

การไหลแนวราบของน้ำใต้ดินและธาตุอาหารในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Lateral Flow of Groundwater and Associated Nutrients in a Mini-Watershed of Northeast Thailand.

นฤมล แก้วจำปา ปัทมา วิทยากร แรมโบ วิทยา ตริโลเกต วิชัย ศรีบุญลือ และเกวรี พลแก้ง

1. บทนำ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือในช่วง 50 ปีที่ผ่านมา ได้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะพื้นที่ป่าไม้ถูกเปลี่ยนมาใช้ทำการเกษตรรูปแบบต่างๆ ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อทรัพยากรธรรมชาติต่างๆ เช่น ป่าไม้ ดิน อากาศ และน้ำ รวมไปถึงน้ำใต้ดินซึ่งเป็นทรัพยากรน้ำรูปแบบหนึ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นแหล่งน้ำที่สนองความต้องการของประชาชนที่อาศัยอยู่ทั้งภายในและภายนอกพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง น้ำใต้ดินเป็นน้ำแหล่งเดียวที่หล่อเลี้ยงลำธารและแม่น้ำ นอกจากนี้ประชาชนส่วนใหญ่ในปัจจุบันยังคงอาศัยน้ำบาดาล ซึ่งก็คือน้ำใต้ดินที่ขุดขึ้นเอง เพื่อใช้ในการบริโภคและอุปโภค

ธาตุอาหารพืชหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชและช่วยในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน (N) ธาตุฟอสฟอรัส (P) และธาตุโพแทสเซียม (K) และจะมีปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับกระบวนการเคลื่อนย้ายและการกักเก็บธาตุอาหารพืชหลัก ซึ่งโดยปกติจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิวหน้าดินลงสู่บริเวณชั้นรากพืชและลงไปสะสมบริเวณชั้นน้ำใต้ดิน การไหลของน้ำใต้ดินจะเป็นตัวการสำคัญในการเคลื่อนย้ายปริมาณธาตุอาหารพืชต่างๆ จากพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหนึ่งไปสู่อีกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอีกแห่งหนึ่งต่อไปตามลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินบริเวณนั้นๆ

ดังนั้นการศึกษากการไหลแนวราบของน้ำใต้ดินและการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารในการใช้ประโยชน์ที่ดินรูปแบบในปัจจุบัน เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดิน และเป็นตัวชี้วัดความเสื่อมโทรมของที่ดินได้อีกประการหนึ่งดังนั้นการศึกษาดังนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ

- 1) เพื่อศึกษาลักษณะการไหลแนวราบของน้ำใต้ดิน
- 2) เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของธาตุอาหารที่ถูกเคลื่อนย้ายโดยการไหลแนวราบของน้ำใต้ดิน

2. กรอบแนวคิด (Conceptual framework)

ลักษณะภูมิประเทศพื้นที่เกษตรของภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่จะเป็นลูกคลื่นลอนลาด มีลักษณะเป็นพื้นที่รับน้ำขนาดเล็ก โดยทั่วไปจะมีพื้นที่ป่าอยู่ที่พื้นที่สูงสุดของพื้นที่รับน้ำ ลาดลงมาจะเป็นพื้นที่พืชไร่ ส่วนใหญ่ที่ลุ่มต่ำสุดจะเป็นพื้นที่นา

การเคลื่อนที่ของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินในพื้นที่รับน้ำ โดยปกติจะไหลจากต้นน้ำคือพื้นที่สูงสุดลงไปยังท้ายน้ำคือพื้นที่ต่ำสุดและไหลออกจากพื้นที่รับน้ำไป การเคลื่อนที่ของน้ำทั้งผิวดินและใต้ดินเป็นกลไกสำคัญในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร โดยที่ธาตุอาหารละลายและถูกพัดพาไปกับน้ำด้วย โดยทั่วไปความหนาของชั้นดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าประมาณ 10 เมตร โดยชั้นล่างจะเป็นชั้นหินหรือดินเหนียวซึ่งเป็นชั้นกั้นน้ำ ดังนั้นน้ำใต้ดินระดับตื้นจะเคลื่อนที่ (active) อยู่ในชั้นนี้เท่านั้น แต่ระยะทางในแนวราบของน้ำใต้ดินสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในระยะ 100-500 เมตร คิดเป็นสัดส่วน 1:10 ถึง 1:50 (V:H) แสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินในแนวราบมีความสำคัญต่อการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารเป็นอย่างมาก

การเคลื่อนย้ายธาตุอาหารโดยการพาของน้ำใต้ดินนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถละลายได้ (Solubility) ของธาตุอาหารนั้นๆ ทั้งนี้เพราะการพาของน้ำใต้ดินที่มีต่อธาตุอาหารต้องเป็นแบบสารละลาย ดังนั้นการเคลื่อนที่ของไนโตรเจน (N) จึงน่าจะดีที่สุด รองลงมาเป็นโพแทสเซียม (K) และ ฟอสฟอรัส (P) จะเคลื่อนที่ได้น้อยที่สุด

การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินในพื้นที่รับน้ำขนาดเล็กสามารถเกิดได้ตลอดทั้งปี โดยไหลจากภูมิประเทศที่ระดับสูง (high elevation) ไปยังระดับที่ต่ำกว่า ส่วนใหญ่ในพื้นที่สูง (upstream) น้ำใต้ดินจะไหลลงในแนวดิ่ง (downward flow) ในพื้นที่ลาด (mid slope) น้ำใต้ดินจะไหลในแนวราบ (horizontal, intermediate flow) ส่วนพื้นที่ลุ่ม (downstream) น้ำใต้ดินจะไหลขึ้นสู่ผิวดิน (upward flow) ในฤดูฝนพื้นที่ทั้งหมดของพื้นที่รับน้ำจะได้รับฝนสม่ำเสมอเท่ากัน แต่เฉพาะส่วนบนของพื้นที่รับน้ำเท่านั้นที่น้ำฝนเติมเข้าสู่ชั้นน้ำใต้ดิน (recharge) ทั้งนี้เพราะที่ลาดและที่ลุ่มน้ำใต้ดินไหลขนานกับความลาดและไหลขึ้นสู่ผิวดินตามลำดับ กลไกอันนี้จะเป็นการพาเอาธาตุอาหารจากพื้นที่ป่าซึ่งเป็นเขตเติมน้ำใต้ดิน (recharging zone) ไปยังพื้นที่ลุ่มประกอบด้วยนาข้าว ซึ่งเป็นพื้นที่สูญเสียน้ำใต้ดิน (discharging zone)

3. การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินสามารถอธิบายได้จากความสัมพันธ์ของเขตกับอัตราการไหลและความเร็วการไหล ซึ่งเขตของน้ำใต้ดินคือพลังงานต่อหน่วยน้ำหนักของน้ำ ใช้เป็นเกณฑ์วัดทิศทางและปริมาณการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน น้ำใต้ดินจะเคลื่อนที่จากจุดที่มีเขตสูงไปยังจุดที่มีเขตต่ำกว่าในทิศทางของเกรเดียน (gradient) คือ เวกเตอร์ที่แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของเขตต่อระยะทาง ดังนั้นเขตของน้ำใต้ดินในที่นี้จึงหมายถึงเขตชลศาสตร์หรือเขตรวม ซึ่งเป็นผลรวม

ของเฮดความดัน (pressure head) ของน้ำใต้ดินและเฮดระดับ (elevation head) ของน้ำใต้ดิน (Fetter, 2001)

$$h = \Psi + Z$$

เมื่อ h = เฮดชลศาสตร์ (hydraulic head)

Ψ = เฮดความดัน (pressure head)

Z = เฮดระดับ (elevation head)

การวัดปริมาณการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินด้วยความเร็วฟลักซ์ (flux velocity) ซึ่งหมายถึง อัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด (discharge per unit cross-section) ความเร็วฟลักซ์แปรผันตรงกับเกรเดียนต์เชิงชลศาสตร์ (hydraulic gradient) ซึ่งตามกฎหมายของดาร์ซี (Darcy's Law) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (Hillel, 1982)

$$v = -Ki$$

เมื่อ v = ความเร็วฟลักซ์ (flux velocity)

K = สภาพนำชลศาสตร์ (hydraulic conductivity)

i = ความลาดชันชลศาสตร์ (hydraulic gradient)

สามารถเขียนในรูปของเวกเตอร์สามมิติได้เป็น

$$i = \nabla h$$

ซึ่ง ∇ คือ vector operator เท่ากับ $(\partial / \partial x) i + (\partial / \partial y) j + (\partial / \partial z) k$ ในกรณีการเคลื่อนที่หนึ่งมิติ สามารถพิจารณา i เป็นสเกลาร์ ดังนี้

$$i = dh / ds$$

เมื่อ s = ระยะทางการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน

ในกรณีที่ต้องการประมาณค่า i จากการวัดค่าแตกต่างของ h ที่จุดสองจุดที่ทราบระยะห่างระหว่างจุดทั้งสอง สามารถหาได้ดังสมการ

$$i = \Delta h / \Delta s = h_2 - h_1 / \Delta s$$

วิชย (2545) ได้ทำการการศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินและธาตุอาหารที่เกี่ยวข้อง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2543 บริเวณพื้นที่ลุ่มคลื่นของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในการศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินที่จุดต่างๆ ที่เวลาต่างๆ กัน กับปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินเกิดจากปริมาณการเคลื่อนที่เข้าและออกจากบริเวณรอบๆ พิโซมิเตอร์ ปริมาณน้ำเคลื่อนที่เข้าจะได้มาจากฝน (precipitation) และน้ำใต้ดินไหลเข้า (groundwater flow) ส่วนปริมาณน้ำไหลออกเกิดจากน้ำใต้ดินไหลออก (groundwater outflow) และในช่วงฤดูฝนระดับน้ำใต้ดินจะสูงขึ้น บางเวลาระดับเขตของน้ำใต้ดินลึกอาจสูงกว่าผิวดินได้ด้วย และวิเคราะห์การไหลของน้ำใต้ดิน โดยวิธีตาข่ายการไหลของน้ำใต้ดิน (groundwater flownets) พบว่าในช่วงกลางถึงปลายฤดูฝนเป็นช่วงที่มีการไหลสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่ามีการไหลแนวราบ (lateral flows) จากที่ตอนลงสู่ที่ลุ่ม แต่อัตราการไหลค่อนข้างช้า ทั้งนี้ยังได้ทำการการศึกษาการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารโดยการพาของน้ำใต้ดิน พบว่า การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารโดยการพาของน้ำใต้ดินไปได้เข้ามา และธาตุอาหารหลักที่สำคัญที่พบมากกว่าธาตุอื่นๆ ในน้ำใต้ดิน คือ ธาตุโพแทสเซียม

รุ่งเรือง และคณะ (2546) ได้ทำการศึกษาการไหลของน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ทำนาเกลือ อำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี และบ้านโนนแสง อำเภอบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร พบว่าการไหลของน้ำบาดาล เขตอำเภอบ้านดุง ไหลจากพื้นที่รับน้ำรอบๆ พื้นที่ ไปรวมกันที่ตรงกลางพื้นที่บริเวณอ่างเก็บน้ำท่ามะนาว และไหลลงสู่แม่น้ำสงครามทางทิศตะวันออก ส่วนในพื้นที่อำเภอบ้านม่วงและพื้นที่ใกล้เคียง การไหลของน้ำบาดาลจะไหลจากทางทิศใต้ขึ้นไปทางทิศเหนือ ลงสู่แม่น้ำสงคราม

กัมปนาท (2547) ได้ศึกษาการเคลื่อนที่ของคาพิลลารีของน้ำเค็มในดิน โดยใช้แบบจำลองเชิงกายภาพ และแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยแบบจำลองที่สร้างจากผลเฉลยเชิงเลขของสมการ Richards โดยใช้วิธี finite difference และแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำเร็จรูป Hydrus-2D บริเวณบ้านนาเพี้ย ตำบลเมืองเพี้ย อำเภอบ้านไผ่ จังหวัดขอนแก่น ผลการศึกษาพบว่า การศึกษาการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของน้ำผ่านชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยแรงคาพิลลารีในแบบจำลองเชิงกายภาพกับแบบจำลองที่สร้างจากผลเฉลยเชิงเลขของสมการ Richards มีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองสำเร็จรูป Hydrus-2D

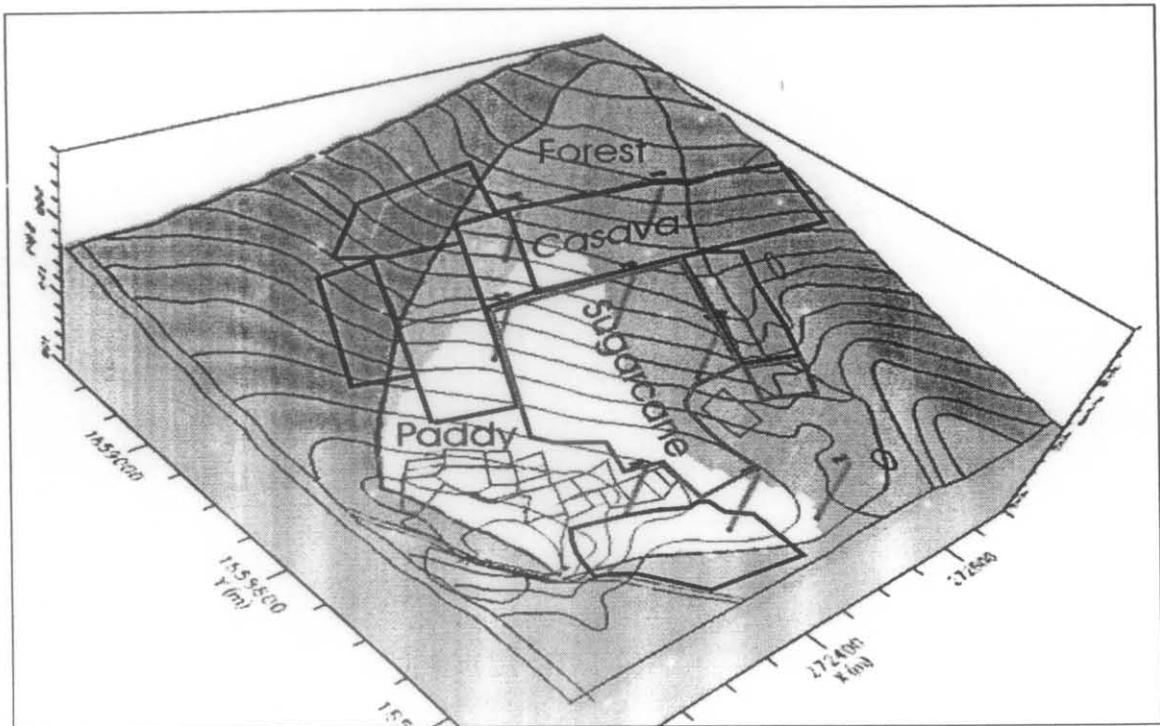
4. วิธีการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา การสำรวจรายละเอียดพื้นที่ศึกษา การเก็บข้อมูลฝนและน้ำใต้ดิน และการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 พื้นที่ศึกษา

1) ที่ตั้งและสภาพภูมิประเทศ

เกณฑ์ในการเลือกพื้นที่ศึกษาคือต้องเป็นพื้นที่รับน้ำขนาดเล็ก มีการใช้ที่ดินครบถ้วน คือ มีป่าไม้ พืชไร่ และนาข้าว เจ้าของที่ดินมีไม่มากเกินไปและให้ความร่วมมือที่ดี และพื้นที่ไม่ไกลจากมหาวิทยาลัยขอนแก่นมากนัก ดังนั้นพื้นที่ศึกษา คือ ฮอมบักเห็บ เป็นพื้นที่รับน้ำขนาด 88 ไร่ (14 เฮกตาร์) อยู่ในเขต อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น ห่างจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ประมาณ 50 กิโลเมตร มีความยาวที่สุดในทิศเหนือถึงใต้ ประมาณ 600 เมตร และความกว้างที่สุดในแนวตะวันออกถึงตะวันตก 250 เมตร มีความลาดชันในแนวการไหลของน้ำประมาณ 2.8% ความสูงของพื้นที่ที่ต่ำแหน่งต่ำสุด บริเวณสระน้ำถัดจากนาหล่มลงไปเป็น 190 เมตรจากระดับน้ำทะเล ต่ำแหน่งสูงสุดอยู่ในป่าสงวน 208 เมตรจากระดับน้ำทะเล ความลาดเอียงของพื้นที่ไม่สม่ำเสมอกันตลอดลุ่มน้ำ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ขอบเขตบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กพื้นที่ศึกษา (ฮอมบักเห็บ) อ.เขาสวนกวาง จ.ขอนแก่น

2) ดิน

บริเวณพื้นที่ศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำหอมบักเห็บ พบว่าดินกำเนิดมาจากสารต้นกำเนิดดินจากหินทรายที่เคลื่อนย้ายโดยน้ำมาสะสมตัวกัน สารต้นกำเนิดดินประเภทนี้เรียกว่า อัลลูเวียม (alluvium) โดยทั่วไปดินมีเนื้อหยาบ (ร่วนทรายจนถึงทรายร่วน) หากไม่มีการสะสมดินเหนียว (clay) ที่ความลึกระดับใดระดับหนึ่งเลย ถือว่าเป็นดิน Quartzipsamment แต่ถ้ามีชั้นดินที่มีการสะสมดินเหนียวจะอยู่ในกลุ่มดิน (Great group) Paleustult ดินที่พบในพื้นที่ศึกษามี 3 ชุดดิน คือ ดินนา ได้แก่ ดินชุดอุบล ดินไร่ ได้แก่ ดินชุดโคราช และสติก

3) การใช้ที่ดิน

การใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษา ลุ่มน้ำหอมบักเห็บ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่การเกษตร และแหล่งน้ำ

3.1) พื้นที่ป่าไม้

พื้นที่ป่าไม้อย่างคงมีแปลงป่าสงวนทางตอนเหนือของพื้นที่ลุ่มน้ำหอมบักเห็บ สามารถจำแนกเป็นชนิดป่าเต็งรัง (Dry Dipterocarp Forest) ซึ่งเป็นป่าที่พบมากในพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประกอบด้วยต้นไม้หลักๆ เช่น พลวงหรือกุง (*Dipterocarpus tuberculatus*) เต็ง (*Shorea obtuse*) และรัง (*Shorea siamensis*) ไม้ยืนต้นส่วนใหญ่เป็นไม้ผลัดใบซึ่งทิ้งใบในช่วงฤดูแล้ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคม

3.2) พื้นที่การเกษตร

พื้นที่การเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำหอมบักเห็บได้จากการถากถางป่าว่าทศวรรษที่ผ่านมา เพื่อนำพื้นที่มาทำการเกษตร พื้นที่การเกษตรตั้งอยู่ในพื้นที่ต่ำลงมาจากป่า คือ ที่ความสูง 204 เมตร จากระดับน้ำทะเลและต่ำลงมา พืชเกษตรที่ปลูกในแปลงที่ดอน คือ มันสำปะหลังและอ้อย โดยอ้อยสามารถปลูกได้ทั้งในพื้นที่ต่ำของพื้นที่ดอน (lower upland) และที่สูงของที่ดอน (upper upland) แต่มันสำปะหลังปลูกได้เฉพาะที่สูงของที่ดอน เพราะหัวมันสำปะหลังเน่าง่าย ถ้ามีน้ำมาก ส่วนในแปลงที่ลุ่มใช้ทำนา โดยปลูกข้าวเหนียว กข 6 เป็นหลัก แปลงนามี 2 ประเภท คือ นาลุ่ม และนาดอน ซึ่งอยู่ถัดลงมาจากที่ไร่

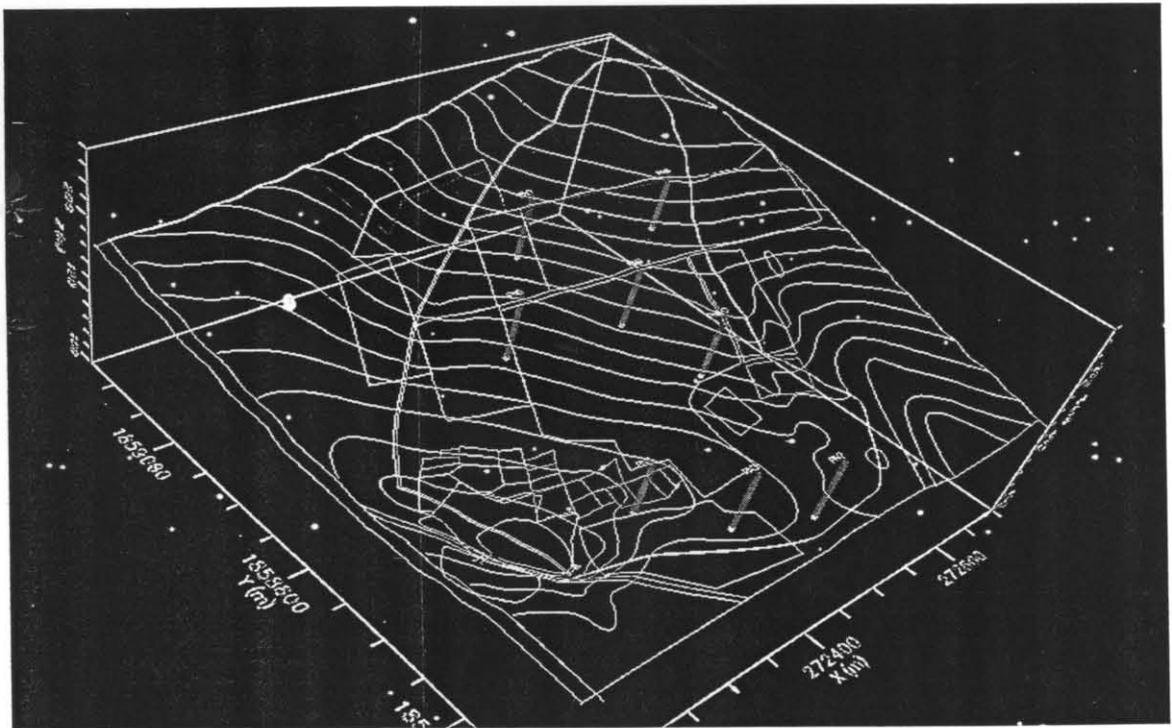
3.3) แหล่งน้ำ

พื้นที่ลุ่มน้ำหอมบักเห็บมีสระน้ำ 2 สระ สระหนึ่งอยู่ทางตอนบนของพื้นที่ตรงบริเวณสวนไม้ผลทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ เกษตรกรใช้สระน้ำนี้เพื่อเลี้ยงปลาและเก็บกักน้ำเพื่อใช้เสริมการปลูกข้าวในนาที่อยู่ทางตอนล่าง ส่วนสระน้ำอีกแห่งหนึ่งตั้งอยู่ตรงบริเวณแปลงนาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ เกษตรกรใช้สระนี้เพื่อเลี้ยงเบ็ด ปล่อยปลา และเก็บผักน้ำ เช่น ผักบุ้งเพื่อบริโภค

4.2 การเก็บข้อมูล

ข้อมูลที่สำคัญในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย น้ำฝนและน้ำใต้ดิน เครื่องมือวัดฝน (automatic rain gauge) เป็นสถานีตรวจอากาศอัตโนมัติ (automatic weather station) ซึ่งติดตั้งบริเวณใกล้ขอบท้ายน้ำของพื้นที่รับน้ำ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2546

สำหรับเครื่องมือวัดข้อมูลน้ำใต้ดิน คือ piezometer nets ซึ่งประกอบด้วย 8 กลุ่มกระจายอยู่ทั่วทั้งพื้นที่รับน้ำ (ภาพที่ 2) แต่ละกลุ่มพิโซมิเตอร์ ประกอบด้วยพิโซมิเตอร์ 5 ตัว ที่ความลึกแตกต่างกัน คือ 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 และ 8.0 เมตร ข้อมูลน้ำใต้ดินที่วัดได้เป็นระดับน้ำในพิโซมิเตอร์แต่ละตัว ซึ่งเก็บโดยการวัดด้วยสายวัดทุกๆ 2 สัปดาห์ ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2542-2546 และขณะเดียวกัน ตัวอย่างน้ำจากทุกพิโซมิเตอร์ได้ถูกเก็บด้วย เพื่อนำมาหาความเข้มข้นของธาตุอาหารทุกๆ 2 สัปดาห์ เช่นกัน



ภาพที่ 2 จุดติดตั้งท่อ Piezometer nets (PLD) ในลุ่มน้ำขนาดเล็กพื้นที่ศึกษา (หอมบักเห็บ)

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลระดับน้ำในกลุ่มพิโซมิเตอร์และความเข้มข้นของธาตุอาหาร คณะผู้ศึกษาจึงได้นำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาทิศทาง ความเร็ว และอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินและธาตุอาหาร ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือแบบจำลองน้ำใต้ดินสำเร็จรูป Visual MODFLOW version 3.1.0

แบบจำลอง Visual MODFLOW ประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ 3 ส่วน คือ 1) Input data 2) Run Model และ 3) Output data โดยแต่ละส่วนจะมีการแสดงผลแยกจากกัน ต้องทำในส่วนของ Input ข้อมูลก่อน จึงจะสามารถไปขั้นตอนที่ 2 คือ Run Model เมื่อ Run Model เสร็จ จึงจะสามารถดูผลของการแบบจำลองได้

ขั้นตอนในการใช้แบบจำลอง Visual MODFLOW ในการศึกษาการไหลของน้ำใต้ดิน มีดังนี้

1) Input data

(1) ทำการกำหนดขอบเขตหรือ Boundaries condition ที่ต้องการศึกษาก่อน โดยอาศัยแผนที่ของพื้นที่ที่ต้องการศึกษา และข้อมูลต่างๆ เช่น ค่า conductivity ค่าฝนที่ตกในพื้นที่ ข้อมูลความลึกของบ่อ piezometer เป็นต้น

(2) ออกแบบกริดให้มีขนาดเท่ากับขนาดของพื้นที่รับน้ำ โดยกำหนดให้ ด้าน x แต่ละกริดมีความยาว 10 เมตร ด้าน y ก็เช่นเดียวกัน คือ แต่ละกริดมีความยาว 10 เมตร ด้าน z หรือความลึก แบ่งออกเป็น 4 ชั้น โดยแบบจำลองจะทำการเฉลี่ยให้ตามความสูงของระดับพื้นที่ให้อัตโนมัติ เมื่อทำการออกแบบกริดแล้วจะได้ลักษณะพื้นที่ใน Visual MODFLOW

(3) นำแผนที่ของพื้นที่รับน้ำ ระดับความสูงของพื้นที่ และตำแหน่งของ piezometer Import เข้ามาในแบบจำลอง โดยใช้โปรแกรม Arcview ช่วยในการจัดการเพื่อนำข้อมูลเข้า Visual MODFLOW จะได้พื้นที่ที่ต้องการศึกษา จากนั้นให้พื้นที่รับน้ำเป็นขอบเขตของการไหลของน้ำใต้ดินที่ต้องการศึกษา และให้ส่วนที่อยู่นอกพื้นที่รับน้ำ เป็นส่วนที่ระดับน้ำใต้ดินไม่มีผลต่อพื้นที่ศึกษาโดยการทำให้พื้นที่นั้นเป็น Inactive

(4) จากนั้นนำเข้าข้อมูลต่างๆ เข้าสู่แบบจำลอง ได้แก่

(4.1) ค่า Well โดย ใส่ค่า head observation ของแต่ละปี โดยแต่ละปีจะมีบ่อสังเกตทั้งหมด 8 บ่อ คือ PN2, PN3, PN4, PN6, PN7, PN8, PN9 และ PN10

(4.2) ค่า Properties โดยต้องใส่อย่างน้อย 2 ค่า เลือกใส่ค่า conductivity และ initial head

(4.3) ค่า Boundaries โดยใส่ค่า constant Head (CHD) และ ค่า recharge หรือค่าฝน ซึ่งการใส่ค่า constant Head (CHD) จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลระดับน้ำของแหล่งน้ำในพื้นที่ เช่น ห้วย หนอง คลอง บึง ต่างๆ ส่วนข้อมูลฝนนั้นต้องใช้ค่าฝนที่จะซึมผ่านลงไปในพื้นที่ โดยจะใช้ข้อมูลฝนที่วัดจากพื้นที่มาคำนวณหาปริมาณน้ำที่ซึมลงดิน

(5) ในการศึกษาการไหลของปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในพื้นที่ หรืออยู่ในดิน ต้องใช้ในส่วนของ particles ในการศึกษา โดยทำการเลือกใส่ particles ที่จุดใดก็ได้ที่ต้องการศึกษา

(6) เมื่อทำการใส่ค่าครบทุกค่าแล้ว จึงจะสามารถไปขั้นตอนของการ Run model ต่อไป

2) Run Model มีขั้นตอนดังนี้

(1) เลือก Run model แบบ Transient Flow (ระดับน้ำเปลี่ยนแปลงตามเวลา)
 (2) เลือก MODFLOW 2000 แล้วการกำหนดค่าต่างๆ จากขั้นตอนการ Input data โดยกำหนดให้ Recharge เต็มลงที่ layer 1 เท่านั้น และ กำหนดให้ layer ที่ 1 เป็นชั้น aquifer แบบ Unconfined เมื่อตั้งค่าแล้ว ทำการ Run Model โดย Click ที่ Run โปรแกรมจะถามถึงสิ่งที่ต้องการให้ทำการวิเคราะห์

(3) เมื่อโปรแกรม Run model เสร็จ สามารถดูผลการ Run Model ได้จาก Output Data

3) Output Data

ในส่วนของ output data จะเป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการ Run Model โดยจะแสดงออกมาในรูปของกราฟ หรือตาราง อีกทั้งโปรแกรมายังแสดงค่าความคลาดเคลื่อนให้อีกด้วย

5. ผลการศึกษา

5.1 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน

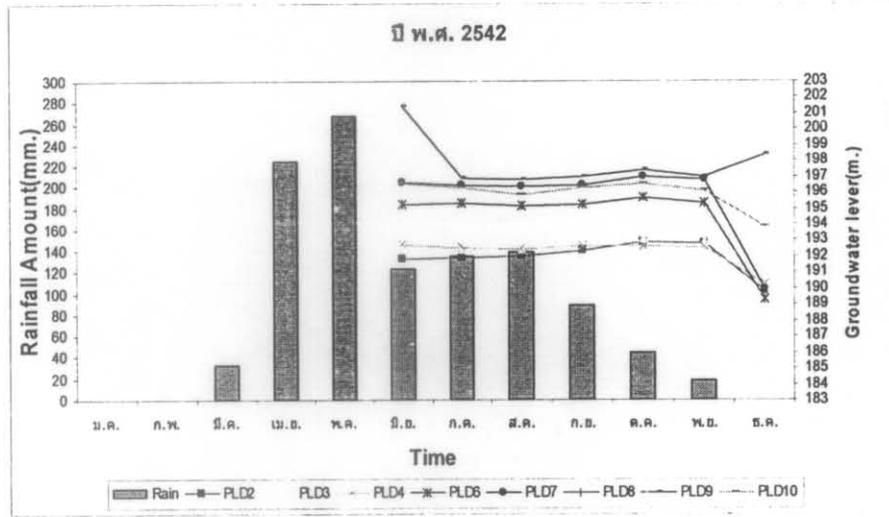
การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินนั้นเกิดจากปริมาณการเคลื่อนที่เข้าและออกจากบริเวณรอบๆ piezometer ปริมาณน้ำเคลื่อนที่เข้าจะได้มาจากน้ำฝน (precipitation) และน้ำใต้ดินไหลเข้า (groundwater inflow) ส่วนปริมาณน้ำไหลออกเกิดจากน้ำใต้ดินไหลออก (groundwater outflow) ดังนั้นถ้าปริมาณน้ำใน piezometer เพิ่มขึ้นแสดงว่าปริมาณน้ำไหลเข้ากว่าปริมาณน้ำไหลออก ซึ่งจากการเก็บ รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2542-2546 พบว่า

5.1.1 ฤดูแล้ง

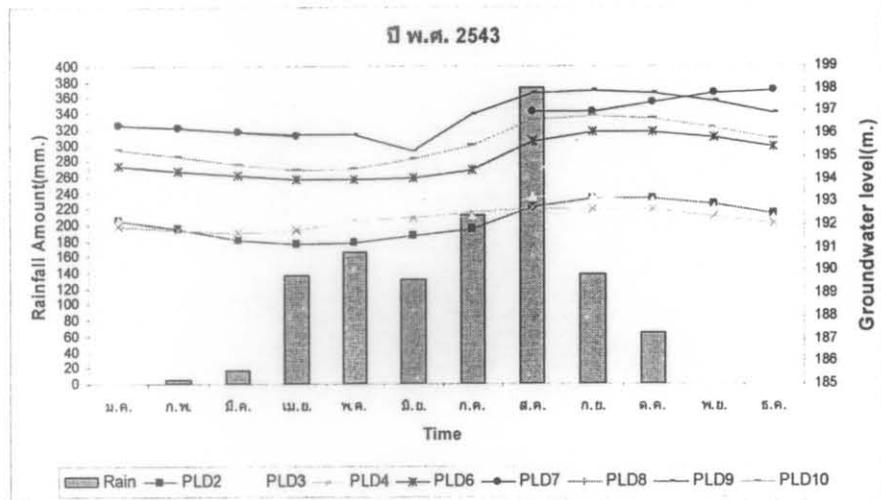
การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินบริเวณ piezometer nets ทั้ง 8 ตัว ในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2546 พบว่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินในทุกๆ piezometer nets มีลักษณะที่เหมือนกัน คือมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำฝน โดยในฤดูแล้งระดับน้ำใต้ดินจะมีค่าต่ำลง เนื่องจากปริมาณน้ำฝนมีน้อย ซึ่งระดับน้ำใต้ดินจะมีค่าตั้งแต่ 189.309-201.558 เมตรต่อปี และระดับน้ำใต้ดินจะค่อยๆ สูงขึ้นเมื่อย่างเข้าสู่ฤดูฝน (ภาพที่ 3-7)

5.1.2 ฤดูฝน

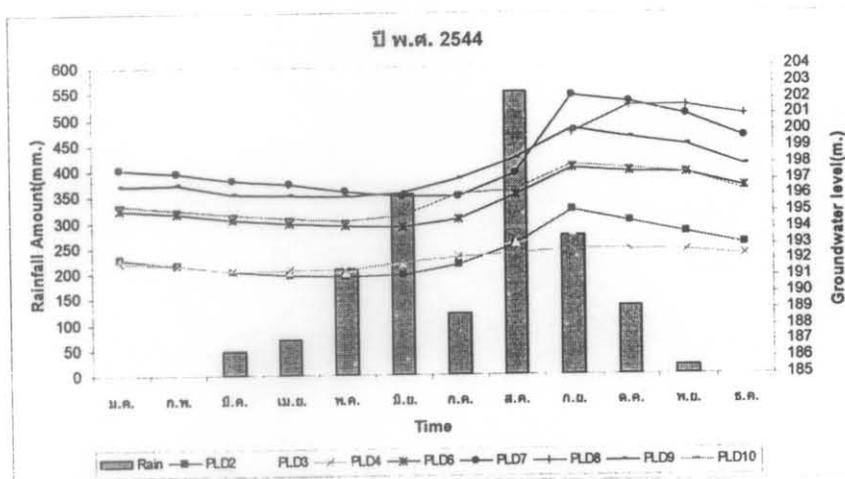
การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินบริเวณ piezometer nets ทั้ง 8 ตัว ในช่วงฤดูฝน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2546 พบว่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินในทุกๆ piezometer nets มีลักษณะที่เหมือนกัน คือมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำฝน โดยในฤดูฝนระดับน้ำใต้ดินจะมีสูงขึ้น เนื่องจากในช่วงฤดูฝนปริมาณน้ำฝนจะมีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งระดับน้ำใต้ดินจะมีค่าตั้งแต่ 191.083-202.220 เมตรต่อปี และเมื่อหมดฤดูฝนระดับน้ำใต้ดินจะค่อยๆ ลดลง (ภาพที่ 3-7)



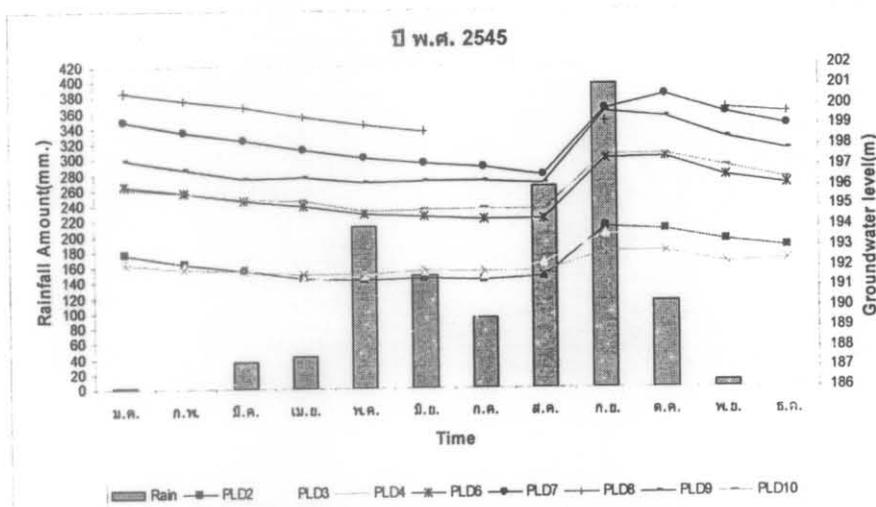
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนรายเดือน ปี พ.ศ. 2542



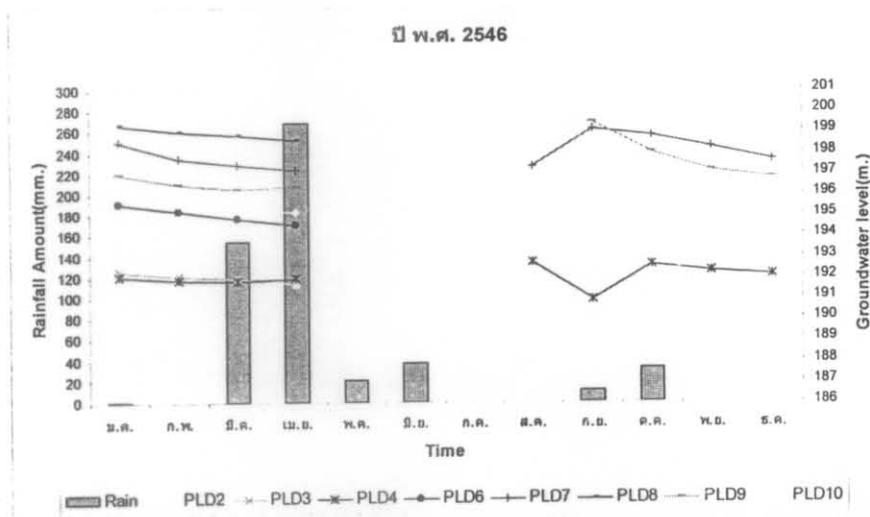
ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนรายเดือน ปี พ.ศ. 2543



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนรายเดือน ปี พ.ศ. 2544



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนรายเดือน ปี พ.ศ. 2545



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนรายเดือน ปี พ.ศ. 2546

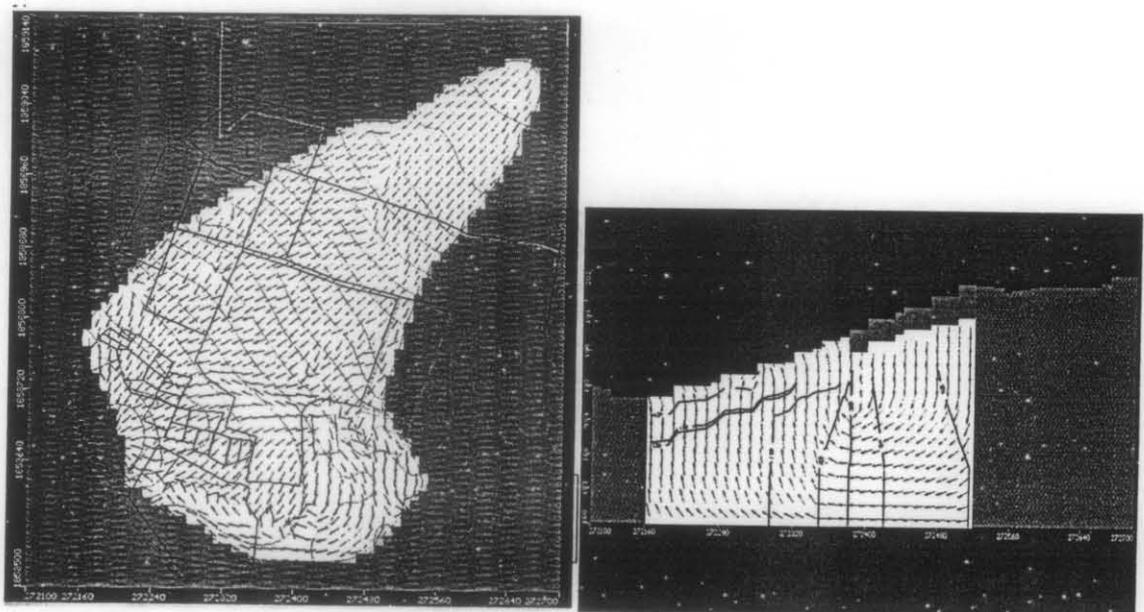
5.2 การไหลแนวราบของน้ำใต้ดินและธาตุอาหาร

การศึกษาลักษณะการไหลแนวราบของน้ำใต้ดินและธาตุอาหาร โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วย ได้แก่ โปรแกรม Visual MODFLOW version 3.1.0 มาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลอง 3 มิติ ที่จำลองลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล จากแบบจำลอง Visual MODFLOW นี้ทำให้สามารถวิเคราะห์ระดับน้ำใต้ดินและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินและธาตุอาหารได้ เนื่องจากน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาเป็นชั้นให้น้ำแบบเปิด (unconfined aquifer) โดยในการศึกษาการไหลแนวราบของน้ำใต้ดินและธาตุอาหารครั้งนี้ได้ศึกษาในแต่ละฤดูกาล ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2546 ซึ่งผลการศึกษาพบว่า

5.2.1 การไหลแนวราบของน้ำใต้ดิน

1) ฤดูแล้ง

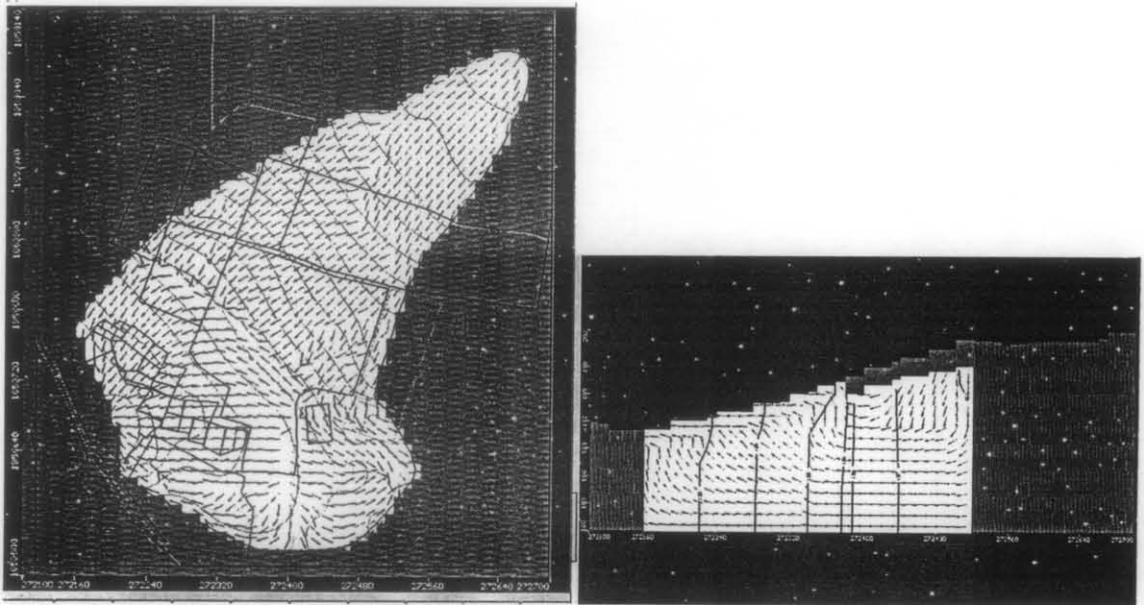
การไหลแนวราบของน้ำใต้ดิน ในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2546 พบว่าการไหลของน้ำใต้ดินในช่วงฤดูแล้งของทุกปี จะมีลักษณะและทิศทางการไหลไม่แตกต่างกันเลย นั่นคือน้ำใต้ดินจะเคลื่อนที่จากพื้นที่สูงบริเวณพื้นที่ป่าไม้ไปยังพื้นที่ลุ่มที่เป็นบริเวณพื้นที่นาข้าวและสระน้ำ ซึ่งในฤดูแล้งนี้ส่วนใหญ่การเคลื่อนที่ของน้ำออกจากระบบน้ำบาดาลขึ้นสู่น้ำใต้ดินหรือน้ำจากผิวดินเคลื่อนที่ลงสู่ชั้นบาดาลมักจะเป็นการเคลื่อนที่ผ่านชั้นดานน้ำ ซึ่งมีค่าการซึมผ่าน (hydraulic conductivity) ที่ต่ำกว่าชั้นให้น้ำมาก ดังนั้นทิศทางการเคลื่อนที่จึงตั้งฉากกับชั้นดานน้ำหรือส่วนใหญ่เคลื่อนที่ในทิศทางแนวตั้ง (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 แสดงทิศทางการไหลแนวราบของน้ำใต้ดินช่วงฤดูแล้ง บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก (หอมบักเห็บ)

2) ฤดูฝน

การไหลแนวราบของน้ำใต้ดิน ในช่วงฤดูฝน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2546 พบว่าการไหลของน้ำใต้ดินในช่วงฤดูฝนของทุกปี จะมีลักษณะและทิศทางการไหลไม่แตกต่างกัน คือน้ำใต้ดินจะเคลื่อนที่จากพื้นที่สูงบริเวณพื้นที่ป่าไม้ไปยังพื้นที่ลุ่มที่เป็นบริเวณพื้นที่นาข้าวและสระน้ำ ซึ่งในฤดูฝนนี้ส่วนใหญ่การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินในช่วงต้นฝนน้ำจากผิวดินจะเคลื่อนที่ลงสู่ชั้นบาดาลในทิศทางแนวตั้ง และเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินจะเริ่มมีการเคลื่อนที่ในทิศทางแนวราบ จากนั้นน้ำใต้ดินจะมีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งอีกครั้งในบริเวณพื้นที่ลุ่มหรือแหล่งน้ำผิวดิน (ภาพที่ 9)

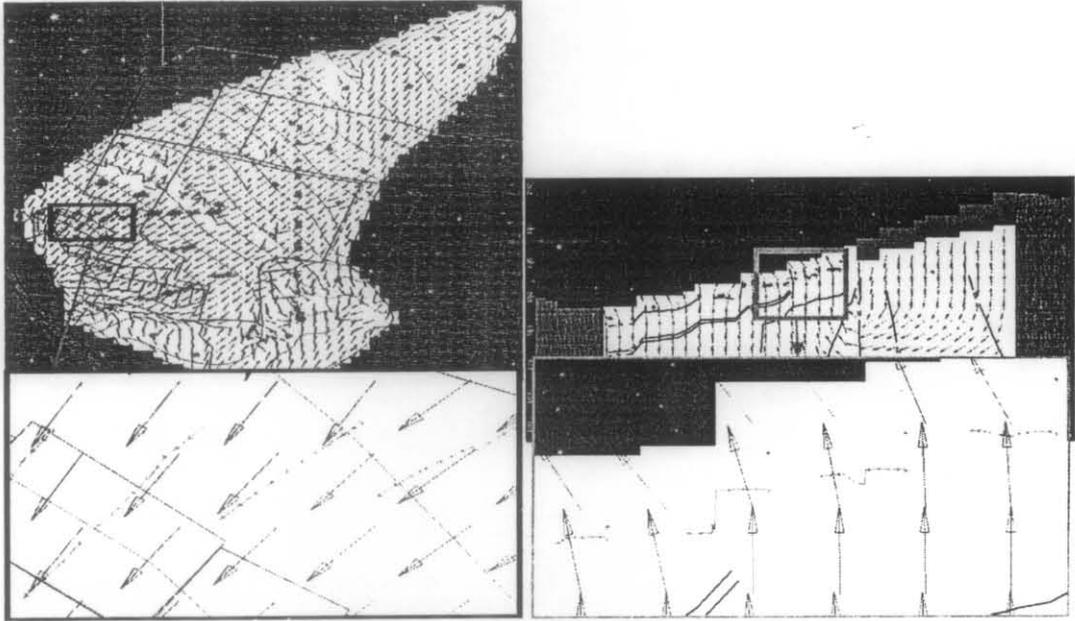


ภาพที่ 9 แสดงทิศทางการไหลแนวราบของน้ำใต้ดินช่วงฤดูฝน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก (หอมบักเห็บ)

5.2.2 การไหลของธาตุอาหารพืช

1) ฤดูแล้ง

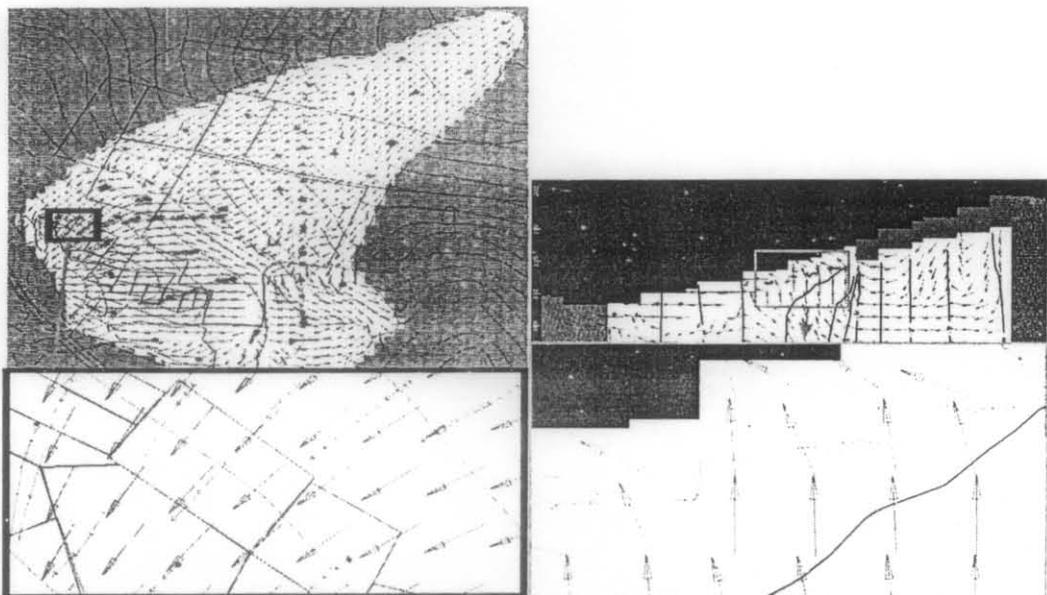
การไหลของธาตุอาหารพืชโดยการนำพาของน้ำใต้ดิน ในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2546 พบว่า การไหลของธาตุอาหารพืชจะมีทิศทางการไหลไปในแนวเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และเมื่อมองในแนวด้านข้างพบว่าการไหลของธาตุอาหารจะมีการไหลในแนวราบมากกว่าเนื่องจากการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารพืชจะมีการเคลื่อนที่ช้ากว่าการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินและเป็นการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง ในขณะที่การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินในช่วงฤดูแล้งนั้นจะเป็นการเคลื่อนที่ในแนวตั้งมากกว่า (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 แสดงทิศทางการไหลของธาตุอาหารพืชช่วงฤดูแล้ง บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก (ฮอมบักเห็บ)

2) ฤดูฝน

การไหลของธาตุอาหารพืชโดยการนำพาของน้ำใต้ดินในช่วงฤดูฝน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2546 พบว่า การไหลของธาตุอาหารพืชจะมีทิศทางการไหลไปในแนวเดียวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และเมื่อมองในแนวด้านข้างพบว่าการเคลื่อนที่ของธาตุอาหารพืชเป็นการเคลื่อนที่แนวราบและมีการเคลื่อนที่อย่างช้าๆ พร้อมกับการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินในช่วงฤดูฝน ก็จะค่อยๆ เปลี่ยนทิศทางการไหลในแนวราบมากขึ้น (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 แสดงทิศทางการไหลของธาตุอาหารพืชช่วงฤดูฝน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก (ฮอมบักเห็บ)

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงระดับของน้ำใต้ดิน บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก (พื้นที่ศึกษา) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2546 พบว่า ระดับของน้ำใต้ดินมีค่าสูงระหว่างเดือนสิงหาคม-พฤศจิกายน เนื่องจากช่วงนี้เป็นช่วงฤดูฝนทำให้มีปริมาณน้ำเข้าสู่ระบบมากทำให้ระดับน้ำใต้ดินมีค่าสูงตามด้วย และเมื่อวิเคราะห์ลักษณะและทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Visual MODFLOW version 3.1.0 ในรายฤดู พบว่า ช่วงฤดูแล้งการไหลของน้ำใต้ดินส่วนใหญ่เป็นการไหลแนวตั้ง (vertical flows) ส่วนในช่วงฤดูแล้งการไหลของน้ำใต้ดินส่วนใหญ่กลับพบว่าเป็นการไหลแนวราบ (lateral flows) โดยมีการไหลจากที่ตอนลงสู่ที่ลุ่ม ส่วนการไหลของธาตุอาหารพืชมีทิศทางการไหลไปในทิศทางเดียวกันกับการไหลแนวราบของน้ำใต้ดินแต่จะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าการไหลแนวราบของน้ำใต้ดินมาก

การวิเคราะห์การไหลของน้ำใต้ดินและธาตุอาหารพืชในครั้งนี้นั้นเป็นการนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Visual MODFLOW version 3.1.0 มาช่วย ดังนั้นย่อมมีทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบจำลองดังกล่าว ซึ่งทางผู้วิจัยได้สรุปข้อดีและข้อจำกัดของแบบจำลอง Visual MODFLOW version 3.1.0 ดังนี้

ข้อดีของแบบจำลอง Visual MODFLOW version 3.1.0

- 1) Visual MODFLOW สามารถแสดงผลในรูปแบบของ 3 มิติ ทำให้สะดวก และง่ายต่อการทำความเข้าใจ
- 2) Visual MODFLOW มีสมการในการคำนวณหรือวิเคราะห์หลากหลายให้เลือก โดยแต่ละสมการจะเหมาะสมกับพื้นที่และข้อมูลแตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ใช้ว่าต้องการใช้สมการใดในการวิเคราะห์
- 3) สามารถกำหนดช่วงเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลให้เหมาะสมกับข้อมูลที่มีอยู่แล้ว เช่น ใส่ข้อมูล Input เป็นรายเดือน แต่ต้องการให้ผลการวิเคราะห์ออกมาเป็นรายวันก็สามารถทำได้
- 4) สามารถเลือกรูปแบบในการ Run model ได้ว่าต้องการให้แบบ Transient Flow (ระดับน้ำเปลี่ยนแปลงตามเวลา) หรือ แบบ Steady State Flow(ระดับน้ำไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา)
- 5) การแสดงผลการวิเคราะห์ จะแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟ ตาราง และรูปภาพ 3 มิติ ทำให้ง่ายต่อการเข้าใจ อีกทั้งยังสามารถเลือกได้ว่าต้องการแสดงค่าใด หรือไม่ต้องการให้แสดงค่าใดได้
- 6) แสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการสังเกตการณ์ ในรูปแบบของ Normal curve

ข้อจำกัดของแบบจำลอง Visual MODFLOW version 3.1.0

- 1) โปรแกรม Visual MODFLOW เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการศึกษาการไหลของน้ำใต้ดินที่อยู่ลึกลงไปจนถึงชั้นน้ำบาดาล มาโปรแกรมนี้จึงออกแบบให้ใช้กับดินที่อึดตัวเท่านั้น
- 2) Visual MODFLOW เป็นโปรแกรมที่ใช้ค่าคุณสมบัติของพื้นที่หลายประการจึงจะทำให้โปรแกรมสามารถทำงานได้ ซึ่งทำให้มีความยุ่งยากในการหาข้อมูล เพื่อนำเข้าในโปรแกรม
- 3) Visual MODFLOW ต้องใช้ร่วมกับโปรแกรมอื่นหลายโปรแกรม เพื่อช่วยในการนำข้อมูลเข้าสู่ Visual MODFLOW เช่น ต้องใช้ Arcview ในการแปลงข้อมูล contour, initial head เพื่อนำเข้าสู่ Visual MODFLOW
- 4) Visual MODFLOW เป็นโปรแกรมที่ใช้วิธีการคำนวณแบบ Finite Difference และ Finite Element ซึ่งมีลักษณะการคำนวณโดยการวนลูป เมื่อได้ค่า ณ จุดใด จุดหนึ่งแล้ว จะทำการเก็บค่านั้นไว้ แล้วทำจุดอื่นต่อไปโดยอาศัยค่าจากจุดแรกที่หาค่าได้ ดังนั้น เมื่อผลการ Run model ออกมาว่า มีพื้นที่ที่อยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ หรือ dry cell เมื่อมีฝนตกลงมาเพิ่มอีกปริมาณเท่าใดก็ตาม พื้นที่นั้นก็ยังเป็นพื้นที่ dry cell อยู่นั่นเอง นี่เป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ Visual MODFLOW ไม่เหมาะสมต่อพื้นที่ที่ดินไม่อึดตัวด้วยน้ำ
- 5) เนื่องจาก Visual MODFLOW นั้น ต้องใช้ข้อมูลหลายอย่าง เมื่อเกิดปัญหาในการ Run Model จะทำให้ยุ่งยากในการกลับไปแก้ไขในส่วนของ Input data