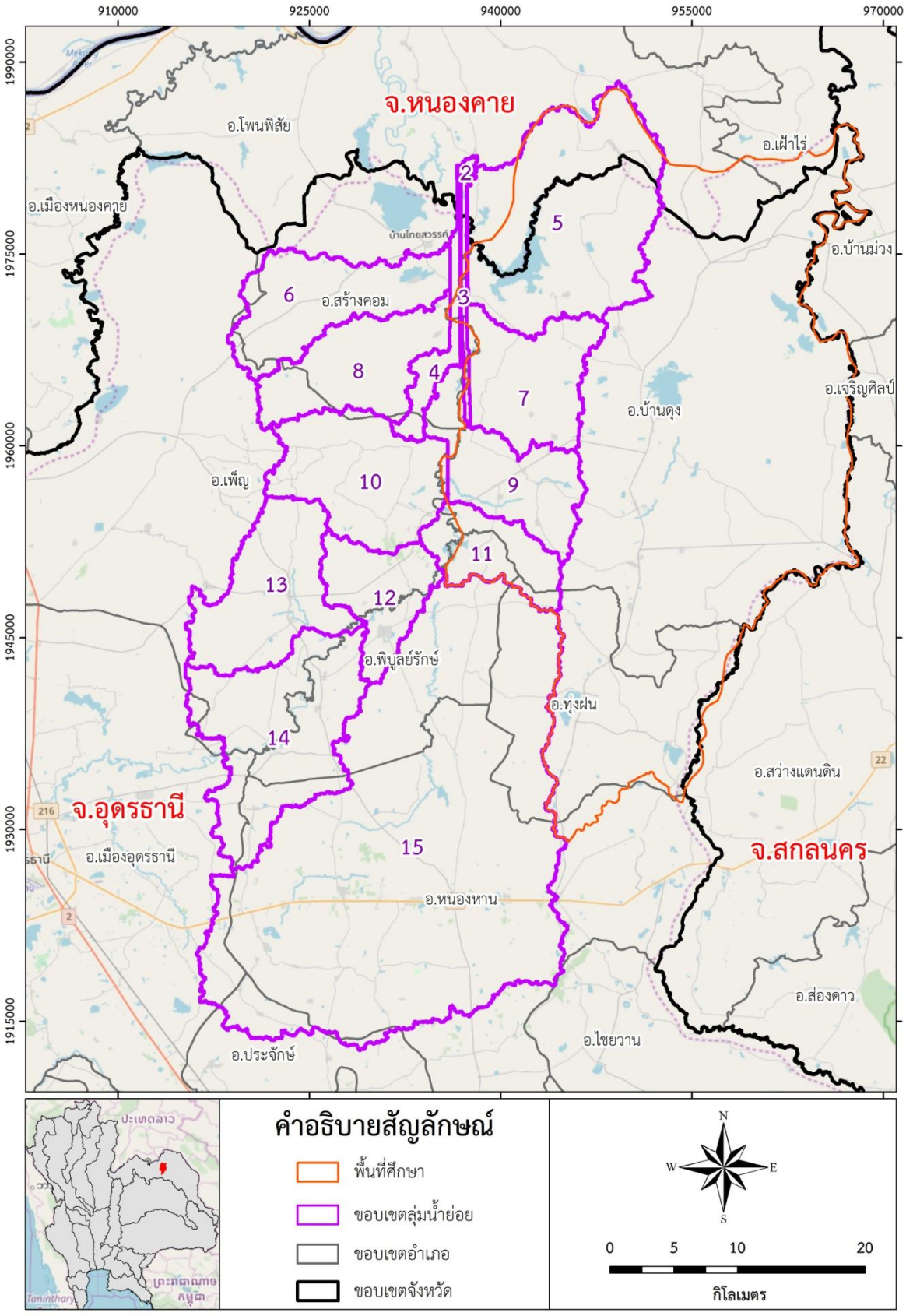
แบบจำลอง SWAT อาศัยเครื่องมือการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในโปรแกรม GIS โดยการนำชั้นข้อมูล GIS จำนวน 3 ชั้นข้อมูล ได้แก่ ชั้นข้อมูลการใช้ที่ดิน ชั้นข้อมูลชนิดดิน และชั้นข้อมูลความลาดชันของพื้นที่ คำนวณโดยโปรแกรม GIS จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) แล้วทำการซ้อนทับ 3 ชั้นข้อมูลเหล่านั้น ผลจากการซ้อนทับข้อมูลดังกล่าวทำให้ได้ชั้นข้อมูลใหม่และชั้นข้อมูลใหม่ในแต่ละขอบเขตที่เกิดจากการตัดกันของ 3 ชั้นข้อมูล ประกอบด้วย การใช้ที่ดิน ชนิดดิน และความลาดชัน ที่แตกต่างกันออกไป เช่น FRSE/soil-62/10-30 และ PDDY/soil-29/0-10 เป็นต้น เรียกแต่ละขอบเขตนี้ว่า หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Response Units, HRUs) โดยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยหนึ่งในแบบจำลอง SWAT อาจประกอบด้วย HRUs มากกว่า 1 HRUs ขึ้นไป และในแต่ละ HRUs สามารถทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาที่แตกต่างกันออกไปตามแต่ละ HRUs โดยการคำนวณในลักษณะนี้ทำให้แบบจำลองมีความละเอียดและน่าเชื่อถือมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ รูปที่ 3.2-22 และรูปที่ 3.2-23

ตารางที่ 3.2-17 ลุ่มน้ำย่อย แบ่งด้วยแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำห้วยหลวง

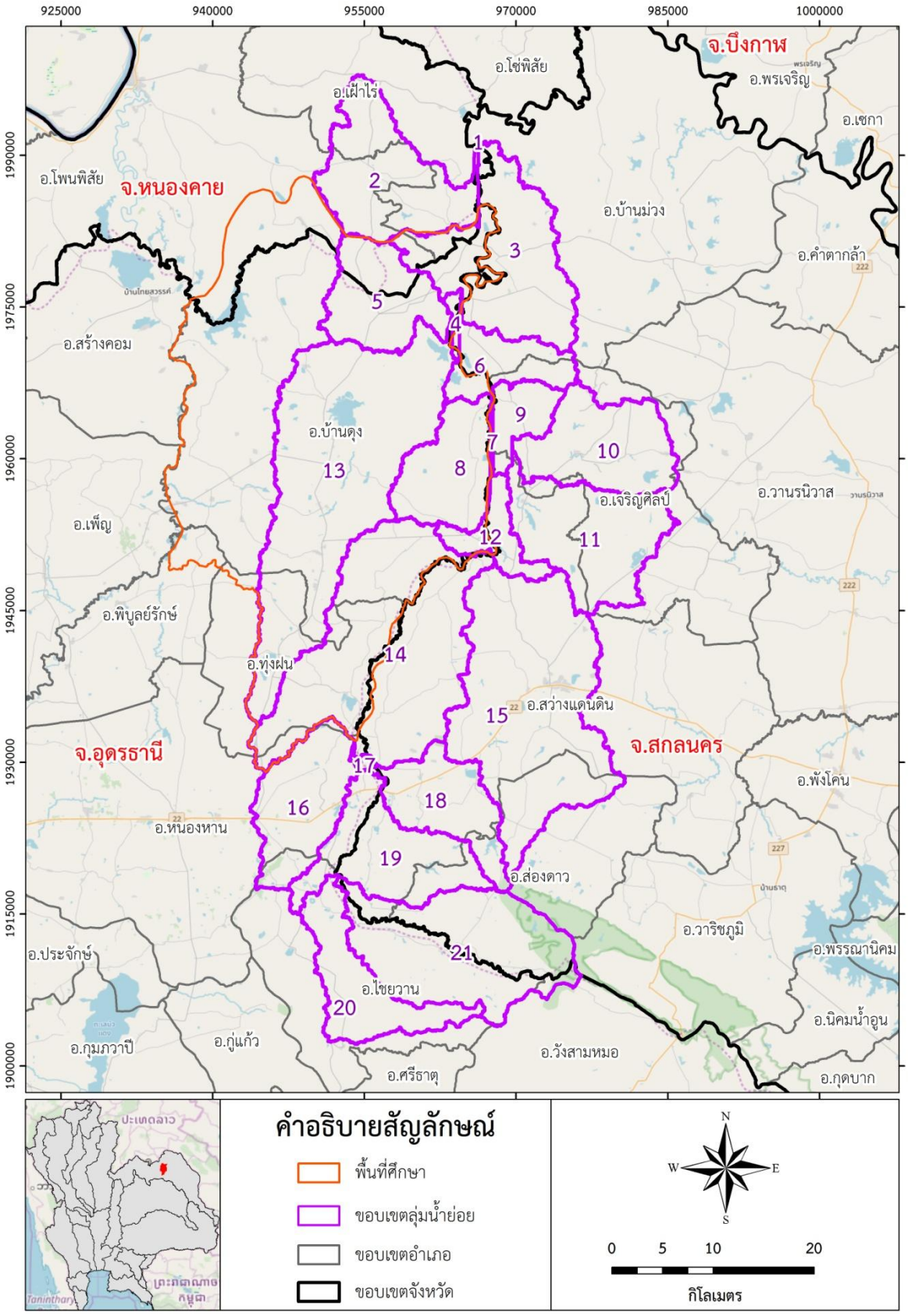
| ลุ่มน้ำย่อย | พื้นที่ (ตร.กม.) | ระดับความสูง (ม.รทก.) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | เฉลี่ย | ต่ำสุด | สูงสุด |
| 1 | 0.05 | 161 | 158 | 165 |
| 2 | 2.86 | 166 | 153 | 180 |
| 3 | 8.59 | 161 | 148 | 179 |
| 4 | 23.09 | 172 | 152 | 204 |
| 5 | 215.32 | 171 | 147 | 212 |
| 6 | 96.26 | 176 | 154 | 208 |
| 7 | 88.45 | 176 | 151 | 213 |
| 8 | 87.22 | 178 | 154 | 213 |
| 9 | 83.94 | 175 | 152 | 205 |
| 10 | 111.37 | 179 | 134 | 211 |
| 11 | 53.52 | 177 | 151 | 205 |
| 12 | 60.58 | 177 | 150 | 208 |
| 13 | 104.81 | 183 | 153 | 212 |
| 14 | 153.33 | 179 | 154 | 212 |
| 15 | 678.51 | 182 | 151 | 220 |
| รวม | 1,767.91 | | | |

ตารางที่ 3.2-18 ลุ่มน้ำย่อย แบ่งด้วยแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงคราม

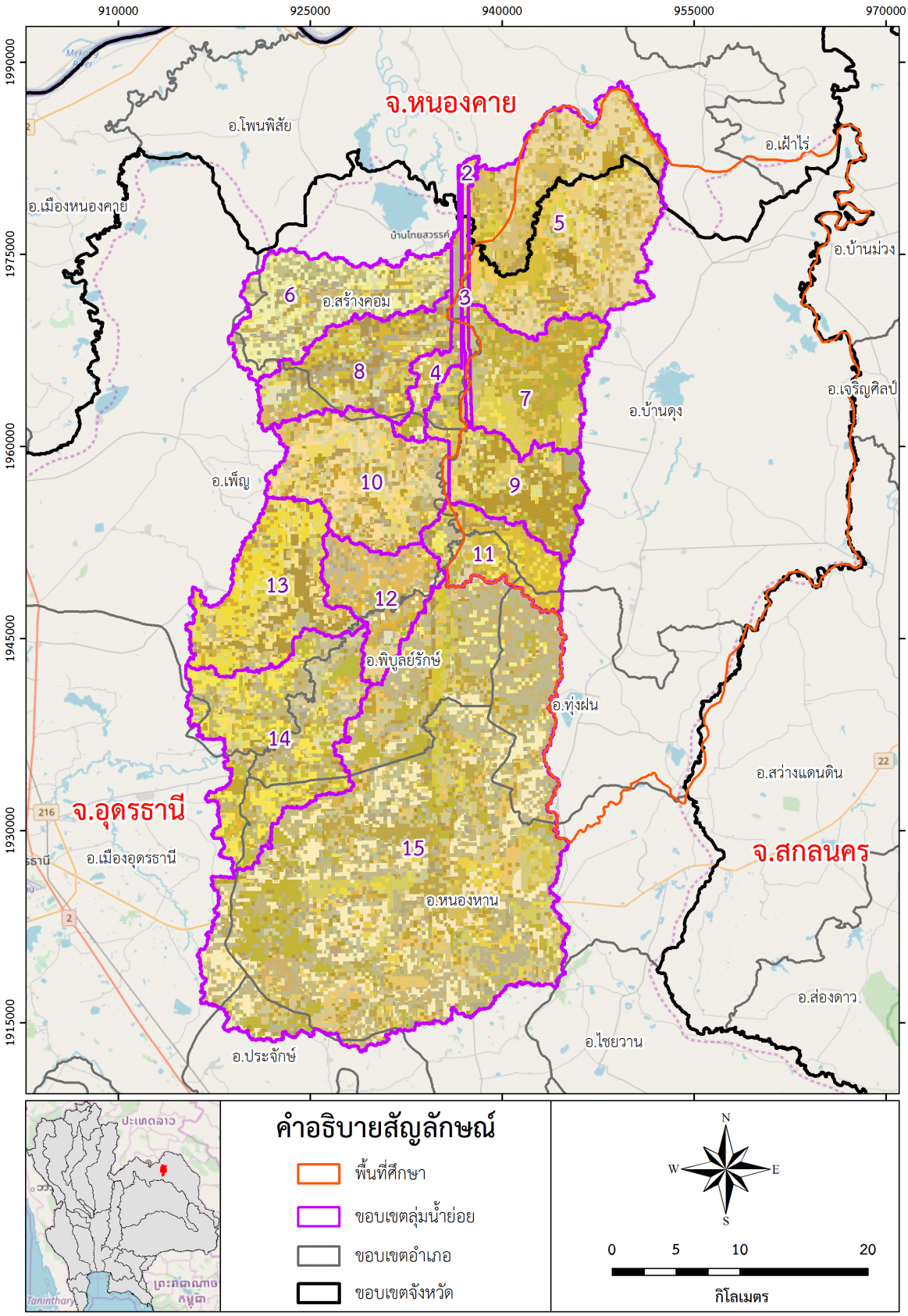
| ลุ่มน้ำย่อย | พื้นที่ (ตร.กม.) | ระดับความสูง (ม.รทก.) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | เฉลี่ย | ต่ำสุด | สูงสุด |
| 1 | 0.03 | 153 | 150 | 157 |
| 2 | 146.25 | 173 | 141 | 212 |
| 3 | 186.98 | 167 | 134 | 205 |
| 4 | 6.27 | 157 | 144 | 187 |
| 5 | 98.08 | 173 | 146 | 212 |
| 6 | 62.03 | 167 | 143 | 200 |
| 7 | 0.34 | 153 | 149 | 159 |
| 8 | 93.51 | 168 | 126 | 205 |
| 9 | 39.50 | 167 | 133 | 195 |
| 10 | 119.07 | 176 | 146 | 208 |
| 11 | 146.07 | 172 | 147 | 207 |
| 12 | 42.39 | 165 | 144 | 197 |
| 13 | 373.71 | 175 | 133 | 215 |
| 14 | 336.12 | 175 | 150 | 227 |
| 15 | 314.19 | 182 | 147 | 321 |
| 16 | 108.92 | 179 | 152 | 220 |
| 17 | 3.05 | 168 | 159 | 183 |
| 18 | 91.26 | 188 | 152 | 319 |
| 19 | 125.52 | 188 | 151 | 268 |
| 20 | 96.48 | 208 | 165 | 327 |
| 21 | 213.61 | 238 | 168 | 613 |
| รวม | 2,603.39 | | | |



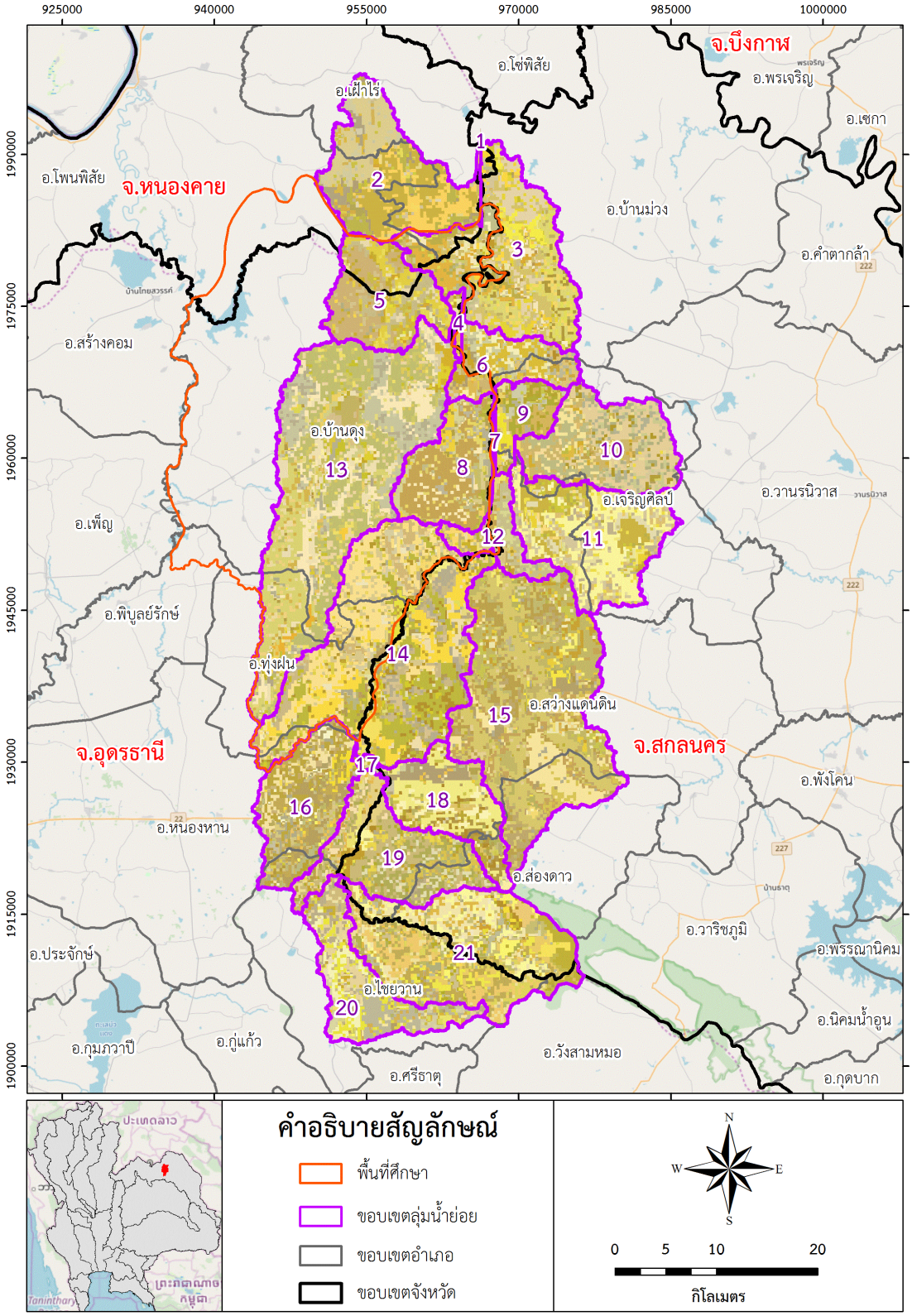

รูปที่ 3.2-20 ขอบเขตลุ่มน้ำย่อย แบ่งด้วยแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำห้วยหลวง




รูปที่ 3.2-21 ขอบเขตลุ่มน้ำย่อย แบ่งด้วยแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงคราม




รูปที่ 3.2-22 หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา แบ่งด้วยแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำห้วยหลวง




รูปที่ 3.2-23 หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา แบ่งด้วยแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงคราม

3) การป้อนข้อมูลฝนและสภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลที่นำเข้า ได้แก่ ข้อมูลปริมาณฝนรายวัน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม เมื่อป้อนข้อมูลลงไปในแบบจำลองแล้ว แบบจำลอง SWAT จะทำการเลือกสถานีฝนและภูมิอากาศให้กับแต่ละลุ่มน้ำย่อยที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ผ่านมา โดยแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะใช้สถานีฝนและภูมิอากาศ ในการคำนวณได้แค่สถานีเดียว ดังนั้นแบบจำลอง SWAT จะเลือกสถานีฝนและภูมิอากาศให้กับแต่ละลุ่มน้ำย่อย โดยเลือกในตำแหน่งที่ใกล้กับลุ่มน้ำย่อยนั้นมากที่สุด รายละเอียดสถานีฝนและสภาพภูมิอากาศที่เตรียมเพื่อนำเข้าแบบจำลอง SWAT แสดงดังตารางที่ 3.2-19

ตารางที่ 3.2-19 ข้อมูลสถานีฝนและสภาพภูมิอากาศที่เตรียมเพื่อนำเข้าแบบจำลอง SWAT

| ชนิดสถานี | ชื่อสถานี | จังหวัด | ช่วงเวลา (พ.ศ.) | หน่วยงาน |
|---|---|---|---|---|
| สถานีวัดฝน | อ.โพนพิสัย (352002) | หนองคาย | 2532-2561 | กรมอุตุนิยมวิทยา |
| | อ.เพ็ญ (354001) | อุดรธานี | 2532-2561 | |
| | อ.บ้านดุง (354005) | อุดรธานี | 2532-2561 | |
| | อ.เมืองอุดรธานี (354201) | อุดรธานี | 2532-2561 | |
| | อ.สว่างแดนดิน (356008) | สกลนคร | 2532-2561 | |
| | อ.เจริญศิลป์ (356016) | สกลนคร | 2532-2561 | |
| สถานีอุตุนิยมวิทยา (อุณหภูมิ, ความชื้น, ความเร็วลม) | หนองคาย (352201) | หนองคาย | 2532-2561 | |
| | อุดรธานี (354201) | อุดรธานี | 2532-2561 | |
| | สกลนคร (356201) | สกลนคร | 2532-2561 | |

4) การป้อนข้อมูลอ่างเก็บน้ำ

เมื่อกำหนดตำแหน่งของอ่างเก็บน้ำแล้วจากนั้นจะต้องทำการป้อนข้อมูลพื้นฐานของอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ พื้นที่ผิวอ่าง ความจุอ่าง และการรายบายน้ำของอ่าง

5) การป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ประกอบด้วย

- พารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าที่สำคัญ ได้แก่ CN2, Manning' n การไหลในลำน้ำและพื้นราบ, ค่าสามารถในการซึมของดิน (AMC), lag time, slope ของท้องน้ำและพื้นราบ ค่าสัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำในดิน เป็นต้น การที่แบบจำลองที่สร้างขึ้นจะมีความสมจริงนั้นขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่างๆที่ป้อนลงไป

- พารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณน้ำใต้ดินที่สำคัญ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำใต้ดินในลำน้ำ (ALPHA_BF), ความสามารถในการเก็บน้ำของชั้นน้ำใต้ดินตื้นก่อนที่จะไหลลงสู่ลำน้ำ (GWQMN), สัมประสิทธิ์การระเหยของชั้นน้ำใต้ดินตื้น (GW_REVAP), ความสามารถในการเก็บน้ำของชั้นน้ำใต้ดินตื้นก่อนที่จะระเหยสู่ชั้นบรรยากาศ (REVAPMN), ค่าสัมประสิทธิ์การซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินลึก (RCHRG_DP) เป็นต้น

6) การสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง

หลังจากทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการสอบเทียบแบบจำลองโดยทำการปรับเทียบปริมาณน้ำท่าเพื่อทำการตรวจสอบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดจริง มีความสอดคล้องกันหรือใกล้เคียงกันหรือไม่ ซึ่งใช้ค่าทางสถิติเป็นตัวตรวจสอบ คือ ค่า Coefficient of determination (R2) โดยถ้าผลลัพธ์จากแบบจำลองที่ได้มาไม่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริงในสนาม ควรทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และเมื่อได้แบบจำลองที่มีผลลัพธ์จากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงแล้ว จึงสามารถนำแบบจำลองไปใช้ในการสร้างสถานการณ์จำลองต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต การปรับเทียบปริมาณน้ำท่าเลือกใช้สถานี KH.93 ที่ตั้ง บ้านโคกคำไหล อ.บ้านดุง จ.อุดรธานี (รูปที่ 3.2-13)

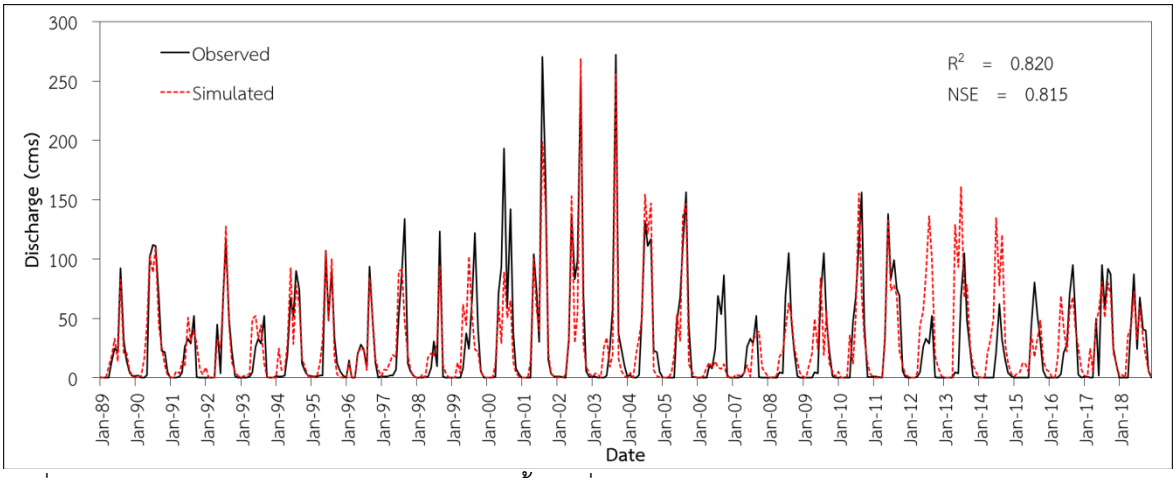
การปรับเทียบแบบจำลองที่สถานี KH.93 ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน โดยใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้นในรูปสมการถดถอยจากดังสมการ (1) เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของแบบจำลอง ปี พ.ศ. 2532 – 2561 ปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จนอยู่ในระดับที่มีความถูกต้องมากที่สุด และแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำพื้นที่อำเภอบ้านดุงมีค่าระดับที่น่าพอใจ R2= 0.820 (รูปที่ 3.2-24)

7) การจำลองสถานการณ์

การสร้างสถานการณ์จำลองที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต สำหรับการศึกษาวิจัยนี้ทำการจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์ถึงปริมาณน้ำท่าและการเติมน้ำใต้ดิน ในปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2561) โดยการแสดงผลการจำลองนี้เลือกเฉพาะลุ่มน้ำย่อยที่อยู่ในพื้นที่อำเภอบ้านดุง ซึ่งเป็นบริเวณลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำห้วยหลวง ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยที่ 5, 7, 9 และ 11 และบริเวณลุ่มน้ำย่อยสาขาแม่น้ำสงคราม ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยที่ 3, 5, 6, 8, 12, 13 และ 14

อย่างไรก็ตามแบบจำลอง SWAT ที่ประยุกต์ใช้ในการจำลองระบบของน้ำผิวดิน ยังมีข้อจำกัดที่ควรพิจารณาอีกหลายประการ ดังนี้

- การเป็นตัวแทนเชิงพื้นที่ของ HRUs จะละเว้นการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของสารพิษภายในลุ่มน้ำย่อย
- สูตรแบบจำลองเป็นแบบทดลอง
- ไม่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับการใช้งานระบบไฮดรอลิก 2D หรือ 3D
- การจำลองการละลายของหิมะมีข้อจำกัด
- การจำลองการกัดเซาะและการเคลื่อนที่ของตะกอนมีข้อจำกัด




รูปที่ 3.2-24 กราฟแสดงการสอบเทียบปริมาณน้ำท่าที่สถานี KH.93

ข. การประเมินปริมาณน้ำต้นทุนของแหล่งน้ำใต้ดิน โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW และ MT3D

หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา ทำการรวบรวมจากแผนที่ธรณีวิทยา จังหวัดอุดรธานี มาตราส่วน 1:250000 (กรมทรัพยากรธรณี 2552) แผนที่ธรณีวิทยา จังหวัดหนองคาย มาตราส่วน 1:250000 (กรมทรัพยากรธรณี 2550) แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดอุดรธานี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล 2558) แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดหนองคาย (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล 2558) รายงานการศึกษาเดิมของกรมทรัพยากรธรณี (2549) และเจาะสำรวจเพิ่มเติมในภาคสนามจำนวน 3 กลุ่มบ่อ รวมทั้งสิ้นจำนวน 9 บ่อ โดยกรมทรัพยากรน้ำ (2562) พบว่าพื้นที่ศึกษารองรับด้วยหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาที่เป็นชั้นให้น้ำหินร่วน และชั้นให้น้ำหินแข็ง รายละเอียด ดังนี้

1) *หน่วยหินตะกอนน้ำพา (Alluvial unit : Al)* เป็นชั้นให้น้ำหินร่วน มีการกระจายตัวในแนวเหนือ-ใต้ขนานกับแม่น้ำห้วยหลวงทางตะวันตกของขอบเขตพื้นที่ศึกษา และแม่น้ำสงคราม ทางตะวันออกของขอบเขตพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย กรวด ทราย ทรายแป้ง ทรายปนดินเหนียว ลูกรัง และดินเหนียว เป็นตะกอนร่วนที่เกิดจากน้ำพา ชั้นตะกอนหนาไม่เกิน 15 เมตร วางตัวอยู่บนชั้นหินทราย หินทรายแป้งและหินดินดาน ของหน่วยหินภูทอก ตะกอนเหล่านี้รับน้ำโดยตรงจากน้ำฝน โดยมีการไหลของน้ำใต้ดินลงสู่แม่น้ำ และได้รับน้ำโดยตรงจากแม่น้ำ (รูปที่ 3.2-25 ถึงรูปที่ 3.2-27) คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของหินอุ้มน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity, T) มีค่าระหว่าง $1.56\times10^{-4}$ ถึง $1.00\times10^{-3}$ ตารางเมตรต่อวินาที (กรมทรัพยากรธรณี, 2549) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านได้มีค่าในช่วง $1.00\times10^{-8}$ ถึง $1.00\times10^{-4}$ เมตรต่อวินาที (กรมทรัพยากรธรณี, 2549 อ้างถึงใน รุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล และคณะ, 2546) จัดเป็นชั้นหินอุ้มน้ำแบบไร้แรงดัน คุณภาพน้ำใต้ดินค่อนข้างดี แต่บางบริเวณมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกับชั้นน้ำเค็มที่รองรับอยู่ด้านล่าง ส่งผลให้คุณภาพน้ำบาดาลกร่อยเค็มในฤดูแล้ง ปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้ตั้งแต่น้อยกว่า 2 ถึง 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (รูปที่ 3.2-28 ถึงรูปที่ 3.2-29)

2) *หน่วยหินภูทอก (Phu Thok unit : Pt)* ประกอบด้วย หินทรายเนื้อละเอียดสีแดง หินทรายเนื้อละเอียดถึงหินทรายแป้งสีแดงอิฐ และหินโคลนสีน้ำตาลแกมแดง แทรกสลับอยู่กับชั้นหินดินดาน เกิดจากการสะสมตัวในสภาพแวดล้อมแบบตะกอนพัดพาจากน้ำ และลม และวางชั้นแบบไม่ต่อเนื่องบนหน่วยหินมหาสารคาม (กรมทรัพยากรธรณี, 2549 อ้างถึงใน Piyasin, 1985) มีความหนาประมาณ 179 ม. ประกอบด้วยหินทราย 2 ชนิด คือ หินทรายสีน้ำตาลแดงเนื้อหยาบปานกลางถึงละเอียด ชั้นหนา มีการวางชั้นเฉียงระดับขนาดใหญ่ แทรกสลับกับหินทรายสีแดงแกมน้ำตาลถึงแดงแกมม่วงเนื้อละเอียดมากถึงทรายแป้งมีเนื้อปูนผสมมีโครงสร้างแบบลอนคลื่น พบกระจายตัวอยู่เกือบทั้งหมดของพื้นที่ศึกษา มีลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาเป็นรูปประทุนหงาย (รูปที่ 3.2-25 ถึงรูปที่ 3.2-27) ที่เป็นผลมาจากการดันตัวขึ้นของเทือกเขาเพชรบูรณ์ เทือกเขาภูพาน และเทือกเขาพนมดงรัก ในยุคเทอร์เชียรีตอนต้น (กรมทรัพยากรธรณี 2542) เป็นหน่วยหินที่ให้น้ำใต้ดินสูงที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ น้ำบาดาลที่ได้จะได้จากช่วงรอยต่อระหว่างหินทรายกับหินดินดาน และจากรอยแตกในเนื้อหิน จากผลการสูบทดสอบของกรมทรัพยากรธรณี (2549) พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน มีค่าในช่วง $1.00\times10^{-6}$ ถึง $6.62\times10^{-5}$ เมตรต่อวินาที ปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาได้มีค่าไม่แน่นอนตั้งแต่น้อยกว่า 2 ถึง มากกว่า 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (รูปที่ 3.2-28 ถึงรูปที่ 3.2-29)

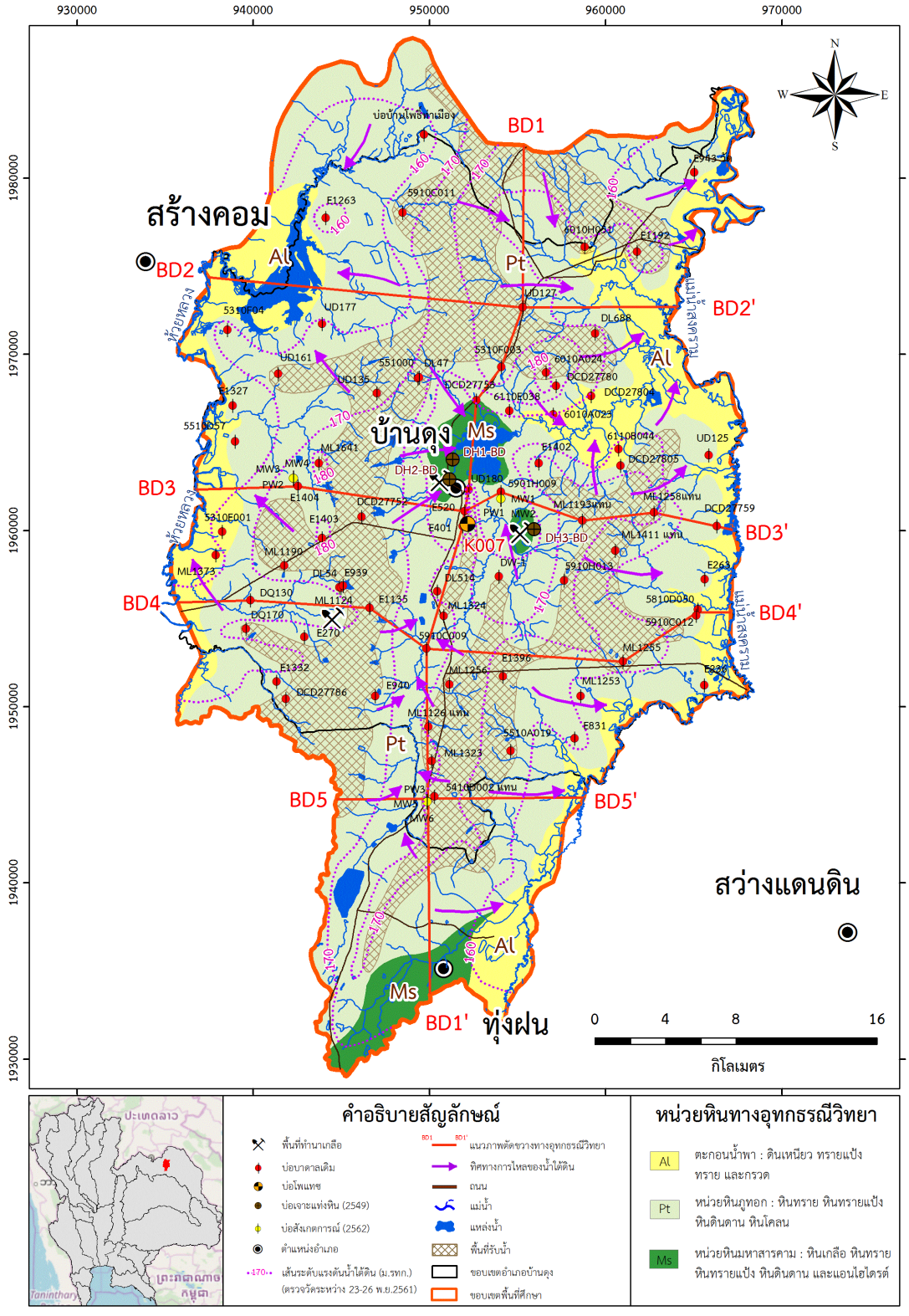
3) *หน่วยหินมหาสารคาม (Maha Sarakham Unit, Ms)* ประกอบด้วยหินทรายแป้ง หินดินดาน หินทรายสีแดงอิฐ และสีแดงแกมม่วง ชั้นบางถึงชั้นหนา มีชั้นหินเกลือ โพแทช ยิปซัม และแอนไฮไดรต์

ปิดทับด้วยหน่วยหินอุ้มน้ำภูทอก พบกระจายตัวอยู่ตอนกลางพื้นที่ บริเวณอ่างเก็บน้ำท่ามะนาว บ้านนาโฮง บ้านโนนธงชัย และบ้านโพนสูง และตอนล่างของพื้นที่บริเวณคำผักกูดและโพนสูง (รูปที่ 3.2-25) จากข้อมูลการเจาะสำรวจของกองเหมืองแร่พื้นฐานและกองสำรวจธรณีฟิสิกส์ของกรมทรัพยากรธรณี (กรมทรัพยากรธรณี, 2549 อ้างถึงใน กรมทรัพยากรธรณี, 2548ข) พบชั้นเกลือหินบริเวณใต้พื้นที่ทำนาเกลือเป็นมีลักษณะเป็นวงรีวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ที่ระดับความสูงพื้นผิว ประมาณ 130 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (รูปที่ 3.2-26 และรูปที่ 3.2-27) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านมีค่าประมาณ มีค่าระหว่าง $1.00\times 10^{-14}$ ถึง $1.00 \times 10^{-10}$ เมตรต่อวินาที (Spitz and Moreno, 1996) หน่วยหินมหาสารคามจัดให้เป็นหน่วยหินทึบน้ำ

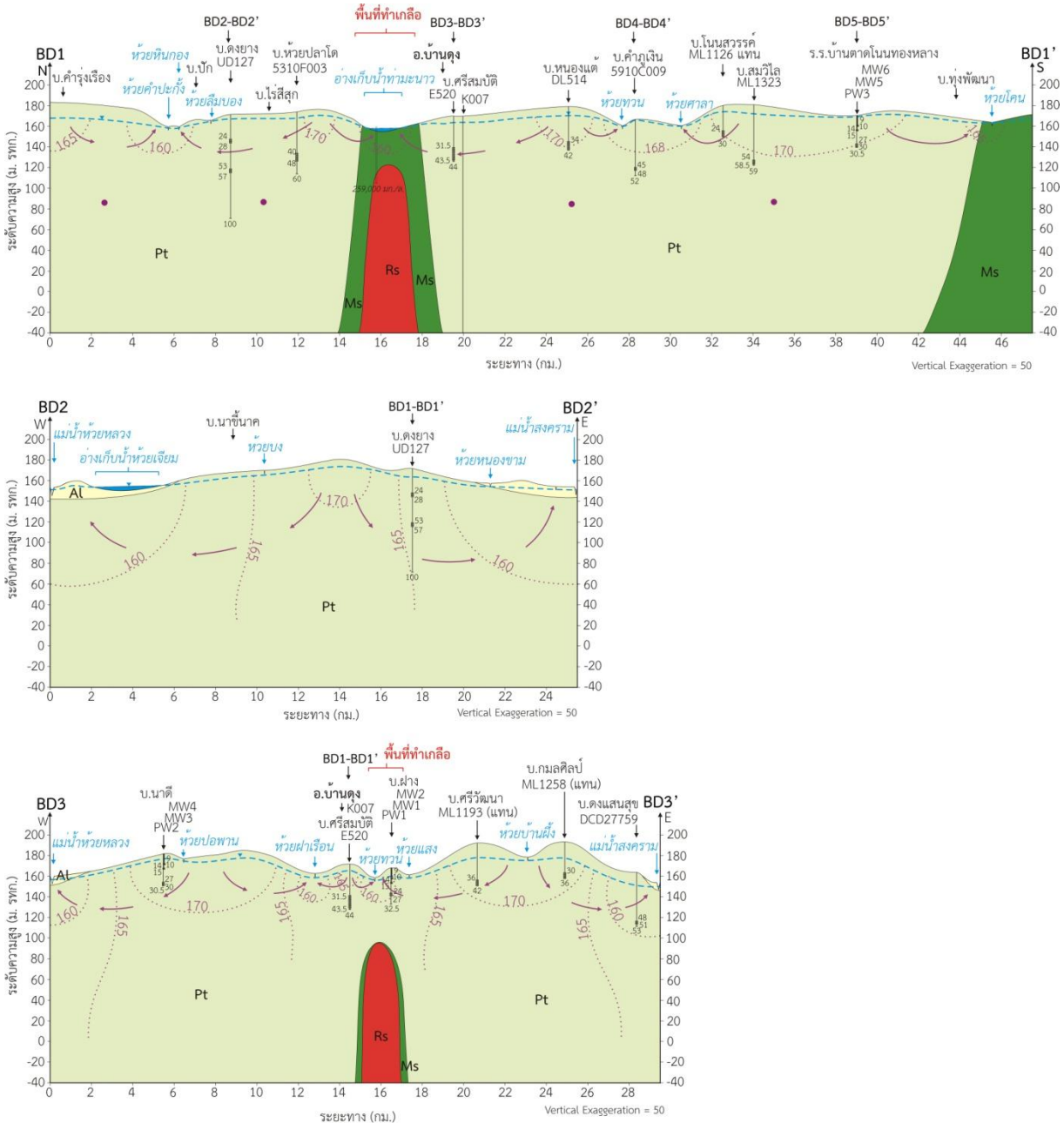
รูปแบบและระบบการไหลของน้ำใต้ดิน

การศึกษารูปแบบและระบบการไหลของน้ำใต้ดิน ใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดระดับน้ำใต้ดินระหว่างวันที่ 23-26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 จากบ่อบาดาลเดิม กลุ่มบ่อสังเกตการณ์ที่ดำเนินการเจาะใหม่ และในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนที่และภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา แสดงลักษณะการกระจายตัวของพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำใต้ดิน ระดับแรงดันที่เท่ากันของน้ำใต้ดินแสดงเป็นตาข่ายการไหลของน้ำใต้ดิน และแสดงการกระจายตัวของปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำใต้ดิน

จากแผนที่และภาพตัดขวางทางอุทกธรณี (รูปที่ 3.2-25 ถึงรูปที่ 3.2-27) และแผนที่การกระจายตัวของสภาพพื้นที่ดินเค็ม (รูปที่ 3.2-30) พบว่าบริเวณอำเภอบ้านดุง มีพื้นที่รับน้ำหลักเพื่อเติมสู่ชั้นหินอุ้มน้ำ กระจายตัวอยู่ทางด้านทิศตะวันตกของ ที่ว่าการอำเภอบ้านดุง วางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ เป็นแนวยาวตั้งแต่ตอนเหนือจรดใต้ของพื้นที่ศึกษา ส่วนพื้นที่รับน้ำขนาดกลาง กระจายตัวและวางตัวอยู่ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ ที่ว่าการอำเภอบ้านดุง เป็นแนวยาวลงไปจดทางด้านทิศใต้ขนานกับแม่น้ำสงคราม ทำให้เกิดลักษณะการไหลของน้ำใต้ดิน จำนวน 3 แบบ ทั้งระบบการไหลบริเวณกว้าง ขนาดกลาง และเฉพาะแห่ง โดยลักษณะการไหลของน้ำใต้ดิน มีทิศทางการไหลหลักจากบริเวณพื้นที่รับน้ำหลักที่เติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดิน และเป็นสันปันน้ำหลักที่แบ่งขอบเขตของลุ่มน้ำห้วยหลวงกับลุ่มน้ำสงคราม ที่ระดับแรงดันน้ำใต้ดินประมาณ 170-180 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำของหน่วยหินภูทอกไปยังพื้นที่สูญเสียน้ำใต้ดินที่กระจายตัวตามที่ราบลุ่มของแม่น้ำห้วยหลวงทางด้านตะวันตกพื้นที่ศึกษา และบริเวณลุ่มแม่น้ำสงครามทางตะวันออกพื้นที่ศึกษา และบริเวณทางด้านใต้ของพื้นที่ศึกษา ที่ระดับแรงดันน้ำใต้ดินประมาณ 155-169 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง




รูปที่ 3.2-25 แผนที่อุทกธรณีวิทยา พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี



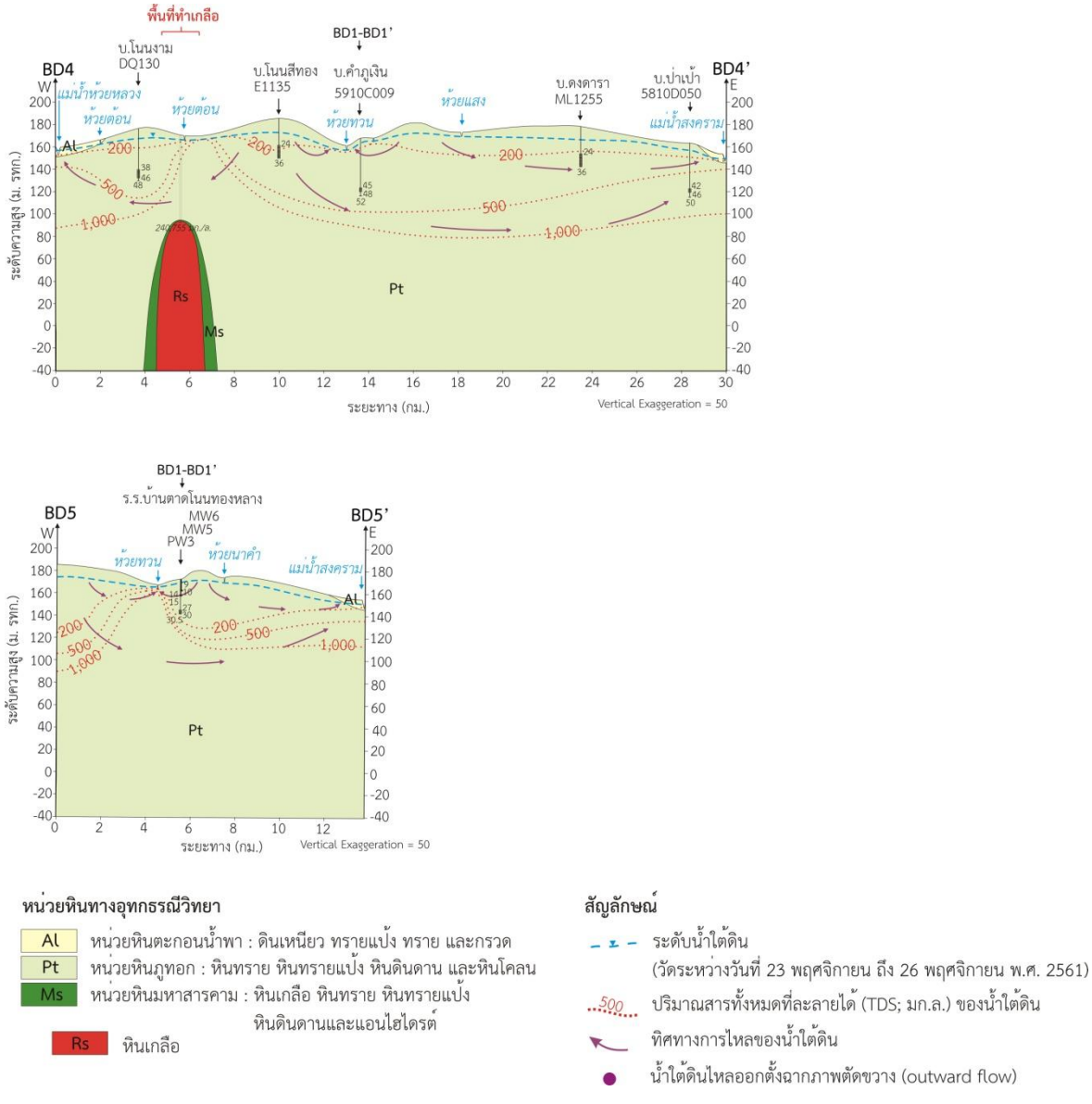

**หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา**

| | |
|---|---|
| Al | หน่วยหินตะกอนน้ำพา : ดินเหนียว ทรายแป้ง ทราย และกรวด |
| Pt | หน่วยหินภูทอก : หินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน และหินโคลน |
| Ms | หน่วยหินมหาสารคาม : หินเกลือ หินทราย หินทรายแป้ง หินดินดานและแอนไฮไดรต์ |
| Rs | หินเกลือ |

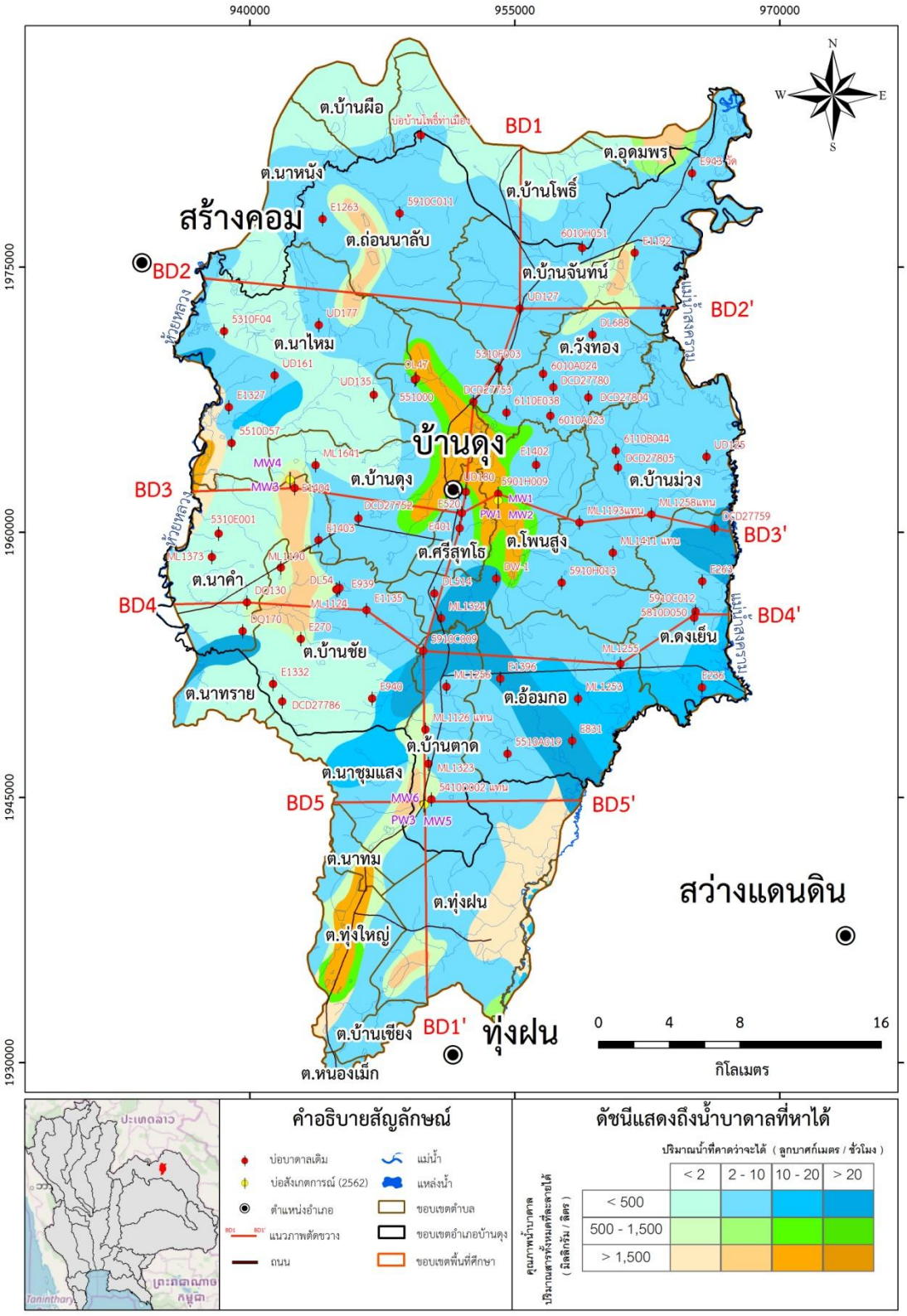
**สัญลักษณ์**

- ระดับน้ำใต้ดิน (วัดระหว่างวันที่ 23 พฤศจิกายน ถึง 26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561)
- 160 เส้นระดับชั้นความสูงของแรงดันน้ำใต้ดิน (ม.รทก.)
- ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน
- น้ำใต้ดินไหลออกตั้งฉากภาพตัดขวาง (outward flow)

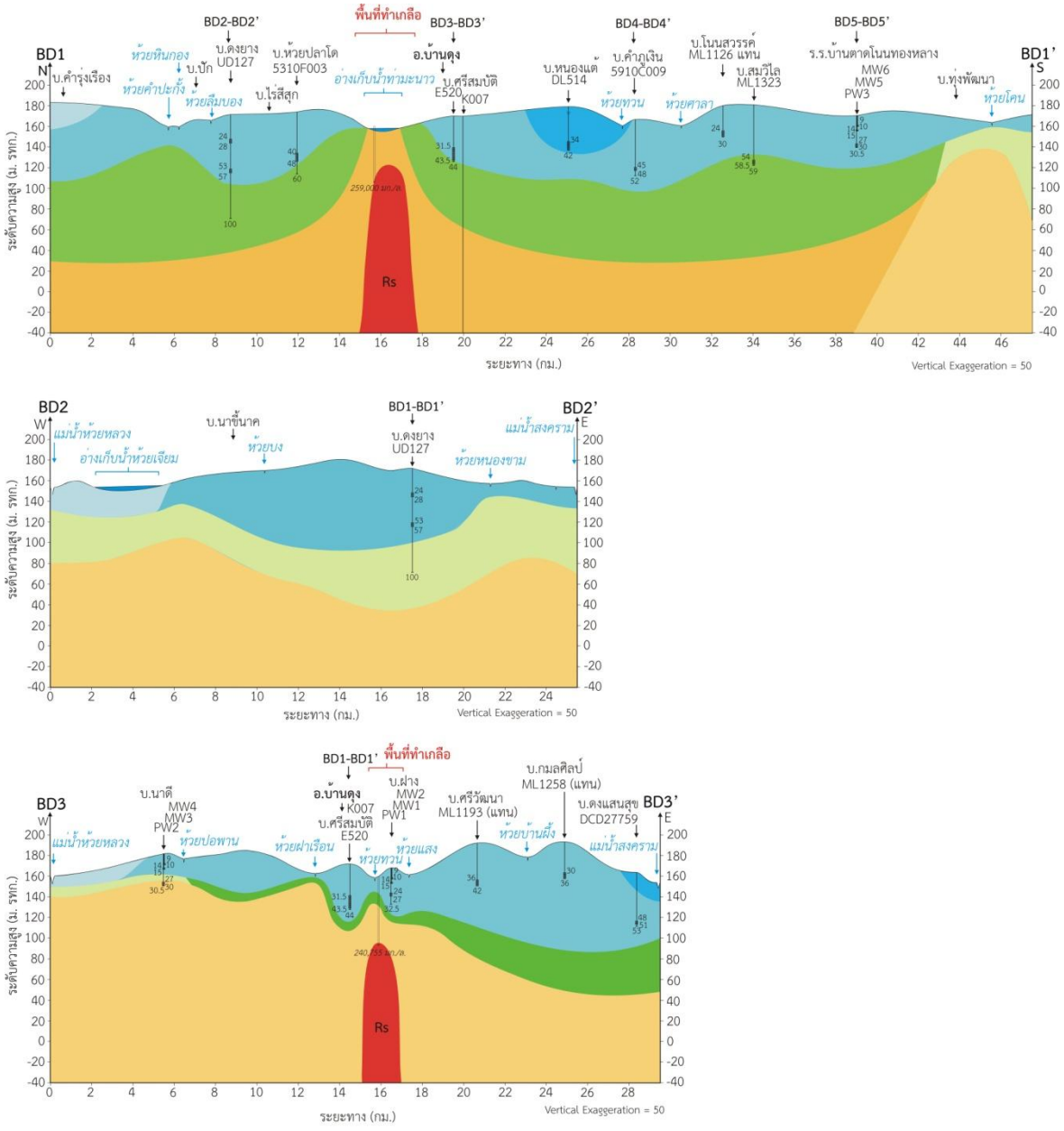
รูปที่ 3.2-26 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา ตามแนว BD1-BD1’ ถึง BD3-BD3’พื้นที่อำเภอบ้านดุง



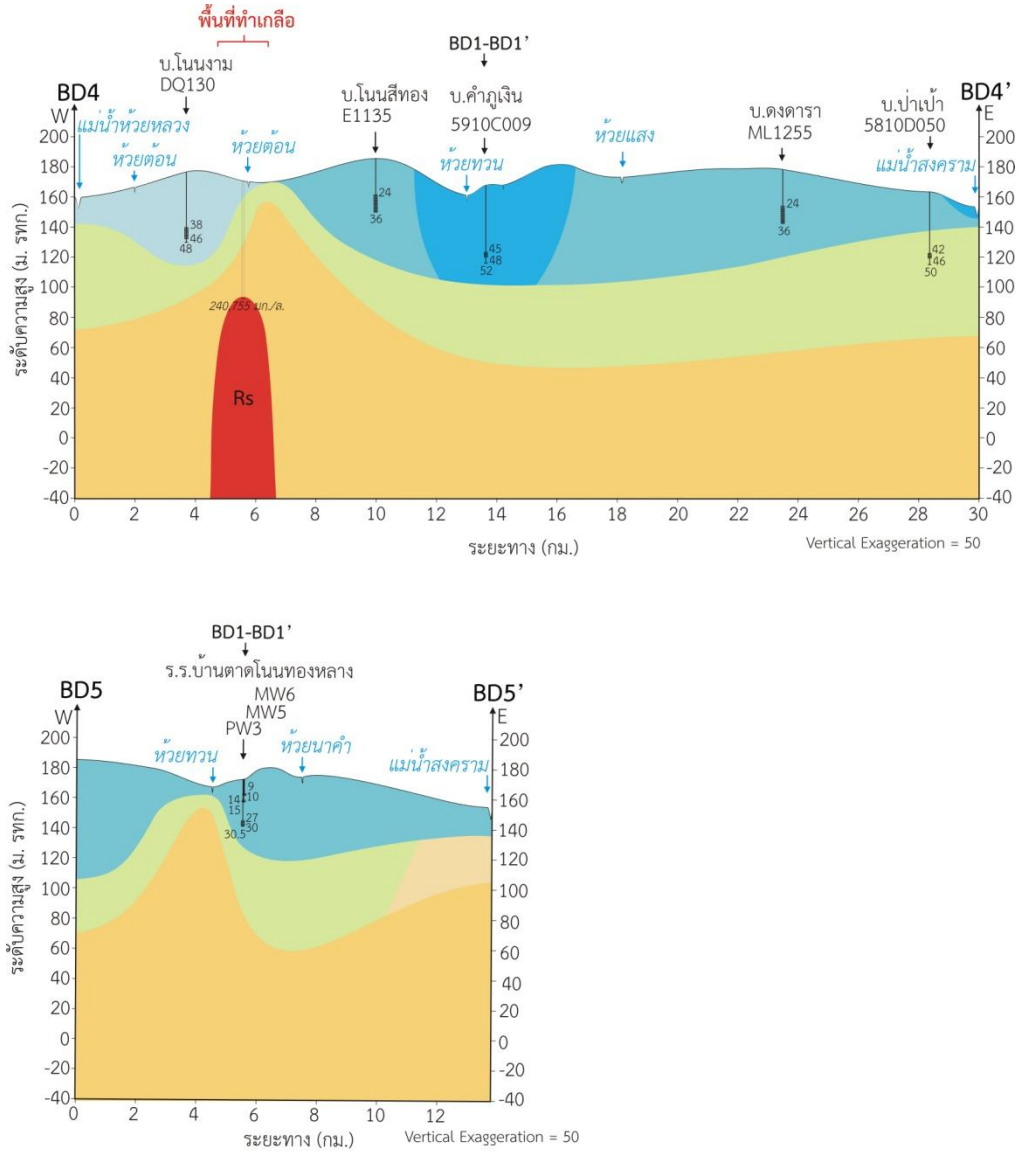

รูปที่ 3.2-27 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา ตามแนว BD4-BD4’ และ BD5-BD5’พื้นที่อำเภอบ้านดุง



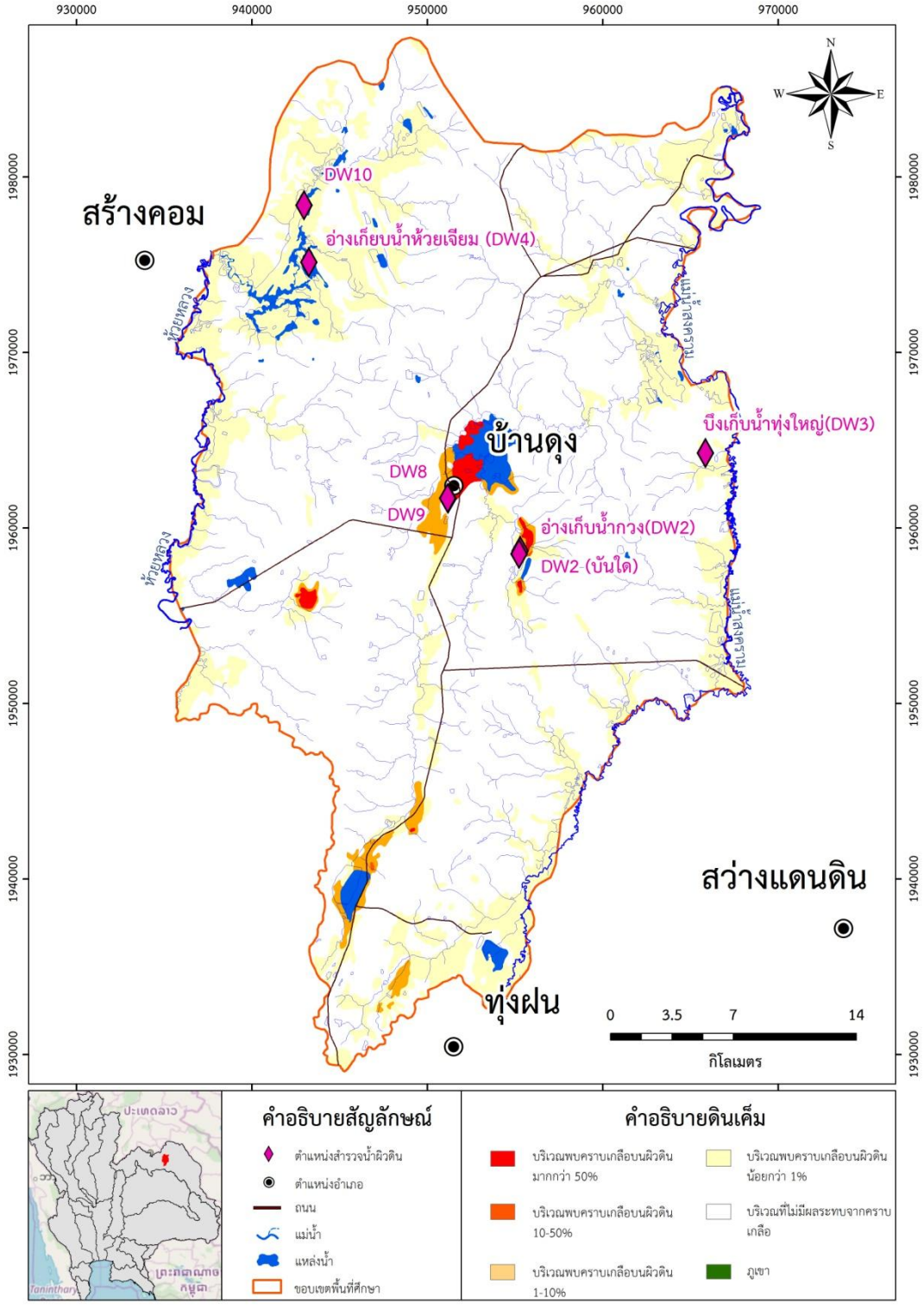

รูปที่ 3.2-28 แผนที่น้ำบาดาล พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี
(ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรน้ำบาดาล 2558)




รูปที่ 3.2-29 ภาพตัดขวางศักยภาพน้ำบาดาลของพื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี




รูปที่ 3.2-29 (ต่อ) ภาพตัดขวางศักยภาพน้ำบาดาลของพื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี




รูปที่ 3.2-30 แผนที่แสดงการกระจายตัวของดินเค็ม พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี (ดัดแปลงจาก กรมพัฒนาที่ดิน, 2537)

**การจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน**

แบบจำลองน้ำใต้ดิน (groundwater models) เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่ใช้ประเมินและคำนวณสมดุลน้ำใต้ดิน หรือใช้เป็นเครื่องมือจำลองสภาพต่างๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติเพื่อทำการทดลองและคาดคะเนเหตุการณ์ต่างๆ ในปัจจุบันและอนาคต การจำลองการไหลและการแพร่กระจายน้ำใต้ดินเค็ม (flow and saline water transport) ประกอบด้วยการจำลองเพื่อปรับเทียบค่าตัวแปรต่างๆ ของชั้นหินอุ้มน้ำในสภาวะคงตัว (Steady state) และการจำลองที่สภาวะไม่คงตัว (Transient state) มีระยะเวลาในการปรับเทียบแบบจำลอง 1 ปี (365 วัน) ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 ถึง 31 ตุลาคม พ.ศ. 2562

แบบจำลองที่เลือกใช้เพื่อการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน คือ แบบจำลอง MODFLOW (McDonald and Harbaugh, 1989) เป็นแบบจำลองที่นิยมใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินในระบบ 3 มิติ เนื่องจากประยุกต์เข้ากับปัญหาได้ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน เป็นการคำนวณแบบ finite difference (Anderson and Woessener, 1992) สมการหลักที่ใช้ในการคำนวณ แสดงดังสมการที่ (3-1) ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[K_x \frac{\partial h}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[K_y \frac{\partial h}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[K_z \frac{\partial h}{\partial z}\right]\pm W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \qquad (3\text{-}1)$$

โดยที่ค่า Kx, Ky, Kz คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน(Hydraulic conductivity) ในแนวแกน x, y, z [LT-1]

h คือ ระดับแรงดันน้ำใต้ดิน [L]

W คือ การเติมน้ำ (+) หรือสูบน้ำออก (-) ต่อหน่วยปริมาตร [T-1]

Ss คือ ค่าการกักเก็บจำเพาะ (SpecificStorage) [L-1]

t คือ เวลา [T]

ส่วนการจำลองการแพร่กระจายน้ำใต้ดินเค็ม ใช้แบบจำลอง MT3D (Zheng, 1996) โดยการคำนวณและการจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสาร (mass transport equation) ขึ้นอยู่กับการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเป็นหลักร่วมกับลักษณะการแพร่และกระจายของสารนั้นๆ ดังนั้นความเข้มข้นของมวลสารในเวลาต่างๆ สามารถคำนวณหาได้จากสมการหลัก (Zheng, 1996) ดังนี้

$$\frac{\partial(\theta C)}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x_i}\left[\theta D_{ij}\frac{\partial C}{\partial x_j}\right]-\frac{\partial}{\partial x_i}(\theta v_i C)+q_s C_s+\sum R_n \qquad (3\text{-}2)$$

โดยที่ค่า C คือ ความเข้มข้นของมวลสารที่ละลายในน้ำ [ML-3]

$\theta$ คือ ความพรุนต่อเนื่องของชั้นหินอุ้มน้ำ (effectiveporosity)

t คือ เวลา [T]

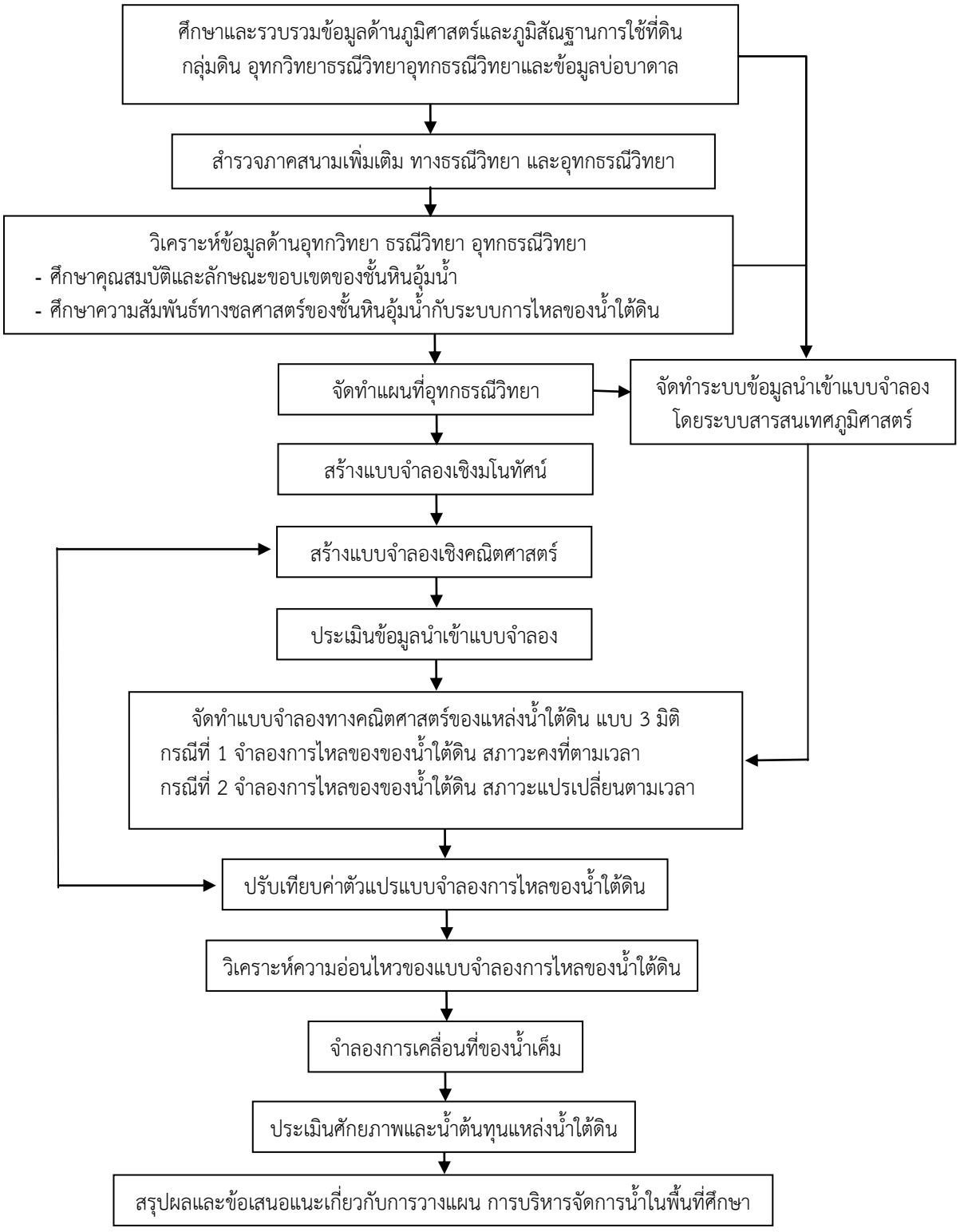
xi คือ ระยะทาง [L]

Dij คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (hydrodynamicdispersioncoefficient) [L2T-1]

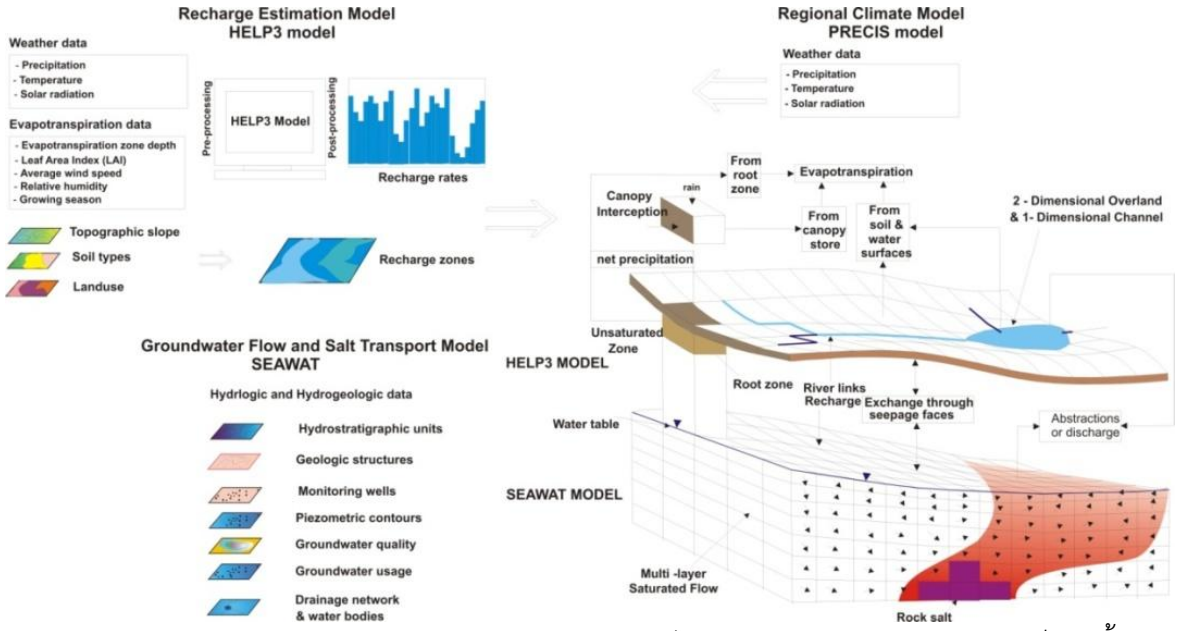
vi คือ ความเร็วจริงเฉลี่ย (linearporewatervelocity) [LT-1]
qs คือ อัตราการไหลของน้ำไหลเข้าหรือไหลออกต่อหน่วยปริมาตรของชั้นน้ำ [T-1]
Cs คือ ความเข้มข้นของมวลสาร ณ จุดที่เข้าสู่แหล่งน้ำใต้ดิน [ML-3]
∑Rn คือ มวลที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีในขณะที่มีการเคลื่อนที่ [ML-3T-1]

ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลอง ประกอบด้วย การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual model) การกำหนดขนาดและขอบเขตแบบจำลอง การนำเข้าข้อมูลต่างๆ สู่แบบจำลอง การปรับเทียบแบบจำลองและการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง จากนั้นจึงนำแบบจำลองที่ปรับเทียบแล้วไปใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในอนาคต

ในขั้นตอนการประเมินข้อมูลเพื่อนำเข้าแบบจำลองการไหลและการแพร่กระจายน้ำใต้ดินเค็ม ข้อมูลสำคัญที่ต้องทำการประเมินได้แก่ ภูมิอากาศ ภูมิประเทศ การกระจายตัวของชั้นหินอุ้มน้ำ ความลึกถึงชั้นเกลือหิน ระดับน้ำผิวดิน ระดับน้ำใต้ดิน ความเค็มเบื้องต้น (initial concentration) และในการกำหนดเขตพื้นที่หรือโซนการเพิ่มเติมน้ำ (recharge zone) ของลุ่มน้ำเป็นโซนต่างๆ นั้น ใช้ข้อมูลการใช้ที่ดิน ชนิดดิน และภูมิประเทศ พิจารณาในการแบ่งโซน แล้วใช้ผลการประเมินอัตราการเพิ่มเติมน้ำใต้ดิน (recharge rate) ของแต่ละพื้นที่หรือโซนการเพิ่มเติมน้ำ จากการจำลองกระบวนการเพิ่มเติมน้ำใต้ดินด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เป็นข้อมูลนำเข้าในการจำลองการการไหลของน้ำใต้ดิน ระดับและการเปลี่ยนแปลงของความเค็ม โดยมีเงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) ที่สำคัญอื่นๆ คือ ขอบเขตชลศาสตร์น้ำผิวดิน (river boundary) ที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนน้ำผิวดิน-ใต้ดิน และขอบเขตความเค็มในน้ำใต้ดินจากลักษณะการวางตัวของชั้นเกลือหิน (รูปที่ 3.2-32) ขั้นตอนการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินและการเคลื่อนที่ของน้ำเค็มหรือความเค็ม เพื่อทำการประเมินสมดุลของแหล่งน้ำใต้ดิน ศักยภาพและปริมาณน้ำต้นทุนในแหล่งน้ำใต้ดินหรือปริมาณการใช้น้ำที่เหมาะสม ปริมาณการสูบที่เหมาะสมในพื้นที่ที่มีน้ำเค็มรองรับด้านล่าง และมีความเสี่ยงต่อการรุกล้ำของน้ำใต้ดินเค็ม มีขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง ดังรูปที่ 3.2-31




รูปที่ 3.2-31 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง




รูปที่ 3.2-32 ฐานข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยาและระบบจำลองการไหลและการแพร่กระจายความเค็มในน้ำใต้ดิน (ดัดแปลงจาก เกรียงศักดิ์ ศรีสุข, 2542 และ Saraphirom, 2013)

**การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual Model)**

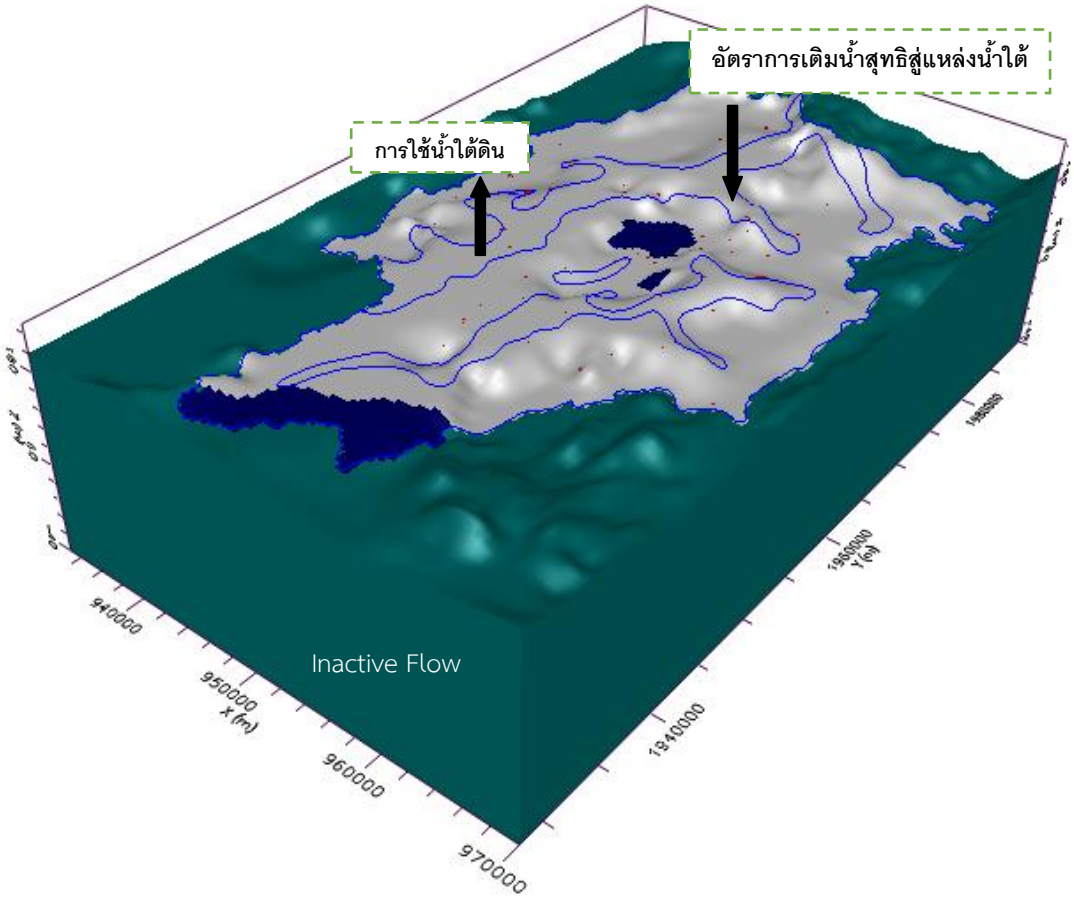
แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (รูปที่ 3.2-33) คือ สิ่งที่สร้างขึ้นจากการประเมินข้อมูลอุทกธรณีวิทยา เป็นตัวแทนของระบบอุทกธรณีวิทยาในสภาพจริง องค์ประกอบที่สำคัญของแบบจำลองเชิงมโนทัศน์คือลักษณะโครงร่างทางอุทกธรณีวิทยา (hydrogeologic framework) ได้จากการสำรวจธรณีวิทยา อุทกวิทยา สภาพภูมิประเทศ และการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ โดยทั่วไปข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จะอยู่ในรูปของ block diagram ภาพตัดขวาง ที่แสดงลักษณะรูปร่าง ความหนา และคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำหลักการกระจายตัวของระดับน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำ และการกระจายตัวของอัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดิน แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ใช้กำหนดขนาดและขอบเขตของแบบจำลองเชิงตัวเลขในการออกแบบกริด ของการสร้างแบบจำลองให้สมบูรณ์ใกล้เคียงสภาพจริงมากที่สุด ดังนั้นการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์จะช่วยทำให้ระบบมีความง่ายขึ้น และจัดระบบของข้อมูลที่เกี่ยวข้องให้อยู่ในรูปที่พร้อมจะวิเคราะห์ได้

ระบบอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา แบ่งชั้นหินอุ้มน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ หน่วยหินร่วนและหน่วยหินแข็ง โดยหน่วยหินร่วนของตะกอนน้ำพา กระจายตัวเป็นแนวยาวขนานแม่น้ำห้วยหลวงทางด้านตะวันตก และแม่น้ำสงครามทางด้านทิศตะวันออกของขอบเขตอำเภอบ้านดุง วางตัวปิดทับอยู่ด้านบนหน่วยหินแข็งของหินตะกอน (หน่วยหินภูทอก) ชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้นเป็นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน ส่วนชั้นหินอุ้มน้ำระดับลึกลงไปมีทั้งหินอุ้มน้ำมีแรงดันและหินอุ้มน้ำกึ่งมีแรงดัน ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านแตกต่างกัน น้ำใต้ดินส่วนใหญ่ไหลในแนวนอนในบริเวณที่มีความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านได้ดี โดยทิศทางการไหลหลักของน้ำใต้ดินมีทิศทางการไหลหลักจากบริเวณพื้นที่รับน้ำที่เติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ทางด้านตะวันตกของที่ว่าการอำเภอบ้านดุง วางตัวเป็นแนวยาวในแนวเหนือ-ใต้ เป็นสันปันน้ำระหว่างลุ่มน้ำห้วยหลวงกับลุ่มน้ำสงคราม และทางตะวันออกเฉียงใต้จนถึงด้านใต้ของที่ว่าการอำเภอบ้านดุง ไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำไปยังพื้นที่สูญเสียน้ำใต้ดินที่กระจายตัวตามที่ราบลุ่มของแม่น้ำห้วยหลวง และแม่น้ำสงคราม โดยการจำลองระบบอุทกธรณีวิทยาได้ตั้งสมมุติฐาน ดังนี้

1) ชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนน้ำพา เป็นน้ำที่สะสมตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดตะกอนพวกกรวด และทราย ส่วนชั้นหินอุ้มน้ำหินแข็งได้น้ำจากรอยแตก รอยแยกของชั้นหิน มีการกระจายตัวของรอยแตกไม่แน่นอน ให้ถือเสมือนว่าชั้นหินอุ้มน้ำเป็นเสมือนตัวกลางที่มีรูพรุน (equivalent porous media)

2) ชั้นหินอุ้มน้ำมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) และมีคุณสมบัติทางชลศาสตร์ทั้ง 3 ทิศทางแตกต่างกัน (anisotropy)

3)สภาพระดับน้ำเริ่มต้น (initial head) เป็นระดับแรงดันน้ำใต้ดิน ใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดเดือนพฤศจิกายน 2561




รูปที่ 3.2-33 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์

**การออกแบบ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Model Design)**

1) ขนาดของแบบจำลอง

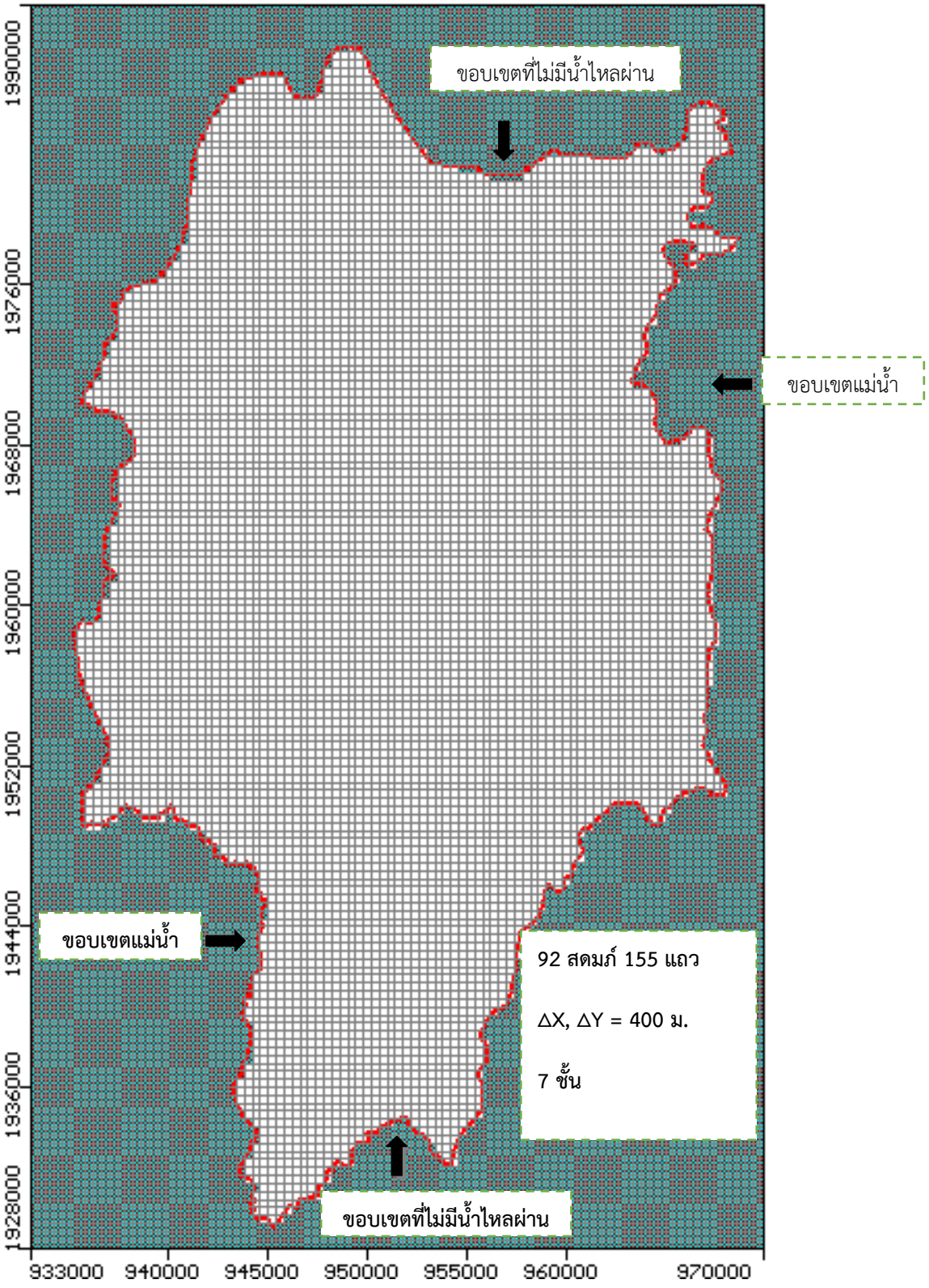
แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์แบบ 3 มิติ เป็นการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินทั้งในแนวระนาบและแนวดิ่ง (แกน x, y และ z) โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ (discretization) ระหว่างพิกัด UTM 933000 ม. ตะวันออก ถึง 970000 ม. ตะวันออก และ 1928000 ม. เหนือถึง 1990000 ม. เหนือ มีการออกแบบการจำลองดังนี้ กำหนดให้แกน x อยู่ในแนวตะวันตก-ตะวันออก แบ่งออกเป็น 92 สดมภ์ มีความกว้างแต่ละสดมภ์ 400 ม. และแกน y อยู่ในแนวเหนือ-ใต้ แบ่งออกเป็น 155 แถว มีความกว้างแต่ละแถว 400 ม. แกน z คือความหนาของแบบจำลองแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะภูมิประเทศ ที่ระดับความสูง -40 ถึง 180 ม.รทก. แบ่งออกเป็น 7 ชั้น แบบจำลองจึงประกอบด้วย 99,820 กริดบล็อค (92 สดมภ์ x 155 แถว x 7 ชั้น) (รูปที่ 3.2-34)

2) ขอบเขตของแบบจำลอง

จากแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ สภาพขอบเขตของแบบจำลองกำหนดโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพ (physical boundaries) พิจารณาจากแม่น้ำ และขอบเขตทางอุทกวิทยา (hydrological boundaries) พิจารณาจาก แนวสันปันน้ำ (groundwater divides) และเส้นแสดงทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน โดยที่ ด้านทิศเหนือกำหนดให้มีสภาพขอบเขต เป็นแนวระนาบดิ่งที่ไม่มีน้ำไหลผ่าน (No Flow Boundary) ตามสันปันน้ำ ด้านทิศใต้และทิศตะวันออก เป็นแนวของแม่น้ำสงครามและแม่น้ำห้วยหลวง ตามลำดับ ด้านทิศตะวันตก เป็นแนวระนาบดิ่งที่ไม่มีน้ำไหลผ่าน (No Flow Boundary) ตามสันปันน้ำ สำหรับด้านบน เป็นระดับน้ำใต้ดิน (Water Table) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล กำหนดค่าระดับน้ำโดยการเฉลี่ย และด้านล่าง กำหนดให้เป็นขอบเขตที่ไม่มีน้ำไหลผ่านตามความลึกของชั้นหินแข็ง (รูปที่ 3.2-34 และตารางที่ 3.2-20)

ตารางที่ 3.2-20 ข้อกำหนดขอบเขตเงื่อนไขแบบจำลอง

| ด้าน | ข้อกำหนด |
|---|---|
| ทิศเหนือ | เป็นแนวระนาบดิ่งที่ไม่มีน้ำไหลผ่าน (No Flow Boundary) ตามสันปันน้ำ |
| ทิศใต้ | เป็นแนวของแม่น้ำสงคราม (River Boundary) |
| ทิศตะวันออก | เป็นแนวของแม่น้ำห้วยหลวง (River Boundary) |
| ทิศตะวันตก | เป็นแนวระนาบดิ่งที่ไม่มีน้ำไหลผ่าน (No Flow Boundary) ตามสันปันน้ำ |
| บน | เป็นระดับน้ำใต้ดิน(Water Table) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล กำหนดค่าระดับน้ำโดยการเฉลี่ย |
| ล่าง | กำหนดให้เป็นขอบเขตที่ไม่มีน้ำไหลผ่านตามความลึกของชั้นหินแข็ง |




รูปที่ 3.2-34 การออกแบบกริด และขอบเขตของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

**การประเมินข้อมูลนำเข้าสำหรับการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน**

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง รวบรวมข้อมูลจากรายงานการศึกษาจากหน่วยงานต่างๆ การสำรวจเพิ่มเติมภาคสนาม รวมทั้งข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์จากเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการกำหนดเงื่อนไข ขอบเขตและค่าตัวแปรของแบบจำลอง ซึ่งค่าจากการประเมินข้อมูลนำเข้าเบื้องต้นก่อนนำเข้าแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ประกอบด้วย อัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ระดับน้ำและระดับท้องน้ำของแหล่งน้ำผิวดิน สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นหิน (K) สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (S) ระดับแรงดันน้ำบาดาล และปริมาณการใช้น้ำบาดาล (ตารางที่ 3.2-21) รายละเอียดดังนี้

1) อัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดิน (Recharge Boundary)

ขอบเขตการเพิ่มเติมน้ำในการศึกษาครั้งนี้ใช้การเพิ่มเติมน้ำสุทธิเข้าสู่ระบบน้ำใต้ดิน (net recharge, R) ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า การคายระเหย ลักษณะความลาดชันของพื้นที่ การใช้ที่ดิน ชนิดของดิน ลักษณะพื้นที่เป็นพื้นที่รับน้ำหรือพื้นที่สูญเสียน้ำ ความลึกของระดับน้ำใต้ดินจากนั้นกำหนดเขตพื้นที่หรือโซนของการเพิ่มเติมน้ำ (recharge zone) ทั้งลุ่มน้ำ โดยกำหนดเป็นโซนต่างๆ กัน โดยใช้ข้อมูลการใช้ที่ดิน ดิน และภูมิประเทศ ในการแบ่งโซน แล้วจำลองกระบวนการเพิ่มเติมน้ำใต้ดินโดย ด้วยแบบจำลอง SWAT และใช้ผลการประเมินอัตราการเพิ่มเติมน้ำใต้ดิน (recharge rate) ของแต่ละพื้นที่เพิ่มเติมน้ำ เป็นข้อมูลนำเข้าใน MODFLOW (ตารางที่ 3.2-20)

2) แหล่งน้ำผิวดิน (River Boundary)

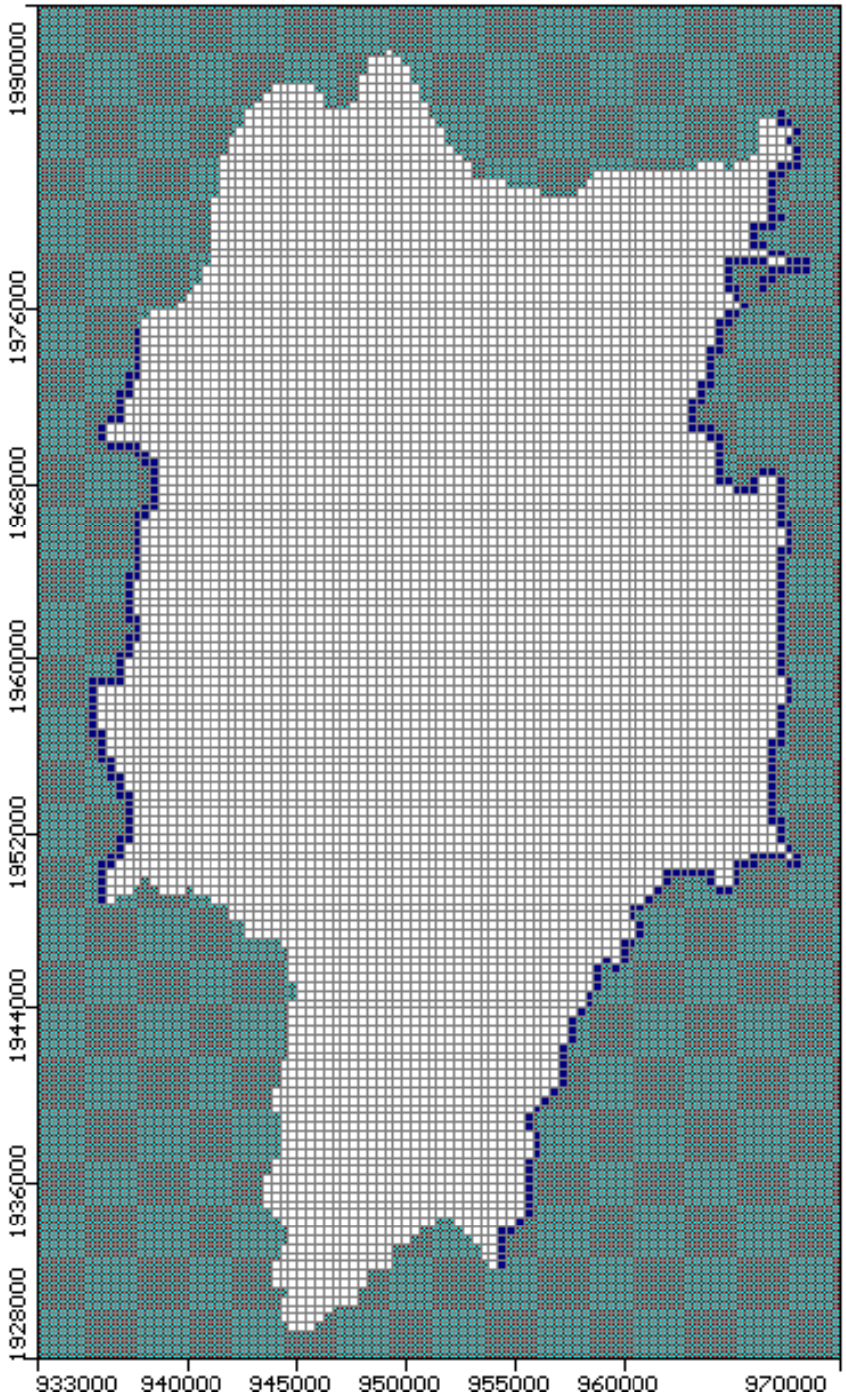
แม่น้ำที่นำข้อมูลเข้าแบบจำลอง ได้แก่ แม่น้ำห้วยหลวง และแม่น้ำสงคราม (รูปที่ 3.2-35) ข้อมูลแม่น้ำที่ใช้ในการจำลอง ได้แก่ ระดับท้องน้ำ ระดับน้ำ ความกว้าง ความยาว ความหนาของตะกอนท้องน้ำ (กำหนดให้มีค่า 0.5 เมตร) และค่าความนำของตะกอนท้องน้ำ (Conductance, C) ของแม่น้ำ โดยค่าความนำของตะกอนท้องน้ำ ใช้ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของตะกอนท้องน้ำ เทียบค่าจากเอกสารที่พิมพ์เผยแพร่ใน Spitz and Moreno (1996) กำหนดให้มีค่า $1\times10^{-6}$ เมตร/วินาที

$$C = KLW/M \qquad (3\text{-}3)$$

เมื่อ K เป็นค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของตะกอนท้องน้ำ (เมตร/วินาที)
L เป็นความยาวของแม่น้ำ (เมตร)
W เป็นความกว้างของแม่น้ำ (เมตร)
M เป็นความหนาของตะกอนท้องน้ำ (เมตร)

3) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity, K)

สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ (Kh หรือ Kx, Ky) และค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวดิ่ง (Kv หรือ Kz) ประเมินจาก 1) ลักษณะของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา จากการเผยแพร่ผลการทดลองในอดีตของงานที่เกี่ยวข้อง (Spitz and Moreno, 1996) และ 2) จากรายงานการศึกษาเดิมของกรมทรัพยากรธรณี (2549) แสดงดังตารางที่ 3.2-21

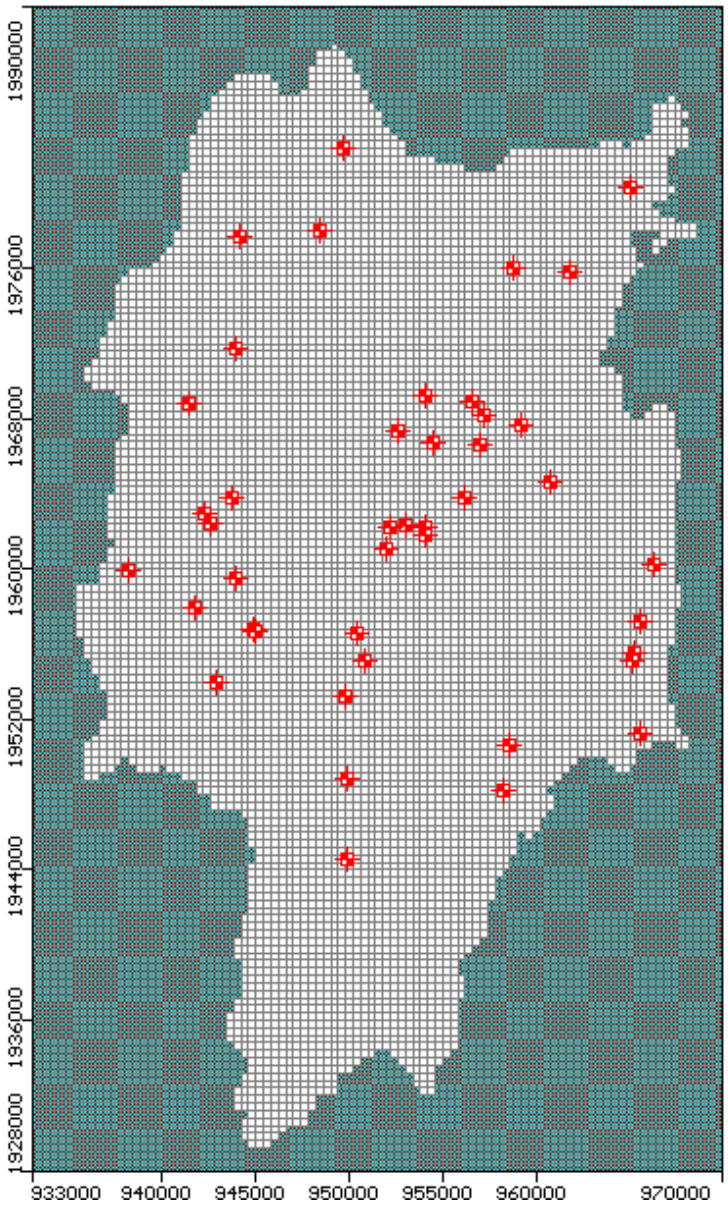


รูปที่ 3.2-35 ขอบเขตแม่น้ำ

4) ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน

ตำแหน่งและข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน (Head Observation Wells) ได้จากการสำรวจเพิ่มเติมภาคสนาม จากบ่อบาดาลเดิมที่มีอยู่แล้วในพื้นที่ศึกษาจำนวน 82 บ่อ แล้วทำการคัดเลือกเหลือจำนวน 49 บ่อ (รูปที่ 3.2-36) โดยสภาพระดับน้ำเริ่มต้น (initial head) ต้องคำนวณให้เป็นระดับแรงดันน้ำใต้ดิน (ตารางที่ 3.2-21) และระดับแรงดันน้ำใต้ดินสามารถหาได้จากสมการ (3-4)

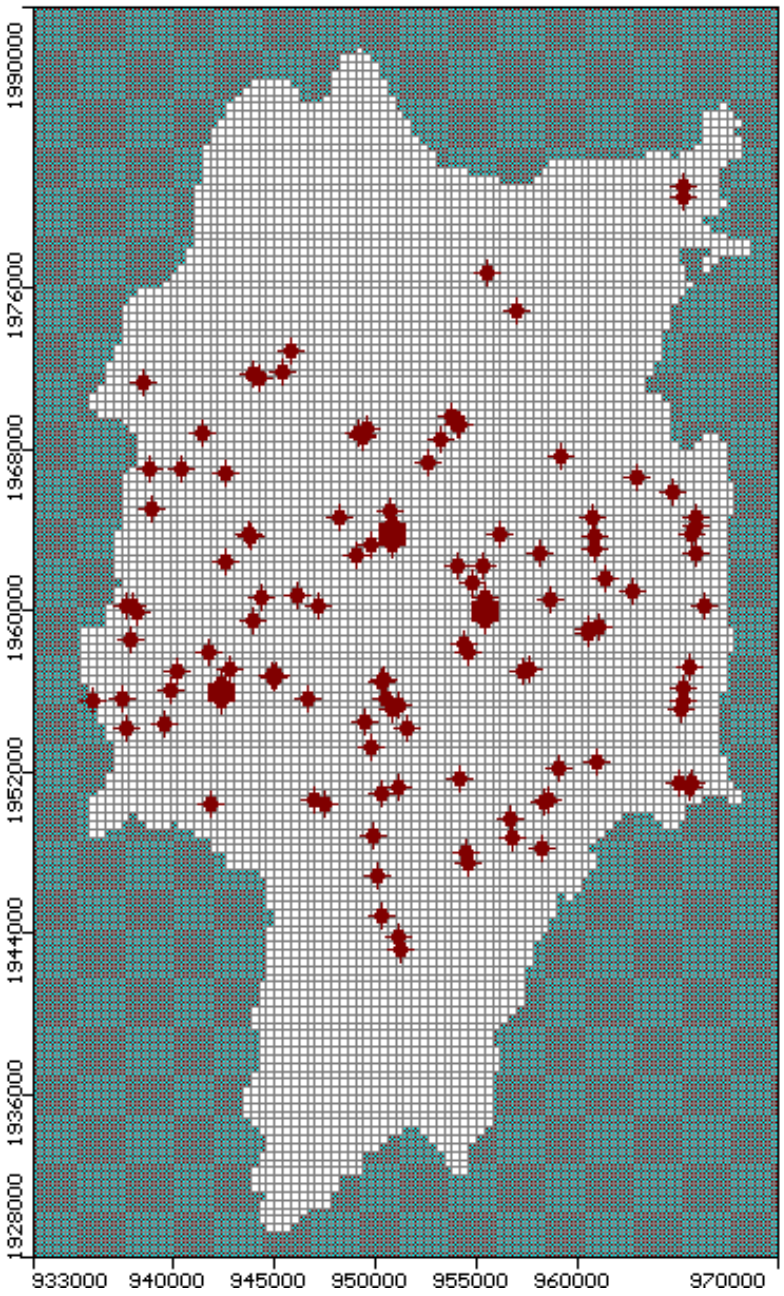
ระดับแรงดันน้ำใต้ดิน = ระดับความสูงภูมิประเทศ – ระดับน้ำใต้ดิน (3-4)




รูปที่ 3.2-36 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำใต้ดิน

5) อัตราการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ (Pumping Wells)

อัตราการใช้น้ำใต้ดินประเมินจากข้อมูลการใช้น้ำใต้ดินของประปาหมู่บ้านในพื้นที่อำเภอบ้านดุง ที่มีปริมาณการใช้น้ำใต้ดินแตกต่างกันไป ตามพฤติกรรมการใช้น้ำและขนาดของชุมชน (กรมทรัพยากรน้ำ, 2562) และการสูบน้ำเพื่ออุตสาหกรรมเกลือ (กรมทรัพยากรธรณี, 2549) และได้กำหนดตำแหน่งบ่อสูบที่แสดงดังรูปที่ 3.2-37




รูปที่ 3.2-37 ตำแหน่งบ่อสูบน้ำ

ตารางที่ 3.2-21 การประเมินข้อมูลนำเข้าในการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

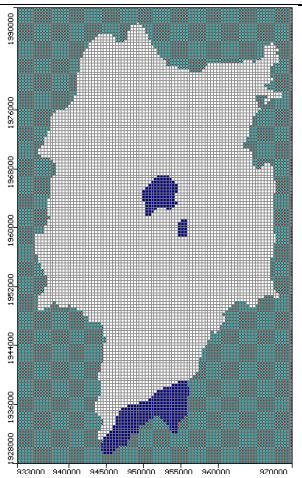
| ข้อมูลนำเข้า | คำอธิบาย | ค่าเริ่มต้น |
|---|---|---|
| 1) อัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดิน (มม./ปี) | | (มกราคม – ธันวาคม) |
| - โซนที่ 1 | - พื้นที่สูญเสียน้ำ | 0 |
| - โซนที่ 2 | - ลุ่มน้ำย่อยที่ 5 (สาขาแม่น้ำห้วยหลวง) | 0.04 - 117.07 |
| - โซนที่ 3 | - ลุ่มน้ำย่อยที่ 7 (สาขาแม่น้ำห้วยหลวง) | 0.007 – 89.44 |
| - โซนที่ 4 | - ลุ่มน้ำย่อยที่ 9 (สาขาแม่น้ำห้วยหลวง) | 0.02 - 46.15 |
| - โซนที่ 5 | - ลุ่มน้ำย่อยที่ 11 (สาขาแม่น้ำห้วยหลวง) | 0.009 - 47.39 |
| - โซนที่ 6 | - ลุ่มน้ำย่อยที่ 3 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | 0.01 – 75.32 |
| - โซนที่ 7 | - ลุ่มน้ำย่อยที่ 5 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | 0.001 – 82.52 |
| - โซนที่ 8 | - ลุ่มน้ำย่อยที่ 6 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | 0.02 – 74.58 |
| - โซนที่ 9 | - ลุ่มน้ำย่อยที่ 8 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | 0.01 – 76.58 |
| - โซนที่ 10 | - ลุ่มน้ำย่อยที่ 12 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | 0.03 – 76.11 |
| - โซนที่ 11 | - ลุ่มน้ำย่อยที่ 13 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | 0.02 – 78.67 |
| - โซนที่ 12 | - ลุ่มน้ำย่อยที่ 14 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | 0.003 – 47.44 |
| 2) แหล่งน้ำผิวดิน (ม.รทก.) | - ระดับน้ำ (river stage) | 147.92 - 155.85 |
| | - ระดับท้องน้ำ (river bottom) | 144.80 - 153.12 |
| 3) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (K) (เมตรต่อวินาที) | - หน่วยหินภูทอก | $5.0\times10^{-5}$ – $5.0\times10^{-6}$ |
| | - หน่วยหินมหาสารคาม | $9.0\times10^{-7}$ – $9.0\times10^{-8}$ |
| | - เกลือหิน | $9.0\times10^{-14}$ – $9.0\times10^{-14}$ |
| 4) ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (S) | | |
| - Sy | - หน่วยหินภูทอก | 0.05 |
| | - หน่วยหินมหาสารคาม | 0.05 |
| | - เกลือหิน | $9.0\times10^{-5}$ |
| - Ss | - หน่วยหินภูทอก | $7.0\times10^{-3}$ |
| | - หน่วยหินมหาสารคาม | $7.0\times10^{-3}$ |
| | - เกลือหิน | $1.0\times10^{-7}$ |
| - Tot. Porosity | - หน่วยหินภูทอก | 0.15 |
| | - หน่วยหินมหาสารคาม | 0.15 |
| | - เกลือหิน | $3.0\times10^{-4}$ |
| - Eff. Por. | - หน่วยหินภูทอก | 0.12 |
| | - หน่วยหินมหาสารคาม | 0.12 |
| | - เกลือหิน | $1.0\times10^{-5}$ |
| 5) ระดับแรงดันน้ำบาดาล (ม.รทก.) | - ตรวจวัดระดับจากบ่อบาดาล | 140.20-186.64 |
| 6) การใช้น้ำบาดาล (ลบ.ม./วัน) | - ประเมินจากอัตราการใช้น้ำของประชากร | 14.19 – 236.69 |
| | - ประเมินจากการทำอุตสาหกรรมเกลือ | 3.28 – 164.38 |

การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินหลังจากที่ทำการนำเข้าข้อมูลและทำการประมวลผลแล้ว ต้องทำการปรับเทียบข้อมูลนำเข้าของการจำลอง ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ และอัตราการเพิ่มเติมน้ำ (รูปที่ 3.2-38 ถึง รูปที่ 3.2-39 และตารางที่ 3.2-22 ถึง ตารางที่ 3.2-23) โดยการปรับเทียบจะต้องทำการปรับจนค่าระดับแรงดันน้ำใต้ดินที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองและค่าที่วัดจากสนามมีความสอดคล้องกันอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ การศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ผลการจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนของระดับแรงดันน้ำใต้ดินเฉลี่ยสัมบูรณ์ต่ำสุดไม่เกิน 5 เมตร จากบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการตรวจวัดจำนวน 61 บ่อ การปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะคงตัว (Steady state) ใช้ข้อมูลระดับแรงดันน้ำใต้ดินที่ได้จากการตรวจวัดระดับน้ำใต้ดินครั้งที่ 1 ระหว่าง 23-26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 ส่วนการปรับเทียบแบบจำลองการจำลองที่สภาวะไม่คงตัว (Transient state) ใช้ข้อมูลระดับแรงดันน้ำใต้ดินที่ได้จากการตรวจวัด จำนวน 9 ครั้ง ดังนี้

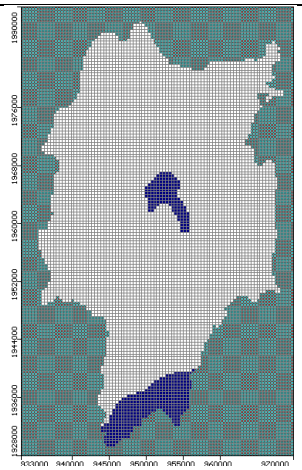
ระหว่าง 23 - 26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562
ระหว่าง 25 - 28 ธันวาคม พ.ศ. 2562
ระหว่าง 25 - 28 มกราคม พ.ศ. 2562
ระหว่าง 23 - 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562
ระหว่าง 22 - 26 มีนาคม พ.ศ. 2562
ระหว่าง 28 เมษายน - 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2562
ระหว่าง 25-29 พฤษภาคม พ.ศ. 2562
ระหว่าง 27-29 มิถุนายน พ.ศ. 2562
ระหว่าง 3-6 สิงหาคม พ.ศ. 2562

โดยปรับเทียบให้อยู่ในช่วงค่าที่เป็นไปได้ของข้อมูลนำเข้านั้นๆ โดยปรับข้อมูลนำเข้าทีละชุดให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง จากค่าที่ประมาณไว้ในเบื้องต้น จนระดับแรงดันน้ำใต้ดินที่วัดในสนามและจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันที่สุด ผลการจำลองแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของระดับแรงดันน้ำใต้ดินเฉลี่ยสัมบูรณ์ต่ำสุดที่ 4.212 เมตร (รูปที่ 3.2-40) และจากการปรับเทียบผลการจำลองจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินทั้งที่ได้จากการตรวจวัดในภาคสนามและจากผลการคำนวณของการจำลองมีความสัมพันธ์กัน

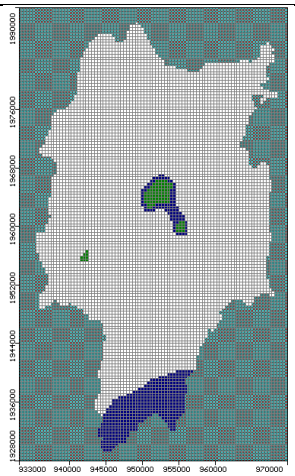
จากการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินด้วยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ 3 มิติ ระดับน้ำและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้จากการคำนวณมีความสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ โดยทิศทางการไหลหลักของน้ำใต้ดินมีทิศทางการไหลหลักจากบริเวณพื้นที่รับน้ำที่เติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ส่วนใหญ่กระจายตัวและวางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ ที่เป็นสันปันน้ำใต้ดินแบ่งลุ่มห้วยหลวงและลุ่มน้ำสงครามไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำไปยังพื้นที่สูญเสียน้ำใต้ดินที่กระจายตัวตามที่ราบลุ่มของแม่น้ำห้วยหลวงทางด้านตะวันตก และแม่น้ำสงครามทางด้านตะวันออก ของพื้นที่ศึกษา แสดงดังรูปที่ 3.2-39



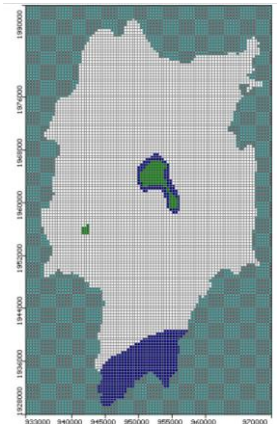
ก) ชั้นที่ 1



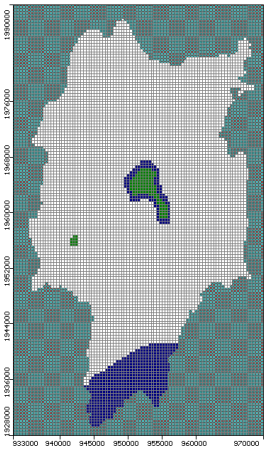
ข) ชั้นที่ 2



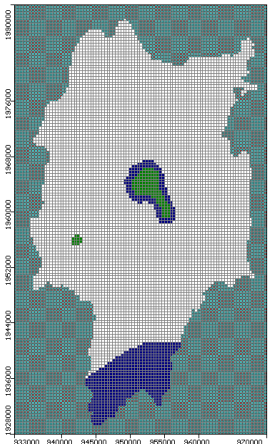
ค) ชั้นที่ 3



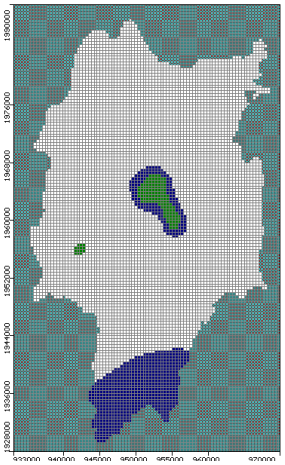
ง) ชั้นที่ 4



จ) ชั้นที่ 5



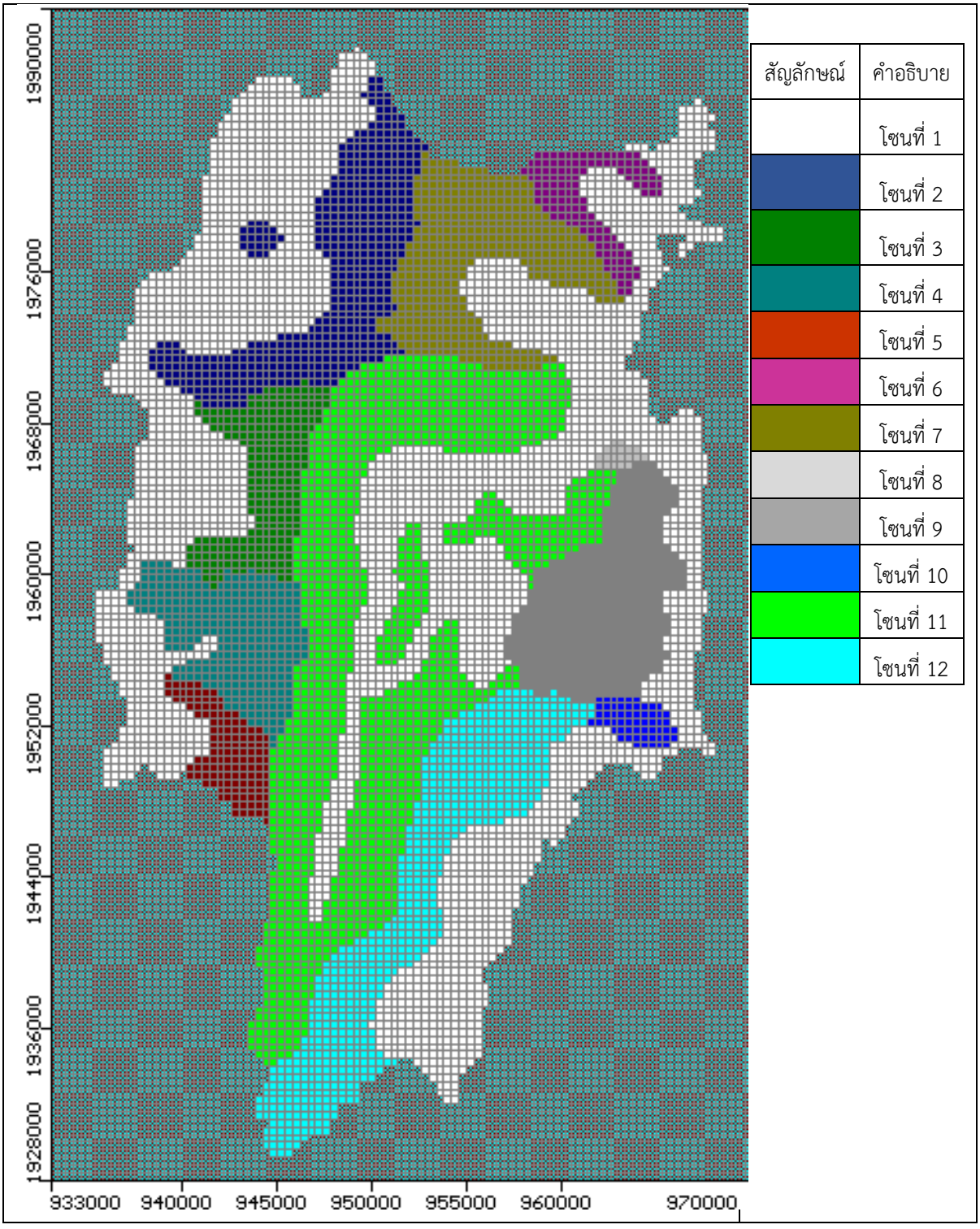
ฉ) ชั้นที่ 6



ช) ชั้นที่ 7

| พื้นที่ | สัญลักษณ์ | คำอธิบาย | Kx = Ky | Kz | Ss | Sy | Tot. Porosity | Eff. Por. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | หน่วยหินภูทอก | 1.50E-06 | 1.50E-07 | 2.00E-04 | 0.05 | 0.12 | 0.15 |
| 2 | | หน่วยหินมหาสารคาม | 8.50E-07 | 8.50E-08 | 7.00E-05 | 0.05 | 0.12 | 0.15 |
| 3 | | หินเกลือ | 9.00E-14 | 9.00E-14 | 7.00E-07 | 9.00E-05 | 1.00E-05 | 3.00E-04 |

รูปที่ 3.2-38 การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ




รูปที่ 3.2-39 การกระจายตัวของพื้นที่การเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดิน

ตารางที่ 3.2-22 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ หลังจากปรับเทียบแบบจำลอง

| หน่วยหิน | Kx = Ky | Kz | Ss | Sy | Tot. Porosity | Eff. Por. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ภูทอก | $1.50 \times 10^{-6}$ | $1.50 \times 10^{-7}$ | $2.00 \times 10^{-4}$ | 0.05 | 0.12 | 0.15 |
| มหาสารคาม | $8.50 \times 10^{-7}$ | $8.50 \times 10^{-8}$ | $7.00 \times 10^{-5}$ | 0.05 | 0.12 | 0.15 |
| หินเกลือ | $9.00 \times 10^{-14}$ | $9.00 \times 10^{-14}$ | $7.00 \times 10^{-7}$ | $9.00 \times 10^{-5}$ | $1.00 \times 10^{-5}$ | $3.00 \times 10^{-4}$ |

หมายเหตุ Kx คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวแกน X หรือแนวตะวันออก-ตะวันตก

Ky คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวแกน y หรือแนวเหนือ-ใต้

Kz คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวแกน z หรือแนวดิ่ง

Effective porosity คือ ความพรุนต่อเนื่อง

Sy คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำที่ไร้แรงดัน

Ss คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำที่มีแรงดัน

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองคือ การวิเคราะห์ว่าแบบจำลองมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่นำเข้าอย่างไร โดยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองหลังจากปรับเทียบค่าแล้ว หากการเปลี่ยนข้อมูลนำเข้าใดทำให้ผลการจำลองเปลี่ยนแปลงมาก แสดงว่าข้อมูลนำเข้านั้นมีความอ่อนไหวมากหรือมีอิทธิพลมากต่อแบบจำลอง เมื่อทราบว่าข้อมูลนำเข้าใดมีผลต่อแบบจำลองมาก จะทำให้สามารถกำหนดแนวทางในการเก็บข้อมูลภาคสนามเพิ่มเติม หรือใช้ในการปรับเทียบเมื่อต้องการปรับปรุงแบบจำลอง เมื่อสภาพอุทกธรณีวิทยาในอนาคตมีการเปลี่ยนแปลง เป็นการปรับชุดข้อมูลนำเข้าในขั้นละเอียดที่ทำให้แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนลดลง และเป็นการยืนยันความถูกต้องของข้อมูลนำเข้าก่อนที่จะพัฒนาแบบจำลองในขั้นตอนต่อไปในการศึกษานี้ได้วิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบและแนวดิ่ง (Khหรือ Kxและ Ky) อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (Recharge rate) และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน (Ss) เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของข้อมูลนำเข้าแต่ละชุดที่มีค่าแตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์ใน รูปที่ 3.2-41 พบว่าพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อความอ่อนไหวของแบบจำลองมากที่สุด คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง

ตารางที่ 3.2-23 อัตราการเพิ่มเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน หลังจากปรับเทียบแบบจำลอง

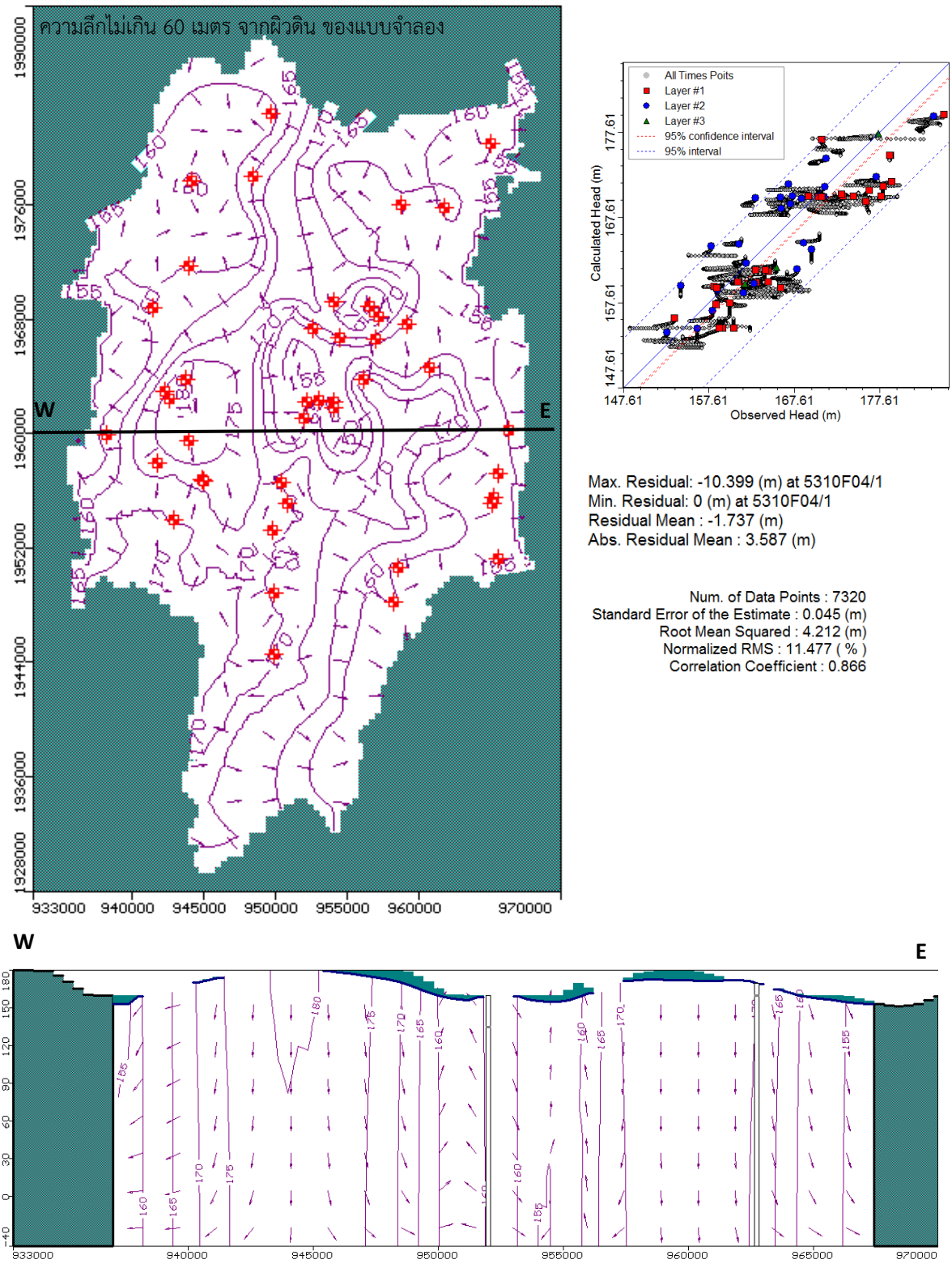
| พื้นที่ | คำอธิบาย | เดือน | อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (มม.) | พื้นที่ | คำอธิบาย | เดือน | อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (มม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| โซนที่ 1 | พื้นที่สูญเสียน้ำ | พฤศจิกายน - ตุลาคม | 0 | | | | |
| โซนที่ 2 | ลุ่มน้ำย่อยที่ 5 (สาขาแม่น้ำห้วยหลวง) | พฤศจิกายน<br>ธันวาคม<br>มกราคม<br>กุมภาพันธ์<br>มีนาคม<br>เมษายน<br>พฤษภาคม<br>มิถุนายน<br>กรกฎาคม<br>สิงหาคม<br>กันยายน<br>ตุลาคม | 3.72<br>0.08<br>1.56<br>1.78<br>5.6<br>27.9<br>134.28<br>184.24<br>181.54<br>234.14<br>208.3<br>47.32 | โซนที่ 4 | ลุ่มน้ำย่อยที่ 9 (สาขาแม่น้ำห้วยหลวง) | พฤศจิกายน<br>ธันวาคม<br>มกราคม<br>กุมภาพันธ์<br>มีนาคม<br>เมษายน<br>พฤษภาคม<br>มิถุนายน<br>กรกฎาคม<br>สิงหาคม<br>กันยายน<br>ตุลาคม | 3.64<br>0.08<br>1.28<br>5.40<br>3.20<br>13.68<br>98.72<br>124.36<br>118.88<br>184.60<br>173.08<br>24.00 |
| โซนที่ 3 | ลุ่มน้ำย่อยที่ 7 (สาขาแม่น้ำห้วยหลวง) | พฤศจิกายน<br>ธันวาคม<br>มกราคม<br>กุมภาพันธ์<br>มีนาคม<br>เมษายน<br>พฤษภาคม<br>มิถุนายน<br>กรกฎาคม<br>สิงหาคม<br>กันยายน<br>ตุลาคม | 2.68<br>0.01<br>0.74<br>0.74<br>3.2<br>17.68<br>98.94<br>141.94<br>136.86<br>178.88<br>173.68<br>39.40 | โซนที่ 5 | ลุ่มน้ำย่อยที่ 11 (สาขาแม่น้ำห้วยหลวง) | พฤศจิกายน<br>ธันวาคม<br>มกราคม<br>กุมภาพันธ์<br>มีนาคม<br>เมษายน<br>พฤษภาคม<br>มิถุนายน<br>กรกฎาคม<br>สิงหาคม<br>กันยายน<br>ตุลาคม | 1.68<br>0.02<br>0.58<br>2.58<br>1.36<br>6.20<br>48.46<br>63.58<br>61.24<br>94.78<br>87.02<br>11.40 |

ตารางที่ 3.2-23 (ต่อ) อัตราการเพิ่มเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน หลังจากปรับเทียบแบบจำลอง

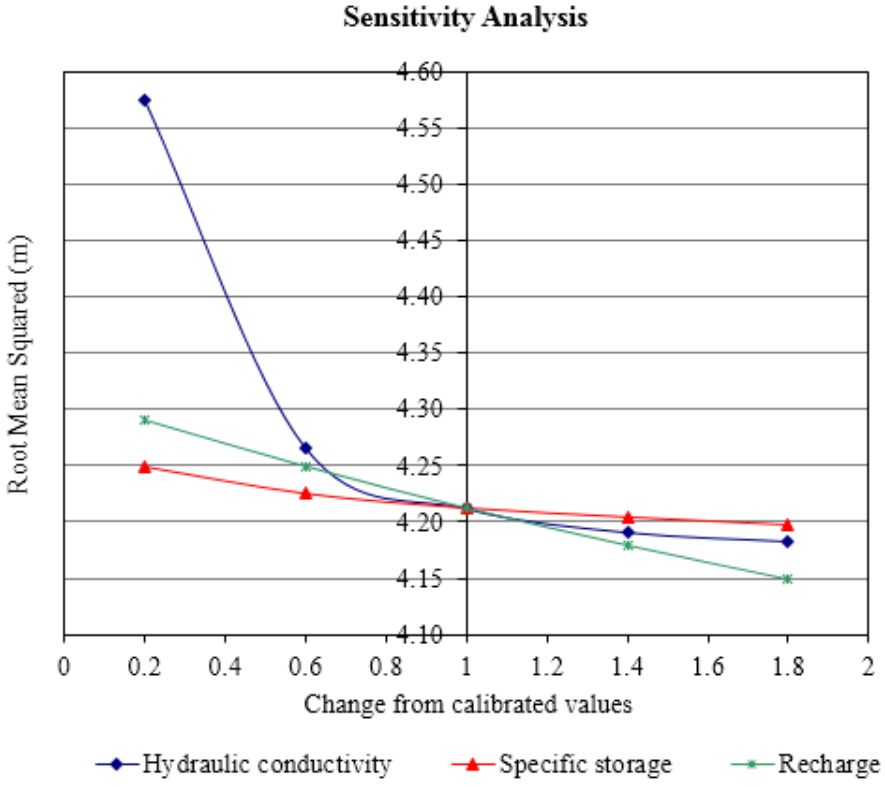
| พื้นที่ | คำอธิบาย | เดือน | อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (มม.) | พื้นที่ | คำอธิบาย | เดือน | อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (มม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| โซนที่ 6 | ลุ่มน้ำย่อยที่ 3 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | พฤศจิกายน | 2.06 | โซนที่ 8 | ลุ่มน้ำย่อยที่ 6 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | พฤศจิกายน | 2.04 |
| | | ธันวาคม | 0.02 | | | ธันวาคม | 0.04 |
| | | มกราคม | 0.44 | | | มกราคม | 0.48 |
| | | กุมภาพันธ์ | 0.48 | | | กุมภาพันธ์ | 0.56 |
| | | มีนาคม | 2.32 | | | มีนาคม | 2.40 |
| | | เมษายน | 11.78 | | | เมษายน | 11.62 |
| | | พฤษภาคม | 74.80 | | | พฤษภาคม | 73.02 |
| | | มิถุนายน | 111.38 | | | มิถุนายน | 109.30 |
| | | กรกฎาคม | 106.56 | | | กรกฎาคม | 105.44 |
| | | สิงหาคม | 143.64 | | | สิงหาคม | 139.20 |
| | | กันยายน | 150.64 | | | กันยายน | 149.16 |
| | | ตุลาคม | 33.60 | | | ตุลาคม | 33.64 |
| โซนที่ 7 | ลุ่มน้ำย่อยที่ 5 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | พฤศจิกายน | 4.23 | โซนที่ 9 | ลุ่มน้ำย่อยที่ 8 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | พฤศจิกายน | 2.26 |
| | | ธันวาคม | 0.00 | | | ธันวาคม | 0.02 |
| | | มกราคม | 0.49 | | | มกราคม | 0.36 |
| | | กุมภาพันธ์ | 0.63 | | | กุมภาพันธ์ | 0.50 |
| | | มีนาคม | 4.48 | | | มีนาคม | 2.54 |
| | | เมษายน | 23.69 | | | เมษายน | 13.20 |
| | | พฤษภาคม | 151.62 | | | พฤษภาคม | 82.32 |
| | | มิถุนายน | 228.51 | | | มิถุนายน | 126.48 |
| | | กรกฎาคม | 214.06 | | | กรกฎาคม | 118.06 |
| | | สิงหาคม | 287.84 | | | สิงหาคม | 151.38 |
| | | กันยายน | 288.82 | | | กันยายน | 153.15 |
| | | ตุลาคม | 64.40 | | | ตุลาคม | 34.86 |

ตารางที่ 3.2-23 (ต่อ) อัตราการเพิ่มเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน หลังจากปรับเทียบแบบจำลอง

| พื้นที่ | คำอธิบาย | เดือน | อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (มม.) | พื้นที่ | คำอธิบาย | เดือน | อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (มม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| โซนที่ 10 | ลุ่มน้ำย่อยที่ 12 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | พฤศจิกายน | 1.88 | โซนที่ 12 | ลุ่มน้ำย่อยที่ 14 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | พฤศจิกายน | 1.58 |
| | | ธันวาคม | 0.06 | | | ธันวาคม | 0.01 |
| | | มกราคม | 0.86 | | | มกราคม | 0.24 |
| | | กุมภาพันธ์ | 0.98 | | | กุมภาพันธ์ | 0.44 |
| | | มีนาคม | 2.78 | | | มีนาคม | 0.52 |
| | | เมษายน | 14.14 | | | เมษายน | 3.04 |
| | | พฤษภาคม | 80.18 | | | พฤษภาคม | 62.18 |
| | | มิถุนายน | 121.98 | | | มิถุนายน | 68.04 |
| | | กรกฎาคม | 123.54 | | | กรกฎาคม | 63.94 |
| | | สิงหาคม | 152.22 | | | สิงหาคม | 74.12 |
| | | กันยายน | 148.26 | | | กันยายน | 94.88 |
| | | ตุลาคม | 33.28 | | | ตุลาคม | 23.86 |
| โซนที่ 11 | ลุ่มน้ำย่อยที่ 13 (สาขาแม่น้ำสงคราม) | พฤศจิกายน | 2.20 | | | | |
| | | ธันวาคม | 0.04 | | | | |
| | | มกราคม | 0.36 | | | | |
| | | กุมภาพันธ์ | 0.56 | | | | |
| | | มีนาคม | 2.64 | | | | |
| | | เมษายน | 12.92 | | | | |
| | | พฤษภาคม | 81.76 | | | | |
| | | มิถุนายน | 125.78 | | | | |
| | | กรกฎาคม | 119.30 | | | | |
| | | สิงหาคม | 156.20 | | | | |
| | | กันยายน | 157.34 | | | | |
| | | ตุลาคม | 35.38 | | | | |




รูปที่ 3.2-40 การกระจายตัวของเส้นระดับแรงดันเท่ากันและทิศทางการไหลหลักของน้ำใต้ดิน




รูปที่ 3.2-41 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของชุดข้อมูลนำเข้าแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

การจำลองการแพร่กระจายน้ำใต้ดินเค็ม

การจำลองการแพร่กระจายน้ำใต้ดินเค็มเพื่อศึกษาศักยภาพแหล่งน้ำใต้ดินน้ำ ด้วยการใช้ค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ในการจำลองแสดงภาพรวมของการแพร่กระจายของมวลสาร แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณค่าการเคลื่อนที่ของมวลสารในน้ำใต้ดิน คือ MT3DMS (A Modular 3-Dimensional Multi-Species Transport Model) โดยการคำนวณและการจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสารต้องใช้ผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเป็นเงื่อนไขเริ่มต้น การจำลองต้องมีการนำเข้าข้อมูลแบบจำลองและกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเพิ่มเติมจากการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ได้แก่ ขอบเขตการเคลื่อนที่ของมวลสาร คุณสมบัติของวัตถุตัวกลาง และค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของมวลสารนั้นๆ การจำลองกำหนดให้มีการคำนวณการไหลแบบ Upstream finite difference และใช้การแก้สมการอนุพันธ์แบบ Generalized Conjugate Gradient (GCG) โดยทำการจำลองแบบสภาวะแปรเปลี่ยนตามเวลา มีระยะเวลาในการปรับเทียบแบบจำลอง 1 ปี (365 วัน) โดยที่ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการจำลองการแพร่กระจายน้ำใต้ดินเค็ม ประกอบด้วย

1) ความพรุน (porosity)

การคำนวณการไหลของน้ำใต้ดิน (MODFLOW) จะไม่ต้องการค่าความพรุน แต่จะใช้ในการคำนวณการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน (MT3DMS) ในการจำลองกำหนดให้ หน่วยหินภูทอก หน่วยหินมหาสารคาม และและเกลือหิน มีค่าความพรุนทั้งหมดเท่ากับ 0.12, 0.12 และ $1\times10^{-5}$ และความพรุนประสิทธิผลเท่ากับ 0.15, 0.15 และ $1\times10^{-4}$ (Spitz and Moreno, 1996) ตามลำดับ

2) ค่าความเข้มข้นสารละลายเริ่มต้น (initial concentration)

การจำลองใช้ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้เป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น ใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 เป็นข้อมูลจากการติดตามคุณภาพน้ำใต้ดินของบ่อสังเกตการณ์ (รูปที่ 3.2-42) และนำข้อมูลมาพล็อตเส้นชั้นความเข้มข้นของสารทั้งหมดที่ละลายได้เท่ากันทั้งในแนวระนาบและแนวภาพตัดขวาง ทำให้ได้ลักษณะการกระจายตัวของปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายในน้ำ เพื่อใช้เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นของแบบจำลอง (รูปที่ 3.2-43)

3) ค่าการแพร่กระจายตัวของสาร (dispersivity, $\alpha$)

ค่าการแพร่กระจายตัวของมวลสารผ่านวัตถุตัวกลางมีทั้งแนวราบ (แกน X และ Y) และแนวดิ่ง (แกน Z) อ้างอิงจากชนิดของวัตถุตัวกลางที่มวลสารนั้น ๆ เคลื่อนที่ผ่าน ค่าการแพร่กระจายได้จากระยะทางการไหลของน้ำใต้ดินผ่านวัตถุตัวกลาง โดยที่ค่าการแพร่กระจายในแนวดิ่งมีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของการแพร่กระจายในแนวราบ การจำลองกำหนดให้ค่าแพร่กระจายของชั้นหินอุ้มน้ำที่เป็นหินแข็งของหน่วยหินภูทอก หน่วยหินมหาสารคาม และเกลือหิน มีค่าเท่ากับ 500, 200 และ 200 เมตร ตามลำดับ (Spizt and Moreno, 1996)

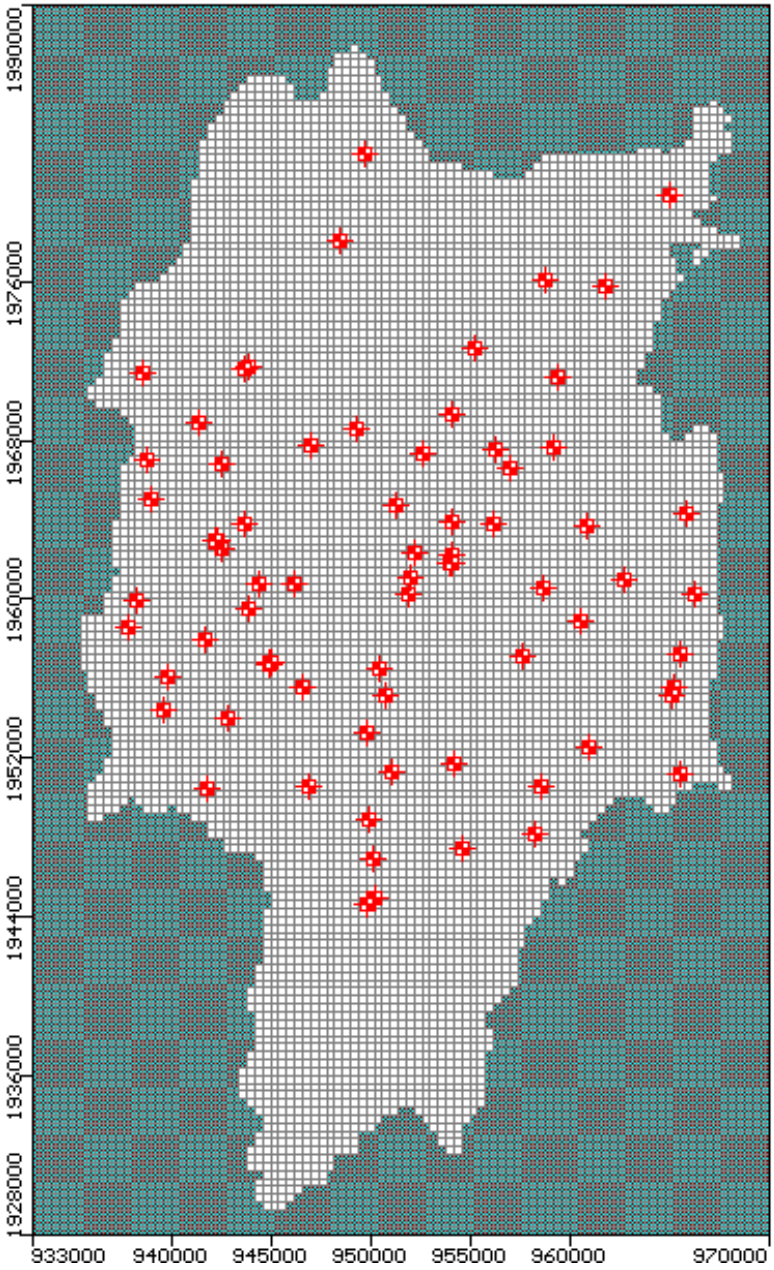
4) ค่าความเข้มข้นคงที่ (constant concentration)

การจำลองกำหนดให้ขอบเขตหรือความเข้มข้นของแหล่งกำเนิดบริเวณเกลือหิน โดยใช้ค่าปริมาณสารละลายทั้งหมดที่ละลายได้ กำหนดให้มีค่า 240,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

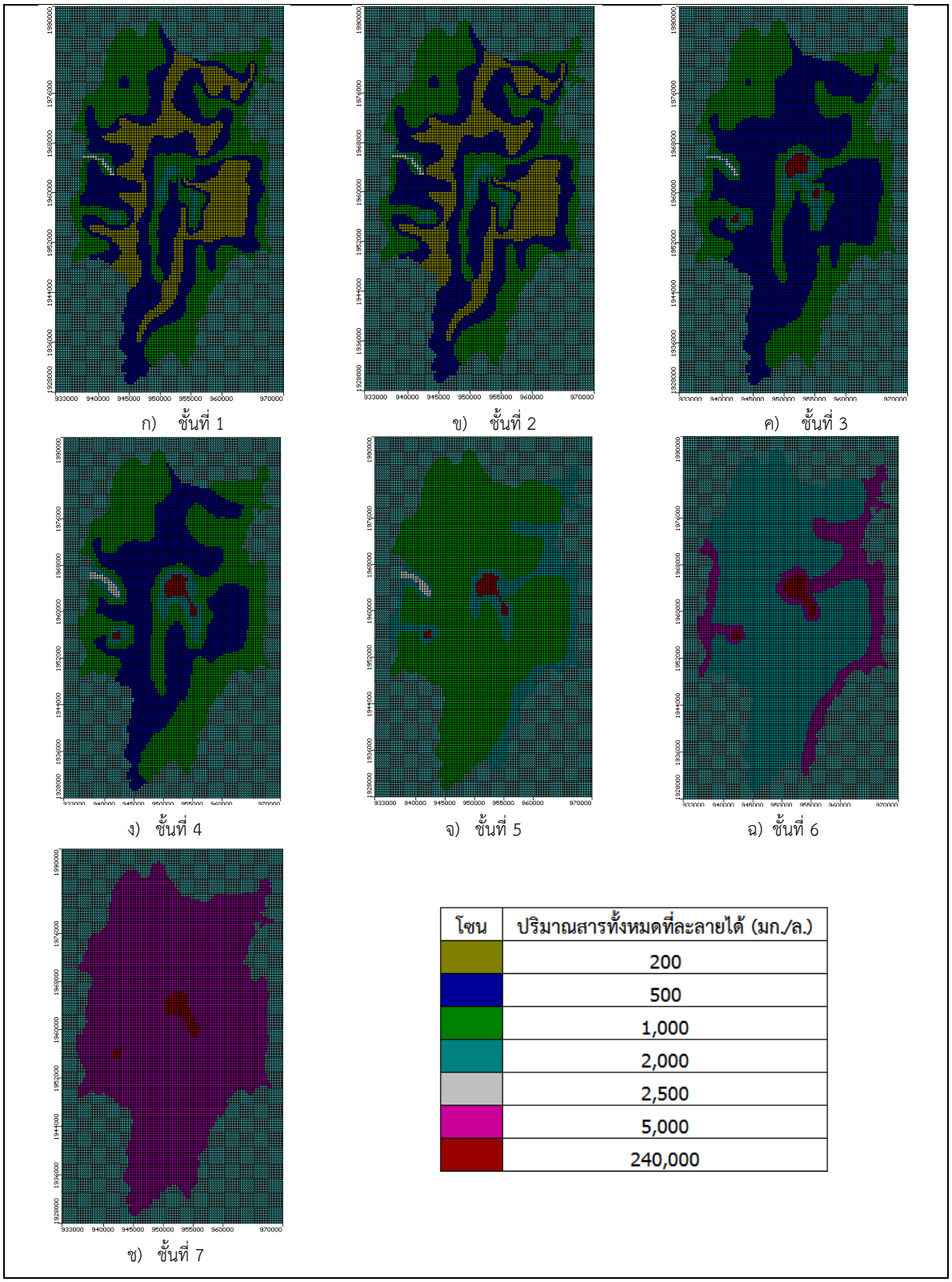
การจำลองใช้ค่าปริมาณสารละลายทั้งหมดที่ละลายได้ในการเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำใต้ดิน จำนวน 9 ครั้ง ดังนี้

1) ระหว่าง 23 - 26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562
2) ระหว่าง 25 - 28 ธันวาคม พ.ศ. 2562
3) ระหว่าง 25 - 28 มกราคม พ.ศ. 2562
4) ระหว่าง 23 - 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562
5) ระหว่าง 22 - 26 มีนาคม พ.ศ. 2562
6) ระหว่าง 28 เมษายน - 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2562
7) ระหว่าง 25-29 พฤษภาคม พ.ศ. 2562
8) ระหว่าง 27-29 มิถุนายน พ.ศ. 2562
9) ระหว่าง 3-6 สิงหาคม พ.ศ. 2562

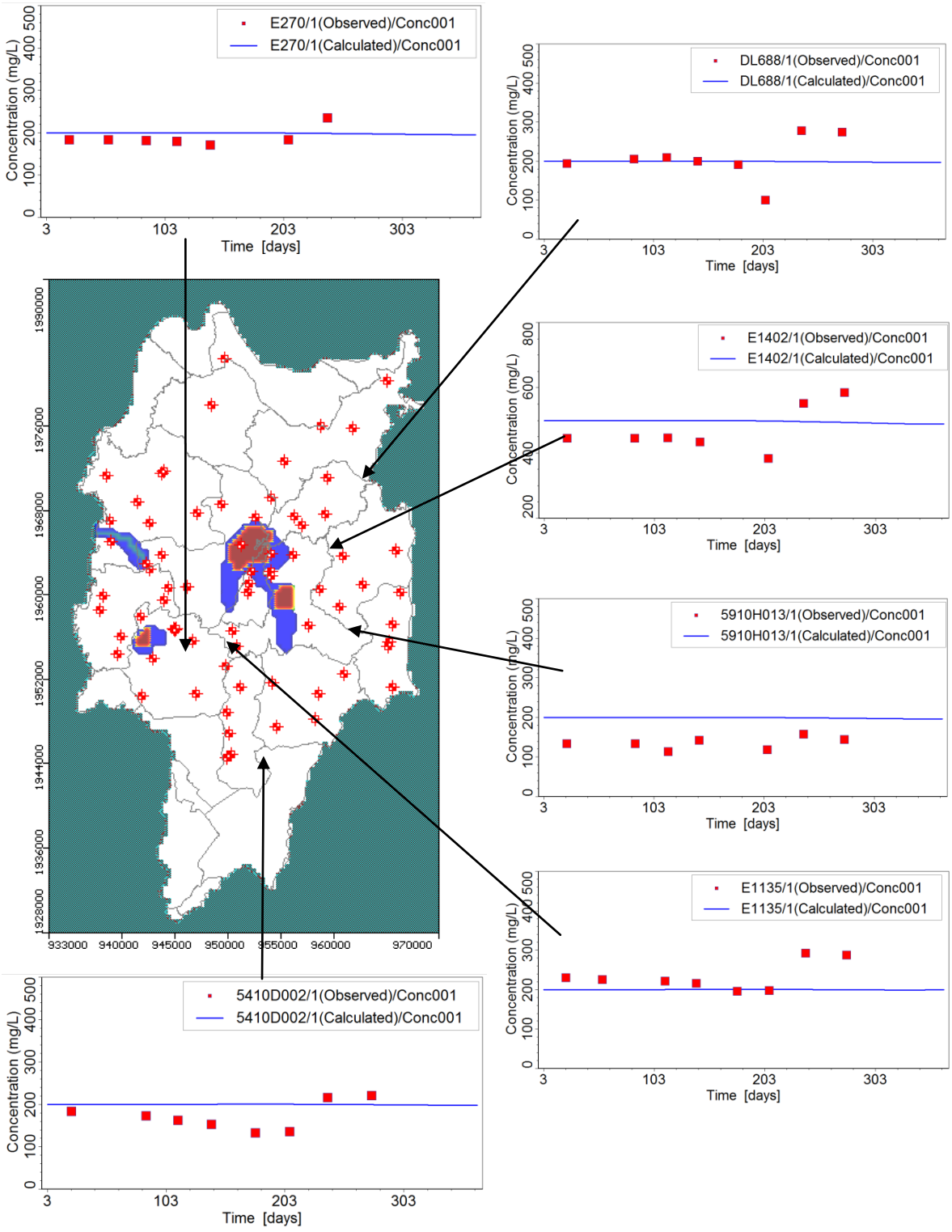
จากบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการสำรวจจำนวน 78 บ่อ (รูปที่ 3.2-42) ในการจำลองมีการปรับค่าการแพร่กระจายของมวลสาร (Dispersivity) ซึ่งผลจากการปรับค่าได้ค่าการแพร่กระจายของแต่ละหน่วยหิน (ตารางที่ 3.2-24) ซึ่งให้ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการจำลองมีค่าประมาณ 294.93 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าความเบี่ยงเบนคลาดเคลื่อนร้อยละ 12.35 และจากการปรับเทียบแบบจำลองจะเห็นว่ากราฟที่ได้จากการจำลองมีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในภาคสนาม (รูปที่ 3.2-44)




รูปที่ 3.2-42 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ของน้ำใต้ดิน




รูปที่ 3.2-43 การกระจายตัวของค่าความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น




รูปที่ 3.2-44 ความสัมพันธ์ของค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำใต้ดิน ระหว่างค่าตรวจวัดและคำนวณ

ตารางที่ 3.2-24 ค่าการแพร่กระจายของมวลสารของแต่ละหน่วยหิน

| หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา | Longitudinal Dispersivity (m) | Transverse Dispersivity (m) |
|---|---|---|
| - หน่วยหินภูทอก | 200 | 10 |
| - หน่วยหินมหาสารคาม | 100 | 10 |
| - หินเกลือ | 100 | 10 |

หมายเหตุ: Longitudinal Dispersivity (แกนx,y) คือ ค่าการแพร่กระจายของมวลสารในแนวหลัก (เมตร)
Transverse Dispersivity (แกน z) คือ ค่าการแพร่กระจายในแนวตั้งฉากกับแนวหลัก (เมตร)

3.2.7 การจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ

ดำเนินการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการโครงการเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการน้ำน้ำผิวดิน ในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็มอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ระหว่างเดือน กรกฎาคม ถึง สิงหาคม 2562 จำนวน 6 ครั้ง ๆ ละ 1 วัน (รูปที่ 3.2-45) ในพื้นที่ 12 ตำบล 1 เทศบาล อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี รายละเอียดดังตารางที่ 3.2-25 และจัดประชุมโครงการเสริมสร้างความรู้โดยการถ่ายทอดผลงานวิจัย จำนวน 1 ครั้ง ณ ห้องประชุมศรีสุทโธ ชั้น 3 สำนักงานเทศบาลเมืองบ้านดุง ในวันอังคารที่ 17 กันยายน 2562 (รูปที่ 3.2-46)

ตารางที่ 3.2-25 รายละเอียดจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ

| ครั้งที่ | วัน – เดือน - ปี | สถานที่ | ผู้เข้าร่วมประชุม |
|---|---|---|---|
| 1 | วันอังคารที่ 23 กรกฎาคม 2562 | ห้องประชุมศรีสุทโธ ชั้น 3 สำนักงานเทศบาลเมืองบ้านดุง | เทศบาลเมืองบ้านดุง/ อบต.บ้านดุง /และ อบต.โพนสูง |
| 2 | วันพุธที่ 24 กรกฎาคม 2562 | ห้องประชุมองค์การบริหารส่วนตำบลนาไหม | อบต.ถ่อนนาลับ และ อบต.นาไหม |
| 3 | วันพฤหัสบดีที่ 25 กรกฎาคม 2562 | ห้องประชุมองค์การบริหารส่วนตำบลนาคำ | อบต.นาคำ และ อบต.บ้านชัย |
| 4 | วันอังคารที่ 20 สิงหาคม 2562 | ห้องประชุมองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านตาด | อบต.บ้านตาด และ อบต.อ้อมกอ |
| 5 | วันพุธที่ 21 สิงหาคม 2562 | ห้องประชุมองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านม่วง | อบต.บ้านม่วง และ อบต.ดงเย็น |
| 6 | วันพฤหัสบดีที่ 22 สิงหาคม 2562 | ห้องประชุมองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านจันทร์ | อบต.บ้านจันทร์ และ อบต.วังทอง |

การประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1-6 ผู้เข้าร่วมประชุมประกอบด้วย ผู้แทนภาคประชาชน ผู้แทนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ผู้แทนหน่วยงานราชการ/ภาคเอกชน และสำหรับการประชุมสรุปผลการศึกษา ผู้เข้าร่วมประชุมประกอบด้วย ประชาชน เยาวชน/นักเรียน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานราชการ/ภาคเอกชนในพื้นที่ เนื้อหากิจกรรมที่นำเสนอได้แก่ 1. แนวนโยบายและทิศทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในปัจจุบัน 2. สถานภาพ ศักยภาพพื้นที่ด้านทรัพยากรน้ำและการสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะฯ กับการบริหารจัดการน้ำ และ 3. แบ่งกลุ่มการวางแผนการสำรองน้ำเพื่ออุปโภคบริโภค นำเสนอผลการประชุมย่อย ซักถาม แลกเปลี่ยนความคิดเห็นและสรุปผล

สำหรับการประชุมโครงการเสริมสร้างความรู้โดยการถ่ายทอดผลงานวิจัย ผู้เข้าร่วมประชุมประกอบด้วย ประชาชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานราชการ/ภาคเอกชนในพื้นที่ เนื้อหากิจกรรมที่นำเสนอได้แก่ ผลการศึกษา

รูปที่ 3.2-45 ประชุมเชิงปฏิบัติการโครงการเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการน้ำน้ำผิวดิน ในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็มอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ในช่วงเดือนกรกฎาคม ถึง สิงหาคม 2562

รูปที่ 3.2-46 การประชุมโครงการเสริมสร้างความรู้โดยการถ่ายทอดผลงานวิจัย

# บทที่ 4
# ผลการศึกษา

## 4.1 สถานภาพและศักยภาพเกี่ยวกับชุมชนด้านทรัพยากรน้ำ

4.1.1 ผลการสำรวจข้อมูลการใช้น้ำอุปโภคบริโภค

จากการรวบรวมข้อมูลมาตรวัดน้ำประปาของชุมชนในพื้นที่ศึกษา 12 ตำบล โดยเก็บข้อมูลประชากรตัวแทนจากแต่ละตำบล ๆ ละ ๓-๔ หมู่บ้าน นำมาประมวลและสรุปเป็นค่าปริมาณการใช้น้ำประปาเฉลี่ยจำนวนลิตรต่อคนต่อวัน ของแต่ละชุมชน แสดงดังตารางที่ 4.1-1 พบว่า มีค่าเฉลี่ย 147.06 ลิตรต่อคนต่อวัน และมีค่าการใช้น้ำประปาสูงสุด 212.68 ลิตรต่อคนต่อวัน ในเขตเทศบาลเมืองศรีสุทโธ และมีค่าการใช้น้ำประปาต่ำที่สุด 93.35 ลิตรต่อคนต่อวัน ในตำบลบ้านดุง (ตารางที่ 4.1-1)

ตารางที่ 4.1-1 อัตราการใช้น้ำประปาของชุมชนรายตำบล อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี

| ลำดับที่ | ตำบล/เทศบาล | ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อคนต่อปี (ลูกบาศก์เมตร) | ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อคนต่อปี (ลิตร) | ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อคนต่อเดือน (ลิตร) | ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อคนต่อวัน (ลิตร) | ปริมาณน้ำที่ใช้ทั้งตำบลต่อวัน (ลูกบาศก์เมตร) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ศรีสุทโธ | 77.63 | 77,629 | 6,469.06 | 212.68 | 3,379.30 |
| 2 | บ้านดุง | 34.07 | 34,073 | 2,839.43 | 93.35 | 1,138.70 |
| 3 | โพนสูง | 51.90 | 51,902 | 4,325.20 | 142.20 | 1,628.88 |
| 4 | ถ่อนนาลับ | 52.68 | 52,683 | 4,390.25 | 144.34 | 785.48 |
| 5 | นาไหม | 52.46 | 52,455 | 4,371.29 | 143.71 | 1,510.57 |
| 6 | นาคำ | 63.25 | 63,245 | 5,270.44 | 173.27 | 1,758.91 |
| 7 | บ้านชัย | 51.76 | 51,764 | 4,313.63 | 141.82 | 1,256.20 |
| 8 | บ้านจันทร์ | 50.46 | 50,456 | 4,204.71 | 138.24 | 1,989.92 |
| 9 | วังทอง | 42.07 | 42,074 | 3,506.14 | 115.27 | 719.98 |
| 10 | บ้านม่วง | 57.58 | 57,577 | 4,798.10 | 157.75 | 1,348.88 |
| 11 | ดงเย็น | 58.00 | 58,002 | 4,833.53 | 158.91 | 1,092.51 |
| 12 | บ้านตาด | 48.50 | 48,497 | 4,041.39 | 132.87 | 943.09 |
| 13 | อ้อมกอ | 57.43 | 57,429 | 4,785.71 | 157.34 | 1,369.47 |
| มากที่สุด | | 77.63 | 77,629 | 6,469.06 | 212.68 | 3,379.30 |
| น้อยที่สุด | | 34.07 | 34,073 | 2,839.43 | 93.35 | 719.98 |
| เฉลี่ย | | 53.68 | 53,676 | 4,472.99 | 147.06 | 1,455.53 |

4.1.2 ผลการศึกษาโดยการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ

ผลการประเมินจัดประชุมเชิงปฏิบัติการให้ความรู้แนวทางการบริหารจัดการน้ำเบื้องต้น พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี จำนวน 6 ครั้ง โดยใช้แบบสอบถามเพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ เนื้อหาและสาระการอบรม เทคนิคการนำเสนอ สถานที่และประโยชน์ที่ได้รับจากการบรรยาย และนำมาประเมินเป็นค่าทางสถิติของค่าคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยแต่ละครั้ง พบว่า ในภาพรวมทุกครั้งอยู่ที่ระดับความพึงพอใจมาก ครั้งที่ 6 ค่าเฉลี่ยสูงสุด 4.03 และครั้งที่ 5 ค่าเฉลี่ยต่ำสุด 3.70 (ตารางที่ 4.1-2)

ตารางที่ 4.1-2 คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยของการประชุมเชิงปฏิบัติการให้ความรู้แนวทางการบริหารจัดการน้ำเบื้องต้น

| เนื้อหา | คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | ครั้งที่ 5 | ครั้งที่ 6 |
| 1.หัวข้อบรรยายสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการอบรม | 3.98 | 4.02 | 4.14 | 4.10 | 4.00 | 4.07 |
| 2.ปริมาณเวลาทั้งหมดของการอบรม | 3.80 | 3.56 | 3.81 | 3.84 | 3.66 | 3.78 |
| 3.เนื้อหาสาระในการอบรมตรงกับความต้องการ | 3.93 | 4.07 | 3.89 | 4.10 | 3.83 | 4.07 |
| 1.เทคนิคการนำเสนอของวิทยากร | 3.90 | 3.95 | 3.98 | 3.97 | 3.79 | 4.00 |
| 2.วิทยากรนำเสนอเนื้อหาครบถ้วนและน่าสนใจ | 4.00 | 4.21 | 4.11 | 3.97 | 3.79 | 4.11 |
| 3.สื่อประกอบการนำเสนอของวิทยากร | 3.78 | 3.95 | 4.00 | 3.94 | 3.62 | 4.07 |
| 4.การบริหารเวลาของวิทยากร | 3.76 | 3.89 | 3.95 | 4.10 | 3.62 | 3.85 |
| 5.ความพึงพอใจในวิทยากรโดยภาพรวม | 3.85 | 4.11 | 4.04 | 4.03 | 3.62 | 4.07 |
| 1.ห้องบรรยาย | 4.32 | 4.28 | 3.77 | 4.29 | 3.90 | 4.33 |
| 2.อาหารและเครื่องดื่ม | 4.05 | 4.09 | 3.84 | 3.68 | 3.59 | 4.07 |
| 3.การบริการ การอำนวยความสะดวกต่าง ๆ | 4.05 | 4.11 | 4.02 | 4.06 | 3.72 | 4.04 |
| 4.ความพึงพอใจในการบริการโดยภาพรวม | 4.00 | 3.98 | 3.98 | 3.90 | 3.41 | 4.04 |
| 1.ท่านได้รับประโยชน์จากการอบรม | 3.80 | 4.02 | 4.05 | 3.97 | 3.79 | 4.15 |
| 2.ท่านคาดว่าจะนำความรู้ความเข้าใจ ทักษะที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ได้ | 3.66 | 3.93 | 3.95 | 3.77 | 3.52 | 3.74 |
| 3.ท่านมีความพึงพอใจที่ได้เข้าร่วมกิจกรรม | 4.02 | 4.04 | 4.09 | 4.00 | 3.79 | 4.11 |
| 4.ระยะเวลาการอบรม สอดคล้องกับเนื้อหา | 3.85 | 3.84 | 4.00 | 3.97 | 3.55 | 3.96 |
| ค่าเฉลี่ย | 3.92 | 4.00 | 3.98 | 3.98 | 3.70 | 4.03 |

ระดับความพึงพอใจ

| คะแนน | คำอธิบาย | ช่วงคะแนน |
|---|---|---|
| 5 | มากที่สุด | 4.24 – 5.00 |
| 4 | มาก | 3.43 – 4.23 |
| 3 | ปานกลาง | 2.62 – 3.42 |
| 2 | น้อย | 1.81 – 2.61 |
| 1 | น้อยที่สุด | 1.00 – 1.80 |

## 4.2 สถานภาพและศักยภาพเกี่ยวกับกายภาพพื้นที่ด้านทรัพยากรน้ำ

4.2.1 ผลการสำรวจการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำและคุณภาพน้ำ

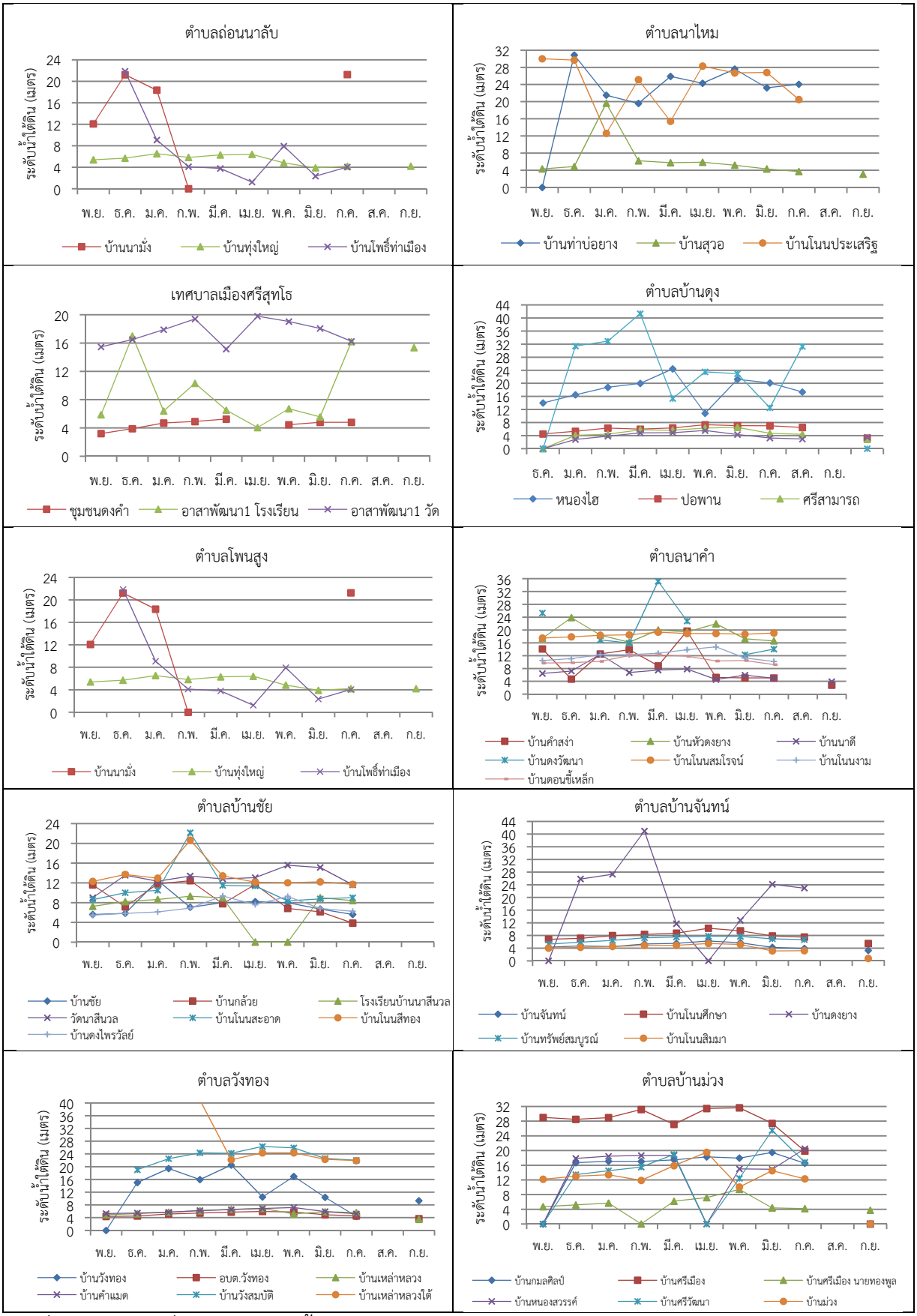
ข้อมูลการวัดระดับน้ำใต้ดินรายเดือนในพื้นที่ศึกษา แสดงด้วยกราฟการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินของพื้นที่ศึกษารายตำบล (รูปที่ 4.2-1) การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินแสดงความสัมพันธ์กับช่วงแล้งและฤดูฝน โดยที่มีระดับน้ำใต้ดินลึกในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนธันวาคม ถึง เดือนเมษายน และตื้นขึ้นในช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง เดือนสิงหาคม ตำบลที่มีระดับน้ำใต้ดินลึกที่สุดในช่วงฤดูแล้งคือตำบลนาคำ (ไม่ได้เกิดขณะปั๊ม) และตำบลที่มีระดับน้ำใต้ดินตื้นที่สุดในช่วงฤดูฝนคือตำบลบ้านจันทน์ ตำบลนาไหม และตำบลบ้านตาด

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำใต้ดินที่ได้เก็บตัวอย่างเป็นตัวแทนจากแต่ละตำบลของพื้นที่อำเภอบ้านดุง ส่วนใหญ่มีคุณภาพในเกณฑ์ใช้ได้ มีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Dissolved solid, TDS) ส่วนใหญ่มีค่าไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นตัวอย่างจากบ้านโพธิ์ท่าเมือง ตำบลถ่อนนาลับ จากบ้านดงค้าพัฒนา ตำบลโพนสูง และจากวัดสุวรรณภูมิ บ้านนาคำวัง ตำบลนาไหม ที่มีค่าสูงซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณแคลเซียม โซเดียม ซัลเฟต ซึ่งจะบ่งชี้ถึง ความกระด้างสูง และการตกตะกอนแคลเซียมซัลเฟต หรือแคลเซียมคาร์บอเนต (ตารางที่ ๓.๒-๕ และ๓.๒-๖) จากการวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจระหว่างวันที่ 23-26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561และจัดทำในรูปแบบของแผนที่และภาพตัดขวางแสดงการกระจายตัวของปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำใต้ดิน พบว่าคุณภาพของน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่รับน้ำ การกระจายตัวของปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำใต้ดินมีค่าไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นน้ำจืด ส่วนพื้นที่สูญเสียน้ำ ที่พบการโผล่ปรากฏของคราบเกลือบนผิวดิน ได้แก่ บริเวณลุ่มน้ำห้วยหลวง ลุ่มน้ำสงคราม ห้วยทวน อ่างเก็บน้ำมะนาว และห้วยลืมบอง การกระจายตัวของปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำใต้ดินมีค่ามากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นน้ำกร่อย เนื่องจากบริเวณพื้นที่อำเภอบ้านดุง บางแห่งมีปัญหาเรื่องน้ำใต้ดินเค็ม ที่เป็นผลกระทบจากชั้นหินเกลือของหน่วยหินมหาสารคาม ทั้งที่โผล่ปรากฏบนผิวดินและรองรับอยู่ด้านล่างหน่วยหินภูทอก (รูปที่ 4.2-2 รูปที่ 4.2-3 และ รูปที่ 4.2-4)

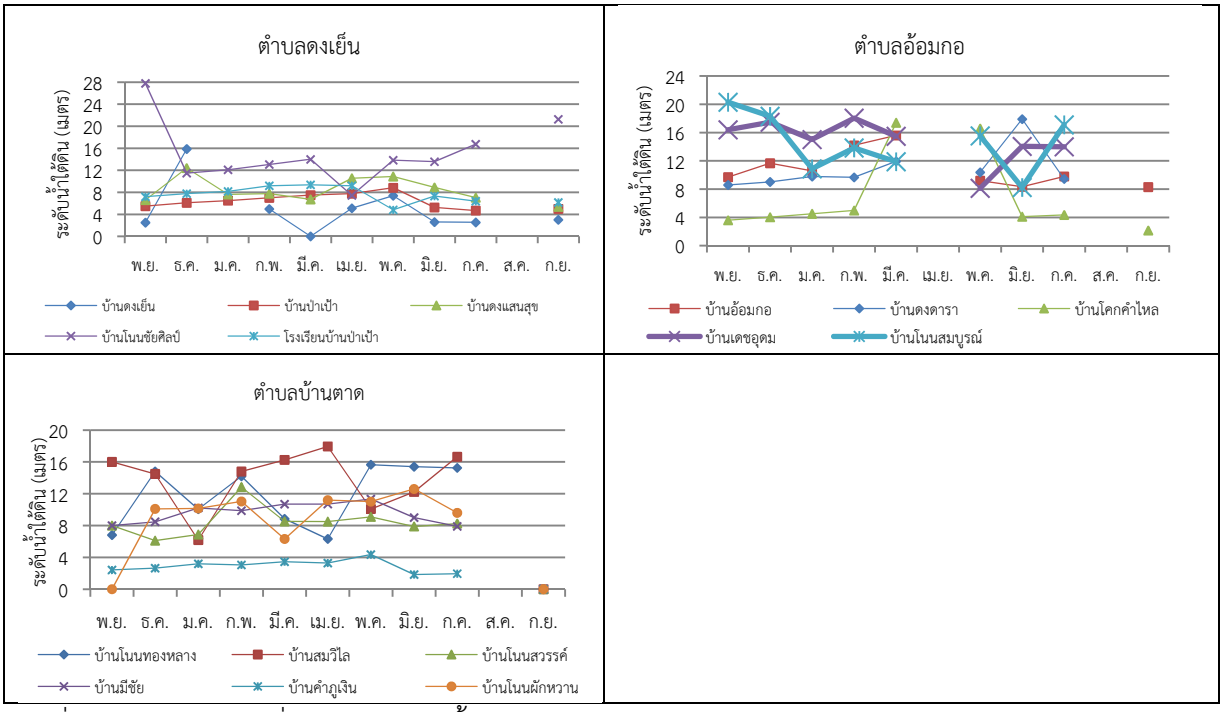
นอกจากนั้นได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดำเนินการในช่วง วันที่ 26-30 เมษายน 2562 จำนวน 66 ตัวอย่าง และระหว่างวันที่ 2-8 สิงหาคม 2562 จากบ่อบาดาลเดิมที่มีอยู่ คุณสมบัติทางเคมีของน้ำใต้ดิน โดยทั่วไปจะเปลี่ยนแปลงตามการไหลของน้ำใต้ดิน เริ่มตั้งแต่มีการเติมน้ำฝนเข้าสู่ระบบน้ำใต้ดินหรือหินอุ้มน้ำไหลผ่านชั้นดินและชั้นหิน ซึ่งจะละลายเอาส่วนประกอบของชั้นหินอุ้มน้ำเหล่านั้นไปด้วย ปริมาณสารที่ละลายอยู่ในน้ำใต้ดินจะเพิ่มขึ้นตามทิศทางการไหลของน้ำ เนื่องจากการละลายของแร่ที่อยู่ในหิน (Freeze and Cherry, 1979) และการเปลี่ยนแปลงของอิออนหลักในระบบการไหล (Toth, 1984) เมื่ออายุของน้ำและระยะการไหลเพิ่มขึ้น องค์ประกอบทางเคมีของน้ำใต้ดินจะเป็นดังนี้

$$HCO_3^- \longrightarrow HCO_3^-, SO_4^{2-} \longrightarrow SO_4^{2-} \longrightarrow SO_4^{2-}, Cl^- \longrightarrow Cl^-, SO_4^{2-} \longrightarrow Cl^-$$

ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของน้ำใต้ดินได้นำมาตรวจสอบสมดุลไอออนบวกและไอออนลบ ความสัมพันธ์ของผลรวมของไอออนหลักกับค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำ จำแนกรูปแบบทางเคมีของน้ำใต้ดินโดยทำแผนภูมิ Piper (Piper diagram) และวิเคราะห์ลักษณะการกระจายของรูปแบบทางเคมีในเชิงพื้นที่ พบว่ารูปแบบทางเคมีสอดคล้องกับปริมาณของสารที่ละลายอยู่ในน้ำและรูปแบบการไหลของน้ำ




รูปที่ 4.2-1 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินรายเดือนของแต่ละตำบล อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดร



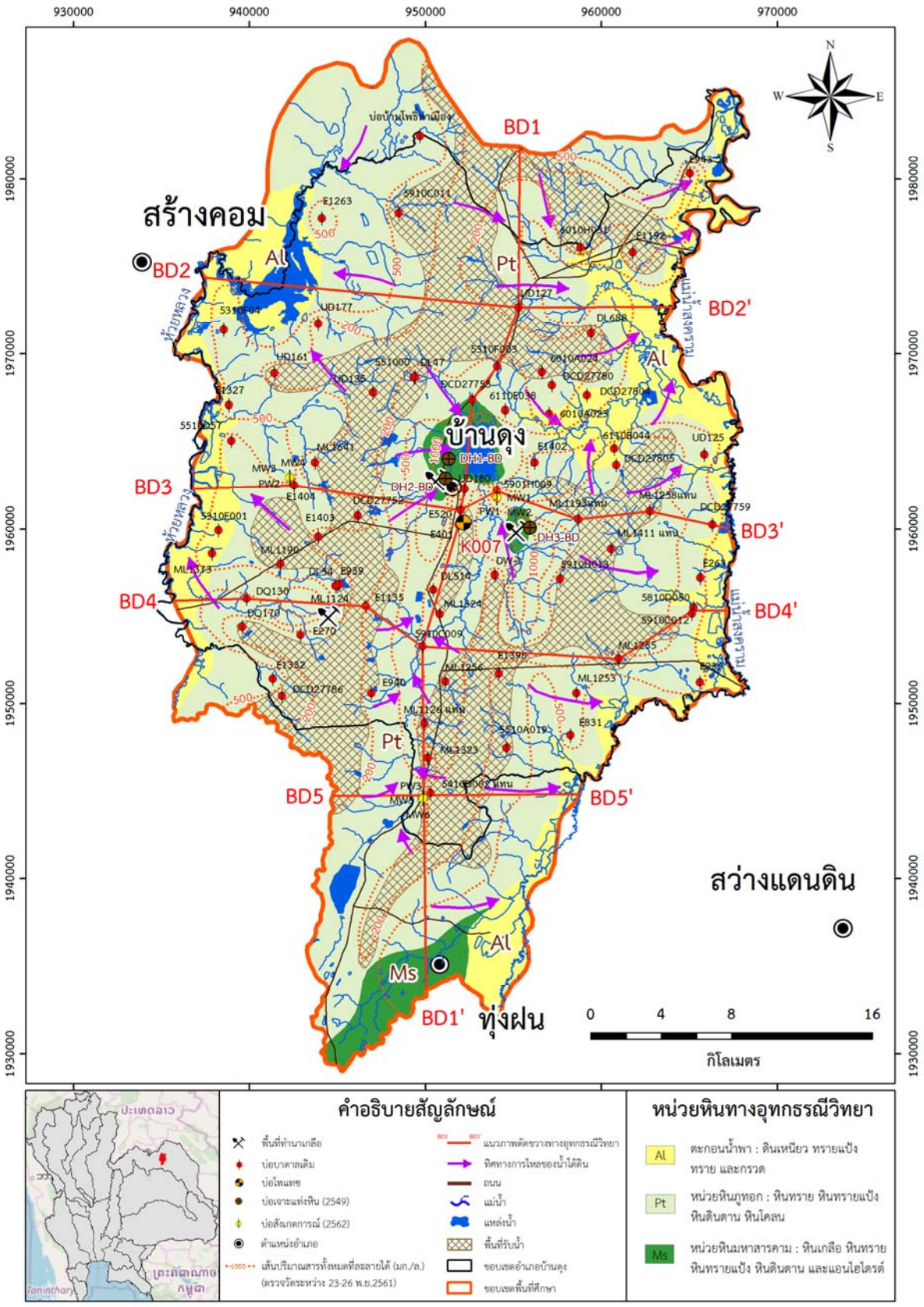

รูปที่ 4.2-1(ต่อ) การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินรายเดือนของแต่ละตำบล อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดร

รูปแบบทางเคมีของน้ำ คือ การจัดกลุ่มของน้ำตามอนุมูลหลักที่พบในน้ำใต้ดินของกลุ่มอิออนบวก และอิออนลบ เป็นข้อมูลสำคัญที่นำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลทางชลศาสตร์ในการประเมินทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน จำแนกพื้นที่รับน้ำ พื้นที่สูญเสียน้ำ เขตรอยต่อระหว่างพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำ และกระบวนการทางอุทกธรณีเคมีที่มีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของสารหลักที่ละลายอยู่ในน้ำใต้ดิน รูปแบบทางเคมีของน้ำใต้ดินพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วยรูปแบบทางเคมีของน้ำใต้ดิน จำนวน 18 รูปแบบ ใน 3 กลุ่ม ดังนี้ (ภาคผนวก)

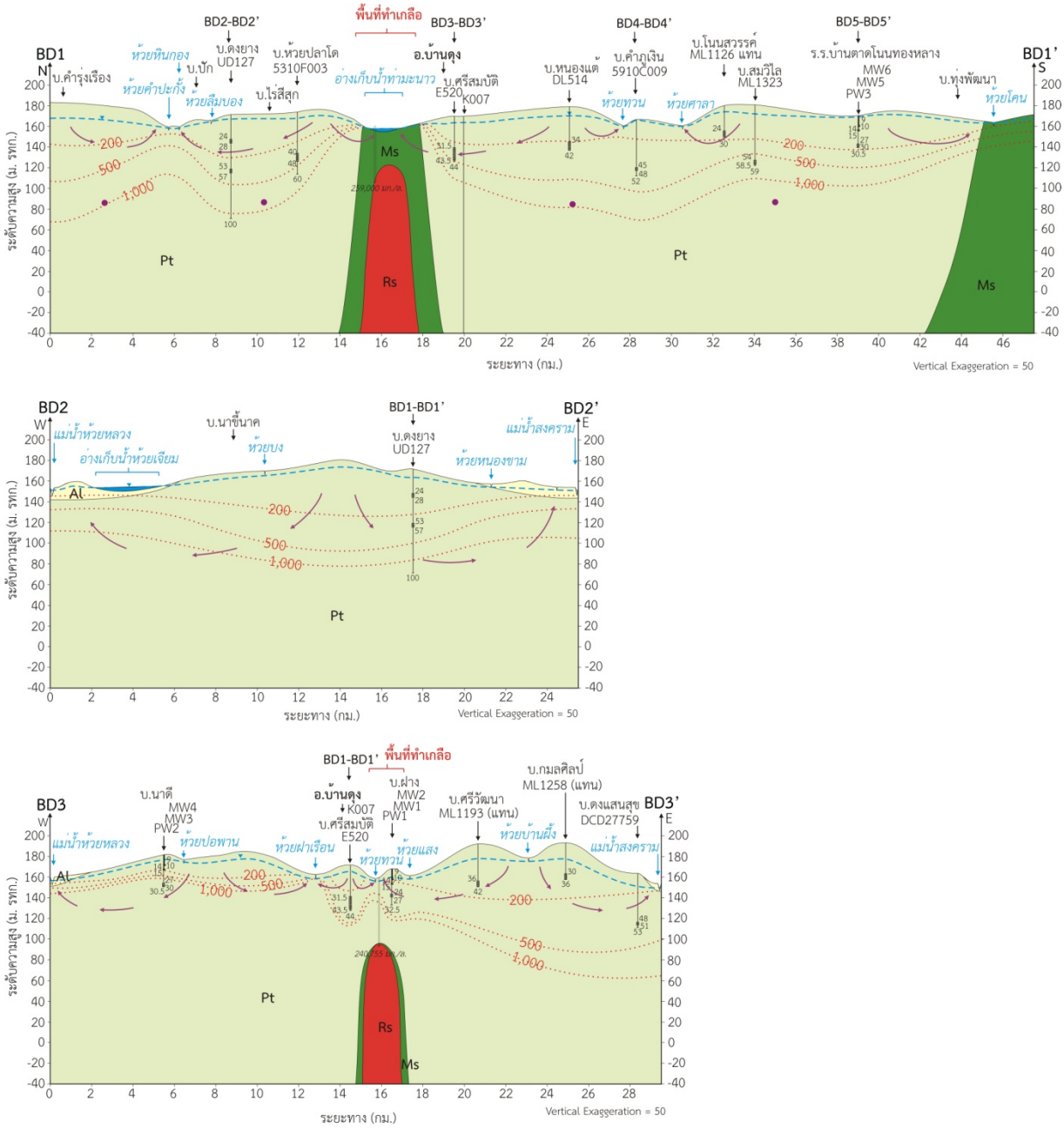
กลุ่มคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต ($CO_3^{=}$, $HCO_3^{-}$) ประกอบด้วย แบบ Ca-$CO_3$, Mg-CO3, Na-$CO_3$, Mg-Na-Ca-$CO_3$, Ca-$CO_3$-$HCO_3$, Mg-$CO_3$-$HCO_3$, Na-$CO_3$-$HCO_3$, Ca-$CO_3$-$HCO_3$-$SO_4$, Ca-Mg-$CO_3$-$HCO_3$, Mg-Ca-$CO_3$-$HCO_3$, Na-Ca-$CO_3$-$HCO_3$, Ca-Mg-Na-$CO_3$-$HCO_3$, Ca-Na-$CO_3$-$HCO_3$, Na-Mg-Ca-$CO_3$-$HCO_3$, Na-Ca-$CO_3$-CL และแบบ Ca-Mg-Na-$CO_3$-Cl พบในน้ำใต้ดินที่มีการกระจายตัวอยู่ในภูมิประเทศสูงซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากน้ำฝน น้ำใต้ดินในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่เป็นน้ำจืด

กลุ่มไบคาร์บอเนตและซัลเฟต ($SO_4^{=}$, $HCO_3^{-}$,) ประกอบด้วย แบบ Ca-$SO_4$, Ca-$CO_3$-$SO_4$ , Ca-$SO_4$-$HCO_3$, Ca-Mg-$HCO_3$-$SO_4$, Ca-Mg-$HCO_3$-Cl, Mg- Ca-Na-$HCO_3$-$SO_4$-Cl, และแบบ Ca-$CO_3$-CL-$HCO_3$ เป็นกลุ่มที่น้ำใต้ดินมีการผสมกัน จัดเป็นบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นที่รับน้ำและพื้นที่ให้น้ำ เป็นบริเวณที่น้ำใต้ดินไหลค่อนข้างช้า คุณภาพน้ำเป็นน้ำจืดถึงกร่อย

กลุ่มคลอไรด์ ($Cl^{-}$) ประกอบด้วย Cl, Na-Ca-Mg-Cl, Na-Ca-Cl, Mg-Na-Ca-Cl, Mg–Na-Ca-Cl-$SO_4$, Mg-Na-Cl- **$HCO_3$,** และ Ca-Na-Mg-Cl- **$HCO_3$,** เป็นกลุ่มที่น้ำใต้ดินมีการกระจายตัวบริเวณพื้นที่ให้น้ำ คุณภาพน้ำเป็นน้ำกร่อยถึงเค็ม




รูปที่ 4.2-2 การกระจายตัวของค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS, mg/l) อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี



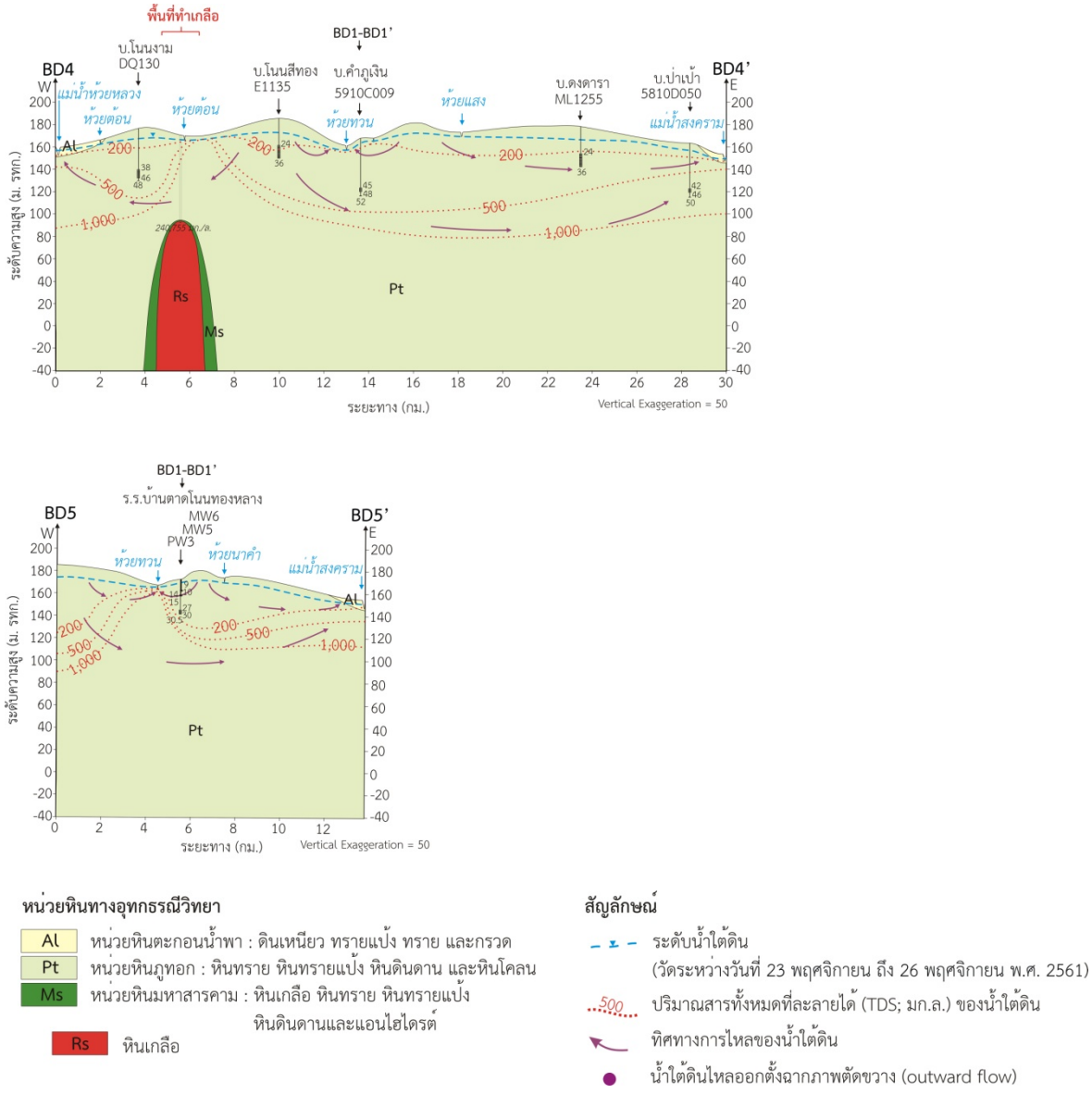

**หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา**

- Al หน่วยหินตะกอนน้ำพา : ดินเหนียว ทรายแป้ง ทราย และกรวด
- Pt หน่วยหินภูทอก : หินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน และหินโคลน
- Ms หน่วยหินมหาสารคาม : หินเกลือ หินทราย หินทรายแป้ง หินดินดานและแอนไฮไดรต์
- Rs หินเกลือ

**สัญลักษณ์**

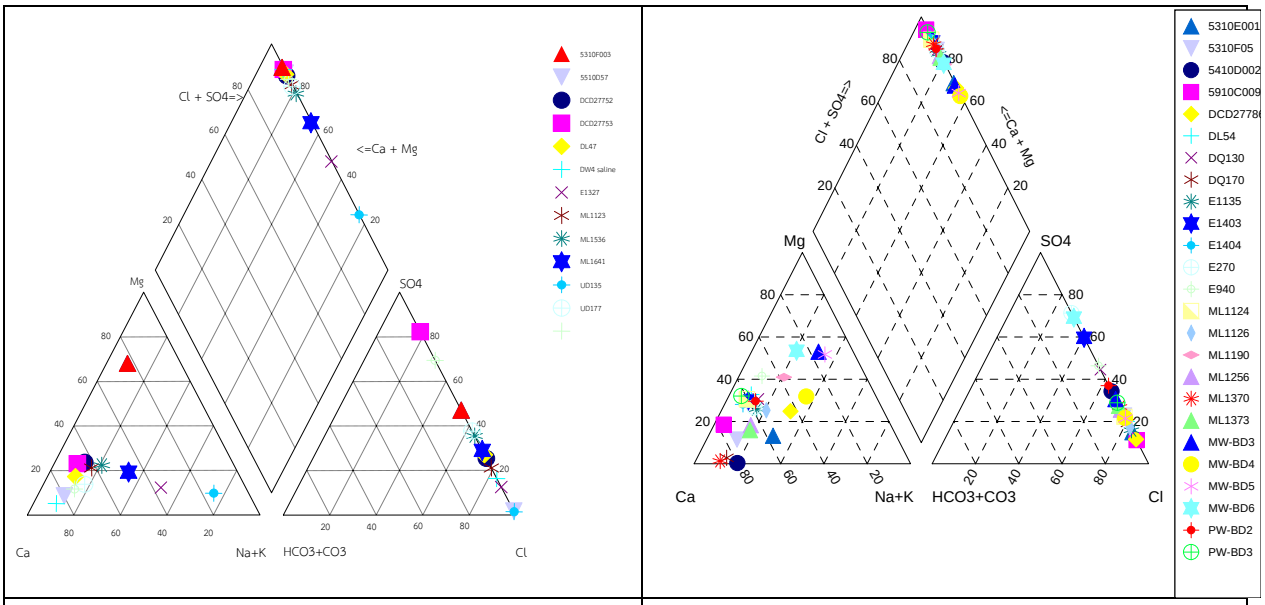
- ระดับน้ำใต้ดิน (วัดระหว่างวันที่ 23 พฤศจิกายน ถึง 26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561)
- 500 ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS; มก.ล.) ของน้ำใต้ดิน
- ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน
- น้ำใต้ดินไหลออกตั้งฉากภาพตัดขวาง (outward flow)

รูปที่ 4.2-3 ภาพตัดขวางการกระจายตัวของค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS, mg/l) ของน้ำใต้ดิน พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ตามแนว BD1-BD1’ ถึง BD3-BD3’



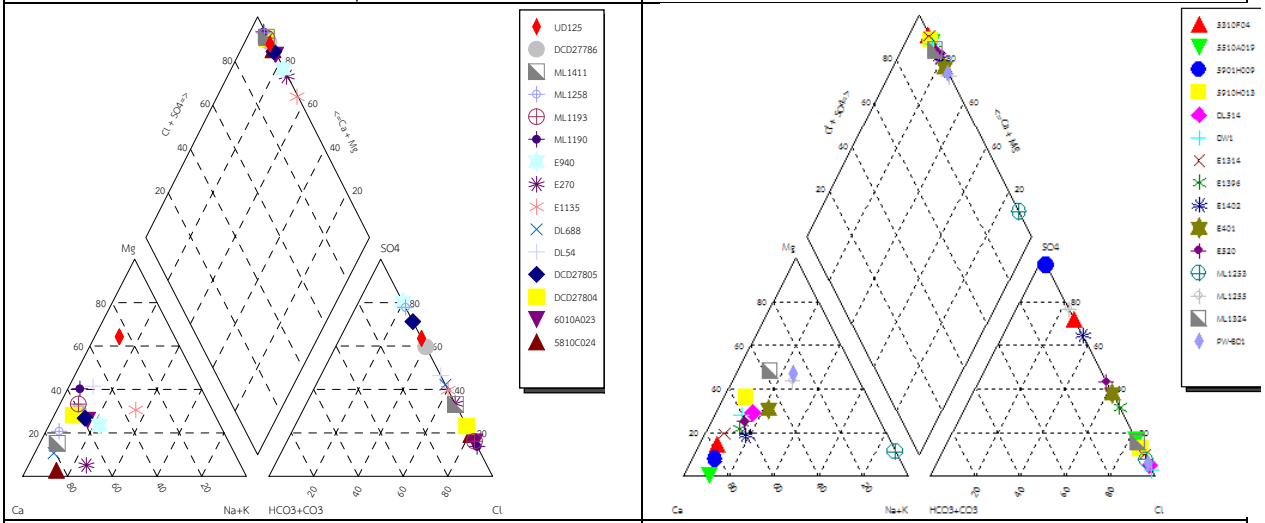

รูปที่ 4.2-4 ภาพตัดขวางการกระจายตัวของค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS, mg/l) ของน้ำใต้ดิน พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ตามแนว BD4-BD4' และ BD5-BD5'

การกระจายตัวของรูปแบบทางเคมีของน้ำใต้ดินของพื้นที่ศึกษา พบว่าน้ำใต้ดินที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในพื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ส่วนใหญ่เป็นกลุ่ม กลุ่ม $Ca\text{-}CO_3$ กลุ่ม $Ca\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$ กลุ่ม $Ca\text{-}Mg\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$ กลุ่ม $Ca\text{-}Mg\text{-}Na\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$ กลุ่ม $Ca\text{-}Na\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$ กลุ่ม $Mg\text{-}Ca\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$ กลุ่ม $Mg\text{-}CO_3$ กลุ่ม $Mg\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$ กลุ่ม $Mg\text{-}Na\text{-}Ca\text{-}CO_3$ กลุ่ม $Na\text{-}Ca\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$ กลุ่ม $Na\text{-}CO_3$ กลุ่ม $Na\text{-}HCO_3\text{-}CO_3$ และกลุ่ม $Na\text{-}Mg\text{-}Ca\text{-}CO_3\text{-}HCO_3$ ที่ได้มีการขุดเจาะในพื้นที่บริเวณพื้นที่รับน้ำซึ่งเป็นพื้นที่เพื่อเติมน้ำลงสู่ชั้นหินอุ้มน้ำหรือชั้นน้ำใต้ดิน แสดงดังรูปที่ 4.2-5 และรูปที่ 4.2-6




ตำบลถ่อนนาลับ นาไหม และบ้านดุง จำนวน 14 ตัวอย่าง

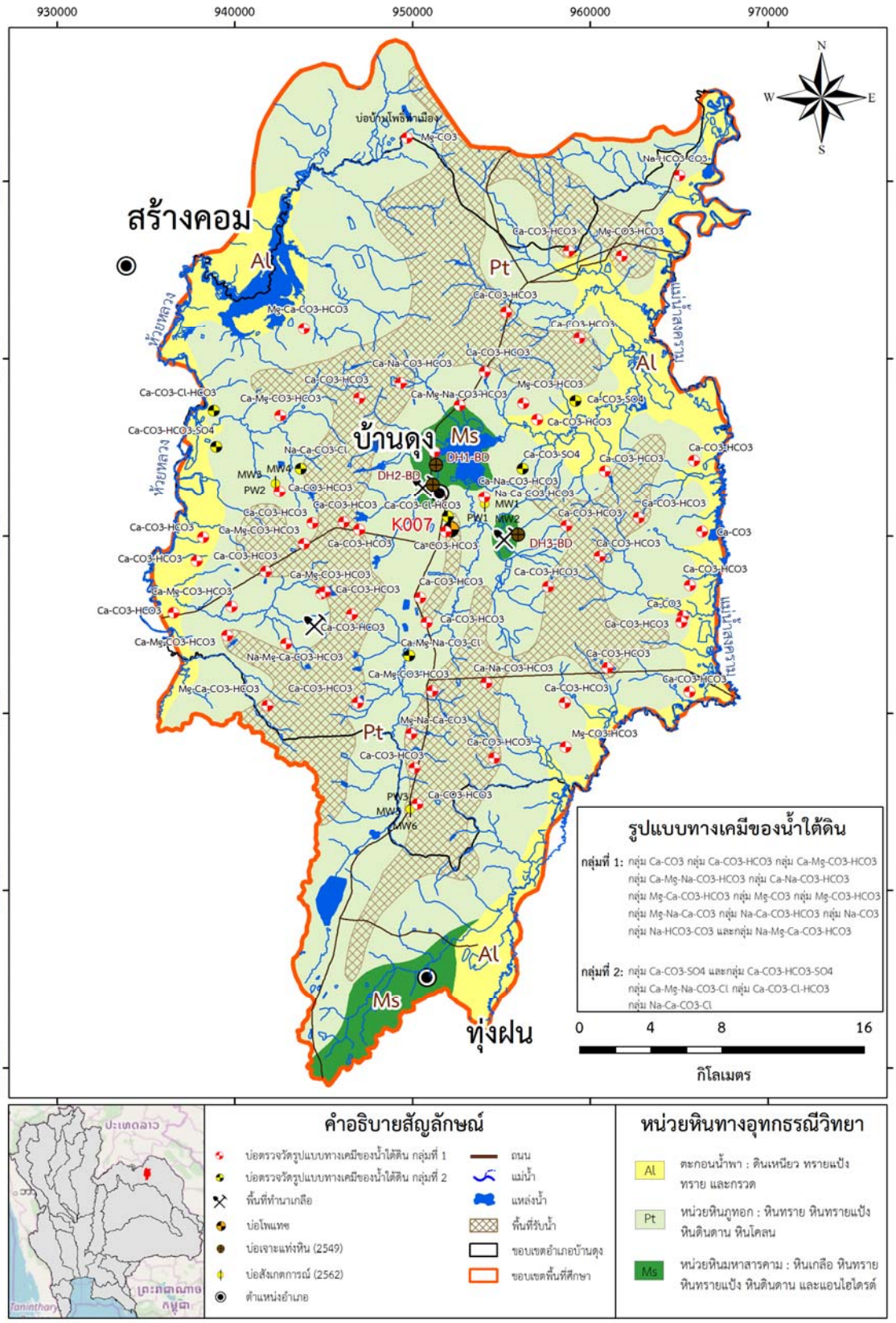
ตำบลนาคำ บ้านชัย และบ้านตาด จำนวน 25 ตัวอย่าง




ตำบลบ้านจันทน์ วังทอง และบ้านม่วง จำนวน 15 ตัวอย่าง

เทศบาลเมืองศรีสุทโธ ตำบลโพนสูง ดงเย็น และอ้อมกอ จำนวน 15 ตัวอย่าง

รูปที่ 4.2-5 ผลการจำแนกตัวอย่างน้ำรายกลุ่มตำบลที่มีพื้นที่ติดต่อกันบริเวณตอนบนและตอนล่างทางด้านตะวันออกและตะวันตกของพื้นที่ศึกษา




รูปที่ 4.2-6 แผนที่แสดงการกระจายตัวของรูปแบบทางเคมีของน้ำใต้ดินของพื้นที่อำเภอบ้านดุง จ.อุดรธานี

4.2.2 ผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ

จากการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่ความลึก 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 เมตร รูปที่ 4.2.7 และ 4.2.8 และในภาคผนวก ก สามารถอธิบายได้ว่า ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-100 เมตร รายตำบลจากพื้นที่ทางตอนเหนือลงใต้ของพื้นที่อำเภอบ้านดุง มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ ปานกลาง สูง และมีโอกาสพบชั้นน้ำกร่อยถึงเค็ม ดังนี้

1. พื้นที่ตำบลถ่อนนาลับ ที่ระดับความลึกระหว่าง 20-60 เมตร มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูงเกือบทั้งพื้นที่ตำบล ยกเว้นที่ช่วงความลึกระหว่าง 10-20 เมตร บริเวณพื้นที่จากบ้านถ่อนนาลับขึ้นไปทางทิศเหนือ เป็นพื้นที่มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำถึงปานกลาง และในบริเวณบ้านโพธิ์ท่าเมืองลงมาทางทิศใต้ถึงพื้นที่ท้ายหมู่บ้านเทพทวี มีโอกาสพบชั้นน้ำกร่อยถึงเค็ม

ที่ระดับความลึกระหว่าง 70-100 เมตร พื้นที่เกือบทั้งตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นที่ระดับช่วงความลึกระหว่าง 60-70 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำและมีโอกาสพบน้ำกร่อยถึงเค็ม

2. พื้นที่ตำบลนาไหม ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-20 เมตร มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ในบริเวณตั้งแต่ตอนเหนือของบ้านกุดดู่ขึ้นไปจนถึงบ้านนาไหม นอกนั้นพื้นที่ด้านล่างแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ตามแนวถนนตั้งแต่บ้านผึ้ง บ้านทุ่งกว้างพัฒนา บ้านกุดดู่ บ้านแสนอุดม และบ้านโนนประเสริฐ จนถึงพื้นที่ตอนล่างของตำบลบริเวณบ้านนาคำวัง เป็นพื้นที่มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ และที่ระดับความลึก 20-50 เมตร พื้นที่มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ได้ขยายพื้นที่จากบริเวณตอนกลางพื้นที่ตำบลลงมาทางทิศใต้ และพื้นที่ทางทิศเหนือได้หดตัวลง

ที่ความลึกระหว่าง 50-100 เมตร มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูงในเฉพาะบริเวณตอนกลางพื้นที่ตำบลในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ตั้งแต่ด้านบนลงมาถึงบ้านทุ่งกว้างพัฒนา ในขณะที่พื้นที่รอบๆ บ้านผึ้งและบ้านกุดดู่ มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ และบริเวณพื้นที่ตั้งแต่ท้ายบ้านนาไหมลงมาในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ถึงบ้านวังคางฮูง บ้านเมืองนาซำ และบ้านนาคำวัง มีโอกาสพบน้ำกร่อยถึงเค็ม

3. พื้นที่เทศบาลศรีสุทโธ ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-100 เมตร พื้นที่ที่มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ของเทศบาลศรีสุทโธ คือ บริเวณเหนือบ้านศรีอุดมขึ้นไปทางทิศเหนือถึงบ้านดงคำ และพื้นที่ที่มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำน้อยบริเวณรอบพื้นที่บ้านศรีอุดม 1 และ 2 ลงไปด้านทิศใต้ของหมู่บ้าน และมีโอกาสพบน้ำกร่อยถึงน้ำเค็ม บริเวณพื้นที่ด้านตะวันตกของบ้านศรีอุดมติดพื้นที่บ้านศรีนวล ของตำบลบ้านดุง และด้านตะวันออกของพื้นที่เทศบาลศรีสุทโธบริเวณบ้านหนองหินเหนือและใต้

4. พื้นที่ตำบลบ้านดุง ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-50 เมตร มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ในบริเวณตอนกลางของตำบล และบ้านหนองไฮ บ้านโนนสำราญ บ้านหนองสองห้องและบ้านห้วยปลาโด มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำตามแนวถนนบ้านปอพานถึงบ้านวังพระองค์ และมีโอกาสพบน้ำกร่อยถึงเค็ม บ้านศรีนวล และพื้นที่ตอนเหนือของบ้านปอพาน และสำหรับที่ความลึกระหว่าง 50-100

เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นบริเวณบ้านวังพระองค์ถึงบ้านโนนสวรรค์ และบริเวณพื้นที่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของบ้านหนองไฮ มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ และมีโอกาสพบชั้นน้ำกร่อยถึงเค็ม บริเวณบ้านนาสีนวล

5. พื้นที่ตำบลโพนสูง ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-100 เมตร บริเวณพื้นที่รอบๆ บ้านโพนสูงและเส้นทางตามแนวถนนบ้านโพนสูงไปบ้านปากดง มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำถึงปานกลาง และบริเวณตั้งแต่บ้านโพนสูงถึงบ้านฝาง บริเวณพื้นที่ตอนล่างของบ้านโพนสูงใต้ มีโอกาสพบน้ำกร่อยถึงเค็ม โดยที่ในทางตะวันตกของบ้านโพนสูงบริเวณบ้านโชคอำนวย บ้านนาจานและบ้านโนนสำราญ และทางตะวันออกของบ้านโพนสูงบริเวณบ้านปากดง มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง

6. พื้นที่ตำบลนาคำ ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-50 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นบริเวณบริเวณด้านตะวันตกของพื้นที่ตำบลจากเหนือลงใต้ตั้งแต่บ้านนาดีลงมาบ้านดอนขี้เหล็ก บ้านดงยางและบ้านนาคำ ที่มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ และที่ระดับความลึกระหว่าง 50-100 พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นบริเวณตะวันตกของบ้านหัวดงยาง มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ และบริเวณบ้านโนนงาม มีโอกาสพบน้ำกร่อยถึงเค็ม

7. พื้นที่ตำบลบ้านชัย ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-50 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นบริเวณรอบๆ บ้านทุ่งต่อเนื่องลงมาบ้านกล้วย และบริเวณโดยรอบบ้านโนนสะอาดถึงบ้านงิ้ว มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ และบริเวณบ้านดงไพรวัลย์และพื้นที่ด้านที่ติดกับบ้านโนนงาม ตำบลนาคำ มีโอกาสพบน้ำกร่อยถึงเค็ม สำหรับที่ระดับความลึกระหว่าง 50-100 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลมีโอกาสชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นบริเวณบ้านทุ่ง ที่มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ และมีโอกาสพบน้ำกร่อยถึงเค็มบริเวณบ้านนาสีนวล บ้านโนนสะอาดถึงบ้านงิ้ว บ้านโนนสีทองและบ้านดงไพรวัลย์ถึงเขตติดต่อบ้านโนนงาม ตำบลนาคำ

8. พื้นที่ตำบลบ้านจันทน์ ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-50 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ และบริเวณพื้นที่ติดต่อระหว่างบ้านดงหวาย ตำบลถ่อนนาลับ อำเภอบ้านดุง และบ้านปัก ตำบลอุดมพร อำเภอเฝ้าไร่ จังหวัดหนองคาย มีโอกาสพบชั้นน้ำกร่อยถึงเค็ม ยกเว้นบริเวณพื้นที่ตอนล่างของบ้านดงหวายถึงบ้านไร่สีสุกและบ้านหัวฝาย มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง

สำหรับที่ระดับความลึกระหว่าง 50-100 เมตร พื้นที่เกือบครึ่งของตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นพื้นที่ตอนกลางของตำบลบริเวณรอบบ้านเหล่าอุดมถึงบ้านทรายมูล ลงมาทางทิศใต้ถึงบ้านไร่สีสุก ถึงบ้านดงหวายทางด้านตะวันตก และตั้งแต่บ้านโนนศึกษาจนถึงขอบของตำบลทางด้านตะวันออกเป็นแนวยาวจากด้านบนลงมาด้านล่าง มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ

9. พื้นที่ตำบลวังทอง ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-50 เมตร พื้นที่โดยส่วนใหญ่มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นพื้นที่ด้านทิศเหนือที่ติดต่อกับบ้านไร่สีสุกของตำบลบ้านจันทร์ มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ และบริเวณบ้านวังสมบัติใต้ถึงบ้านวังแสนสุข มีโอกาสพบชั้นน้ำกร่อยถึงเค็ม

สำหรับที่ระดับความลึกระหว่าง 50-100 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นบริเวณบ้านวังดาราถึงด้านทิศใต้ที่ติดต่อกับบ้านดงค้าพัฒนาของตำบลโพนสูง และบ้านศรีเมือง ของตำบลบ้านม่วง มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ และมีโอกาสพบชั้นน้ำกร่อยถึงเค็มบริเวณบ้านเหล่าหลวง และบ้านวังแสนสุขต่อเนื่องออกไปทางด้านตะวันออก

10. พื้นที่ตำบลบ้านม่วง ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-50 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นพื้นที่บริเวณบ้านศรีเมืองลงมาทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของตำบลถึงบ้านศรีวัฒนาและบ้านหนองสว่างมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ และมีโอกาสพบชั้นน้ำกร่อยถึงเค็มบริเวณพื้นที่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของบ้านหนองสว่าง

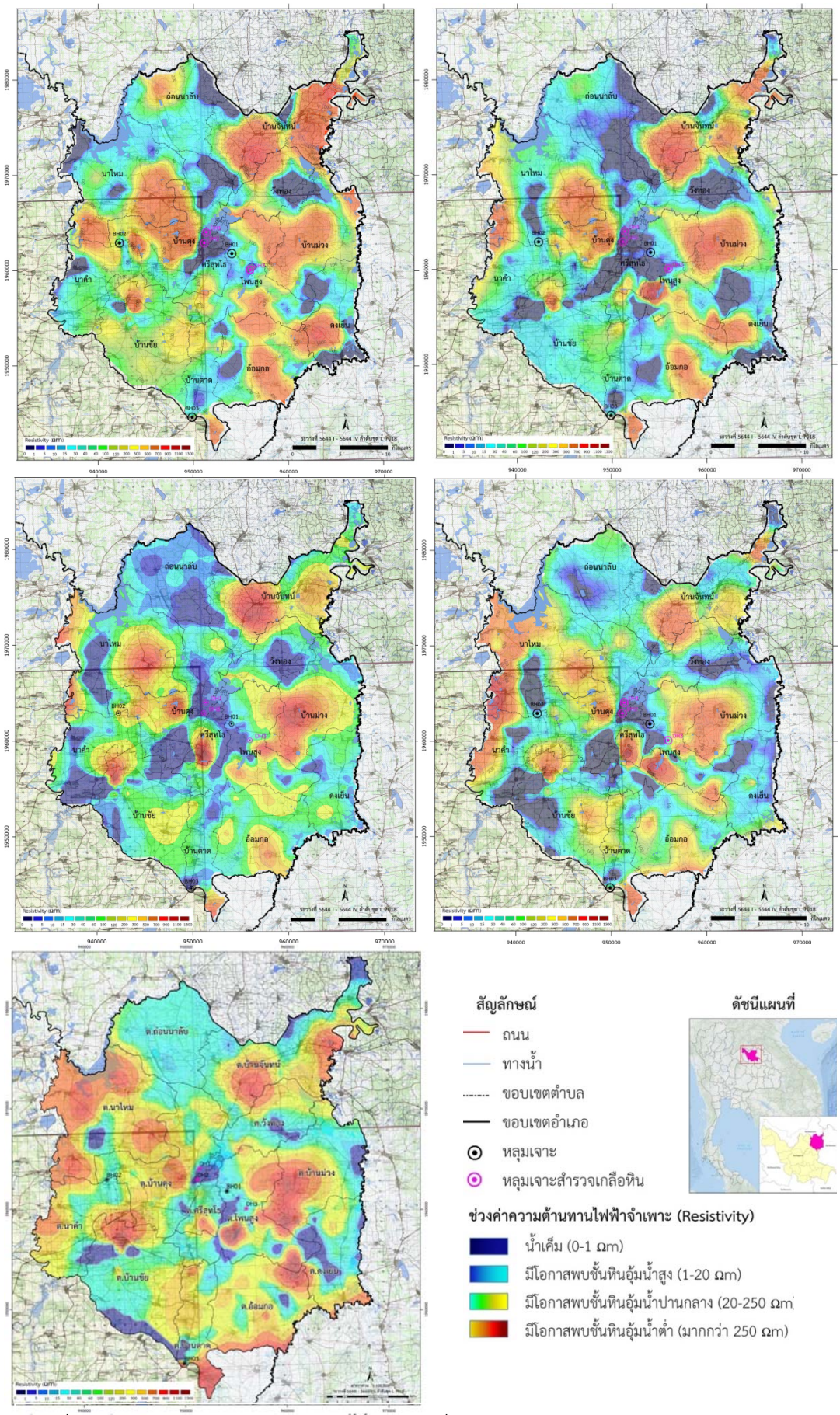
สำหรับที่ระดับความลึกระหว่าง 50-100 เมตร มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูงบริเวณพื้นที่ซีกด้านทิศตะวันออกของตำบล ตั้งแต่บ้านโนนเมืองลงมาทางใต้ถึงบ้านกมลศิลป์ และมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ บริเวณพื้นที่ซีกด้านตะวันตกตั้งแต่บ้านศรีเมืองลงมาถึงบ้านหนองสว่าง และมีโอกาสพบชั้นน้ำกร่อยถึงเค็มบริเวณหนองทุ่งใหญ่

11. พื้นที่ตำบลดงเย็น ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-100 เมตร พื้นที่โดยส่วนใหญ่ของตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นพื้นที่ทิศตะวันตกเฉียงเหนือของบ้านโนนชัยศิลป์ และขอบด้านตะวันออกของตำบล มีโอกาสพบน้ำกร่อยถึงเค็ม และบริเวณบ้านดงสง่าออกไปทางตะวันตกติดกับบ้านดงดารา ตำบลอ้อมกอ ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-20 เมตร มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ

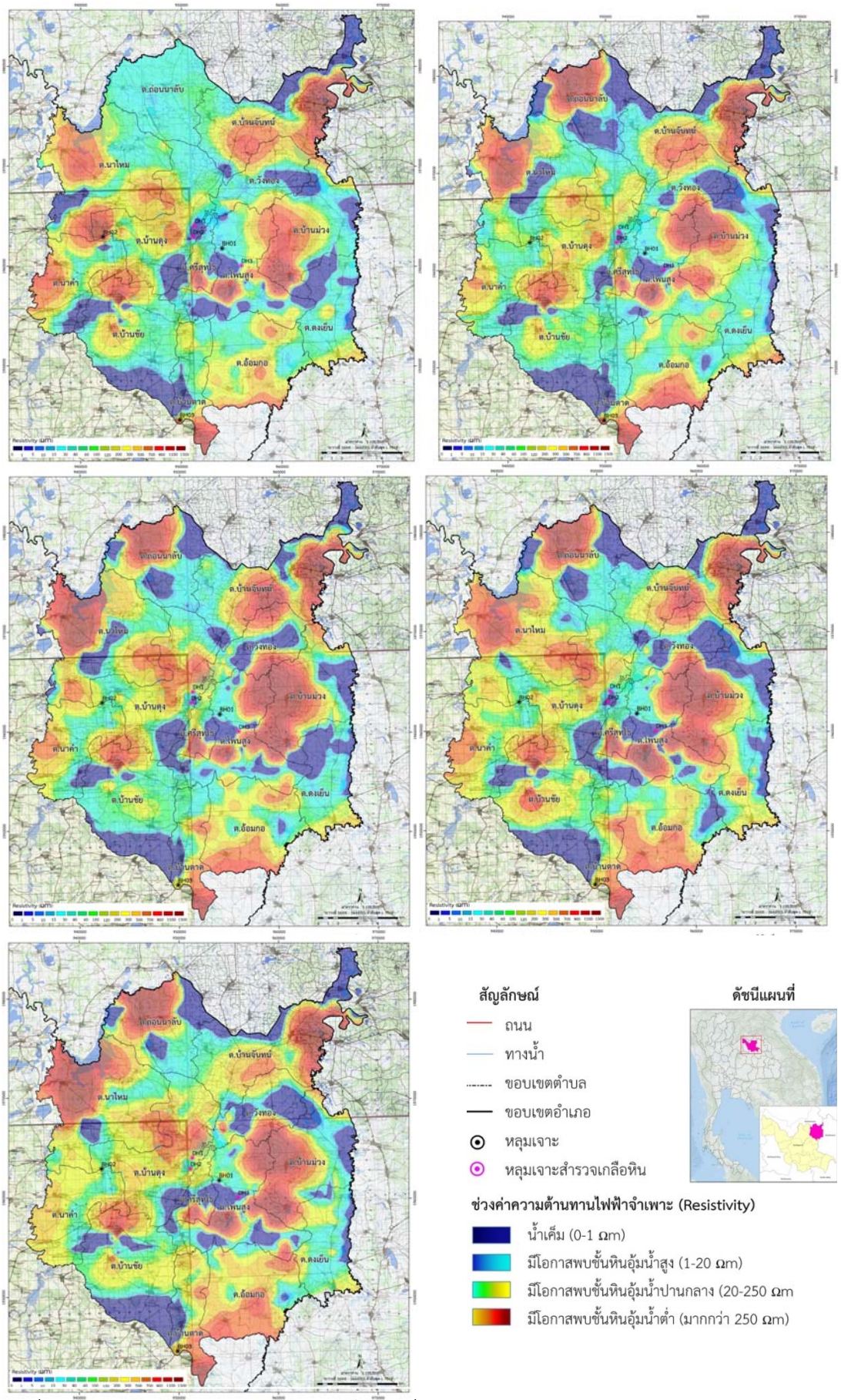
12. พื้นที่ตำบลอ้อมกอ ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-20 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นบริเวณบ้านศรีเจริญ บ้านอ้อมกอ บ้านโนนสีทอง บ้านโคกคำไหล บ้านดงดารา และพื้นที่ด้านทิศตะวันตกของบ้านโนนสีทอง มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ โดยพื้นที่ระหว่างบ้านโนนสมบูรณ์ บ้านไผ่ล้อมและบ้านโนนหอม และทิศเหนือของบ้านโนนสมบูรณ์ มีโอกาสพบน้ำกร่อยถึงเค็ม

สำหรับที่ระดับความลึกระหว่าง 20-100 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นบริเวณเขตติดต่อของตำบลอ้อมกอและตำบลโพนสูงบริเวณบ้านดงดารา และขอบตำบลด้านทิศใต้บ้านโนนหอมและบ้านโคกคำไหล ที่มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ และบริเวณหนองน้ำบ้านอ้อมกอที่มีโอกาสพบน้ำกร่อยถึงเค็ม

13. พื้นที่บ้านตาด ที่ระดับความลึกระหว่าง 10-100 เมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลมีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำปานกลางถึงสูง ยกเว้นด้านทิศใต้ของตำบลบริเวณบ้านโคกกลาง มีโอกาสพบชั้นหินอุ้มน้ำต่ำ และบริเวณบ้านโนนผักหวาน บ้านโนนสวรรค์ บ้านสมวิไล และบ้านโนนทองหลาง มีโอกาสพบน้ำกร่อยถึงเค็ม




รูปที่ 4.2-7 ผลสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ระดับความลึก 10, 20, 30, 40 และ 50 เมตร ตามลำดับ



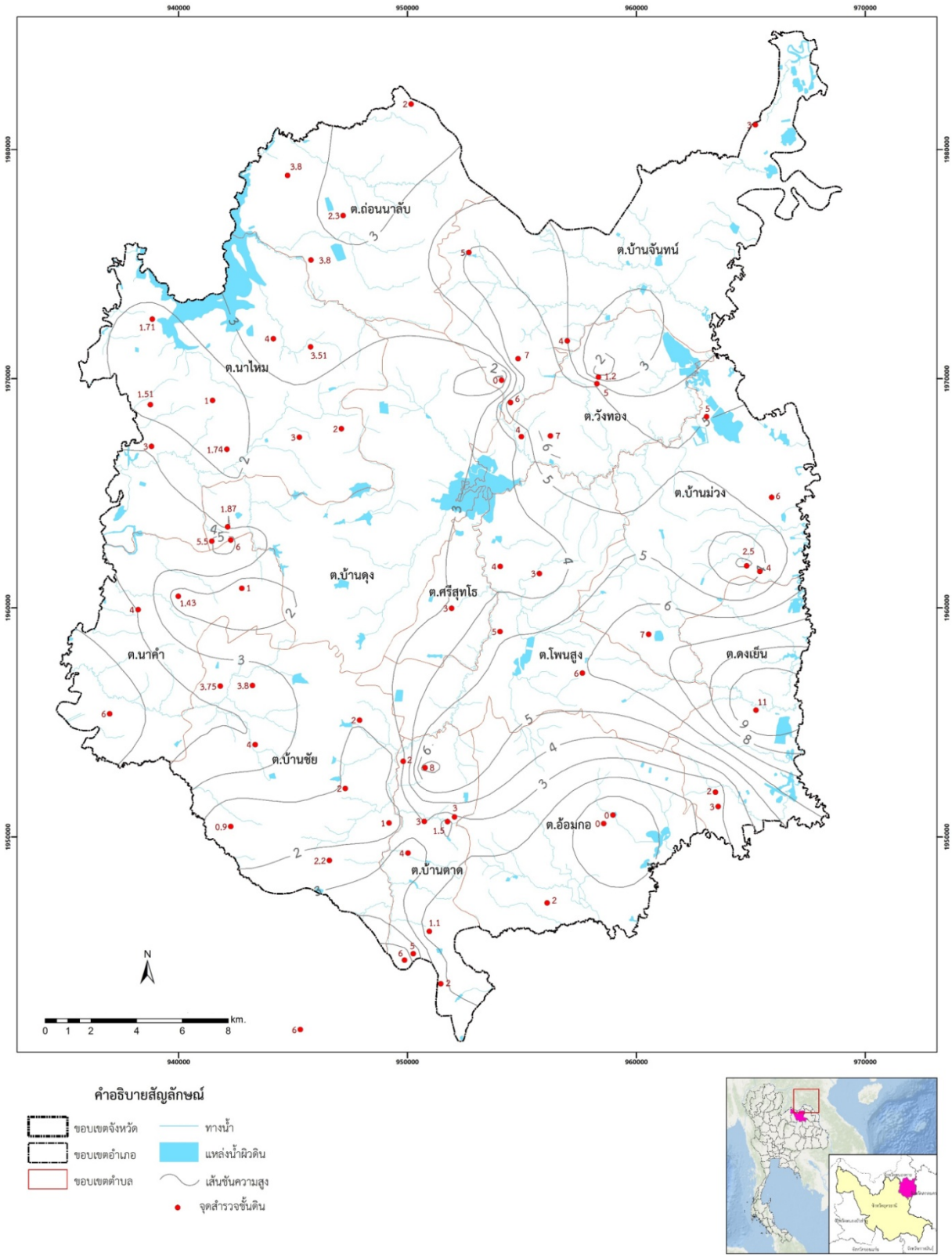

รูปที่ 4.2-8 ผลสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ระดับความลึก 60, 70, 80, 90 และ 100 เมตร ตามลำดับ

4.2.3 ผลการสำรวจชั้นดินด้วยการเจาะสว่านแบบมือหมุน (Hand Augering)

จากข้อมูลบ่อบาดาล การเจาะสำรวจและตรวจสอบชั้นดินบริเวณสระขุดใหม่เพื่อประเมินความหนาของชั้นดินที่ปิดทับชั้นหินในพื้นที่อำเภอบ้านดุง (รูปที่ 4.2-9 และ 4.2-10) พบว่า ความหนาของชั้นดินที่ปิดทับชั้นหินทรายแป้ง แต่ละตำบล ในอำเภอบ้านดุง อยู่ระหว่าง 0-11 เมตร (ตารางที่ 4.2-1) เป็นชั้นดินเหนียวปนเศษหิน หรือชั้นดินลูกรัง และชั้นดินเหนียว โดยตำบลที่มีชั้นดินหนามากที่สุดคือ ตำบลดงเย็น มีความหนาของชั้นดินตั้งแต่ 2 - 11 เมตร ตำบลที่มีความหนาไม่เกิน 5 เมตร ได้แก่ ตำบลบ้านชัย ตำบลนาไหม และตำบลถ่อนนาลับ และตำบลอ้อมกอ เป็นตำบลที่มีชั้นหินทรายและหินทรายแป้งปรากฏให้เห็น

ตารางที่ 4.2-1 ช่วงความหนาของชั้นดินรายตำบล ของอำเภอบ้านดุง

| ลำดับที่ | ตำบล | ความหนา (เมตร) | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|
| 1 | ศรีสุทโธ | 3-7 | |
| 2 | บ้านดุง | 2-6 | |
| 3 | โพนสูง | 3-6 | |
| 4 | ถ่อนนาลับ | 2-4 | บ่อขุดที่บ้านหนองลาด |
| 5 | นาไหม | 1-4 | |
| 6 | นาคำ | 1-6 | บ่อขุดที่บ้านดงค้าพัฒนา |
| 7 | บ้านชัย | 1-4 | บ่อขุดที่บ้านนาสีนวล โนนสะอาด |
| 8 | บ้านจันทร์ | 2-7 | |
| 9 | วังทอง | 2-7 | บ่อขุดที่บ้านวังสมบัติ |
| 10 | บ้านม่วง | 3-7 | |
| 11 | ดงเย็น | 2-11 | |
| 12 | บ้านตาด | 1-8 | บ่อขุดที่บ้านงิ้วและโนนทองหลาง |
| 13 | อ้อมกอ | 0-6 | พบหินทรายแป้งโผล่บริเวณอุทยานอ้อมฤดี |




รูปที่ 4.2-9 ความหนาของชั้นดินในพื้นที่ อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี

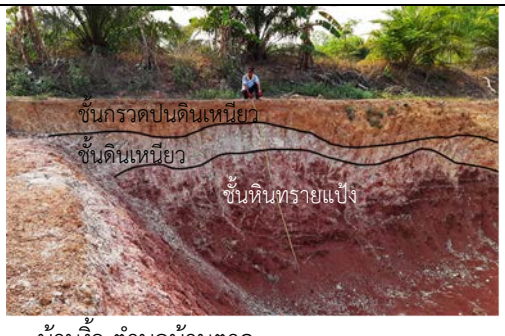
บ้านหนองลาด ตำบลถ่อนนาลับ

บ้านดงค้าพัฒนา ตำบลนาคำ

บ้านนาสีนวล ตำบลบ้านชัย

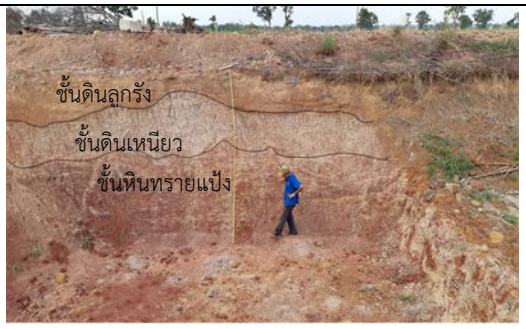
บ้านโนนสะอาด ตำบลบ้านชัย

บ้านวังสมบัติ ตำบลวังทอง




บ้านงิ้ว ตำบลบ้านตาด

บ้านโนนทองหลาง ตำบลบ้านตาด




บ้านโคกคำไหล ตำบลอ้อมกอ

บ้านโนนสมบูรณ์ ตำบลอ้อมกอ

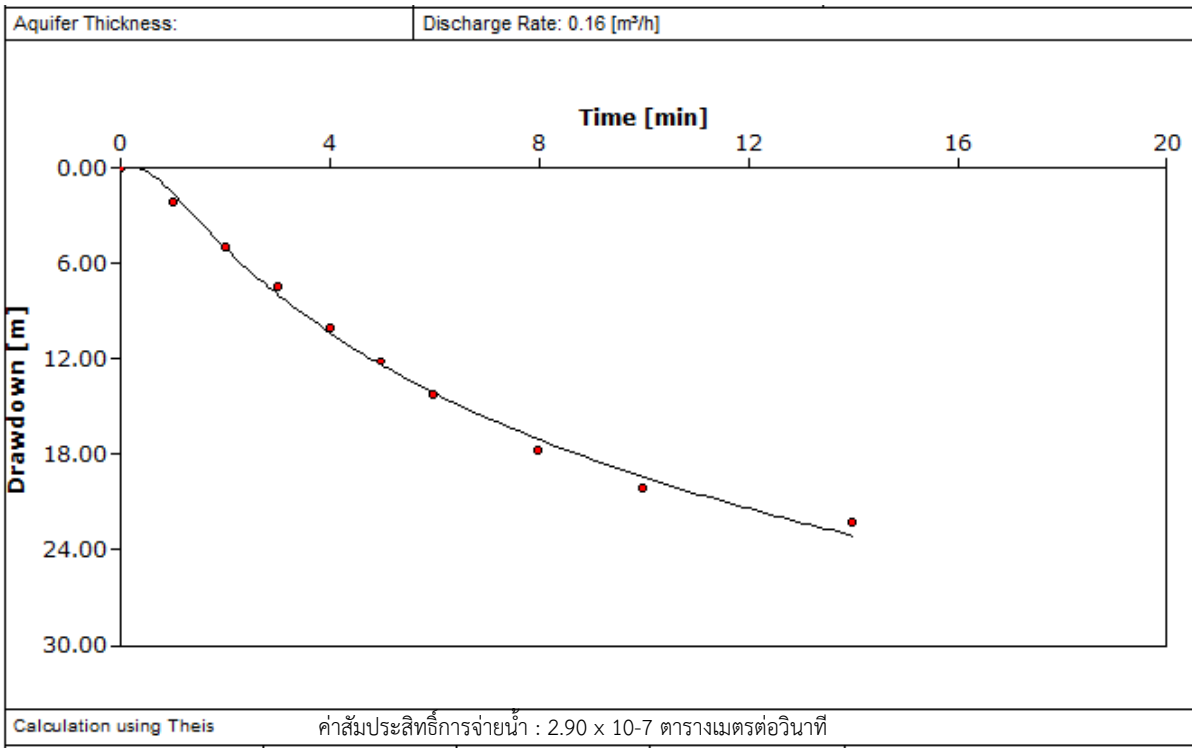
รูปที่ 4.2-10 การจำแนกสภาพชั้นดินที่มีการขุดในบางตำบลของอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี

4.2.4 ผลการเจาะและติดตั้งบ่อไพโซมิเตอร์

ผลการทดสอบคุณสมบัติชั้นหินอุ้มน้ำของบ่อไพโซมิเตอร์ จำนวน 3 แห่ง มีดังนี้

การทดสอบคุณสมบัติชั้นหินอุ้มน้ำโดยการสูบน้ำ (pumping test) ณ แห่งที่ 1 วัดป่าสุวรรณรังษี ตำบลโพนสูง และแห่งที่ 2 วัดป่าบ้านนาคำ ตำบลนาดี ดำเนินการทดสอบได้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากน้ำในบ่อสูบแห้งเมื่อสูบน้ำได้ระยะเวลาหนึ่ง

สำหรับการทดสอบ ณ แห่งที่ 3 โรงเรียนบ้านโนนทองหลาง ตำบลบ้านตาด ดำเนินการการทดสอบได้สมบูรณ์ ผลการสูบทดสอบของกรมทรัพยากรน้ำ (2562) ของบ่อ PW3 ที่ความลึกพัฒนา 27-30 เมตร จากผิวดิน ด้วยวิธีการวิเคราะห์ของ Theis พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ 2.90×10-7 ตารางเมตรต่อวินาที (รูปที่ 4.2-11) เป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรม AquiferTest 2011.1 (Schlumberger Water Services, 2011)




รูปที่ 4.2-11 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลสูบทดสอบบ่อ PW3

4.2.5 ผลการประเมินศักยภาพของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยการจัดทำแบบจำลอง

**ผลการจำลองสภาพแบบจำลอง SWAT**

การสร้างสถานการณ์จำลองที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต สำหรับการศึกษาวิจัยนี้ทำการจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์ถึงปริมาณน้ำท่าและการเติมน้ำใต้ดิน ในปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2561) โดยการแสดงผลการจำลองนี้เลือกเฉพาะลุ่มน้ำย่อยที่อยู่ในพื้นที่อำเภอบ้านดุง บริเวณลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำห้วยหลวง ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยที่ 5, 7, 9 และ 11 ส่วนบริเวณลุ่มน้ำย่อยสาขาแม่น้ำสงคราม ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยที่ 3, 5, 6, 8, 12, 13 และ 14 ผลลัพธ์แสดงในตารางที่ 4.2-2 และตารางที่ 4.2-3

**ผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน**

การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินหลังจากที่ทำการนำเข้าข้อมูล ประมวลผลและทำการปรับเทียบข้อมูลนำเข้าของการจำลองแล้ว พบว่า การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินทั้งที่ได้จากการตรวจวัดในภาคสนามและจากผลการคำนวณของการจำลองมีความสัมพันธ์กัน มีทิศทางการไหลหลักจากบริเวณพื้นที่รับน้ำตอนกลางของพื้นที่ไปยังพื้นที่สูญเสียน้ำใต้ดินที่กระจายตัวตามที่ราบลุ่มของแม่น้ำห้วยหลวงทางด้านตะวันตก และแม่น้ำสงครามทางด้านตะวันออก ของพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 4.2-12)

สมดุลของน้ำใต้ดินในช่วง 1 ปี ที่ได้จากการจำลองทั้งระบบของพื้นที่อำเภอบ้านดุง พบว่า มีปริมาณการเติมน้ำใต้ดินจากน้ำฝนประมาณ 37.04 ล้านลูกบาศก์เมตร (ล้าน ลบ.ม.) และมีน้ำจากแม่น้ำเพิ่มเติมเข้าสู่แหล่งน้ำใต้ดินประมาณ 0.17 ล้าน ลบ.ม. ส่วนน้ำใต้ดินที่สูญเสียจากระบบน้ำใต้ดินออกสู่แม่น้ำประมาณ 10.20 ล้าน ลบ.ม. และการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ประมาณ 4.81 ล้าน ลบ.ม. สำหรับรายละเอียดสมดุลน้ำตามขอบเขตของแต่ละตำบล ในพื้นที่อำเภอบ้านดุง มีปริมาณแตกต่างกันไป แสดงดังตารางที่ 4.2-4

การจำลองการแพร่กระจายน้ำใต้ดินเค็มเพื่อศึกษาศักยภาพแหล่งน้ำใต้ดินน้ำ ด้วยการใช้ค่าปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ในการจำลองแสดงภาพรวมของการแพร่กระจายของมวลสาร แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณค่าการเคลื่อนที่ของมวลสารในน้ำใต้ดิน คือ MT3DMS (A Modular 3-Dimensional Multi-Species Transport Model) โดยการคำนวณและการจำลองการเคลื่อนที่ของมวลสารต้องใช้ผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเป็นเงื่อนไขเริ่มต้น การจำลองต้องมีการนำเข้าข้อมูลแบบจำลองและกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเพิ่มเติมจากการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ได้แก่ ขอบเขตการเคลื่อนที่ของมวลสาร คุณสมบัติของวัตถุตัวกลาง และค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของมวลสารนั้นๆ การจำลองกำหนดให้มีการคำนวณการไหลแบบ Upstream finite difference และใช้การแก้สมการอนุพันธ์แบบ Generalized Conjugate Gradient (GCG) โดยทำการจำลองแบบสภาวะแปรเปลี่ยนตามเวลา มีระยะเวลาในการปรับเทียบแบบจำลอง 1 ปี ผลการจำลองพบว่า ที่ระดับความลึกไม่เกิน 60 เมตร จากผิวดิน ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำใต้ดิน ที่มีค่ามากกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการกระจายตัวตามเป็นบางส่วนบริเวณพื้นที่ตำบลบ้านดุง ตำบลศรีสุทโธ ตำบลโพนสูง ตำบลบ้านชัย ตำบลนาคำ และตำบลนาไหม (รูปที่ 4.2-13)

ตารางที่ 4.2-2 ผลลัพธ์จากการจำลองสภาพแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำห้วยหลวง

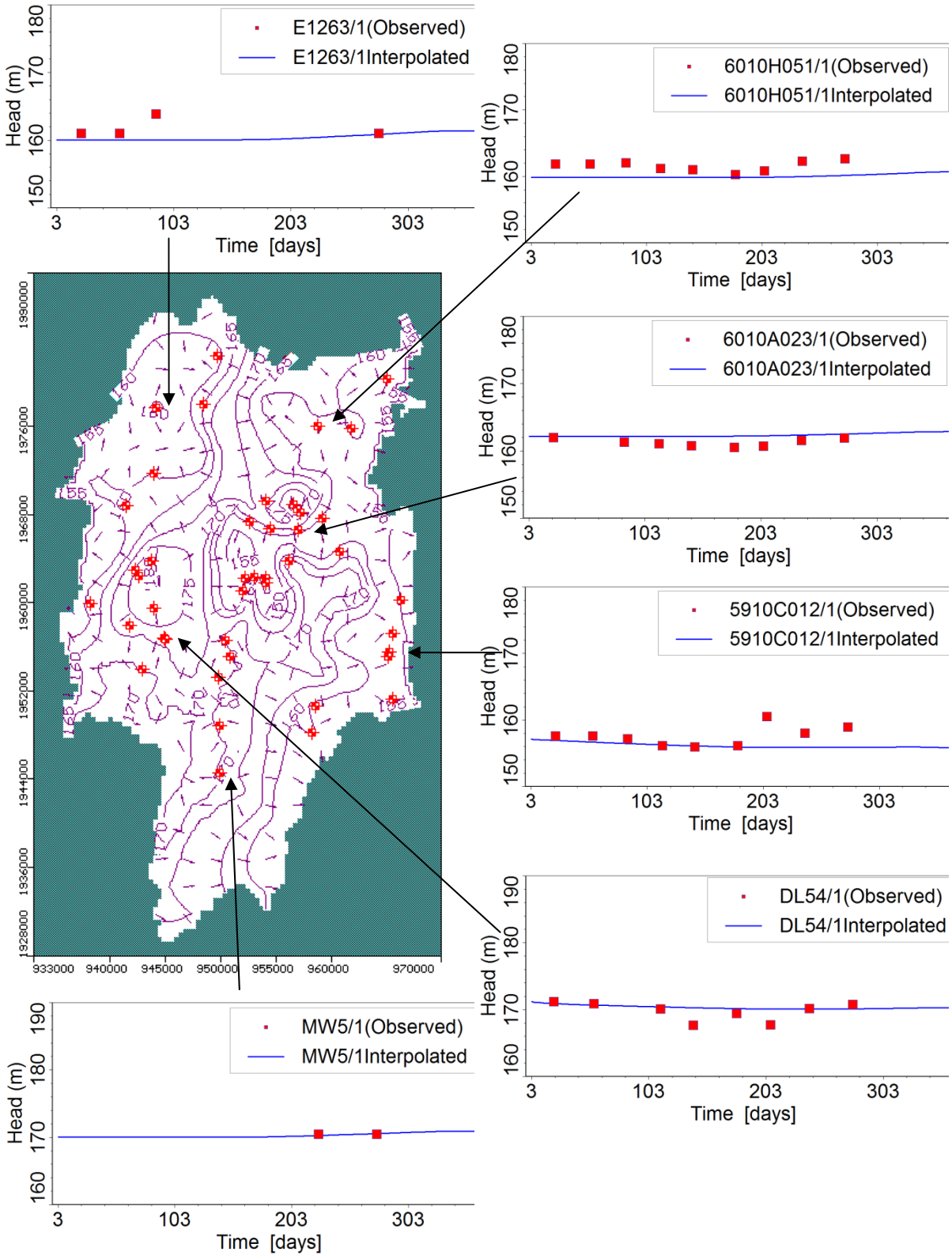
| เดือน | ลุ่มน้ำย่อย (Sub-watershed) | ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.) | การเติมน้ำใต้ดิน (มม.) | ลุ่มน้ำย่อย (Sub-watershed) | ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.) | การเติมน้ำใต้ดิน (มม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| มกราคม | 5 | 2.55 | 0.78 | 9 | 2.06 | 0.32 |
| กุมภาพันธ์ | 205.32 | 4.81 | 0.89 | | 6.45 | 1.35 |
| มีนาคม | | 11.26 | 2.80 | | 10.25 | 0.80 |
| เมษายน | | 26.44 | 13.95 | | 26.83 | 3.42 |
| พฤษภาคม | | 92.06 | 67.14 | | 91.65 | 24.68 |
| มิถุนายน | | 124.69 | 92.12 | | 92.70 | 31.09 |
| กรกฎาคม | | 137.09 | 90.77 | | 126.96 | 29.72 |
| สิงหาคม | | 179.27 | 117.07 | | 133.18 | 46.15 |
| กันยายน | | 117.84 | 104.15 | | 96.91 | 43.27 |
| ตุลาคม | | 29.37 | 23.66 | | 18.42 | 6.00 |
| พฤศจิกายน | | 2.70 | 1.86 | | 2.08 | 0.91 |
| ธันวาคม | | 0.43 | 0.04 | | 0.52 | 0.02 |
| มกราคม | 7 | 3.14 | 0.37 | 11 | 1.99 | 0.29 |
| กุมภาพันธ์ | | 6.13 | 0.37 | | 6.36 | 1.29 |
| มีนาคม | | 13.89 | 1.60 | | 10.06 | 0.68 |
| เมษายน | | 31.82 | 8.84 | | 26.31 | 3.10 |
| พฤษภาคม | | 107.68 | 49.47 | | 90.91 | 24.23 |
| มิถุนายน | | 144.76 | 70.97 | | 91.89 | 31.79 |
| กรกฎาคม | | 159.42 | 68.43 | | 127.69 | 30.62 |
| สิงหาคม | | 206.05 | 89.44 | | 132.44 | 47.39 |
| กันยายน | | 136.70 | 86.84 | | 95.48 | 43.51 |
| ตุลาคม | | 34.73 | 19.70 | | 17.92 | 5.70 |
| พฤศจิกายน | | 3.62 | 1.34 | | 1.89 | 0.84 |
| ธันวาคม | | 0.64 | 0.01 | | 0.47 | 0.01 |

ตารางที่ 4.2-3 ผลลัพธ์จากการจำลองสภาพแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงคราม

| เดือน | ลุ่มน้ำย่อย (Sub-watershed) | ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.) | การเติมน้ำใต้ดิน (มม.) | ลุ่มน้ำย่อย (Sub-watershed) | ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.) | การเติมน้ำใต้ดิน (มม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| มกราคม | 3 | 3.49 | 0.22 | 6 | 3.57 | 0.24 |
| กุมภาพันธ์ | | 7.18 | 0.24 | | 7.40 | 0.28 |
| มีนาคม | | 16.12 | 1.16 | | 16.58 | 1.20 |
| เมษายน | | 36.12 | 5.89 | | 37.08 | 5.81 |
| พฤษภาคม | | 118.40 | 37.40 | | 120.63 | 36.51 |
| มิถุนายน | | 157.68 | 55.69 | | 160.47 | 54.65 |
| กรกฎาคม | | 174.95 | 53.28 | | 178.50 | 52.72 |
| สิงหาคม | | 224.17 | 71.82 | | 228.23 | 69.60 |
| กันยายน | | 149.03 | 75.32 | | 151.38 | 74.58 |
| ตุลาคม | | 38.33 | 16.80 | | 39.01 | 16.82 |
| พฤศจิกายน | | 4.28 | 1.03 | | 4.45 | 1.02 |
| ธันวาคม | | 0.84 | 0.01 | | 0.88 | 0.02 |
| มกราคม | 5 | 3.24 | 0.14 | 8 | 3.46 | 0.18 |
| กุมภาพันธ์ | | 6.50 | 0.18 | | 6.71 | 0.25 |
| มีนาคม | | 14.63 | 1.28 | | 14.91 | 1.27 |
| เมษายน | | 33.22 | 6.77 | | 34.53 | 6.60 |
| พฤษภาคม | | 111.56 | 43.32 | | 115.65 | 41.16 |
| มิถุนายน | | 150.15 | 65.29 | | 156.63 | 63.24 |
| กรกฎาคม | | 165.16 | 61.16 | | 171.55 | 59.03 |
| สิงหาคม | | 212.71 | 82.24 | | 220.59 | 75.69 |
| กันยายน | | 142.01 | 82.52 | | 147.92 | 76.58 |
| ตุลาคม | | 36.15 | 18.40 | | 37.69 | 17.43 |
| พฤศจิกายน | | 3.84 | 1.21 | | 4.08 | 1.13 |
| ธันวาคม | | 0.70 | 0.00 | | 0.74 | 0.01 |

ตารางที่ 4.2-3 (ต่อ) ผลลัพธ์จากการจำลองสภาพแบบจำลอง SWAT ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงคราม

| เดือน | ลุ่มน้ำย่อย (Sub-watershed) | ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.) | การเติมน้ำใต้ดิน (มม.) | ลุ่มน้ำย่อย (Sub-watershed) | ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.) | การเติมน้ำใต้ดิน (มม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| มกราคม | 12 | 3.43 | 0.43 | 14 | 1.58 | 0.12 |
| กุมภาพันธ์ | | 6.89 | 0.49 | | 5.33 | 0.22 |
| มีนาคม | | 15.55 | 1.39 | | 7.83 | 0.26 |
| เมษายน | | 35.42 | 7.07 | | 22.70 | 1.52 |
| พฤษภาคม | | 117.81 | 40.09 | | 100.89 | 31.09 |
| มิถุนายน | | 158.42 | 60.99 | | 107.95 | 34.02 |
| กรกฎาคม | | 176.03 | 61.77 | | 123.79 | 31.97 |
| สิงหาคม | | 225.10 | 76.11 | | 139.84 | 37.06 |
| กันยายน | | 149.15 | 74.13 | | 109.15 | 47.44 |
| ตุลาคม | | 38.14 | 16.64 | | 28.03 | 11.93 |
| พฤศจิกายน | | 4.16 | 0.94 | | 1.74 | 0.79 |
| ธันวาคม | | 0.77 | 0.03 | | 0.49 | 0.00 |
| มกราคม | 13 | 3.25 | 0.18 | | | |
| กุมภาพันธ์ | | 6.54 | 0.28 | | | |
| มีนาคม | | 14.65 | 1.32 | | | |
| เมษายน | | 33.83 | 6.46 | | | |
| พฤษภาคม | | 112.97 | 40.88 | | | |
| มิถุนายน | | 153.48 | 62.89 | | | |
| กรกฎาคม | | 168.34 | 59.65 | | | |
| สิงหาคม | | 217.08 | 78.10 | | | |
| กันยายน | | 145.52 | 78.67 | | | |
| ตุลาคม | | 37.16 | 17.69 | | | |
| พฤศจิกายน | | 4.09 | 1.10 | | | |
| ธันวาคม | | 0.75 | 0.02 | | | |

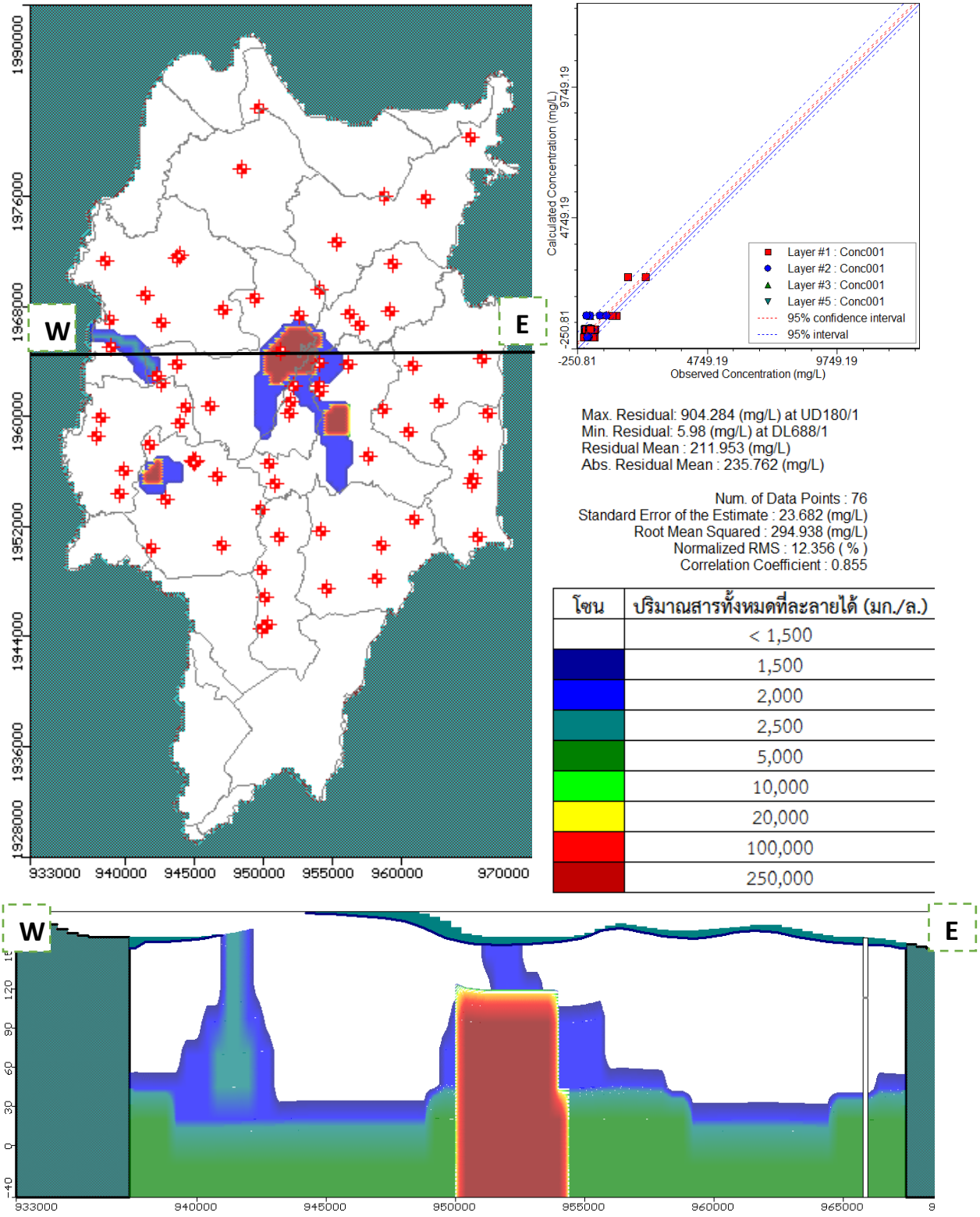



รูปที่ 4.2-12 ความสัมพันธ์ของค่าระดับแรงดันน้ำใต้ดินระหว่างค่าตรวจวัดในภาคสนามและจากการคำนวณ

ตารางที่ 4.2-4 สมดุลน้ำใต้ดินรายปี ในการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินทั้งระบบตามขอบเขตรายตำบลของอำเภอบ้านดุง

| ตำบล | พื้นที่ (ตร.กม.) | แหล่งและปริมาณการไหลเข้าชั้นน้ำใต้ดิน (ลบ.ม.) | | | แหล่งและปริมาณการไหลออกจากชั้นน้ำใต้ดิน (ลบ.ม.) | | | เติมน้ำสุทธิ (ลบ.ม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | จากฝน | จากแม่น้ำ | จากตำบลข้างเคียง | การสูบน้ำใต้ดิน | สู่แม่น้ำ | สู่ตำบลข้างเคียง | |
| ถ่อนนาลับ | 70.55 | 3,958,344 | 0 | 73,307 | 0 | 0 | 201,136 | 3,830,515 |
| นาไหม | 115.32 | 4,198,143 | 6,371 | 730,711 | 435,445 | 2,183,779 | 221,230 | 2,094,771 |
| บ้านจันทน์ | 101.51 | 4,393,549 | 20,708 | 401,904 | 172,103 | 3,765,625 | 158,098 | 720,335 |
| วังทอง | 44.64 | 1,250,482 | 0 | 277,767 | 73,000 | 55,513 | 293,967 | 1,105,769 |
| บ้านม่วง | 78.97 | 2,496,297 | 77,966 | 129,290 | 498,955 | 799,568 | 355,143 | 1,049,887 |
| โพนสูง | 80.74 | 2,092,147 | 0 | 434,625 | 927,830 | 0 | 247,037 | 1,351,905 |
| ศรีสุทโธ | 18.17 | 437,238 | 0 | 113,500 | 0 | 0 | 269,275 | 281,463 |
| บ้านดุง | 89.88 | 3,673,692 | 0 | 481,675 | 347,480 | 0 | 750,542 | 3,057,345 |
| นาคำ | 60.34 | 2,983,759 | 19,685 | 77,712 | 695,325 | 1,693,756 | 329,480 | 362,595 |
| บ้านชัย | 81.81 | 5,819,038 | 0 | 188,019 | 465,740 | 0 | 64,457 | 5,476,860 |
| บ้านตาด | 44.92 | 2,333,138 | 0 | 14,824 | 293,825 | 0 | 133,466 | 1,920,671 |
| อ้อมกอ | 78.49 | 2,082,256 | 0 | 161,839 | 491,290 | 669,001 | 105,563 | 978,241 |
| ดงเย็น | 52.94 | 1,329,298 | 49,250 | 195,087 | 404,055 | 978,320 | 66,173 | 125,087 |
| รวม | 918.28 | 37,047,381 | 173,980 | 3,280,260 | 4,805,048 | 10,145,562 | 3,195,567 | 281,463 |

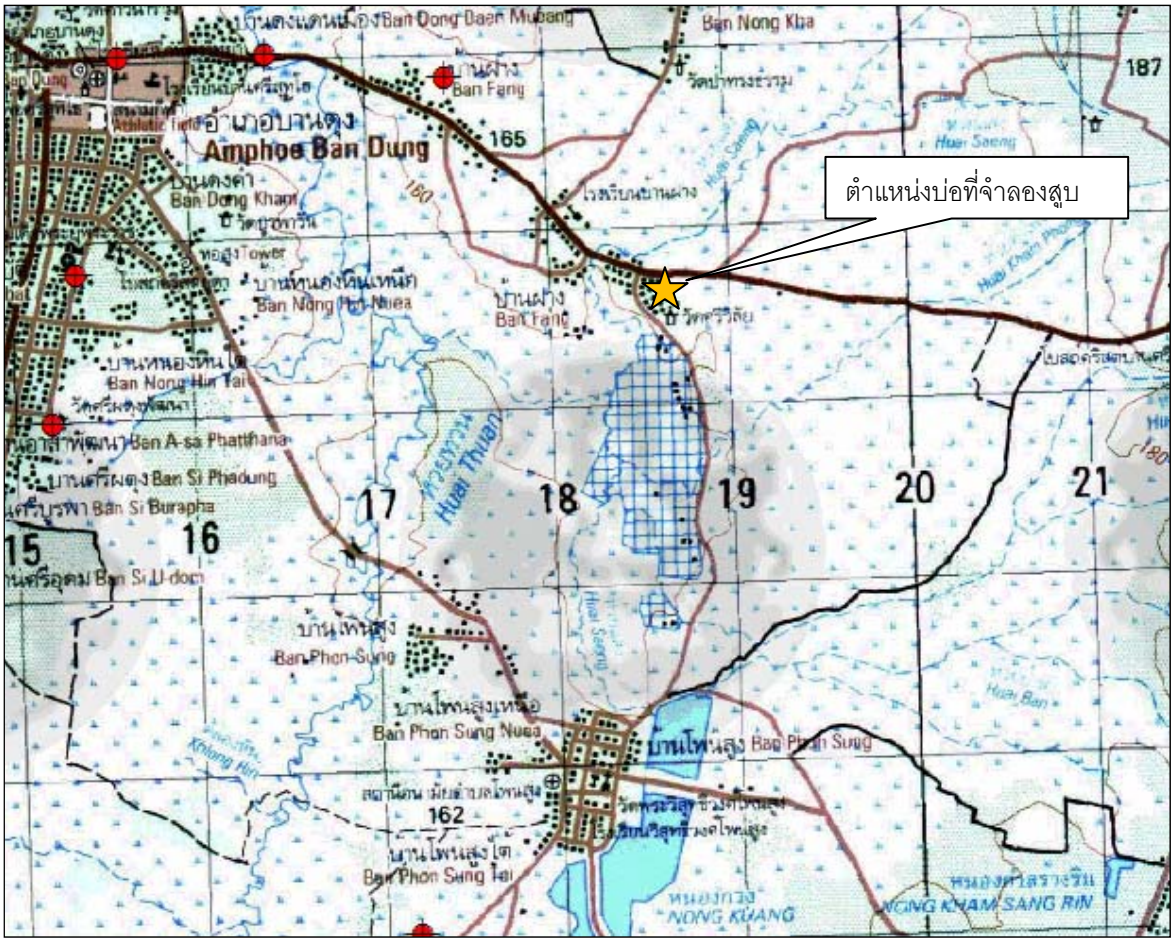
ระดับความลึกไม่เกิน 60 เมตร จากผิวดิน แบบจำลอง




รูปที่ 4.2-13 ผลการจำลองการแพร่กระจายน้ำใต้ดินเค็ม

<u>การคาดคะเนสถานการณ์เพื่อประเมินปริมาณน้ำที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้บริเวณพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม</u>

ดำเนินการจำลองด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองร่วมกันระหว่างแบบจำลองการไหลและการแพร่กระจายน้ำใต้ดินเค็ม (flow and saline water transport) เพื่อประเมินปริมาณน้ำที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ กรณีศึกษาบ้านฝาง ตำบลโพนสูง อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี (รูปที่ 4.2-14) การจำลองกำหนดให้เพิ่มอัตราการ กำหนดบ่อสูบน้ำ จำนวน 1 บ่อ ความลึกการพัฒนา 10-30 เมตร จากผิวดิน จำลองในสภาวะการเปลี่ยนแปลงการใช้น้ำบาดาล อัตราการสูบ 50 75 100 และ 125 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในอนาคต 1 5 10 15 และ 20 ปี (พ.ศ. 2562-2582) เพื่อประเมินปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ ผลการทำนายแสดงดังตารางที่ 4.2-7




รูปที่ 4.2-14 พื้นที่กรณีศึกษาการคาดคะเนเพื่อประเมินปริมาณน้ำที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ พื้นที่ตำบลโพนสูง

ตารางที่ 4.2-5 ผลการทำนายอัตราการสูบกรณีต่างๆ

| กรณีศึกษา | ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำใต้ดิน (TDS, มก./ล.) | | | | | ระดับแรงดันน้ำใต้ดิน (ม.รทก.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ปีที่ | 1 | 5 | 10 | 15 | 20 | 1 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| บ้านฝาง ตำบลโพนสูง (พิกัดบ่อ 955230/1960970) | | | | | | | | | | |
| (1) อัตราการสูบ 50 ลบ.ม./วัน | 513 | 584 | 623 | 670 | 767 | 153.9 | 151.1 | 150.5 | 150.2 | 150.2 |
| (2) อัตราการสูบ 75 ลบ.ม./วัน | 513 | 589 | 672 | 878 | 1,214 | 152.8 | 149.4 | 148.1 | 147.6 | 147.6 |
| (3) อัตราการสูบ 100 ลบ.ม./วัน | 515 | 600 | 727 | 1,260 | 1,978 | 151.7 | 147.2 | 145.6 | 144.9 | 145.0 |
| (4) อัตราการสูบ 125 ลบ.ม./วัน | 517 | 588 | 908 | 2,118 | 3,404 | 150.6 | 145.2 | 142.8 | 141.6 | 142.3 |

จากผลการจำลองด้วยการทดลองสูบน้ำด้วย 4 อัตราการสูบ ประกอบด้วย 50, 75, 100 และ 125 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (ลบ.ม./วัน) (ตารางที่ 4.2-6) พบว่า การสูบน้ำด้วยอัตราการสูบไม่เกิน 75 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือ 75,000 ลิตรต่อวัน ในอนาคตอีก 20 ปีข้างหน้า ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำใต้ดิน มีโอกาสที่ค่าไม่เกิน 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และระดับแรงดันน้ำใต้ดินลดลงที่ระดับ 147.6 ม. รทก. ในขณะที่อัตราการสูบน้ำที่ 100 ลบ.ม./วัน ในอนาคตอีก 20 ปีข้างหน้า ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ในน้ำใต้ดิน มีโอกาสที่ค่าเกิน 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นหากมีการพัฒนาน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้เบื้องต้นไม่ควรสูบเกิน 75 ลบ.ม.ต่อวัน เพราะอนาคต 20 ปีข้างหน้า มีโอกาสทำให้เกิดการแทรกดันของน้ำเค็มรุกล้ำเข้าโซนที่เป็นชั้นน้ำจืดได้

# บทที่ 5

# สรุปและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการศึกษา

ผลจากการสำรวจปริมาณการใช้น้ำอุปโภคบริโภคของพื้นที่ศึกษาอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ที่ได้จากการสำรวจใช้เป็นค่าตัวแทนประเมินปริมาณการใช้น้ำต่อคนต่อปี มีค่าเฉลี่ย 53.68 ลูกบาศก์เมตร (53,676 ลิตร) มีค่ามากที่สุด 77.63 ลูกบาศก์เมตร (77,629 ลิตร) และมีค่าน้อยที่สุด 34.07 ลูกบาศก์เมตร (34,073 ลิตร) และเมื่อเทียบกับจำนวนประชากรทั้งอำเภอ (126,373 คน) แสดงว่าน้ำสำหรับอุปโภคบริโภคใน 1 ปี จะต้องมีอย่างน้อย 4.31 ล้านลูกบาศก์เมตร และไม่น้อยกว่า 9.81 ล้านลูกบาศก์เมตร

ผลจากการสำรวจการเปลี่ยนแปลงระดับและคุณภาพน้ำใต้ดินในช่วง 1 ปี (ตุลาคม 2561-กันยายน 2562) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างฤดูแล้งกับฤดูฝน โดยที่ระดับน้ำลดลงและคุณภาพน้ำมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TDS) สูงขึ้นในฤดูแล้ง และระดับน้ำเพิ่มขึ้นและคุณภาพน้ำมีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ลดลงในฤดูฝน ความสอดคล้องระหว่างพื้นที่รับน้ำและพื้นที่ให้น้ำกับรูปแบบทางเคมีของน้ำใต้ดินคือ พื้นที่รับน้ำคุณภาพน้ำส่วนใหญ่เป็นน้ำจืด มีส่วนประกอบทางเคมีเป็นกลุ่มคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต (อาจเป็นพวกแคลเซียม/แมกเนเซียม คาบอร์เนต/ไบคาร์บอเนต) พื้นที่ให้น้ำคุณภาพน้ำมีโอกาสเป็นน้ำกร่อยถึงเค็มที่มีส่วนประกอบทางเคมีเป็นกลุ่มคลอไรด์ ($Cl^-$) ค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TDS) สูง

ผลจากการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า การสำรวจชั้นดินด้วยสว่านมือหมุน ชี้ให้เห็นถึงกายภาพพื้นที่มีความหนาของชั้นดินไม่มาก (2-11 เมตร) มักมีชั้นดินเหนียวและชั้นลูกรังปนดินเหนียวปิดทับก่อนถึงชั้นหินฐานราก หากต้องการกักเก็บน้ำโดยการขุดสระน้ำสามารถทำได้โดยไม่ขุดเปิดชั้นดินเหนียวออก และเนื่องจากในพื้นที่ศึกษามีชั้นเกลือหินและบางพื้นที่มีชั้นน้ำใต้ดินเค็มระดับตื้น โดยเฉพาะบริเวณ บ้านโนนกกบาก บ้านดุงเหนือ บ้านโนนธงชัย ตำบลบ้านดุง บ้านดงคำ2 และบ้านดงแดนเมืองใต้ ตำบลศรีสุทโธ บ้านชัย บ้านทุ่ง ตำบลบ้านชัย และบ้านโพนสูงสวัสดิ์ บ้านโพนสูงเหนือ บ้านโพนสูงใต้ บ้านฝาง ตำบลโพนสูง จึงไม่ควรขุดเปิด หรือเจาะบ่อและพัฒนาชั้นน้ำนั้นขึ้นมาใช้อุปโภคบริโภค เนื่องจากชั้นดินเหนียวสามารถช่วยปิดกั้นหรือชะลอไม่ให้น้ำเค็มแพร่กระจายขึ้นมาสู่ชั้นดินร่วนพื้นผิวได้โดยตรง

ผลจากการประเมินศักยภาพน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินด้วยแบบจำลองทางคณิศาสตร์ ชี้ว่าพื้นที่ศึกษามีศักยภาพน้ำผิวดินสูงกว่าศักยภาพน้ำใต้ดิน โดยที่น้ำต้นทุนรายปีของพื้นที่ที่เป็นน้ำผิวดินจำนวน 351.5 ล้านลูกบาศก์เมตร และเป็นน้ำใต้ดินจำนวน 22.3 ล้านลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 5.1-1) คณะผู้ศึกษาจึงขอให้ความเห็นเกี่ยวกับการวางแผน และการบริหารจัดการน้ำในบริเวณพื้นที่ศึกษา ดังนี้

1. ทรัพยากรน้ำผิวดิน ควรได้รับการพิจารณาในการพัฒนาแหล่งน้ำและใช้ประโยชน์มากกว่า ทรัพยากรน้ำใต้ดิน เนื่องจากมีปริมาณน้ำต้นทุนของแหล่งน้ำผิวดินมีมากกว่าทรัพยากรน้ำใต้ดิน (ตารางที่ 5.1-1) และในบางพื้นน้ำใต้ดินมีโอกาสพบน้ำกร่อยถึงเค็มเพราะมีชั้นเกลือหินอยู่ใต้พื้นผิว ทั้งนี้อำเภอบ้านดุง มีพื้นที่อยู่ระหว่าง 2 ลุ่มน้ำคือ ลุ่มน้ำสงครามตอนบนทางด้านตะวันออกของพื้นที่ และลำน้ำ

ห้วยหลวง ทางด้านตะวันตกของพื้นที่ โดยชุมชนในตำบลบ้านจันทร์ ตำบลวังทอง ตำบลบ้านม่วง ตำบลดงเย็น และตำบลอ้อมกอ มีพื้นที่ติดกับแม่น้ำสงคราม และชุมชนในพื้นที่ตำบลถ่อนนาลับ ตำบลนาไหมและตำบลนาคำ มีพื้นที่ติดกับลำน้ำห้วยหลวง และส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำต้นทุนรายปีที่เป็นน้ำผิวดินมากกว่า 20 ล้านลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 5.5-1) จึงควรได้รับการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดินมากกว่าแหล่งน้ำใต้ดิน

2. การพัฒนาทรัพยากรน้ำใต้ดิน เหมาะสำหรับการใช้เพื่ออุปโภคบริโภค ในที่พื้นที่ที่ห่างไกลจากแหล่งน้ำผิวดิน โดยเฉพาะในช่วงเวลาเข้าสู่ภาวะขาดแคลนน้ำ ตำบลที่มีศักยภาพน้ำใต้ดินประมาณ 2 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ขึ้นไปมีเพียง 5 ตำบล ประกอบด้วย ตำบลบ้านชัย ตำบลถ่อนนาลับ ตำบลบ้านดุง ตำบลนาไหม และตำบลบ้านตาด (ตารางที่ 5.1-1) ชุมชนที่มีการการพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้เพื่ออุปโภคบริโภคเกินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาล คือ ชุมชนในพื้นที่ตำบลนาคำ และตำบลดงเย็น

3. เนื่องจากในพื้นที่ศึกษามีชั้นเกลือหิน น้ำใต้ดินเค็มและทำอุตสาหกรรมเกลือสินเธาว์ในพื้นที่ตำบลบ้านดุง เทศบาลตำบลศรีสุทโธ ตำบลบ้านชัย และตำบลโพนสูง น้ำที่มีความเค็มภายหลังจากการดำเนินการ ควรมีการจัดการและวางแผนร่วมกันระหว่างพื้นที่ที่ได้รับประโยชน์และผลกระทบร่วมกันในการระบายน้ำเค็มสู่แหล่งน้ำธรรมชาติในปริมาณและช่วงเวลาที่เหมาะสม มีการตรวจสอบคุณภาพความเค็มของน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติหลังการระบายน้ำเค็มไม่ให้สูงจนเกิดผลกระทบต่อการดำรงชีวิต

จากตารางที่ 5.1-2 พบว่า อำเภอบ้านดุง มีจำนวนแหล่งน้ำผิวดินทั้งที่เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติและที่สร้างขึ้น จำนวนมาก ในขณะที่แหล่งน้ำประปาเพื่ออุปโภคบริโภคส่วนใหญ่มาจากน้ำบาดาล ยกเว้นพื้นที่ตำบลถ่อนนาลับ เทศบาลตำบลศรีสุทโธและใกล้เคียงซึ่งเป็นการให้บริการขององค์กรท้องถิ่นและประปาภูมิภาคที่ใช้น้ำแหล่งน้ำผิวดิน แสดงให้เห็นว่า มีการใช้แหล่งน้ำผิวดินเพื่อการเกษตรมากกว่าการอุปโภคบริโภค

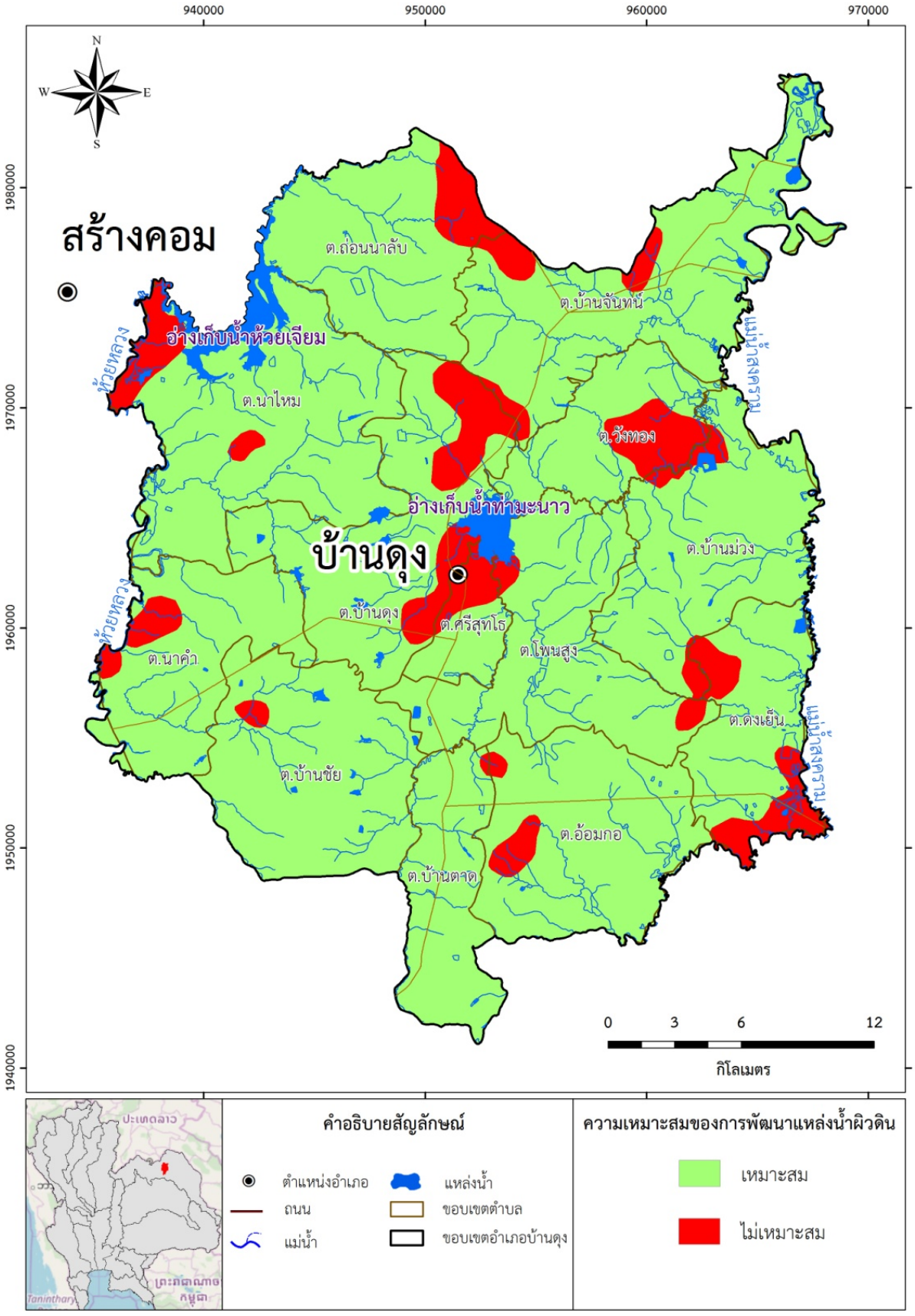
ตารางที่ 5.1-1 ปริมาณน้ำต้นทุนน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

| **ตำบล** | **พื้นที่ (ตร.กม.)** | **ปริมาณน้ำผิวดิน** (ล้าน ลบ.ม.) | **ปริมาณน้ำใต้ดิน** (ล้าน ลบ.ม.) | การใช้น้ำใต้ดินในระบบประปาหมู่บ้าน (ล้าน ลบ.ม.) |
|---|---|---|---|---|
| ถ่อนนาลับ | 70.55 | 26.95 | 3.83 | - |
| นาไหม | 115.32 | 44.67 | 2.10 | 0.44 |
| บ้านจันทน์ | 101.51 | 22.95 | 0.72 | 0.17 |
| วังทอง | 44.64 | 34.57 | 1.10 | 0.07 |
| บ้านม่วง | 78.97 | 31.39 | 1.05 | 0.49 |
| โพนสูง | 80.74 | 6.68 | 1.35 | 0.93 |
| ศรีสุทโธ | 18.17 | 39.18 | 0.28 | - |
| บ้านดุง | 89.88 | 16.83 | 3.06 | 0.35 |
| นาคำ | 60.34 | 30.26 | 0.36 | 0.69 |
| บ้านชัย | 81.81 | 30.96 | 5.47 | 0.47 |
| บ้านตาด | 44.92 | 20.06 | 1.92 | 0.29 |
| อ้อมกอ | 78.49 | 30.07 | 0.98 | 0.49 |
| ดงเย็น | 52.94 | 16.97 | 0.12 | 0.40 |
| รวม | 918.28 | **351.54** | **22.34** | **4.79** |

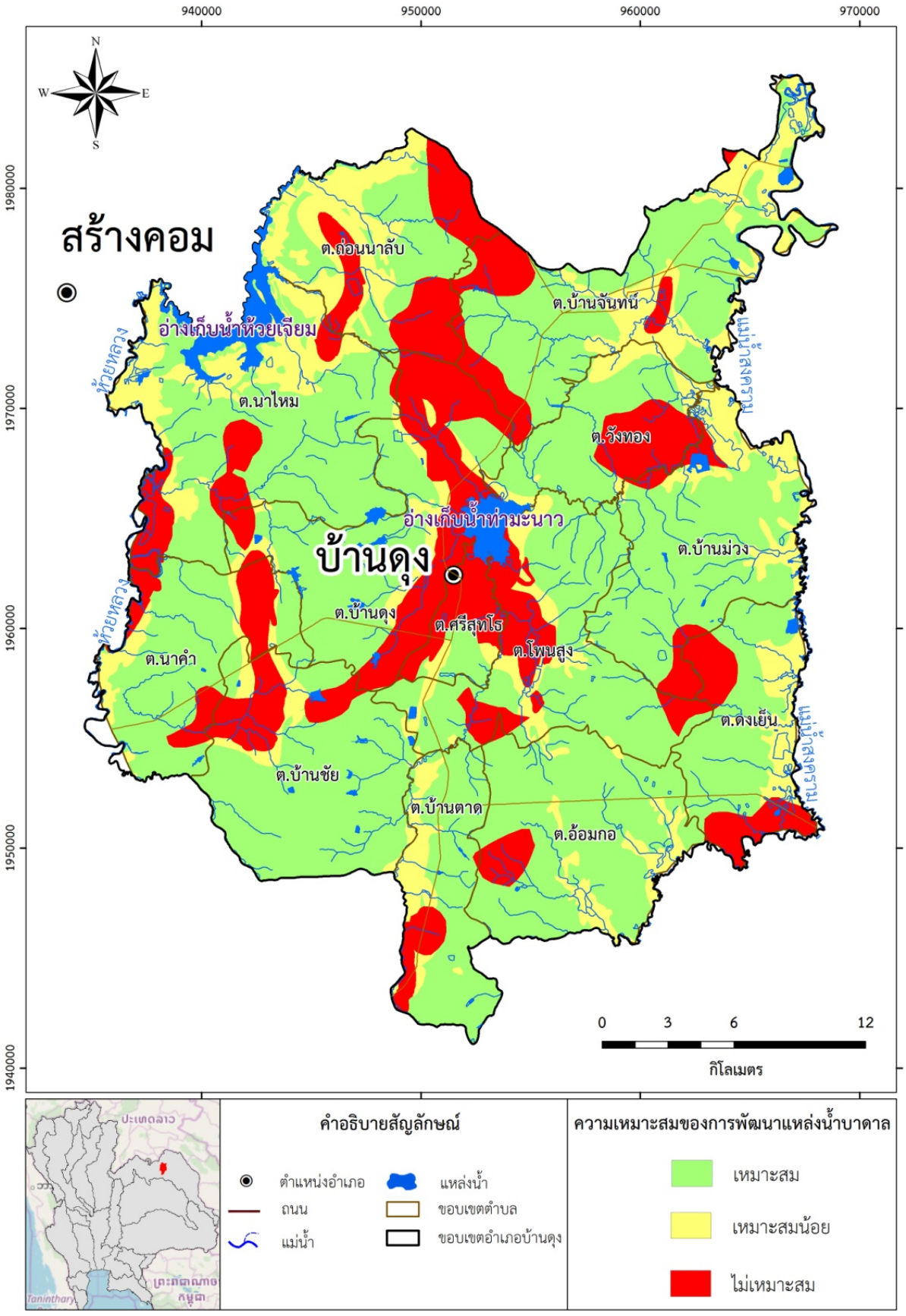
ตารางที่ 5.1-2 แหล่งน้ำน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินรายตำบล

| ลำดับที่ | ตำบล/เทศบาล | ประเภทแหล่งน้ำ | | | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ประปาผิวดิน (แห่ง) | ประปาบาดาล (แห่ง) | แหล่งน้ำผิวดิน (แห่ง) | |
| 1 | ถ่อนนาลับ | 8 | - | 5 | |
| 2 | นาไหม | 3 | 16 | 34 | |
| 3 | บ้านจันทน์ | 13 | 5 | 22 | |
| 4 | วังทอง | 8 | 1 | 21 | |
| 5 | บ้านม่วง | - | 26 | 27 | |
| 6 | โพนสูง | 3 | 18 | 3 | |
| 7 | ศรีสุทโธ | 1 | - | 9 | |
| 8 | บ้านดุง | 4 | 16 | 20 | |
| 9 | นาคำ | 2 | 25 | 25 | |
| 10 | บ้านชัย | 2 | 16 | 17 | |
| 11 | บ้านตาด | 2 | 26 | 33 | |
| 12 | อ้อมกอ | 2 | 36 | 28 | |
| 13 | ดงเย็น | - | 22 | 50 | |
| รวม | | 48 | 207 | 294 | |

ในการศึกษาธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเพื่อหาพื้นที่พัฒนาและบริหารจัดการแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม นั้นได้นำผลจากการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้ามาพิจารณาร่วมกันกับผลการศึกษากายภาพด้านอื่นๆ รวมทั้งผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ทำให้ได้บริเวณที่เหมาะสมในการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน ของพื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี (รูปที่ 5.1-1 และ 5.1-2) สรุปได้ว่า การศึกษาธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าสามารถนำมาหาพื้นที่พัฒนาและบริหารจัดการน้ำผิวดินในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็มได้




รูปที่ 5.1-1 พื้นที่เหมาะสมในการพัฒนาน้ำผิวดินในพื้นที่อำเภอบ้านดุง




รูปที่ 5.1-2 พื้นที่เหมาะสมในการพัฒนาน้ำใต้ดินในพื้นที่อำเภอบ้านดุง

**5.2 ข้อเสนอแนะ**

5.2.1 แนวทางการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ศึกษา

<u>แนวทาง หลักการและรูปแบบการจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ</u>

ในปัจจุบันเนื่องจากการขยายตัวของความต้องการใช้น้ำและปัญหาที่เกี่ยวข้องกับน้ำและการพัฒนาแหล่งน้ำมีมากขึ้น ทำให้การวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมในการจัดทำแผนยุทธศาสตร์และทางเลือกต่างๆ ด้านการจัดการทรัพยากรน้ำ ต้องขยายบริบทออกไปพิจารณาผลดีผลเสียต่อมิติทางสังคม เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ให้ครบถ้วน เพื่อให้การจัดการน้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้น การจัดทำแผนงานพัฒนาลุ่มน้ำแบบบูรณาการระดับยุทธศาสตร์ (Strategic and Integrated Development Program of River Basin: SIDP) จึงต้องใช้หลักการและแนวทางการจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ (Integrated Water Resources Management, IWRM) ในการจัดการทรัพยากรน้ำทั่วโลก

การจัดการทรัพยากรน้ำเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญต่อพื้นที่นี้อย่างมาก เนื่องจากพื้นที่นี้เป็นพื้นที่ๆ มีลักษณะภูมินิเวศผสมผสานทั้งพื้นที่ที่เป็นเนินลอนลาดและที่ราบลุ่มแม่น้ำ มีเขตเงาฝน และความเค็มในดิน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินแพร่กระจายโดยทั่วไป เป็นลุ่มน้ำที่มีฐานการผลิตจากระบบเกษตรกรรมที่มีความต้องการใช้น้ำมาก และขณะเดียวกันก็กำลังพัฒนาด้านอื่นๆ ด้วย เช่น การท่องเที่ยว อุตสาหกรรม การขยายตัวเพื่อรองรับการเติบโตทางสังคมและเศรษฐกิจอื่นๆ ดังนั้นการจัดการทรัพยากรน้ำที่มีประสิทธิภาพจะเป็นรากฐานการพัฒนาระบบเกษตรกรรม สิ่งแวดล้อม และความเป็นอยู่ของประชาชน เพื่อให้เกิดความมั่นคงทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพน้ำ อาหาร และปัจจัยการดำรงชีวิตทุกๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของประชากร มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอย่างมาก รวมถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เป็นภัยคุกคามต่อการจัดการน้ำของพื้นที่ๆ เป็นลุ่มน้ำที่เปราะบางต่อการแปรปรวนและเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ปัญหาการบริหารจัดการและกำกับดูแลด้านน้ำ (water governance crisis) เกิดขึ้นเนื่องจากการจัดการน้ำในอดีตเป็นการจัดการแบบแยกส่วน จึงทำให้เกิดความขัดแย้ง ขาดการประสานงานกันของหน่วยงานกลาง หน่วยงานท้องถิ่น และผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ทำให้มีคำถามถึงประสิทธิภาพและแนวทางการบริหารจัดการที่ดีกว่าระบบเดิม เพื่อตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชากรที่ต้องการใช้น้ำ ให้สามารถเข้าถึงน้ำดื่มที่ปลอดภัยและมีระบบการสุขาภิบาลที่เหมาะสม ทั้งในพื้นที่ชนบทและในเขตเมือง เพื่อลดสัดส่วนของประชากรที่ขาดน้ำและระบบสุขาภิบาลที่ดี ซึ่งเป็นเป้าหมายที่สำคัญเป้าหมายหนึ่งของแผนน้ำแห่งชาติและเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGs) นอกจากความมั่นคงด้านน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การสร้างความมั่นคงด้านน้ำเพื่อการผลิตก็สำคัญเช่นกัน ความต้องใช้น้ำเพื่อการเกษตร อุตสาหกรรม และบริการ ที่เพิ่มขึ้นมากขึ้น จะก่อให้เกิดความขัดแย้งของผู้ใช้น้ำด้านต่างๆ มากขึ้นในอนาคต โดยเฉพาะน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศ ทั้งระบบนิเวศที่ราบลุ่มแม่น้ำและระบบนิเวศพื้นที่ต้นน้ำ ที่มีผลต่อการซึมซับน้ำฝน การเติมน้ำใต้ดิน (groundwater recharge) และการไหลของแม่น้ำ ผลประโยชน์จากระบบนิเวศ (ecosystem service) ทางเศรษฐกิจและสังคม เช่น พืชอาหาร เชื้อเพลิง และพืชสมุนไพร และยังมีที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ สัตว์ป่า และบริเวณวางไข่ การถูกคุกคามด้วยมลพิษทางน้ำและการจัดการที่ดิน ดังนั้นการจัดการทรัพยากรน้ำต้องทำให้แน่ใจว่าระบบนิเวศที่

สำคัญได้รับการบำรุงรักษา และมีการพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับทรัพยากรธรรมชาติอื่นๆ ในมิติ สังคม เศรษฐกิจ สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม เมื่อมีการพัฒนาต่างๆ และตัดสินใจเลือกทางเลือกการจัดการที่เหมาะสมที่สุดภายใต้กระบวนการมีส่วนร่วม

การจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการเป็นหลักการจัดการน้ำที่เน้นการเปิดโอกาสให้องค์กรระดับพื้นที่เข้ามามีส่วนร่วมในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ และเป็นกระบวนการที่เป็นระบบสำหรับการพัฒนา การจัดสรร และการตรวจสอบการใช้น้ำอย่างเป็นระบบ ในบริบทของเป้าหมายในมิติของ สังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ตรงกันข้ามกับแนวทางของการจัดการแบบแยกภาคส่วนที่ใช้กันในอดีต (Cap-Net, 2008) แนวทางนี้ถูกนำมาใช้เป็นหลักการที่ใช้ในการวางแผนการจัดการน้ำทั่วโลกในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากการจัดการน้ำแบบแยกส่วนในอดีต ก่อให้เกิดปัญหาตามมาจากการพัฒนาเนื่องจากประเด็นปัญหาด้านสังคมและ สิ่งแวดล้อม

หลักการที่สำคัญมากของการจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ คือ การจัดการน้ำต้องทำอย่างบูรณาการและเป็นระบบ โดยคำนึงถึงการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในทุกระดับ ความเท่าเทียมกันทางเพศ (gender equality) ในการมีส่วนร่วมในการจัดการน้ำของประชาชนและผู้บริหาร การให้ความสำคัญต่อทรัพยากรน้ำที่เป็นทรัพยากรที่เปราะบางทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแหล่งน้ำและการใช้น้ำ การกำหนดให้น้ำเป็นสินค้าเชิงสังคมและเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้ประชนชนเห็นคุณค่าของน้ำและลดการเอาเปรียบจากนายทุนในการเข้าถึงน้ำ รวมถึงการบูรณาการแหล่งน้ำทุกแหล่งในแผนแม่บทการพัฒนาแหล่งน้ำ ทั้งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน น้ำเสีย น้ำใหม่ (เช่น การกลั่นกรองน้ำเค็มมาใช้ เป็นต้น)

มาตรการในการจัดการน้ำแบบบูรณาการควรประกอบด้วย แนวทางการจัดการน้ำทั้งแบบใช้สิ่งก่อสร้าง (hard measure) และไม่ใช้สิ่งก่อสร้าง (soft measure) โดยคำนึงถึงข้อจำกัดของทรัพยากรน้ำในการวางแผนการพัฒนาเพิ่มศักยภาพด้านอุปสงค์ (supply side management) และเพิ่มศักยภาพในการใช้น้ำและควบคุมมลพิษในการจัดการเชิงอุปทาน (demand side management) และจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาและจัดการทรัพยากรน้ำในขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อให้เกิดความมั่นคงด้านน้ำ (water security) ในมิติต่างๆ 5 มิติหลัก คือ ความมั่นคงด้านน้ำในครัวเรือน ความมั่นคงด้านน้ำเพื่อการผลิต ความมั่นคงด้านน้ำในเขตเมือง ความมั่นคงด้านน้ำเพื่อสิ่งแวดล้อม และความสามารถในการรับมือภัยภิบัติที่เกิดจากน้ำ (ADB, 2016)

<u>การนำระบบการจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการไปสู่การปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพ</u>

การจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ (IWRM) มุ่งมั่นที่จะสร้างความมั่นคงทางน้ำอย่างยั่งยืนภายใต้ข้อ จำกัดในปัจจุบันและเพื่อปรับปรุงสภาพในอนาคตของพื้นที่ลุ่มน้ำ เงื่อนไขที่สำคัญสำหรับการนำ IWRM ไปปฏิบัติมีดังนี้

1) มีนโยบายที่แสดงเจตจำนงและความมุ่งมั่น (political will and commitment)

2) มีแผนการจัดการและวิสัยทัศน์ที่ชัดเจน (basin management plan and clear vision)

3) มีกลไกการมีส่วนร่วมและการประสานงาน (participation and coordination mechanisms) การเสริมสร้างระบบการแบ่งปันข้อมูลและการแลกเปลี่ยน (information-sharing and exchange)

4) มีการพัฒนาศักยภาพ (capacity development)

5) มีกรอบและข้อบังคับทางกฎหมายที่มีความยืดหยุ่นและสามารถบังคับใช้ได้จริง (well-defined flexible and enforceable legal frameworks and regulation)

6) มีแผนการจัดสรรน้ำ (water allocation plans)

7) มีความมั่นคงทางการเงินและงบประมาณที่เพียงพอ (adequate investment, financial stability)

8) มีฐานข้อมูลทรัพยากรที่มีอยู่ในลุ่มน้ำ (information management)

9) มีการติดตามและประเมินผลที่ครอบคลุม (comprehensive monitoring and evaluation)

การจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการจัดการแบบแยกส่วน แต่การบูรณาการที่แท้จริงไม่ใช่เรื่องง่าย คือ ต้องมีรูปแบบการบูรณาการทั้งในแนวราบและในแนวดิ่ง คือ ต้องบูรณาการตามลำดับโครงสร้างการทำงานทั้งข้างล่างขึ้นข้างบนและข้างบนลงข้างล่าง และในแนวระนาบระหว่างภาคส่วนต่างๆ ดังนี้

1) การบูรณาการในแนวดิ่ง คือ การบูรณาการแผนงานในแนวดิ่ง พิจารณากรอบของนโยบายการจัดการทรัพยากรน้ำในแผนยุทธศาสตร์และเป้าหมายการพัฒนาในระดับโลก ระดับชาติ ระดับภูมิภาค ระดับลุ่มน้ำ และในพื้นที่ย่อย (จังหวัด อำเภอ ตำบล หมู่บ้าน) ให้สอดคล้องกันและสมดุลกัน ทั้งด้านปัญหาและความต้องการจากข้างล่างขึ้นข้างบนและการใช้หลักการทางวิชาการเสนอแนะจากข้างบนลงข้างล่าง ทั้งในเชิงเป้าหมาย ยุทธศาสตร์ กลยุทธ์ แผนงาน และแนวทางปฏิบัติงาน โดยมีหน่วยงานกำกับดูแล (regulator) กำกับการดำเนินงานของและหน่วยงานปฏิบัติการ (operator) ด้านต่างๆ ตามลำดับ

2) การบูรณาการในแนวราบ คือ การบูรณาการร่วมกันในมิติของทรัพยากรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง คือ ดำเนินการวางแผนการพัฒนาและจัดการแบบบูรณาการระหว่างทรัพยากรน้ำกับทรัพยากรอื่นๆ ในเชิงพื้นที่ลุ่มน้ำและพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ได้แก่ น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน ป่าไม้ แร่ ดิน และทรัพยากรอื่นๆ เป็นการบูรณาการในมิติของการทำงานร่วมกันของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำ ทางน้ำ น้ำใต้ดิน ดิน เกษตรประมง ป่าไม้ ท้องถิ่น สิ่งแวดล้อม และภาคเอกชน โดยจะต้องมีส่วนร่วมกันในระดับเริ่มต้น คือ วิเคราะห์พื้นที่ร่วมกัน สร้างทางเลือกร่วมกัน เพื่อให้เกิดการบูรณาการแผนและแนวทางการจัดการน้ำโดยใช้ศาสตร์และวิธีการปฏิบัติของแต่ละหน่วยงานร่วมกัน ทั้งหน่วยงานกำกับดูแล (regulator) และหน่วยงานปฏิบัติการ (operator) โดยดำเนินการเพิ่มศักยภาพด้านอุปสงค์ (supply side management) และเพิ่มศักยภาพในการจัดการเชิงอุปทาน (demand side management) เช่น การบูณาการด้านการเพิ่มการกักเก็บน้ำและการใช้น้ำของแหล่งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน ป่าไม้ สระน้ำในไร่นา การบูรณาการเพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพของระบบประปาและระบบชลประทาน การลดการใช้น้ำ การเพิ่มผลิตภาพการใช้น้ำ หรือ

การบูณาการผังการระบายน้ำของเขตป่าไม้ เขตชลประทาน เขตอุตสาหกรรม และเขตเมือง รวมทั้งการจัดการน้ำเสียโรงงานขนาดใหญ่และโรงงานขนาดเล็ก น้ำเสียจากพื้นที่เกษตร ประมง ปศุสัตว์ น้ำเสียชุมชน ระบบบำบัดน้ำเสียในเขตเมือง การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ และการวางแผนกักเก็บน้ำเพื่อการรักษาระบบนิเวศ เป็นต้น เพราะการจัดการน้ำมีทั้งแบบใช้สิ่งก่อสร้างและไม่ใช้สิ่งก่อสร้าง การกำหนดทางเลือกต่างๆ ในการจัดการน้ำจึงต้องพิจารณาในภาพรวมของแนวทางปฏิบัติเดิม และแนวทางใหม่ๆ ตั้งแต่การสำรวจ ออกแบบ ก่อสร้าง เดินระบบ และบำรุงรักษา และนำมาวิเคราะห์ร่วมกันในมิติสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมในระยะยาว เพื่อให้เกิดการบูรณาการของแผนยุทธศาสตร์และสามารถแยกออกไปเป็นแผนงาน แผนปฏิบัติการ แผนติดตามความก้าวหน้า และแผนการประเมินผล ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

5.2.2 ข้อเสนอแนะการจัดการน้ำสำหรับพื้นที่อำเภอบ้านดุง

การจัดการน้ำสำหรับพื้นที่อำเภอบ้านดุง พบว่า อำเภอบ้านดุงขนาบด้วยแม่น้ำห้วยหลวงทางทิศตะวันตกและแม่น้ำสงครามทางทิศตะวันออก ทำให้มีศักยภาพของน้ำผิวดินสูง แต่ขาดการพัฒนาระบบชลประทาน ดังนั้นการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภคและในภาคเกษตรกรรมจึงอาศัยน้ำจากฝายขนาดกลางและน้ำในลำห้วยรวมทั้งระบบการกักเก็บรูปแบบฝายในลำน้ำ ปัญหาสำคัญๆ ที่เกิดขึ้น คือ ความเค็มแพร่กระจายในเขตพื้นที่ทำนาเกลือ การแปรปรวนของภูมิอากาศ และขาดแหล่งกักเก็บน้ำขนาดใหญ่ พื้นที่อำเภอบ้านดุงเป็นพื้นที่เกษตรกรรม อุตสาหกรรมเกลือสินเธาว์ และแหล่งท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมที่สำคัญของจังหวัดอุดรธานี ดังนั้น ในอนาคตความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและการบริการมีโอกาสเพิ่มขึ้นอย่างมาก และมีศักยภาพทั้งแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดินค่อนข้างดี (รูปที่ 3.2-28 และ 3.2-29) นอกจากบริเวณพื้นที่ๆ มีเกลือหินวางตัวอยู่ตื้น (ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทำเกลือสินเธาว์) การพัฒนาน้ำมาใช้ในอนาคตจึงควรเน้นการจัดการน้ำร่วมกันระหว่างน้ำผิวดินและใต้ดิน โดยจัดการน้ำผิวดินเพื่อการเกษตรกรรมและเน้นการพัฒนาใช้น้ำบาดาลในการอุปโภคบริโภค และสำรองไว้สำหรับกรณีภัยแล้ง มีการกำกับดูแลการใช้น้ำบาดาลในกิจการบริการการท่องเที่ยวให้เกิดความยั่งยืน จากการสำรวจการใช้น้ำในอำเภอบ้านดุง พบว่า แหล่งน้ำอุปโภคบริโภค นอกเขตการให้บริการของการประปาภูมิภาคนั้นเป็นแหล่งน้ำบาดาลเกือบทั้งหมด มีการใช้น้ำรวมประมาณ 5 ล้าน ลูกบาศก์เมตรต่อปี ดังนั้นจึงต้องพยายามรักษาแหล่งน้ำบาดาลมิให้มีการรุกตัวของน้ำเค็ม โดยสามารถพัฒนาระบบเติมน้ำใต้ดินในพื้นที่ที่เหมาะสมได้ โดยการเติมน้ำฝนจากหลังคา เติมน้ำผ่านสระในช่วงฤดูฝน เป็นต้น เมื่อพิจารณาการแพร่กระจายความเค็มในน้ำใต้ดิน พบว่า สามารถเสนอแนะบริเวณที่เหมาะสมในการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดิน ใต้ดิน และ สร้างระบบเติมน้ำใต้ดินได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.1-1 และ 5.1-2 โดยสามารถพัฒนามาใช้ได้ตามปริมาณที่ประเมินได้ในตารางที่ 5.1-1

โดยการบริหารการกักเก็บน้ำ (Storage management) เช่น การเพิ่มปริมาณกักเก็บของอ่างเก็บน้ำ ฝาย และแก้มลิง โดยรวมโดยการวางระบบโครงข่ายน้ำเชื่อมโยงระหว่างอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก เข้าด้วยกัน ซึ่งจะช่วยให้ปัญหาการขาดแคลนน้ำในระยะยาวบรรเทาลงแต่ต้อง

ระมัดระวังการขุดลอกอ่างเก็บน้ำและสระน้ำในพื้นที่ดินเค็มและชั้นเกลืออยู่ตื้น (โดยเฉพาะอ่างเก็บน้ำท่ามะนาว) โดยต้องมีการศึกษาประเมินความลึกที่เหมาะสมของพื้นที่ที่จะขุดลอกเสียก่อน สนับสนุนให้ประชาชนให้มีการขุดสระน้ำในไร่นา การลดการสูญเสียจากระบบการส่งน้ำ และส่งเสริมการใช้น้ำบาดาลเพื่อพัฒนาระบบเกษตรกรรมขนาดเล็กในเขตที่เนิน เพิ่มการกักเก็บในพื้นที่ลุ่ม โดยนำไปใช้ปลูกพืชใช้น้ำน้อยและเสริมในช่วงฝนทิ้งช่วง เป็นต้น รวมไปถึงการจัดการน้ำต้นทุน (Supply management) เช่น การผันน้ำจืดในบางพื้นที่ไปยังพื้นที่ๆ มีน้ำน้อยหรือน้ำเค็ม การผันน้ำข้ามลุ่มน้ำ (ลุ่มน้ำห้วยหลวง – ลุ่มน้ำสงคราม) และการศึกษาส่งเสริมการใช้น้ำที่ใช้น้ำกร่อยมาผลิตในบางพื้นที่ที่น้ำบาดาลเค็ม ควบคู่ไปกับการจัดการด้านความต้องการน้ำ (Demand management) เช่น เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำให้เกิดความคุ้มค่าและยั่งยืน สนับสนุนกิจกรรมที่มีนโยบายการประหยัดน้ำ นอกจากนี้ยังมีประเด็นที่ควรพิจารณาเพิ่มเติม ได้แก่ การจัด Zoning พื้นที่กลุ่มอุตสาหกรรมตามประเภทต่างๆ อย่างจริงจัง เพื่อให้เกิดการจัดการที่มีความคล้ายคลึงกันอย่างเป็นระบบ และง่ายต่อการจัดการน้ำและสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อลดความขัดแย้งและเพิ่มประสิทธิการใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากระบบนิเวศท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำท่ามะนาวมีความสำคัญต่อพื้นที่มากเนื่องจากเป็นที่ตั้งของพื้นที่ชุ่มน้ำป่าคำชะโนด ที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวสำคัญ ที่ต้องรักษาไว้เป็นแหล่งรายได้ชุมชน มีมูลค่าทางสังคม และเศรษฐกิจอย่างมาก จึงต้องมีความมั่นคงด้านน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค และเพื่อให้บริการนักท่องเที่ยว จึงต้องป้องกันน้ำเค็มจากนาเกลือลงสู่อ่างเก็บน้ำท่ามะนาวและไหลลงไปยังพื้นที่ท้ายน้ำ ซึ่งจะสร้างความเสียหายต่อการเกษตร ระบบนิเวศ และแหล่งน้ำท้ายน้ำ การจัดทำระบบนาเกลือระบบปิดหรือ zero waste จึงเป็นยุทธศาสตร์การจัดการน้ำที่สำคัญมากที่สุดในการจัดการน้ำในพื้นที่นี้ เนื่องจากศักยภาพเชิงปริมาณสูง แต่ผลจากการจัดการพื้นที่และการควบคุมน้ำเค็มจะทำให้ทรัพยากรน้ำที่มีมากสูญเสียไปได้ การวางแผนการระบายน้ำในพื้นที่จึงสำคัญไม่น้อยกว่าการพัฒนาระบบเก็บน้ำ การพัฒนาฝายกั้นลำห้วยที่มีน้ำเค็มก็ต้องออกแบบให้สามารถระบายความเค็มสะสมในช่วงเวลาที่น้ำในลำห้วยมีความเค็มสูงได้ด้วย มิเช่นนั้นในช่วงปีที่มีน้ำผิวดินน้อยความเค็มสะสมจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อพื้นที่เกษตรกรรมอย่างรุนแรง

เนื่องจากนโยบายกระจายอำนาจสู่ท้องถิ่น การประสานงานของท้องถิ่นและหน่วยงานส่วนกลางเช่น กรมทรัพยากรน้ำ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล และการประปาส่วนภูมิภาคในอนาคตจึงสำคัญมากในการวางแผนแม่บทการพัฒนาและจัดการทรัพยากรน้ำ ในภาพรวมของลุ่มน้ำ อำเภอ และระดับตำบล เนื่องจากต้องเข้าร่วมการจัดการและเสนอความต้องการในการพิจารณาแผนการจัดการน้ำของ 2 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำห้วยหลวง และลุ่มน้ำสงคราม ไปพร้อมๆ กัน

## เอกสารอ้างอิง


กรมชลประทาน. 2530-2559, ปริมาณน้ำท่า บ้านท่าห้วยหลัว อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร สถานี KH.74, สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมชลประทาน. 2542-2559, ปริมาณน้ำท่า บ้านท่ากกแดง อำเภอเซกา จังหวัดหนองคาย สถานี KH.98, สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมชลประทาน. 2539-2559, ปริมาณน้ำท่า บ้านโคกคำไหล อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี สถานี KH.93, สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมทรัพยากรน้ำ. (2559). โครงการศึกษาสถานภาพและศักยภาพการบริหารจัดการน้ำผิวดินร่วมกับน้ำใต้ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาคลองแม่ระกา ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดตาก. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร 56 หน้า

กรมทรัพยากรน้ำ. (2562). การประเมินศักยภาพน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยการจัดทำแบบจำลอง SWAT, MODFLOW และ MT3D พื้นที่อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี ภายใต้โครงการศึกษาธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเพื่อหาพื้นที่พัฒนาและบริหารจัดการแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่น้ำใต้ดินเค็ม อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี. กรุงเทพมหานคร 92 หน้า

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2538). แหล่งน้ำบาดาลและวิธีการใช้แผนที่จังหวัดอุดรธานี. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร

กรมทรัพยากรธรณี. (2550). ธรณีวิทยาประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2 ฉบับปรับปรุง. กรุงเทพมหานคร 628 หน้า.

กรมทรัพยากรธรณี. (๒๕๕๒). การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดอุดรธานี. พิมพ์ครั้งที่ ๑ กรุงเทพมหานคร ๙8 หน้า.

กรมทรัพยากรธรณี ๒๕๕๕ การสำรวจวัดการทรุดตัวของพื้นที่ผลิตเกลือสินเธาว์ด้วยวิธีวัดค่าโน้มถ่วงอย่างละเอียด (Micro gravity) พื้นที่บ้านดุง อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี รายงานวิชาการฉบับที่ สทธ 2/2555 โดย กัมปนาท แหลมพูลทรัพย์ และวิไลวรรณ เวชกามา สำนักเทคโนโลยีธรณี.

กรมทรัพยากรธรณี. ธรณีวิทยาที่ราบสูงโคราช [สืบค้นจากระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.dmr.go.th สืบค้นวันที่ 8 ตุลาคม 2560

กรมพัฒนาที่ดิน, 2537. แผนที่การแพร่กระจายดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน ๒๕๔๔ เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่รัฐ เรื่อง ดินเค็ม พิมพ์ครั้งที่ ๘ จำนวน ๓๓๐ หน้า

กรมพัฒนาที่ดิน (๒๕๕๔) รายงานสภาพการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จังหวัดอุดรธานี พ.ศ. ๒๕๕๔ เอกสารวิชาการเลขที่ ๑๕๕/๐๓/๕๔ โดย นายสุเทพ ชุติรัคน์พันธุ์ สำนักนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน.

กรมพัฒนาที่ดิน, 2558. แผนที่กลุ่มดินรายจังหวัด จังหวัดสกลนคร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน, 2558. แผนที่กลุ่มดินรายจังหวัด จังหวัดหนองคาย, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน, 2558. แผนที่กลุ่มดินรายจังหวัด จังหวัดอุดรธานี, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
กรมพัฒนาที่ดิน, 2558. แผนที่การใช้ที่ดินรายจังหวัด จังหวัดสกลนคร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
กรมพัฒนาที่ดิน, 2558. แผนที่การใช้ที่ดินรายจังหวัด จังหวัดหนองคาย, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
กรมพัฒนาที่ดิน, 2558. แผนที่การใช้ที่ดินรายจังหวัด จังหวัดอุดรธานี, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
กรมอุตุนิยมวิทยา. 2532 – 2561. ปริมาณน้ำฝน (1) อำเภอเจริญศิลป์ จังหวัดสกลนคร สถานี 356016, (2) อำเภอสว่างแดนดิน จังหวัดสกลนคร สถานี 356008, (3) อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย สถานี 352002, (4) อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี สถานี 354005, (5) อำเภอเพ็ญ จังหวัดอุดรธานี สถานี 354001, (6) อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี สถานี 354201. กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม.
กรมอุตุนิยมวิทยา, 2532–2561. สภาพภูมิอากาศ (1) จังหวัดสกลนคร สถานี 356201 (2) จังหวัดหนองคาย สถานี 352201 (3) จังหวัดอุดรธานี สถานี 354201. กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม.
เพียงตา สาตรักษ์ และวินิจ ยังมี ๒๕๔๘ การศึกษาขอบเขตรอยต่อระหว่างชั้นน้ำบาดาลจืดและชั้นน้ำบาดาลเค็มโดยใช้วิธีการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ทางไฟฟ้า คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ปราโมทย์ ไม้กลัด. (2557). ทางออกการบริหารจัดการน้ำของไทย [สืบค้นจากระบบออนไลน์] แหล่งที่มา https://thaipublica.org/2014/03/water-management-solutions/สืบค้นวันที่ 10 ตุลาคม 2560
เพียงตา สาตรักษ์. ธรณีฟิสิกส์เพื่อการสำรวจใต้ผิวดิน [สืบค้นจากระบบออนไลน์] แหล่งที่มา https://home.kku.ac.th/peangta/peangta-textbook-geophysics.htm วันที่ 8 ตุลาคม 2560
ทวีศักดิ์ ระมิงค์วงศ์. (2546). น้ำบาดาล, ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 373 หน้า
อรุณี ยูวนิยม. การจัดการดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [สืบค้นจากระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.sri.cmu.ac.th สืบค้นวันที่ 9 ตุลาคม 2560
Anderson, M.P. and Woessner, W.W., 1992. Applied groundwater modeling, simulation of flow and advectivetransport : Academic Press, Inc., 381 p.
Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. R. Williams. 1998. Large-area hydrologic modeling and assessment: Part I. Model development. J. American Water Resour. Assoc. 34(1): 73-89.
Freeze, R.A., and Cherry, J.A., 1979, Groundwater, Prentice Hall., Englewood Cliffs, N.J.
McDonald, M.G. and Harbaugh, A.W., 1988. A modular three-dimensional finite difference ground water flow model.US Geol. Surv. Tech, Water Resour Invest, Book 6, 472 pp.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R., 2011. Soil and Water Assessment tool theoretical documentation version 2009, Texas, USA: Grassland, soil and water research laboratory agricultural research service, Blackland Research Center.

Spitz, K. and Moreno, J., 1996. A practical guide to groundwater and solute modeling. John Wiley and Sons, Inc, 441p.

Toth, J., 1984, The role of regional gravity flow in the chemical and thermal evolution of groundwater: Proc. Ist American Conf. Banff, Alberta, Canada, NWWA.

Zheng, C., (1996). A Modular Three-Dimensional Transport Model for simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reaction of Contaminants in Groundwater Systems (MT3D), Reference Manual. Waterloo Hydrogeologic, SS. Papadopulos & Associate, Inc, Rockville, Maryland 20852.

# ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ข้อมูลและผลสำรวจความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Resistivity survey)

ภาคผนวก ข คำบรรยายหลุมเจาะสำรวจดิน

ภาคผนวก ค ผลวิเคราะห์รูปแบบทางเคมีของน้ำใต้ดิน

ภาคผนวก ง ผลการจำลองสภาพแบบจำลอง SWAT พื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสงคราม และพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำห้วยหลวง

ภาคผนวก จ ข้อมูลนำเข้าบ่อสังเกตการณ์และบ่อสูบ สำหรับแบบจำลอง MODFLOW

ภาคผนวก ฉ ข้อมูลนำเข้าบ่อสังเกตการณ์ สำหรับแบบจำลอง MT3D

ภาคผนวก ช การจัดประชุมและแบบสอบถามเพื่อโครงการแนวทางเสริมสร้างเครือข่ายและความรู้ความเข้าใจของชุมชน

## ผู้รับผิดชอบโครงการวิจัย

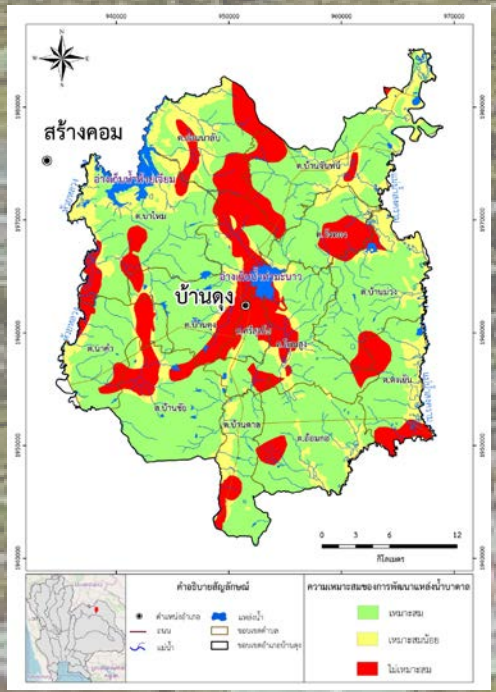
<u>หัวหน้าโครงการวิจัย</u>

| | | |
|---|---|---|
| 1. นายธีระเดช | คุรุวุฒิ | นักธรณีวิทยาชำนาญการพิเศษ |

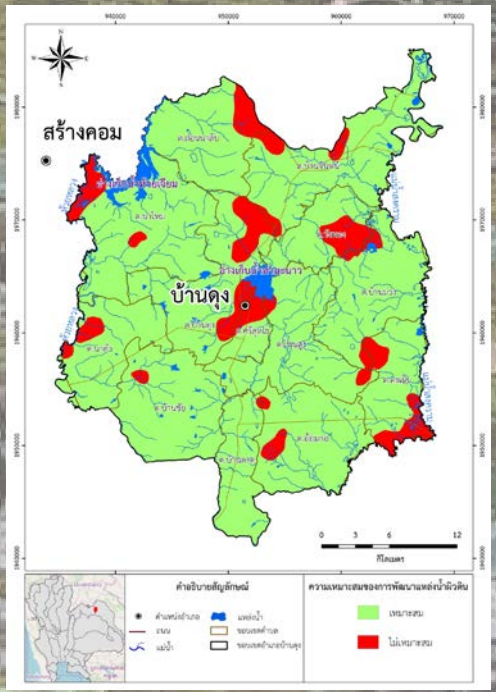
<u>นักวิจัยร่วม</u>

| | | |
|---|---|---|
| 2. นายเรืองศิลป์ | วิราศรี | นักธรณีวิทยาชำนาญการ |
| 3. นางอังสนา | ยะโสธร | นักวิเคราะห์นโยบายและแผนชำนาญการพิเศษ |
| 4. นางสาวณิชารีย์ | เวียงมูล | นักธรณีวิทยาปฏิบัติการ |
| 5. นายสิทธิชัย | ศรีตระการ | นักวิเคราะห์นโยบายและแผนชำนาญการ |
| 6. นายวิชา | พุ่มเกตุ | พนักงานธุรการ ส.4 |
| 7. นายสราวุธ | ภู่จันทร์ | พนักงานธุรการ ส.3 |
| 8. นายเจน | ทองพิชัย | พนักงานช่างเจาะทางธรณีวิทยา ส.2 |
| 9. นายวิสุทธิ์ | พึ่งเกิด | พนักงานช่างเจาะทางธรณีวิทยา ส.2 |
| 10.นางสาวณัฐยา | ย่องมณี | นักธรณีวิทยา (จ้างเหมาบริการ) |
| 11. นางสาวจิราพร | กรีเทพ | นักธรณีวิทยา (จ้างเหมาบริการ) |

# การศึกษาธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ




พื้นที่เหมาะสมในการพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดิน




พื้นที่เหมาะสมในการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดิน