

## ผลการจำลองสภาพการไหล

ผลการศึกษาที่สำคัญที่ได้จากการพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง คือพฤติกรรมการไหลและระดับน้ำของระบบชั้นน้ำใต้ดินตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 - 2544 (หัวข้อที่ 6.3) และระบบสมดุลงน้ำใต้ดิน (หัวข้อที่ 6.4) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ เชื่อมโยง ของการไหลของน้ำระหว่างชั้นน้ำใต้ดินแต่ละชั้น กับแหล่งน้ำอื่น ๆ ในช่วงเวลาต่าง ๆ นอกจากนั้นยังได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาณการสูบน้ำที่เกิดขึ้นในบางส่วนของพื้นที่ศึกษาที่มีพฤติกรรมการใช้น้ำ และผลกระทบจากการใช้น้ำนั้น (หัวข้อที่ 6.5) เพื่อเป็นตัวอย่างในการประเมินผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น และสามารถนำเสนอผลการศึกษาในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่ายรูปแบบหนึ่ง แต่ผลการศึกษาในแง่มุมต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ จะมีความถูกต้อง น่าเชื่อถือเพียงใดนั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับกระบวนการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 4 และ 5 แล้ว ยังจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองกับสิ่งที่ปรากฏจริงในพื้นที่ ซึ่งหมายถึงการเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลองนั่นเอง ดังนั้นในส่วนแรกของบทที่ 6 นี้จึงได้กล่าวถึงผลการเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลองที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นนี้ว่ามีความน่าเชื่อถือเพียงใด และหัวข้อที่ 6.2 อธิบายผลของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง หลังจากที่ได้เปรียบเทียบเรียบร้อยแล้ว

### 6.1 ผลการเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Model Calibration and Verification)

ในหัวข้อที่ 4.6 ได้อธิบายถึงวิธีการและรายละเอียดของการเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง (ดูตารางที่ 4-7 ประกอบ) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับแก้และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นกับปรากฏการณ์จริงในภาคสนาม ว่ามีความสอดคล้องและเหมาะสมเพียงใด

#### 6.1.1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบคงตัว

ในเบื้องต้นของการเปรียบเทียบในสภาวะการไหลแบบคงตัว แนวคิดของแบบจำลอง รวมถึงวิธีการแบ่งชั้นน้ำระบบกริดเซล และเงื่อนไขขอบเขตต่าง ๆ ได้รับการตรวจสอบและปรับแก้ให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น จนกระทั่งผลการคำนวณมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนาม ทั้งในแง่ของทิศทางการไหล และปริมาณการไหลของน้ำใต้ดินแต่ละชั้น จากนั้นจึงทำการตรวจสอบพารามิเตอร์อื่น ๆ ต่อไป

การเปรียบเทียบในเบื้องต้นแสดงว่า การแบ่งชั้นน้ำที่กำหนดในชั้นแรกเป็น 3 ชั้น ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลของน้ำใต้ดินได้ แต่เมื่อกำหนดระบบชั้นน้ำให้ละเอียดยิ่งขึ้นเป็น 4 ชั้น (รายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 1.4.1) ผลปรากฏว่าแบบจำลองสามารถแสดงพฤติกรรมการไหลของน้ำใต้ดินในตะกอนลุ่มน้ำ และตะกอนตะพักลุ่มน้ำใหม่ซึ่งอยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาตามแนวแม่น้ำเจ้าพระยาได้เป็นอย่างดี แต่สำหรับพื้นที่ด้านตะวันตกเฉียงเหนือและด้านตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นชั้นหินเชิงเขา มีปัญหาในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและคุณสมบัติของชั้นน้ำใต้ดิน ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากสภาพอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ดังกล่าว จึงต้องกำหนดขอบเขตของแบบจำลองขึ้นใหม่ ให้ครอบคลุมเฉพาะแหล่งน้ำใต้ดินในตะกอนลุ่มน้ำ และตะกอนตะพักลุ่มน้ำใหม่ (รายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 4.3) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพในการใช้น้ำใต้ดินสูง และมีความสำคัญต่อปัญหาที่พิจารณาโดยตรง

สำหรับพารามิเตอร์สำคัญที่ทำการตรวจสอบในขั้นตอนนี้ได้แก่ อัตราการสูบน้ำ และการเติมน้ำเฉลี่ยในช่วงปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นปีฐานที่ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลเป็นตัวแทนของกรณีการไหลแบบคงตัว รวมทั้งสัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ทั้งหมดยกเว้นสัมประสิทธิ์การกักเก็บซึ่งใช้อธิบายการไหลในสภาวะไม่คงตัว

แม้ว่าอัตราการสูบน้ำและการเติมน้ำเป็นข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน แต่เป็นไปได้ที่เหตุการณ์ในฤดูกาลใดฤดูกาลหนึ่งสามารถเป็นตัวแทนในการพัฒนาแบบจำลองการไหลแบบคงตัว เพราะเมื่อทดลองสร้างแบบจำลองดังกล่าวขึ้นผลการคำนวณที่ได้มีความแตกต่างจากสภาพความเป็นจริงเป็นอย่างมาก และไม่มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงได้เลย ทั้งนี้เนื่องจากพฤติกรรมของการไหลเพียงฤดูกาลใดฤดูกาลหนึ่งไม่สามารถใช้แทนสภาวะการไหลแบบคงตัวในพื้นที่ศึกษาได้ กล่าวคือในฤดูแล้งมีการสูบน้ำจากระบบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้มาก ส่วนฤดูฝนเป็นช่วงที่มีการเติมน้ำกลับลงสู่ระบบชั้นน้ำใต้ดินโดยมีปริมาณการใช้น้ำใต้ดินต่ำ ดังนั้นหากพิจารณาเฉพาะฤดูกาลเดียวระบบจะไม่สมดุล ผลการทดลองนี้สนับสนุนวิธีการกำหนดเงื่อนไขของการจำลองสภาพการไหลแบบคงตัวโดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายปี (ดูหัวข้อที่ 4.6 ประกอบ) และสามารถตรวจสอบความถูกต้องของอัตราการสูบน้ำและสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องสำหรับกรณีของปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นกรณีที่มีความแห้งแล้งสูงสุดตามเกณฑ์ของกรมชลประทาน (ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.5.9 ประกอบ)

สัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ที่มีนัยสำคัญมากที่สุดคือสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ ซึ่งคำนวณได้จากวิธีการที่เสนอในหัวข้อที่ 4.5.3 ซึ่งเป็นวิธีที่ช่วยให้การประเมินค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น จากการตรวจสอบแบบจำลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำที่ประเมินได้และนำเข้าสู่แบบจำลองสอดคล้องกับสภาพอุทกธรณีวิทยาและให้ผลการคำนวณที่ดี ทั้งนี้อาจจะมีส่วนที่ข้อบกพร่องที่ต้องทำการปรับแก้บ้างในกริดเซลล์ที่อยู่ในบริเวณที่มีข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินน้อย ซึ่งส่งผลให้การคำนวณ (Interpolation) ค่าพารามิเตอร์ในกริดเซลล์เหล่านั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนได้เล็กน้อย แต่เมื่ออาศัยข้อมูลอุทกธรณีประกอบกับข้อมูลในพื้นที่ข้างเคียงก็สามารถปรับแก้ค่าในกริดเซลล์เหล่านั้นได้

ผลการเปรียบเทียบในสภาวะการไหลแบบคงตัว (Steady State) พบว่ารูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้จากการคำนวณสอดคล้องกับข้อมูลระดับน้ำในปี พ.ศ. 2542 และมีค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละชั้นน้ำดังแสดงในตารางที่ 6-1 และรูปที่ 6-1 ซึ่งค่ารากกำลังสองของความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 1 – 2 เมตร ลำดับ โดยพบความคลาดเคลื่อนสูงบริเวณขอบด้านตะวันตก และตะวันออกของชั้นที่ 1 และ 2 ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลจากสภาพชั้นน้ำในบริเวณดังกล่าวที่มีบางส่วนเป็นชั้นหิน และมีความเชื่อมต่อกับชั้นหินปูนที่ไม่สามารถระบุคุณสมบัติและสภาพการไหลที่แน่นอนได้ แต่ในภาพรวมของระดับน้ำที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และสามารถใช้เป็นระดับน้ำตั้งต้นในการจำลองสภาพการไหลแบบไม่คงที่ต่อไปได้

ตารางที่ 6-1 ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบคงตัว (หน่วย : เมตร)

ชั้นน้ำ	1	2	3	4
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean error)	-0.19	-0.12	0.64	0.63
ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean absolute error)	1.39	0.73	1.02	0.88
รากกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root mean square error)	2.07	1.05	1.22	1.03

### 6.1.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว

การเปรียบเทียบในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำที่ทำการเก็บรวบรวมทุก 2 เดือนในช่วงปี พ.ศ. 2543 – 2544 มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบสัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลแบบไม่คงตัว และสัมประสิทธิ์ในการประเมินอัตราการสูบน้ำรายเดือนและรายปี ในกรณีปี พ.ศ. 2543 - 2544

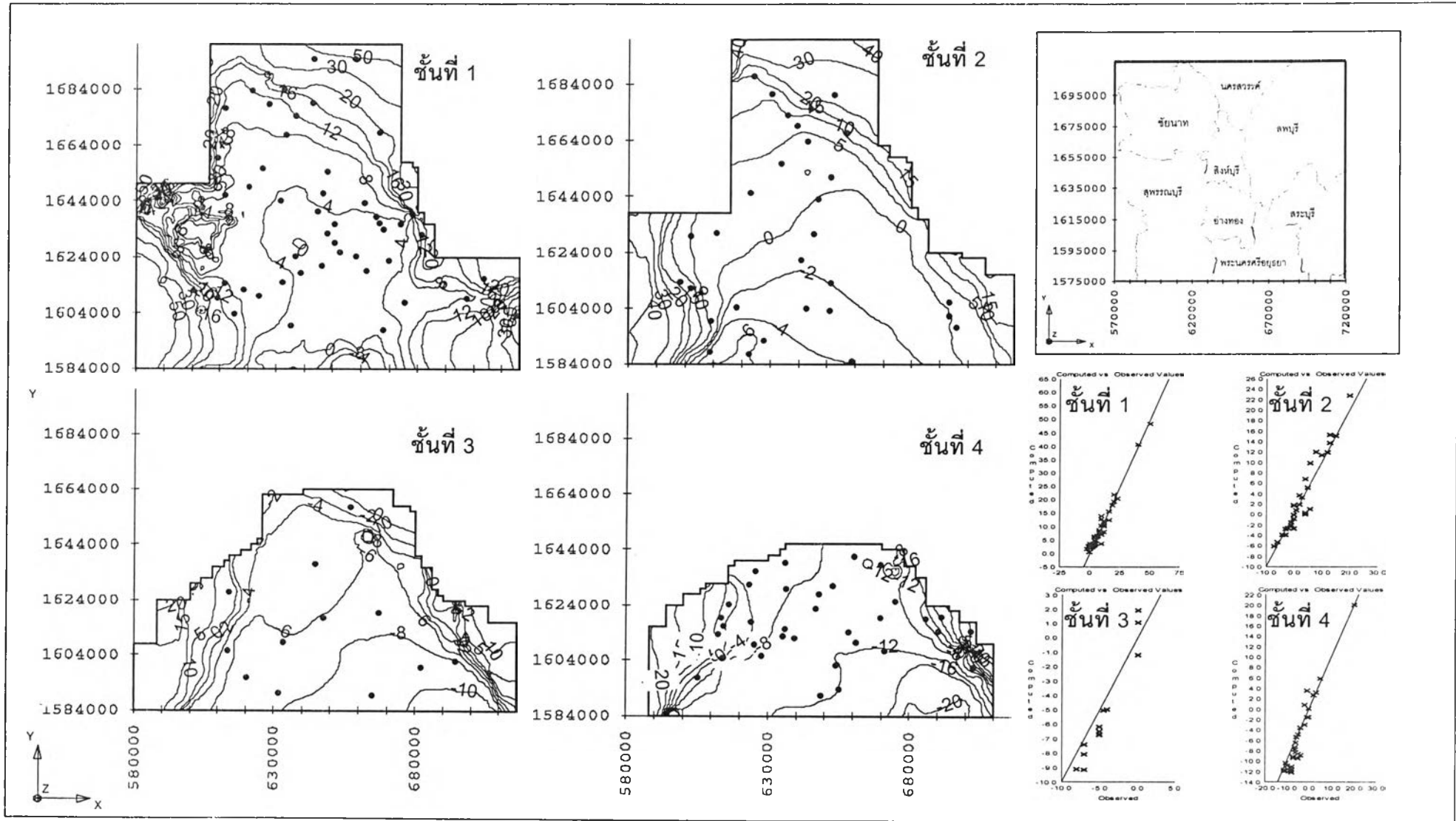
สัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลแบบไม่คงตัวได้แก่ สัมประสิทธิ์การกักเก็บ และสำหรับชั้นน้ำที่เป็นแบบไม่มีความดัน (Unconfined Aquifer) หรือแบบกึ่งมีความดัน (Semi Confined Aquifer) จำเป็นต้องกำหนดพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งคือ สัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ ผลการเปรียบเทียบแสดงว่า ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การกักเก็บแต่ละชั้นน้ำมีความแตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยสำหรับชั้นน้ำแต่ละชั้นเท่ากับ  $1.5 \times 10^{-3}$ ,  $1.0 \times 10^{-3}$ ,  $5.0 \times 10^{-4}$  และ  $1.0 \times 10^{-3}$  ตามลำดับ แต่พารามิเตอร์ทั้งสองนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อผลการคำนวณมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับสัมประสิทธิ์อื่น ๆ เช่นสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ

สัมประสิทธิ์ในการประเมินอัตราการสูบน้ำเพื่อการเกษตร มีค่าเปลี่ยนแปลงสำหรับแต่ละเดือนและแต่ละปี จากข้อมูลการสำรวจในภาคสนาม เมื่อทำการเปรียบเทียบในกรณีการไหลแบบคงตัวทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับเดือนต่าง ๆ ในกรณีปีที่แห้งแล้งที่สุด เพราะปี พ.ศ. 2542 ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการเปรียบเทียบเป็นปีที่แห้งแล้งที่สุดตามเกณฑ์ของกรมชลประทาน ส่วนการเปรียบเทียบในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัวทำให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของสัมประสิทธิ์รายเดือนในกรณีปี พ.ศ. 2543 และ พ.ศ. 2544 ซึ่งเป็นปีที่สถานการณ์น้ำอยู่ในเกณฑ์ปกติ และเกณฑ์น้ำมาก ตามลำดับ ดังนั้นจากการเปรียบเทียบในทุกกรณีดังกล่าวมา จึงสามารถกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ในกรณีต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4-4 และ 4-5 และสามารถคำนวณอัตราการสูบน้ำได้ดินทั้งหมดได้ตามหลักการที่กำหนดในหัวข้อที่ 3.5

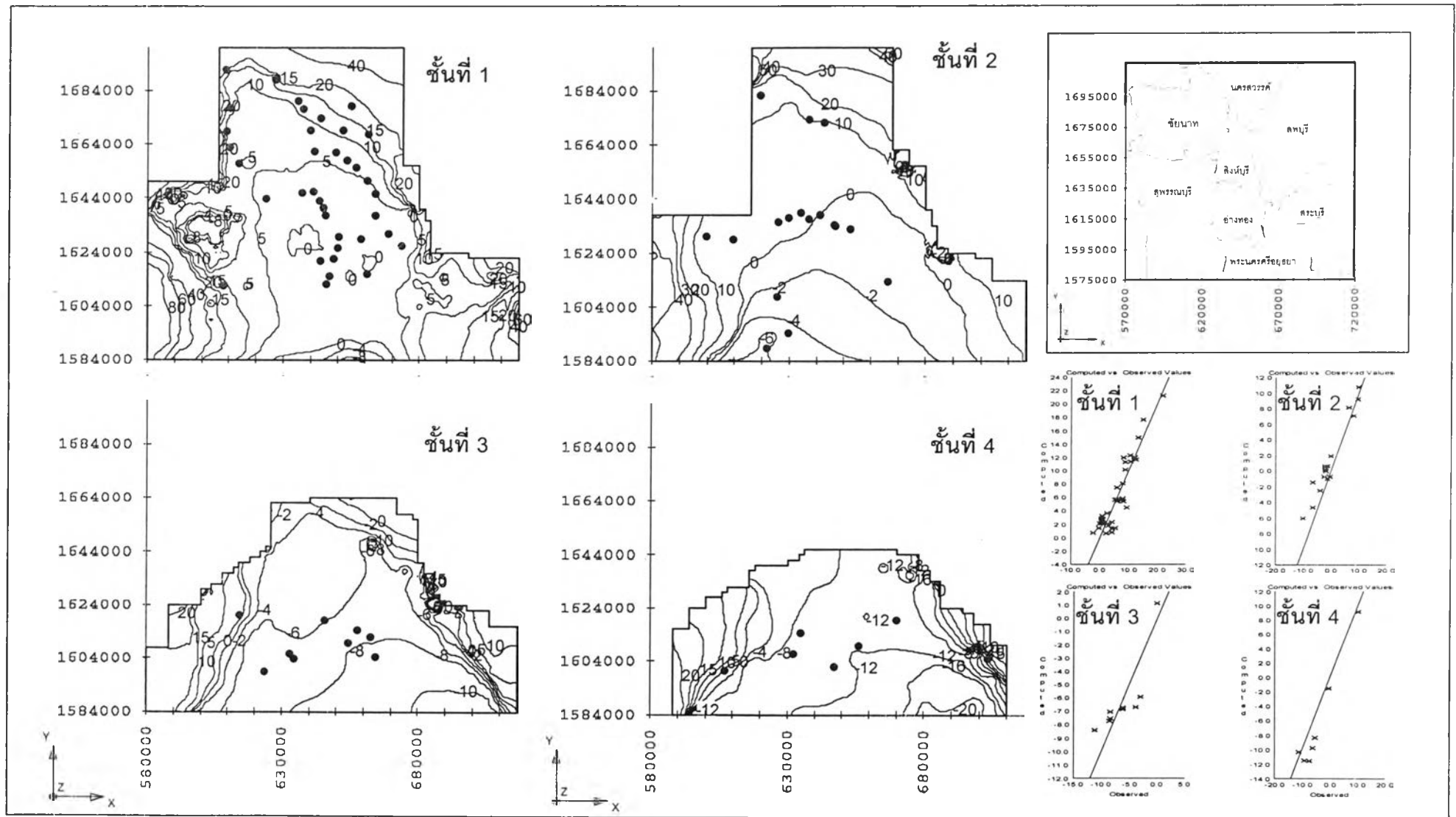
ผลการเปรียบเทียบในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัวในช่วงปี พ.ศ. 2543 – 2544 เปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำที่มีการเก็บรวบรวมทุก ๆ 2 เดือน พบว่ารูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้จากการคำนวณสอดคล้องข้อมูลระดับน้ำจริง (รูปที่ 6-2, 6-3) และมีค่าความคลาดเคลื่อนในช่วงเวลา (Time step) สุดท้ายของแต่ละชั้นน้ำแสดงในตารางที่ 6-2 ซึ่งค่ารากกำลังสองของความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 1 – 3 เมตร ความคลาดเคลื่อนบริเวณขอบของแบบจำลองด้านที่ติดกับชั้นหินอุ้มน้ำแบบหินปูนมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าตอนกลางของพื้นที่ศึกษาเช่นเดียวกับกรณีการไหลแบบคงตัว และชั้นน้ำชั้นที่ 3 มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าชั้นอื่นเล็กน้อย ซึ่งน่าจะเป็นผลจากความคลาดเคลื่อนของอัตราการสูบน้ำในชั้นน้ำดังกล่าวแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และความเปลี่ยนแปลงของความคลาดเคลื่อนในแต่ละช่วงเวลาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 6-2 ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว (หน่วย : เมตร)

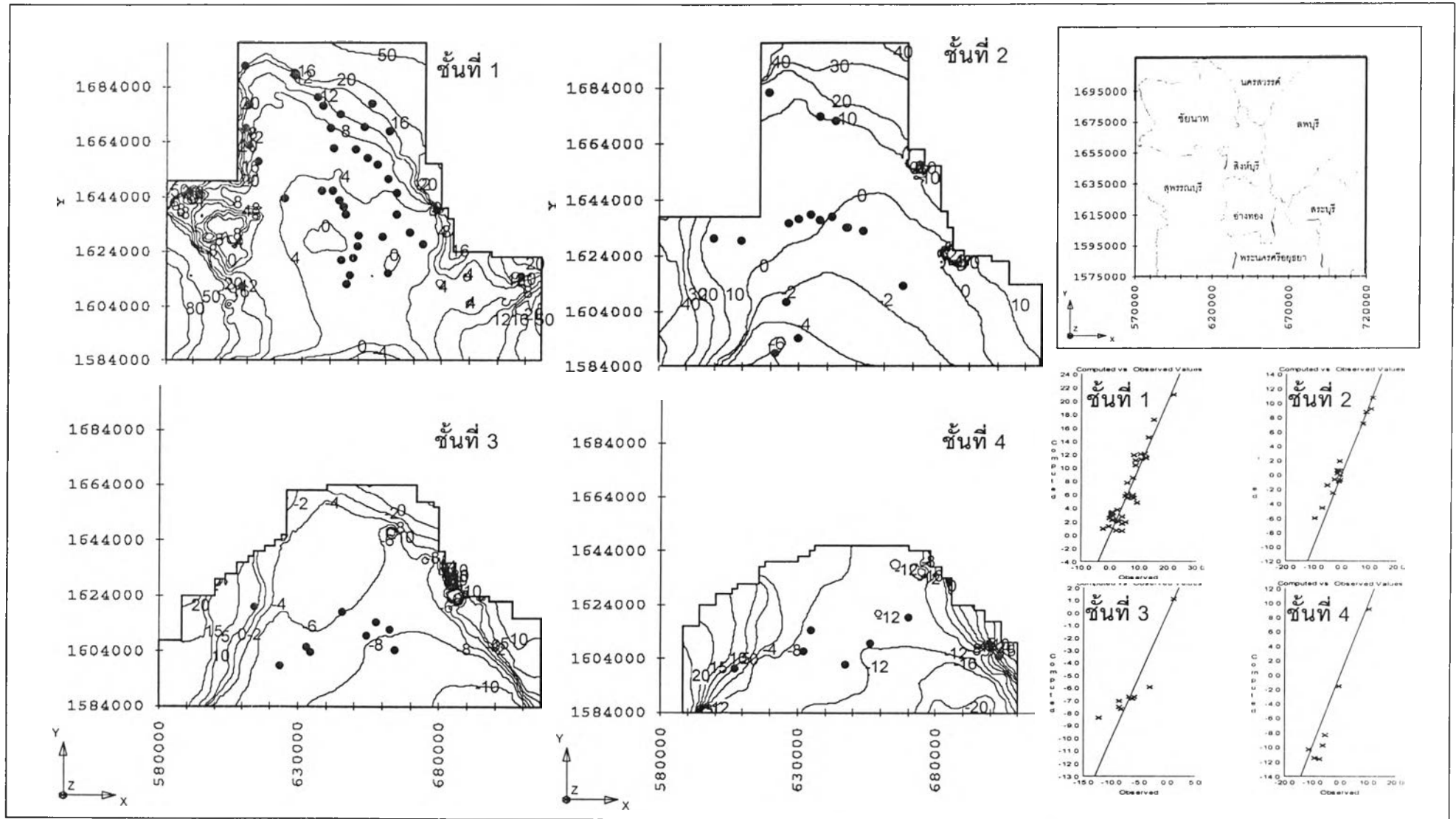
ชั้นน้ำ	1	2	3	4
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย(Mean error)	0.15	1.65	- 2.02	- 2.12
ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์(Mean absolute error)	1.74	1.91	2.55	2.33
รากกำลังสองของความคลาดเคลื่อน(Root mean square error)	2.05	2.26	2.83	2.66



รูปที่ 6-1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองไฮดรอลิกแบบคงตัวเปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำปี พ.ศ. 2542 (เมตร - รทก.)



รูปที่ 6-2 ผลการปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัวเปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2544 (เมตร - รทก.)



รูปที่ 6-3 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัวเปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำเดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2544 (เมตร - รทก.)

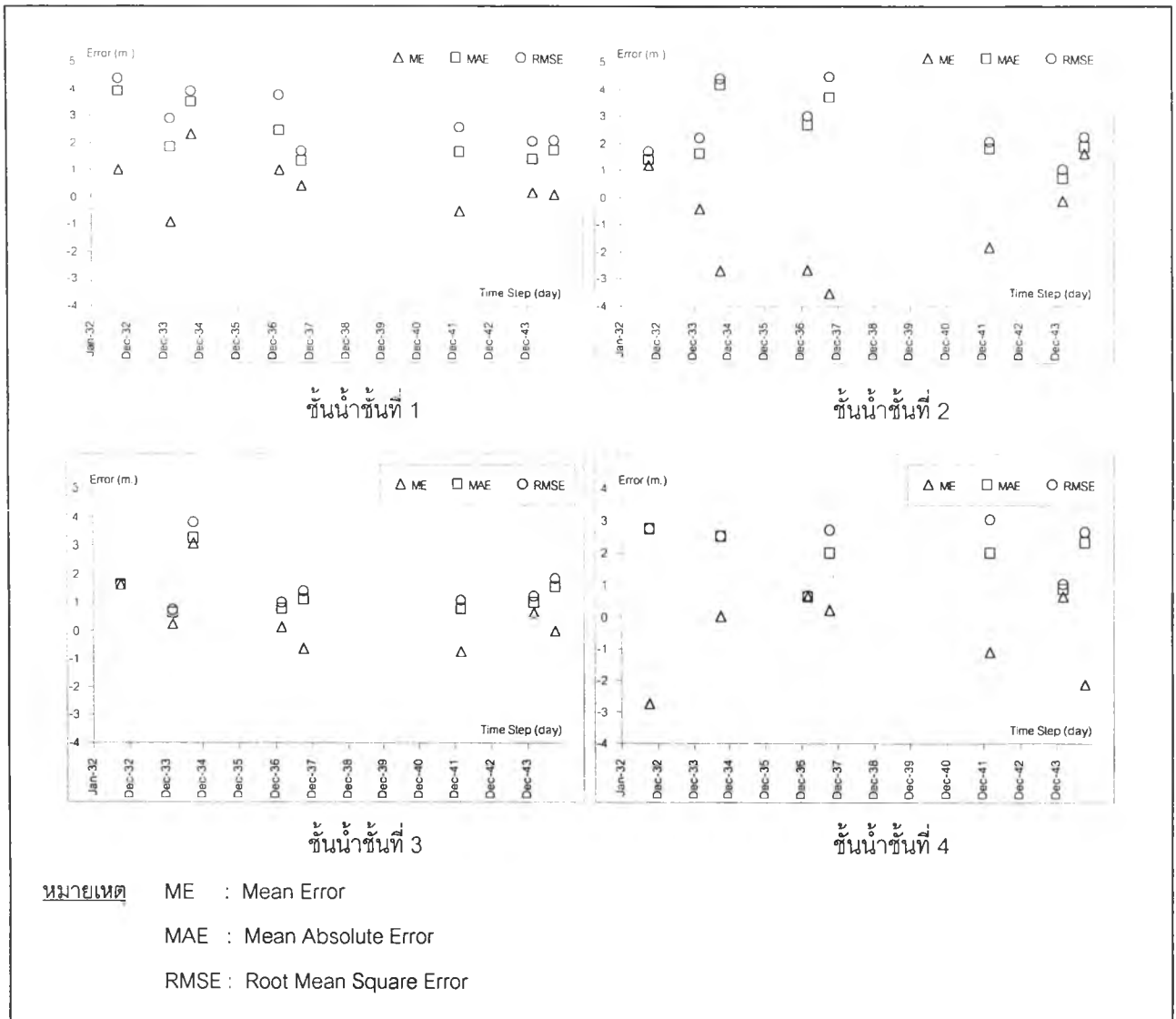
### 6.1.3 ผลการสอบทานแบบจำลอง

การสอบทานแบบจำลองเป็นขั้นตอนที่ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์อีกครึ่งหนึ่ง หลังจากที่ได้ปรับเทียบเรียบร้อยแล้ว โดยค่าระดับน้ำที่นำมาเปรียบเทียบเป็นคนละชุดกับการปรับเทียบ โดยการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการตรวจสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลปี พ.ศ. 2532 - 2544 โดยอาศัยข้อมูลระดับน้ำจากหน่วยงานต่าง ๆ ในการตรวจแล้วดำเนินการวิเคราะห์ประวัติการใช้น้ำ และวิเคราะห์ระบบสมมูลของแหล่งน้ำใต้ดิน

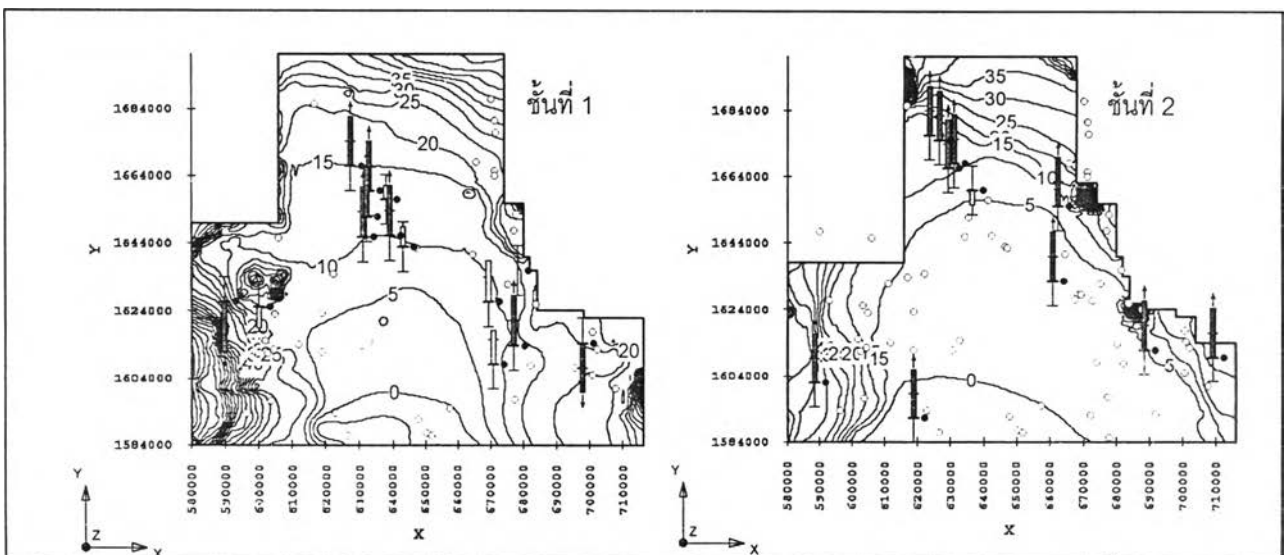
อัตราการสูบน้ำในอดีต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 - 2541 สามารถประเมินได้โดยอาศัยหลักการที่กำหนดในหัวข้อที่ 3.5 ประกอบกับตารางที่ 4-4 และ 4-5 ซึ่งได้รับการตรวจสอบจากขั้นตอนของการปรับเทียบแล้ว เมื่อนำมาใช้ในการสอบทานแบบจำลองในช่วงระยะเวลา 10 ปี ย้อนหลัง สามารถให้ผลการคำนวณที่สอดคล้องกับระดับน้ำที่มีการบันทึกไว้ในอดีตได้ดี แสดงว่าหลักการและสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นในการศึกษาครั้งนี้สามารถอธิบายพฤติกรรมการณ์การใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาได้อย่างเหมาะสม และยืนยันตัวเลขปริมาณการสูบน้ำใต้ดินตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 ตามที่ประเมินไว้ในรูปที่ 4-15

อุปสรรคสำคัญประการหนึ่งในการสอบทานแบบจำลองคือการขาดข้อมูลบ่งชี้เหตุการณ์ในพื้นที่ศึกษา ข้อมูลที่ใช้ในการสอบทานเป็นค่าระดับน้ำที่ทำการบันทึกขณะที่ทำการขุดเจาะบ่อน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาโดยหน่วยราชการต่าง ๆ ซึ่งบ่อเหล่านี้ก็ได้ถูกออกแบบมาเฉพาะเพื่อการสังเกตการณ์ระดับน้ำ เพราะฉะนั้นบ่อเหล่านี้จำนวนมากจึงมีการเปิดท่อกรองหลายช่วง ทำให้ยากในการระบุค่าระดับน้ำของบ่อนั้น ๆ เป็นระดับน้ำของชั้นน้ำชั้นใด ดังนั้นก่อนจะนำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เพื่อจำแนกบ่อต่าง ๆ ตามความลึกของท่อกรอง ว่าตรงกับชั้นน้ำชั้นใด แล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลกับบ่อข้างเคียงทั้งในมิติของพื้นที่และเวลา และพบว่าข้อมูลจำนวนมากต้องถูกตัดออกไป ไม่สามารถนำมาใช้ในการสอบทานแบบจำลองได้ ดังนั้นสำหรับบางชั้นน้ำ ในบางช่วงเวลาจึงมีบ่อสังเกตการณ์ที่นำมาใช้สอบทานแบบจำลองได้น้อยมาก หรืออาจไม่มีเลย เช่นกรณี ชั้นน้ำชั้นที่ 4 ในช่วงฤดูฝน ปี พ.ศ. 2532

ผลการสอบทานแบบจำลอง พบว่ารูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้จากการคำนวณสอดคล้องในระดับที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลระดับน้ำในปี พ.ศ. 2532 - 2544 โดยที่ค่ารากกำลังสองของความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองในช่วงระยะเวลา 13 ปี อยู่ในช่วง 1 - 4 เมตร ดังรูปที่ 6-4 และรายละเอียดของผลการจำลองสภาพที่แสดงในหัวข้อที่ 6.3 (รูปที่ 6-7) และภาคผนวก ค แต่ทั้งนี้ เนื่องจากข้อมูลระดับน้ำที่นำมาใช้ในการสอบเทียบนี้เป็นข้อมูลที่ได้จากประวัติของบ่อน้ำใต้ดินที่มี ซึ่งมีจำนวนข้อมูลที่สมบูรณ์ในแต่ละช่วงเวลาไม่มากนัก และมีใช้บ่อสังเกตการณ์ที่สมบูรณ์แบบ กล่าวคือมิได้มีการบันทึกระดับน้ำของบ่อใดบ่อหนึ่งเป็นประจำตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา ดังนั้น ข้อมูลระดับน้ำที่นำมาใช้ตรวจสอบแบบจำลองในแต่ละช่วงเวลา จึงเป็นข้อมูลของบ่อน้ำใต้ดินที่ต่างชุดกัน จึงไม่อาจเปรียบเทียบแนวโน้มของความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองตามแกนเวลาได้อย่างแท้จริง แต่ก็สามารถแสดงได้ว่า ผลการคำนวณระดับน้ำของแบบจำลอง ที่เวลาต่าง ๆ สอดคล้องกับข้อมูลระดับน้ำของบ่อน้ำใต้ดินที่มีการบันทึกในช่วงเวลานั้น ๆ ในระดับที่ยอมรับได้ และสรุปได้ว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ผ่านการสอบเทียบได้ และสามารถใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์การไหลของระบบชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาได้ ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีลักษณะเดียวกับการปรับเทียบแบบจำลอง กล่าวคือ มีความคลาดเคลื่อนมากในบริเวณขอบของแบบจำลองที่ติดกับชั้นหินด้านตะวันตกและด้านตะวันออก ดังตัวอย่างในรูปที่ 6-5 ซึ่งแสดงแถบความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้ในภาคสนาม กรณีเดือนเมษายน พ.ศ. 2534 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับการแกว่งตัวของระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา แม้ว่าจะไม่มีบ่อสังเกตการณ์ที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่จุดใดจุดหนึ่งตลอดระยะเวลาของการจำลองสภาพ แต่จากระดับน้ำของบ่อต่าง ๆ ที่ตรวจสอบกับผลการจำลองดังแสดงในภาคผนวก ค แสดงว่าระดับน้ำในชั้นน้ำทั้ง 4 มีการแกว่งตัวสูงสุดในรอบระยะเวลาตั้งแต่ พ.ศ. 2532 - 2544 ที่การศึกษา มีค่าประมาณ 10 เมตร ดังนั้นความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจึงมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 40 ของระยะการแกว่งตัวของระดับน้ำจริง



รูปที่ 6-4 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการไหลน้ำใต้ดินตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 -2544



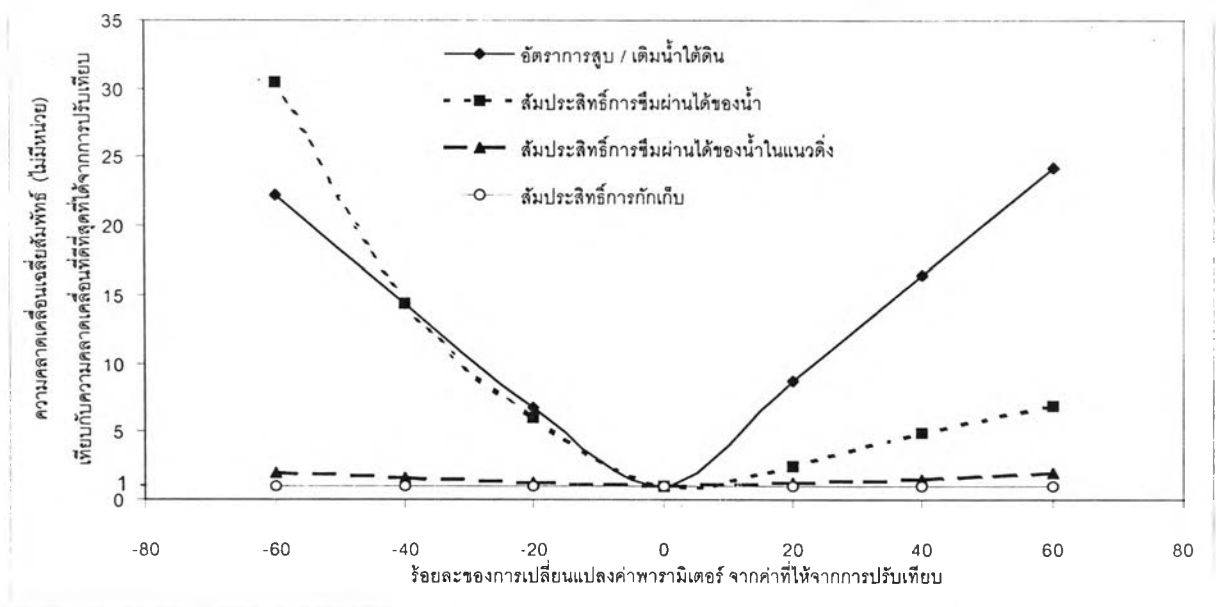
รูปที่ 6-5 ความคลาดเคลื่อนของผลการคำนวณระดับน้ำ กรณีเดือนเมษายน พ.ศ. 2534



## 6.2 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

ในหัวข้อที่ 4.7 ได้กล่าวถึงขั้นตอนที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งหลังจากที่แบบจำลองได้ผ่านการปรับเทียบและสอบทานแล้ว นั่นคือการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง กล่าวคือหลังจากมีการปรับเทียบพารามิเตอร์ต่าง ๆ จนได้แบบจำลองที่ดีที่สุด กล่าวคือมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดแล้ว เมื่อทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ เหล่านั้นให้แตกต่างกันไปตามรูปที่ 6-6 ผลการคำนวณของแบบจำลองจะเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเพิ่มสูงขึ้นแสดงถึงความอ่อนไหว (Sensitivity) หรือนัยสำคัญที่พารามิเตอร์นั้น ๆ มีต่อแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

ผลการศึกษาแสดงว่า พารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญสูงสุดคือ ค่าอัตราการสูบ / เติมน้ำ และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ ส่วนสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในแนวตั้ง และสัมประสิทธิ์การกักเก็บมีนัยสำคัญต่ำกว่าอย่างชัดเจน ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน จึงควรให้ความสำคัญในการออกแบบวิธีการประเมิน และตรวจสอบพารามิเตอร์เกี่ยวกับอัตราการสูบ / เติมน้ำ และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ



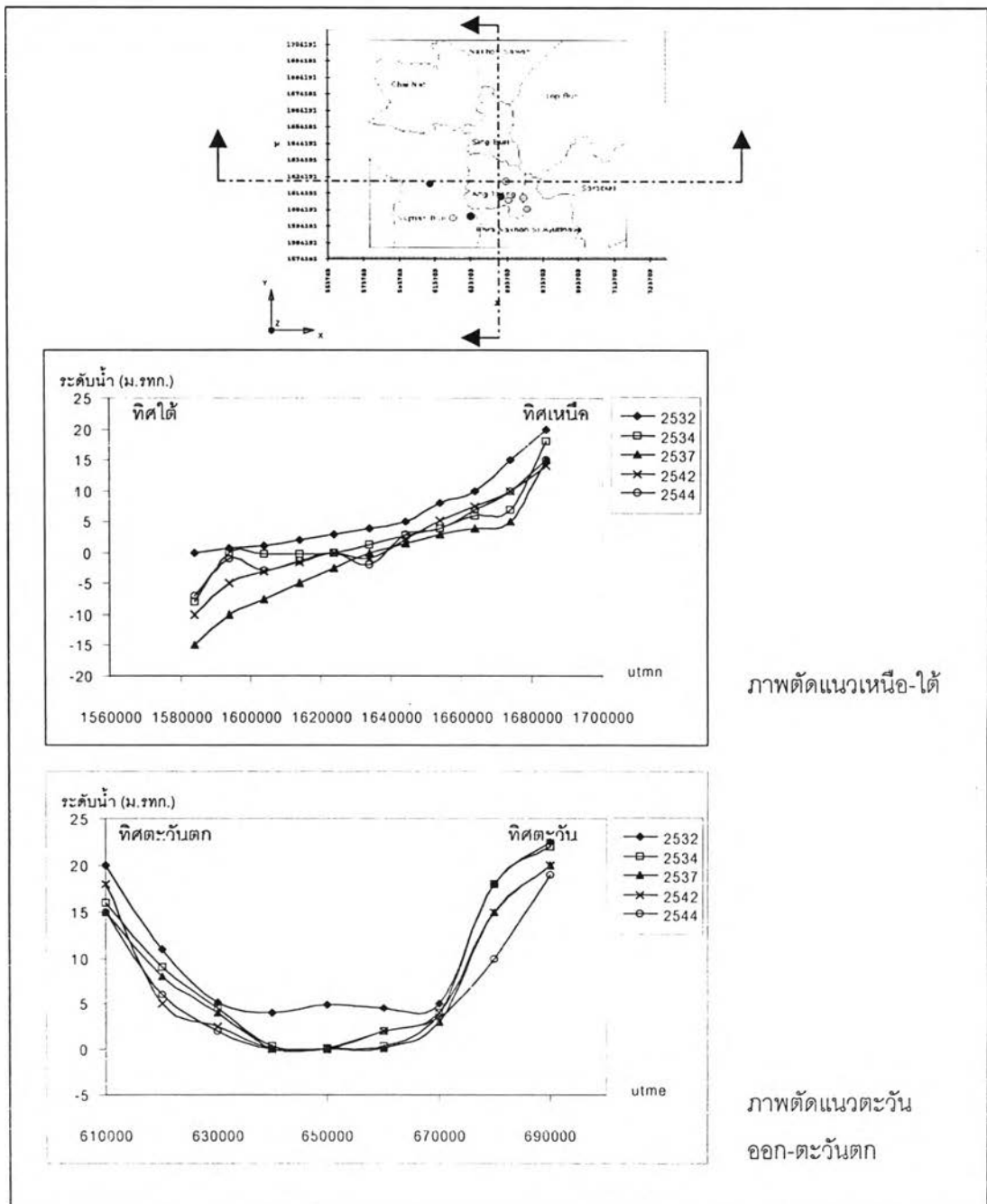
รูปที่ 6-6 ผลการทดสอบความอ่อนไหวของพารามิเตอร์

## 6.3 ผลการจำลองระดับน้ำใต้ดิน

ผลการคำนวณระดับน้ำในปี พ.ศ. 2542 จากแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินที่ได้มีการพัฒนาขึ้นจากการศึกษาค้างนี้แสดงไว้แล้วในรูปที่ 6-1 และระดับน้ำในปี พ.ศ. 2543 - 2544 แสดงในรูปที่ 6-2 ส่วนระดับน้ำใต้ดินที่ได้จากแบบจำลองตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 - 2544 แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ค ชั้นน้ำชั้นบนสุดเป็นชั้นน้ำที่มีการใช้น้ำมากที่สุดในช่วงฤดูแล้ง และได้รับการเติมน้ำจากจากฝนในฤดูฝน ทำให้ระดับน้ำในชั้นนี้มีการแกว่งตัวตามฤดูกาลและพฤติกรรมการสูบน้ำอย่างชัดเจน ส่วนชั้นน้ำชั้นอื่น ๆ ซึ่งอยู่ลึกลงไป ซึ่งมีปริมาณการสูบน้ำไม่มากนัก ผลการคำนวณระดับน้ำของชั้นน้ำเหล่านี้จากแบบจำลอง ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในภาคสนาม แสดงว่าระดับน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน แต่อาจสังเกตเห็นแนวโน้มการลดลงอย่างช้า ๆ ในชั้นน้ำชั้นที่ 2 ได้บ้าง (รายละเอียดของผลการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค) โดยมีการลดลงประมาณ 1-5 เมตร ในระยะเวลาประมาณ 10 ปี ในบริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา แถบจังหวัดสิงห์บุรี สุพรรณบุรี และอ่างทอง จากค่าระดับน้ำดังกล่าว เมื่อสร้างเส้นตัดขวางทั้งในแนวเหนือ-ใต้ และแนวตะวันออก-ตะวันตก ของระดับน้ำในชั้นที่ 1 ซึ่งเป็นชั้นบนสุดที่มีการใช้น้ำมาก และมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำชัดเจนพบว่าความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในช่วงเวลาดังกล่าวมีลักษณะดังรูปที่ 6-7

ระดับน้ำในชั้นที่ 1 ในปี พ.ศ. 2544 มีแนวโน้มลดลงจากปี พ.ศ. 2532 ประมาณ 2 – 10 เมตร โดยมีการวางตัวตามสภาพฤดูกาลและพฤติกรรมการใช้ น้ำ ตัวอย่างที่ชัดเจนคือกรณี ปี พ.ศ. 2537 ซึ่งเป็นปีที่เกิดเหตุการณ์ฝนแล้ง และการขยายตัวของจำนวนบ่อน้ำใต้ดิน และปริมาณการสูบน้ำใต้ดินสูงถึงประมาณ 800 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (ดูรูปที่ 4-15 ประกอบ) ดังนั้นระดับน้ำในช่วงเวลาดังกล่าวจึงลดต่ำลงอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้านั้น และลดลงต่ำกว่าระดับน้ำในปี พ.ศ. 2532 ถึงประมาณ 6 – 15 เมตร แต่ในปีต่อมา เมื่อมีการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ในปริมาณลดลง และมีปริมาณฝนตกในพื้นที่เพิ่มขึ้น ระดับน้ำก็มีการยกตัวสูงขึ้นแม้จะไม่เท่ากับระดับในปี พ.ศ. 2532 ก็ตาม

หากวิเคราะห์หิโนเชิงพื้นที่ บริเวณที่มีการลดลงของระดับน้ำมากที่สุดคือ อำเภอบางระจัน อำเภอดำรงกระจัน จังหวัดสิงห์บุรี อำเภอแสวงหาและอำเภอไชโย จังหวัดอ่างทอง ทั้งนี้สอดคล้องกับปริมาณการสูบน้ำในพื้นที่ดังกล่าว โดยเฉพาะการใช้ น้ำเพื่อการเกษตรกรรมจากชั้นน้ำชั้นที่ 1 ซึ่งมีปริมาณสูงในพื้นที่ดังกล่าว



รูปที่ 6-7 ภาพตัดแสดงระดับน้ำใต้ดินชั้นที่ 1 ในฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2532 – 2544 จากแบบจำลอง

#### 6.4 การวิเคราะห์ระบบสมมูลน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

จากแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในช่วงปี พ.ศ. 2532 - 2544 สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์การไหล และระบบสมมูลของแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาได้ ผลการวิเคราะห์แสดงว่าฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความเปลี่ยนแปลงของสมมูลน้ำใต้ดิน กล่าวคือในฤดูแล้งมีอัตราการสูบน้ำขึ้นไปใช้มาก ส่วนฤดูฝนความต้องการใช้น้ำมีน้อยและมีการเติมจากฝนที่ตกในพื้นที่ในปริมาณมาก ดังนั้นจึงอาจกล่าวโดยสรุปในเบื้องต้นได้ว่าระบบแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษานี้อยู่ในสภาพสมมูลได้ด้วยปริมาณน้ำที่เติมให้กับแหล่งน้ำซึ่งส่วนมากเป็นฝนที่ตกในฤดูฝน และปริมาณน้ำที่สูญหายไปจากระบบส่วนมากเป็นน้ำที่ถูกสูบน้ำไปใช้ในชวฤดูแล้ง

เพื่ออธิบายพฤติกรรมดังกล่าวนี้ให้ชัดเจน นอกจากจะพิจารณาระบบสมมูลในปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาครั้งนี้ แล้วจึงได้เลือกข้อมูลในปี พ.ศ. 2537 ซึ่งเป็นกรณีที่ดินานการณ์น้ำอยู่ในสภาวะแห้งแล้งที่สุดในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 - 2544 ที่ทำการศึกษา มาเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์รายละเอียดต่อไป (ตารางที่ 6-3 และ 6-4) ส่วนระบบสมมูลในกรณีอื่น ๆ คือ กรณีน้ำน้อย น้ำปกติ และกรณีน้ำมาก แสดงผลการวิเคราะห์ไว้ในภาคผนวก ค

ระบบสมมูลน้ำในกรณีฤดูแล้ง (ตารางที่ 6-3) ซึ่งมีการสูบน้ำเพื่อการเกษตรสูงสุด ในปี 2537 และกรณีเปรียบเทียบ ในฤดูฝนของปีเดียวกัน (ตารางที่ 6-4) พบว่า ในช่วงแล้ง มีการสูบน้ำสูงมากโดยเฉพาะจากชั้นน้ำชั้นที่ 1 ประมาณ 2.2 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวันและมีการเติมน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน และการไหลเข้าจากด้านข้างของพื้นที่ศึกษา ประมาณ 3 แสนลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีปริมาณน้ำไหลสู่พื้นที่ตอนใต้ คือกรุงเทพฯ และบริเวณทลอีกราว 66,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งปริมาณดังกล่าวแสดงว่ามีปริมาณน้ำไหลออกจากระบบของแหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษามากกว่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้า ทั้งนี้เนื่องจากเป็นกรณีของฤดูแล้ง สภาวะดังกล่าวจะสมดุลโดยอาศัยการเติมในช่วงฤดูฝน ดังตัวอย่างในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2537 (ตารางที่ 6-4) พบว่า ปริมาณการสูบน้ำในชั้นที่ 1 ลดเหลือเพียง 100,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เนื่องจากไม่มีการใช้น้ำเพื่อการเกษตรในช่วงเวลาดังกล่าว การใช้น้ำที่มีเป็นเพียงการใช้เพื่ออุปโภคบริโภค และอุตสาหกรรมบ้างเล็กน้อย ส่วนฝนในช่วงฤดูดังกล่าวมีระดับสูงมากทำให้ปริมาณน้ำที่เติมจากผิวดินสูงถึง 2.3 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ชดเชยกับปริมาณการสูบน้ำในช่วงฤดูแล้ง ส่วนปริมาณการไหลบริเวณขอบเขตของแบบจำลองมีค่าคงที่ ตามสมมติฐานของแบบจำลอง ส่วนตารางที่ 6-5 และรูปที่ 6-8 แสดงสมมูลน้ำของระบบโดยเฉลี่ยรายปี โดยพิจารณากรณีตัวอย่างในปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นปีฐานในการพัฒนาแบบจำลอง พบว่า อัตราการสูบน้ำจากชั้นน้ำทั้งสี่ เท่ากับ 693 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยมีการเติมจากผิวดิน 619 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี นั้นแสดงว่ามีการใช้มากกว่าการเติมโดยธรรมชาติประมาณ 74 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (0.2 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน) ดังนั้นหากปริมาณการใช้น้ำใต้ดินยังคงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นย่อมส่งผลกระทบต่อลดลงของระดับน้ำโดยตรง ดังรูปที่ 6-9 ซึ่งแสดงถึงความสอดคล้องของระดับน้ำใต้ดินที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการสูบน้ำในแต่ละปี ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2532 - 2544

ตารางที่ 6-6 แสดงถึงระบบสมมูลน้ำในกรณีสถานการณ์น้ำแบบต่าง ๆ ซึ่งอาศัยเกณฑ์ของกรมชลประทานที่พิจารณาจากปริมาณน้ำผิวดินที่มี ณ เวลาเริ่มต้นของแต่ละปี ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการใช้น้ำใต้ดินในฤดูแล้งของปีนั้น ๆ ด้วยเกณฑ์ดังกล่าวสามารถจำแนกสถานการณ์น้ำออกเป็น 4 กรณีคือ กรณีน้ำมาก น้ำปกติ น้ำน้อย และน้ำน้อยมาก โดยพิจารณาข้อมูลในปี พ.ศ. 2544 2532 2534 และ 2537 เป็นตัวแทนในแต่ละกรณี ตามลำดับ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค) ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำใต้ดินในระบบ ลดลงในช่วงฤดูแล้ง และปริมาณที่ลดลงสอดคล้องกับสถานการณ์น้ำแต่ละปี ระบบสามารถปรับตัวเข้าใกล้สภาวะสมดุลได้ด้วยปริมาณน้ำที่เติมกลับเข้ามาในฤดูฝน แต่ปริมาณที่เติมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณฝนในแต่ละปีซึ่งไม่เกี่ยวข้องกันกับเกณฑ์ที่ใช้จำแนกสถานการณ์น้ำในช่วงต้นปีที่กล่าวข้างต้น และปริมาณฝนมีความเปลี่ยนแปลงแบบไม่แน่นอน ดังนั้นปัจจัยที่ควบคุมได้ในระบบสมมูลแหล่งน้ำใต้ดินคืออัตราการสูบน้ำ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องถูกควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

ตารางที่ 6-3 สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในเดือนเมษายน พ.ศ.2537 (กรณีฤดูแล้ง) (หน่วย : ลบ.ม./วัน)

ชั้นน้ำ	1	2	3	4
ปริมาณการสูบน้ำ	2,150,000	47,000	22,000	16,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านเหนือ	182,000	4,000	1,000	0
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันตก	37,000	27,000	28,000	13,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันออก	23,000	19,000	1,000	7,000
ปริมาณน้ำไหลออกจากด้านใต้	66,000	27,000	27,000	10,000
การเติมจากผิวดิน / ชั้นน้ำชั้นบน	16,000	51,000	23,000	1,000

ตารางที่ 6-4 สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในเดือนตุลาคม พ.ศ.2537 (กรณีฤดูฝน) (หน่วย : ลบ.ม./วัน)

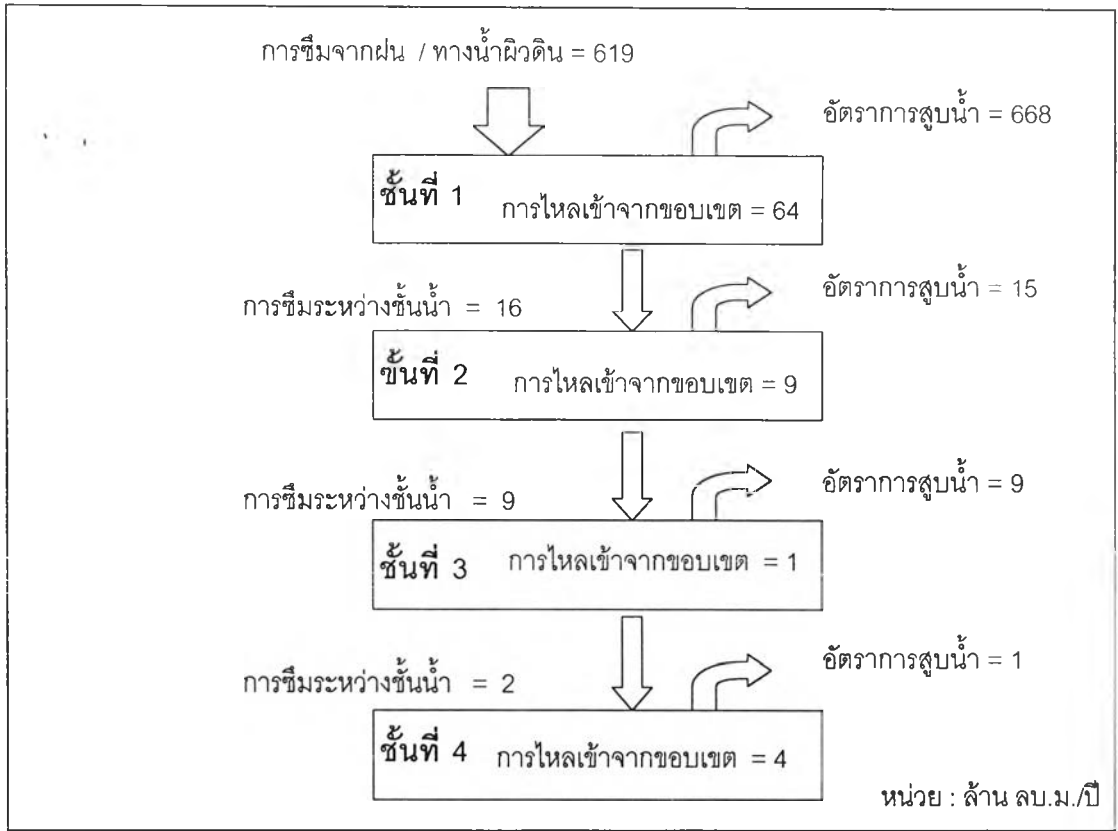
ชั้นน้ำ	1	2	3	4
ปริมาณการสูบน้ำ	100,000	47,000	23,000	15,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านเหนือ	182,000	4,000	1,000	0
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันตก	37,000	27,000	28,000	13,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันออก	23,000	19,000	1,000	7,000
ปริมาณน้ำไหลออกจากด้านใต้	66,000	27,000	27,000	10,000
การเติมจากผิวดิน / ชั้นน้ำชั้นบน	2,300,000	54,000	23,000	3,000

ตารางที่ 6-5 สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินโดยเฉลี่ย (กรณี ปี 2542) (หน่วย : ลบ.ม./วัน)

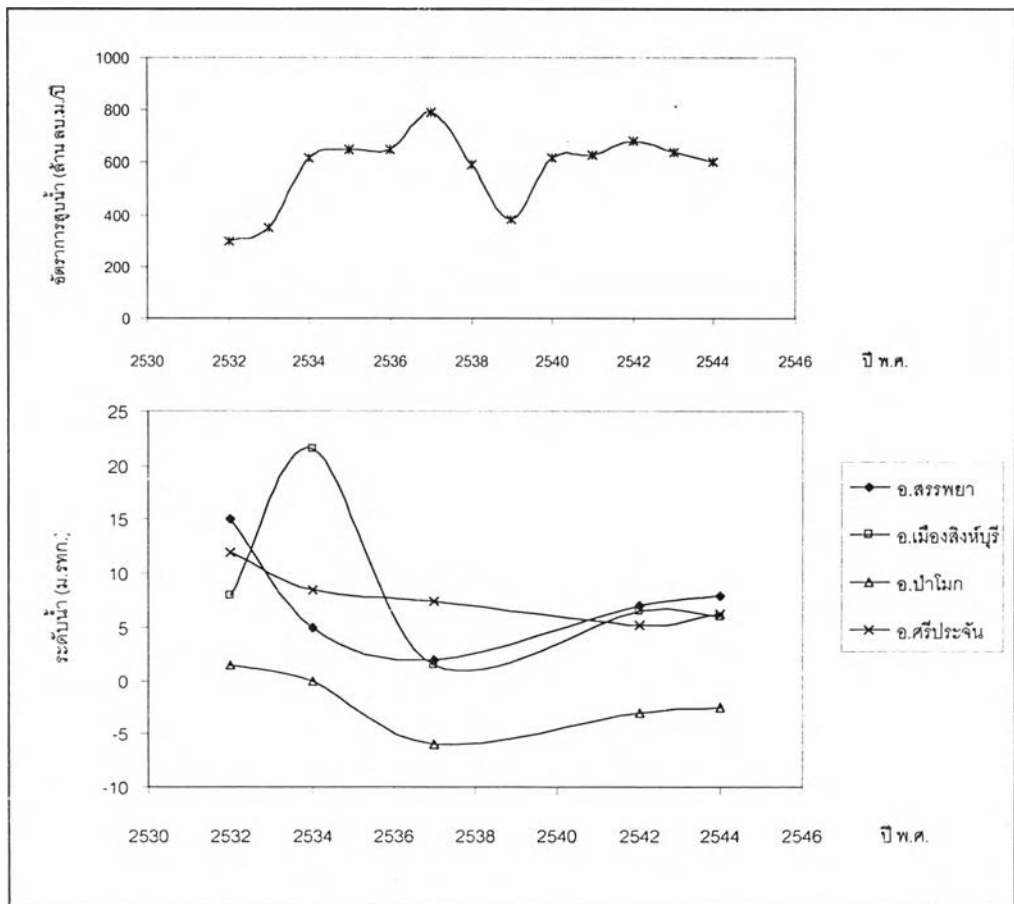
ชั้นน้ำ	1	2	3	4	ระบบรวม
ปริมาณการสูบน้ำ	1,830,000	40,000	24,000	16,000	1,910,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านเหนือ	182,000	4,000	1,000	0	187,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันตก	37,000	27,000	28,000	13,000	105,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันออก	23,000	19,000	1,000	7,000	51,000
ปริมาณน้ำไหลออกจากด้านใต้	66,000	27,000	27,000	10,000	129,000
การเติมจากผิวดิน / (ชั้นน้ำชั้นบน)	1,696,000	(43,000)	(26,000)	(5,000)	1,696,000

ตารางที่ 6-6 สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในกรณีตัวอย่างสำหรับสถานการณ์น้ำแบบต่าง ๆ

กรณี สถานการณ์น้ำ	(1) อัตราการสูบ (ลบ.ม./วัน)	(2) อัตราการเติม (ลบ.ม./วัน)	การไหลที่ขอบเขต		การเปลี่ยนแปลง ปริมาณน้ำสุทธิ (2) + (3) - (1) - (4)	
			(3) การไหลเข้า (ลบ.ม./วัน)	(4) การไหลออก (ลบ.ม./วัน)		
น้ำมาก	ฤดูแล้ง	592,000	342,000	130,000	-893,000	
	ฤดูฝน	1,984,000	1,591,000	342,000	130,000	-181,000
น้ำปกติ	ฤดูแล้ง	1,075,000	238,000	342,000	130,000	-625,000
	ฤดูฝน	55,000	3,333,000	342,000	130,000	3,490,000
น้ำน้อย	ฤดูแล้ง	2,097,000	259,000	342,000	130,000	-1,626,000
	ฤดูฝน	54,000	5,382,000	342,000	130,000	5,540,000
น้ำน้อยมาก	ฤดูแล้ง	2,235,000	91,000	342,000	130,000	-1,932,000
	ฤดูฝน	185,000	2,380,000	342,000	130,000	2,407,000



รูปที่ 6-8 สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินที่ทำการศึกษา กรณีตัวอย่าง ปี พ.ศ. 2542



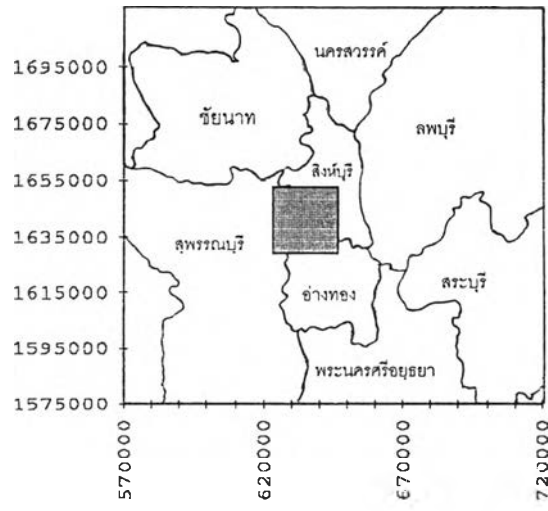
รูปที่ 6-9 อัตราการสูบน้ำชั้นที่ 1 ทั้งพื้นที่ศึกษาและผลการคำนวณระดับน้ำในฤดูแล้ง ปีต่าง ๆ

6.5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับน้ำใต้ดิน กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ต่าง ๆ ในกรณีศึกษาต่าง ๆ นั้นมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาที่แตกต่างกันไป บ้างก็ทำการพัฒนาแบบจำลองเพื่อศึกษาเหตุการณ์ในอดีต แต่การศึกษาจำนวนมากก็ใช้แบบจำลองเพื่อการคาดการณ์เหตุการณ์ในอนาคต สำหรับการวางแผนการจัดการ แต่สำหรับการศึกษาคั้งนี้ นอกจากแบบจำลองจะช่วยอธิบายพฤติกรรมการไหล การใช้น้ำ และระบบสมดุลน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาแล้ว หากได้วิเคราะห์ผลการคำนวณระดับน้ำที่ได้กับปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าระดับน้ำในแต่ละช่วงเวลา อาจทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในปัญหาต่าง ๆ เกี่ยวกับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาสามารถวิเคราะห์ค่าระดับน้ำที่น่าจะเป็นสำหรับกรณีเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น ๆ โดยไม่ต้องอาศัยการคำนวณของแบบจำลองซึ่งต้องอาศัยข้อมูลและระยะเวลามาก แต่อย่างไรก็ดี หากต้องการผลการคำนวณที่แน่นอน ก็ยังคงจำเป็นที่จะต้องอาศัยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจนมีความสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง และข้อมูลประกอบจากการสำรวจที่น่าเชื่อถือในภาคสนาม

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลการคำนวณระดับน้ำใต้ดินจากแบบจำลอง กับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง หากพิจารณาจากผลของแบบจำลองและการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity) พบว่า ปัจจัยหลักที่น่าจะสะท้อนค่าระดับน้ำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในแต่ละช่วงเวลาได้ ได้แก่ อัตราการสูบน้ำ การเติมน้ำ และพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ของแต่ละพื้นที่ จากการศึกษาพบว่า ระดับน้ำที่ปลายฤดูกาลใด ฤดูกาลหนึ่ง มิได้ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้น้ำในฤดูกาลนั้น ๆ เพียงอย่างเดียว กล่าวคือ อัตราการสูบน้ำเฉลี่ยในช่วงฤดูกาลในพื้นที่หนึ่ง ๆ ไม่มีความสัมพันธ์ที่ตึงกับค่าระดับน้ำที่เกิดขึ้นปลายฤดูกาลนั้น ๆ ทั้งนี้เป็นเพราะอัตราการเติมน้ำเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องโดยตรงเช่นกันต่อการเปลี่ยนแปลงมวลน้ำในระบบ ดังนั้นเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไปนี้ จึงกำหนดปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่หนึ่ง ๆ ว่า "อัตราการสูบน้ำสุทธิ" โดยนิยามให้ "อัตราการสูบน้ำสุทธิ" ในช่วงฤดูกาลใด ๆ เท่ากับอัตราการสูบน้ำเฉลี่ยในพื้นที่ (Q) ลบด้วยอัตราการเติมน้ำโดยเฉลี่ยที่เติมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ (Recharge) ในช่วงฤดูกาลนั้น ๆ

เนื่องจากคุณสมบัติของชั้นน้ำใต้ดิน อันได้แก่ค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่กระทบต่อค่าระดับน้ำ ในการศึกษาต่อไปนี้จะกำหนดพื้นที่ตัวอย่างเฉพาะสำหรับการทำการวิเคราะห์ โดยเลือกพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ และการสูบน้ำที่ชัดเจน และอยู่ห่างจากขอบเขตของแบบจำลองพอสมควรเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่อาจมีในบริเวณดังกล่าว ดังนั้นจึงได้กำหนดพื้นที่ศึกษาบริเวณอำเภอบางระจัน และค่ายบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี และบางส่วนของอำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี และอำเภอแสวงหา จังหวัดอ่างทอง ครอบคลุมพื้นที่ 400 ตารางกิโลเมตร (ซึ่งตรงกับกริดเซลในแบบจำลองตามแนวราบตั้งแต่กริดที่ 22 ถึง 31 และในแนวตั้งตั้งแต่กริดที่ 26 ถึง 35) ดังรูปที่ 6-8



รูปที่ 6-10 พื้นที่ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับน้ำใต้ดิน กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อนำผลการคำนวณค่าระดับน้ำชั้นที่ 1 ซึ่งเป็นชั้นน้ำที่มีการใช้งานมากที่สุดในช่วงปลายของแต่ละฤดูกาลที่ได้จากแบบจำลอง (แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้จำแนกฤดูกาลเป็นฤดูแล้ง และฤดูฝน แล้วแบ่งแต่ละฤดูเป็น 2 ฤดูย่อย ๆ ดังนั้นในแต่ละปีจึงถูกแบ่งเป็นฤดูย่อย 4 ฤดู ตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.3) มาหาความสัมพันธ์กับอัตราการสูบน้ำในช่วงฤดูกาลย่อย ๆ นั้น (รายละเอียดของข้อมูลแสดงในภาคผนวก ง) พบว่าสำหรับกรณีที่มีอัตราการสูบน้ำสุทธิในกรณีต่าง ๆ ซึ่งครอบคลุมทั้งช่วงที่มีการใช้น้ำมาก และกรณีที่มีการใช้น้ำน้อยหรือมีการเติมน้ำมากกว่าการใช้น้ำในบางช่วงเวลา ในเบื้องต้นพบว่า ข้อมูลในช่วงที่อัตราการสูบน้ำสุทธิมากกว่า 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งมักเป็นข้อมูลจากเหตุการณ์ในช่วงฤดูแล้งมีความสัมพันธ์กันดี แต่รูปแบบความสัมพันธ์แตกต่างจากข้อมูลในช่วงฤดูฝนหรือช่วงที่อัตราการสูบน้ำต่ำ เพราะค่าระดับน้ำในขณะนั้นเป็นผลมาจากปริมาณฝน ส่วนอัตราการสูบน้ำสุทธิที่เกิดขึ้นในขณะนั้นจะมีค่าต่ำมาก บางครั้งค่าอัตราการสูบน้ำสุทธิอาจติดลบเนื่องจากการเติมน้ำจากฝนมากกว่าอัตราการสูบน้ำ เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละกลุ่มพบว่า ข้อมูลในช่วงฤดูแล้งที่มีการใช้น้ำมาก ระดับน้ำในพื้นที่ตัวอย่างมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับอัตราการสูบน้ำสุทธิที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้น ๆ และเพื่อประโยชน์ในการประยุกต์ใช้งานในอนาคต สามารถสร้างเส้นแนวโน้มแทนความสัมพันธ์ดังกล่าว ได้ดังรูปที่ 6-11 สมการที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้แทนความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำใต้ดินและอัตราการสูบน้ำสุทธิในช่วงที่อัตราการสูบน้ำสุทธิสูงกว่า 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน คือสมการที่ 6-1

$$Z = 3.46e^{-4 \times 10^{-6} \bar{Q}} \quad (\bar{Q} > 1,000 \text{ ลบ.ม./วัน}) \quad (6-1)$$

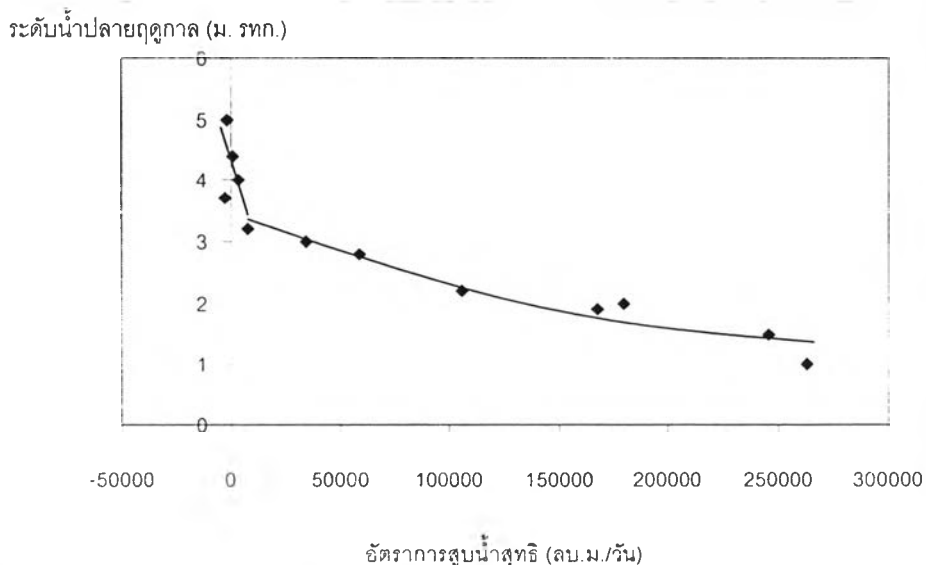
โดยที่

$$\bar{Q} = Q - \text{Recharge} \quad (6-2)$$

และ Z คือค่าระดับน้ำของชั้นน้ำชั้นที่ 1 (ม.รทก.) ส่วน  $\bar{Q}$  คืออัตราการสูบน้ำสุทธิของชั้นน้ำนั้นๆ ในช่วงฤดูกาลที่พิจารณา (ลบ.ม./วัน) Q คืออัตราการสูบน้ำเฉลี่ยในพื้นที่ (ลบ.ม./วัน) Recharge คืออัตราการเติมน้ำใต้ดินเฉลี่ย (ลบ.ม./วัน) โดยสมการดังกล่าวให้ค่าสหสัมพันธ์ (R-square) เท่ากับ 0.94

ส่วนกรณีที่มีอัตราการสูบน้ำสุทธิต่ำกว่า 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน รูปแบบสมการความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรงตามสมการที่ 6-3 โดยมีค่าสหสัมพันธ์ (R-square) เท่ากับ 0.90

$$Z = (-2 \times 10^{-4}) \bar{Q} + 4.58 \quad (\bar{Q} < 1,000 \text{ ลบ.ม./วัน}) \quad (6-3)$$



รูปที่ 6-11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำใต้ดินปลายฤดูกาลกับอัตราการสูบน้ำสุทธิเฉลี่ยในฤดูกาลนั้น ๆ

หากพิจารณาเพิ่มเติมในรายละเอียดพบว่า ระดับน้ำในพื้นที่ศึกษานี้ ได้รับผลกระทบในเชิงเวลาด้วย กล่าวคือ นอกจากระดับน้ำในขณะเวลาใดเวลาหนึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการสูบน้ำ หรืออัตราการสูบน้ำสุทธิในเวลานั้น ๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ระดับน้ำยังมีแนวโน้มลดลงตามเวลา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (ดังที่กล่าวในหัวข้อที่ 6.2) แม้จะไม่มากนัก กล่าวคืออยู่ในช่วงประมาณ 2 - 4 เมตรสำหรับพื้นที่ตัวอย่างนี้ แต่ก็อาจเป็นข้อได้แก่สำคัญที่ทำให้การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการสูบน้ำสุทธิที่เกิดขึ้นในเวลาใด ๆ ไม่สมเหตุสมผล แต่ผลการศึกษากลับพบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี ทั้งนี้เหตุผลก็คือ ในมิติของอัตราการสูบน้ำสุทธินั้นได้สะท้อนถึงความเปลี่ยนแปลงในเชิงเวลาไว้ด้วยแล้ว กล่าวคือเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเหตุการณ์ในอดีตกับปัจจุบัน ซึ่งในอดีตน้ำใต้ดินอยู่ในระดับสูงและมีการใช้น้ำใต้ดินน้อยกว่าปัจจุบัน ในขณะที่อัตราการเติมน้ำโดยเฉพาะในกรณีของฤดูแล้งในอดีตและปัจจุบันไม่แตกต่างกันมากนัก นั่นคือ กราฟความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นมานั้น ในช่วงต้นของกราฟ (ค่าอัตราการสูบน้ำสุทธิต่ำ) จึงมีนัยที่สะท้อนถึงเหตุการณ์ในอดีต ส่วนช่วงปลายของกราฟก็มีนัยที่สะท้อนถึงเหตุการณ์ที่มีการใช้น้ำใต้ดินสูงขึ้นตามกาลเวลา

การวิเคราะห์ดังกล่าวนี้จึงทำให้สามารถสร้างความสัมพันธ์อย่างง่ายเพื่อใช้คาดการณ์ค่าระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่หนึ่ง ๆ ได้เมื่อทราบอัตราการสูบน้ำและการเติมน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่ โดยไม่ต้องทำการคำนวณด้วยแบบจำลองที่ซับซ้อน และข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการสูบน้ำและการเติมน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นสามารถวิเคราะห์ได้ตามรายละเอียดที่แสดงในหัวข้อที่ 4.5.8 และ 4.5.9

ในทางปฏิบัติ อัตราการซึมอาจหาได้จากสมการที่ 6-3 (รายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 4.5.8) โดยที่  $R$  คืออัตราการซึมในหน่วยร้อยละของปริมาณฝน ( $r$ ) และ  $i$  คือสัมประสิทธิ์การซึมได้ของดินในหน่วยเซนติเมตรต่อชั่วโมงดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2-10 ดังนั้นเมื่อทราบหรือสามารถประมาณการปริมาณฝนที่จะตกในช่วงฤดูกาลที่พิจารณาได้ ผลคูณของปริมาณฝน ( $r$ ) กับอัตราการซึม ( $R$ ) คือปริมาณน้ำที่ซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน (Recharge) โดยที่ปริมาณฝน ( $r$ ) โดยเฉลี่ยสำหรับพื้นที่ศึกษาในฤดูแล้งและฤดูฝน มีค่าเฉลี่ยในรอบ 30 ปี เท่ากับ 901 และ 121 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ตามลำดับ (รายละเอียด และค่าเฉลี่ยสำหรับแต่ละพื้นที่ ดูได้จากหัวข้อที่ 2.3 และรูปที่ 2-3)

$$R = 0.24i + 3.2 \quad (6-4)$$

$$\text{Recharge} = R \cdot r \quad (6-5)$$

เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน หรืออัตราการเติมน้ำในช่วงฤดูกาลที่พิจารณาแล้ว เมื่อจะทำการวางแผน หรือคาดการณ์ผลกระทบของระดับน้ำอันเนื่องมาจากการสูบน้ำปริมาณใด ๆ ก็สามารถคำนวณหาอัตราการสูบน้ำสุทธิสำหรับกรณีนั้น ๆ ได้ โดยคำนวณผลต่างระหว่างอัตราการสูบน้ำนั้น ๆ กับอัตราการเติมน้ำที่คาดการณ์ไว้ ตามสมการที่ 6-2 แล้วคำนวณค่าระดับน้ำจากสมการที่ 6-1 หรือ 6-3 ขึ้นอยู่กับค่าอัตราการสูบน้ำสุทธิว่ามีค่า สูงกว่า หรือ ต่ำกว่า 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ

อย่างไรก็ดี สมการที่ 6-1 และ 6-3 นี้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับพื้นที่เฉพาะที่กำหนดขึ้นเป็นตัวอย่างเท่านั้น แต่ก็เป็นการแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับน้ำใต้ดินกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยวิธีการดังกล่าวข้างต้นนี้เป็นตัวอย่างในการประยุกต์ใช้ผลการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินให้เหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่รูปแบบหนึ่ง และสามารถนำไปปรับใช้กับพื้นที่อื่น ๆ ได้อีกด้วย