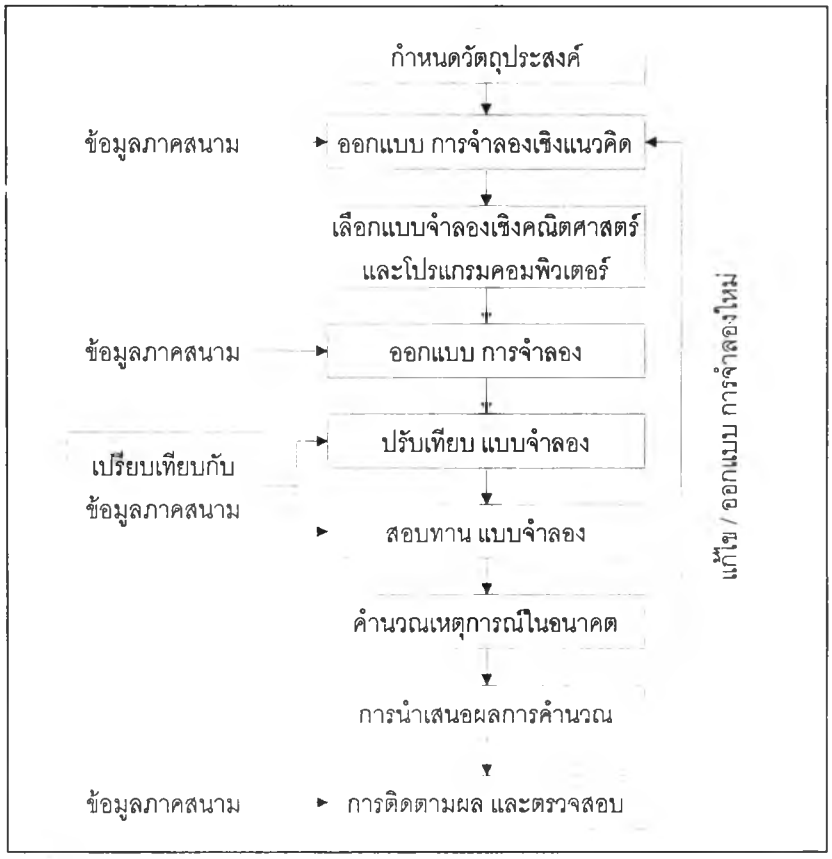
บทที่ 4

การพัฒนาการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินสำหรับพื้นที่ศึกษา

การพัฒนาการจำลองสำหรับปัญหาด้านน้ำใต้ดินเป็นเรื่องที่ต้องอาศัยทั้งศาสตร์และศิลป์ (Anderson, Woessner, 1992) นักพัฒนาการจำลองที่ประสบความสำเร็จต้องมีความเข้าในพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของแบบจำลองที่ใช้ และมีศิลปะในการประยุกต์ใช้หลักการนั้นให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงในทางปฏิบัติ นักพัฒนาการจำลองต้องมีความสามารถในการวิเคราะห์ขอบเขตของปัญหา การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ รวมทั้งการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง ให้สอดคล้อง เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงและข้อจำกัดทั้งทางด้านข้อมูล และความซับซ้อนของสภาพพื้นที่ อย่างไรก็ตามแม้ว่าการจำลองจะถูกพัฒนาขึ้นได้ดีเพียงใด นักพัฒนาการจำลองต้องไม่ลืมว่าแบบจำลองนั้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของการเรียนรู้เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการทางอุทกวิทยาทั้งหมด ซึ่งแบบจำลองมิใช่คำตอบสุดท้ายที่สมบูรณ์ในตัวเอง ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์เฉพาะทาง รวมทั้งการทำความเข้าใจในเชิงกายภาพ ยังคงเป็นสิ่งจำเป็น ในการอธิบายและตรวจสอบแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้น

4.1 ขั้นตอนการพัฒนาการจำลอง



ที่มา: Applied Groundwater Modeling : Simulation of Flow and advective transport, Anderson M. P., and Woessner W. W., 1992

รูปที่ 4-1 ขั้นตอนมาตรฐานในการพัฒนาการจำลอง

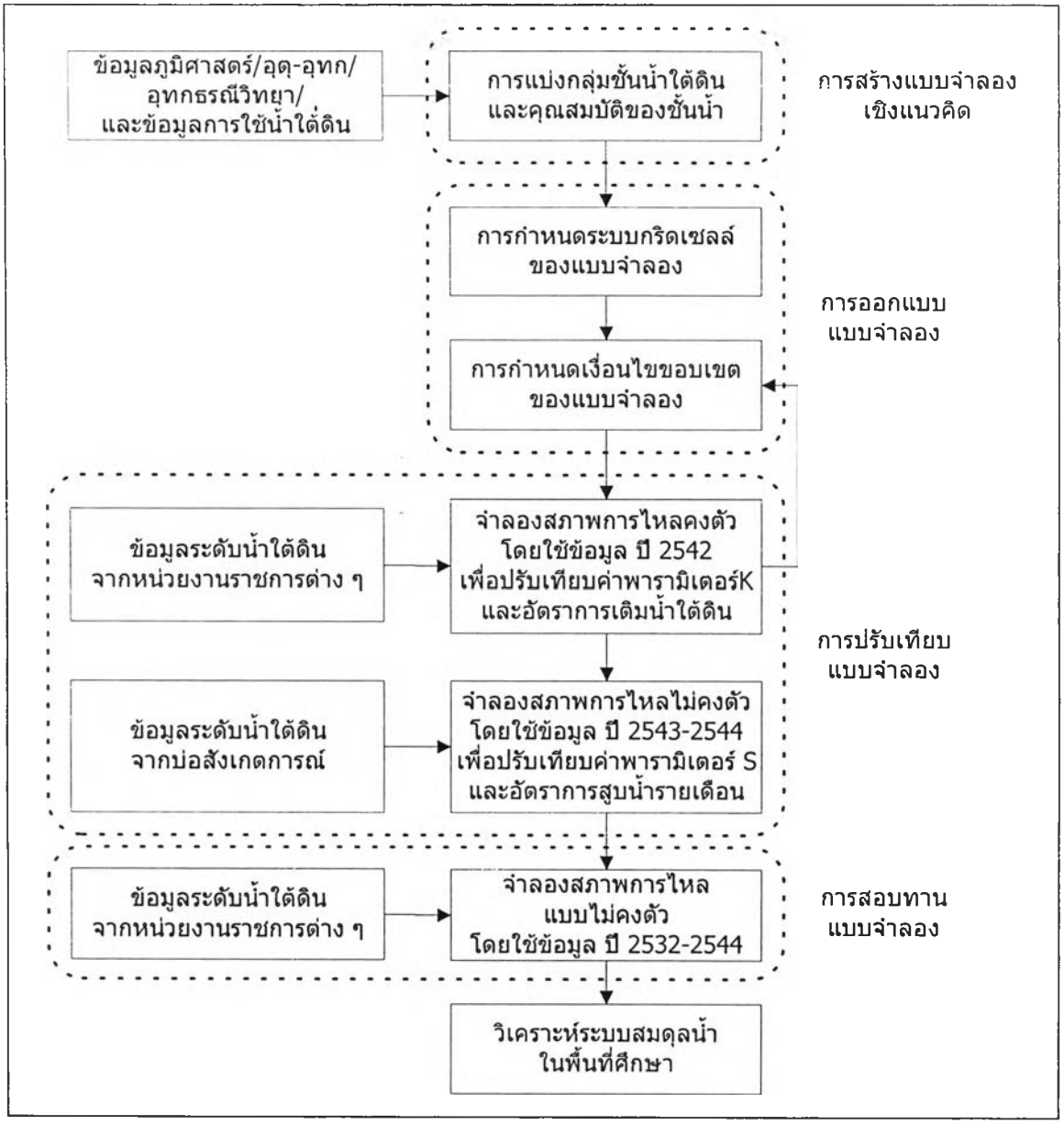
เมื่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกเลือกให้เป็นวิธีการในการแก้ปัญหาสำหรับพื้นที่หนึ่ง ๆ ภารกิจในการออกแบบและพัฒนาการจำลองก็เริ่มต้นขึ้น ขั้นตอนมาตรฐานในการพัฒนาการจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อาจใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาการจำลองสำหรับกรณีศึกษาต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4-1 ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนั้นจำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจและการประยุกต์ให้เหมาะสมกับสภาพปัญหาของแต่ละพื้นที่ ซึ่งความหมายของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

1. การกำหนดวัตถุประสงค์ของการจำลอง เป็นขั้นตอนเริ่มต้นที่มีความสำคัญมากเพราะจะเป็นการระบุว่าต้องการให้แบบจำลองตอบคำถามอะไรบ้าง และในการพัฒนาการจำลองต้องให้ความสำคัญรวมทั้งทรัพยากรต่าง ๆ ในด้านใด มากน้อยเพียงใด คำถามหลักที่ผู้พัฒนาการจำลองควรตอบให้ชัดเจนในขั้นตอนนี้อาจสรุปได้เป็น 2 ข้อ คือ
   - ต้องการให้แบบจำลองทำหน้าที่เพื่อคำนวณเหตุการณ์ในอนาคตที่คาดว่าจะเกิดขึ้นสำหรับพื้นที่ศึกษา (Predictive model) เพื่อวิเคราะห์และทำความเข้าใจกระบวนการบางอย่างภายในพื้นที่ศึกษา (Interpretive model) เช่น สภาพการไหล อัตราการเติมน้ำ เป็นต้น หรือต้องการให้แบบจำลองสังเคราะห์เหตุการณ์สมมติขึ้นเพื่อช่วยอธิบายเหตุการณ์เฉพาะอย่าง เช่น แบบจำลองแบบทั่วไป (Generic model) อธิบายการไหลระหว่างทางน้ำกับชั้นน้ำใต้ดิน
   - คำตอบอะไรบ้างที่ต้องการจากแบบจำลองแบบทั่วไป และแบบจำลองเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการตอบคำถามนั้นหรือไม่
2. การพัฒนาการจำลองเชิงแนวคิด (Conceptual model) เป็นขั้นตอนที่ต้องอาศัยข้อมูลภาคสนาม เพื่อทำความเข้าใจสภาพพื้นที่ เช่น คุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยา สภาพการไหลของน้ำใต้ดิน สภาวะการไหล บริเวณขอบเขตของพื้นที่ศึกษา แล้วทำการจำลองสภาพปัญหาในภาคสนามซึ่งมีความซับซ้อนให้อยู่ในรูปแบบที่จะสามารถทำการวิเคราะห์คำนวณได้
3. การเลือกสมการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายสภาพปัญหา ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าสภาพปัญหานั้น ๆ มีตัวแปรของปัญหา และคำตอบที่ต้องการเป็นเช่นไร ส่วนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือในการหาคำตอบตามระบบสมการคณิตศาสตร์ที่เลือกใช้ ซึ่งต้องเลือกให้เหมาะสมและสอดคล้องกัน
4. การออกแบบการจำลอง เป็นการใส่รายละเอียดให้กับแบบจำลองเชิงแนวคิด รายละเอียดที่สำคัญของการออกแบบการจำลอง ได้แก่ การกำหนดระบบกริดเซลล์ ช่วงระยะเวลาในการคำนวณ (Time step) เงื่อนไขตั้งต้น และเงื่อนไขขอบเขต รวมทั้งค่าประมาณการเริ่มต้น (Preliminary value) ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ
5. การปรับเทียบแบบจำลอง (Model calibration) มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบแบบจำลองและทำให้แบบจำลองมีความสามารถที่จะสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ เช่นระดับน้ำในอนาคต ได้ ในการปรับเทียบแบบจำลองนั้น ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ รวมทั้งข้อมูลบางส่วนจำเป็นต้องได้รับการปรับแก้ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำ (Trial-and-error adjustment) จนกระทั่งผลการคำนวณระดับน้ำและสภาพการไหลของแบบจำลองมีความสอดคล้องใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ในภาคสนาม
6. การสอบทานแบบจำลอง (Model verification) มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มความมั่นใจให้กับแบบจำลอง โดยการใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองที่ได้รับการปรับเทียบแล้ว มาทำการคำนวณข้อมูลในภาคสนามชุดใหม่ เพื่อตรวจสอบผลการคำนวณอีกครั้งหนึ่ง

7. การคำนวณเหตุการณ์ในอนาคต เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อคำนวณสภาพการไหลและระดับน้ำที่จะเกิดขึ้นตามเงื่อนไข หรือสถานการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ผลการคำนวณที่ได้ควรทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) เพื่อตรวจสอบผลของความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ในการคาดการณ์ในอนาคต
8. การนำเสนอผลการคำนวณของแบบจำลอง ควรมุ่งเน้นที่ความชัดเจน และตรงประเด็น ตามที่ได้กำหนดวัตถุประสงค์ไว้
9. การติดตามผลและตรวจสอบ เป็นขั้นตอนในระยะยาว เพื่อติดตามตรวจสอบ และเก็บข้อมูลเพิ่มเติมจากภาคสนามในอนาคต เพื่อทำการแก้ไขแบบจำลองให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น การแก้ไขอาจหมายถึงการปรับแก้พารามิเตอร์บางอย่าง หรืออาจจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองเชิงแนวคิดใหม่ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลและความเข้าใจในพื้นที่ศึกษาที่อาจมีเพิ่มมากขึ้นในอนาคต

ในการศึกษาครั้งนี้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกเลือกให้เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมที่สุดในการวิเคราะห์และทำความเข้าใจระบบแหล่งน้ำใต้ดิน เพื่อหาคำตอบเกี่ยวกับสภาพการไหล และระบบสมดุลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา เมื่อวัตถุประสงค์ในการพัฒนาแบบจำลองได้ถูกกำหนดขึ้นชัดเจนดังกล่าวแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือการกำหนดแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นการประยุกต์เอาขั้นตอนมาตรฐานตามที่ Anderson และ Woessner (1992) เสนอไว้มาประยุกต์ให้เหมาะสมกับสภาพข้อมูล และเงื่อนไขของพื้นที่ศึกษา ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4-2 ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

1. การพัฒนาการจำลองเชิงแนวคิด (รายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 4.2) เป็นการจัดกลุ่มชั้นน้ำใต้ดินตามสภาพอุทกธรณีวิทยาในแอ่งที่ราบภาคกลางให้อยู่ในระบบที่สะดวกต่อการจำลองสภาพ และสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงในพื้นที่
2. การเลือกสมการและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (รายละเอียด กล่าวแล้วในบทที่ 3) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ เป็นสมการที่สามารถอธิบายการไหลของน้ำในตัวกลางรูพรุนซึ่งเป็นคุณสมบัติของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา ส่วนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เลือกใช้นั้นคือ MODFLOW และ GMS ซึ่งมีความสามารถในการคำนวณระบบสมการดังกล่าวได้เป็นอย่างดี และได้มีการตรวจสอบและใช้งานในพื้นที่ใกล้เคียงมาในการศึกษาก่อนหน้านี้เป็นจำนวนมาก เช่นการศึกษาของ JICA (1995), กรมโยธาธิการ (2538), สณฑ์ (2541), สุจริต และโชคชัย (2542) และ วินัย (2542)
3. การออกแบบการจำลอง (รายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 4.3 – 4.5) ได้แก่การกำหนดระบบกริดเซลล์ การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต และค่าตัวแปรต่าง ๆ
4. การปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง (รายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 4.6 ส่วนผลการปรับเทียบและสอบทาน แสดงในบทที่ 6 หัวข้อที่ 6.1) เป็นวิธีการในการตรวจสอบแบบจำลองที่เหมาะสม สอดคล้องกับข้อมูลที่สามารถหาได้ในพื้นที่ศึกษา เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ
5. การศึกษานี้มิได้มีจุดประสงค์ในการศึกษาเหตุการณ์ในอนาคต แต่ต้องการวิเคราะห์ และอธิบายพฤติกรรมการไหล ระดับน้ำ และระบบสมดุลน้ำของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา (ผลการศึกษาแสดงในหัวข้อที่ 6.3 และ 6.4)



รูปที่ 4-2 ขั้นตอนการพัฒนาการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินสำหรับพื้นที่ศึกษา

4.2 การพัฒนาการจำลองเชิงแนวคิด

การพัฒนาการจำลองเชิงแนวคิดเป็นการนำสภาพความเป็นจริงมาสร้างเป็นแบบจำลองอย่างง่ายเพื่อให้สามารถทำการคำนวณได้ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก การกำหนดแบบจำลองเชิงแนวคิดที่ผิดพลาดอาจส่งผลให้การคาดการณ์ต่าง ๆ ของแบบจำลองผิดพลาดได้ ในการพัฒนาแบบจำลองเชิงแนวคิดมีหลักการเบื้องต้นว่า แบบจำลองเชิงแนวคิดที่สร้างขึ้น หากมีความใกล้เคียงกับความจริงมากเพียงใด ผลการคำนวณที่ได้ก็จะยิ่งมีความถูกต้องมากขึ้นเพียงนั้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดต่าง ๆ รวมทั้งความซับซ้อนของสภาพพื้นที่ ทำให้การพัฒนาแบบจำลองเชิงแนวคิดให้ตรงกับสภาพความเป็นจริงอย่างสมบูรณ์นั้นเป็นไปได้ยากหรืออาจเป็นไปไม่ได้เลย ดังนั้นในทางปฏิบัติ การสร้างแบบจำลองเชิงแนวคิดจำเป็นต้องจำลองความเป็นจริงให้อยู่ในรูปที่ง่ายที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ต้องคงความซับซ้อนของพื้นที่นั้นๆ ไว้มากเพียงพอที่จะอธิบายพฤติกรรมการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาได้

สิ่งสำคัญอันดับแรกในการพัฒนาการจำลองเชิงแนวคิดคือการกำหนดพื้นที่ศึกษา ซึ่งหมายถึงการกำหนดขอบเขตของแบบจำลองที่ชัดเจน โดยทั่วไปขอบเขตของแบบจำลองมักกำหนดจากสภาพทางอุทกธรณีวิทยาที่เป็นจริงตามธรรมชาติเช่น ชั้นน้ำใต้ดินที่ติดกับชายเขา หรือทางน้ำ ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขสภาพขอบเขตได้ในขั้นตอนต่อไป (หัวข้อที่ 4.4) แต่สำหรับปัญหาบางอย่าง อาจมีความจำเป็นที่ต้องกำหนดขอบเขตของแบบจำลองที่มีลักษณะเฉพาะ ไม่ตรงกับสภาพทางธรรมชาติ ในกรณีเช่นนี้ก็ควรศึกษาขอบเขตที่เป็นจริงตามธรรมชาติไว้ด้วย เพื่อใช้ประกอบในการพิจารณา และวิเคราะห์ต่อไป

การพัฒนาการจำลองเชิงแนวคิดมี 3 ขั้นตอน คือ การกำหนดชั้นน้ำใต้ดิน การกำหนดระบบน้ำใต้ดิน และการกำหนดระบบการไหลของน้ำใต้ดิน

การกำหนดชั้นน้ำใต้ดิน คือการจัดกลุ่มชั้นน้ำที่มีความลึกใกล้เคียงกัน มีความต่อเนื่องกัน และมีคุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยาเหมือนกันเข้าด้วยกัน ในกลุ่มชั้นน้ำเดียวกันอาจประกอบด้วยตะกอนชั้นน้ำที่มีกำเนิดทางธรณีวิทยาแตกต่างกันได้ โดยอาศัยข้อมูลทั้งจากตัวอย่างดินที่ได้จากการเจาะบ่อ การทดสอบทางธรณีฟิสิกส์ และการวิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำจากบ่อน้ำใต้ดินที่มีความลึกในช่วงต่าง ๆ

การกำหนดระบบน้ำใต้ดิน คือการกำหนดแหล่งน้ำที่เติมให้กับชั้นน้ำใต้ดินที่ทำการศึกษา ทิศทางการไหล และการใช้น้ำใต้ดิน รวมถึงการไหลของของน้ำใต้ดินออกจากระบบที่ศึกษา โดยส่วนใหญ่แหล่งน้ำที่เติมให้กับระบบน้ำใต้ดินได้แก่ ฝน แหล่งน้ำผิวดิน และการไหลบ่าบนผิวดิน ส่วนการไหลออกจากระบบน้ำใต้ดินมักพบในรูปแบบของการสูบน้ำ การไหลลงสู่ทางน้ำ การคายระเหย และน้ำพุ ส่วนการไหลระหว่างชั้นน้ำใต้ดินอาจเป็นทั้งการไหลเข้าและไหลออกก็ได้ ในการกำหนดระบบน้ำใต้ดินควรมีการศึกษาปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำแต่ละแหล่งเพื่อใช้ตรวจสอบและเปรียบเทียบกับแบบจำลอง

การกำหนดระบบการไหลของน้ำใต้ดินที่ไหลผ่านระบบชั้นน้ำใต้ดินที่กำหนดไว้ ข้อมูลระดับน้ำใต้ดินของชั้นน้ำแต่ละชั้นเป็นข้อมูลหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางการไหล รวมทั้งช่วยในการประมาณการพื้นที่ที่เป็นแหล่งเติมน้ำ หรือสูบน้ำ หรือมีการไหลเชื่อมต่อระหว่างชั้นน้ำ นอกจากนั้น หากเป็นไปได้ ในการกำหนดระบบการไหลของน้ำใต้ดินอาจใช้การทดสอบทางธรณีเคมีมาประกอบการพิจารณาด้วย ซึ่งจะช่วยให้การกำหนดปริมาณการเติมน้ำ ทิศทางการไหล และความเร็วการไหล มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ในลำดับแรก ได้กำหนดขอบเขตของแบบจำลองตามสภาพทางธรณีวิทยา เนื่องจากด้านตะวันตก และตะวันออกของพื้นที่ศึกษาเป็นแนวเขาที่เป็นหินแข็ง ขอบเขตของแบบจำลองจึงกำหนดขึ้นตามแนวชั้นหินแข็งนั้น ส่วนขอบเขตด้านเหนือกำหนดตามสภาพทางอุทกธรณีวิทยาของชั้นน้ำ และทางทิศใต้นั้นชั้นน้ำใต้ดินมีขอบเขตตามธรรมชาติคือทะเลอ่าวไทย แต่ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาเพียงด้านเหนือของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ส่วนพื้นที่ถัดไปทางใต้จนถึงอ่าวไทยนั้นได้มีการพัฒนาแบบจำลองมาก่อนหน้านี้แล้วในการศึกษาจำนวนมาก และสามารถใช้ประกอบในการพัฒนาการจำลองในพื้นที่ที่กำหนดได้

การแบ่งชั้นน้ำในพื้นที่ศึกษาเพื่อการจำลองสภาพการไหล อาศัยผลการศึกษาของสุจริต และคณะ (2545) เป็นพื้นฐานในการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาแบบจำลองต่อไป การศึกษาดังกล่าวอาศัยข้อมูลระดับผิวดินจากกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1 : 50,000 สำหรับลักษณะของชั้นน้ำอาศัยข้อมูลการสำรวจบ่อน้ำใต้ดิน (Bore logs) ซึ่งได้จากหน่วยงานต่าง ๆ ได้แก่ กรมทรัพยากรธรณี กรมโยธาธิการ การประปาส่วนภูมิภาค และกรมการเร่งรัดพัฒนาชนบท ทำให้สามารถจัดกลุ่มของชั้นน้ำใต้ดินได้เป็น 4 ชั้น (รูปที่ 1-3) ดังนี้

ชั้นที่ 1	ชั้นน้ำแบบผสม (Semi-Confined Aquifer)	มีความลึกเฉลี่ยจากผิวดินประมาณ 40 - 60 เมตร
ชั้นที่ 2	ชั้นน้ำมีแรงดัน (Confined Aquifer)	มีความลึกเฉลี่ยจากผิวดินประมาณ 80 - 90 เมตร
ชั้นที่ 3	ชั้นน้ำมีแรงดัน (Confined Aquifer)	มีความลึกเฉลี่ยจากผิวดินประมาณ 100-120 เมตร
ชั้นที่ 4	ชั้นน้ำมีแรงดัน (Confined Aquifer)	มีความลึกเฉลี่ยจากผิวดินมากกว่า 120 เมตร

การกำหนดระบบสมดุลน้ำของแบบจำลองนั้น จากการสำรวจในภาคสนามพบว่า แหล่งน้ำที่เติมให้กับชั้นน้ำใต้ดินคือการเติมจากผิวดินจากปริมาณฝน และแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งมีแม่น้ำสายหลัก 5 สาย ส่วนน้ำที่ไหลออกจากระบบชั้นน้ำใต้ดินได้แก่ การสูบน้ำ และการไหลสู่แม่น้ำ รวมทั้งการไหลลงสู่ชั้นน้ำทางทิศใต้ และการไหลระหว่างชั้นน้ำใต้ดิน การประเมินอัตราการเติมและการสูบน้ำแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.5.8 และ 4.5.9

การกำหนดระบบการไหลของน้ำใต้ดินแต่ละชั้นได้จากข้อมูลระดับน้ำทั้งที่รวบรวมได้จากหน่วยงานราชการต่าง ๆ และการเก็บวัดระดับน้ำภาคสนามทุก ๆ 2 เดือน ซึ่งทำให้วิเคราะห์ได้ว่าการไหลมีทิศทางสอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศ ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.5.7

4.3 การออกแบบการจำลอง ระบบกริดเซลล์ และช่วงระยะเวลาในการคำนวณ

การจำแนกประเภทของแบบจำลองมีหลายวิธี หากใช้สภาพของชั้นน้ำใต้ดินเป็นเกณฑ์อาจจำแนกได้เป็นแบบจำลองชั้นน้ำที่มีความดัน และที่ไม่มีความดัน นอกจากนั้นแบบจำลองอาจถูกจำแนกออกเป็นแบบจำลองในสภาวะคงตัวและไม่คงตัว หรือหากพิจารณาในเชิงมิติของพื้นที่อาจจำแนกประเภทของแบบจำลองเป็น แบบจำลอง 2 มิติ (Two-dimensional areal model) แบบจำลองกึ่งสามมิติ (Quasi three-dimensional model) และแบบจำลองสามมิติ (Full three dimensional model) (รูปที่ 4-3)

แบบจำลองสองมิติ เป็นการจำลองชั้นน้ำที่จะทำการศึกษาให้อยู่ในระนาบของผิวดิน และกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้กับแต่ละกริดเซลล์ในระนาบนั้น

แบบจำลองกึ่งสามมิติเป็นการจำลองโดยอาศัยพื้นฐานของการแบ่งชั้นน้ำบาดาลเป็นกลุ่ม หรือชั้น แล้วพัฒนาแบบจำลอง รวมทั้งกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามกลุ่มของชั้นน้ำบาดาลที่กำหนดขึ้น

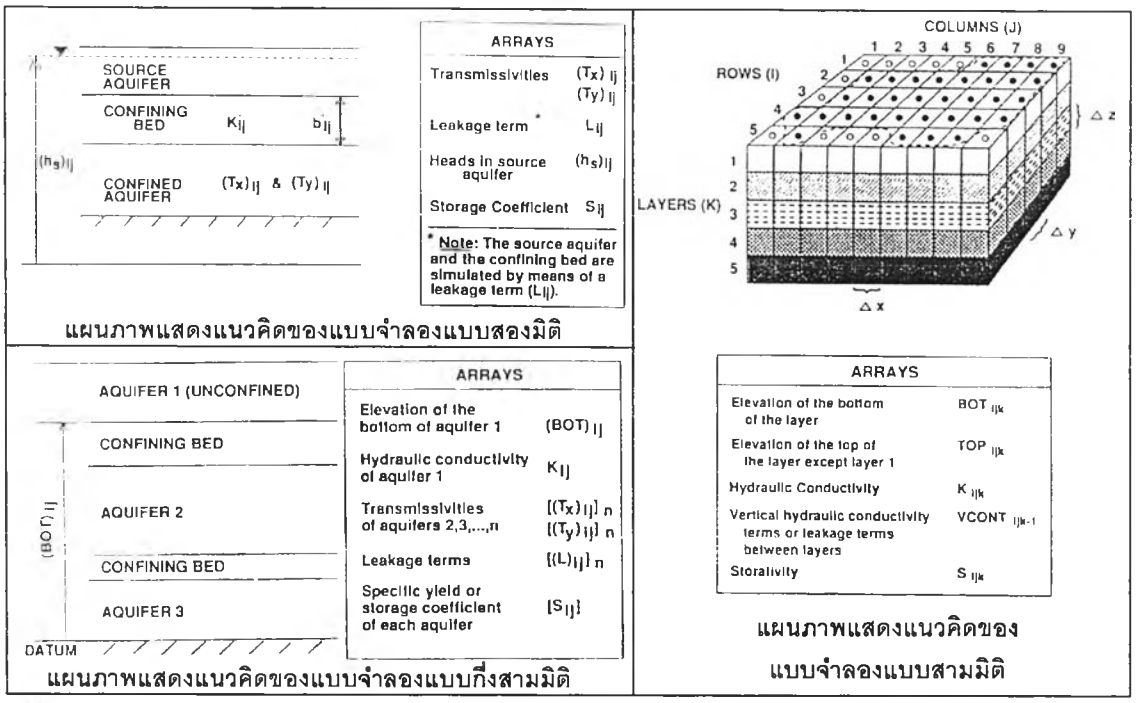
แบบจำลองสามมิติเป็นแบบจำลองที่พิจารณาตามสภาพการไหลจริง ซึ่งคล้ายคลึงกับแบบจำลอง สองมิติ หากแต่การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะกำหนดเป็นรายกริด ในแกน x y และ z

การกำหนดระบบกริเซลล์ของแบบจำลองจำแนกเป็นสองประเภทหลัก ๆ ตามระเบียบวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา คือ ระบบกริดแบบ Finite difference และแบบ Finite element (รูปที่ 4-4)

ระบบกริดแบบ Finite difference มี 2 แบบ คือ แบบ Block-center และแบบ Mesh-center ซึ่งความแตกต่างระบบทั้งสองจะปรากฏที่กริดเซลล์บริเวณของเขตของแบบจำลองซึ่งมีความแตกต่างในเชิงตำแหน่งเล็กน้อย สำหรับแบบจำลองส่วนใหญ่มักกำหนดกริดเซลล์แบบ Block-center รวมทั้งแบบจำลอง MODFLOW และ PLASM

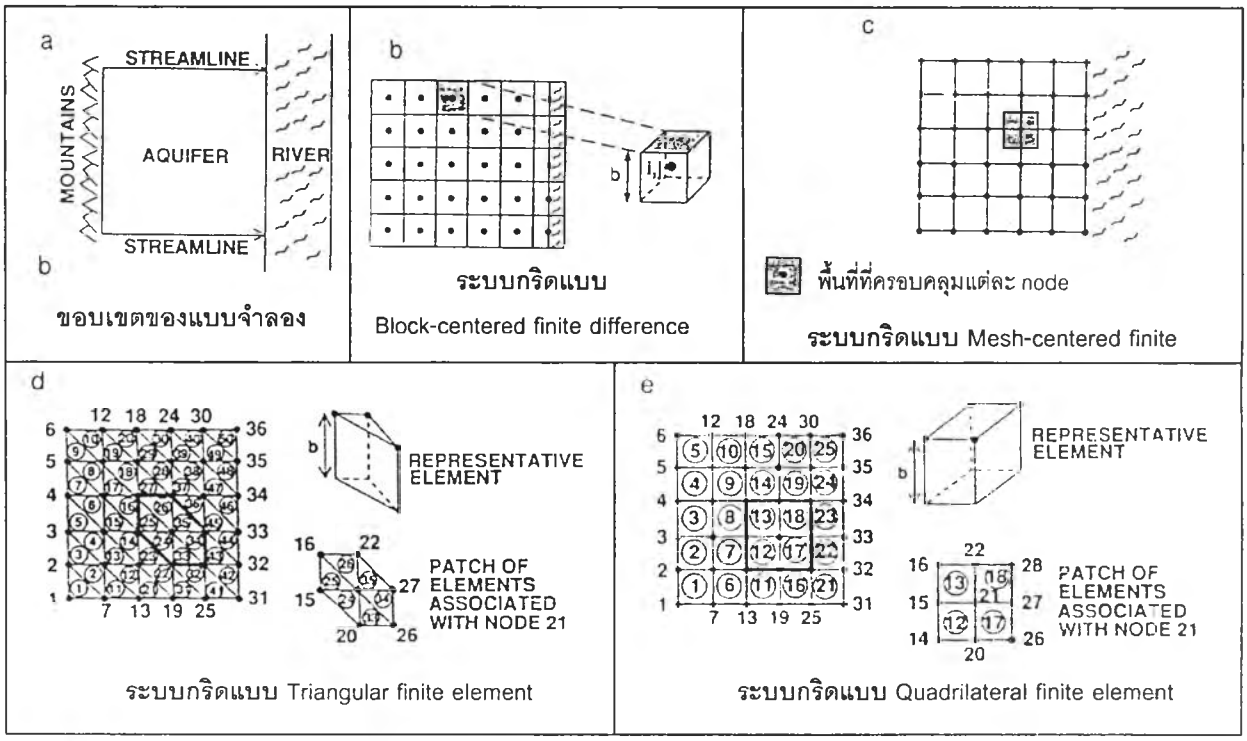
ระบบกริดแบบ Finite element ให้ความคล่องตัวในการออกแบบกริดเซลล์ซึ่งในแบบจำลองสองมิติ สามารถกำหนดกริดเซลล์เป็นรูปสามเหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยม และสำหรับแบบจำลองสามมิติ อาจกำหนดกริดเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ปิรามิด หรือปริซึม ก็ได้

กริดที่อยู่นอกขอบเขตของแบบจำลองในแต่ละชั้นกำหนดให้เป็นกริดที่ไม่มีการคำนวณ (Inactive cell) โดยที่ขอบเขตของแบบจำลองอาจขยายกว้างกว่าขอบเขตพื้นที่ศึกษา เพื่อความถูกต้องของแบบจำลอง



ที่มา : Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and advective transport, Anderson, and Woessner, 1992

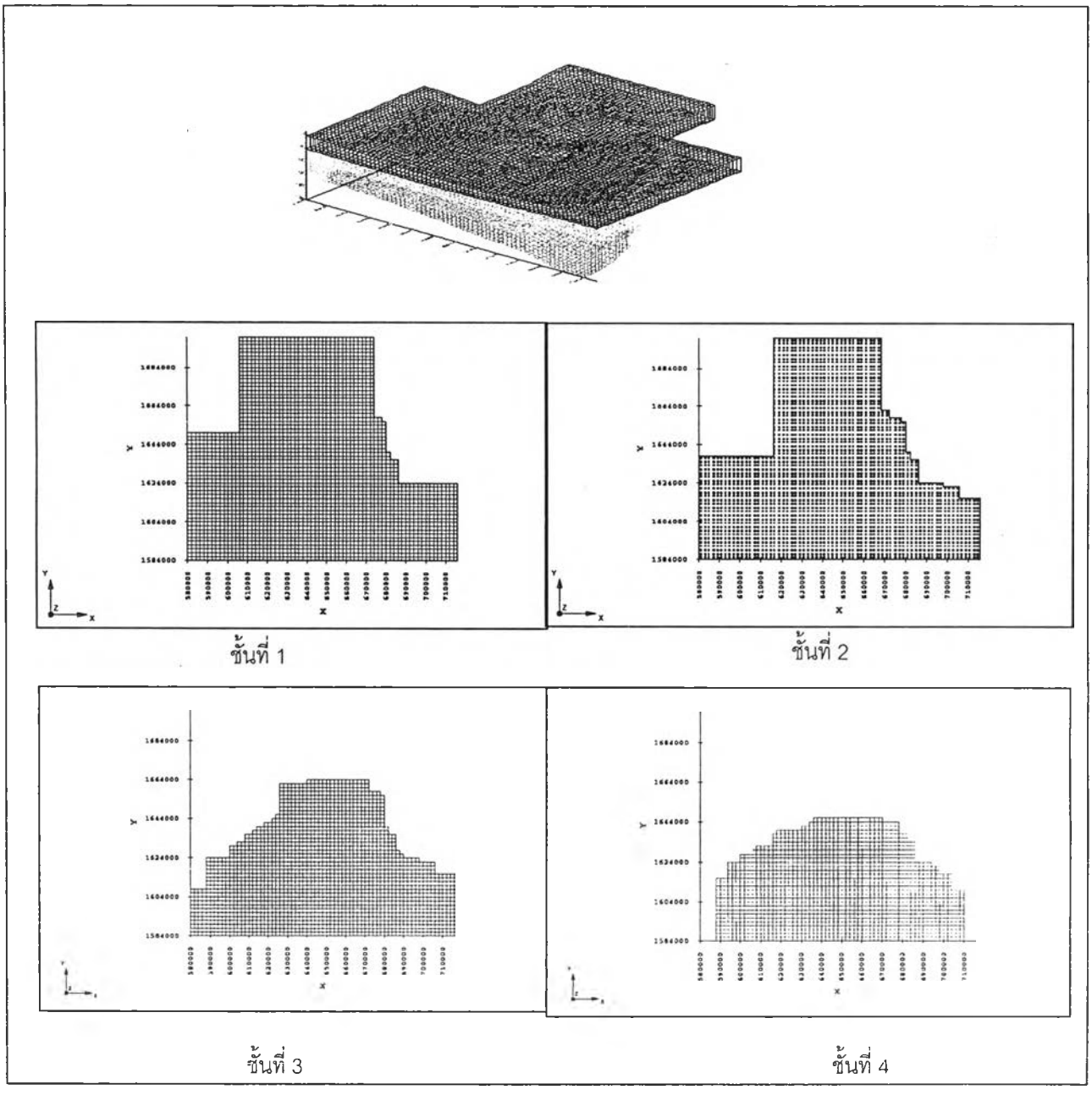
รูปที่ 4-3 แผนภาพแสดงแนวคิดของแบบจำลองประเภทต่าง ๆ



ที่มา : Applied Groundwater Modeling : Simulation of Flow and advective transport, Anderson M. P., and Woessner W. W., 1992

รูปที่ 4-4 ประเภทของระบบกริดเซลล์

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ออกแบบกริดเป็นแบบจำลอง 3 มิติ โดยแบ่งกริดตามแนวแกน x, y และz เป็นสี่เหลี่ยมลูกบากศ์ เรียกว่ากริดเซล โดยทางแนวแกน x แนวตะวันตก-ตะวันออก อยู่ระหว่าง UTM 580000 และ 716000 มีระยะทาง 136 กิโลเมตร แนวแกน y แนวเหนือ-ใต้ อยู่ระหว่าง UTM 1584000 และ 1700000 มีระยะทาง 116 กิโลเมตร โดยมีความกว้างของกริดเซลในแนวแกน X และ Y เท่ากัน คือ 2 กิโลเมตร แบ่งออกได้ 68 สดมภ์ และ 58 แถว ส่วนแนวแกน z แบ่งออกเป็น 4 ชั้น ตามความลึกจริงของชั้นน้ำ ดังนั้นจำนวนกริดเซลทั้งหมดจะเท่ากับ 68*58*4 =15,776 กริดเซล ในจำนวนกริดเซลทั้งหมด ได้ถูกกำหนดเป็นเซลที่ใช้ในการคำนวณ (Active cell) และเซลที่ไม่ได้ใช้ในการคำนวณ (Inactive cell) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพทางอุทกธรณีวิทยา กล่าวคือ ในพื้นที่ขอบด้านตะวันตกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่มีลักษณะเป็นชั้นหินที่ไม่มีความต่อเนื่องกับชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลองจึงกำหนดให้กริดเซลในบริเวณดังกล่าวของแต่ละชั้นน้ำเป็นเซลที่ไม่ใช้ในการคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 ระบบกริดเซลที่ใช้ในการศึกษา

ในการออกแบบแบบจำลองนั้น นอกจากการกำหนดระบบกริดเซลแล้ว สำหรับการจำลองสภาพการไหลในสภาวะไม่คงตัว (Transient) จำเป็นจะต้องมีการกำหนดช่วงระยะเวลาในการคำนวณ (Time step) ที่เหมาะสมให้กับแบบจำลองด้วย ทั้งนี้เนื่องจาก ช่วงระยะเวลาในการคำนวณที่กว้างเกินไปจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณเนื่องจากผลการคำนวณจะมีการแกว่งตัว (Oscillation) มากขึ้นเมื่อช่วงระยะเวลาในการคำนวณกว้างขึ้น ในทางตรงกันข้าม ช่วงระยะเวลาที่แคบมาก ๆ ซึ่งเป็นอุดมคติของแบบจำลองที่ดีนั้นจำเป็นต้องต้องอาศัยเวลา และทรัพยากรในการคำนวณสูงมาก และมักเป็นไปได้ยากในการทำงานทั่วไป (Anderson และ Woessner, 1992)

de Marsity, 1986 (อ้างถึงใน Anderson และ Woessner, 1992) เสนอว่าขนาดที่เหมาะสมของช่วงระยะเวลาในการคำนวณควรจะเท่ากับ ค่าที่มากที่สุดที่ยอมรับได้สำหรับการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ที่ใช้อธิบายการไหลของน้ำใต้ดิน ซึ่งค่าที่มากที่สุดนี้นิยามว่า ช่วงระยะเวลาวิกฤติ (Critical time step; Δt_c)

สำหรับสมการการไหล 2 มิติ ที่กำหนดกริดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัส โดยสมมติฐานที่ให้คุณสมบัติของชั้นน้ำมีความสม่ำเสมอ (Homogeneous and isotropic aquifer) ช่วงระยะเวลาวิกฤติ (Critical time step) กำหนดได้ตามสมการที่ 4-1

$$\Delta t_c = \frac{Sa^2}{4T} \qquad (4\text{-}1)$$

โดยที่ Δt_c คือช่วงระยะเวลาวิกฤติ (วัน)

S คือสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (ไม่มีหน่วย)

a คือมิติความกว้างของกริดเซล (เมตร)

T คือสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (ตารางเมตรต่อวัน)

สำหรับแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสำหรับพื้นที่ศึกษาครั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากข้อมูลคุณสมบัติของชั้นน้ำ และระบบกริดเซลที่กำหนดขึ้นแล้ว สามารถคำนวณค่าช่วงระยะเวลาวิกฤติได้โดยที่ สัมประสิทธิ์การกักเก็บมีค่าเท่ากับ 1.5×10^{-3} มิติความกว้างของกริดเซลทุกเซลเท่ากับ 2,000 เมตร และสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำมีค่าตัวแทนเท่ากับ 15 ตารางเมตรต่อวัน ดังนั้นค่าช่วงระยะเวลาวิกฤติสำหรับแบบจำลองดังกล่าว เท่ากับ 100 วัน

ผลการคำนวณของแบบจำลองที่ได้จะมีความอ่อนไหวต่อค่าช่วงระยะเวลาในการคำนวณที่กำหนดขึ้น โดยมีความอ่อนไหวสูงในช่วงระยะเวลาเริ่มต้น และมีผลกระทบลดลงเมื่อระยะเวลายาวนานขึ้น จนเข้าสู่ภาวะสมดุล แต่อย่างไรก็ดี การกำหนดช่วงระยะเวลาของแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้ ก็ไม่ควรจะเกินกว่าค่าช่วงระยะเวลาวิกฤติ ที่คำนวณได้ดังกล่าว ในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดให้มีการจำลองสภาพการไหลแบบไม่คงตัว 2 กรณี (รูปที่ 4-2) คือ กรณีที่หนึ่งเป็นการปรับเทียบแบบจำลองในช่วงปี พ.ศ. 2543 – 2544 และกรณีที่สองเป็นการสอบเทียบแบบจำลอง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 – 2544

แบบจำลองในกรณีที่หนึ่ง ต้องการรายละเอียดของผลการคำนวณมากกว่าแบบจำลองในกรณีที่สอง เนื่องจากต้องทำการปรับเทียบและปรับแก้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจวัดระดับน้ำในภาคสนามซึ่งมีการเก็บวัดทุก ๆ 2 เดือน ดังนั้น จึงกำหนดช่วงระยะเวลาในการคำนวณ เท่ากับ 1 เดือน ซึ่งมีค่าในช่วง 28 – 31 วัน

ส่วนแบบจำลองในกรณีที่สอง กำหนดตามข้อเสนอของ de Marsity, 1986 (อ้างถึงใน Anderson และ Woessner, 1992) ให้ใกล้เคียงกับค่าช่วงระยะเวลาวิกฤติ โดยกำหนดให้เท่ากับ 3 เดือน (89 – 92 วัน) ได้แก่ พฤศจิกายน-มกราคม กุมภาพันธ์-เมษายน พฤษภาคม-กรกฎาคม และสิงหาคม-ตุลาคม ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพฤดูกาลและพฤติกรรมการใช้น้ำใต้ดิน โดยที่สองช่วงแรก (พฤศจิกายน-เมษายน) คือฤดูแล้ง และอีกสองช่วงสะท้อนเหตุการณ์ในฤดูฝน

4.4 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองขึ้นอยู่กับสภาพการไหลที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ การพัฒนาแบบจำลองโดยทั่วไปมักมีการกำหนดสภาพขอบเขตของแบบจำลองได้ดังนี้

(ก) เงื่อนไขขอบเขตแบบกำหนดระดับน้ำ คือการกำหนดค่าระดับน้ำของกริดเซลบริเวณขอบของแบบจำลองให้มีค่าเท่ากับค่าระดับน้ำที่ทราบค่า หรือมีการวัดติดตาม ค่าที่กำหนดขึ้นอาจมีค่าคงที่ตลอดเวลา หรือเปลี่ยนแปลงตามเวลาก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นจริงของพื้นที่ สภาพพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการกำหนดเงื่อนไขแบบนี้คือพื้นที่ที่มีการเก็บวัดระดับน้ำที่ครอบคลุมโดยรอบของแนวขอบเขตนั้น และมีช่วงระยะเวลาของข้อมูลครอบคลุมระยะเวลาที่จะทำการจำลองสภาพการไหล หรือมีพื้นที่ติดต่อกับบริเวณที่มีระดับน้ำแน่นอนเช่น ทางน้ำเปิด หรือทะเล เป็นต้น สำหรับแบบจำลองการไหล MODFLOW การกำหนดเงื่อนไขของแบบจำลองแบบนี้ทำได้โดยการกำหนดค่าใน IBOUND array ให้มีค่าน้อยกว่าศูนย์ เช่น –1 เป็นต้น

(ข) เงื่อนไขขอบเขตแบบกำหนดอัตราการไหล คือการกำหนดค่าอัตราการไหลเข้าออก ที่ขอบเขตของแบบจำลองที่สัมพันธ์กับแหล่งน้ำผิวดิน หรือชั้นน้ำข้างเคียง อย่างไรก็ดี ในภาคสนามนั้น การวัดค่าอัตราการไหลนั้นยากกว่าการวัดค่าระดับน้ำ ดังนั้นการกำหนดเงื่อนไขโดยใช้อัตราการไหล บางครั้งอาจจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลระดับน้ำช่วยในการตรวจสอบและวิเคราะห์ ประกอบด้วย และการกำหนดแบบนี้จะมีความเหมาะสมมากในกรณีที่อัตราการไหลมีค่าค่อนข้างคงที่ แม้ว่าระดับน้ำจะเปลี่ยนแปลงไป สำหรับแบบจำลองแบบ Finite difference การกำหนดเงื่อนไขแบบนี้กระทำได้โดยการกำหนดค่าที่ Well Package โดยกำหนดบ่อบาดาลสมมติ ให้ทำหน้าที่สูบน้ำ หรือเติมน้ำเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลแต่ละชั้นตามเงื่อนไขการไหลบริเวณขอบเขตของแบบจำลองที่กำหนดขึ้น

(ค) เงื่อนไขขอบเขตแบบไม่มีการไหล คือการกำหนดให้ขอบเขตของแบบจำลองส่วนนั้น ๆ ไม่มีการไหลเข้าและออก เช่น บริเวณที่เป็นชั้นหินแข็ง เป็นต้น ในการพัฒนาแบบจำลองแบบ Finite difference การกำหนดเงื่อนไขเช่นนี้กระทำโดยการให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหล (Transmissivity หรือ Hydraulic conductivity) เท่ากับศูนย์

สำหรับการศึกษาครั้งนี้การกำหนดสภาพขอบเขต (Boundary conditions) ขึ้นอยู่กับสภาพทางอุทกธรณีวิทยา ซึ่งแสดงว่าขอบด้านตะวันตกและตะวันออกของพื้นที่ศึกษาเป็นเขา มีชั้นหินลาดลงสู่ตอนกลางของพื้นที่

ในการกำหนดของเขตของแบบจำลองนั้นอาศัยข้อมูลด้านอุทกธรณีวิทยาเรื่องการตัดแนวตัดขวางเพื่อดูลักษณะชั้นดิน ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 พบว่าทางด้านแถบชัยนาท ลงมาจนถึงกาญจนบุรีจะมีแนวหินแข็งซึ่งถือเป็นแนวเขตการจำลองน้ำใต้ดินทางด้านตะวันตก และทางแถบจังหวัดลพบุรีและสระบุรีมีแนวหินแข็งเช่นกัน ดังนั้นทางแถบด้านตะวันออกนี้กำหนดให้เป็นขอบเขตการจำลองเช่นกัน โดยกำหนดให้แนวทั้งสองให้มีค่าเงื่อนไขขอบเขตแบบอัตราการไหลคงที่ ทิศเหนือกำหนดให้มีแนวการไหลของน้ำใต้ดินโดยกำหนดให้มีค่าเงื่อนไขขอบเขตแบบอัตราการไหลคงที่ ยกเว้นด้านเหนือของชั้นน้ำชั้นที่ 4 ซึ่งมีความหนาน้อย จึงกำหนดให้เป็นขอบเขตแบบไม่มีการไหล ทิศใต้กำหนดให้เป็นแนวการไหลของน้ำใต้ดิน ด้านบนของแบบจำลองกำหนดให้เปิดสู่บรรยากาศ ด้านล่างกำหนดให้เป็นขอบเขตที่ไม่ยอมให้น้ำไหลผ่าน สำหรับอัตราการไหล เข้า และ ออกจากแบบจำลองของแต่ละกริดเซล คำนวณจากสมการที่ 4-2

$$Q = -KiA \qquad (4\text{-}2)$$

โดย Q คืออัตราการไหลเข้าหรือออกของน้ำใต้ดิน (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

K คือค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (เมตรต่อวัน)

i คือความลาดชันชลศาสตร์ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของผลต่างของค่าหัวความดันต่อระยะทางในแนวการไหลของน้ำใต้ดิน

A คือพื้นที่หน้าตัดการไหล (ตารางเมตร)

จากการคำนวณตามวิธีการดังกล่าวสามารสรุปผลการวิเคราะห์อัตราการไหลที่ขอบเขตของแบบจำลองในทิศทางต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4-1 โดยที่การไหลในทิศเหนือ ตะวันออก และตะวันตก การไหลมีทิศทางเข้าสู่แบบจำลอง ส่วนในทิศใต้ น้ำไหลออกจากแบบจำลองเข้าสู่ชั้นน้ำใต้ดินในเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยา และบริเวณกรุงเทพฯ และปริมณฑล การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลที่ขอบเขตของแบบจำลองตามฤดูกาลนั้นมีน้อย เนื่องจากขอบของแบบจำลองเป็นชั้นหิน และเมื่อพิจารณาความชันของระดับน้ำที่ขอบของแบบจำลองจากข้อมูลเท่าที่มีอยู่ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนตามฤดูกาล และขอบด้านทิศเหนือของชั้นน้ำชั้นที่ 4 มีความหนาน้อยมาก จึงไม่มีการไหลในบริเวณดังกล่าว

ตารางที่ 4-1 อัตราการไหลขอบเขตแต่ละด้านของแบบจำลอง (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

ชั้น	ทิศเหนือ	ทิศตะวันตก	ทิศตะวันออก	ทิศใต้
1	181,800	37,000	23,200	- 66,000
2	4,000	27,000	19,200	- 26,800
3	1,000	27,800	1,100	- 26,800
4	0	13,000	7,300	- 9,800

หมายเหตุ : ตัวเลขที่ติดลบแสดงถึงการไหลออกจากระบบที่ศึกษา เลขศูนย์แสดงว่าไม่มีการหลเนื่องจากความหนาของชั้นน้ำน้อยมาก

4.5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์และข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง

ในขั้นตอนของการกำหนดค่าพารามิเตอร์นี้ ผู้พัฒนาแบบจำลองจะต้องวิเคราะห์ว่ามีพารามิเตอร์ใดบ้างที่มีความสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองในพื้นที่ศึกษา หรือกรณีศึกษานั้น ๆ และพารามิเตอร์เหล่านั้นจะมีวิธีการในการประเมินค่า หรือตั้งสมมติฐานอย่างไร จากนั้นจึงดำเนินการรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ ประเมินผล และตรวจสอบ แล้วจึงนำเข้าข้อมูลเหล่านั้นสู่แบบจำลอง ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับที่มาของข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง รวมทั้งวิธีการนำเข้าข้อมูลนั้นสู่แบบจำลองแสดงรายละเอียดในบทที่ 5 ในที่นี้ได้อธิบายถึงแนวคิดในการวิเคราะห์ และผลการวิเคราะห์ที่ได้ ของพารามิเตอร์แต่ละตัว ซึ่งพารามิเตอร์และข้อมูลที่จำเป็นในการพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินครั้งนี้ มีดังนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage coefficient)
- ค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ (Specific storage)
- ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (Hydraulic conductivity)
- ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในแนวดิ่ง (Vertical hydraulic conductivity)
- ค่าระดับของชั้นน้ำใต้ดินแต่ละชั้น (Top and bottom elevations of each layer)
- ประเภทของชั้นน้ำใต้ดิน (Type of each layer)
- ค่าระดับน้ำ / ความดันน้ำ เริ่มต้น (Initial water level / Initial piezometric heads)
- อัตราการเติมน้ำ (Recharge rate)
- อัตราการสูบน้ำ (Pumping rate)

4.5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ

การศึกษาของ JICA,1995 ระบุว่าค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บเป็นพารามิเตอร์ไร้มิติที่หาได้จากผลการสูบทดสอบ แต่ค่าที่ได้มักมีพิสัยของความแปรปรวนกว้างมาก อย่างไรก็ดี มีการศึกษาของ Walton,1970 (อ้างถึงใน JICA,1995) เสนอว่าค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บที่เหมาะสมสำหรับชั้นน้ำใต้ดินแบบมีความดันอยู่ในช่วง $1.0 \times 10^{-5} - 1.0 \times 10^{-3}$ สำหรับดินทุกประเภท และหากเป็นชั้นน้ำที่มีศักยภาพการให้น้ำสูง ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะมีค่าในช่วง $5.0 \times 10^{-5} - 1.0 \times 10^{-2}$ และในการศึกษาดังกล่าวนั้นจึงได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ โดยการตั้งสมมติฐานตั้งต้นให้เท่ากับ 1.0×10^{-3}

สำหรับชั้นน้ำทุกชั้นในการศึกษาดังกล่าว สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลการสูบทดสอบ ประกอบกับการตรวจสอบด้วยแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บที่เหมาะสมของชั้นน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ในช่วง $5.0 \times 10^{-4} - 1.5 \times 10^{-3}$ โดยมีค่าเฉลี่ยสำหรับชั้นน้ำแต่ละชั้นเท่ากับ 1.5×10^{-3}, 1.0×10^{-3}, 5.0×10^{-4} และ 1.0×10^{-3} ตามลำดับ

4.5.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ

ค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะเป็นพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการจำลองสภาพการไหลในชั้นน้ำใต้ดินที่แบบไม่มีความดัน (Unconfined aquifer) หรือแบบกึ่งมีความดัน (Semi-confined aquifer) ผลการศึกษาของ Johnson A. I. (1967) อ้างถึงใน Todd D. K. (1980) เสนอวิธีการประเมินค่า Specific Yield ของชั้นน้ำใต้ดิน จากคุณสมบัติของตะกอนชั้นน้ำ โดยระบุค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวสำหรับชั้นน้ำใต้ดินที่เป็นตะกอนทราย ให้อยู่ในช่วง 0.23 – 0.27 ในการศึกษาครั้งนี้อาศัยผลการศึกษาดังกล่าวเป็นฐานในการกำหนดค่าเริ่มต้นในการพัฒนาแบบจำลอง โดยให้ค่าเฉลี่ยของชั้นน้ำชั้นที่ 1 ซึ่งมีความลึกประมาณ 50 เมตร จากผิวดิน และเป็นชั้นน้ำใต้ดินแบบกึ่งมีความดัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.25

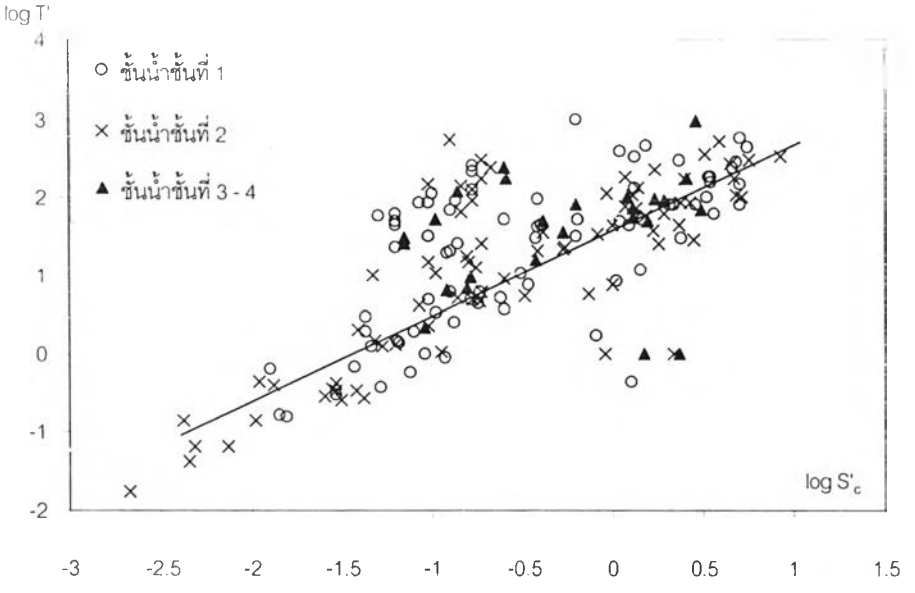
4.5.3 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ

สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำเป็นพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญสูงต่อการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน ที่มาของพารามิเตอร์นี้ได้จากการสูบทดสอบซึ่งใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นจึงมีความจำกัดในการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวที่มีในพื้นที่ศึกษา การศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ และพัฒนากระบวนการในการประเมินค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจากข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินพื้นฐานที่มีการเก็บรวบรวมโดยทั่วไป และสามารถรวบรวมได้จริงในพื้นที่ศึกษา ซึ่งได้แก่ ข้อมูลความลึกของบ่อ ความยาวของท่อกรอง (Screen Length, L) ปริมาณการให้น้ำ (Q) และระดับน้ำที่ลดลงจากการสูบน้ำ (Draw down; s)

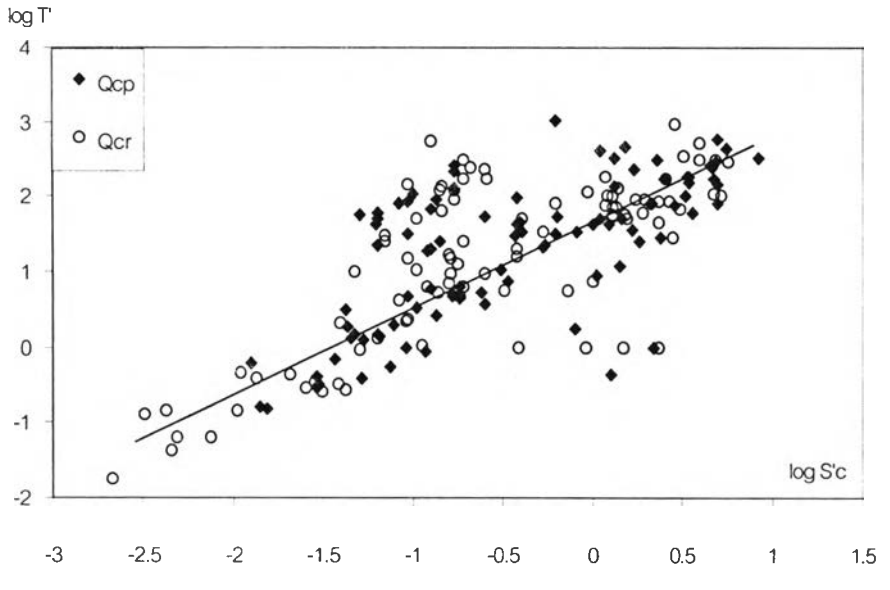
การศึกษาดังกล่าว (ปณต และสุจริต, 2544) เริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลการสูบทดสอบที่มีในพื้นที่ศึกษา 243 บ่อ และได้ดำเนินการสูบทดสอบเพิ่มเติมอีก 11 บ่อ แล้ววิเคราะห์หาวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการประมวลผลการสูบทดสอบเหล่านั้นเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity; T) และสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำแบบปรับหน่วย (Normalized Transmissivity; T' = T/L) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งได้แก่วิธี Cooper-Jacob และ Theis-Recovery จากนั้นจึงวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำแบบปรับหน่วย กับข้อมูลพื้นฐานของบ่อน้ำใต้ดิน ซึ่งการศึกษาของ อรนุช (2542) เสนอให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะแบบปรับหน่วย; S'_c ($S'_c = S_c / L$ เมื่อ $S_c = Q/s$) ผลการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่ในรูปสมการที่ 4-3 ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของอรนุช, 2542 และสอดคล้องกับสมการที่เสนอโดย Logan, 1964 (อ้างถึงใน JICA, 1995) และ Drisscoll, 1986 (อ้างถึงใน Batu, 1998)

$$T' = 2.5 (S'_c)^{1.01} \qquad (4\text{-}3)$$

เมื่อวิเคราะห์ในรายละเอียดจำแนกเป็นรายชั้นน้ำ และตามประเภทของชั้นหินอุ้มน้ำในพื้นที่ศึกษา พบว่า การกระจายตัวของข้อมูลแต่ละชั้นน้ำ (รูปที่ 4-6) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อวิเคราะห์ตามประเภทของชั้นหินอุ้มน้ำซึ่งมีศักยภาพการให้น้ำสูงในพื้นที่ศึกษา 2 ประเภท ได้แก่ ชั้นหินร่วนของตะกอนลำน้ำ (Q_{cp}; Flood Plain) บริเวณริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา และ ชั้นตะกอนตะพักลุ่มน้ำ (Q_{cr}; Young Terrace) ในบริเวณขอบของชั้นหินร่วนของตะกอนลำน้ำ (รูปที่ 4-7) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำแบบปรับหน่วยของชั้นน้ำของชั้นหินอุ้มน้ำแบบ Q_{cp} และ Q_{cr} อยู่ในช่วง $5.0 - 1.0 \times 10^{3}$ และ $1.0 \times 10^{-1} - 5.0 \times 10^{2}$ เมตรต่อวัน ตามลำดับ กล่าวคือชั้นหินร่วนของตะกอนลำน้ำ (Q_{cp}) ซึ่งมีศักยภาพการให้น้ำสูงกว่ามีค่าพารามิเตอร์ในช่วงที่สูงกว่า แต่อย่างไรก็ตาม การกระจายตัวของข้อมูลมีลักษณะใกล้เคียงกัน และสมการที่ 4-3 สามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองชุดได้ดี

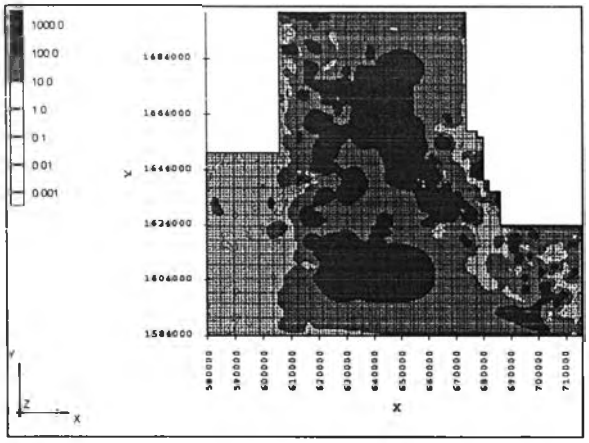


รูปที่ 4-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T' และ S'_c จำแนกตามชั้นน้ำ



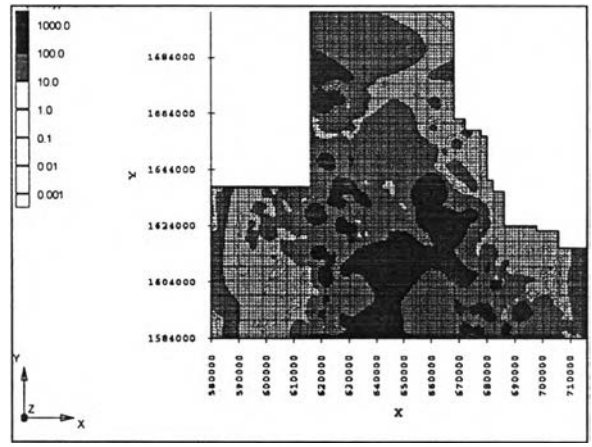
รูปที่ 4-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T' และ S'_c จำแนกตามประเภทของชั้นหินอุ้มน้ำ

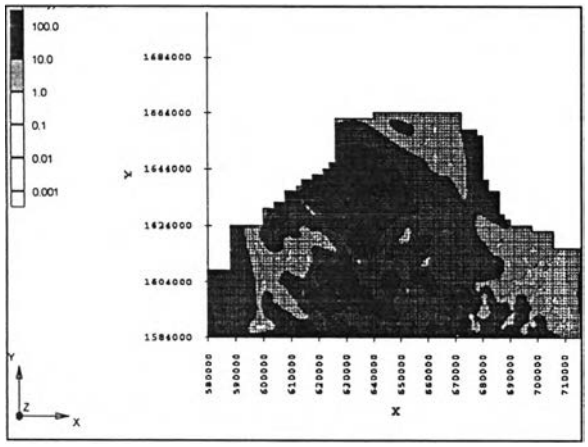
เมื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้ตามสมการที่ 4-2 มาประยุกต์ใช้กับข้อมูลระเบียนบ่อของหน่วยงานต่าง ๆ จำนวน 2,196 บ่อ ในพื้นที่ศึกษา ทำให้สามารถประเมินค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำแบบปรับหน่วย สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ ของพื้นที่ศึกษาได้โดยไม่ต้องทำการสูบทดสอบภาคสนามจำนวนมาก ช่วยให้การประเมินค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ โดยใช้เวลาและค่าใช้จ่ายน้อยลง จากการคำนวณดังกล่าวพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในชั้นน้ำต่าง ๆ เป็นดังรูปที่ 4-8 และมีการกระจายตัวดังรูปที่ 4-9 ซึ่งสอดคล้องกับค่ามาตรฐานทั่วไปของชั้นน้ำที่เป็นชั้นตะกอนทรายที่เสนอโดย Bereau of Reclamation, U.S. Dept. Interior (อ้างถึงใน Todd,1980) และมีลักษณะการกระจายสอดคล้องกับลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา โดยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในบริเวณชั้นหินอุ้มน้ำแบบ Qcp บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษาตามแนวแม่น้ำมีค่าสูงกว่าชั้นหินอุ้มน้ำแบบ Qcr และชั้นหินอุ้มน้ำแบบอื่น ๆ ที่มีศักยภาพการให้น้ำต่ำกว่า



ชั้นที่ 1

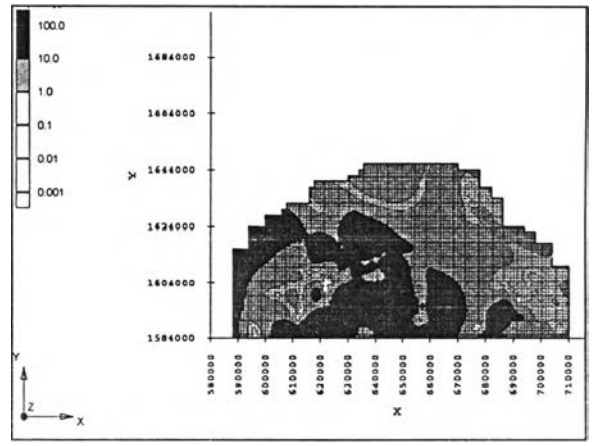
ชั้นที่ 2



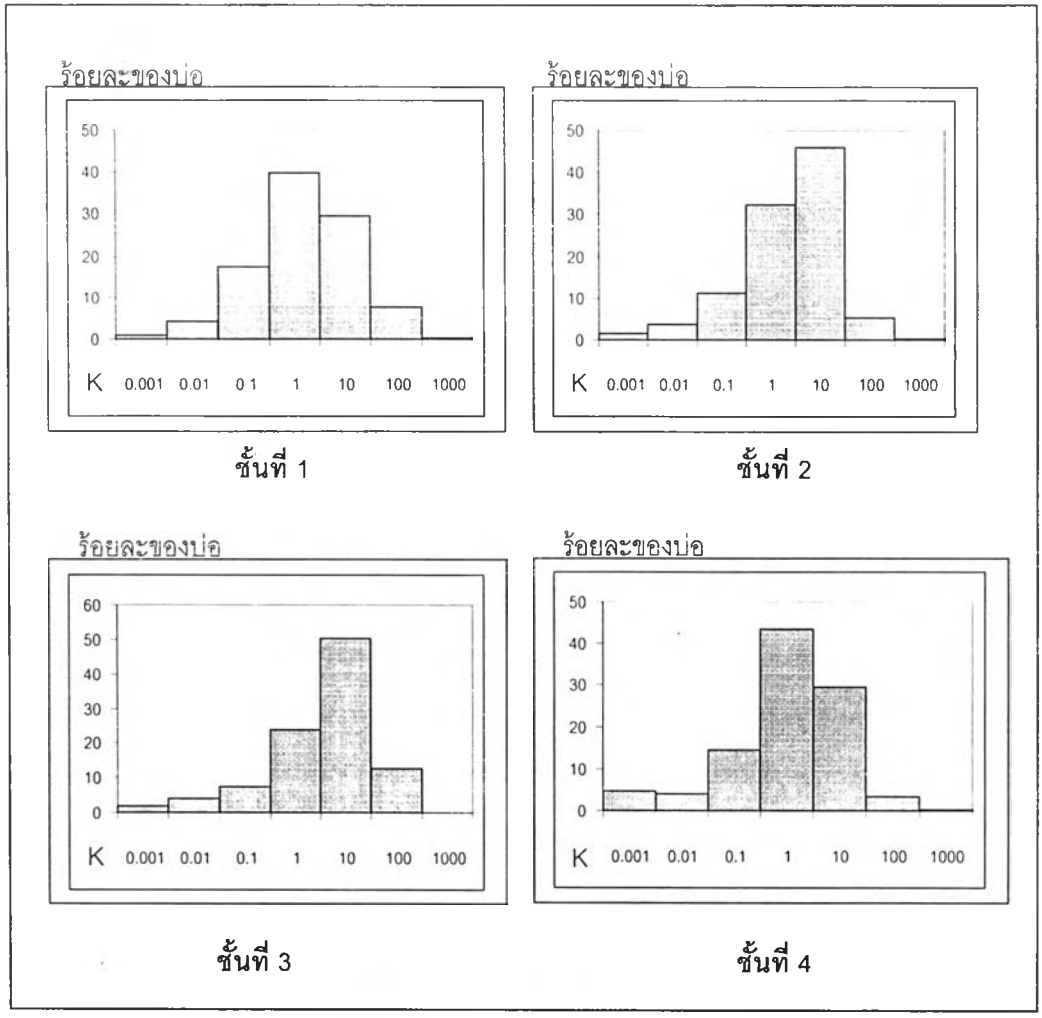


ชั้นที่ 3

ชั้นที่ 4



รูปที่ 4-8 สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำแบบปรับหน่วย (T') ของชั้นน้ำต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา



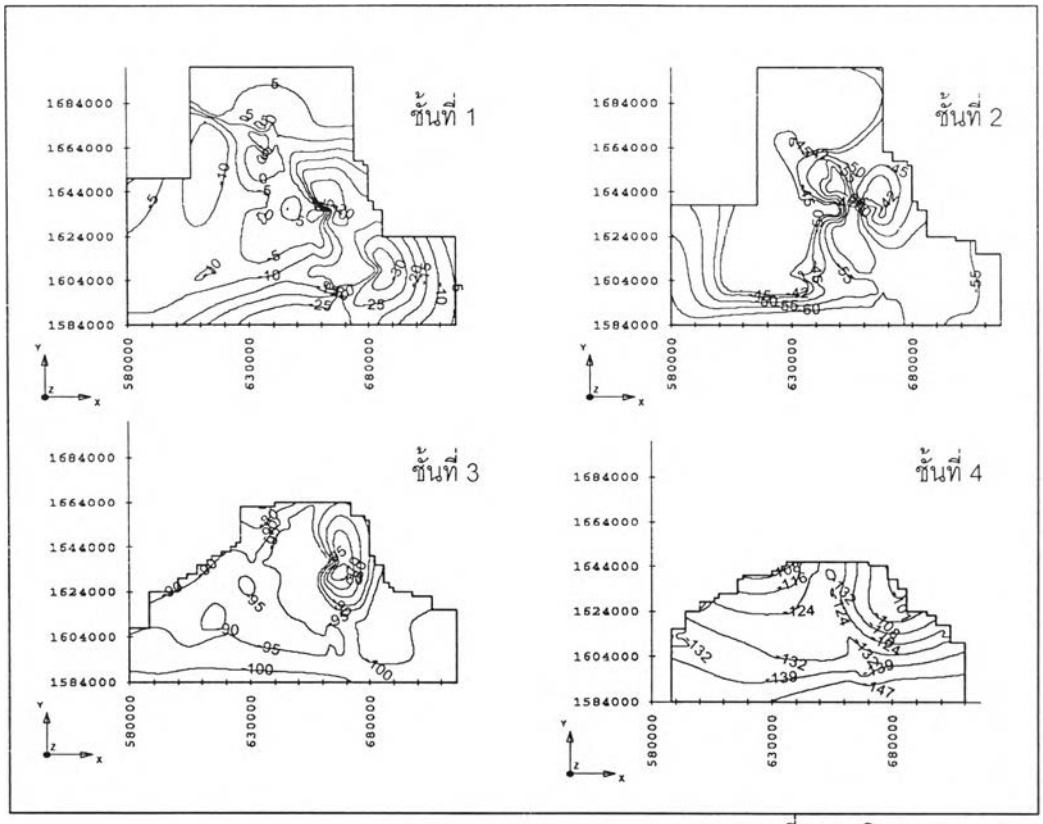
รูปที่ 4-9 การกระจายของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ของชั้นน้ำใต้ดินชั้นต่าง ๆ (หน่วย : เมตรต่อวัน)

4.5.4 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในแนวดิ่ง

สัมประสิทธิ์การซึมผ่านแนวดิ่ง (Vertical hydraulic conductivity) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการอธิบายพฤติกรรมการไหลในแนวดิ่งของน้ำใต้ดินระหว่างชั้นน้ำ เนื่องจากการจำลองสภาพครั้งนี้กำหนดชั้นน้ำที่มีศักยภาพการให้น้ำทั้งหมด 4 ชั้น แต่ละชั้นถูกแยกออกจากกันด้วยชั้นดินเหนียว ดังนั้นในการจำลองสภาพ เพื่อสะท้อนลักษณะทางธรณีวิทยาดังกล่าว จึงกำหนดให้ค่าการซึมผ่านในแนวดิ่งเป็นคุณสมบัติของชั้นดินเหนียวที่กั้นระหว่างชั้นน้ำใต้ดิน โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านแนวดิ่ง เฉลี่ยเท่ากับ 2.0×10^{-5} เมตรต่อวัน (Todd, 1980)

4.5.5 ค่าระดับของชั้นน้ำใต้ดินแต่ละชั้น

ค่าระดับของชั้นน้ำใต้ดินแต่ละชั้น วิเคราะห์ได้จากข้อมูลและแผนที่ทางอุทกธรณีวิทยา เพื่อกำหนดค่าระดับขอบบนและขอบล่างของชั้นน้ำใต้ดินแต่ละชั้น ที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลทางธรณีวิทยา และอุทกธรณีวิทยา ดังแสดงในรูปที่ 1-3 ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมในการอธิบายพฤติกรรมการไหลให้สอดคล้องกับสภาพทางอุทกธรณีวิทยาประกอบด้วยชั้นน้ำใต้ดิน 4 ชั้น ซึ่งมีระดับความลึกของชั้นน้ำแต่ละชั้นดังรูปที่ 4-10



ที่มา : สุจริต และคณะ, 2545

รูปที่ 4-10 ค่าระดับขอบเขตด้านล่างของชั้นน้ำใต้ดินแต่ละชั้น (หน่วย : เมตร รทก.)

4.5.6 ประเภทของชั้นน้ำใต้ดิน

ในแบบจำลองนี้ กำหนดให้ชั้นน้ำชั้นบนสุดเป็นชั้นน้ำแบบกึ่งมีความดัน (Semi-confined aquifer) เนื่องจากชั้นดินเหนียวที่ปิดทับด้านบนมีคุณสมบัติในการให้น้ำซึมผ่านลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินชั้นแรกได้ และจากการวิเคราะห์ระดับน้ำของชั้นน้ำดังกล่าว ปรากฏว่า ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและ การแกว่งตัวของระดับน้ำดังกล่าวทำให้ชั้นน้ำชั้นแรกในพื้นที่ศึกษามีลักษณะเป็นทั้งแบบมีความดันและไม่มีความดัน ส่วนชั้นน้ำชั้นอื่น ๆ ที่อยู่ลึกลงไป เป็นชั้นน้ำแบบมีความดัน (Confined aquifer) ทั้ง 3 ชั้น

4.5.7 ค่าระดับน้ำหรือความดันน้ำเริ่มต้น

ค่าระดับน้ำหรือความดันน้ำเริ่มต้นเป็นเงื่อนไขตั้งต้นสำหรับการจำลองสภาพการไหลแบบไม่คงตัว สามารถกำหนดจากระดับน้ำในสภาวะสมดุลที่ได้จากแบบจำลองการไหลแบบคงตัว หรือระดับน้ำจากแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวในช่วงเวลาก่อนหน้า หรือใช้ระดับน้ำจริงในภาคสนามก็ได้ แต่โดยมาตรฐานทั่วไปมักอาศัยระดับน้ำที่ได้จากการจำลองสภาพแบบคงตัวเป็นค่าตั้งต้น (Anderson และ Woessner, 1992) ส่วนการคำนวณในสภาวะคงตัวนั้นค่าเงื่อนไขตั้งต้นนี้สามารถกำหนดได้โดยอิสระ โดยการคำนวณจะทำหน้าที่ปรับค่าที่กำหนดดังกล่าวให้เข้าสู่สภาวะสมดุลของระบบ

เหตุผลของการใช้ผลการคำนวณจากแบบจำลองการไหลแบบคงตัวเป็นค่าตั้งต้น คือ ค่าดังกล่าวเป็นผลที่ได้จากแบบจำลองที่มีค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ สอดคล้องกับแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวที่กำลังจะทำการคำนวณ หากใช้ค่าระดับน้ำจริงที่ได้จากการสำรวจในภาคสนามมาเป็นค่าตั้งต้น ผลการคำนวณในช่วงเวลาแรก ๆ จะเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากแบบจำลองจะพยายามปรับค่าระดับน้ำเพื่อชดเชยกับความไม่สอดคล้องของพารามิเตอร์ในแบบจำลองกับค่าระดับที่กำหนดจากภาคสนาม (Franke et al., 1987 อ้างถึงใน Anderson และ Woessner, 1992)

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองการไหล 3 ช่วง คือ แบบจำลองการไหลแบบคงตัวซึ่งใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2542 , แบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวในช่วงเวลา พ.ศ. 2543 – 2544 และแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวในช่วงเวลา พ.ศ. 2532 – 2544 ระดับน้ำตั้งต้นของแบบจำลองการไหลแบบคงตัวใช้ระดับน้ำเฉลี่ยปี พ.ศ. 2542 ส่วนแบบจำลองการไหลไม่คงตัวในช่วง พ.ศ. 2543 – 2544 ใช้ผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองการไหลแบบคงตัวในปี พ.ศ. 2542 เป็นระดับน้ำตั้งต้น และแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวในช่วง พ.ศ. 2532 – 2544 จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลระดับน้ำที่มีการบันทึกไว้จริงในช่วงเวลา พ.ศ. 2532 เป็นระดับน้ำตั้งต้น โดยค่าระดับน้ำเหล่านี้มีการบันทึกและตรวจวัดจากภาคสนาม แสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.5 และ 5.1.3 ส่วนผลการคำนวณระดับน้ำของแบบจำลองทั้งสามที่กล่าวถึงข้างต้นนี้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 6.1

4.5.8 อัตราการเติมน้ำ

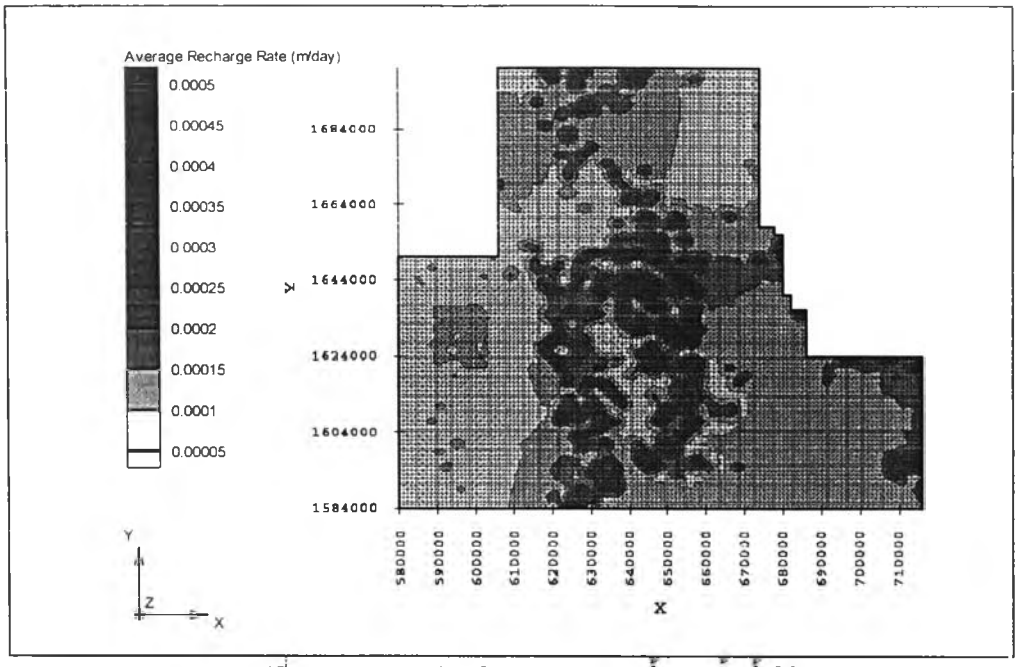
แหล่งน้ำหลักที่เติมน้ำเข้าสู่ชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษามี 2 แหล่ง ส่วนที่หนึ่งคือการเติมน้ำจากผิวดินหรืออการเติมจากปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ผ่านชั้นดินชั้นบนลงไปสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ส่วนที่สองคือการเติมจากทางน้ำ ได้แก่ แม่น้ำและคลองต่าง ๆ ซึ่งอาจจะมีการซึมจากแม่น้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน หรือไหลจากชั้นน้ำใต้ดินลงสู่แม่น้ำ ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสอง ทั้งนี้มิได้พิจารณาถึงการซึมผ่านสระเก็บน้ำ คลองชลประทาน บ่อเลี้ยงปลา และแหล่งน้ำผิวดินขนาดเล็กอื่น ๆ

การประเมินอัตราการเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดินจากปริมาณฝนที่ตกลงสู่พื้นดิน อาศัยข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ย คุณสมบัติของดิน และแหล่งทรายซึ่งเป็นแหล่งที่เติมน้ำให้กับชั้นน้ำใต้ดิน

ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน จากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งสำหรับพื้นที่ศึกษามีค่าเฉลี่ย ในช่วงปี พ.ศ. 2595 – 2539 เท่ากับ 1,027 มิลลิเมตรต่อปี ปริมาณฝนเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาในแต่ละเดือน แต่ละปี ที่ใช้ในการประเมินอัตราการซึมในแบบจำลอง มีลักษณะดังที่แสดงแล้วในรูปที่ 2-2

จากข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของชุดดินในพื้นที่ศึกษาของกรมพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2538) ดังอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.6 สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อจัดกลุ่มชุดดินทั้งหมดเข้าด้วยกันตามคุณสมบัติของการยอมให้น้ำซึมผ่านได้เพื่อสร้างเป็นแผนที่กลุ่มดินจำแนกตามคุณสมบัติการซึมได้ของน้ำ ซึ่งมีผลต่อการพิจารณาปริมาณการซึมได้ของน้ำซึ่งเป็นการเติมน้ำโดยธรรมชาติให้กับระบบชั้นน้ำใต้ดิน ดังรูปที่ 2-10 ประกอบกับ ข้อมูลแหล่งทรายบกในพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นแหล่งที่มีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้โดยง่าย (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์, 2543) ดังรูปที่ 2-11

เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวข้างต้นมาประมวลผลด้วยโปรแกรม ArcView GIS ประกอบกับการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในเบื้องต้น จึงสามารถอธิบายได้ว่าอัตราการซึมในหน่วยร้อยละของปริมาณฝน (R) และสัมประสิทธิ์การซึมได้ของดินในหน่วยเซนติเมตรต่อชั่วโมง (i) ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2-10 มีความสัมพันธ์กันตามสมการ $R=0.24i + 3.2$ และสรุปได้ว่าปริมาณน้ำฝนที่ไหลลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินโดยอาศัยชนิดของดินเป็นอัตราส่วนร้อยละ 3.88 – 11.0 ของปริมาณฝนรายเดือนที่ตกในพื้นที่ (Sucharit K., Panot S., 2002) ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ วจี และสมชัย (2541) ซึ่งระบุว่า อัตราการซึมของน้ำฝนสู่แหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ภาคกลางของชั้นน้ำใต้ดินที่มีสภาพทางธรณีวิทยาแบบหินแข็งน้ำปานกลาง, หินแข็งน้ำมาก, และหินร่วน เท่ากับ 3, 5 และ 10 % ของปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ ตามลำดับ อัตราการซึมที่ได้จากการศึกษาดังกล่าวเมื่อคำนวณตามปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ (ตามที่แสดงเส้นชั้นความสูงในรูปที่ 2-3) พบว่า อัตราการซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินมีค่าในช่วง 5.0×10^{-5} – 5.0×10^{-4} เมตรต่อวัน (18 – 180 มิลลิเมตรต่อปี) โดยมีลักษณะการกระจายตัวดังรูปที่ 4-11 กล่าวคือพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำสูงคือบริเวนตอนกลางของพื้นที่ และพื้นที่ด้านตะวันออกจะมีอัตราการเติมน้ำสูงกว่าด้านตะวันตกเนื่องจากมีปริมาณฝนสูงกว่าเล็กน้อย



รูปที่ 4-11 ผลการประเมินอัตราการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

การไหลของน้ำระหว่างแหล่งน้ำใต้ดินและทางน้ำเปิดในพื้นที่ศึกษาซึ่งมีแม่น้ำสายหลัก 5 สาย คือ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำน้อย แม่น้ำสุพรรณบุรี แม่น้ำป่าสัก และแม่น้ำลพบุรี โดยไม่พิจารณารวมถึงสระน้ำและคลองในพื้นที่ศึกษา ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (แสดงในตารางที่ 4-2 และภาคผนวก ข) ได้แก่ หน้าตัดทางน้ำ และระดับน้ำ รวมทั้งพารามิเตอร์ของการซึม (C_0, เมตร/วัน) โดยนิยาม C_0 เท่ากับ KW / M เมื่อ K คือสัมประสิทธิ์การซึม (เมตรต่อวัน) W คือความกว้างทางน้ำ (เมตร) และ M คือความหนาของตะกอนท้องน้ำ (เมตร) โดยค่าประมาณการของวัสดุท้องน้ำสำหรับทางน้ำทั้งหมดในพื้นที่ศึกษามีค่าสัมประสิทธิ์การซึมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $5x10^{-2}$ เมตรต่อวัน

4.5.9 อัตราการสูบน้ำ

การประเมินอัตราการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาตามหลักการที่แสดงในหัวข้อที่ 3.5 โดยจำแนกตามวัตถุประสงค์ได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ การอุปโภคบริโภค การเกษตร และอุตสาหกรรม (รายละเอียดของขั้นตอนการศึกษา และผลการศึกษาแสดงในภาคผนวก ข) และสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

ในส่วนของการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค จำแนกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือการใช้น้ำในเขตเมืองที่มีระบบประปาขนาดใหญ่ เช่นการประปาภูมิภาค ซึ่งมีกำลังการผลิตในปี พ.ศ. 2542 เท่ากับ 27.09 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยมีอัตราการเพิ่มประมาณร้อยละ 15 ต่อปี ส่วนที่สองคือการใช้น้ำในเขตชนบท ซึ่งมีการใช้น้ำใต้ดินจากระบบประปาหมู่บ้าน ประมาณ 31.85 ล้านลูกบาศก์เมตร ในปี พ.ศ. 2542 ประกอบกับการใช้น้ำจากบ่อส่วนตัวของประชาชน อีก 20 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งคำนวณเป็นปริมาณการใช้น้ำต่อประชากรได้เท่ากับ 109 ลิตรต่อคนต่อวัน สำหรับในเขตเมือง และ 64 ลิตรต่อคนต่อวัน สำหรับการใช้น้ำในเขตชนบท

สำหรับการใช้น้ำเพื่ออุตสาหกรรม ในพื้นที่ศึกษามีผู้ขออนุญาตทั้งหมด 908 ราย และมีปริมาณน้ำที่อนุญาตให้ใช้ได้ทั้งสิ้น 27.23 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี แต่จากการรวบรวมข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินที่มีการติดตั้งมาตรวัดน้ำ จำนวน 75 บ่อ แล้วเปรียบเทียบปริมาณการใช้จากมาตรวัดน้ำ กับปริมาณน้ำตามใบอนุญาต พบว่าอัตราการใช้น้ำจริงจากมาตรวัดน้ำมีอัตราส่วนเฉลี่ยเป็น 0.67 เท่าของตัวเลขในใบอนุญาต ($f_{อุตสาหกรรม}$ = 0.67) ดังนั้นจึงสามารถประเมินอัตราการใช้น้ำจริงได้เท่ากับ 18.41 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

การประเมินปริมาณใช้น้ำเพื่อเกษตรกรรมอาศัยสมการที่ 4-4 และ 4-5 (รายละเอียดแสดงแล้วในหัวข้อที่ 3.5)

$$Q_t^{เกษตร} = q_t^{เกษตร} * \left(N_t^{กบช.} * F^{เกษตร}\right). \quad (4\text{-}4)$$

$$q_t^{เกษตร} = f_t^{เดือน,ปี} * \left(\bar{q} * \bar{t}\ \right) \quad (4\text{-}5)$$

โดยที่ จำนวนบ่อน้ำใต้ดินของประชาชนในพื้นที่ศึกษา ($N_t^{กบช.}$) จากข้อมูล กบช. ซึ่งได้ทำการตรวจสอบกับข้อมูลการสำรวจภาคสนามแล้ว พบว่ามีจำนวน 103,1290 บ่อ กระจายในพื้นที่ตำบลต่าง ๆ ตามสภาพอุทกธรณีวิทยา ในจำนวนนี้ร้อยละ 25 ($F^{เกษตร}$) ถูกใช้เพื่อการเกษตร และบ่อเหล่านี้ มีอัตราการให้น้ำ ($\bar{q}$) แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ขึ้นอยู่กับสภาพอุทกธรณีวิทยา (ตารางที่ 4-3) ส่วนระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการสูบน้ำใต้ดินในสถานการณ์แล้งที่สุด ($\bar{t}$) มีค่าในช่วง 46-218 ชั่วโมงต่อบ่อต่อเดือน ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การสูบน้ำรายเดือนและรายปี ($f_t^{เดือน,ปี}$) อาศัยข้อมูลการสำรวจในภาคสนามในสถานการณ์น้ำน้อยมาก (ปี พ.ศ. 2542) และการสัมภาษณ์สำหรับกรณีอื่น ๆ ร่วมกับเกณฑ์การกำหนดสถานการณ์น้ำของกรมชลประทาน (ตารางที่ 4-4) ประกอบกับการตรวจสอบด้วยแบบจำลองในขั้นตอนของการปรับเทียบสำหรับกรณีน้ำมาก และน้ำปานกลาง ทำให้สามารถกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สำหรับทุกกรณี ได้ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-2 ข้อมูลทางน้ำที่ใช้ในแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

แม่น้ำ	utme	utmn	ระดับท้องน่า (m. - msl.)	ความกว้างท้องน่า (m.)	ความกว้างผิวน่า (m.)	ความลึก (m.)	พื้นที่ (sq.m.)	ระดับน่าเฉลี่ยรายปี (m. - msl.)
เจ้าพระยา	619229	1732732	15.0	40.0	300.0	3.8	646	18.8
	617242	1686665	4.5	40.0	300.0	4.0	680	8.5
	616920	1683443	3.6	40.0	300.0	1.0	170	4.5
	628083	1676913	2.0	145.0	180.0	5.5	894	6.6
	651016	1647148	-0.2	100.0	120.0	3.0	330	2.6
	657841	1602889	-6.5	70.0	75.0	6.7	486	0.8
	656558	1612796	-6.0	70.0	75.0	6.7	486	0.8
ลพบุรี	673214	1636019	1.0	40.0	50.0	2.2	100	3.2
	670160	1619494	-1.0	25.0	45.0	4.0	140	3.1
ป่าสัก	716146	1614079	5.0	35.0	50.0	3.0	128	7.6
	670798	1587906	-9.0	50.0	80.0	9.5	618	0.5
	717221	1617808	5.0	0.0	70.0	4.0	140	9.0
	686094	1609836	-2.0	0.0	50.0	5.5	138	3.5
	675885	1602889	-6.0	0.0	50.0	5.5	138	2.0
ท่าจีน	608151	1510991	-8.0	50.0	90.0	8.7	609	0.8
	589865	1584656	1.0	40.0	50.0	1.7	77	2.6
	607997	1547858	-7.0	30.0	150.0	5.3	479	0.9
	616920	1683443	3.6	40.0	300.0	3.8	646	4.5
	617565	1635433	2.6	40.0	300.0	3.8	646	3.3
	6211100	1602889	1.8	40.0	300.0	3.8	646	2.3
น้อย	624552	1676012	3.6	30.0	50.0	1.0	40	4.5
	642120	1645482	2.0	30.0	50.0	1.5	60	3.5
	647850	1607550	-1.0	30.0	50.0	3.5	140	2.5

ที่มา : กรมเจ้าท่า, กรมชลประทาน

ตารางที่ 4-3 อัตราการให้น้ำของบ่อน้ำใต้ดินที่ได้จากการสำรวจเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี

อัตราการให้น้ำ ($\bar{q}$) (ลบ.ม./ชม.)	ตะกอนลุ่มน้ำ (Qcp)	ตะกอนตะพัก ลุ่มน้ำใหม่ (Qcr)	ตะกอนเชิงเขา (Qcl)
ผลการสำรวจภาคสนาม *	35 - 62	22 - 50	≈ 12
ค่าทางทฤษฎี **	60 - 150	5 - 50	10 - 30

หมายเหตุ * ผลการสำรวจภาคสนาม แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข รูปที่ 3 และตารางที่ 7

** ค่าทางทฤษฎีอ้างอิงจากค่าประเมินของกรมทรัพยากรธรณี, อ้างถึงใน สุจริต และคณะ, 2545

ตารางที่ 4-4 การจำแนกสภาพการณ์ความแห้งแล้งในแต่ละปี

เกณฑ์ความแห้งแล้ง	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544
น้ำมาก	★									★	★					★
น้ำปานกลาง		★		★	★							★	★		★	
น้ำน้อย			★			★	★	★								
น้ำน้อยมาก									★					★		

หมายเหตุ ★ แทนลักษณะสภาพการณ์ในปีนั้น ๆ (ที่มา : กรมชลประทาน)

ตารางที่ 4-5 สัมประสิทธิ์การสูบน้ำเพื่อการเกษตรรายเดือนและรายปี สำหรับกรณีต่าง ๆ

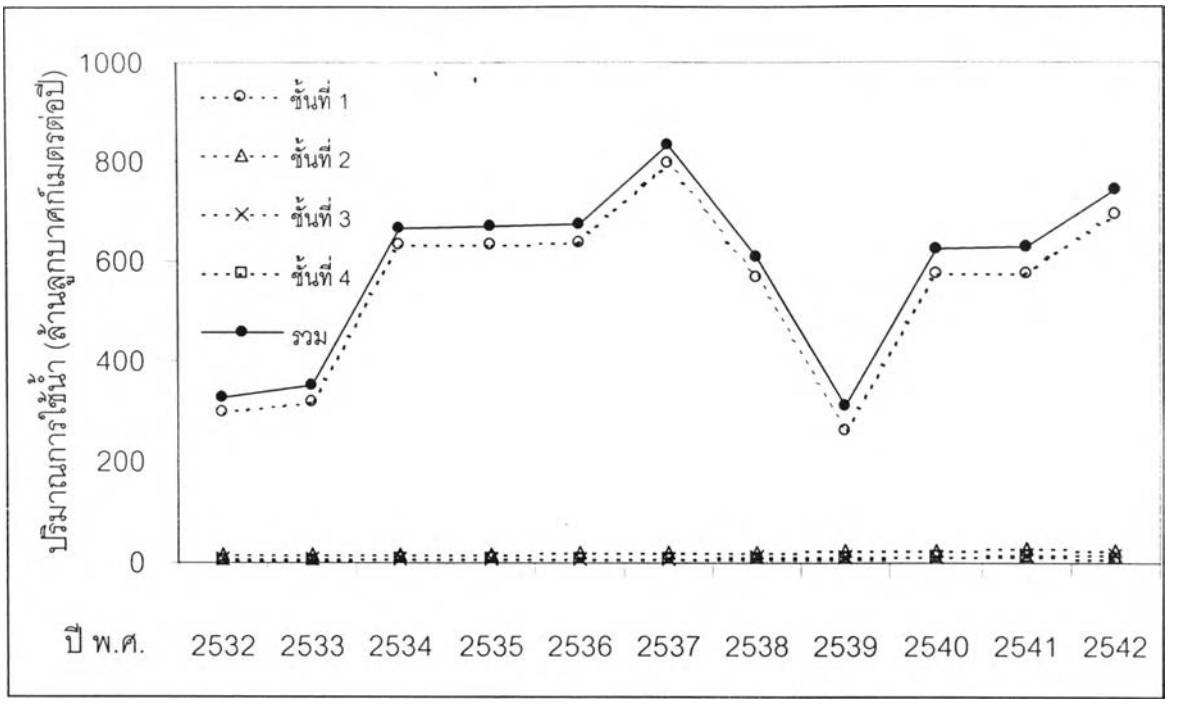
เกณฑ์ความแห้งแล้ง	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
น้ำมาก	0.10	0.15	0.20	0.10	0	0	0	0.05	0.05	0	0	0
น้ำปานกลาง	0.24	0.48	0.60	0.18	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0
น้ำน้อย	0.30	0.55	0.70	0.25	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0
น้ำน้อยมาก	0.40	0.70	0.90	0.25	0	0	0	0.1	0.1	0	0	0

การใช้น้ำในพื้นที่ศึกษาเพื่อการเกษตรกรรม อุปโภคบริโภค และอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2542 มีอัตราส่วนเท่ากับ 87:10:3 ตามลำดับ รวมปริมาณน้ำใต้ดินที่ถูกนำมาใช้ในปี พ.ศ. 2542 ประมาณ 800 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (ตารางที่ 4-6) และหากพิจารณาประวัติการสูบน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาพบว่าปริมาณการสูบแปรผกผันตามปริมาณฝนในแต่ละปี ทั้งนี้อยู่ในช่วง 300 – 800 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยมีการสูบน้ำสูงสุดในช่วงปี พ.ศ. 2535 - 2537) รูปที่ 4-12 แสดงปริมาณการสูบน้ำในพื้นที่ที่มีการทำแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ซึ่งครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่าพื้นที่ศึกษาเล็กน้อย (สุจริต และคณะ, 2545) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 4-6 ปริมาณการใช้น้ำใต้ดินจำแนกตามวัตถุประสงค์ ปี พ.ศ. 2542 (หน่วย : ล้าน ลบ.ม. / ปี)

หมวดการใช้น้ำ	ชัยนาท	สิงห์บุรี	สุพรรณบุรี	นครสวรรค์	อ่างทอง	อยุธยา	ลพบุรี.	สระบุรี	รวม
1. การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค	8.14	6.73	13.31	11.50	7.72	17.83	11.33	7.72	84.28
- การประปาภูมิภาค *	0.00	1.45	3.22	0.00	0.75	3.82	2.21	0.82	12.27
- ระบบประปาสัมปทาน	0.80	0.00	1.07	0.00	1.31	8.92	0.99	1.73	14.82
- ระบบประปาหมู่บ้าน	3.11	2.56	5.26	5.92	2.89	4.16	5.22	2.73	31.85
- บ่อส่วนตัว	4.23	2.72	3.76	5.58	2.77	0.93	2.91	2.44	25.34
2. การใช้น้ำเพื่อธุรกิจ อุตสาหกรรม	0.50	1.86	4.12	0.00	1.07	0.00*	3.31	12.99	26.35
- การประปาภูมิภาค *	0.00	0.93	2.08	N/A	0.48	2.50	1.42	0.53	7.94
- บ่อส่วนตัว	0.50	0.93	2.04	N/A	0.59	0.00*	1.89	12.46	18.41
3. การใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม	130.88	99.18	199.20	8.85*	137.48	26.12*	79.37	44.28	725.36
รวม	139.52	107.77	216.63	20.35	146.27	43.95	94.01	64.99	835.99

หมายเหตุ : * รวบรวมเฉพาะข้อมูลในพื้นที่ศึกษาซึ่งไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งจังหวัด

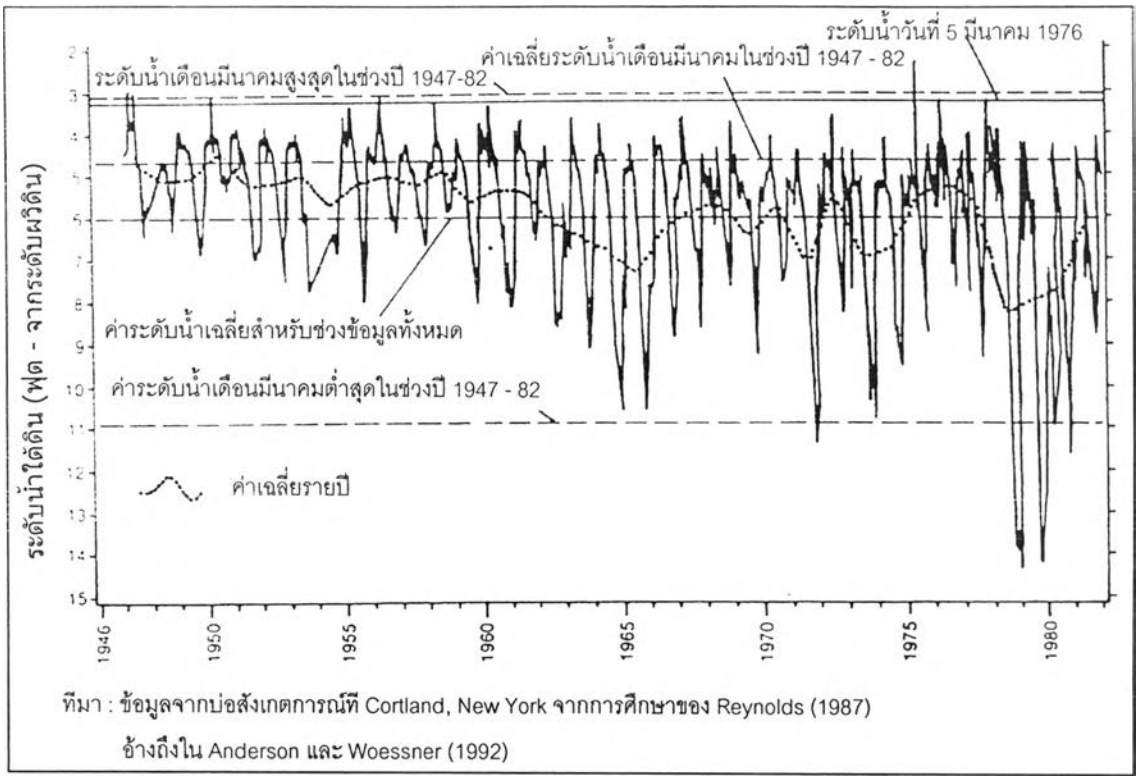


รูปที่ 4-12 ปริมาณการใช้น้ำใต้ดินรายปี ในพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 - 2542

4.6 การปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง

การปรับเทียบแบบจำลอง (Anderson, Woessner, 1992) สามารถกระทำได้ทั้งในสภาวะการไหลแบบคงตัว (Steady state) และไม่คงตัว (Transient) แต่การปรับเทียบโดยทั่วไปมักทำภายใต้สภาวะการไหลแบบคงตัว และในบางกรณีอาจทำการปรับเทียบครั้งที่สองด้วยข้อมูลอีกชุดหนึ่งในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว แต่ประเด็นสำคัญในการปรับเทียบในสภาวะการไหลแบบคงตัวอยู่ที่การเลือกข้อมูลระดับน้ำที่เป็นตัวแทนของสภาวะคงตัว จากข้อมูลระดับน้ำที่มีการบันทึกไว้ซึ่งเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังตัวอย่างในรูปที่ 4-13 การหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลระดับน้ำก็มีหลายวิธี เช่น ค่าเฉลี่ยรายปี ค่าเฉลี่ยสำหรับช่วงข้อมูลทั้งหมด ค่าเฉลี่ยระดับน้ำเดือนใดเดือนหนึ่ง เป็นต้น ค่าเฉลี่ยแบบใดแบบหนึ่งในทั้งสามแบบนี้สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนของสภาวะการไหลแบบคงตัวได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการจำลองแบบจำลอง แต่ในกรณีที่ไม่มีการเก็บบันทึกข้อมูลในระยะยาวก็สามารถใช้ค่าเฉลี่ยรายฤดูกาลของระดับน้ำในปีใดปีหนึ่งเพื่อเป็นตัวแทนของค่าเฉลี่ยพลวัตรของสภาวะคงตัว (Dynamic average steady state condition) และสำหรับสภาพปัญหาบางอย่างก็อาจมีความเหมาะสมที่จะกำหนดสมมติฐานว่าค่าระดับน้ำที่วัดได้ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ช่วงใดช่วงหนึ่งเป็นตัวแทนของสภาวะกึ่งคงตัว (Quasi steady-state) ภายใต้สภาวะแวดล้อมเช่น อัตราการสูบน้ำ และการเติมน้ำ ที่เป็นจริงในช่วงระยะเวลานั้น ๆ

การปรับเทียบในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว อาจนำมาใช้แทนการปรับเทียบในสภาวะการไหลแบบคงตัว ในกรณีที่เงื่อนไขทางอุทกธรณีวิทยาไม่เหมาะสมในการจำลองสภาพการไหลแบบคงตัว หรือไม่สามารถหาข้อมูลระดับน้ำที่เป็นตัวแทนของสภาวะคงตัวได้ แต่ในการศึกษาทั่วไป การปรับเทียบในทั้งสองสภาวะมักถูกนำมาใช้ควบคู่กัน กล่าวคือ ในขั้นแรกทำการปรับเทียบในสภาวะคงตัวเพื่อตรวจสอบและปรับแก้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ไม่ขึ้นกับเวลา แล้วจึงทำการปรับเทียบในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัวเพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ที่ขึ้นกับเวลา หรือเกี่ยวข้องกับการอธิบายการไหลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ เป็นต้น



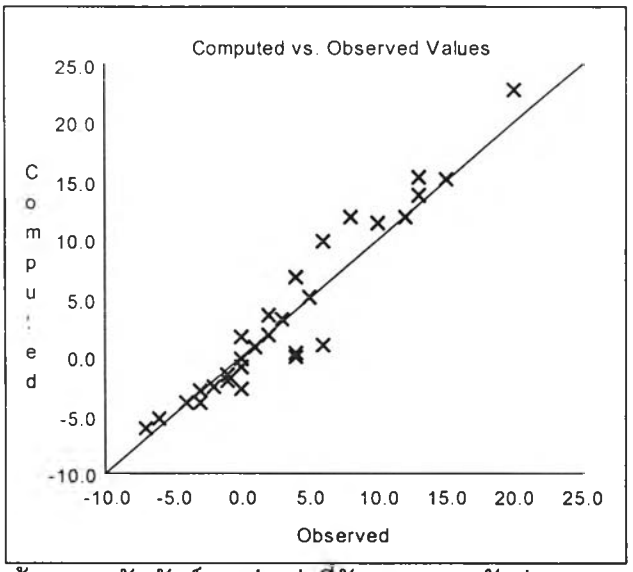
รูปที่ 4-13 ตัวอย่างข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน และการเลือกข้อมูลที่เป็นตัวแทนของสภาวะคงตัว

การสอบทานแบบจำลอง ในกรณีที่แบบจำลองนั้นได้ผ่านการปรับเทียบทั้งในสภาวะคงตัว และไม่คงตัว มาแล้ว สามารถกระทำได้โดยทำการคำนวณแบบจำลองนั้นซ้ำอีกครั้งหนึ่งในสภาวะไม่คงตัว ด้วยข้อมูลชุดใหม่ เพื่อแสดงว่าแบบจำลองที่ปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้วนั้นสามารถให้ผลการคำนวณที่สอดคล้องกับความเป็นจริง สำหรับชุดข้อมูลอื่น ๆ ไม่เฉพาะข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบเท่านั้น แต่ในทางตรงกันข้ามหากผลการสอบทานมีความคลาดเคลื่อนมาก และจำเป็นต้องมีการปรับแก้พารามิเตอร์อย่างมีนัยสำคัญ การปรับแก้นั้นก็จะต้องกระทำซ้ำจนกระทั่งได้ผลการคำนวณทั้งในแบบจำลองที่ใช้ปรับเทียบ และแบบจำลองที่ใช้สอบทานอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และการสอบทานที่ถูกปรับแก้นั้นก็จะกลายเป็นการปรับเทียบครั้งที่ 2 และจะต้องมีการสอบทานใหม่ ด้วยข้อมูลชุดใหม่ เช่นนี้เรื่อยไป จนกว่าผลการสอบทานจะเป็นที่ยอมรับ แต่ในทางปฏิบัตินั้น มักไม่มีข้อมูลมากเพียงพอที่จะทำการสอบทานได้ตามทฤษฎี ในบางกรณีแม้ไม่มีข้อมูลในการสอบทานเลย แบบจำลองที่ผ่านการปรับเทียบแล้วแต่มิได้ทำการสอบทานก็ยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณเหตุการณ์ในอนาคตได้ หากแต่จะต้องทำการวิเคราะห์ความไหวตัว (Sensitivity analysis) ให้ละเอียดเป็นพิเศษ (Anderson, Woessner, 1992)

การประเมินผลการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง ว่าผลการคำนวณที่ได้มีความใกล้เคียง สอดคล้องกับข้อมูลภาคสนามเพียงใดนั้น เป็นสิ่งที่ขึ้นอยู่กับแต่ละบุคคล (Subjective judgment) ไม่มีการกำหนดมาตรฐานที่แน่นอนในการประเมินผลการปรับเทียบ แต่วิธีการที่เป็นที่ยอมรับและใช้กันโดยทั่วไป คือการเปรียบเทียบแผนที่เส้นชั้นความสูงเท่ากัน (Contour maps) ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดในภาคสนาม กับผลการคำนวณจากแบบจำลอง ซึ่งวิธีการนี้จะให้ภาพที่ชัดเจน ของสภาพการไหล และความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในเชิงตำแหน่ง แต่การเปรียบเทียบเช่นนี้ย่อมมีความคลาดเคลื่อนในตัววิธีการนั้นเอง เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนของการสร้างเส้นชั้นความสูงเท่ากันของข้อมูลที่วัดจาก

ภาคสนาม ดังนั้นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดจากสนามกับค่าจากแบบจำลองลงบนพิกัด 2 มิติ (ดังตัวอย่างที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ในรูปที่ 4-14) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการตรวจสอบผลการปรับเทียบแบบจำลอง

วัตถุประสงค์ของการปรับเทียบ คือการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้เหมาะสมจนสามารถลดความคลาดเคลื่อนให้เหลือน้อยที่สุด คำว่าความคลาดเคลื่อนนั้นสามารถอธิบายได้ 3 วิธี ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.4



รูปที่ 4-14 ตัวอย่างการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดจากสนามกับค่าจากแบบจำลองลงบนพิกัด 2 มิติ

วิธีการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง สำหรับการศึกษาครั้งนี้ มีข้อจำกัดและวิธีการดังนี้

เนื่องจากในพื้นที่ศึกษา มิได้มีการบันทึก ติดตามระดับน้ำบาดาลในชั้นต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ เท่าที่ได้ทำการศึกษา ไม่พบข้อมูลสังเกตการณ์ที่มีระยะเวลามากเพียงพอที่จะใช้ในการวิเคราะห์หาตัวแทนของสภาวะคงตัวอย่างแท้จริงได้ แต่ในการพัฒนาแบบจำลองก็มีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องทำการปรับแก้และตรวจสอบจำนวนมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้แบบจำลองทั้งในสภาวะคงตัว และไม่คงตัว รวมทั้งทำการสอบทานแบบจำลองด้วย แต่ก็มิได้หมายความว่า การพัฒนาการจำลองจะกระทำได้ก็ต่อเมื่อได้มีการเก็บข้อมูลยาวนานเพียงพอ ซึ่งอาจใช้เวลาอีก 30 ปี ในอนาคต การพัฒนาการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาจึงจะสามารถดำเนินการได้ หากแต่ประเด็นสำคัญอยู่ที่การออกแบบวิธีการวิเคราะห์ และประยุกต์ใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อให้สอดคล้องกับขั้นตอนในการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ได้เสนอวิธีการในการปรับเทียบ และสอบเทียบแต่ละขั้นตอน ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ข้อมูลที่ใช้และพารามิเตอร์ที่ปรับแก้ในแต่ละขั้นตอนของการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง

ขั้นตอน	ข้อมูลที่ใช้	พารามิเตอร์ที่ปรับแก้
การปรับเทียบในสภาวะคงตัว	ค่าระดับน้ำใต้ดินเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2542 จากระเบียนบ่อของหน่วยงานราชการ	อัตราการสูบ/เติมน้ำเฉลี่ย กรณีตัวแทนปีที่แล้งที่สุด สัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ทั้งหมด ยกเว้น สัมประสิทธิ์การกักเก็บ และ สัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ
การปรับเทียบในสภาวะไม่คงตัว	ค่าระดับน้ำใต้ดินราย 2 เดือน ในปี พ.ศ. 2543–2544 ซึ่งได้วางโครงข่ายและติดตามวัดอย่างเป็นระบบ	สัมประสิทธิ์การกักเก็บ สัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ และ อัตราการสูบ / เติมน้ำ รายเดือนและรายปี
การสอบทาน	ค่าระดับน้ำใต้ดิน รายไตรมาศ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 – 2542 จากระเบียนบ่อของหน่วยงานราชการต่าง ๆ	มิได้ใช้เพื่อปรับแก้พารามิเตอร์ แต่ใช้ประยุกต์ในการวิเคราะห์ประวัติการสูบน้ำในอดีต

การปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะคงตัวมีวัตถุประสงค์ในเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบแนวคิดของแบบจำลอง การแบ่งชั้นน้ำ ระบบกริดเซลล์ และเงื่อนไขขอบเขตที่ได้ออกแบบไว้ ส่วนเป้าหมายถัดไปคือการตรวจสอบ ปรับแก้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ไม่ขึ้นกับเวลาซึ่งได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในแนวดิ่ง รวมทั้งปริมาณการสูบน้ำและการเติมน้ำเฉลี่ยรายปี สำหรับการใช้น้ำส่วนใหญ่ในชั้นน้ำชั้นที่ 1 เป็นการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรมและการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและการตรวจสอบทั้งในภาคสนามและทางทฤษฎี การปรับแก้สำหรับชั้นน้ำชั้นที่ 1 นี้จึงมุ่งเน้นที่ค่าการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ส่วนการจำลองสภาพในชั้นที่ 2 – 4 การซึมของน้ำจากแบบจำลองเบื้องต้นแสดงว่ามีอิทธิพลน้อย แต่อัตราการใช้น้ำในชั้นน้ำเหล่านี้อาจมีความคลาดเคลื่อนได้ง่าย ค่าการใช้น้ำในส่วนนี้จึงเป็นพารามิเตอร์หลักในการปรับแก้แบบจำลองในชั้นที่ 2 ถึงชั้นที่ 4

ข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะคงตัว เนื่องจากไม่มีข้อมูลที่เก็บบันทึกในระยะยาว การใช้ค่าระดับน้ำในปีอดีต หรือค่าเฉลี่ยจากข้อมูลในอดีตจึงมิใช่วิธีที่เหมาะสม อีกทั้งในพื้นที่ศึกษามีการใช้น้ำใต้ดิน และการเติมน้ำใต้ดินที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน การทดลองปรับแก้โดยใช้ข้อมูลรายฤดูกาลแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าไม่สามารถเป็นตัวแทนของสภาวะคงตัวในพื้นที่ศึกษาได้ (รายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 6.1.1) การศึกษาครั้งนี้จึงพบว่าตัวแทนระดับน้ำในการสอบเทียบแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดคือค่าระดับน้ำที่วัดได้ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ช่วงใดช่วงหนึ่งเพื่อเป็นตัวแทนของสภาวะกึ่งคงตัว (Quasi steady-state) โดยได้เลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝนในปี พ.ศ. 2542 เป็นตัวแทน โดยการนำระดับน้ำตลอดทั้งปี มาแบ่งเป็น 2 ช่วงคือช่วงฤดูแล้ง และช่วงฤดูฝน แล้วสร้างเส้นชั้นความสูงเท่ากัน (Contour) ของระดับน้ำแต่ละชั้นในแต่ละช่วงฤดูกาล แล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าระดับน้ำตัวแทนเพื่อใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง สาเหตุที่เลือกใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2542 เนื่องจากเป็นปีที่เริ่มต้นการศึกษาซึ่งสามารถรวบรวมข้อมูลได้สมบูรณ์และมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด ข้อมูลในอดีตนั้นมีจำนวนน้อย และการตรวจสอบทำได้ยาก ข้อมูลที่ใช้นี้ได้มาจากระเบียนบ่อน้ำใต้ดินของหน่วยงานราชการต่าง ๆ ที่มีการเก็บข้อมูลน่าเชื่อถือและมีจำนวนมากพอ กระจายทั่วทั้งพื้นที่และครอบคลุมทุกชั้นน้ำ เช่น กรมทรัพยากรธรณี กรมโยธาธิการ กรมการเร่งรัดพัฒนาชนบท เป็นต้น โดยส่วนใหญ่เป็นระดับน้ำที่ทำการตรวจวัดในขณะที่ทำการก่อสร้างบ่อ มิใช่การเก็บวัดระดับน้ำต่อเนื่องอย่างบ่อสังเกตการณ์มาตรฐาน ดังนั้นในการใช้งานจึงต้องทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยการดูประวัติบ่อ เปรียบเทียบกับระดับน้ำของบ่อข้างเคียงในระยะเวลาใกล้เคียงกัน และนำข้อมูลที่ได้ดำเนินการเก็บวัดอย่างต่อเนื่องทุก ๆ 2 เดือนในการศึกษาครั้งนี้ตลอดปี พ.ศ. 2543 –2544 มาพิจารณาประกอบด้วย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

การปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะไม่คงตัว มุ่งเน้นที่การตรวจสอบพารามิเตอร์ที่ผันแปรตามเวลา เช่นปริมาณการสูบน้ำ และอัตราการเติมน้ำ รายเดือน รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับการไหลในสภาวะไม่คงตัว ได้แก่ สัมประสิทธิ์การกักเก็บของน้ำ และ สัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ ข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบในขั้นตอนนี้เป็นข้อมูลระดับน้ำที่มีการเก็บวัดทุก ๆ 2 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2543 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2544 ซึ่งได้มีการวางโครงข่ายบ่อสังเกตการณ์โดยอาศัยบ่อที่มีอยู่เดิมของหน่วยงานราชการต่าง ๆ ซึ่งถูกเลือกเฉพาะบ่อที่มีประวัติการก่อสร้างชัดเจน มีการเปิดช่วงสกรีนที่แน่นอนและอยู่ในชั้นน้ำใดชั้นน้ำหนึ่งเพียงชั้นเดียว เพื่อให้ได้ข้อมูลระดับน้ำที่น่าเชื่อถือที่สุด ส่วนค่าระดับน้ำเริ่มต้นสำหรับแบบจำลองในสภาวะไม่คงตัว อาศัยระดับน้ำที่ได้จากการจำลองการไหลแบบคงตัวซึ่งใช้ข้อมูลเฉลี่ยปี พ.ศ. 2542 มาเป็นตัวแทนของระดับน้ำเริ่มต้นของเดือนมกราคม พ.ศ. 2543 ซึ่งเป็นเดือนระหว่างฤดูฝนกับฤดูแล้ง การใช้ค่าเฉลี่ยของระดับน้ำในปีก่อนหน้ามาเป็นตัวแทนจึงเป็นวิธีการที่สมเหตุสมผล และสามารถให้ผลการคำนวณได้เหมาะสมดี

ส่วนขั้นตอนของการสอบทานแบบจำลองนั้นเป็นขั้นตอนที่ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ อีกครั้งหนึ่ง หลังจากที่ได้ปรับเทียบเรียบร้อยแล้ว โดยค่าระดับน้ำที่นำมาใช้เป็นคนละชุดกับข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบ สำหรับการศึกษาครั้งนี้

ได้ทำการสอบทานแบบจำลองด้วยข้อมูลระดับน้ำรายไตรมาศของปี พ.ศ. 2532 - 2542 โดยมีที่มาจากหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งเป็นข้อมูลระดับน้ำที่มีการบันทึกไว้เมื่อได้ทำการก่อสร้างบ่อน้ำใต้ดินแต่ละบ่อ มิใช่การติดตามวัดระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์จำนวนหนึ่งติดต่อกันเป็นระยะเวลายาว ดังนั้นข้อมูลระดับน้ำที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาจึงเป็นค่าระดับน้ำของบ่อที่มีการขุดเจาะในช่วงเวลานั้น และหากเปรียบเทียบในแต่ละช่วงเวลา (แต่ละไตรมาศ) จำนวนและตำแหน่งของบ่อน้ำใต้ดินที่ใช้เป็นข้อมูลระดับน้ำในการสอบเทียบก็ย่อมแตกต่างกันไปด้วย และสาเหตุที่ทำการรวมข้อมูลเป็นรายไตรมาศนั้นเนื่องจากข้อมูลในอดีตมักมีจำนวนน้อย หากใช้ข้อมูลเป็นรายเดือนจะได้ข้อมูลในแต่ละช่วงเวลาน้อยเกินไป และมีการกระจายตัวไม่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ส่วนการกำหนดช่วงของเดือนในแต่ละไตรมาศนั้นพิจารณาจากรอบฤดูกาล โดยแบ่งเป็นฤดูแล้ง 2 ไตรมาศ และฤดูฝน 2 ไตรมาศ คือ ช่วงไตรมาศที่หนึ่ง กำหนดตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงมกราคมของปีถัดไป ช่วงไตรมาศที่สองนับจากเดือนกุมาพันธ์ถึงเมษายน ไตรมาศที่สามคือเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม และไตรมาศที่สี่คือเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม

การสอบเทียบแบบจำลองนั้นแม้จะมิได้ใช้ในการปรับแก้พารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยตรง แต่ในการศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองในขั้นตอนของการสอบทานนี้เพื่อช่วยในการตรวจสอบอัตราการสูบน้ำใต้ดินในอดีตด้วย ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลการสูบน้ำใต้ดินในอดีต โดยเฉพาะการสูบน้ำเพื่อการเกษตรกรรมจากชั้นน้ำชั้นที่ 1 ไม่มีการบันทึก หรือสำรวจ ไว้เลย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วิธีการทางด้านแบบจำลองเพื่อช่วยในการตรวจสอบและประเมิน ซึ่งได้แสดงผลของการสอบทานไว้ในหัวข้อที่ 6.1

4.7 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองคือการประเมินปริมาณความไม่แน่นอนในการปรับแก้พารามิเตอร์ของแบบจำลอง ซึ่งเกิดขึ้นจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์และข้อมูลต่าง ๆ เช่น พารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ของแบบจำลอง อัตราการสูบน้ำ อัตราการเติมน้ำ เป็นต้น ในทางกลับกัน การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองแสดงให้เห็นนัยสำคัญของพารามิเตอร์และข้อมูลเหล่านั้นว่า พารามิเตอร์หรือข้อมูลใดมีความสำคัญและส่งผลต่อผลลัพธ์ของแบบจำลองในลักษณะใด และการพัฒนาแบบจำลองจำเป็นต้องให้ความสำคัญ ในการวิเคราะห์ตรวจสอบข้อมูลที่มีนัยสำคัญสูงเหล่านั้นอย่างละเอียดอ่อน

ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ความอ่อนไหว ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ หลังจากที่ได้รับการปรับเทียบไว้แล้ว ว่าเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ผลการคำนวณสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงที่ตรวจสอบได้ ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นระบบภายในช่วงที่เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้ระดับน้ำซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการคำนวณของแบบจำลองต่างไปจากผลที่ได้เมื่อครั้งที่ทำการปรับเทียบ ผลต่างนี้คือมาตรวัดความอ่อนไหวของแบบจำลองที่มีต่อพารามิเตอร์แต่ละตัว

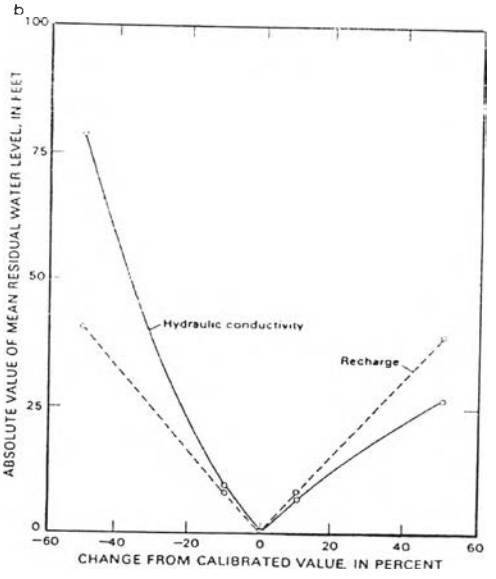
การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์เพื่อวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองนั้น วิธีการโดยทั่วไปมักกระทำโดยเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทีละตัว โดยปรับทั้งในทิศทางเพิ่มขึ้นและลดลงทีละน้อย

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองโดยทั่วไป สามารถแสดงได้ในรูปของผลต่างของระดับน้ำเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการปรับเทียบ หรืออาจแสดงโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่ได้จากการปรับเทียบ โดยอาจพิจารณาเฉพาะจุดที่มีบ่อสังเกตการณ์ หรือจุดที่สนใจในการศึกษา หรือจะพิจารณาโดยรวมทั้งพื้นที่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของปัญหาที่กำลังพิจารณา

รูปที่ 4-15 แสดงตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน สำหรับพื้นที่ราบสูงทางตะวันตกของอเมริกา (Luckey et al., 1984 อ้างถึงใน Anderson, Woessner, 1992) ซึ่งแสดงถึงการวิเคราะห์ความ

อ่อนไหวโดยการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ และอัตราการเติมน้ำ แล้ววิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองโดยพิจารณาจากค่าสัมบูรณ์ของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่ได้จากการปรับแก้

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวถูกกำหนดให้เป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งในการพัฒนาแบบจำลอง โดยพารามิเตอร์และข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ในแนวดิ่ง สัมประสิทธิ์การกักเก็บ รวมทั้งอัตราการเติมและการสูบน้ำ แล้วพิจารณาค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับค่าของแบบจำลองที่ได้จากการปรับเทียบ



รูปที่ 4-15 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง (ที่มา: Anderson, Woessner, 1992)