รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมชลประทาน. รายงานหลักงานศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นโครงการศึกษาวิธีการเพิ่มศักยภาพน้ำใต้ดิน จังหวัดสุโขทัย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2540.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดพิษณุโลก, 2544

กรมพัฒนาที่ดิน. การกำหนดลักษณะของชุดดินที่จัดตั้งในภาคกลางของประเทศไทย จำแนกใหม่ตามระบบอนุกรมวิธานดิน. สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. กรมพัฒนาที่ดิน. 2547.

กรมพัฒนาที่ดิน. ลักษณะและสมบัติของชุดดินในภาคเหนือและที่สูงตอนกลางของประเทศไทย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 53/03/48 สำนักสำรวจและวางแผน. 2548.

กรมพัฒนาที่ดิน. ลักษณะและสมบัติของชุดดินในภาคกลางของประเทศไทย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 54/03/48 สำนักสำรวจและวางแผน. 2548.

กรมอุตุนิยมวิทยา.สถิติภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 30 ปี 2514-2543. 2543

กานดา คงธรรม. การศึกษาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM สำหรับลุ่มน้ำน่าน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2545

เจริญ เชื่อมไธสง. กำเนิดน้ำบาดาล และแหล่งน้ำบาดาลในประเทศไทย. กรมทรัพยากรธรณี.2522 .

เจริญ เพียรเจริญ. น้ำบาดาล-บ่อบาดาล . กองควบคุมกิจการน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี.2540.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. รายงานฉบับสมบูรณ์การศึกษาศักยภาพและความต้องการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการจัดการน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง. สิงหาคม 2545.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2 โครงการศึกษาการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในพื้นที่ภาคกลางตอนบน. ธันวาคม 2548.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในพื้นที่ภาคกลางตอนบน. เมษายน 2549.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ภาคผนวก จ การหาศักยภาพน้ำบาดาลในแอ่งน้ำบาดาลภาคกลางตอนบน โครงการศึกษาการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในพื้นที่ภาคกลางตอนบน. กรกฎาคม 2549.

ชัยวัฒน์ ภู่วรกุลชัย. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำลำภาชีโดยแบบจำลองน้ำฝนและน้ำท่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2546.

ปณต ศิริพุทธิชัยกุล. สุจริต คูณธนกุลวงศ์. การประมาณค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน จากข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินพื้นฐาน. เอกสารประกอบการประชุมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 7. หน้า WRE 61 – 68. 2544.

ปณต ศิริพุทธิชัยกุล. การจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. 2545

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กทม.. 2544.

นิพันธ์ ช่อผกา, บุญยงค์ ภูผาเรือง. การกำหนดลักษณะและวินิจฉัยความเหมาะสมของชุดดินในภาคเหนือและที่สูงตอนกลางของประเทศไทย. กองสำรวจและจำแนกดิน. กรมพัฒนาที่ดิน. 2536.

นิวัติชัย คัมภีร์. การศึกษาข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบทางอุทกวิทยาของอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กโดยวิธี SCS สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2539.

วงศ์วัฒนา สมบุญยิ่ง. การพัฒนากรรมวิธีพันธุกรรมร่วมกับโครงข่ายใยประสาทเทียมสำหรับพยากรณ์น้ำท่ารายวันล่วงในพื้นที่ลุ่มน้ำปราจีนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. 2548.

วีระชัย ชูพิศาลยโรจน์. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่า ในลุ่มน้ำป่าสักด้วยวิธีแบบจำลองถัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2530.

วีระพล แต้สมบัติ. หลักอุทกวิทยา. กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์ฟิสิกเซ็นเตอร์. มิถุนายน 2538.

วีระพล แต้สมบัติ. อุทกวิทยาประยุกต์. กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์ฟิสิกเซ็นเตอร์. มิถุนายน 2531.

วินัย เชาวน์วิวัฒน์. การจำลองสภาพการรุกล้ำของน้ำเค็มในชั้นน้ำนนทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.

วจี รามณรงค์ และสมชัย วงศ์สวัสดิ์ . ศักยภาพน้ำบาดาลในประเทศไทย. วารสารชมรมนักอุทกวิทยา ปีที่ 2 ฉบับที่ 2-2541.2541

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรม โครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดินจังหวัดพิจิตร. กุมภาพันธ์ 2541.

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรม โครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดินจังหวัดสุโขทัย. มีนาคม 2541.

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรม โครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดินจังหวัดกำแพงเพชร. เมษายน 2541.

ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำ จ.พิษณุโลก. สถานะการณ์ระดับน้ำ. http://203.150.73.19/hydro2/mainframe.htm . 2548

สนฑ์ จินดาสงวน. การจำลองสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2540.

สุชาติ ศิริจังสกุล. แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่ารายเดือน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539.

อรนุช หล่อเพ็ญศรี . 2542 . การศึกษาศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลจังหวัดชัยนาท . กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี.

โอพาร เวศอุไร. ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบนโดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2549.

อวิรุทธ์ สุขสมอรรถ. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างนำฝนและน้ำท่า ในลุ่มน้ำบางประกงโดยใช้แบบจำลอง RIBAMAN (RBM-DOGGS).วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2538.

ภาษาอังกฤษ

Arnold, J.G., J.R. Williams and D.R. Maidment. Continuous-time water and sediment-routing model for large basins. Journal of Hydraulic Engineering 121(2)(1995):171-183.

Arnold, J.G., J.R. et al. Regional estimation of baseflow and groundwater recharge in the upper Mississippi basin. Journal of Hydrology. 227(2000):21-40.

Arlen W. Harbaugh, Edward R. Banta, Mary C. Hill and Michael G. McDonald. MODFLOW-2000, The Modular Ground-Water Model—user guide to modularization concepts and the groundwater flow process. U.S. Geological Survey. Virginia, USA. 2000.

Bejranonda W. et al. Groundwater Modeling for Conjunctive Use Investigation in Upper Central part of Thailand. Conference Proceeding, Darcy International Symposium. Dijon, France, 2006.

Bergstrom, S. Sandberg, G. Simulation of groundwater response by conceptual models – Three case studies. Nordic Hydrology. 114(2)(1983):71-83.

Brigham Young University.GMS – reference manual. Utah. 1996.

Brigham Young University.GMS 5.0 tutorial. Utah. 2004.

Bredehoeft, J.D. Pinder. G.F. Application of the digital computer for aquifer evaluation. Water Resources Research, 5(1968):1069-1093.

Charles Ellingson, Peter Schwartzman. Integration of a Detailed Groundwater Model into a Regional HSPF Model. International Ground Water Modeling Center vol XXII. Issue 1, Spring 2004. 2004.

Chow, Ven Te et al. Applied Hydrology. Singapore:McGraw Hill. 1988.

Chu, T.W., A. Shirmohammadi, H. Evaluation of the SWAT model's hydrology component in the piedmont physiographic region of Maryland. Trans. ASCE 47(4):1057-1073.

Dooge, J.C., 1973. Linear Theory of Hydrologic Systems, Technical Bulletin No.1468, Agricultural. Research Services, US Department of Agriculture. USA. 1974.

Freeze, R.A. Witherspoon. Theoretical analysis of regional groundwater flow 1: Analytical and numerical solution to the mathematical model. Water Resources Research. 2(4)(1967):155-162.

Freeze, R.A. Role of subsurface flow in generating surface runoff: 1. Base flow contributions to channel flow. Water Resources Research 8(3)(1972):609–623.

Gould, G. Siegel, D.I. .Simulation of regional flow in bedrock. south western New York – north western Pensylvania. Water Resources Research. 3(1988):671-676.

Idaho Water Resources Research Institure. Model River Representation Above Milner Dam , Preliminary Draft, University of Idaho. USA. November 2004.

Il-Moon Chung. Estimation of spatial-temporal variability of groundwater recharge by using fully coupled SWAT-MODFLOW model. Poster presentation, IAHR-GW2006 : Groundwater in Complex Environments. Toulouse, France. June, 2006.

Japan International Cooperation Agency (JICA). The study on management of groundwater and land subsidence in the Bangkok Metropolitan area and its vicinity (Summary Report). 1995.

Koch, Manfred. Groundwater and integrated Surface/Groundwater Models. Research Proposal : Development of Sustainable Surface and Groundwater Resources in the upstream Chao

Phraya River Basin using Surface Water Proposed to Department of Water Resources Engineering, Chulalongkorn University. Bangkok, Thailand, 2005.

Linsley,R.K. et al. Water Resources Engineering 4th Edition. Singapore:McGraw-Hill. 1992.

Mahadeva, K.T. Groundwater flow simulation using MODFLOW. Master's Thesis No. WA-91-9. Water Resources Engineering, Asian Institute of Technology. Thailand. 1991.

Maxwell R.M. and Miller N.L.. On the development of a coupled land surface and groundwater model. Environmental Science Division, Lawrence Livermore National Laboratory. California, USA.

Mauro Diluzio et al. Arcview Interface for SWAT 2000 User's Guide. Blackland Research Center, Texas, USA. July 2001.

Mauro Diluzio et al. AVSWAT - X short Tutorial. Third Conference on Watershed Management to Meet Water Quality Standards and Emerging TMDL, Georgia, USA, March 2005.

NASA, SRTM global processor (Digital Elevation Model, DEM). 2003

Nation Exposure Research Laboratory. Hydrological simulation program-FORTRAN user manual for release 12. Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. Athens, Georgia, USA, 2000.

Neitsch, S.L. et al. Soil and Water Assessment Tool User's Manual Version 2000. Grassland Soil and Water Research Laboratory. USA. April 2001.

Neitsch, S.L. et al. Soil and Water Assessment Tool input/output file documentation Version 2005. Grassland Soil and Water Research Laboratory. USA. July 2005.

Neitsch, S.L. et al. Soil and Water Assessment Tool Theoretical documentation Version 2005. Grassland Soil and Water Research Laboratory. USA. July 2005

Orhan Gunduz, Mustafa M. Aral. River networks and groundwater flow: a simultaneous solution of a coupled system. Journal of Hydrology. 301(2005):216–234.

Philip W. Gassman et al., SWAT Peer-Reviewed Literature : A Review. Proceeding of 3rd International SWAT Conference. pp. 1-18. Switzerland. 2005.

Pinder, G.F., Sauer, S.P. Numerical simulation of flood wave modification due to bank storage effects. Water Resources Research 7(1)(1971):63–70.

Rudolph, D.L. Sudicky, E.A. Simulation of groundwater flow in complex multi aquifer systems: Performance of a quasi three-dimensional technique in the steady-state case. Canadian Geotechnical Journal. 27(5)(1990):590-599.

Singh, V.P. Elementary Hydrology. Prentice Hall. NJ. 1992.

Smith, R.E., Woolhiser, D.A. Overland flow on an infiltrating surface. Water Resources Research 7 (4), 899–913. . 1971

Smits F.J. C., Hemker C.J. Modeling the interaction of surface-water and groundwater flow by linking Duflow to Microflow. Hydrology and Geo—Environmental sciences, Vrije University, Amsterdam , The Netherlands. 2004.

Storm Water Management Department, City of Lubbock. Determination of storm runoff. stormwater.ci.lubbock.tx.us. Texas, USA.

Suddiqui, A.H. Extended simulation study of multi-aquifer syatem in Bangkok. Master's Thesis No. WA-87-28. Water Resources Engineering, Asian Institute of Technology. Thailand. 1987.

Swain, E.D., Wexler, E.J. A coupled surface water and groundwater model, Proceedings of the 1991 National Conference on Irrigation and Drainage, Honolulu, Hawaii 1991 pp. 330–336. 1991.

Todd, David Keith.Groundwater Hydrology, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1980.

Tsou, M. S. Whittemore, D. O. User interface for ground-water modeling: Arcview extension. Journal of Hydrologic Engineering. 6(3)(2001):251 – 257.

U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Handbook, title 430-VI. [Online] . http://soils.usda.gov/technical/handbook. 2005.

ภาคผนวก

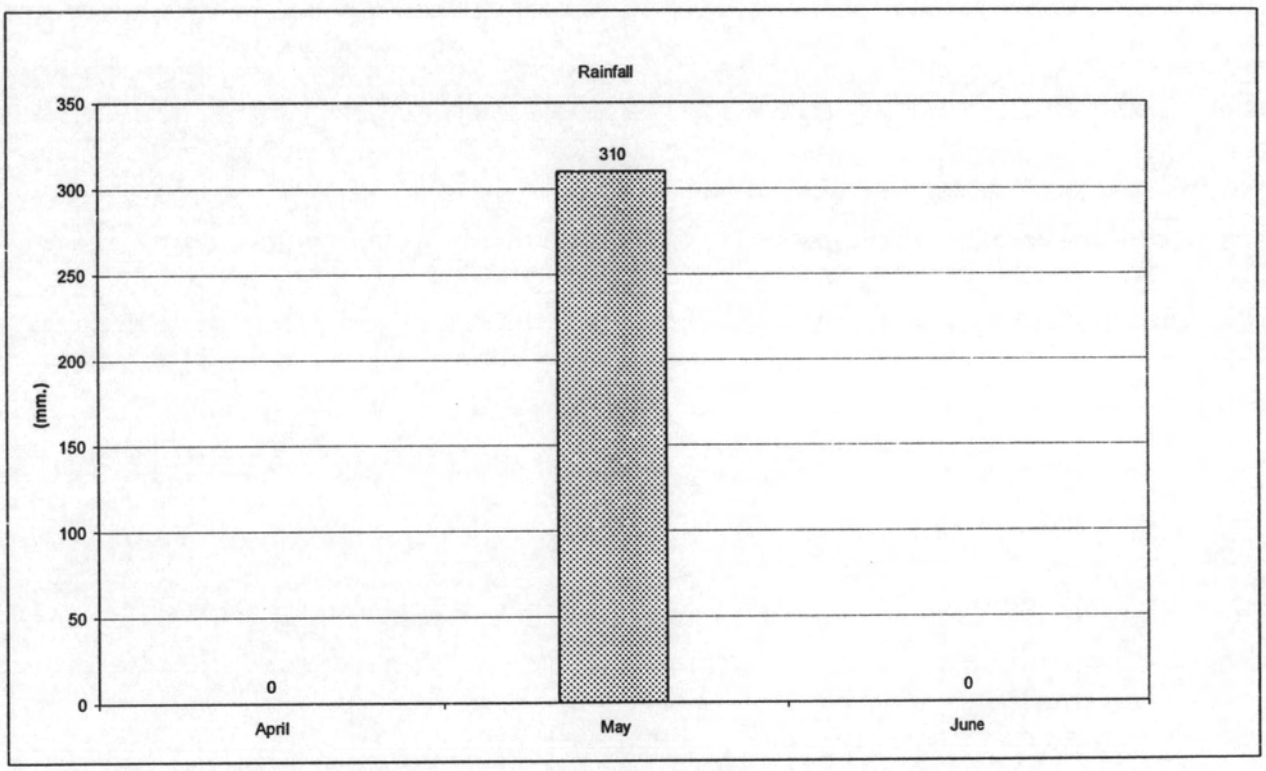
ภาคผนวก ก

การใช้โปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลองกับพื้นที่ศึกษาอย่างง่าย และการทดสอบการเชื่อมต่อแบบจำลอง

1) การประยุกใช้การเชื่อมต่อกับพื้นที่ศึกษาอย่างง่าย

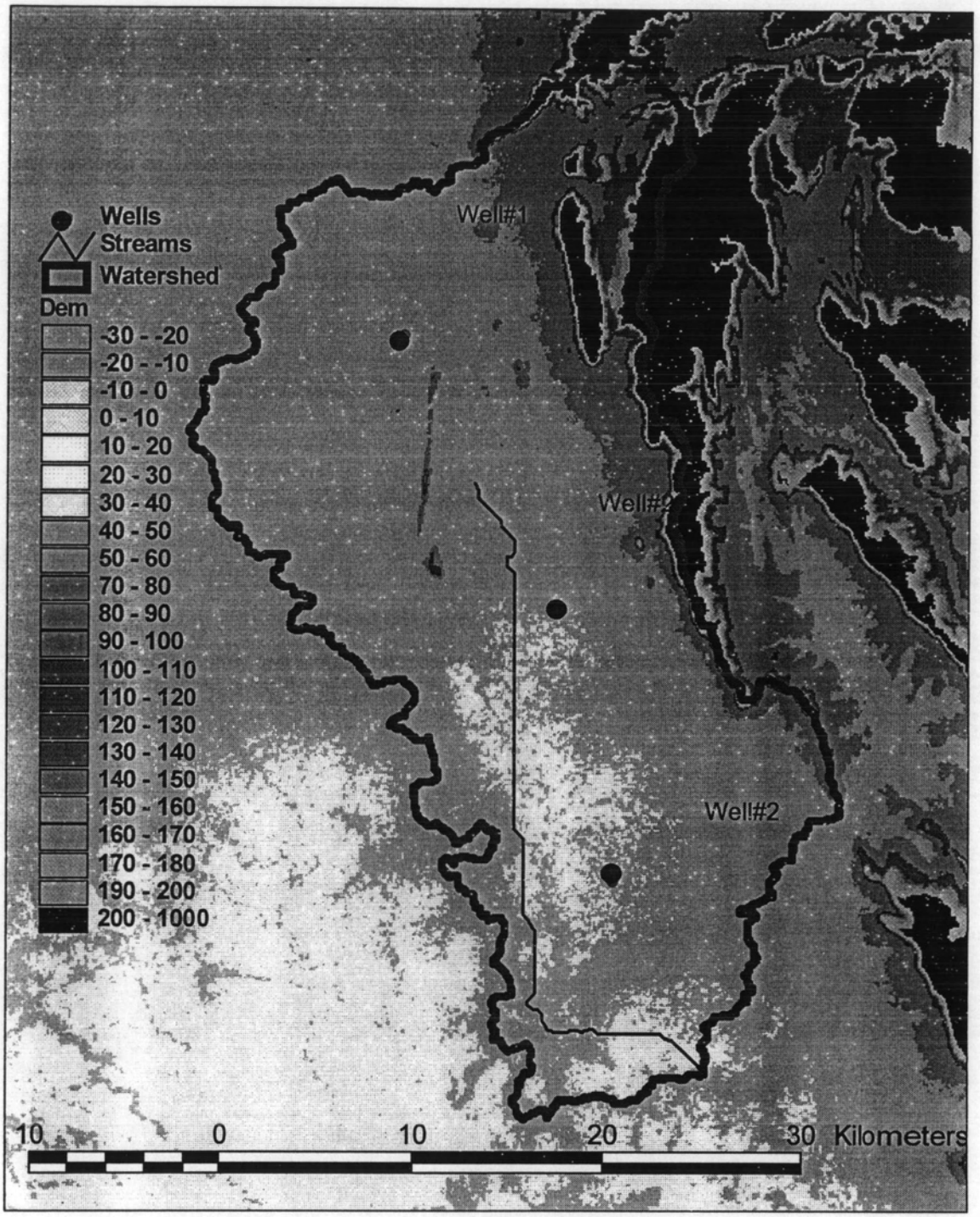
การศึกษาการเชื่อมต่อแบบจำลองการไหลของน้ำผิวดินและใต้ดินในพื้นที่ศึกษา ขนาด 944 ตร.กม. ที่มีบ่อน้ำใต้ดินในพื้นที่ จำนวน 3 บ่อ ดังรูปที่ ก-2 เพื่อศึกษาหาน้ำท่าและ ระดับน้ำในช่วง 3 เดือน โดยบ่อน้ำใต้ดินจำนวน 3 บ่อ มีอัตราการสูบดังนี้

Well#1	20,000 ลบ.ม./วัน
Well#2	20,000 ลบ.ม./วัน
Well#3	50,000 ลบ.ม./วัน

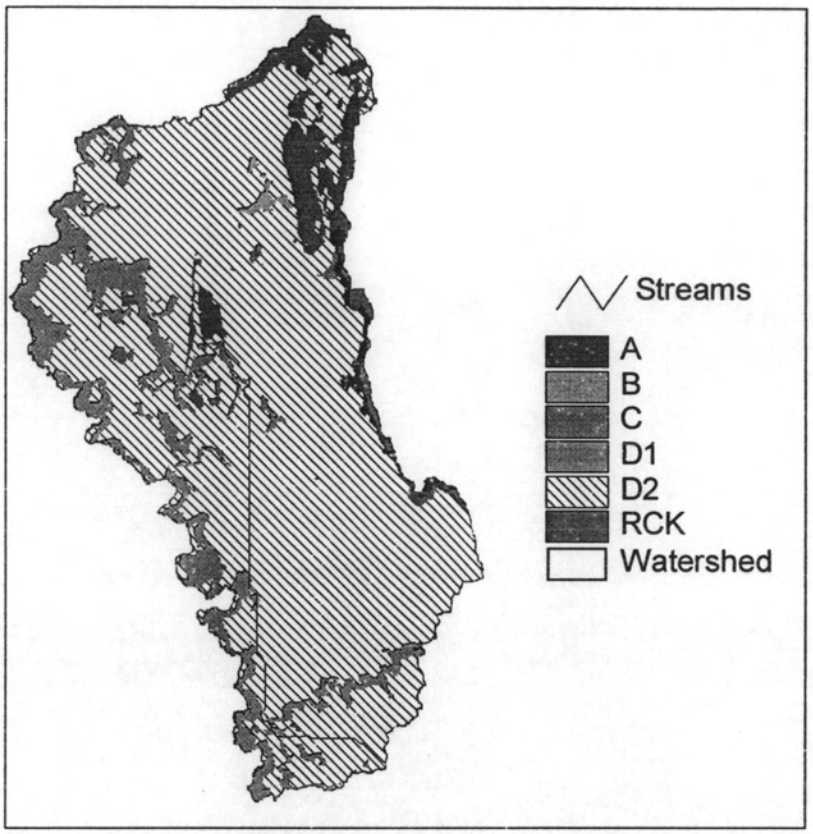


รูปที่ ก-1 ปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ศึกษาอย่างง่าย

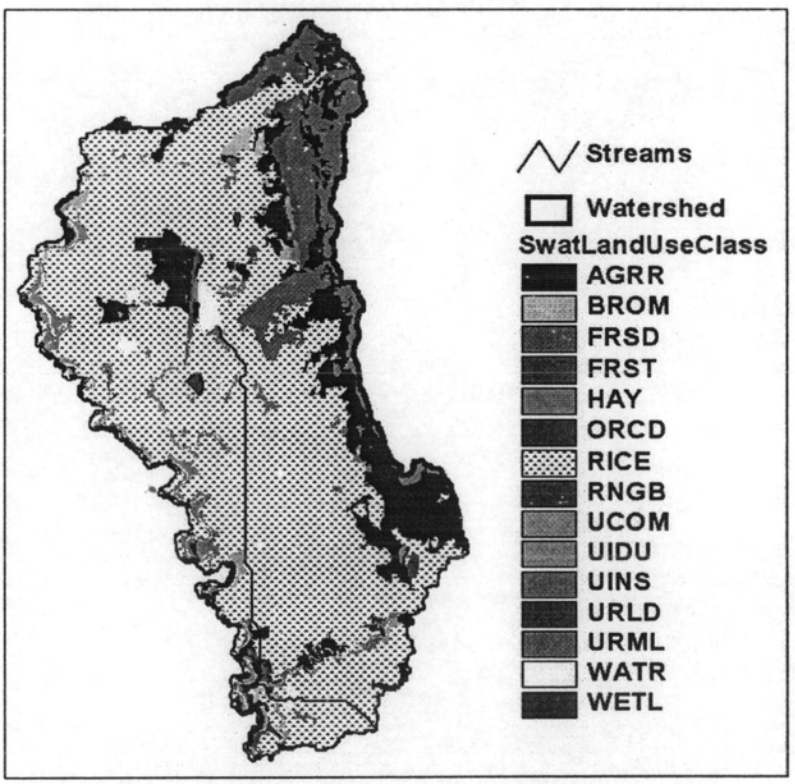
โดยพื้นที่ศึกษาอย่างง่ายปรกอบด้วยชุดดิน ดังแสดงในรูปที่ ก-3 และมีรูปแบบการใช้ที่ดินดังแสดงในรูป ก-4 โดยมีรายละเอียดในตารางที่ ก-1 และ ก-2



รูปที่ ก-2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาและบ่อน้ำใต้ดินที่มีอยู่



รูปที่ ก-3 แผนที่ชนิดดินในพื้นที่ศึกษาทดสอบแบบจำลอง



รูปที่ ก-4 แผนที่การใช้ที่ดินในพื้นที่ทดสอบแบบจำลอง

ตารางที่ ก-1 สัดส่วนการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษาอย่างง่าย

LANDUSE	**สัดส่วน**
RICE	64.34
AGRR	15.52
FRSD	7.5
URML	5
WATR	2.09
FRST	1.94
RNGB	1.15
BROM	0.61
UCOM	0.49
ORCD	0.44
UINS	0.3
HAY	0.2
WETL	0.2
UIDU	0.17
URLD	0.05
ผลรวม	*100*

ตารางที่ ก-2 สัดส่วนการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษาอย่างง่าย

Soil Type	**สัดส่วน**
D2	67.12
C	20.71
RCK	7.54
B	3.65
A	0.98
D1	0.02
ผลรวม	*100*

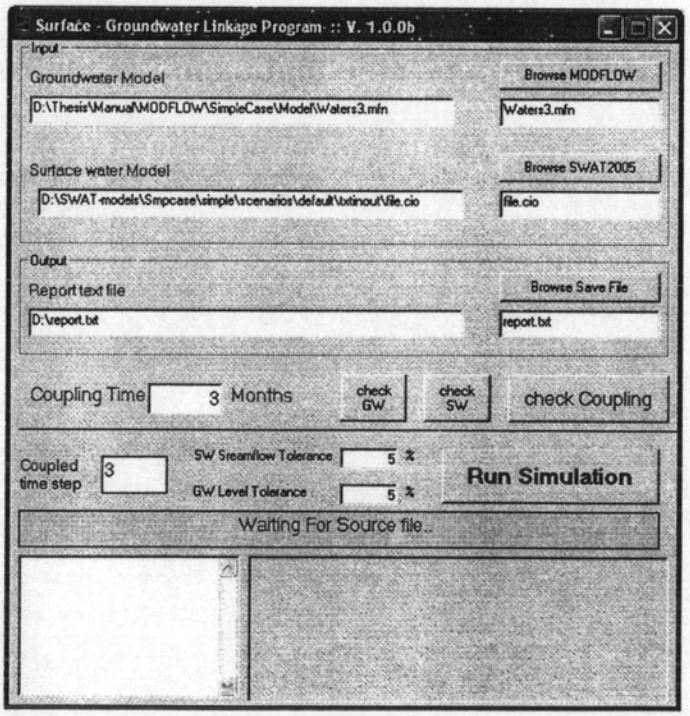
2) การคำนวณด้วยวิธีการเชื่อมต่อแบบจำลอง

ขั้นตอนการใช้โปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลองโดยการคำนวณโดยใช้แบบจำลองที่ได้พัฒนาการเชื่อมต่อแล้วมาคำนวณหาสมดุลน้ำในพื้นที่ศึกษาอย่างง่าย ในหัวข้อนี้ได้กล่าวถึงผลการดำเนินการแบบจำลองที่ได้เชื่อมต่อกันแล้ว โดยรายละเอียดและขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองได้อธิบายไว้ในภาคผนวก ข โดยการสร้างแบบจำลองโดยสรุปมีดังนี้

1. เริ่มจากการสร้างแบบจำลองน้ำผิวดินในโปรแกรม AVSWAT-X
   i. สร้างพื้นที่ลุ่มน้ำ กำหนดรูปแบบการใช้ที่ดินและชนิดดินในพื้นที่ศึกษา และนำเข้าสภาพภูมิอากาศ ตามข้อมูลฝนที่กำหนดไว้
   ii. ดำเนินการคำนวณแบบจำลองในช่วง 3 เดือนและทำการบันทึกผลลัพธ์เป็นรายเดือน

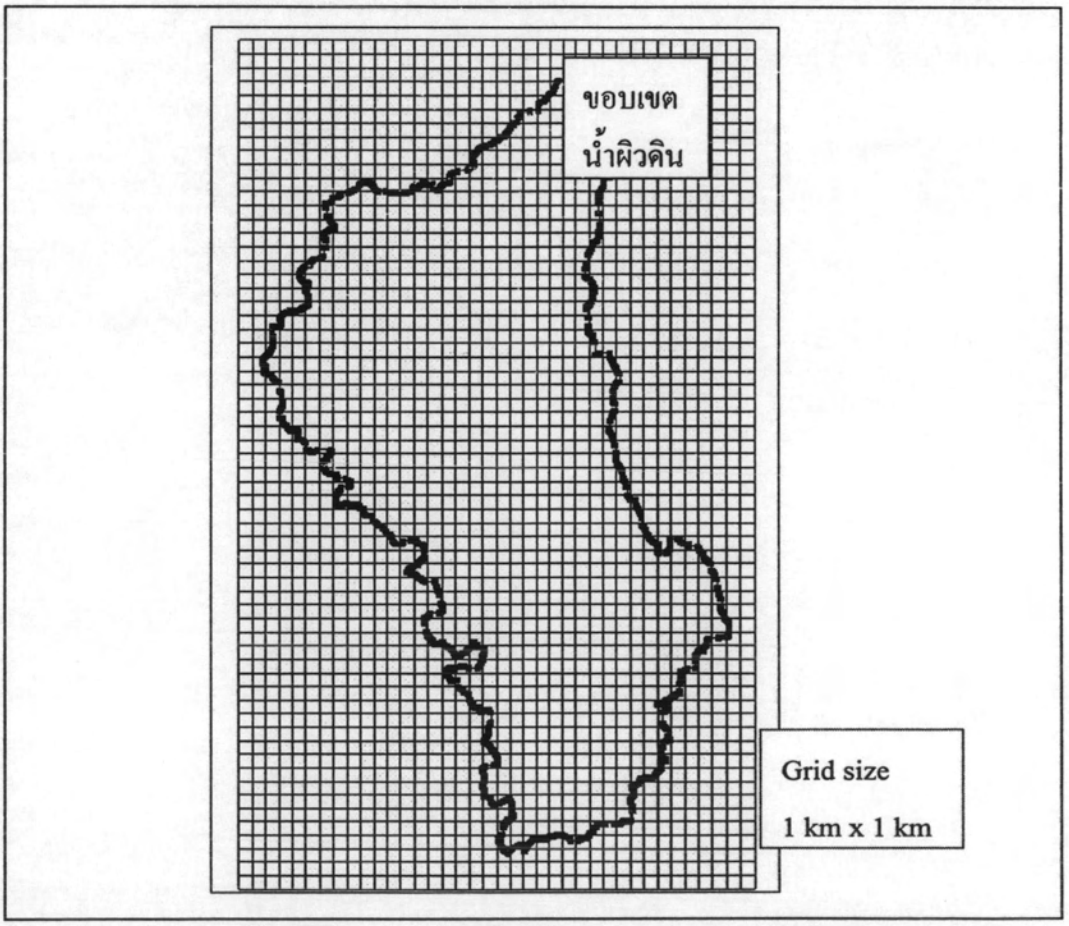
2. สร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินตามขอบเขตของพื้นที่ศึกษาของน้ำผิวดิน
   i. สร้างแบบจำลองนำใต้ดินตามขอบเขตของลุ่มน้ำผิวดิน โดยสร้างแบบจำลองกริดเซลล์ในขอบเขตของพื้นที่ศึกษา
   ii. นำเส้นลำน้ำจากแบบจำลองน้ำผิวดินมาสร้างเส้นลำน้ำ กำหนดจุดบ่อน้ำใต้ดินจำนวน
   iii. กำหนดช่วงเวลาในการดำเนินแบบจำลองน้ำใต้ดินให้สอดคล้องกับแบบจำลองน้ำผิวดิน

3. ใช้โปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ดังแสดงในรูปที่ ก-5



รูปที่ ก-5 การใช้โปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลองในการเชื่อมแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดิน

รูปที่ ก-6 การออกแบบพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของแบบจำลองน้ำผิวดิน(SWAT)ของพื้นที่ศึกษาอย่างง่าย



รูปที่ ก-7 การออกแบบกริดเซลล์ของแบบจำลองน้ำใต้ดิน(MODFLOW)ของพื้นที่ศึกษาอย่างง่าย

ขั้นตอนการใช้โปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลอง โดยใช้แบบจำลองที่ได้พัฒนาการเชื่อมต่อแล้วมาคำนวณหาสมดุลน้ำในพื้นที่ศึกษาอย่างง่ายที่ได้แสดงตัวอย่างไว้ในหัวข้อ 5.6 มีขั้นตอนการสร้างแบบจำลองดังนี้

1. เริ่มจากการสร้างแบบจำลองน้ำผิวดินในโปรแกรม AVSWAT-X

   i. สร้างพื้นที่ลุ่มน้ำ จากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ โดยการกำหนดพื้นที่ศึกษา จากนั้นให้โปรแกรม สร้างเส้นลำน้ำและขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำและลุ่มน้ำย่อย ดังแสดงในรูปที่ ก-6 ถึง ก-9

   ii. กำหนดรูปแบบการใช้ที่ดินและชนิดดินในพื้นที่ศึกษา และกำหนดสัดส่วนขั้นต่ำของประเภทดินและการใช้ที่ดินที่นำมาคำนวณในแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ ก-10 ถึง ก-12

   iii. นำเข้าสภาพภูมิอากาศ โดยกำหนดให้มีฝนดังนี้ ดังรูปที่ ก-13

เดือนเมษายน	ไม่มีฝน
เดือนพฤษภาคม	10 ม.ม./วัน
เดือนมิถุนายน	ไม่มีฝน

   iv. ดำเนินการคำนวณแบบจำลองในช่วง 3 เดือนและทำการบันทึกผลลัพธ์เป็นรายเดือน ดังแสดงในรูปที่ ก-14

2. เมื่อดำเนินการแบบจำลองเสร็จแล้วจึงนำข้อมูลรูปร่าง ของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ได้สร้างไว้ในแบบจำลองน้ำผิวดิน ส่งออกมาเป็นข้อมูล GIS ในรูปแบบของ shape file

3. สร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินตามขอบเขตของพื้นที่ศึกษาของน้ำผิวดิน

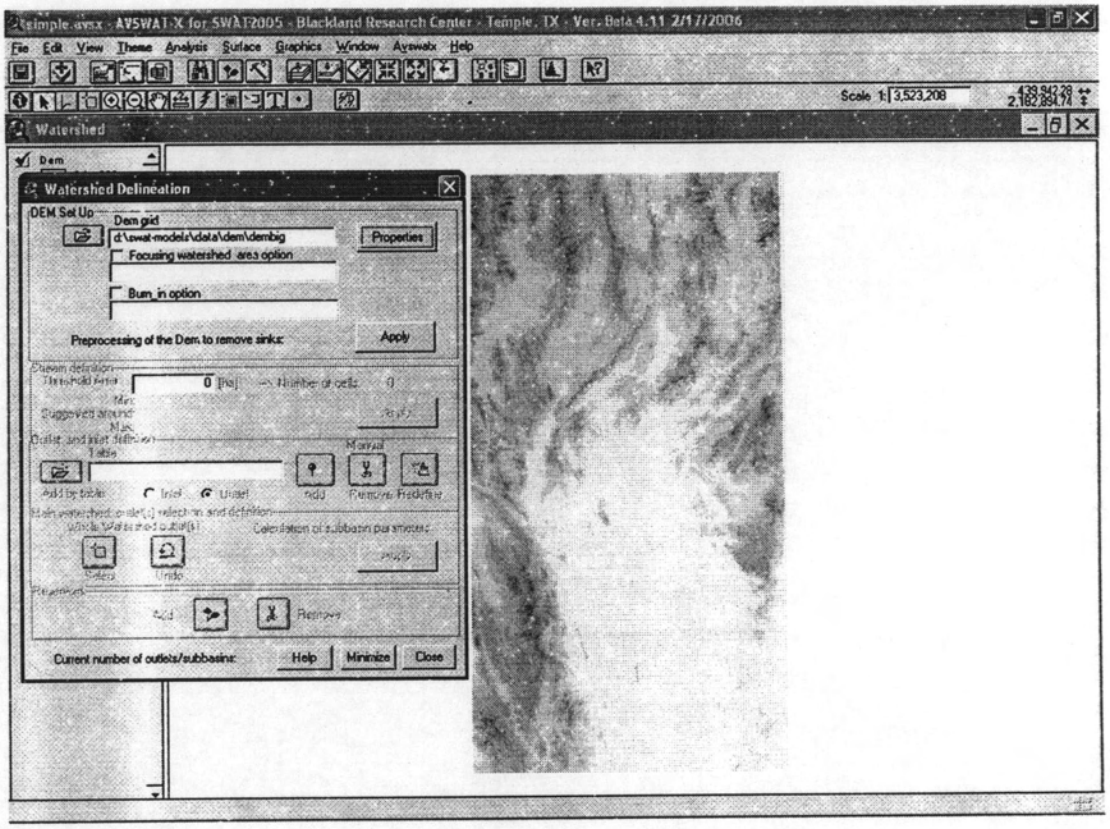
   v. สร้างแบบจำลองนำใต้ดินตามขอบเขตของลุ่มน้ำผิวดิน รวมทั้งเส้นลำน้ำจากแบบจำลองน้ำผิวดิน โดยการนำเข้า shape file ดังแสดงในรูปที่ ก-15

   vi. สร้างแบบจำลองกริดเซลล์ในขอบเขตของพื้นที่ศึกษา ด้วยแบบจำลอง MODFLOW ดังรูปที่ ก-16 และ ก-17

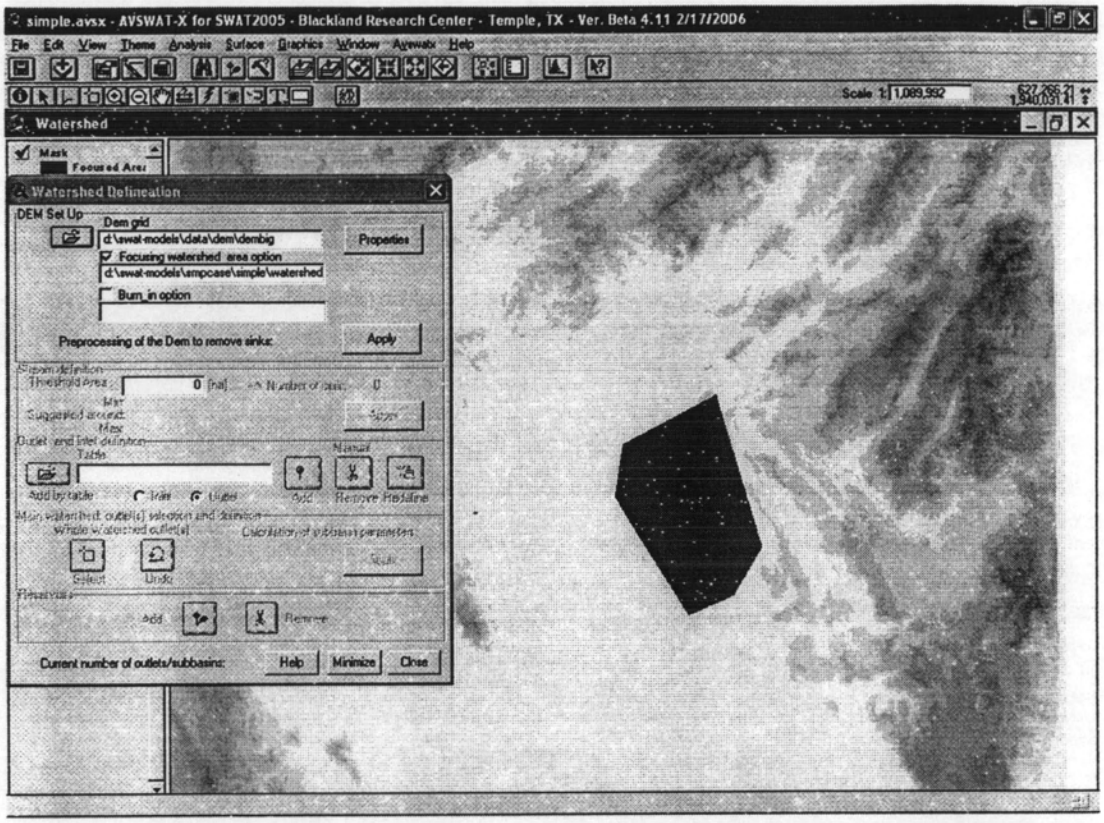
   vii. นำเส้นลำน้ำจากแบบจำลองน้ำผิวดินมาสร้างเส้นลำน้ำใน River Package ของโปรแกรม MODFLOW ดังรูปที่ ก-18

viii. กำหนดจุดบ่อน้ำใต้ดินจำนวน 3 บ่อ โดย 2 บ่อทางทิศเหนือมีอัตราการใช้น้ำใต้ดิน 20,000 ลบ.ม./วัน และบ่อทางด้านทิศใต้ 50,000 ลบ.ม./วัน ดังรูปที่ ก-19

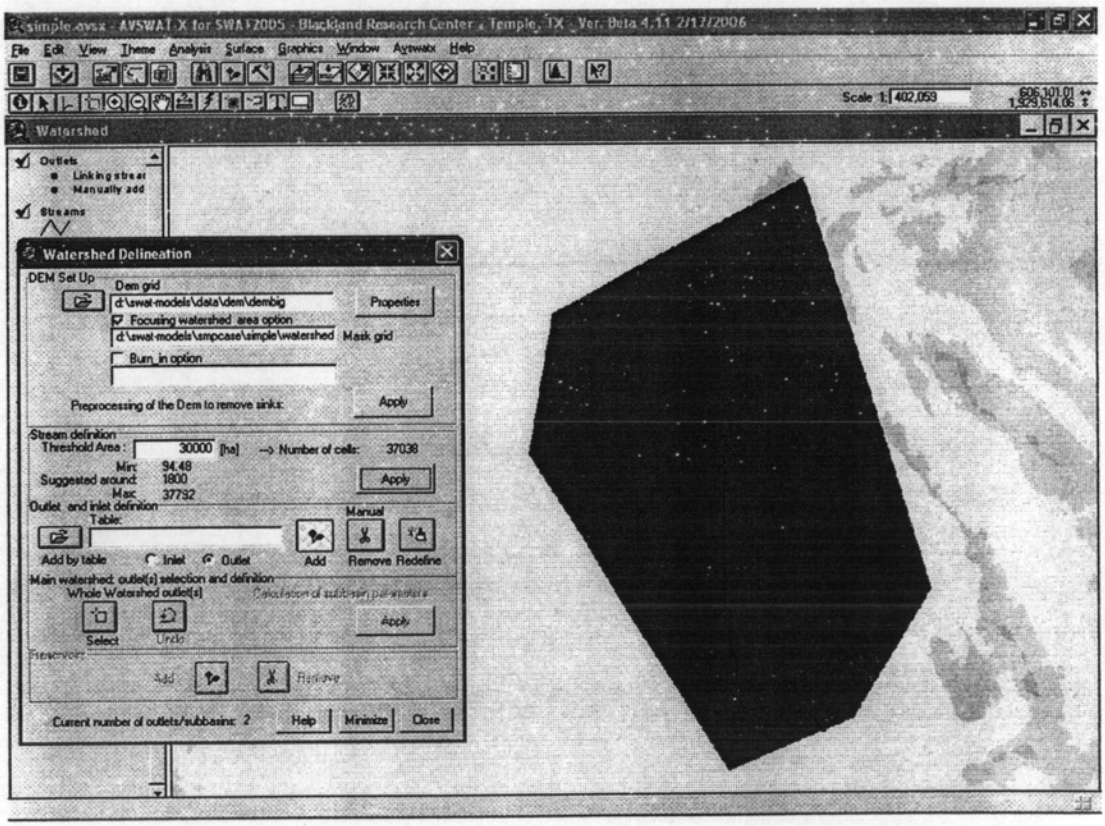
ix. กำหนดช่วงเวลาในการดำเนินแบบจำลองน้ำใต้ดินให้สอดคล้องกับแบบจำลองน้ำผิวดิน และทำการดำเนินแบบจำลอง ดังรูปที่ ก-20 และ ก-21 ซึ่งได้ผลการดำเนินดังรูปที่ ก-22 ใช้โปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ดังแสดงในรูปที่ ก-23



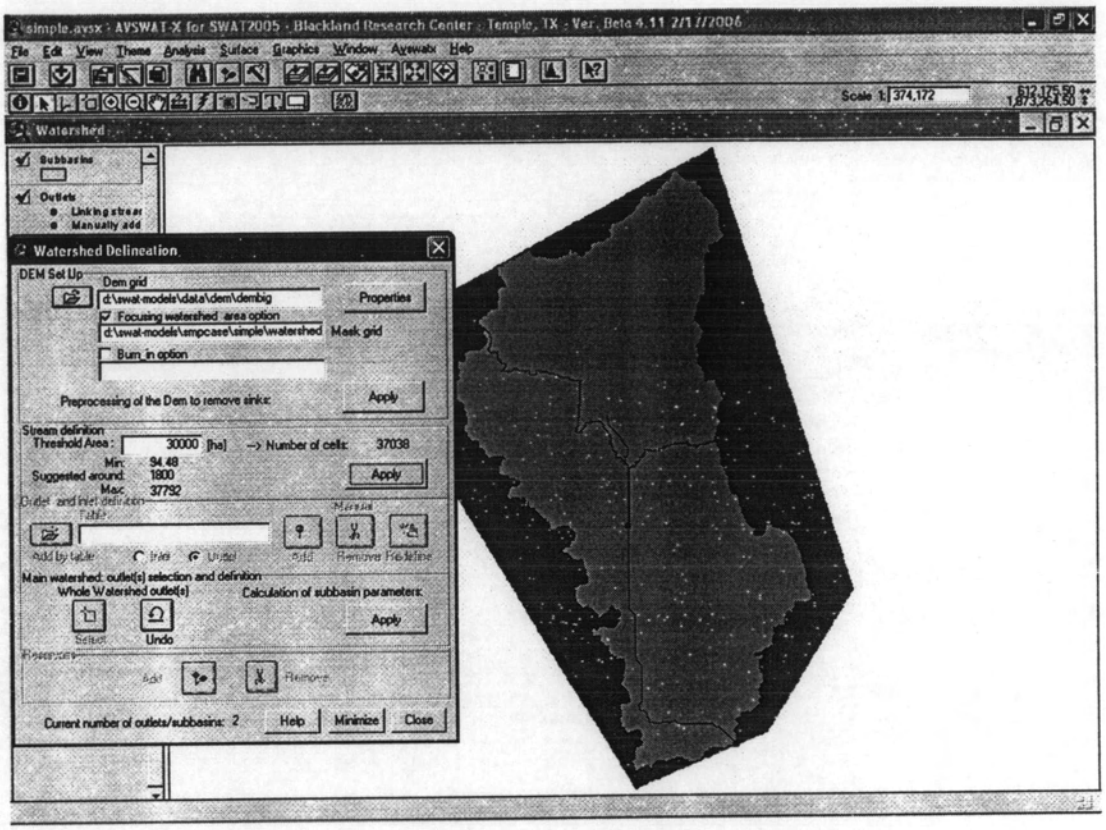
รูปที่ ก-8 นำเข้าข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM)



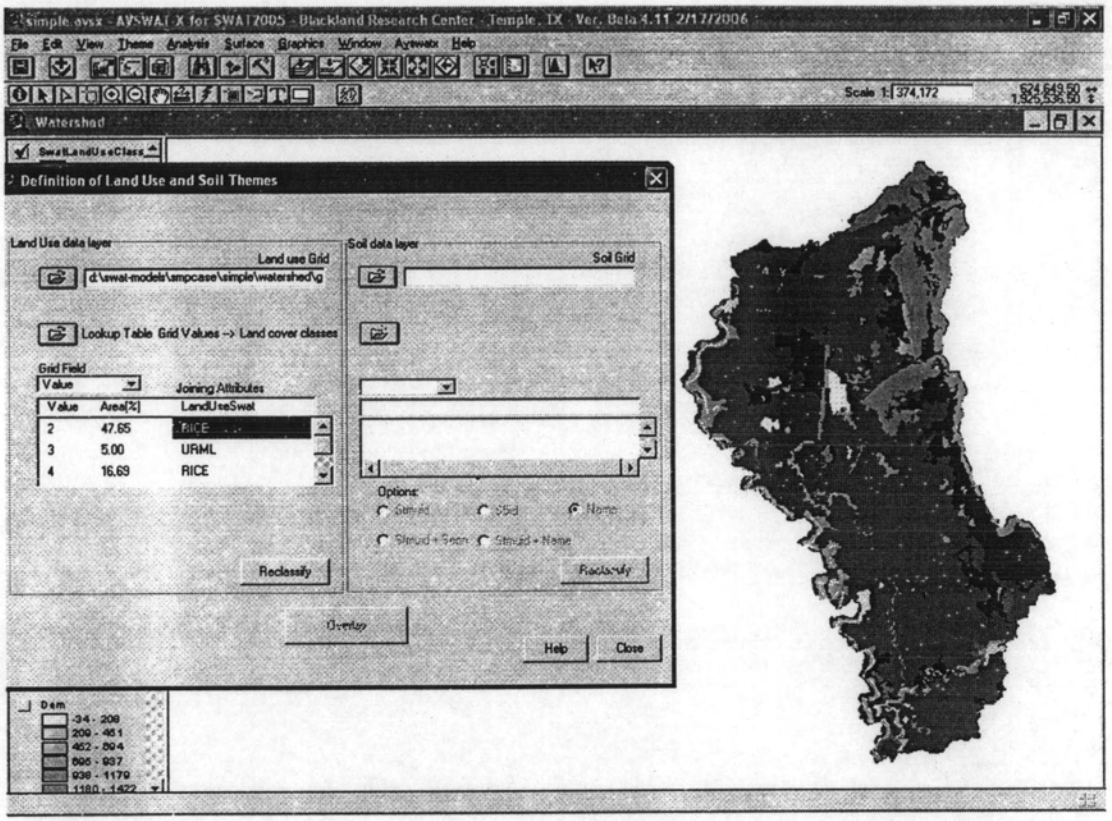
รูปที่ ก-9 กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา



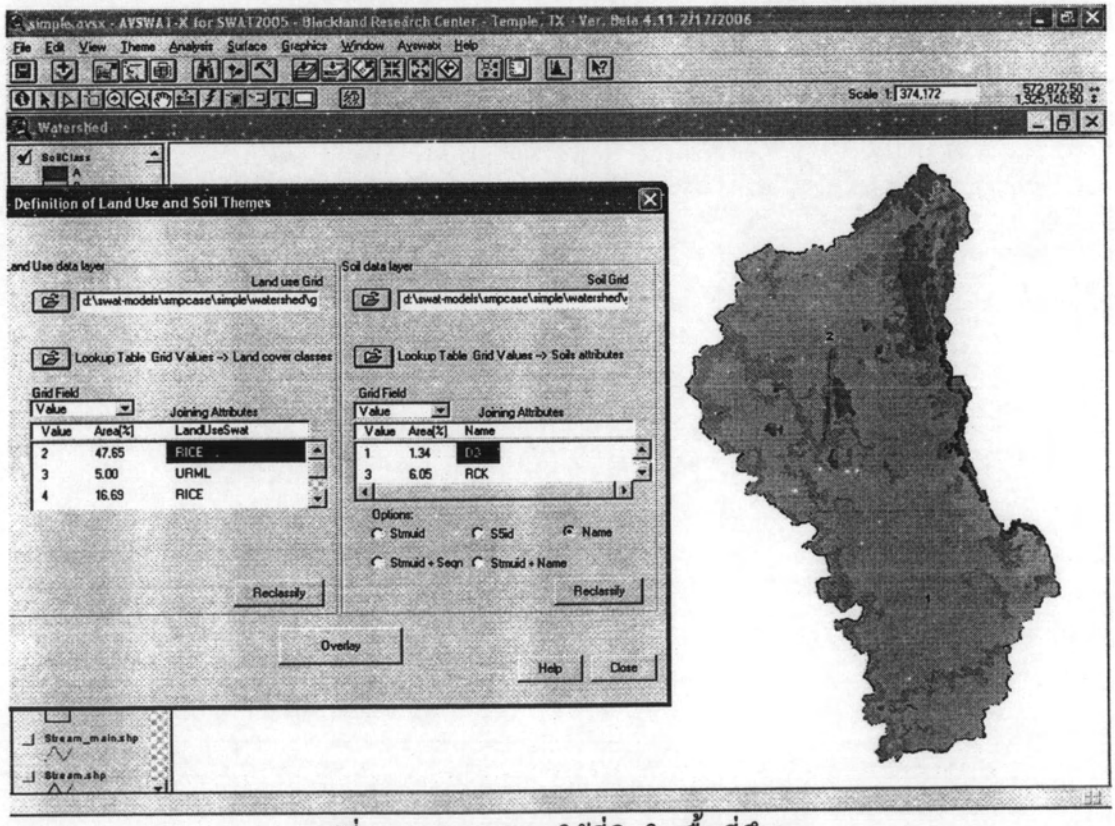
รูปที่ ก-10 เส้นลำน้ำในพื้นที่ศึกษาจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศ



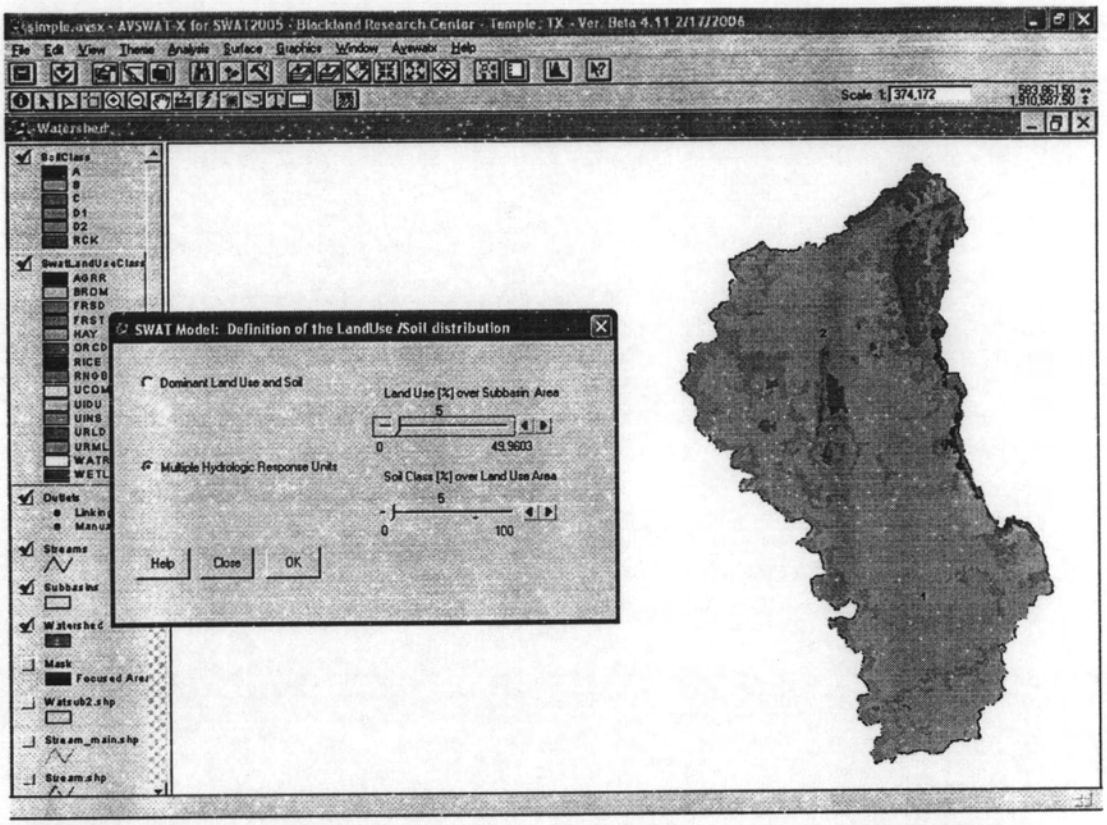
รูปที่ ก-11 ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำและลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่ศึกษา



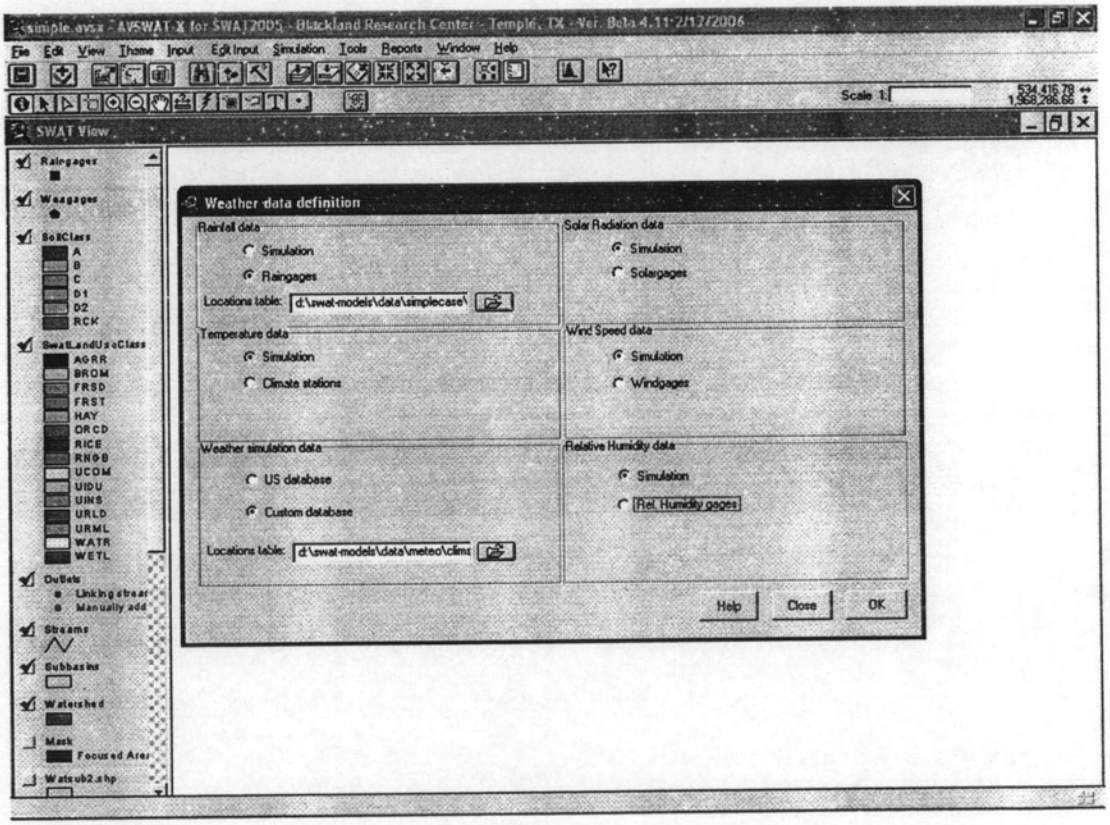
รูปที่ ก-12 กำหนดการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษา



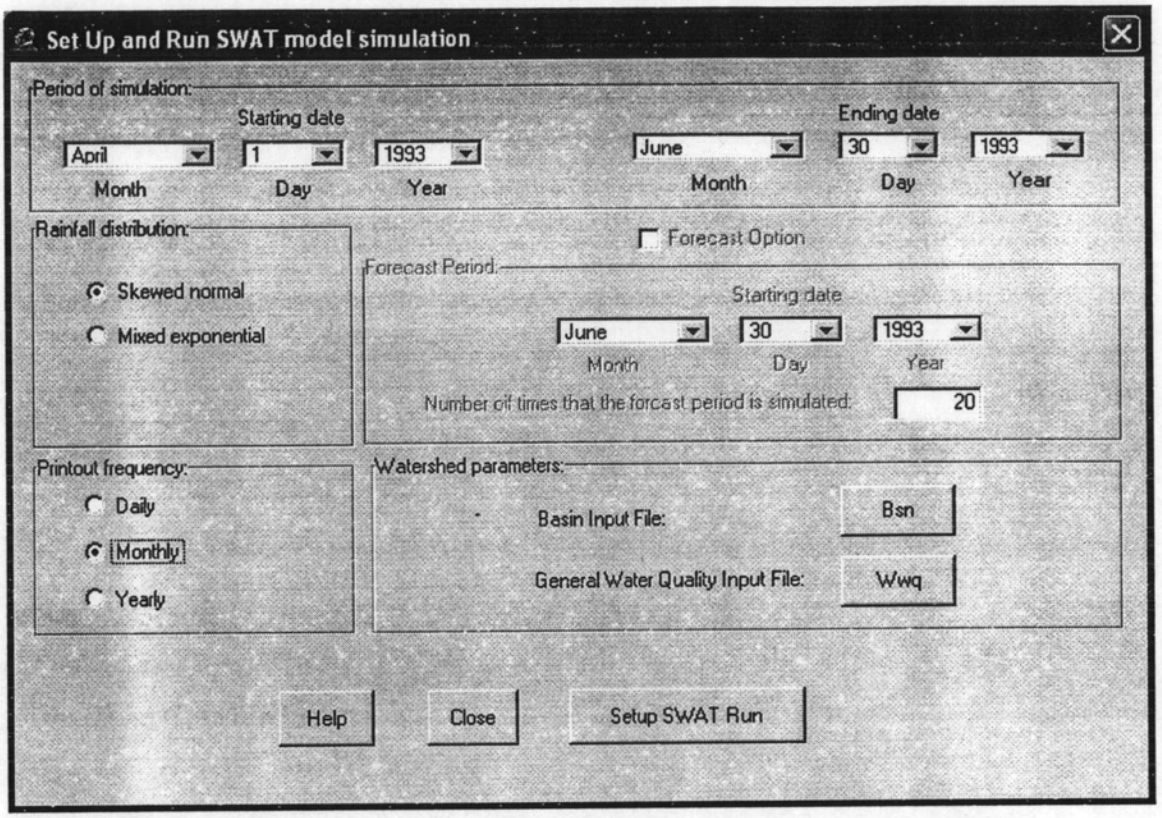
รูปที่ ก-13 กำหนดการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษา



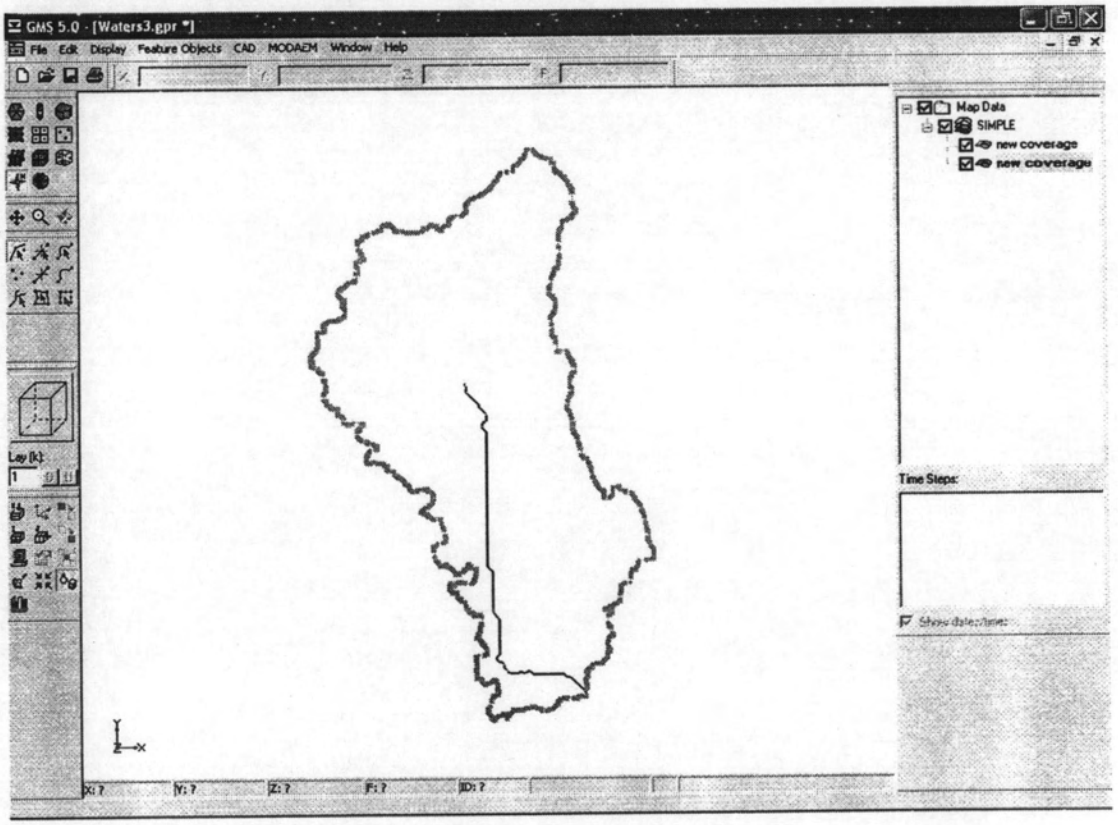
รูปที่ ก-14 กำหนดสัดส่วนขั้นต่ำของประเภทดินและการใช้ที่ดินที่นำมาคำนวณ



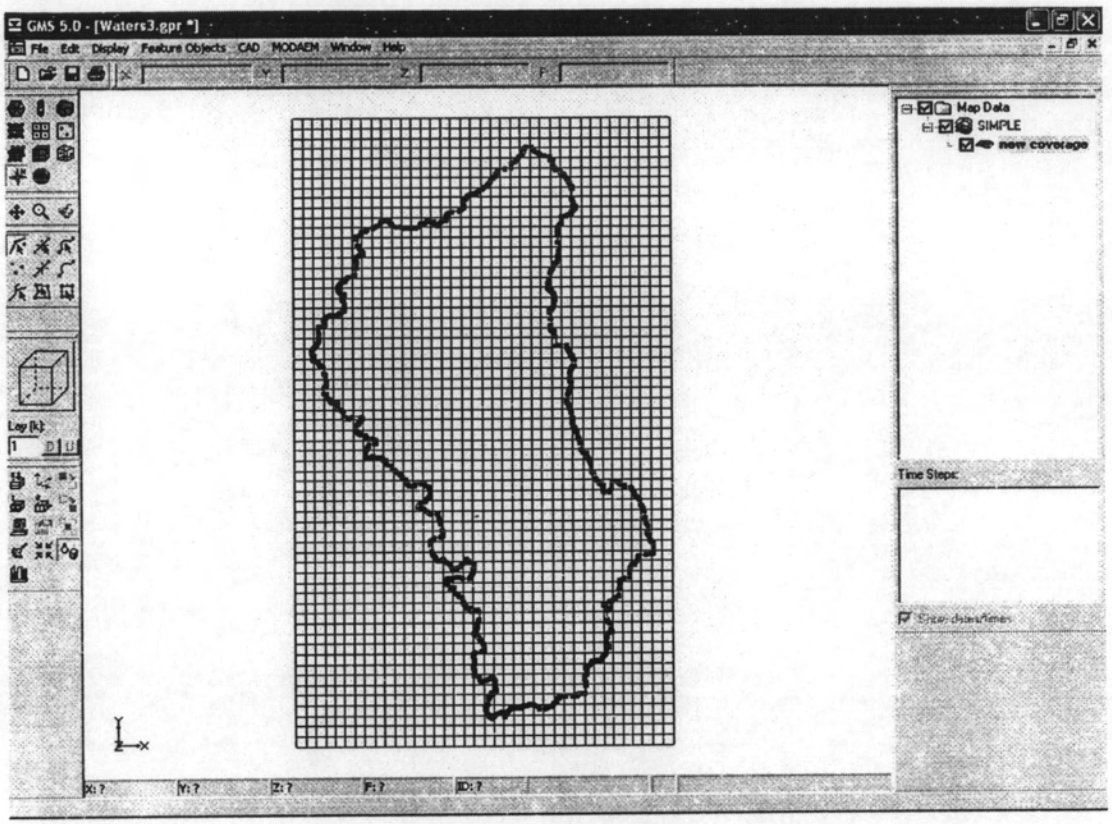
รูปที่ ก-15 กำหนดสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษา



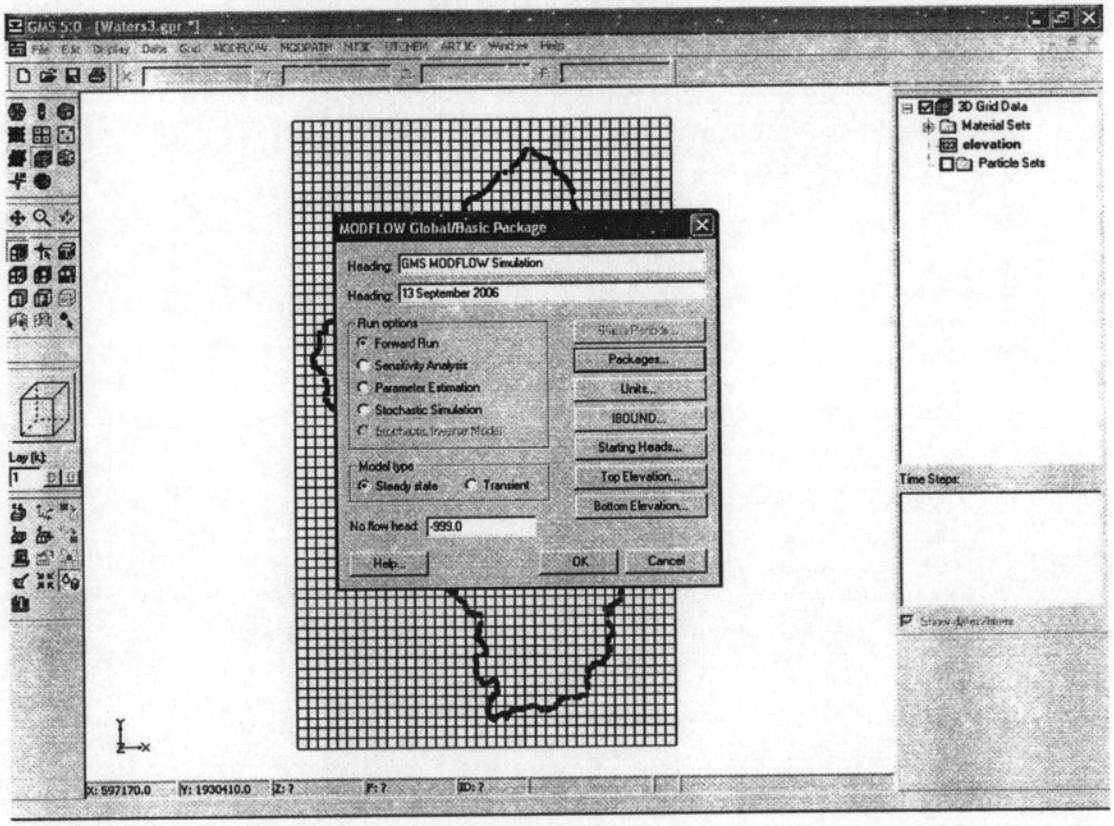
รูปที่ ก-16 กำหนดการดำเนินแบบจำลองตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน



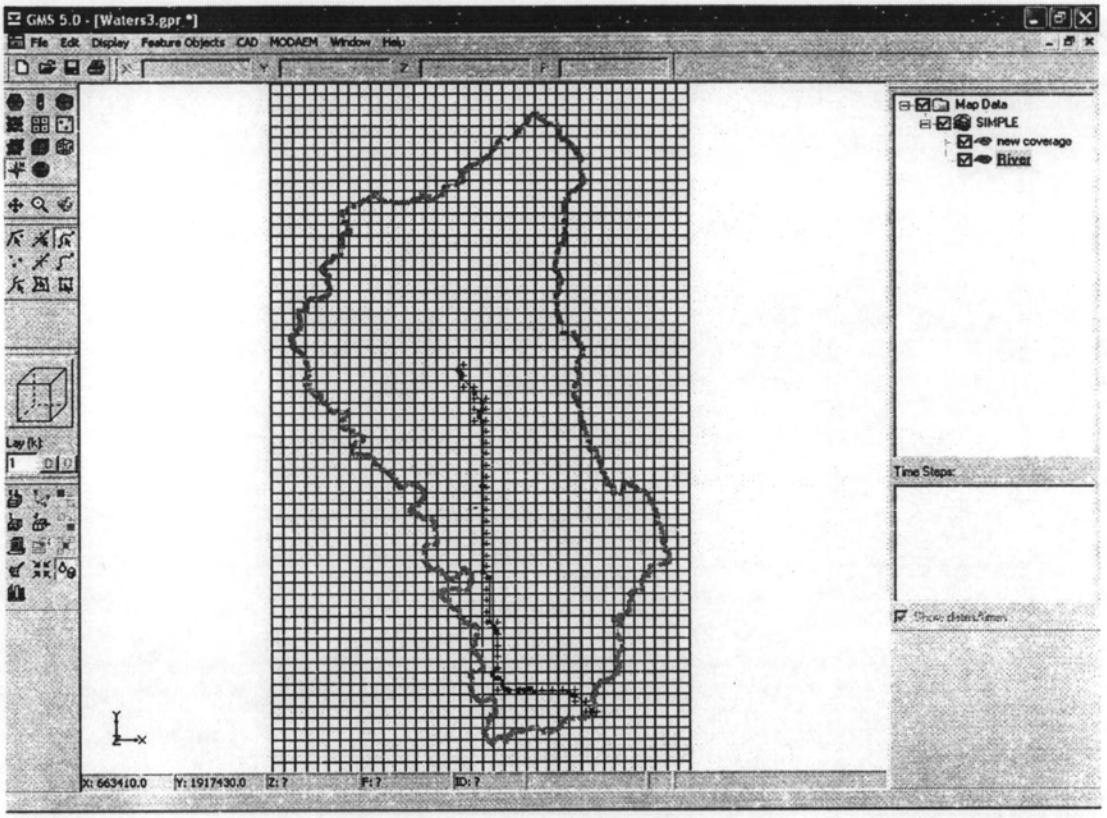
รูปที่ ก-17 นำเข้าขอบเขตลุ่มน้ำผิวดินและลำน้ำเพื่อสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดิน



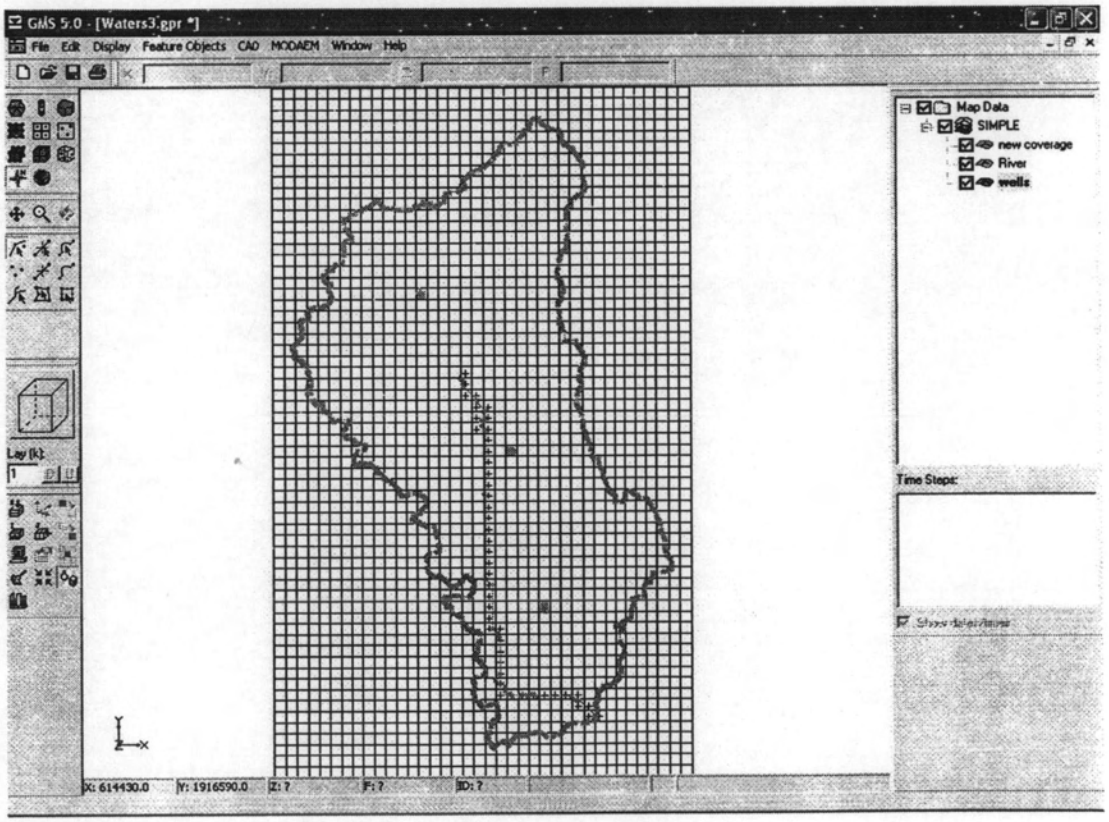
รูปที่ ก-18 สร้างแบบจำลองกริดเซลล์ในพื้นที่ศึกษา



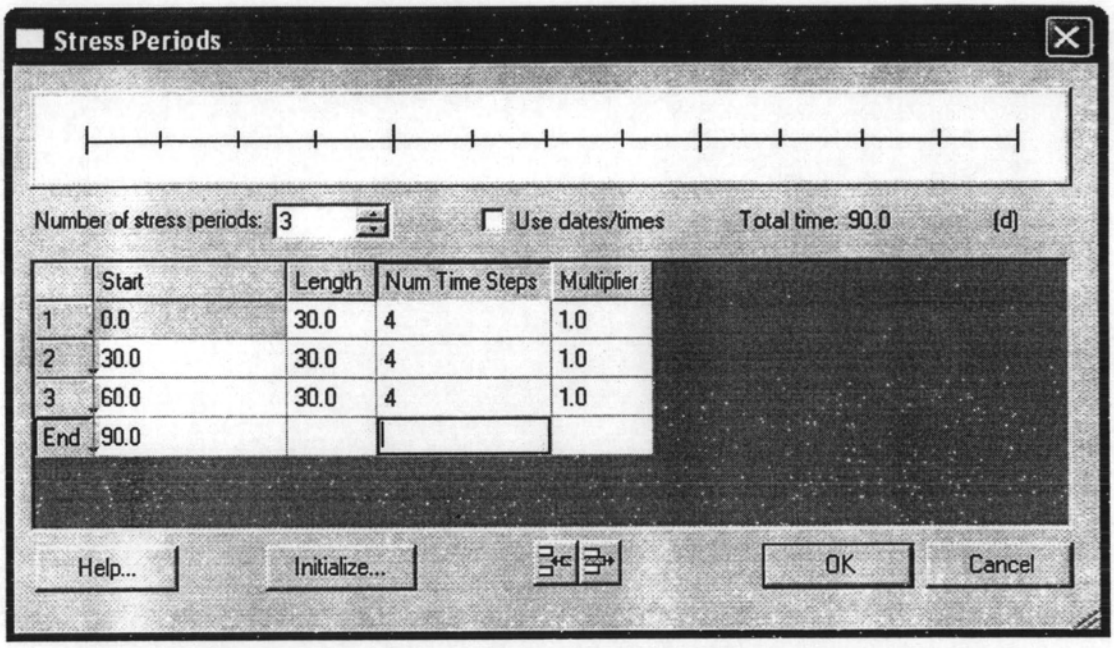
รูปที่ ก-19 กำหนดคุณสมบัติของแบบจำลอง MODFLOW



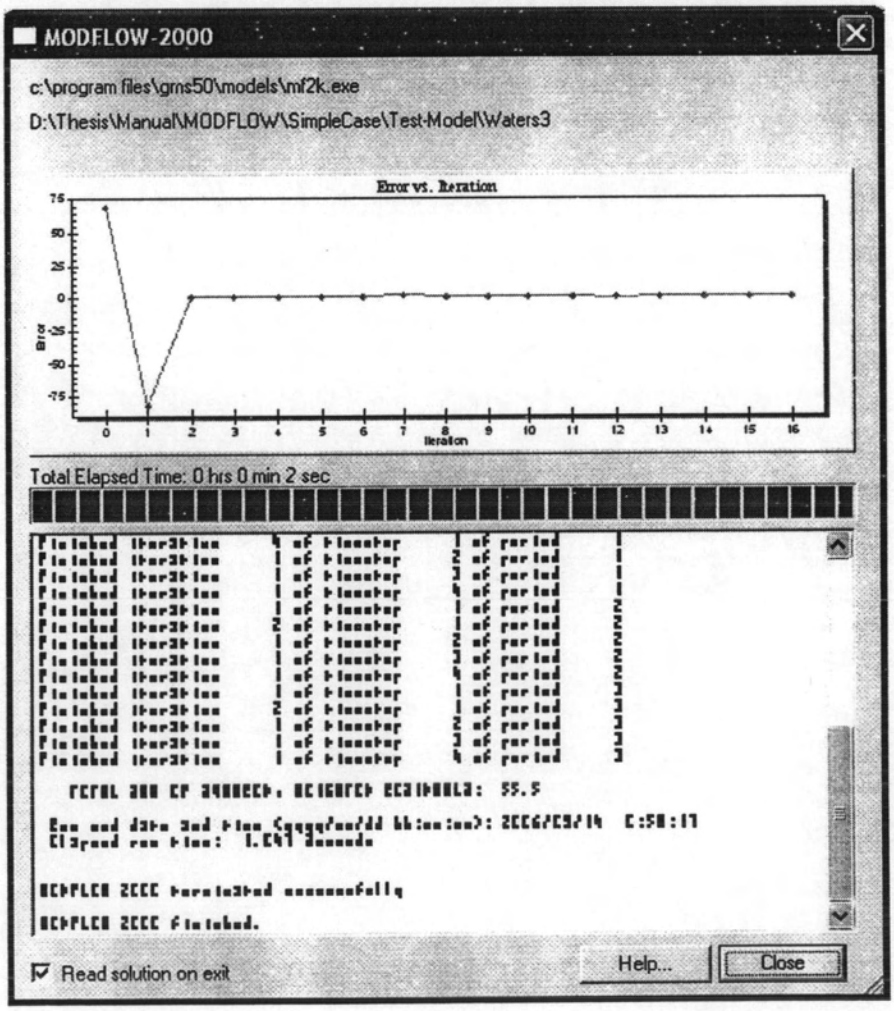
รูปที่ ก-20 สร้าง River Package จากเส้นลำน้ำของแบบจำลองน้ำผิวดิน



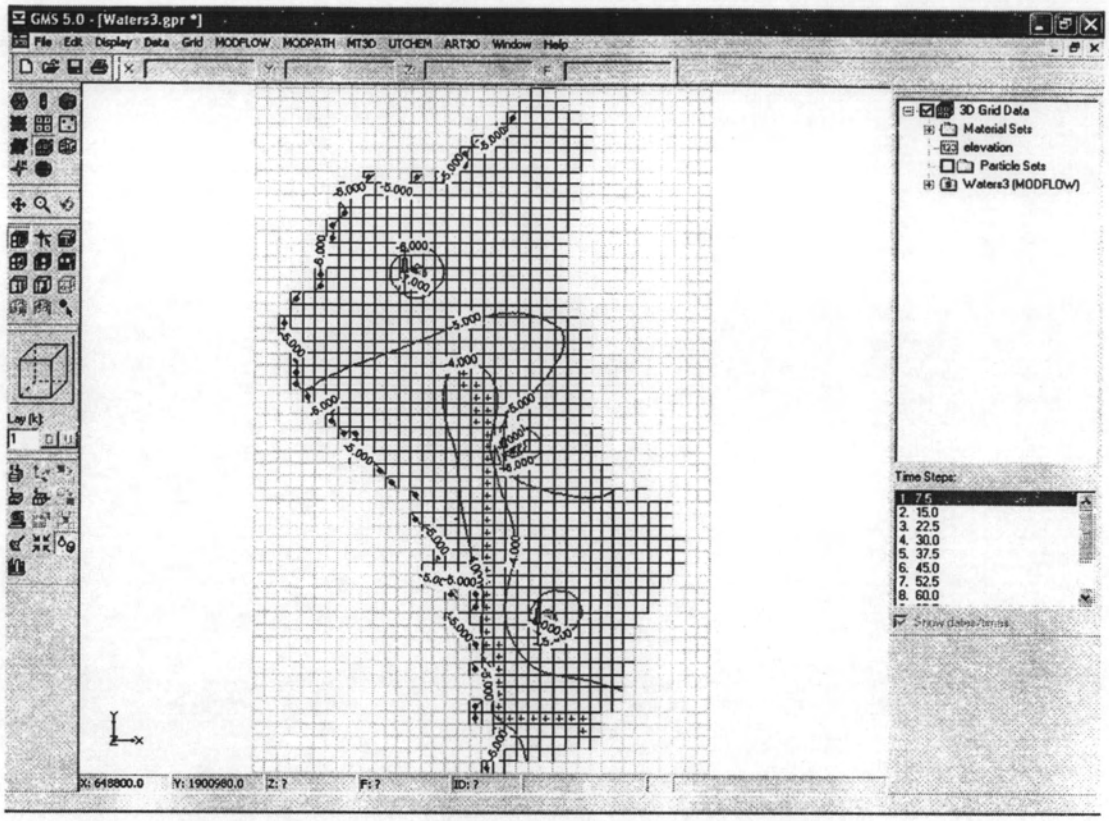
รูปที่ ก-21 กำหนดจุดบ่อน้ำใต้ดินจำนวน 3 บ่อ



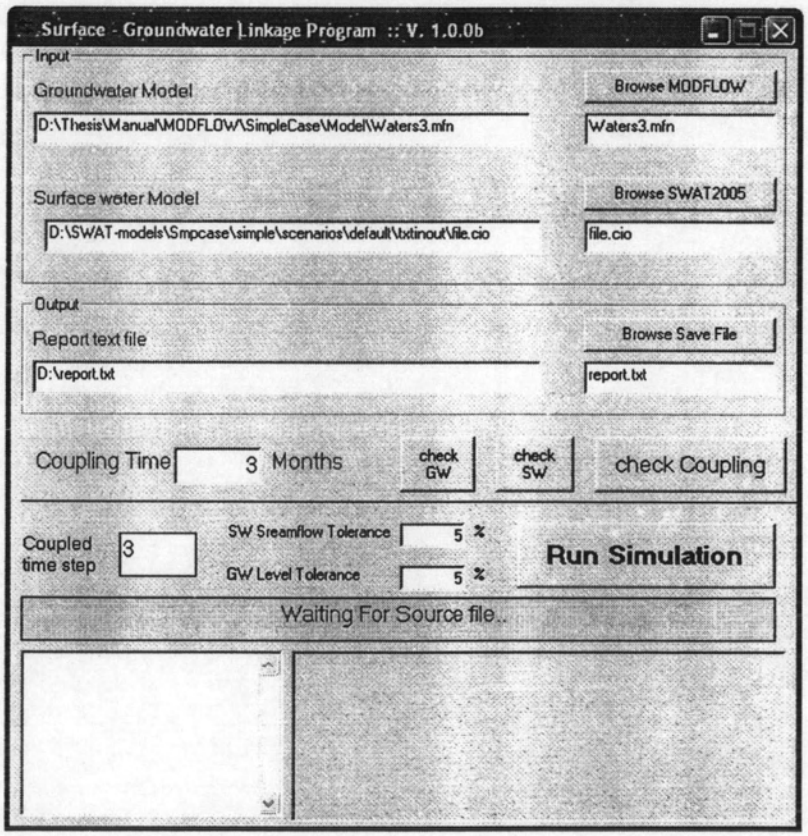
รูปที่ ก-22 กำหนดช่วงเวลาในการดำเนินแบบจำลองน้ำใต้ดิน



รูปที่ ก-23 การคำนวณแบบจำลองน้ำใต้ดินตามช่วงเวลาที่กำหนด



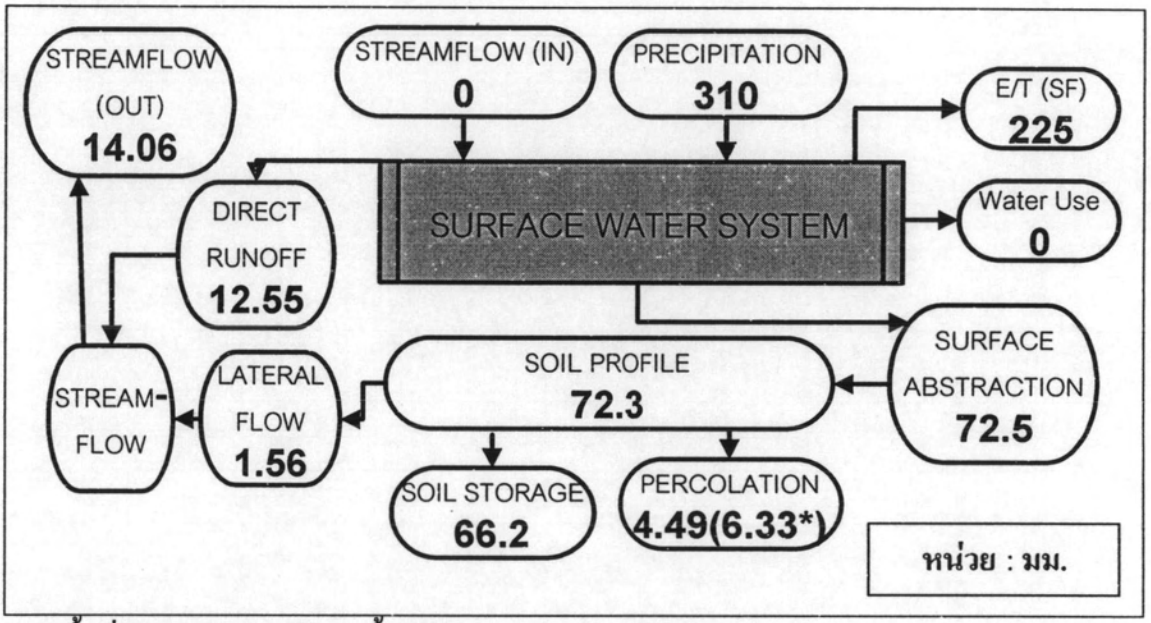
รูปที่ ก-24 ผลการดำเนินแบบจำลองน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ ก-25 การใช้โปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลองในการเชื่อมแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดิน

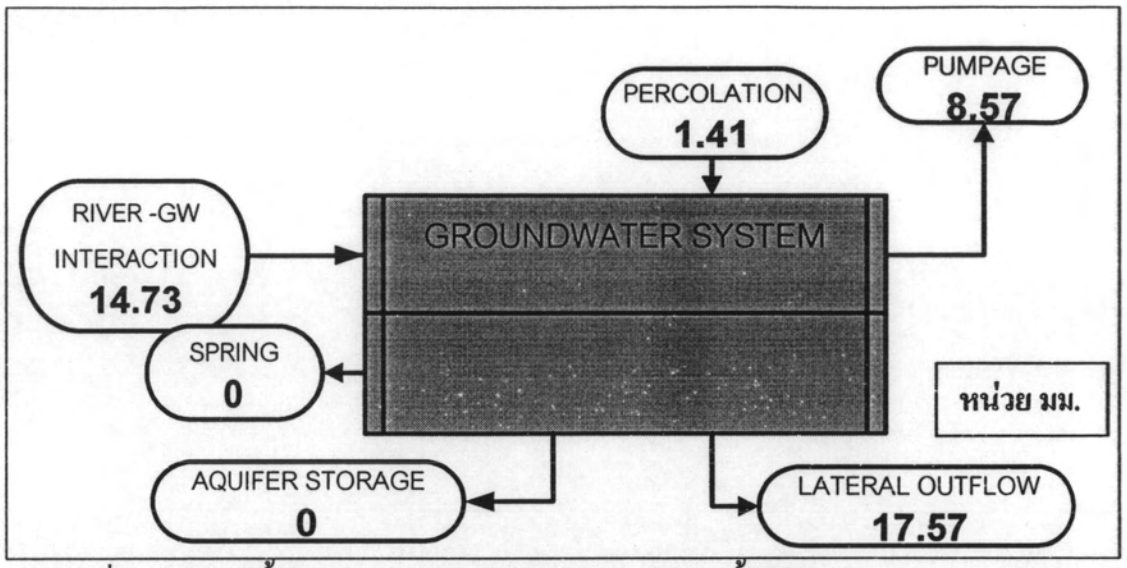
3) ผลการเชื่อมต่อแบบจำลองกับพื้นที่ศึกษาอย่างง่าย

จากดำเนินการแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ผลการวิเคราะห์สมดุลน้ำได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ ข-1 และ ข-2 ตามลำดับ และเมื่อดำเนินการแบบจำลองด้วยโปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลองแล้วจึงได้องค์ประกอบทางอุทกวิทยาทั้งส่วนของผิวดินและใต้ดินดังแสดงในรูปที่ ข-3 จากนั้นจึงตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยการคำนวณด้วยทฤษฎีทางอุทกวิทยา ซึ่งเป็นการทดสอบเปรียบเทียบผล ที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองและผลจากการคำนวณด้วยสมการอย่างง่าย ซึ่งแสดงรายละเอียดและวิธีการคำนวณเปรียบเทียบในหัวข้อถัดไป

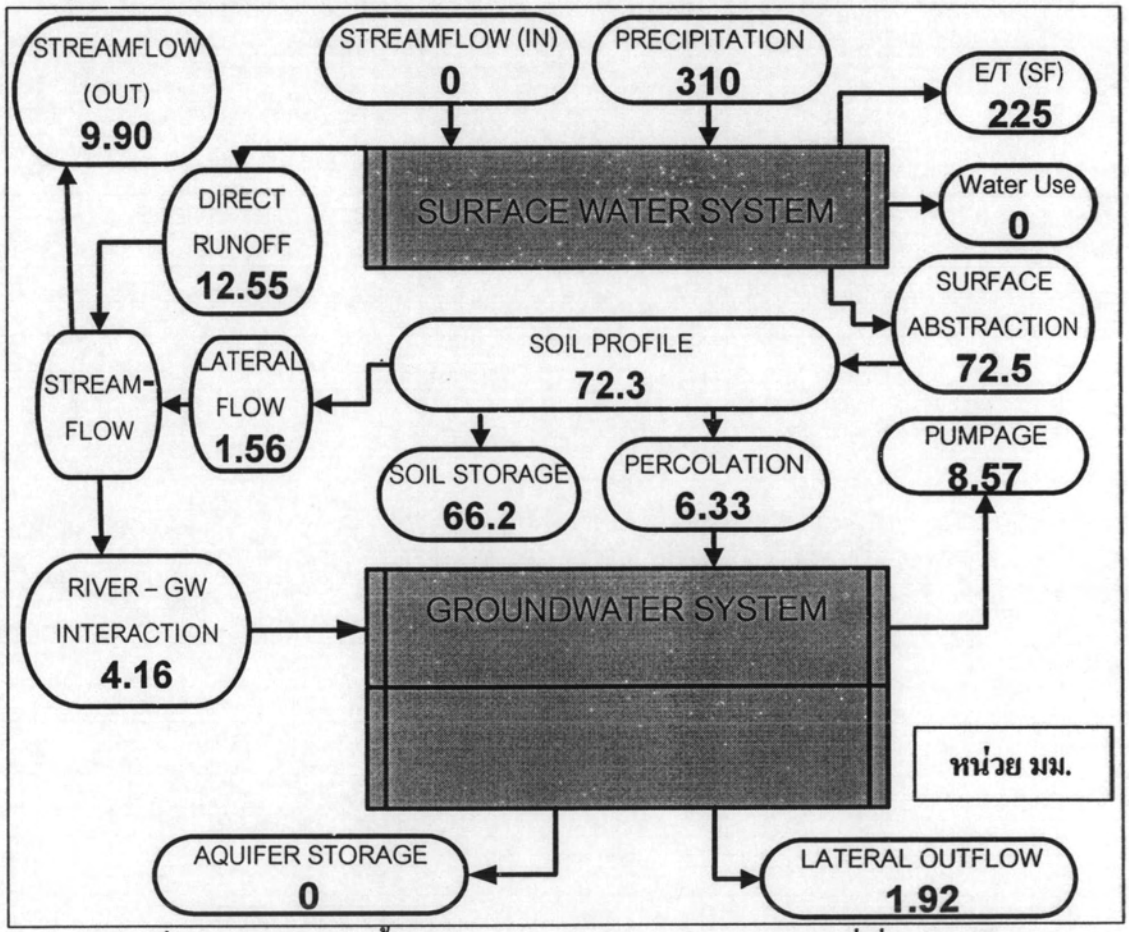


* ในพื้นที่ศึกษาของแบบจำลองน้ำใต้ดิน

รูปที่ ก-26 สมดุลน้ำในระบบทางอุทกวิทยาจากแบบจำลองน้ำผิวดิน (SWAT2005)



รูปที่ ก-27 สมดุลน้ำในระบบทางอุทกวิทยาจากแบบจำลองน้ำใต้ดิน (MODFLOW2003)



รูปที่ ก-28 สรุปสมดุลน้ำในระบบทางอุทกวิทยาจากแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว

ตารางที่ ก-3 เปรียบเทียบระหว่างวิธีการคำนวณด้วยโปรแกรมและสมการอย่างง่าย

วิธีการ	การระเหย (มม.)	น้ำท่า (มีการระเหย) (มม.)	ปริมาณน้ำฝนเก็บกัก (ไม่มีการระเหย) (มม.)	น้ำท่า + ปริมาณน้ำเก็บกักผิวดิน (มีการระเหย") (มม.)
แบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว	225*	-	-	85.3

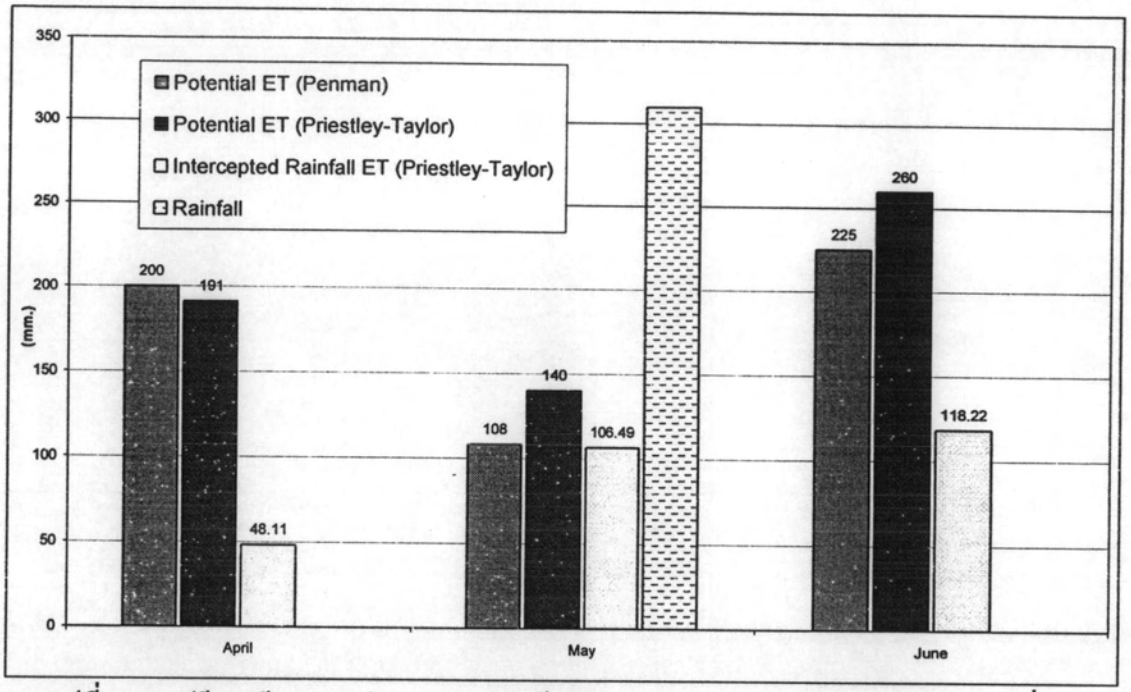
<u>หมายเหตุ</u> เฉพาะในเดือน พ.ค.และมิ.ย.เท่านั้นที่มีน้ำท่า

*คำนวณการระเหยด้วย Intercepted Rainfall of Priestley-Taylor Method ในเดือน พ.ค.และมิ.ย.

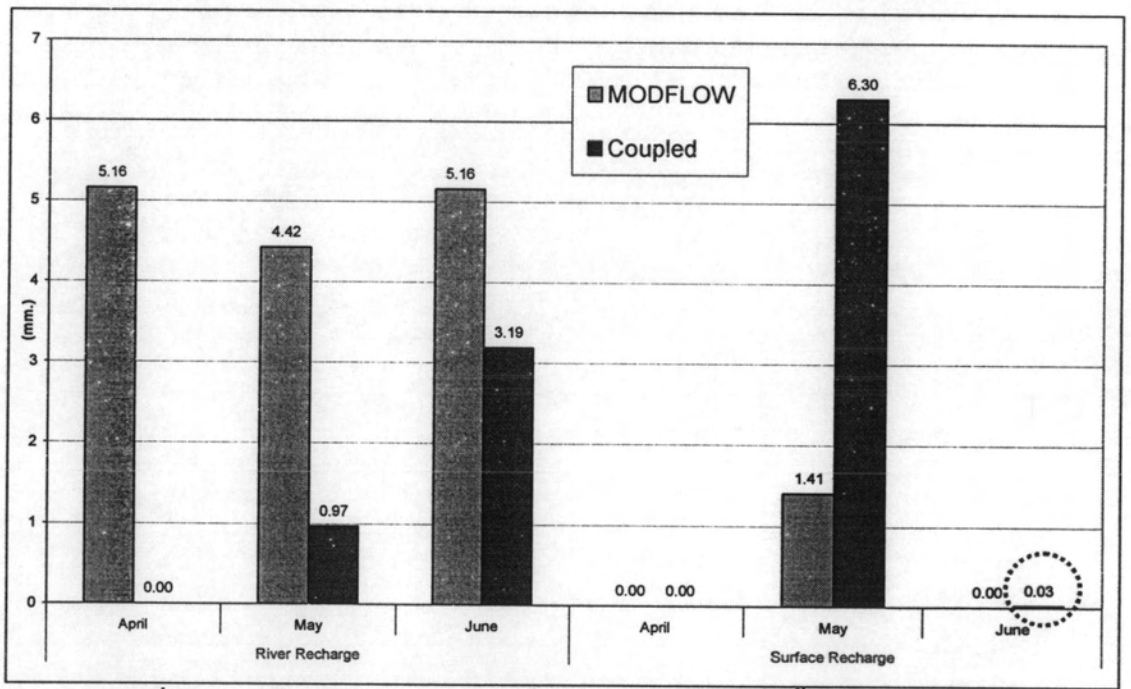
" ลบออกด้วยปริมาณการระเหยจากผิวดินในเดือนที่ฝนตก (เดือน พ.ค.) และการระเหยของน้ำในดินในเดือนพ.ค.และมิ.ย.

จากตารางที่ ข-1 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองและวิธีการคำนวณอย่างง่ายแตกต่างกันประมาณ 18% โดยใช้วิธีการคำนวณการระเหยด้วยวิธี Priestley-Taylor และจากการเปรียบเทียบวิธีการคำนวณปริมาณการระเหยด้วย Penman-Monteith, Priestley-Taylor และ Intercepted Rainfall of Priestley-Taylor พบว่าสองวิธีแรกให้ค่าการระเหยในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และวิธีสุดท้ายปริมาณการระเหยจะมีค่าน้อยกว่า 2 วิธีแรก และมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันเมื่อมีฝนตกในพื้นที่

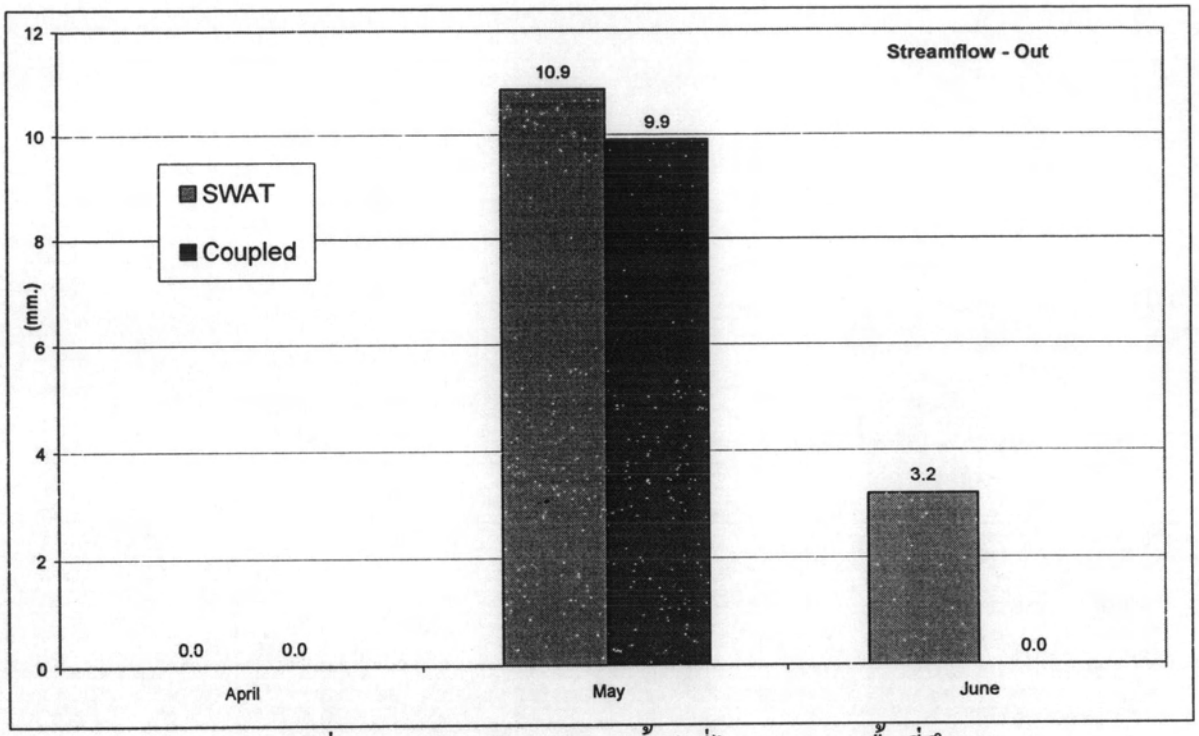
เมื่อพิจารณาการเติมน้ำใต้ดินจากผิวดิน (surface recharge) และลำน้ำ (river recharge) ดังแสดงในรูปที่ ข-4 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเชื่อมต่อแบบจำลองปริมาณการเติมน้ำจะมีการเฉลี่ยเติมไปในเดือนถัดไป ซึ่งเกิดจากการคำนวณการซึมผ่านชั้นดิน ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลอง MODFLOW ที่จะให้ปริมาณการเติมน้ำเฉพาะช่วงที่มีฝนตกเท่านั้น นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำท่าพบว่า เมื่อเชื่อมต่อแบบจำลองแล้วเมื่อน้ำมีปริมาณน้อยมากจะ ปริมาณน้ำท่านี้จะลดลงและไหลลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินซึ่งจะแตกต่างจากผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง SWAT ที่ไม่ได้คำนึงถึงการรั่วซึมนี้ ดังแสดงปริมาณน้ำท่าเปรียบเทียบในรูปที่ ข-5 อย่างไรก็ตามปริมาณการแลกเปลี่ยนน้ำระหว่างผิวดินและใต้ดินนั้นขึ้นอยู่กับระดับความสูงของน้ำท่า



รูปที่ ก-29 เปรียบเทียบระหว่างการคำนวณด้วยวิธี Priestley-Taylor และ Penman โดยทั่วไป (potential ET) และ คำนวณเฉพาะส่วนที่มีฝน (interceted rainfall ET)



รูปที่ ก-30 เปรียบเทียบระหว่างส่วนที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินและใต้ดิน



รูปที่ ก-31 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ไหลออกจากพื้นที่ศึกษา

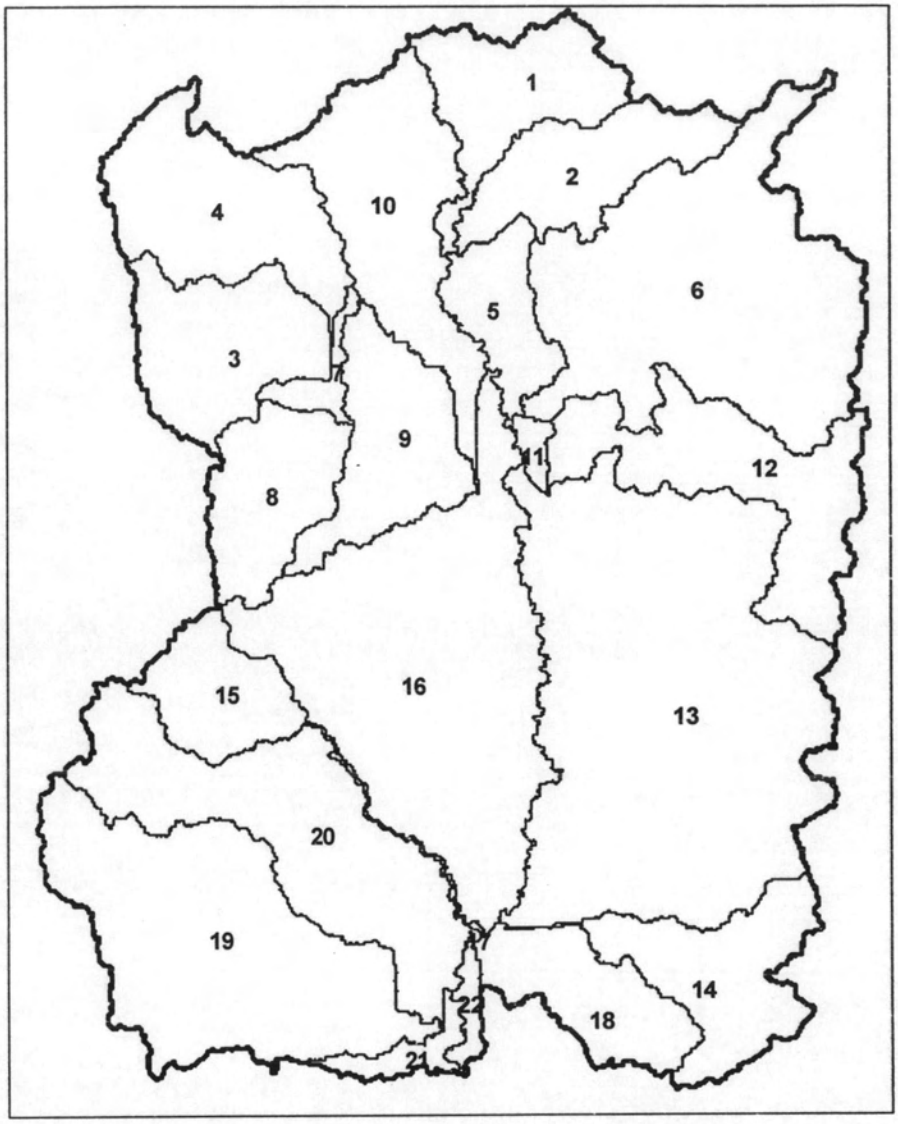
ภาคผนวก ข

การออกแบบการจำลองและช่วงระยะเวลาในการคำนวณของแบบจำลองในพื้นที่ศึกษา

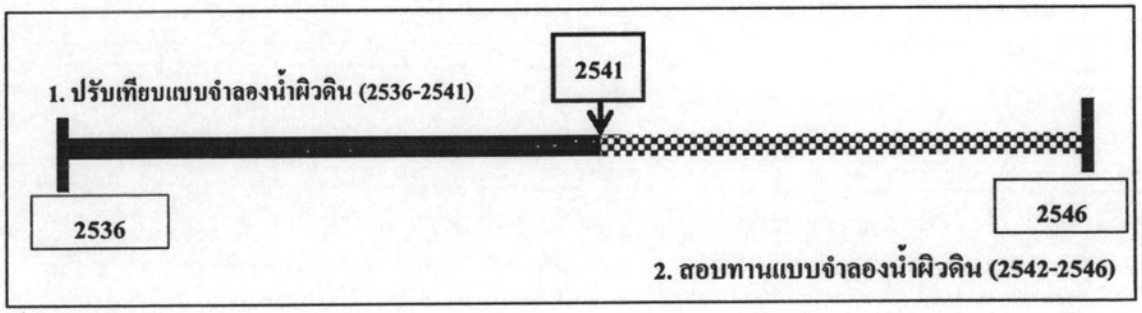
การออกแบบจำลองในขั้นตอนนี้ ได้พิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพของแบบจำลอง รวมถึงมิติของเวลาและคาบเวลาที่ใช้ในการการจำลองการไหลของน้ำ ซึ่งแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินนั้นมีลักษณะและวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน โดยการไหลของน้ำผิวดินจะเป็นการไหลใน 2 มิติ และการไหลของน้ำใต้ดินเป็นการไหลแบบ 3 มิติ นอกจากนั้นวิธีการดำเนินการของแบบจำลองทั้งสองส่วนก็มีความแตกต่างกันด้วย การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการการปรับเทียบ โดยทำการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ผลการคำนวณสอดคล้องกับสภาพจริงในพื้นที่ศึกษา และสอบทานแบบจำลองโดยการพิจารณาความคลาเคลื่อนของแบบจำลองที่ได้ทำการปรับแก้แล้ว ซึ่งกระบวนการเหล่านี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการพัฒนาแบบจำลอง

1) แบบจำลองน้ำผิวดิน

การจำลองสภาพน้ำผิวดินได้พิจารณา การไหลของน้ำผิวดินตามลุ่มน้ำย่อย โดยกำหนดคุณสมบัติทางอุทกวิทยาในแต่ละกริดเซลล์ภายในลุ่มน้ำย่อย ตามชนิดดินและการใช้ที่ดิน และทำการจัดกลุ่มของกริดเซลล์เหล่านี้ออกเป็นหน่วยย่อย โดยหน่วยย่อยเหล่านี้เรียกว่า หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (hydrological respond unit, HRU) หน่วยย่อยเหล่านี้ได้ต่อกันขึ้นเป็นโครงสร้างของลุ่มน้ำ โดยการศึกษาครั้งนี้ได้จำลองสภาพลุ่มน้ำที่แบ่งออกเป็น 22 ลุ่มน้ำย่อย ครอบคลุมพื้นที่ 45,403 ตร.กม. ดังแสดงในรูปที่ ข-1 โดยแต่ละลุ่มน้ำย่อยได้กำหนดคุณสมบัติทางอุกทกวิทยาของลุ่มน้ำและเส้นลำน้ำไว้ จากนั้นจึงการคำนวณปริมาณน้ำไหลออกจากลุ่มน้ำย่อยเหล่านี้ โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการปรับเทียบและสอบทานสำหรับการตรวจสอบในช่วงสุดท้าย โดยแบ่งแยกช่วงเวลาที่ใช้ในการปรับเทียบและการสอบทานแบบจำลองไว้ดังรูปที่ ข-2



รูปที่ ข-1 การแบ่งลุ่มน้ำย่อยในแบบจำลองน้ำผิวดิน

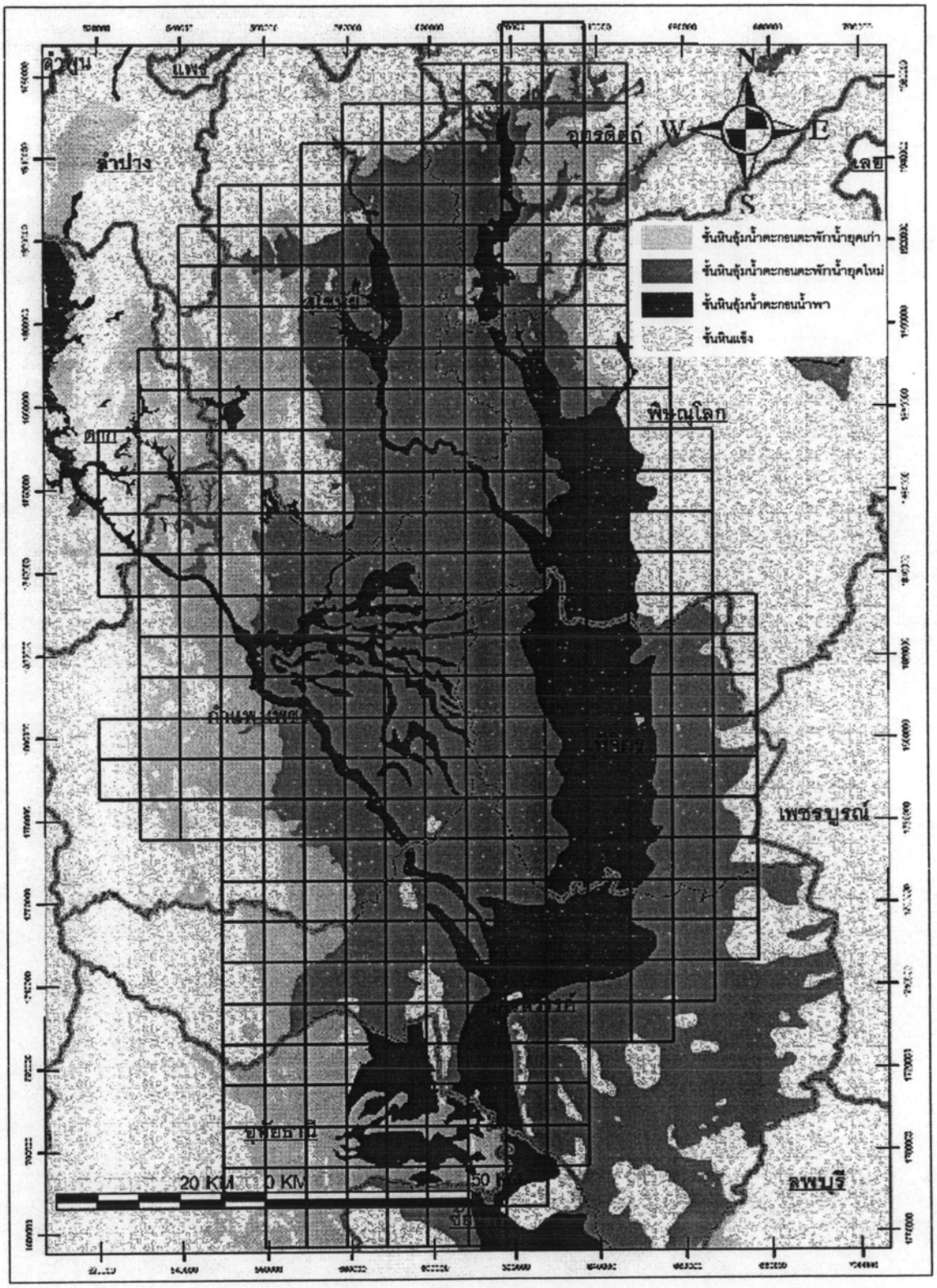


รูปที่ ข-2 การแบ่งช่วงเวลาที่ใช้ในการปรับแก้และตรวจสอบแบบจำลอง

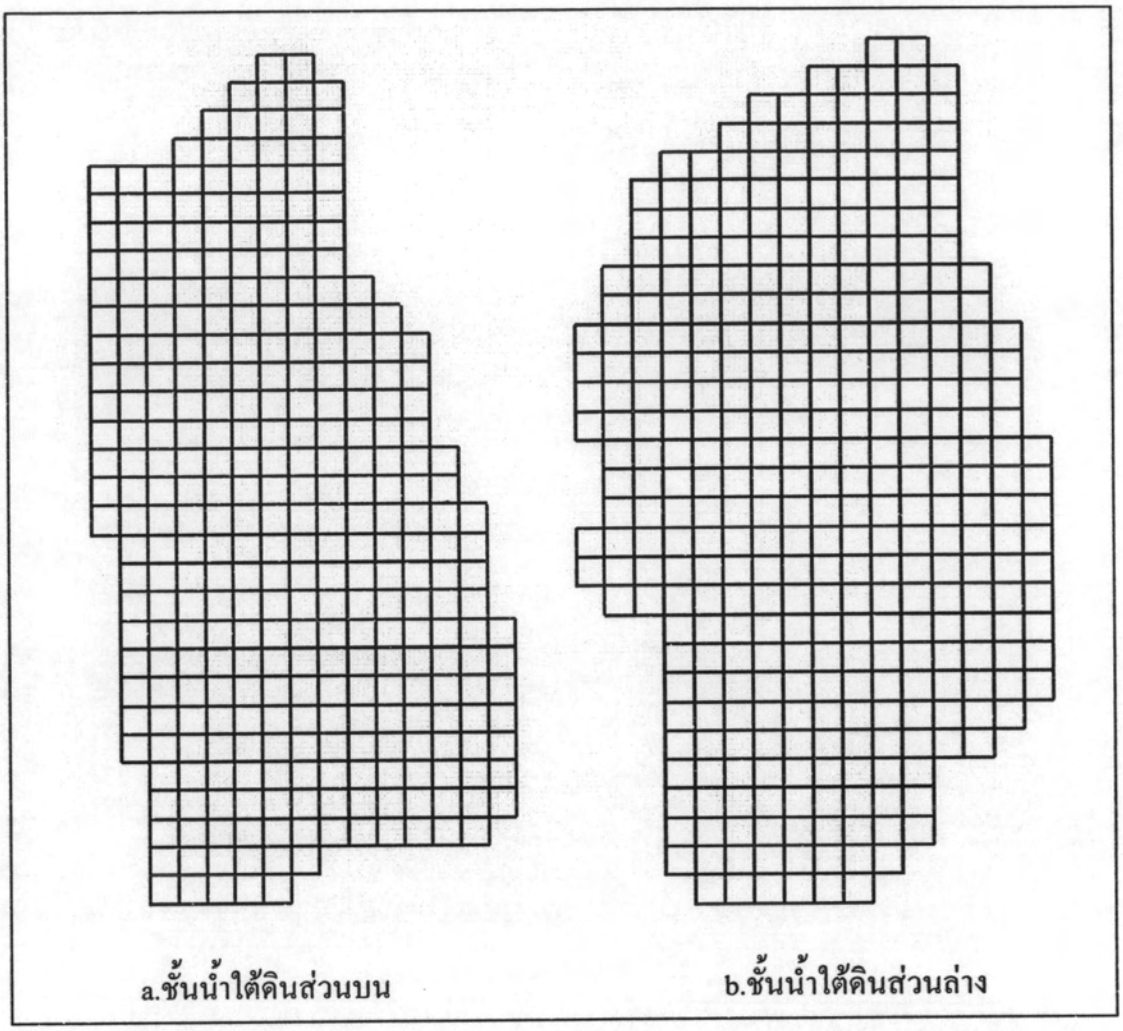
2) แบบจำลองน้ำใต้ดิน

การจำลองสภาพน้ำใต้ดินด้วยวิธีการไฟไนดิฟเฟอรเรนต์ (finite difference) หน่วยย่อยในการคำนวณเชิงพื้นที่นั้นอยู่ในรูปของโครงสร้างที่ต่อกันด้วยรูปสี่เหลี่ยม โดยการศึกษาครั้งนี้ได้จำลองสภาพชั้นน้ำใต้ดินให้มีหน่วยย่อยของพื้นที่การคำนวณ เป็นรูปสี่เหลียมจตุรัสที่มีขนาดกว้าง 10 กม. ยาว 10 กม. ครอบคลุมแอ่งน้ำใต้ดินภาคกลางตอนบนดังรูปที่ ข-3 โดยมีความสูงของกริดเซลล์ตามความหนาของชั้นน้ำเฉลี่ยในบริเวณนั้น และในแบบจำลองแอ่งน้ำใต้ดินประกอบด้วยกริดเซลจำนวน 320 กริดเซลล์ในชั้นบน และ 346 กริดเซลล์ในชั้นล่าง ครอบคลุมพื้นที่ 37,600 ตร. กม. ดังรูปที่ ข-4 โดยแบบจำลองกริดเซลล์ของชั้นน้ำใต้ดินเป็นตัวแทนลักษณะของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ ที่กริดเซลล์ครอบคลุมอยู่ โดยแต่ละกริดเซลล์ได้กำหนดคุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยาของชั้นน้ำใต้ดินไว้ รวมไปถึงระดับน้ำใต้ดินและปริมาณน้ำไหลเข้า-ออกของน้ำของชั้นน้ำบริเวณนั้น

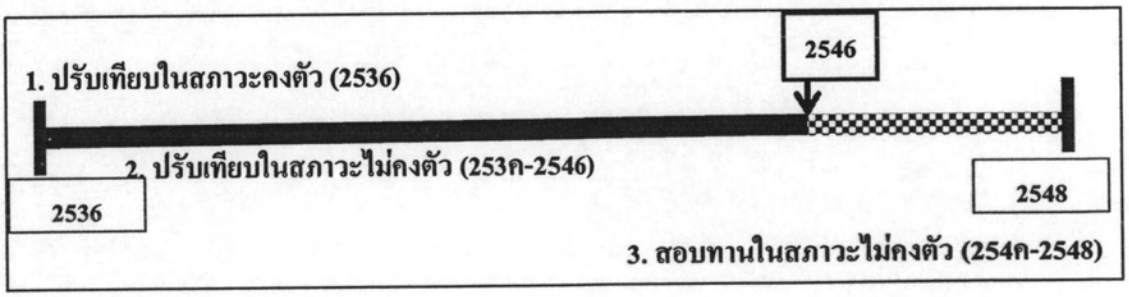
การศึกษานี้ได้ทำการปรับเทียบแบบจำลองน้ำใต้ดินทั้งในสภาวะการไหลแบบคงตัว (steady state) และไม่คงตัว (transient) ซึ่งการพัฒนาแบบจำลองจึงได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ช่วงเพื่อการปรับแก้แบบจำลองให้ระดับน้ำใต้ดินให้มีสภาพสอดคล้องกับสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา ดังแสดงการแบ่งช่วงเวลาปรับเทียบและสอบทานในรูปที่ ข-5 ซึ่งการปรับเทียบการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลระดับน้ำในช่วงปี 2536 – 2546 โดยอาศัยข้อมูลระดับน้ำที่รวบรวมมาได้



รูปที่ ข-3 กริดเซลล์ของแบบจำลองน้ำใต้ดินในแอ่งน้ำใต้ดินภาคกลางตอนบน



รูปที่ ข-4 รูปร่างของกริดเซลล์ชั้นบน (a) และชั้นล่าง (b) ในแบบจำลองน้ำใต้ดิน



รูปที่ ข-5 การแบ่งช่วงเวลาที่ใช้ในการปรับแก้และตรวจสอบแบบจำลองน้ำใต้ดิน

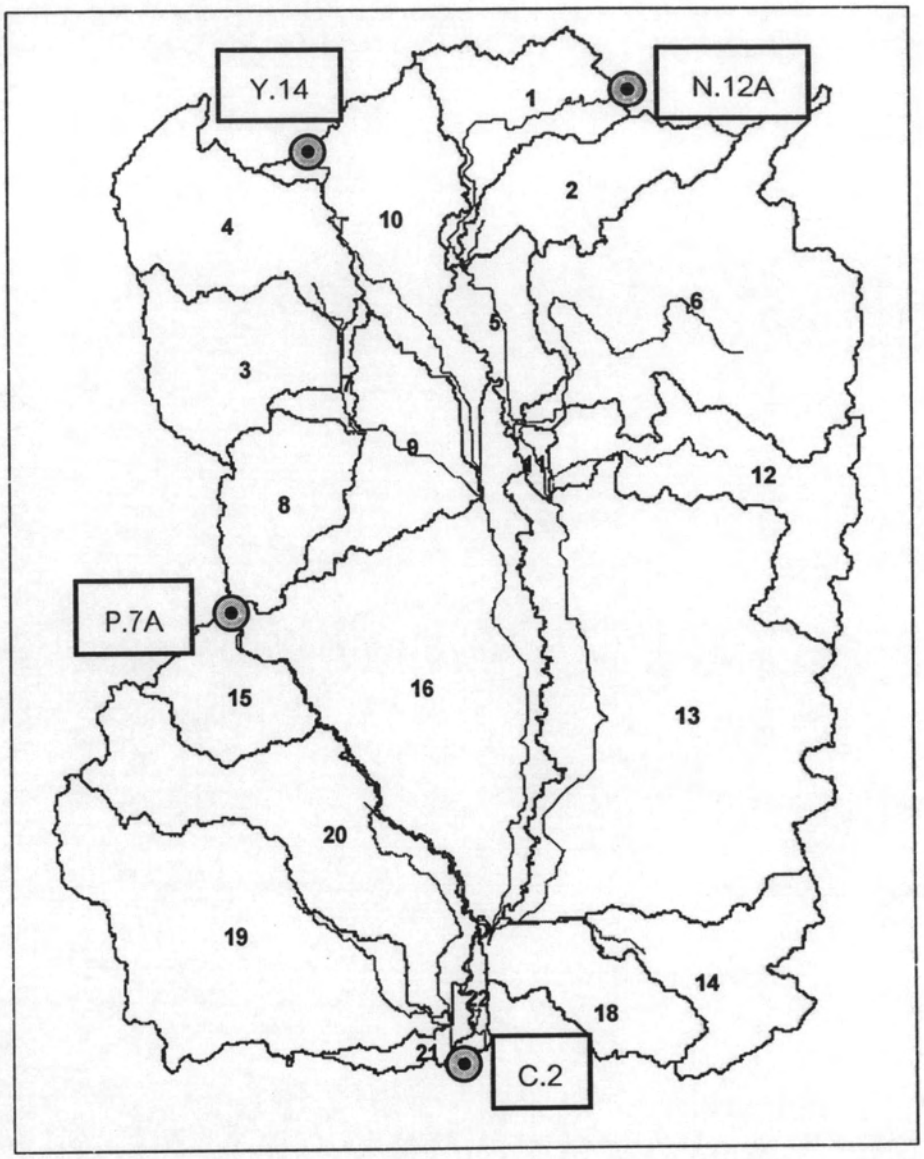
3) การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง ใช้วิธีการพิจารณาจากสภาพการไหลของน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา ประกอบกับแบบจำลองเชิงมโนภาพที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น จากนั้นจึงนำมาพัฒนาเงื่อนไขของแบบจำลอง เพื่อกำหนดขอบเขตการพิจารณาการไหลในแบบจำลองคณิตศาสตร์

a. แบบจำลองน้ำผิวดิน

ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำผิวดินนั้น อาศัยข้อมูลพื้นที่ลุ่มน้ำในการพิจารณาพื้นที่ศึกษา จากจึงดูลักษณะการไหลเข้าและออกของน้ำผิวดิน จึงพบว่าพื้นที่ศึกษามาการไหลเข้าของน้ำท่าจากสามส่วนหลักด้วยกัน คือ จากลุ่มน้ำปิง ลุ่มน้ำยม และลุ่มน้ำน่าน และมาการไหลออกของน้ำในส่วนของแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณสถานี จึงได้กำหนดจุดให้น้ำไหลเข้าด้วยปริมาณน้ำที่วัดได้จากสถานี P.7A, Y.14 และ N.12A และใช้การปรับเทียบตามน้ำท่าไหลออกตามสถานี C.2 ดังแสดงในรูปที่ ข-6 นอกนั้นให้ปริมาณน้ำเข้าสู่พื้นที่ศึกษาจากปริมาณฝนและที่ตกในลุ่มน้ำและมีการไหลออกสู่ชั้นดินและไปสู่ระบบชั้นน้ำใต้ดินต่อไป

นอกเหนือจากขอบเขตที่ได้กำหนดไว้นั้น พื้นที่ศึกษายังได้พิจารณาลุ่มน้ำสะแก (ลุ่มน้ำที่ 19 ในรูปที่ ข-6) ในการคำนวณการไหลของน้ำผิวดินอีกด้วย เนื่องจากพื้นที่ภายในลุ่มน้ำสะแกกรังคาบเกี่ยวกับแอ่งน้ำใต้ดิน อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้นำลุ่มน้ำสะแกกรังมาพิจารณาในการสอบเทียบและปรับทาน แต่ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบและสอบทานจากแบบจำลองลุ่มน้ำปิง ยม น่านและเจ้าพระยา เนื่องจากลุ่มน้ำสะแกกรังไม่มีข้อมูลน้ำท่าที่เหมาะสมในการวัดปริมาณน้ำไหลออกจากลุ่มน้ำ ประกอบกับลุ่มน้ำสะแกกรังมีพื้นที่คาบเกี่ยวกับแบบจำลองน้ำใต้ดินในสัดส่วนเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่ศึกษาแอ่งน้ำใต้ดินทั้งหมด

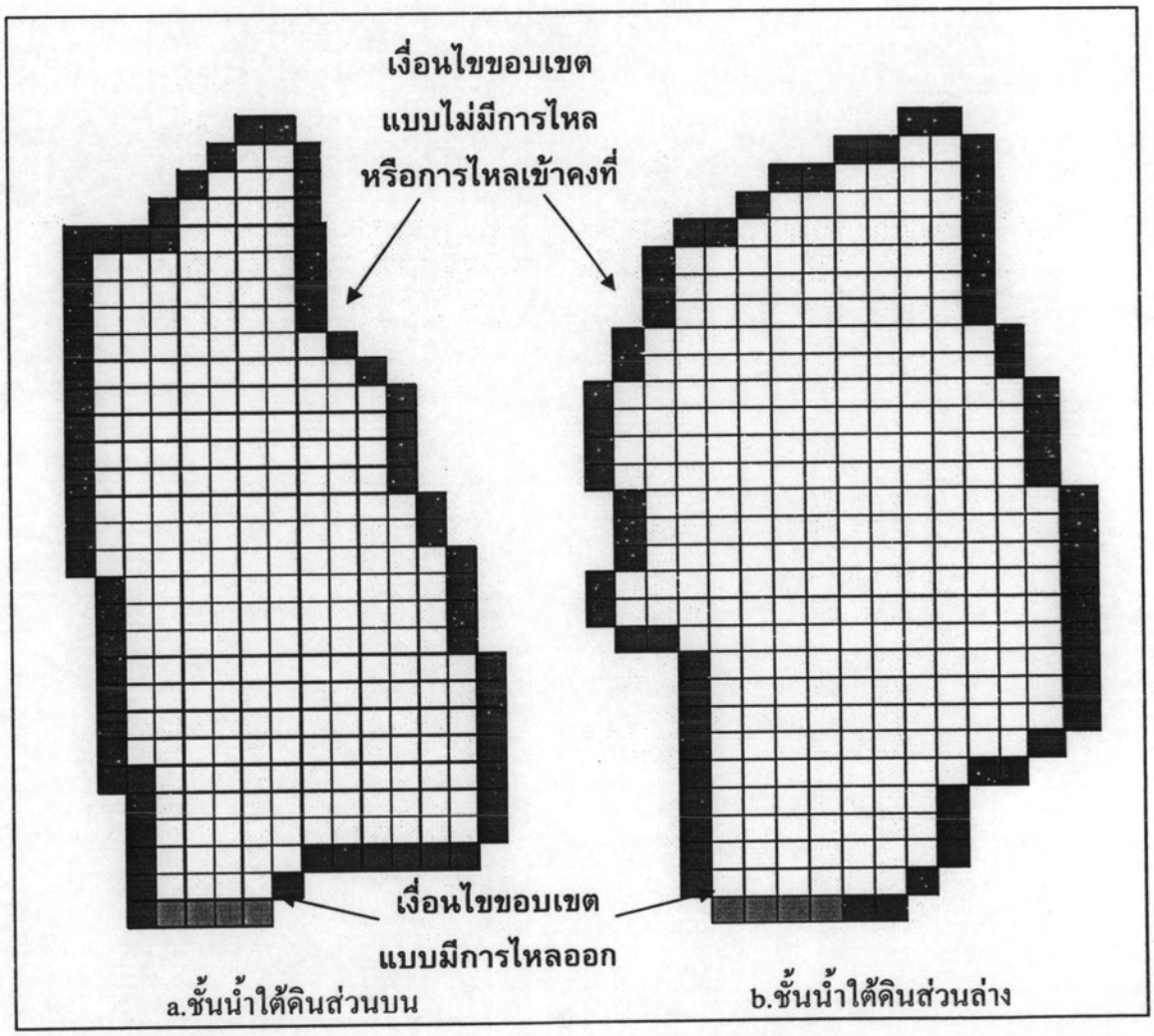


รูปที่ ข-6 สถานีน้ำท่าที่ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตน้ำไหลเข้าและออกจากพื้นที่ศึกษา

b. แบบจำลองน้ำใต้ดิน

ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำใต้ดินนั้น อาศัยข้อมูลด้านอุทกธรณีวิทยาเรื่องการตัดแนวตัดขวาง เพื่อดูลักษณะชั้นน้ำที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 พบว่าทางด้านแถบสุโขทัยลงมาจนถึงชัยนาทมีแนวหินแข็งซึ่งถือเป็นแนวเขตการจำลองน้ำใต้ดินทางด้านตะวันตก และทางแถบจังหวัดอุตรดิตถ์ลงมาถึงนครสวรรค์มีแนวหินแข็งเช่นกัน ดังนั้นทางแถบด้านตะวันออกนี้กำหนดให้เป็นขอบเขตการจำลองเช่นกัน ทางทิศเหนือ คือจังหวัดสุโขทัยและอุตรดิตถ์ถูกปิดล้อมชั้นหินแข็งเช่นกัน จึงกำหนดให้แนวทั้งสามให้มีค่าเงื่อนไขขอบเขตแบบอัตราการไหล

เข้าคงที่ ทิศใต้กำหนดให้มีแนวการไหลของน้ำใต้ดินโดยกำหนดให้มีค่าเงื่อนไขขอบเขตแบบอัตราการไหลออกคงที่ ยกเว้นบริเวณตะวันออกของด้านใต้ซึ่งชนกับแนวหินจึงกำหนดให้เป็นแบบอัตราการไหลเข้าคงที่ ส่วนในชั้นน้ำส่วนล่าง ทิศเหนือ ตะวันออกและตะวันตกติดกับชั้นหินแข็งจึงกำหนดให้เป็นขอบเขตแบบไม่มีการไหล ส่วนทิศใต้กำหนดให้เป็นแนวการไหลของน้ำใต้ดินที่มีอัตราคงที่เช่นกัน ดังแสดงเงื่อนไขขอบขอบเขตโดยรอบแอ่งน้ำใต้ดินในรูปที่ ข-7 นอกจากนั้นด้านบนของแบบจำลองกำหนดให้เปิดสู่บรรยากาศ ด้านล่างกำหนดให้เป็นขอบเขตที่ไม่ยอมให้น้ำไหลผ่าน



รูปที่ ข-7 เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองของชั้นน้ำใต้ดินส่วนบน(a) และส่วนล่าง(b)

ในการกำหนดของเขตของแบบจำลองน้ำใต้ดินให้แนวทั้งสองให้มีค่าเงื่อนไขขอบเขตแบบอัตราการไหลคงที่ โดยกำหนดให้มีค่าเงื่อนไขขอบเขตแบบอัตราการไหลคงที่สำหรับอัตราการไหล-เข้าและออกจากแบบจำลองของแต่ละกริดเซลล์ คำนวณจากสมการ

$$Q = -KiA \qquad (ข-1)$$

โดย Q คืออัตราการไหลเข้าหรือออกของน้ำใต้ดิน (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

K คือค่าสัมประสิทธิ์การนำทางชลศาสตร์ (เมตรต่อวัน)

i คือความลาดชันชลศาสตร์

A คือพื้นที่หน้าตัดการไหล (ตารางเมตร)

ค่าสัมประสิทธิ์การนำทางชลศาสตร์ของกริดเซลล์ได้จากข้อมูลการเฉลี่ยจากการสูบทดสอบในพื้นที่ สามารถหาค่าความลาดชันทางชลศาสตร์ สามารถพิจารณาได้จากเส้นชั้นความสูงเฉลี่ยของระดับน้ำใต้ดินในฤดูกาลนั้นๆ และพื้นที่หน้าตัดการไหลก็คือขนาดของกริดเซลล์

ภาคผนวก ค

การปรับเทียบและสอบทานแบบจำลองของแบบจำลองในพื้นที่ศึกษา

1) ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง

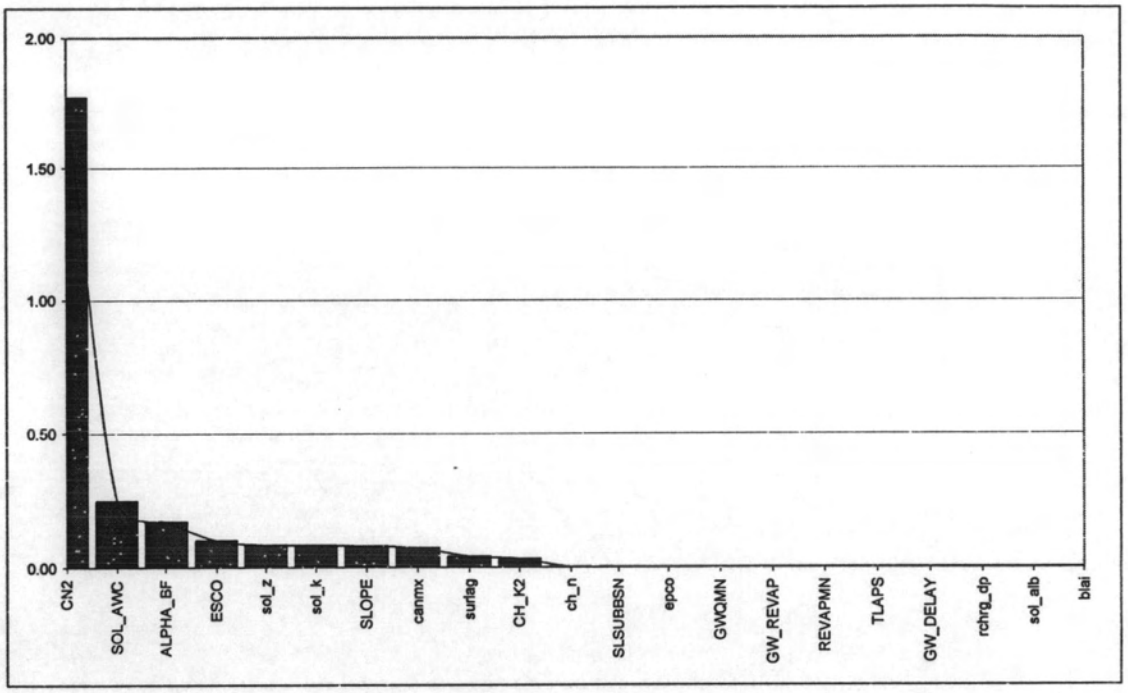
การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองของการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ผลจากการเปลี่ยนแปลงของตัวพารามิเตอร์ในแบบจำลองน้ำผิวดินต่อปริมาณน้ำท่าที่ไหลออกจากลุ่มน้ำที่สถานี C.2 และผลการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในแบบจำลองน้ำใต้ดินต่อระดับน้ำที่ได้จากจุดวัดระดับน้ำสังเกตการณ์

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง แสดงให้เห็นความสำคัญของพารามิเตอร์และข้อมูลที่ใช้นำเข้าสู่แบบจำลอง ว่าพารามิเตอร์หรือข้อมูลใดมีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ของแบบจำลองในลักษณะใด การปรับแก้แบบจำลองและการพัฒนาแบบจำลองจึงต้องใช้ผลการวิเคราะห์เหล่านี้ ไปช่วยในการจัดลำดับความสำคัญของพารามิเตอร์ในการปรับแก้และออกแบบแบบจำลองต่อไป

ก. แบบจำลองน้ำผิวดิน

ผลการศึกษาความอ่อนไหวของแบบจำลองน้ำผิวดินในรูปที่ ค-1 แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญสูงสุดต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา คือ ค่า CN หรือค่าสัมประสิทธิของปริมาณน้ำท่าต่อปริมาณน้ำฝนนั้นเอง ซึ่งพารามิเตอร์ CN2 นี้มีนัยสำคัญสูงกว่าพารามิเตอร์อื่นอย่างชัดเจน และพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญรองลงมาคือความสามารถในการเก็บกักน้ำของดิน (SOL_AWC) และค่าสัมประสิทธิ์ของ baseflow (ALPHA_BF) สัมประสิทธิ์การกักเก็บ ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน โดยค่าพารามิเตอร์รองลงมามีค่าความอ่อนไหวที่ใกล้เคียงกันรองลงไป จึงควรให้ความสำคัญในการออกแบบและเปรียบเทียบแบบจำลองตามลำดับความสำคัญที่ได้จากผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวนี้

ผลการคำนวณการไหลของน้ำท่าสามารถแบ่งแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ ผลที่เกิดต่อปริมาณน้ำท่า และผลที่เกิดต่อการหน่วงเวลาน้ำท่าที่ไหลออกมา ซึ่งพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการคำนวณการไหลทั้ง 2 ประเภทได้แบ่งแยกให้ดูในตารางที่ ค-1



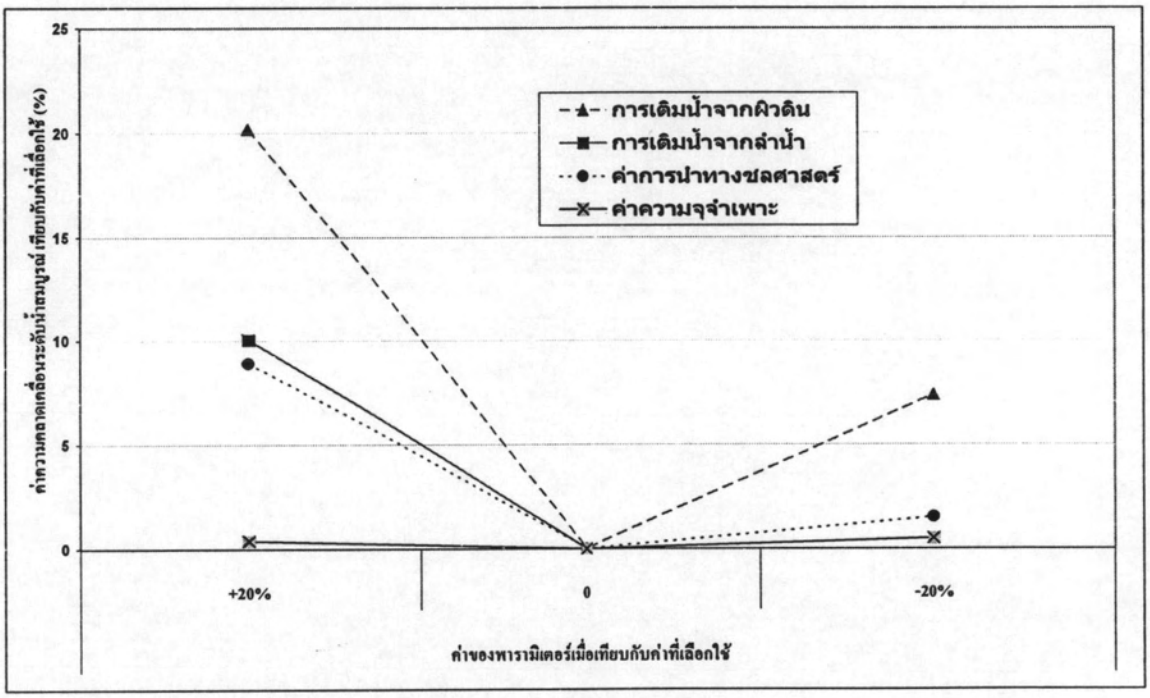
รูปที่ ค-1 ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่มีต่อน้ำท่าในแบบจำลองน้ำผิวดิน

ตารางที่ ค-1 ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ของแบบจำลองน้ำผิวดินที่มีต่อปริมาณน้ำท่า

ลำดับความอ่อนไหว	ชื่อย่อพารามิเตอร์	ความหมายของพารามิเตอร์	ความอ่อนไหว	ผลต่อปริมาณน้ำ	ผลต่อเวลาการเกิด
1	CN2	Initial SCS CN II Value	1.7700	x	
2	SOL_AWC	Available water capacity	0.2470	x	
3	ALPHA_BF	Baseflow alpha factor	0.1720	x	x
4	ESCO	Soil evaporation compensation factor	0.1010	x	
5	sol_z	Soil depth	0.0839	x	
6	sol_k	Saturated hydraulic conductivity	0.0831	x	
7	SLOPE	Avearage slope steepness	0.0800		x
8	canmx	Maximum canopy storage	0.0727	x	
9	surlag	Surface runoff lag time	0.0419		x
10	CH_K2	Channel effective hydraulic conductivity	0.0323	x	
11	ch_n	Manning's n value for main channel	0.0016		x
12	SLSUBBSN	Avearage slope length	0.0013		x
13	epco	Plant uptake compensation factor	0.0010	x	

ข. แบบจำลองน้ำใต้ดิน

ผลการศึกษาความอ่อนไหวของแบบจำลองน้ำผิวดินในรูปที่ ค-2 แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญสูงสุดต่อปริมาณน้ำในพื้นที่ศึกษา คือ การเติมน้ำทั้งจากผิวดินและลำน้ำ รองลงมาคือค่าการนำทางชลศาสตร์และค่าความจุจำเพาะ ดังนั้นในการพัฒนาการเชื่อมต่อแบบจำลอง โดยในส่วนของน้ำใต้ดินได้ทำการพัฒนาในส่วนของการเติมน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นส่วนที่มีความสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน จึงควรให้ความสำคัญในการออกแบบและประเมินอัตราการเติมน้ำใต้ดิน



รูปที่ ค-2 ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่มีต่อน้ำท่าในแบบจำลองน้ำผิวดิน

2) การปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง

การปรับเทียบและสอบทานแบบจำลองมีวัตถุประสงค์เพื่อ ปรับแก้และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นกับปรากฏการณ์จริงในภาคสนาม ว่ามีความสอดคล้องและเหมาะสมเพียงใด ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการพัฒนาแบบจำลอง

3) ผลการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลองน้ำผิวดินที่ยังไม่เชื่อมต่อ

การปรับเทียบแบบจำลองน้ำผิวดินของการศึกษานี้ ได้พิจารณาตัวแปรที่ใช้ในการการปรับเทียบแบบจำลองจากผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว และค่าสังเกตการณ์ที่มีในภาคสนาม โดยพารามิเตอร์ที่ไม่ได้ทำการปรับเทียบ ได้พิจารณาค่าพารามิเตอร์จากค่ามาตรฐานทางทฤษฎีโดยเป็นค่าที่เคยมีการศึกษาหรือข้อมูลสนามทีมีเคยมีการบันทึกไว้ พารามิเตอร์ที่นำมาพิจารณาปรับเทียบได้แสดงในตารางที่ ค-2 โดยการปรับเทียบแบบจำลองด้วยปริมาณน้ำท่ารายเดือนในปี พ.ศ. 2536-2541 และสอบทานแบบจำลองด้วยปริมาณน้ำท่ารายเดือนปี ปี พ.ศ. 2541-2546 ดังแสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับเทียบในตารางที่ ค-3

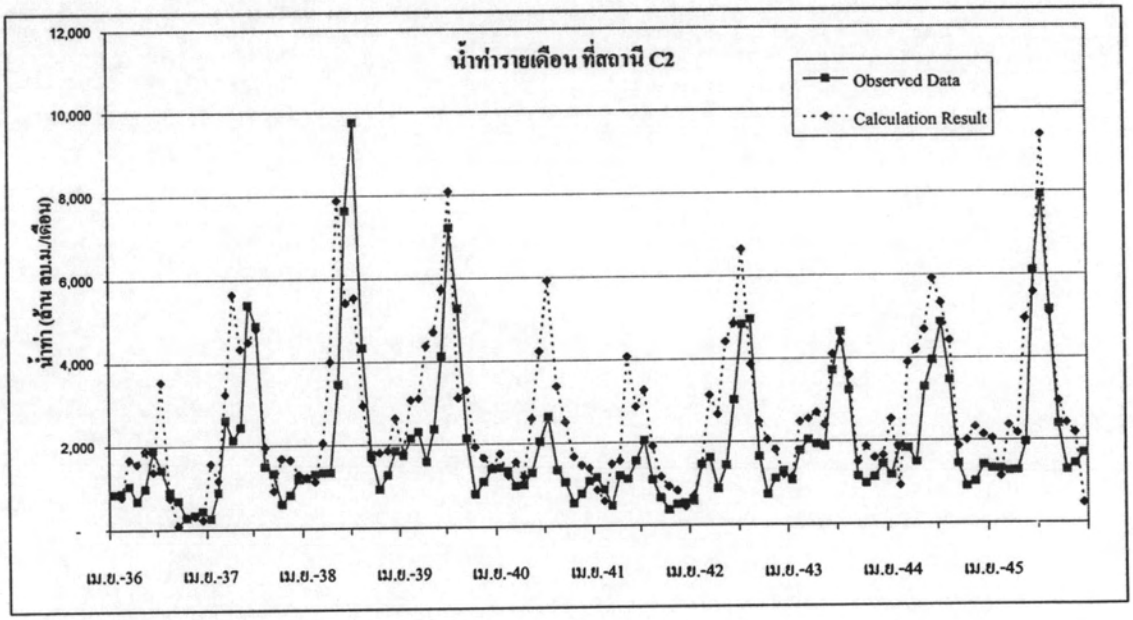
ตารางที่ ค-2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาปรับแก้แบบจำลองของการศึกษาครั้งนี้

ลำดับความอ่อนไหว	ชื่อย่อพารามิเตอร์	ความหมายของพารามิเตอร์	หน่วย	ผลต่อปริมาณน้ำ	ผลต่อเวลาการเกิด	วิธีการหาค่า
1	CN2	Initial SCS CN II Value		x		ปรับเทียบฯ
2	SOL_AWC	Available water capacity	mm H20/ mm Soil	x		ปรับเทียบฯ
3	ALPHA_BF	Baseflow alpha factor	days	x	x	ปรับเทียบฯ
4	ESCO	Soil evaporation compensation factor		x		ค่าทางทฤษฎี
5	sol_z	Soil depth	mm	x		ค่าทางทฤษฎี
6	sol_k	Saturated hydraulic condunctivity	mm/hr	x		ค่าทางทฤษฎี
7	SLOPE	Avearage slope steepness	m/m		x	ปรับเทียบฯ
8	canmx	Maximum canopy storage	m/m	x		ค่าทางทฤษฎี
9	surlag	Surface runoff lag time	hr		x	ปรับเทียบฯ
10	CH_K2	Channel effective hydraulic conductivity	mm	x		ปรับเทียบฯ
11	ch_n	Manning's n value for main channel			x	ปรับเทียบฯ
12	SLSUBBSN	Avearage slope length	m		x	ปรับเทียบฯ
13	epco	Plant uptake compensation factor		x		ค่าทางทฤษฎี
21	GWQMN	Thersold water depth in the shallow aquifer	mm			ค่าทางทฤษฎี
21	GW_REVAP	Groundwater revap coefficient				ค่าทางทฤษฎี
21	REVAPMN	Thersold water depth in the shallow aquifer	mm			ค่าทางทฤษฎี
21	TLAPS	Temperature lapse rate	C/km			ค่าทางทฤษฎี
21	GW_DELAY	Groundwater dalay	days			ค่าทางทฤษฎี
21	rchrg_dp	Deep aquifer percolation fraction				ค่าทางทฤษฎี
21	sol_alb	Moist soil albedo				ค่าทางทฤษฎี
21	blai	Maz				ค่าทางทฤษฎี

ตารางที่ ค-3 ข้อมูลและตัวแปรที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองน้ำผิวดิน

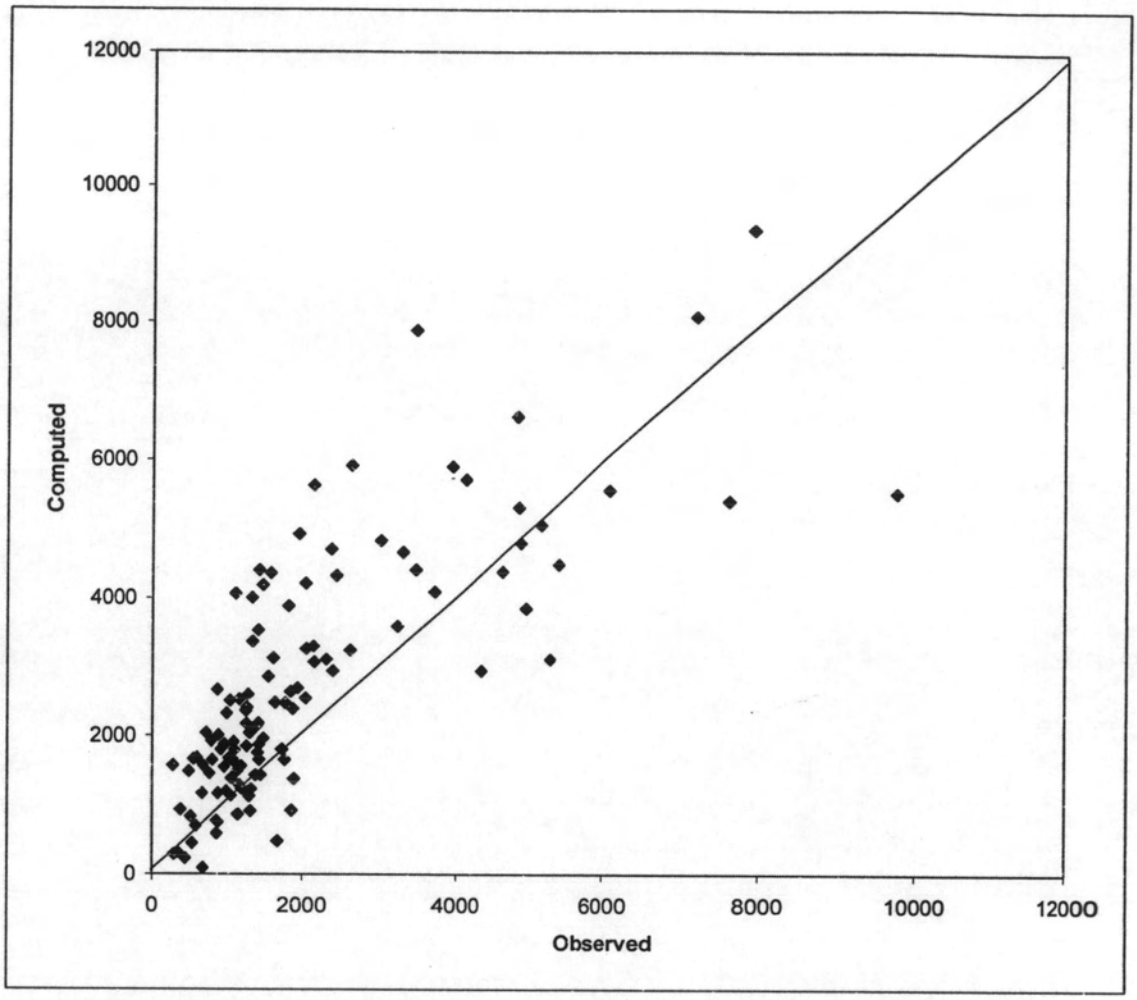
ขั้นตอน	ข้อมูล	ตัวแปร
การปรับเทียบ	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน ในปี พ.ศ. 2536-2541 สถานี C.2	CN2, SOL_AWC, ALPHA_BF, SLOPE, surlag,CH_K2, ch_n, SLSUBBSN
การสอบทาน	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน ในปี พ.ศ. 2541-2546 สถานี C.2	

เมื่อทำการปรับเทียบแบบจำลองแล้ว จึงได้ทำการสอบทานแบบจำลองด้วยทดสอบคำนวณหาน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองเทียบกับน้ำท่าที่ได้จากการวัดที่สถานีน้ำท่า C.2 เพื่อทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของน้ำท่ารายเดือน ดังแสดงในรูปที่ ค-3 จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้มีปริมาณที่แตกต่างกับปริมาณน้ำท่าทีวัดได้ในสถานีน้ำท่าในช่วง ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นสูงสุดในแต่ละปี แต่เมื่อพิจารณาในฤดูแล้งแล้วจะเห็นได้ว่ามีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสถานี



รูปที่ ค-3 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากการคำนวณเทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานี C.2 ปี 2536-2546

ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณพบว่าค่าน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนมีความผิดพลาด ถึง 68% เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำท่าเป็นในแต่ละฤดูกาล พบว่าฤดูฝนมีความผิดพลาด 77% ซึ่งมากกว่าฤดูแล้งที่มีความผิดพลาด 59% ดังแสดงรายละเอียดความคลาดเคลื่อนในตารางที่ ค-4



รูปที่ ค-4 น้ำท่าที่ได้จากการคำนวณ (computed) เทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานี C.2 (observed)

ตารางที่ ค-4 ผลการตรวจสอบพารามิเตอร์ที่เลือกใช้ของแบบจำลองน้ำผิวดิน

Error	น้ำท่ารายเดือน			น้ำท่ารายฤดูกาล	
	ตลอดปี	ฝน	แล้ง	ฝน	แล้ง
ค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)	701	930	467	17,836	15,279
ค่าความคาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)	1,013	1,154	865	5,956	2,800
ค่าความคาดเคลื่อนสมบูรณ์กำลังสองเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)	1,368	1,538	1,164	6,243	4,058
ค่าความคาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (%.)	68%	77%	59%	53%	36%

4) ผลการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลองน้ำใต้ดินที่ยังไม่ได้เชื่อมต่อ

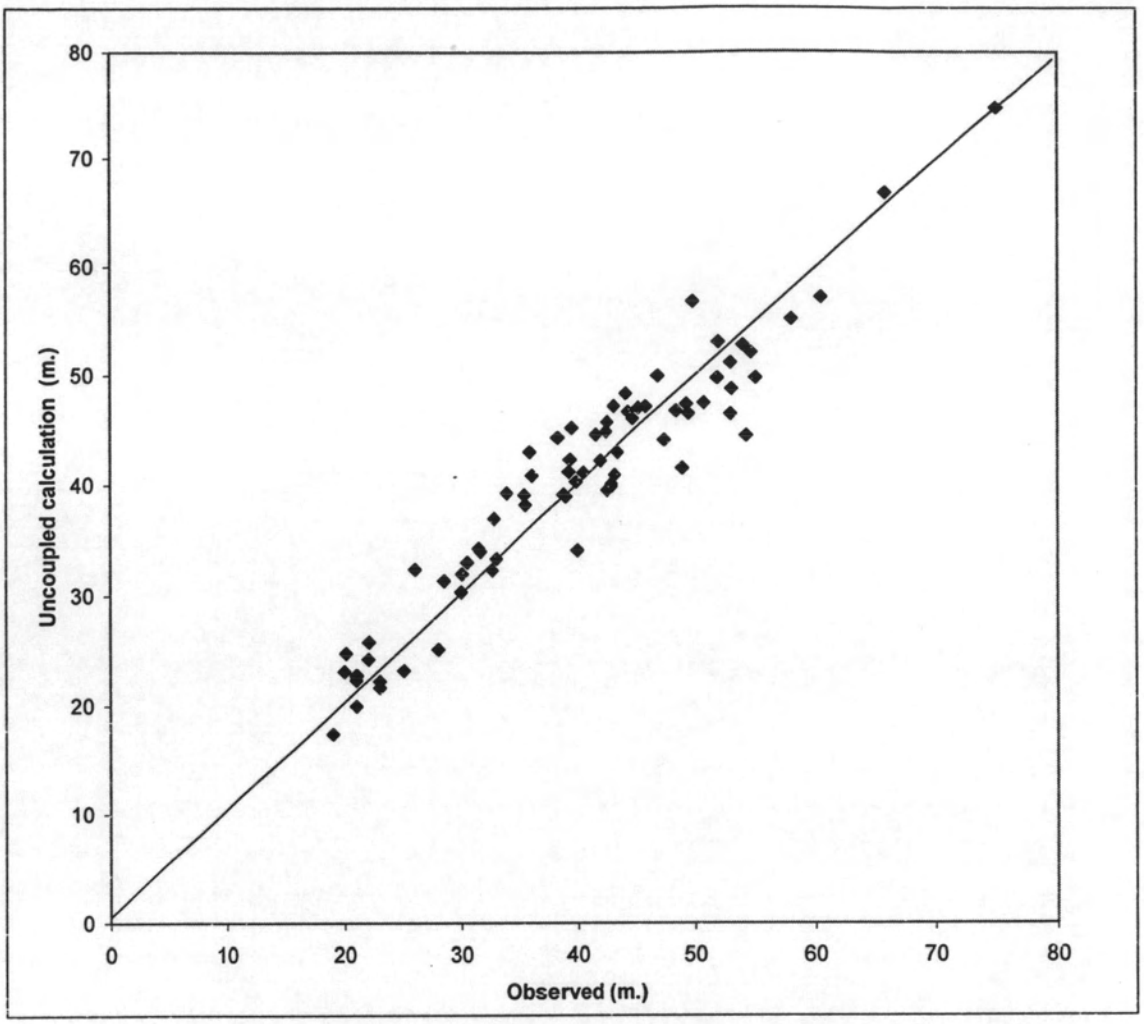
ในการปรับแก้แบบจำลองน้ำใต้ดิน ใช้วิธีการเปรียบเทียบผลการคำนวณระดับน้ำกับระดับน้ำที่ได้จากข้อมูลระเบียนบ่อน้ำใต้ดินที่เก็บมาจากสนาม โดยทำการปรับแก้แบบจำลองด้วยการปรับแก้ตัวแปรที่ได้กำหนดไว้เพื่อให้แบบจำลองสภาพน้ำใต้ดิน ให้ผลการคำนวณระดับน้ำมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลระดับน้ำมากที่สุด โดยการปรับเทียบและสอบทานได้แบ่งการคำนวณเป็น 3 ช่วง โดยแต่ละช่วงมีการปรับแก้พารามิเตอร์ ดังแสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับเทียบในตารางที่ ค-3

ตารางที่ ค-5 ข้อมูลและตัวแปรที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองน้ำใต้ดิน

ขั้นตอน	ข้อมูล	ตัวแปร
การปรับเทียบในสภาวะคงตัว	ค่าระดับน้ำใต้ดินเฉลี่ยฤดูแล้งในปี พ.ศ. 2546	ปรับแก้ อัตราการสูบ/เติมน้ำเฉลี่ย ค่าการนำทางสัมประสิทธิ์ความซึม
การปรับเทียบในสภาวะไม่คงตัว	ค่าระดับน้ำใต้ดินฤดูกาลราย 6 เดือน (ฝน-แล้ง) ในปี พ.ศ. 2536–2546	ปรับแก้ สัมประสิทธิ์การกักเก็บ สัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ
การสอบทาน	ค่าระดับน้ำใต้ดินฤดูกาลราย 3 เดือน พ.ศ. 2547 – 2548 จำนวน 4 ชุดข้อมูล	

การปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะคงตัว ได้ดำเนินการแบบจำลองในฤดูแล้งของปี 2546 ได้ผลการปรับเทียบ โดยมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลระดับน้ำใต้ดินของบ่อสังเกตการณ์กรมทรัพยากรน้ำใต้ดิน จำนวน 77 ชุดข้อมูล ดังรูปที่ ค-5 และสรุปความคลาดเคลื่อนได้ดังนี้

ค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ย	-0.97	เมตร
ค่าความคาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย	2.75	เมตร
ค่าความคาดเคลื่อนสมบูรณ์กำลังสองเฉลี่ย	3.70	เมตร

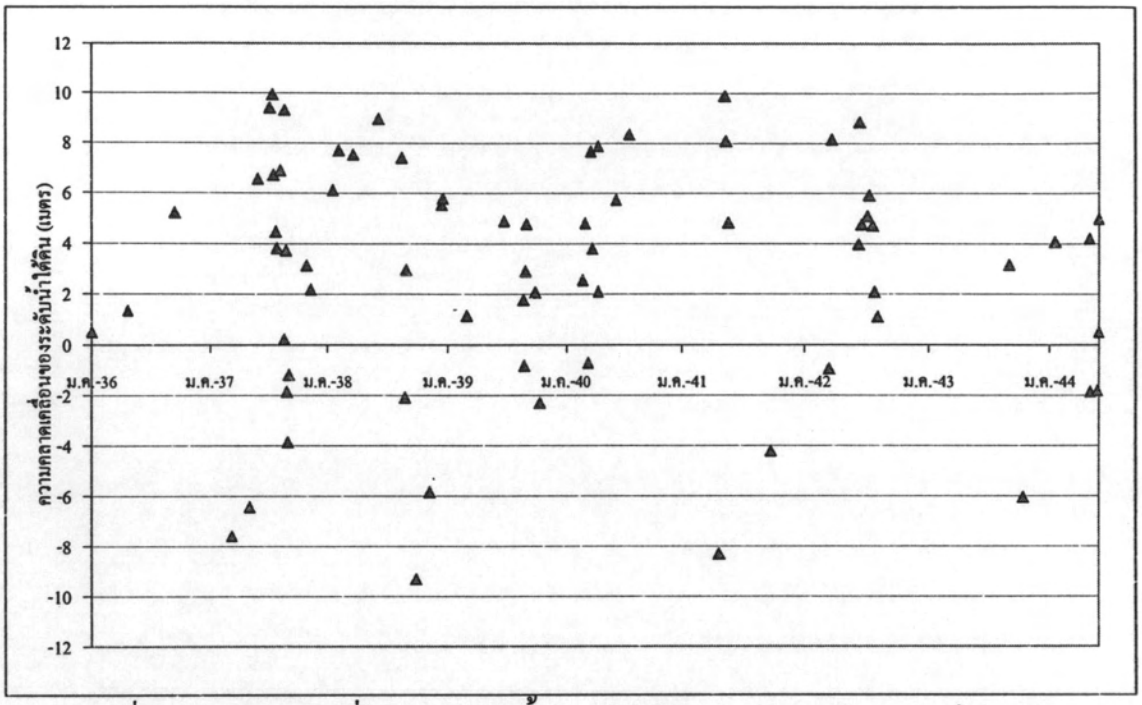


รูปที่ ค-5 เปรียบเทียบระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง (Computed) ในสภาวะคงตัว และระดับน้ำจากสนาม (Observed) ของฤดูแล้งปี 2546 (หน่วย: เมตร รทก.)

หลังจากการปรับแก้ค่าตัวแปรในสภาวะการไหลคงตัวเรียบร้อยแล้ว จึงนำผลการคำนวณหาค่าตัวแปรจากแบบจำลองมาดำเนินการคำนวณระดับน้ำภายในแอ่งน้ำใต้ดิน ในการปรับเทียบในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำที่ทำการเก็บรวบรวมทุก 6 เดือน (ฝน-แล้ง) ในช่วงปี พ.ศ. 2536 – 2546 เพื่อตรวจสอบสัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลแบบไม่คงตัว และสัมประสิทธิ์ในการประเมินอัตราการสูบน้ำรายเดือนและรายปี

การปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะไม่คงตัว ได้ดำเนินการแบบจำลองในช่วงปี 2536 ถึงปี 2546 ได้ผลการปรับเทียบ โดยมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลระดับน้ำใต้ดินของบ่อสังเกตการณ์กรมทรัพยากรน้ำใต้ดิน จำนวน 124 ชุดข้อมูล ซึ่งสรุปความคลาดเคลื่อนในแต่ละช่วงเวลาดังรูปที่ ค-6

ค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ย	3.83	เมตร
ค่าความคาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย	3.75	เมตร
ค่าความคาดเคลื่อนสมบูรณ์กำลังสองเฉลี่ย	4.53	เมตร

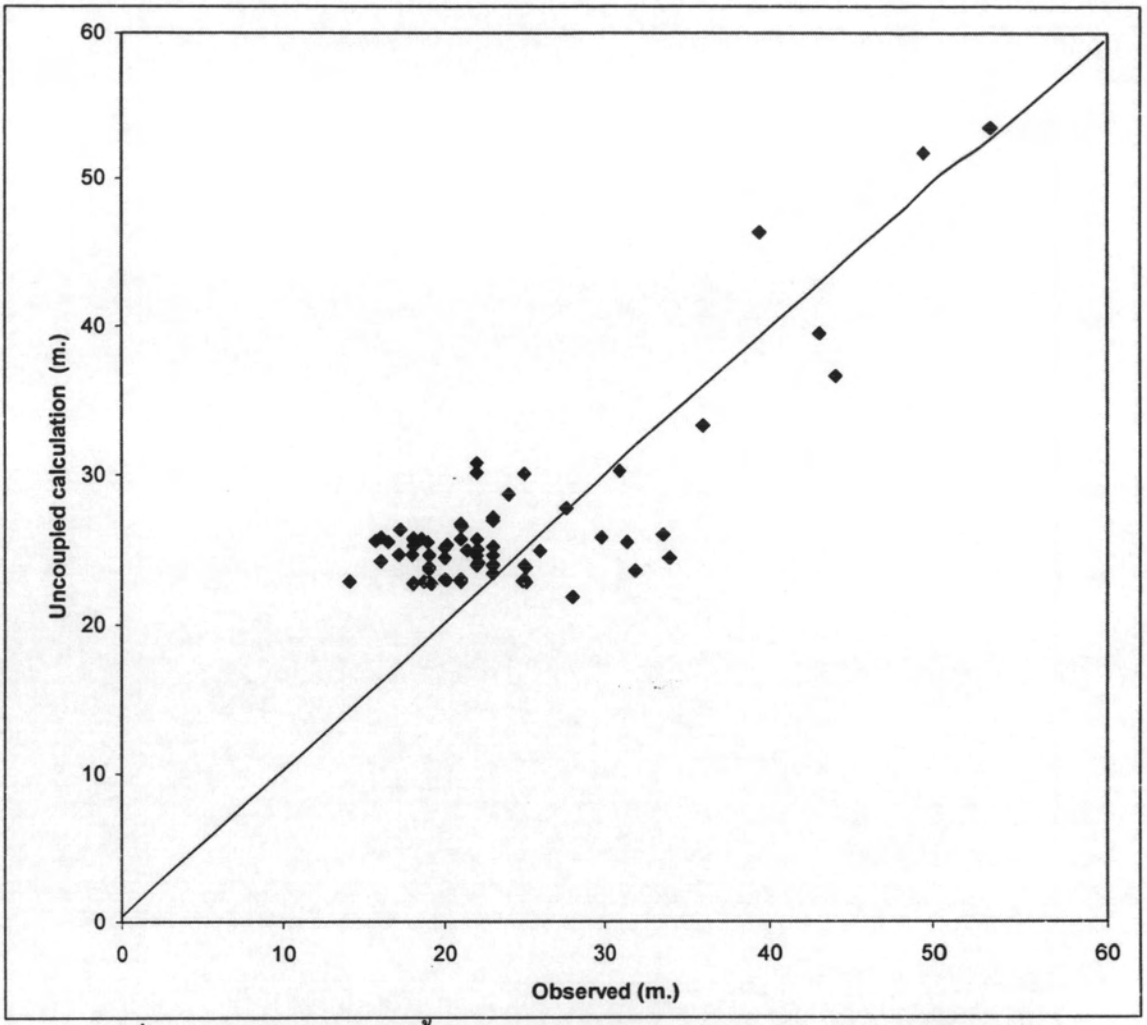


รูปที่ ค-6 ความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำการปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะไม่คงตัว ในช่วงปี 2536-2546 เทียบกับระดับน้ำจากสนาม

การสอบทานแบบจำลองเป็นขั้นตอนที่ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ หลังจากได้ปรับเทียบเรียบร้อยแล้ว โดยค่าระดับน้ำที่นำมาสอบทานนี้เป็นคนละชุดกับการปรับเทียบ โดยการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการตรวจสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลปี พ.ศ. 2547 – 2548 โดยอาศัยข้อมูลระดับน้ำจากหน่วยงานต่าง ๆ ในการตรวจแล้วดำเนินการวิเคราะห์ประวัติการใช้น้ำ และวิเคราะห์ระบบสมดุลของแหล่งน้ำใต้ดิน การสอบทานแบบจำลองเป็นขั้นตอนที่ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์หลังจากที่ได้ปรับเทียบเรียบร้อยแล้ว โดยค่าระดับน้ำที่นำมาเปรียบเทียบเป็นคนละชุดกับการปรับเทียบ โดยการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการตรวจสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลปี 2548 ในเดือนสิงหาคมและพฤศจิกายน โดยอาศัยข้อมูลระดับน้ำจากการเก็บข้อมูลภาคสนาม

การสอบทานแบบจำลองในสภาวะไม่คงตัว ในช่วงปี 2548 ได้ผลการปรับเทียบโดยมีความคลาดเคลื่อนจากระดับน้ำใต้ดินสังเกตการณ์ ที่ได้จากการเก็บวัดระดับน้ำของโครงการศึกษาครั้งนี้ จำนวน 29 ชุดข้อมูล ดังรูปที่ ค-7 สรุปความคลาดเคลื่อนดังรายการด้านล่าง

ค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ย	1.77	เมตร
ค่าความคาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย	5.34	เมตร
ค่าความคาดเคลื่อนสมบูรณ์กำลังสองเฉลี่ย	5.95	เมตร



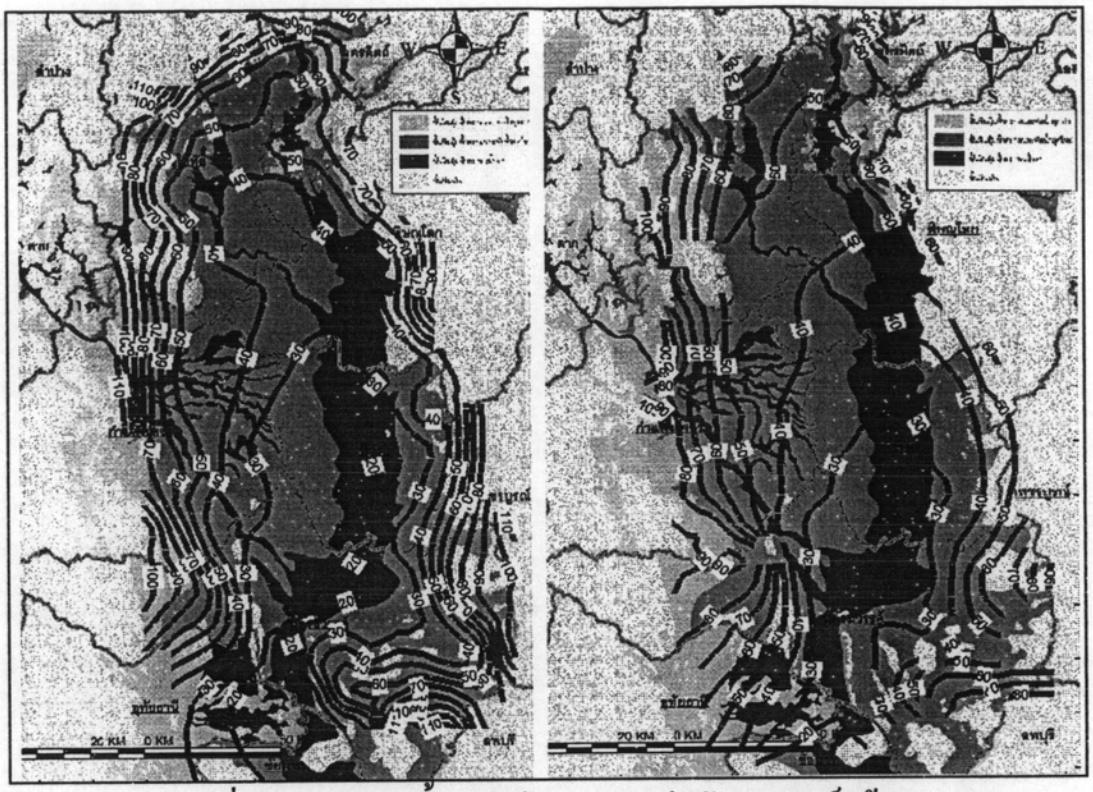
รูปที่ ค-7 เปรียบเทียบระดับน้ำการสอบทานแบบจำลองในสภาวะไม่คงตัวในช่วงปี 2548 เทียบกับระดับน้ำจากสนาม (หน่วย: เมตร รทก.)

จากการคำนวณระดับน้ำใต้ดินในช่วงสภาวะไม่คงตัว สามารถสรุปความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองแยกตามฤดูกาลได้ดังตารางที่ ค-6 ซึ่งพบว่าระดับน้ำในที่คำนวณในฤดูฝนมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าระดับน้ำในฤดูแล้ง

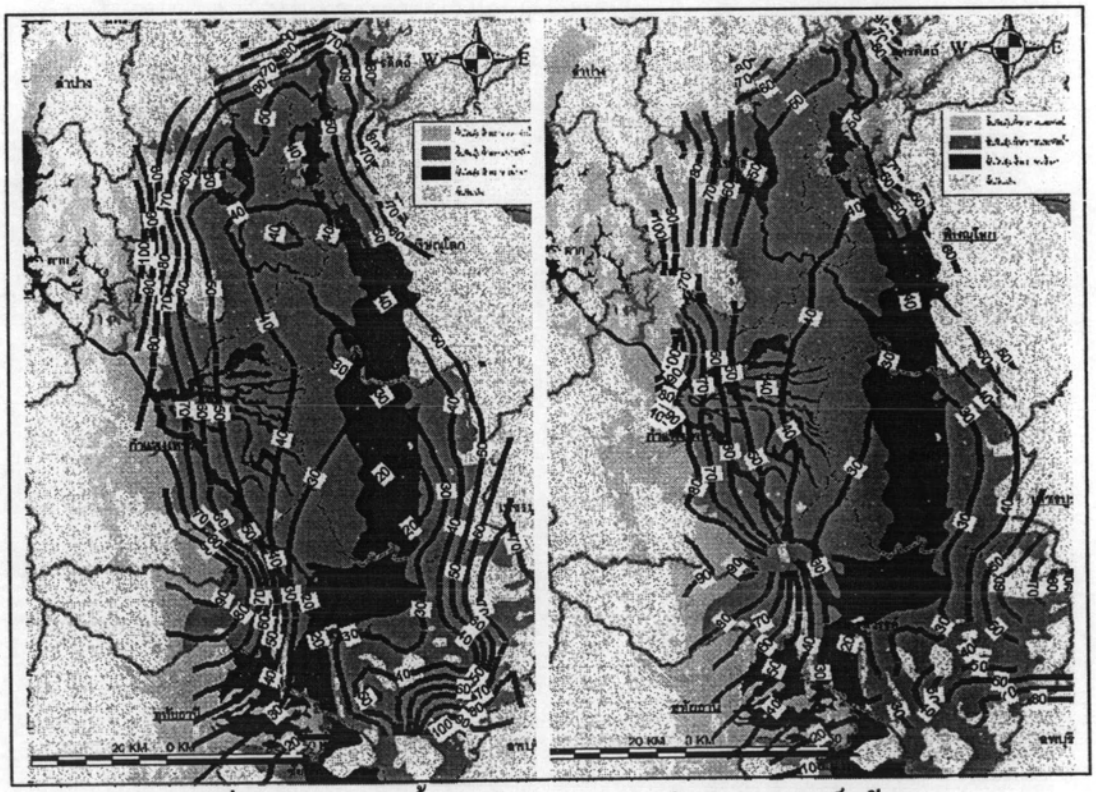
เมื่อพิจารณาความต่างของระดับน้ำจากผลการคำนวณกับบ่อสังเกตการณ์ พบว่าอยู่ในช่วง 1-5 เมตร ซึ่งเกิดความคลาดเคลื่อนมากบริเวณตอนกลางของแอ่งน้ำใต้ดิน ดังแสดงในรูปที่ ค-8 และผลในการคำนวณมีความคลาดคลาดเคลื่อนลดลง ในบริเวณขอบของแอ่งน้ำใต้ดิน

ตารางที่ ค-6 สรุปความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำใต้ดินในช่วงการคำนวณสภาวะไม่คงตัว

ค่าความคลาดเคลื่อนในสภาวะไม่คงตัว (2536-2546)	ระดับน้ำ ตลอดช่วง	ระดับน้ำตามฤดูกาล	
		ฝน	แล้ง
ค่าความคาดเคลื่อนเฉลี่ย (ม.)	3.82	3.51	1.18
ค่าความคาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (ม.)	4.53	4.92	4.17
ค่าความคาดเคลื่อนสมบูรณ์กำลังสองเฉลี่ย (ม.)	5.11	5.67	4.79



รูปที่ ค-8 (ก) ระดับน้ำฤดูฝนปี 2546 จากบ่อสังเกตการณ์ (ซ้าย)
และแบบจำลองสภาพการไหลไม่คงตัว (ขวา)



รูปที่ ค-8 (ข) ระดับน้ำฤดูแล้งปี 2546 จากบ่อสังเกตการณ์ (ซ้าย)
และแบบจำลองสภาพการไหลไม่คงตัว (ขวา)

ภาคผนวก ง

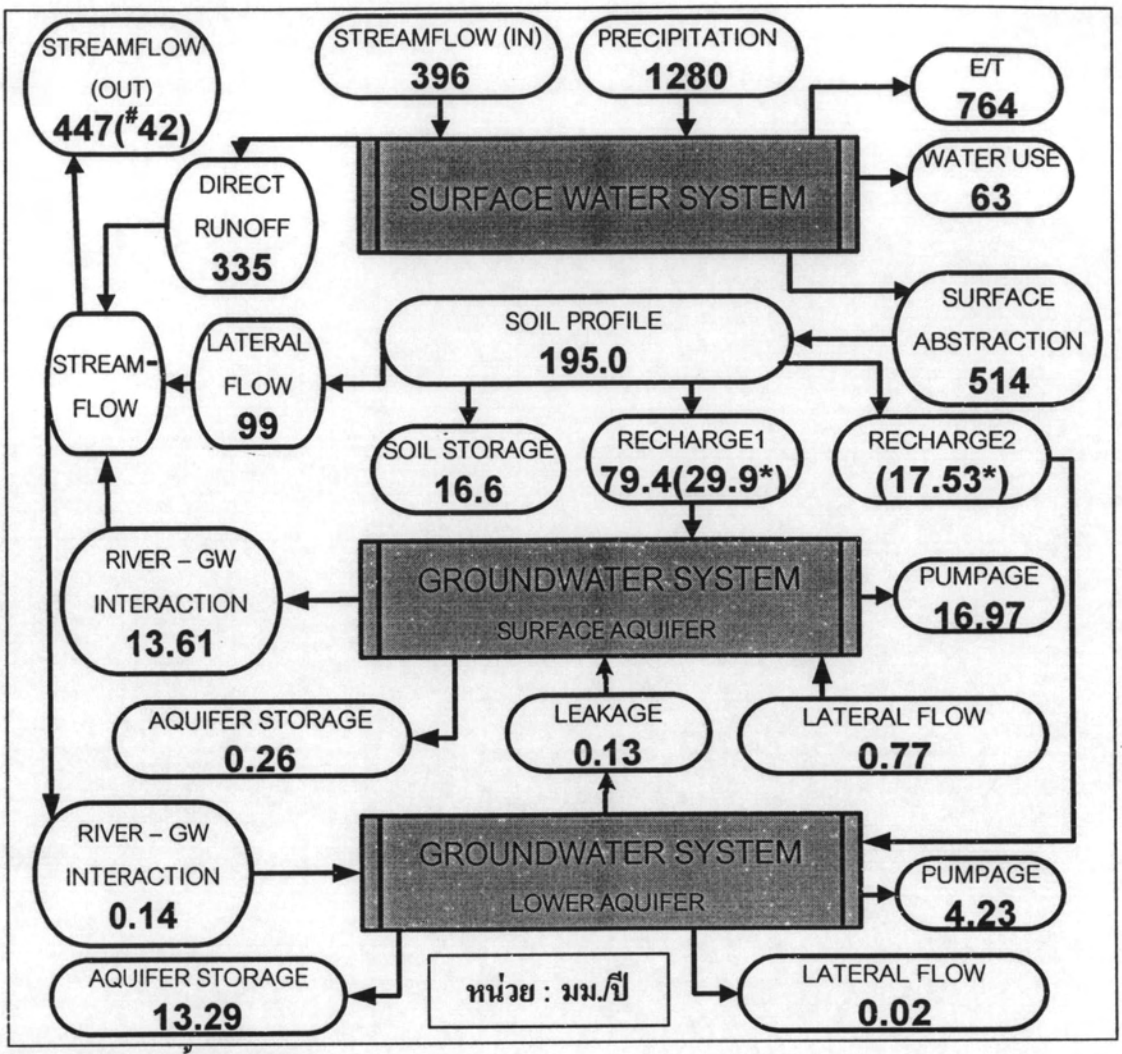
ผลการประเมินองค์ประกอบทางอุทกวิทยาและการเติมน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาด้วยแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว

เมื่อนำองค์ประกอบทางอุทกวิทยาของพื้นที่ศึกษาจำแนกออกตามฤดูกาลจะได้สมดุลน้ำในพื้นที่ศึกษาของฤดูฝนในรูปที่ ง-2 และฤดูแล้งในรูปที่ ง-3 ผลการจำแนกแสดงว่าฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดความเปลี่ยนแปลงของสมดุลน้ำในส่วนของชั้นดินและใต้ดิน กล่าวคือ ในฤดูฝนมีอัตราการเติมน้ำใต้ดินมาก ปริมานน้ำจึงถูกกักเก็บไว้ในชั้นดินและชั้นน้ำใต้ดินส่วนฤดูแล้งมีปริมาณเติมน้ำผิวดินน้อย ประกอบความต้องการใช้น้ำใต้ดินมีมากทำให้ต้องดึงน้ำกักเก็บในดินและแอ่งน้ำใต้ดินมาใช้ โดยบางส่วนเติมน้ำกลับเข้าไปสู่ลำน้ำผิวดิน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณการเติมน้ำระหว่างแบบจำลอง SWAT และแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้วพบว่าเมื่อทำการเชื่อมต่อแล้วจะให้ผลการคำนวณการเติมน้ำจากผิวดินเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ ง-4 และการเติมน้ำจากลำน้ำของ MODFLOW , SWAT และแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว ในรูปที่ ง-5 พบว่าเมื่อเชื่อมต่อแบบจำลองแล้วให้ผลการคำนวณการเติมน้ำจากลำน้ำแตกต่างจากแบบจำลองน้ำใต้ดินลดลงไป 39% แต่แตกต่างจากแบบจำลอง SWAT ที่มีเพียงแต่การเติมน้ำจากน้ำใต้ดินสู่ลำน้ำเท่านั้น

เมื่อพิจารณาการเติมน้ำใต้ดินจากผิวดินด้วยแบบจำลองที่ยังไม่ได้เชื่อมต่อ (MODFLOW) และแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว ในรูปที่ ง-6 และ ง-7 เห็นได้ว่าการเติมน้ำในลำน้ำนั้นมีความแตกต่างกันไม่มาก แต่การเติมน้ำจากผิวดินนั้นส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำที่เติมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในปริมาณที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด หากพิจารณาเชิงพื้นที่จึงพบว่า แบบจำลองที่ยังไม่ได้เชื่อมต่อ (MODFLOW) มีการเติมน้ำแต่ละกลุ่มพื้นที่กระจายในช่วง 0.5 -50.5 มม./ปี ดังแสดงในรูปที่ ง-9 และมีปริมาณการเติมน้ำสูงบริเวณตอนกลางของแอ่งน้ำใต้ดินตามบริเวณแนวลำน้ำ ส่วนแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้วมีการเติมน้ำในแต่ละพื้นที่กระจายในช่วง 4 -179 มม./ปี ดังแสดงในรูปที่ ง-10 และมีปริมาณการเติมน้ำสูงบริเวณรอบแอ่งน้ำใต้ดินในส่วนที่เป็นพื้นที่ป่าเขา

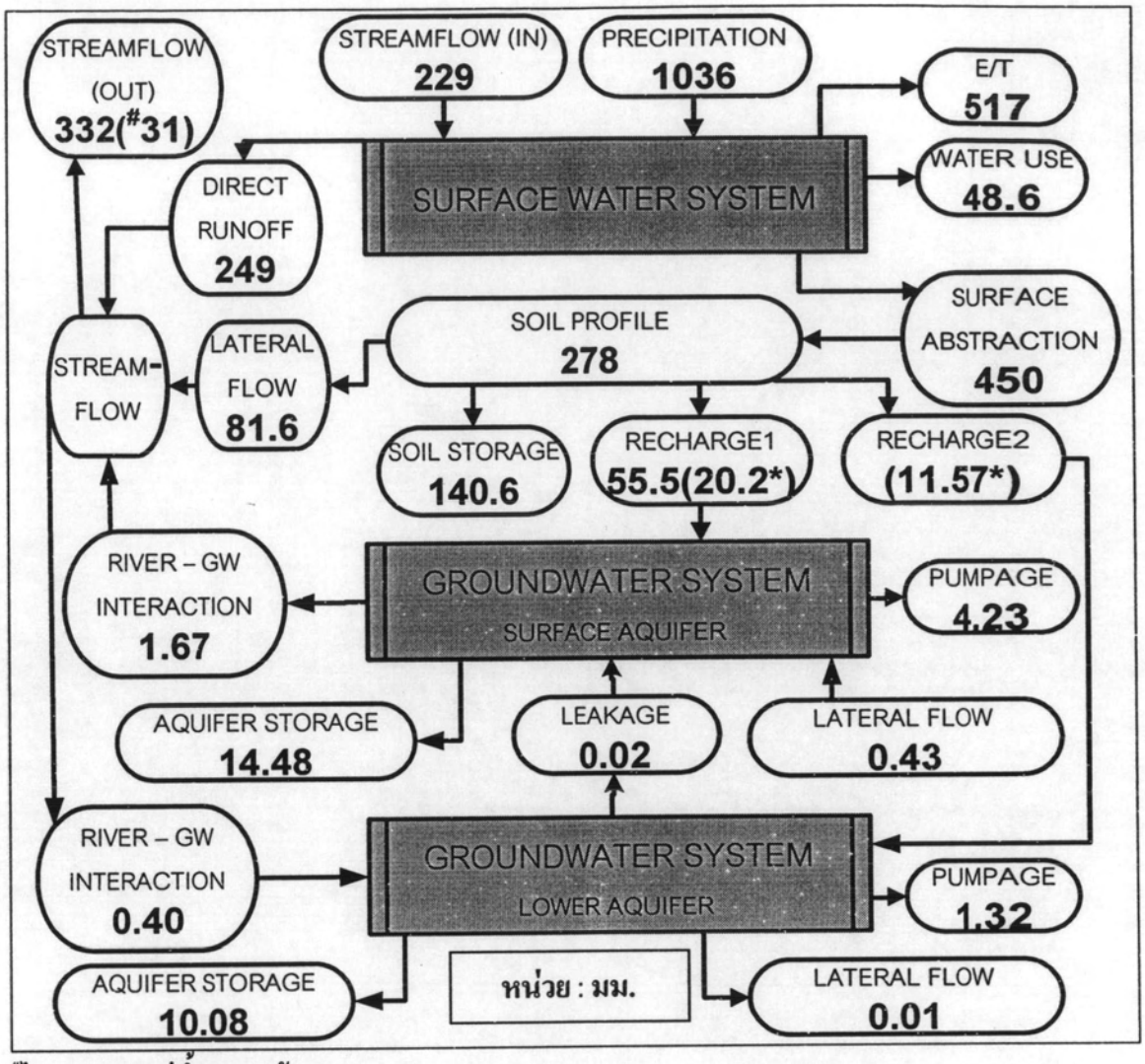
เมื่อพิจารณาการเติมน้ำของแอ่งน้ำใต้ดินในช่วงปี 2536-2545 โดยแบ่งออกเป็นการเติมน้ำจากผิวดินและจากลำน้ำ ได้ปริมาณการเติมน้ำดังรูปที่ ง-4 ซึ่งเห็นได้ว่าปริมาณการเติมน้ำส่วนใหญ่นั้นมากจากผิวดิน และน้ำจากลำน้ำจะเติมเข้าแอ่งน้ำใต้ดินบางส่วนในฤดูฝนโดยเฉพาะช่วงปีน้ำมาก และจะไหลกลับสู่ลำน้ำในฤดูแล้ง



#ไหลออกจากแม่น้ำสะแกกรัง

*ปริมาณน้ำที่เติมสู่พื้นที่ศึกษาน้ำใต้ดิน

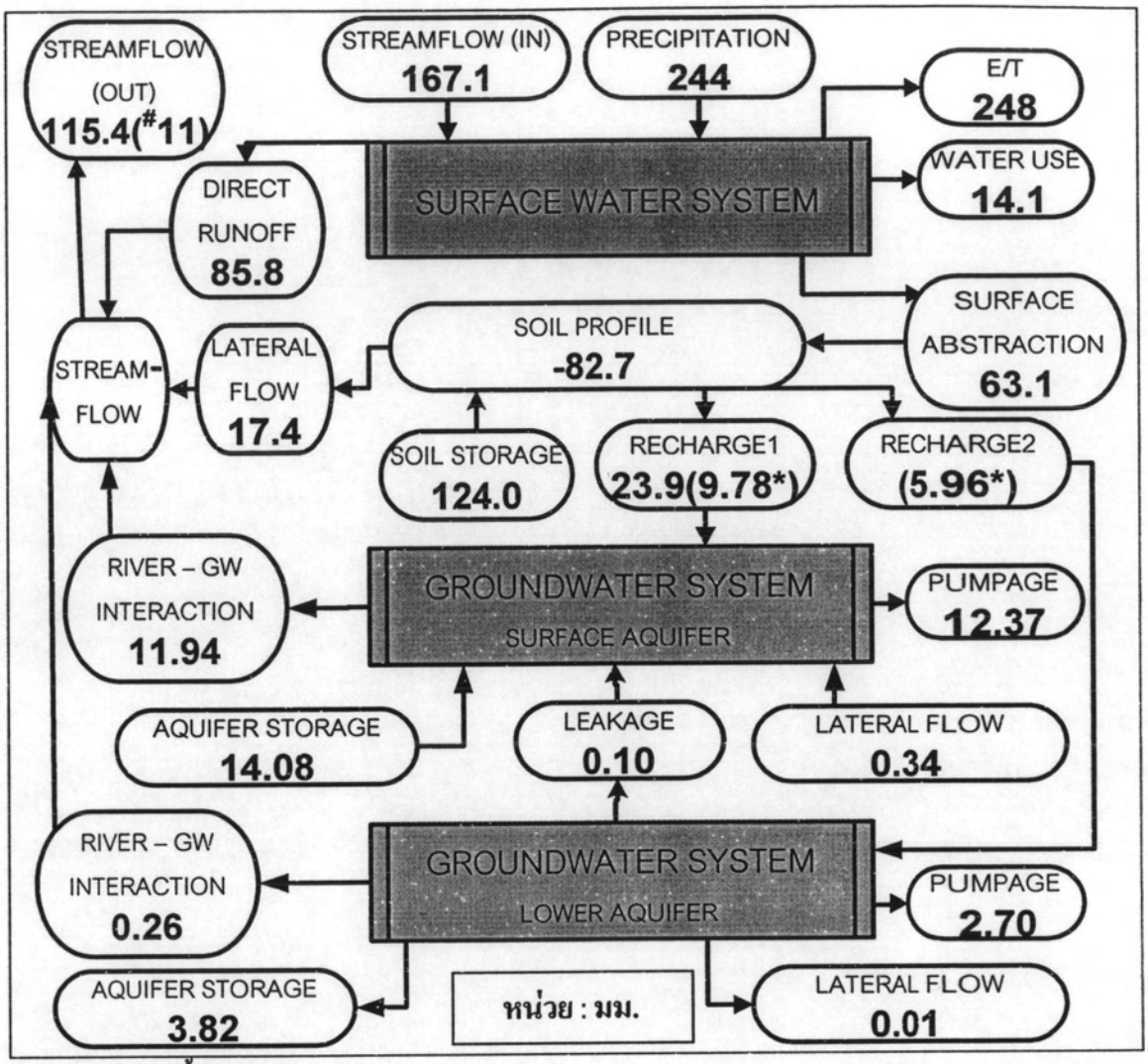
รูปที่ ง-1 สมดุลน้ำเฉลี่ยปี พ.ศ.2536-2545 ในระบบทางอุทกวิทยาจากแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว Coupled SWAT+MODFLOW)



#ไหลออกจากแม่น้ำสะแกกรัง

*ปริมาณน้ำที่เติมสู่พื้นที่ศึกษาน้ำใต้ดิน

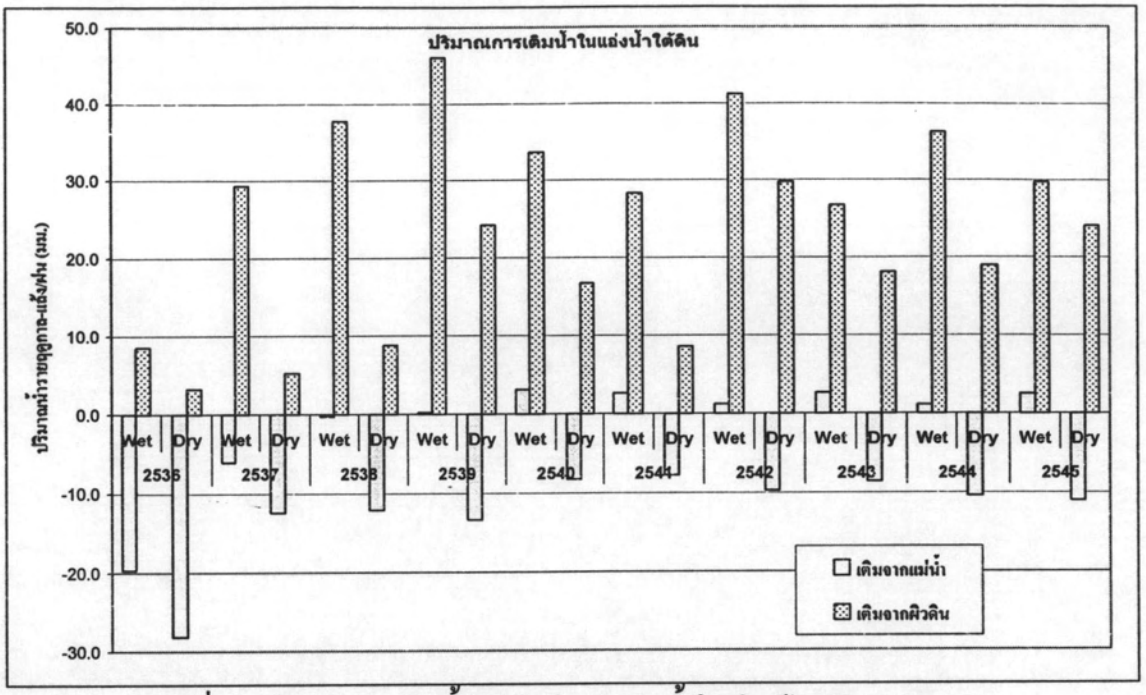
รูปที่ ง-2 สมดุลน้ำเฉลี่ยปี พ.ศ. 2536-2545 ในช่วงฤดูฝน (เม.ย.-ก.ย.)
ของระบบทางอุทกวิทยาจากแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว



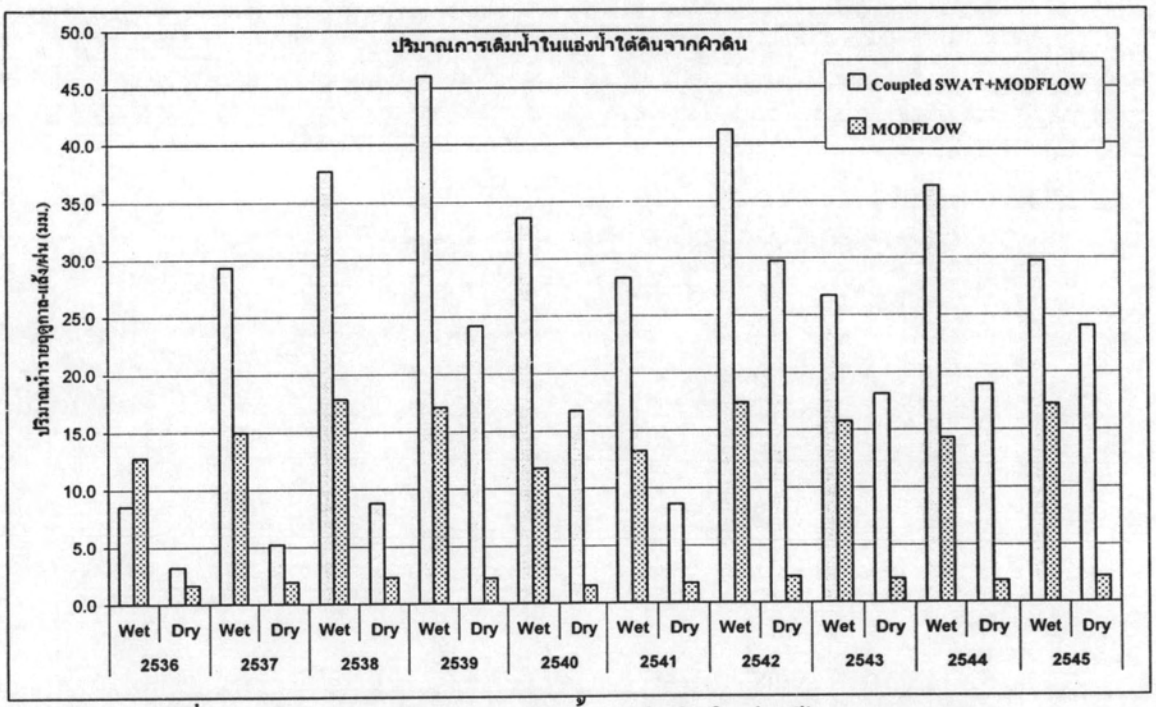
#ไหลออกจากแม่น้ำสะแกกรัง

*ปริมาณน้ำที่เติมสู่พื้นที่ศึกษาน้ำใต้ดิน

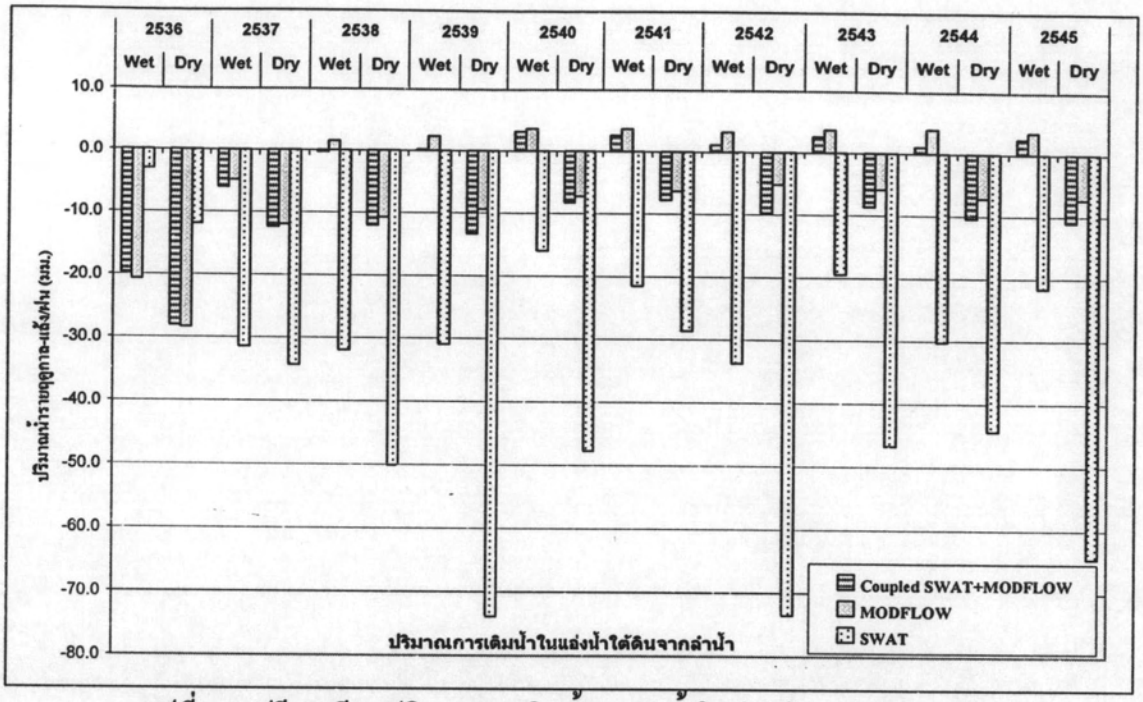
รูปที่ ง-3 สมดุลน้ำเฉลี่ยปี พ.ศ.2536-2545 ในช่วงฤดูแล้ง (เม.ย.-ก.ย.)
ของระบบทางอุทกวิทยาจากแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว



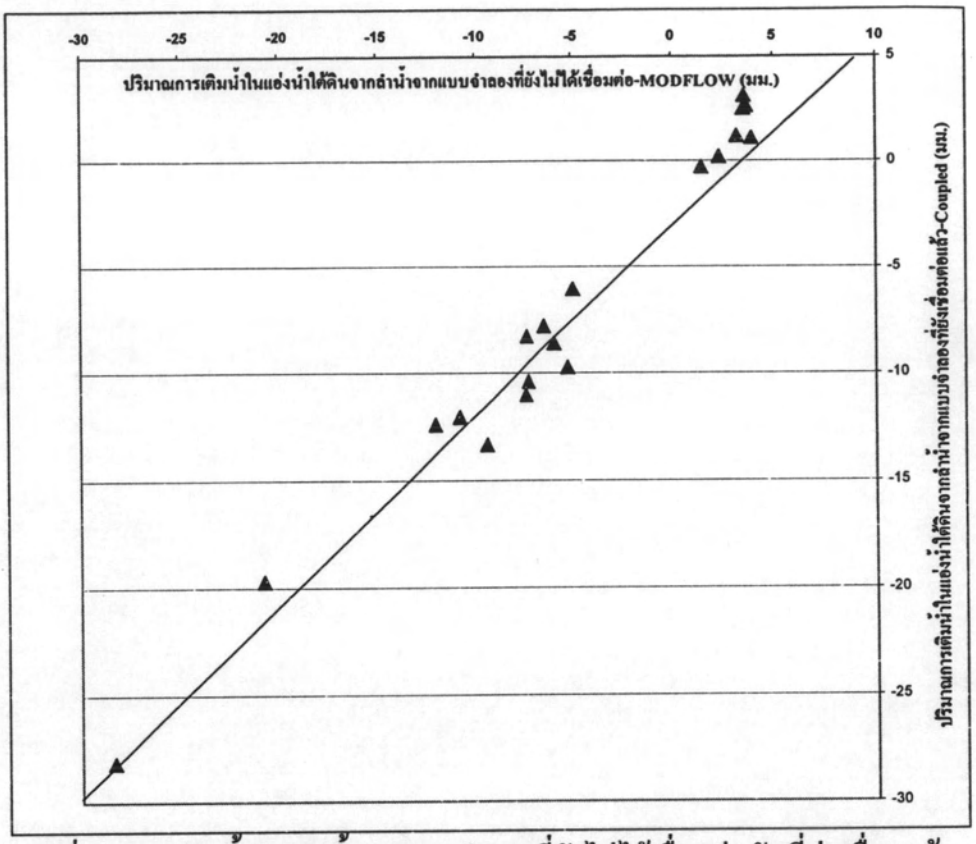
รูปที่ ง-4 ปริมาณการเติมน้ำจากผิวดินและลำน้ำในช่วงปี พ.ศ.2536-2545



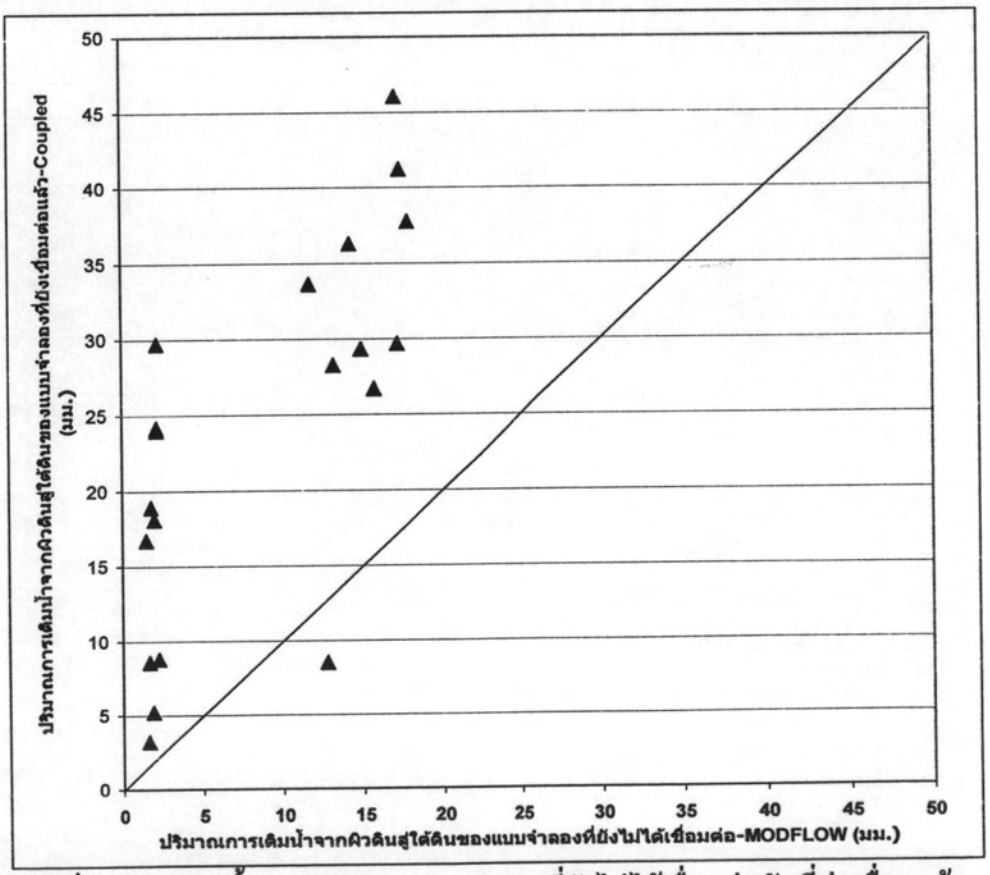
รูปที่ ง-5 เปรียบเทียบปริมาณการเติมน้ำจากผิวดินในช่วงปี พ.ศ.2536-2545
ของแบบจำลอง MODFLOW กับแบบจำลองที่ต่อเชื่อมแล้ว



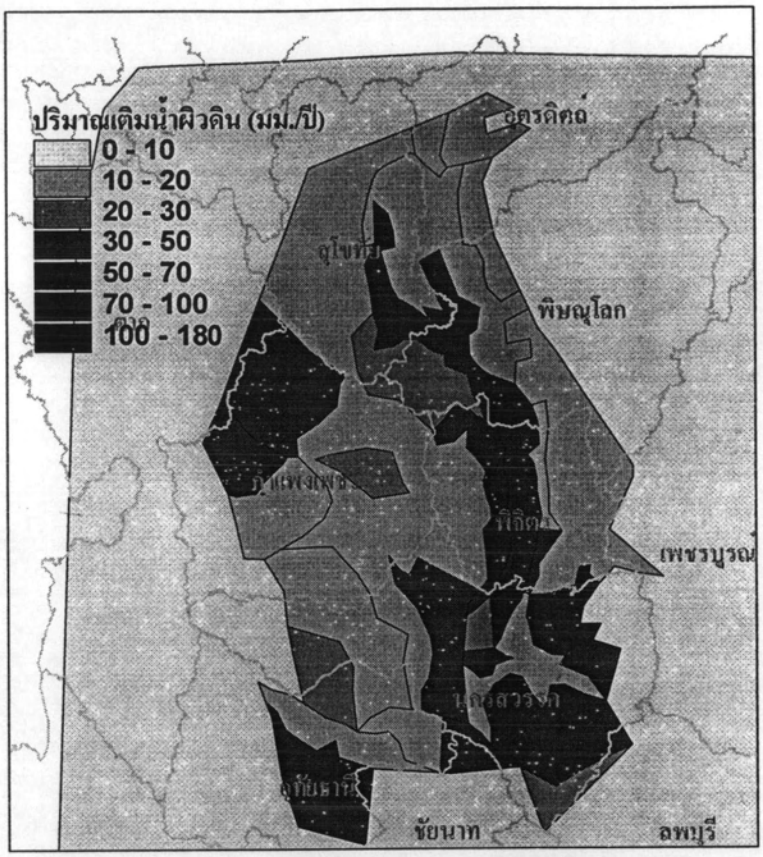
รูปที่ ง-6 เปรียบเทียบปริมาณการเติมน้ำจากลำน้ำในช่วงปี พ.ศ.2536-2545
ของแบบจำลอง MODFLOW กับแบบจำลองที่ต่อเชื่อมแล้ว



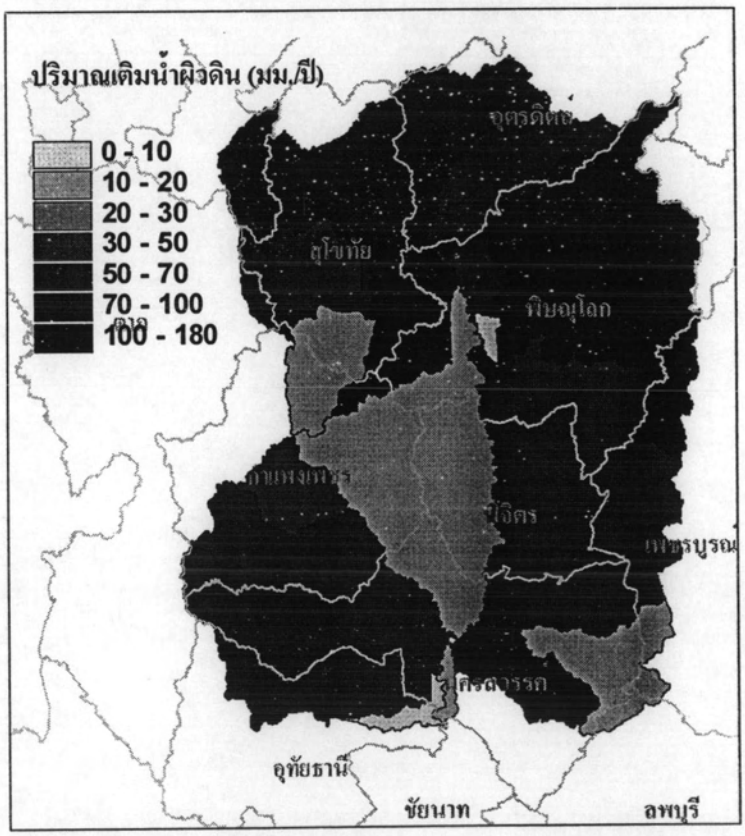
รูปที่ ง-7 การเติมน้ำจากลำน้ำของแบบจำลองที่ยังไม่ได้เชื่อมต่อกับที่ต่อเชื่อมแล้ว



รูปที่ ง-8 การเติมน้ำจากผิวดินของแบบจำลองที่ยังไม่ได้เชื่อมต่อกับที่ต่อเชื่อมแล้ว



รูปที่ ง-9 ปริมาณการเติมน้ำจากผิวดินเฉลี่ยปี พ.ศ.2536-2545 ที่ใช้ในแบบจำลองที่ยังไม่ได้เชื่อมต่อ



รูปที่ ง-10 ปริมาณการเติมน้ำจากผิวดินเฉลี่ยปี พ.ศ.2536-2545 จากแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว

ภาคผนวก จ

การนำเข้าข้อมูลและผลลัพธ์ของแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

1) ชุดคำนวณในแบบจำลองน้ำผิวดิน

ระบบและขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลของแบบจำลอง SWAT มีการนำเข้า 2 รูปแบบ คือการนำเข้าข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่ และการนำเข้าข้อมูลที่เป็นตาราง ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ต้องได้รวบรวมและวิเคราะห์ จัดทำเป็นไฟล์ไว้ก่อนแล้ว จึงค่อยนำเข้าแบบจำลอง โดยมีขั้นตอนหลักๆ ในการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

1. การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ
2. การกำหนดลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการกำหนดชนิดดิน
3. การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs)
4. การนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศ
5. การนำเข้าข้อมูลฝน

จากที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 ว่าในปัจจุบันแบบจำลอง SWAT ได้มีการพัฒนาเพื่อให้ใช้งานได้กับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ในที่นี้จึงได้นำแบบจำลอง AV SWAT ที่เป็น extension หนึ่งของ Arcview GIS มาใช้งาน หน้าต่างแรกของการเปิดใช้แบบจำลองจึงเป็นหน้าต่างของ ArcView เรียกว่า Watershed View สำหรับการเริ่มใช้แบบจำลอง (ทั้งนี้ได้แสดงตัวอย่างการสร้างแบบจำลอง SWAT สำหรับพื้นที่ศึกษาอย่างรายละเอียดในภาคผนวก ฉ)

ก. การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ

ส่วนนี้เป็นขั้นตอนแรกของการสร้างแบบจำลอง เป็นการจำลองสภาพทางกายภาพทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำจากแบบจำลอง ซึ่งต้องนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ 3 ชั้นข้อมูล คือ DEM grid, Focusing watershed area option และ Burn in option รายละเอียดเป็น ดังนี้

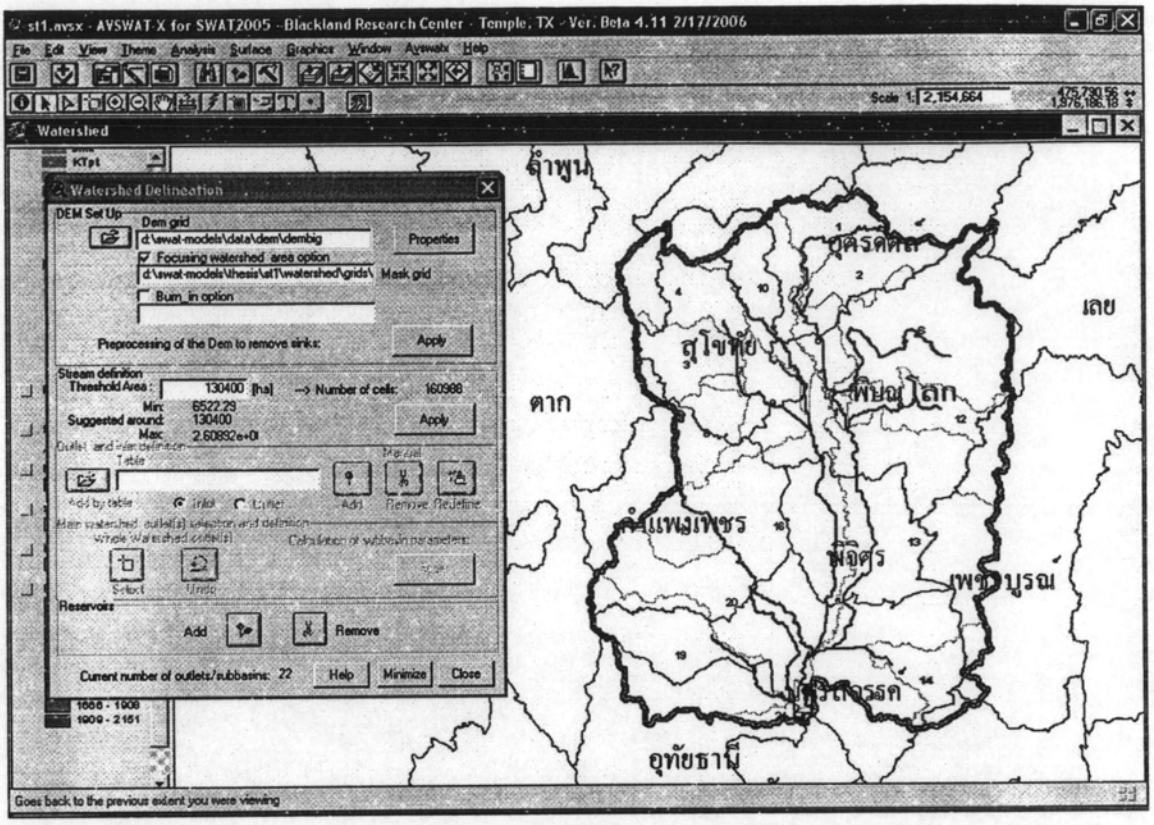
1.) DEM grid เป็นการนำเข้าข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข DEM เพื่อให้แบบจำลองใช้ในการคำนวณสภาพทางกายภาพทั่วไปของพื้นที่ เช่น ความลาดชันของพื้นที่ ขอบเขตสันปันน้ำเพื่อกำหนดพื้นที่รับน้ำ เป็นต้น ซึ่งต้องมีการกำหนด Properties ของ DEM grid ก่อนการนำเข้า โดยประกอบด้วย หน่วยวัดระยะทางตามแกน X-Y-Z และระบบที่จะใช้สำหรับการ Projection (พื้นที่ในประเทศไทยใช้ UTM-1983 Zone 47) จะได้ข้อมูล DEM ที่มีพิกัดเดียวกับข้อมูลอื่น ๆ ที่ต้องการนำเข้า

2.) Focusing watershed area option เป็นการกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาที่สนใจ ซึ่งก่อนที่จะนำเข้าแบบจำลองต้องสร้างไฟล์ขอบเขตพื้นที่ศึกษาให้เป็น ระบบ Grid จากนั้นจึงนำเข้าสู่แบบจำลอง

3.) Burn in option การกำหนดแฟ้มข้อมูลที่แสดงเส้นแนวแม่น้ำสายหลัก เป็นการกำหนดเส้นแนวแม่น้ำจากแบบจำลอง ที่ได้เตรียมไว้แล้ว มีลักษณะของข้อมูลเป็น Shape File เพื่อให้การคำนวณใช้เวลาน้อยลงและมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

เมื่อกำหนดข้อมูลสำหรับ DEM set up ครบแล้ว โปรแกรมจะประมวลผลข้อมูล DEM ประกอบด้วย การคำนวณทิศทางการไหลของน้ำสำหรับแต่ละกริด และการกำจัดพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นแอ่งต่ำ หนอง (Sink) จากนั้นจะเป็นขั้นตอนกำหนดรายละเอียดของโครงข่ายลำน้ำ โดยตั้งค่า Threshold Area ในส่วนของ Stream definition ซึ่งถ้ากำหนดค่า Threshold Area ต่ำ ๆ จะทำให้โครงข่ายลำน้ำที่ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม AVSWAT มีความละเอียดมาก

หลังจากการสร้างโครงข่ายลำน้ำเบื้องต้นเสร็จแล้ว ในขั้นตอนสุดท้ายของการกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นการกำหนดจุดออก (outlet) ของลำน้ำย่อยต่างๆ และการกำหนดจุดปลายสุดของลำน้ำของพื้นที่ศึกษา วิธีการกำหนดจุดออกสามารถทำได้ 2 แบบ คือ 1) การเลือกเฉพาะจุดเชื่อมลำน้ำที่ทำให้เกิดลุ่มน้ำย่อยที่สนใจด้วยมือ (Manual) โดยกำหนดตำแหน่งของจุดออกด้วยมือผ่านทางหน้าจอของ Watershed View โดยตรง และ 2) กำหนดจุดออกบริเวณที่เป็นสถานีวัดน้ำท่าหรือที่ตั้งโครงการชลประทานที่ต้องการวิเคราะห์ ในที่นี้คือ สถานีวัดน้ำท่า C.2 เมื่อพิจารณาขอบเขตลุ่มน้ำหลัก และลุ่มน้ำย่อย ที่โปรแกรมสร้างขึ้น แล้วพบว่าถูกต้องตรงตามความต้องการดีแล้ว โปรแกรมจะคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของพื้นที่ลุ่มน้ำและลำน้ำ ที่จำเป็นต้องใช้ในการจัดเตรียมข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลอง SWAT ได้แก่ ขนาดพื้นที่รับน้ำ ความลาดชัน ความยาวลำน้ำ ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง เป็นต้น และแบบจำลองจะไปใช้ในการคำนวณทางอุทกวิทยาต่อไป



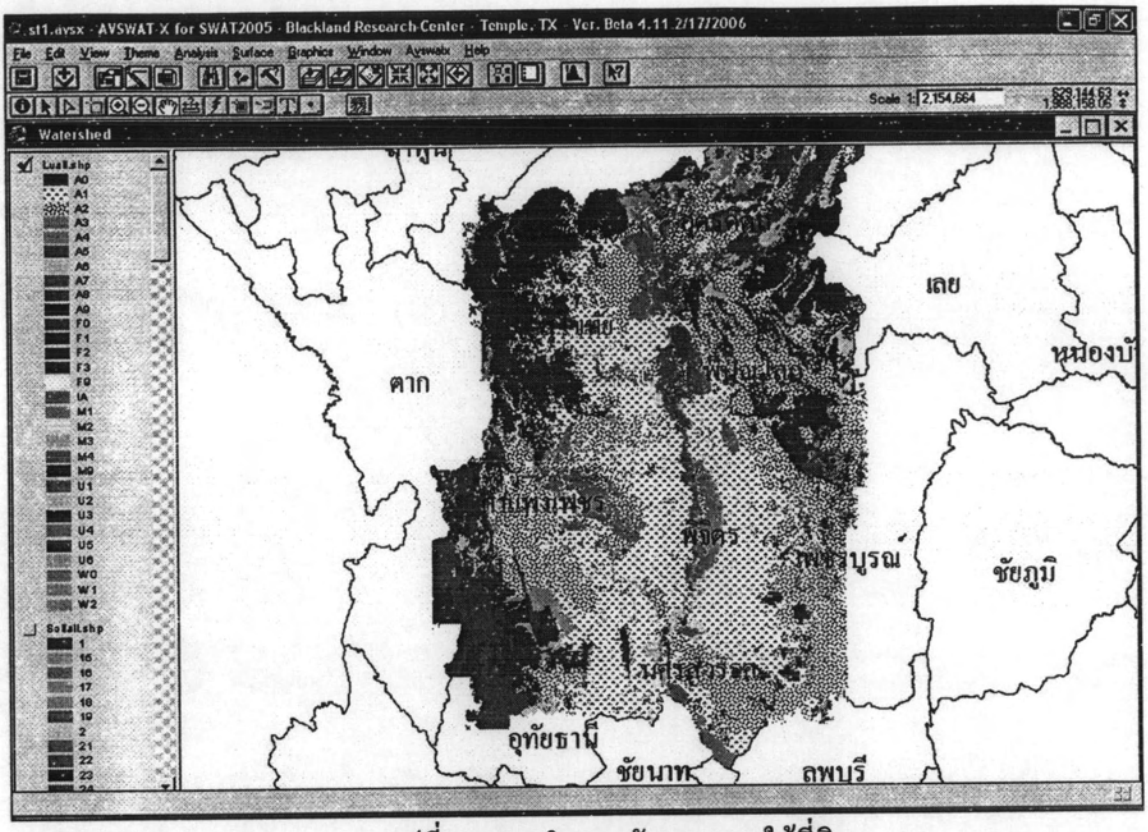
รูปที่ จ-1 การกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำจากแบบจำลอง

ข. การกำหนดลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการกำหนดชนิดดิน

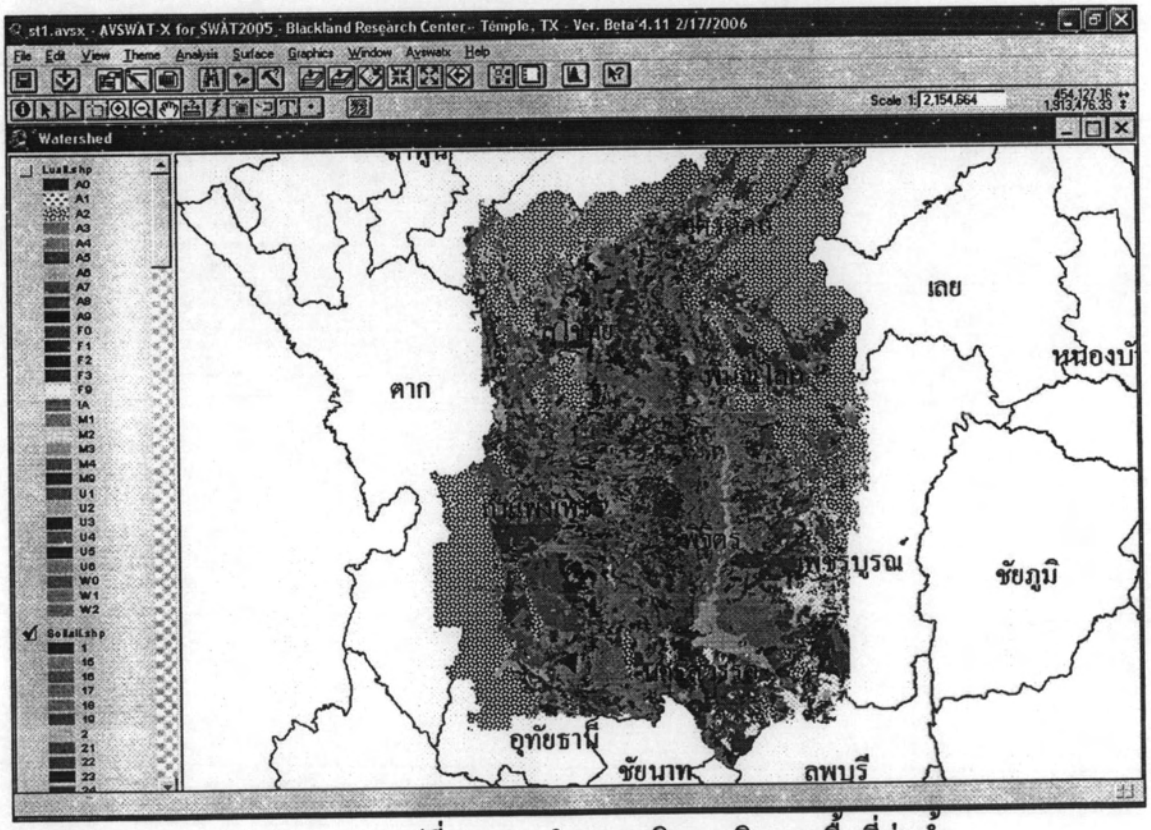
ขั้นตอนนี้เป็นการนำเข้าข้อมูลของสภาพลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และสภาพชนิดดิน ของพื้นที่ที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา โดยต้องกำหนดรหัสการใช้ที่ดินแต่ละประเภทให้สอดคล้องกับฐานข้อมูลประเภทการใช้ที่ดินของโปรแกรม AVSWAT ซึ่งทำได้ 2 วิธีคือ

1.) Manual Define เป็นกำหนดรหัสฐานข้อมูล AVSWAT จากหน้าต่าง SWAT Land Use เพื่อให้ผู้ใช้กำหนดว่าประเภทการใช้ที่ดินนั้นอยู่ในกลุ่ม Land Cover/Plant หรือ กลุ่ม Urban จากนั้นจึงแสดงหน้าต่างรายการรหัสประเภทการใช้ที่ดินของฐานข้อมูล AVSWAT ให้เลือก วิธีนี้ต้องกำหนดรหัสการใช้ที่ดินทีละประเภท ซึ่งทำให้เสียเวลามากถ้าหากพื้นที่ลุ่มน้ำประเภทการใช้ที่ดินหลายประเภท

2.) Lookup Table เป็นการเตรียมไฟล์ตารางข้อมูล (dbf) หรือไฟล์ข้อความ (txt) สำหรับเชื่อมโยงรหัสประเภทการใช้ที่ดินของแผนที่ที่นำเข้ากับรหัสในฐานข้อมูล AVSWAT



รูปที่ จ-2 การกำหนดลักษณะการใช้ที่ดิน



รูปที่ จ-3 การกำหนดชนิดของดินของพื้นที่ลุ่มน้ำ

และสำหรับการแบ่งประเภท ของการใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับแบบจำลอง SWAT ในการศึกษานี้ ได้นำข้อมูลการใช้ที่ดินจากฐานข้อมูลของหน่วยงานต่าง ๆ ในประเทศไทย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.1 มาแบ่งประเภทให้ตรงกับรหัสของแบบจำลองที่เป็น 4 ตัวอักษร ได้ดังแสดงในหัวข้อ ข้อมูลการใช้ที่ดิน

เมื่อทำการเชื่อมโยงรหัสประเภทการใช้ที่ดินแล้ว หน้าต่าง Watershed View จะปรากฏชั้นข้อมูล (Themes) ใหม่ชื่อ "SwatLanduseClass" เป็นชั้นข้อมูลในระบบตำแหน่งพิกัดของชั้นข้อมูลแผนที่ (Grid) ซึ่งมีรหัสการใช้ที่ดินตรงกับฐานข้อมูล AVSWAT โดยจะได้ผลลัพธ์การกำหนดลักษณะการใช้ที่ดิน

ในส่วนของการนำเข้าแผนที่ชนิดของดิน มีวิธีการและขั้นตอนเช่นเดียวกันกับส่วนของการนำเข้าแผนที่การใช้ที่ดินดังกล่าวข้างต้น แต่สำหรับการกำหนดรหัสชนิดดินให้สอดคล้องกับฐานข้อมูลชนิดดินของโปรแกรม AVSWAT นั้นต้องเลือก option ของรหัสฐานข้อมูลชนิดดินที่ผู้ใช้ต้องการ กรณีพื้นที่ในประเทศไทยไม่สามารถใช้รหัส Stmuid หรือ S5id ซึ่งเป็นรหัสเฉพาะของชนิดในประเทศสหรัฐอเมริกา จึงต้องเลือก option "name" โดยทางเลือกนี้จะสั่งให้โปรแกรมใช้ฐานข้อมูลชนิดดินที่ผู้ใช้สร้างขึ้นเอง เมื่อโปรแกรม Reclassify เสร็จแล้ว หน้าต่าง Watershed View จะปรากฏชั้นข้อมูล (Themes) ใหม่ชื่อ "SoilClass" ซึ่งมีรหัสชนิดดินตรงกับฐานข้อมูล AVSWAT โดยจะได้ผลลัพธ์การกำหนดลักษณะการใช้ที่ดิน

ค. การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs)

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดเงื่อนไขการสร้างหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Response Units หรือ HRUs) ของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย สอดคล้องตามการแพร่กระจายของลักษณะการใช้ที่ดินและชนิดของดิน ในการศึกษานี้ เลือกการกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาแบบ Multiple Hydrologic Response Units เป็นการกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยมี HRUs สอดคล้องตามเปอร์เซ็นต์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินและชนิดดินในลักษณะของสัดส่วนพื้นที่ที่ต่ำสุดในการนำไปกำหนดหน่วยแต่ละ HRU ซึ่งแสดงถึงความละเอียดของแบบจำลอง โดยหากกำหนดให้หน่วยพื้นที่การใช้ที่ดินหรือพื้นที่ชุดดินยิ่งมีค่าน้อย แบบจำลองที่ได้จะยิ่งละเอียด ส่งผลให้การคำนวณซับซ้อนและยากขึ้น ดังนั้นการกำหนด HRUs จึงต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้งานด้วย และเนื่องจากการศึกษานี้เกี่ยวกับเรื่องของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จึงต้องเน้นความสำคัญในส่วนของการกำหนดพื้นที่ต่ำสุดของการใช้ที่ดินที่ละเอียด ในที่นี้จึงกำหนดให้ Land use % over subbasin area = 1% และ Soil class % over subbasin area = 10% นั่นคือ โปรแกรมจะทำการแบ่งทุก ๆ พื้นที่ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีค่าการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่และชนิดของดินที่มีค่าตั้งแต่ 1% และ 10% ขึ้นไป ตามลำดับให้เป็น 1 HRU ภายในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำ

ง. การนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศ/ข้อมูลฝน

เมื่อได้ทำขั้นตอนการจำลองสภาพลุ่มน้ำลงไปในแบบจำลองแล้ว ขั้นตอนต่อไปต้องนำเข้าข้อมูลสภาพทางอุทกวิทยา ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะนำค่าไปคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยข้อมูลนำเข้าสภาพทางอุทกวิทยา หลัก ๆ ประกอบด้วยข้อมูลฝน และข้อมูลสภาพภูมิอากาศ โดยจัดเตรียมไฟล์ของตำแหน่งที่ตั้งสถานี และข้อมูลต่างๆให้อยู่ในรูปแบบของแบบจำลอง SWAT และโปรแกรมจะใช้ข้อมูลของสถานีเหล่านี้ในการคำนวณข้อมูลภูมิอากาศรายวันที่จะใช้ในการคำนวณแบบจำลอง SWAT ต่อไป

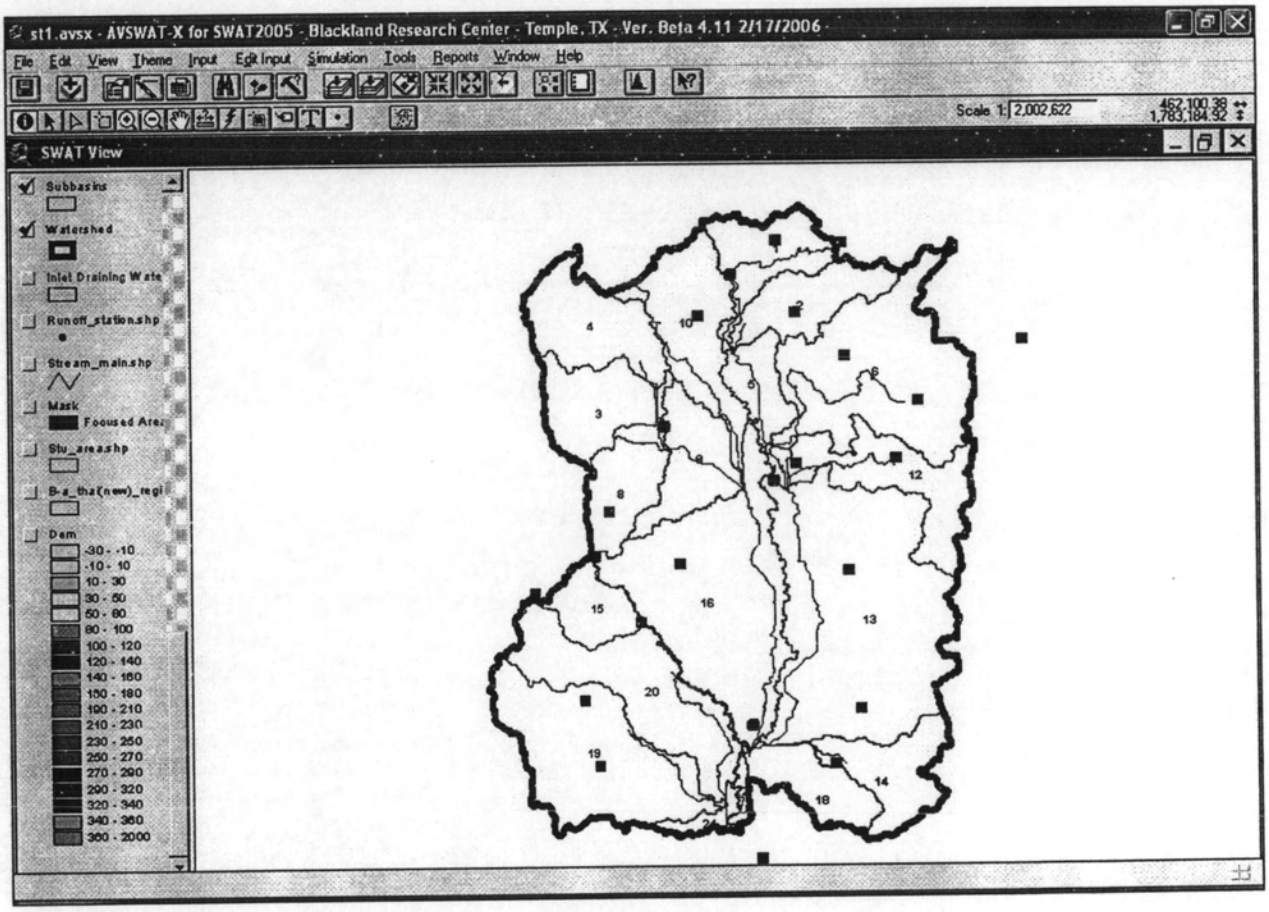
ในขั้นตอนต่อไป เป็นการจัดเตรียมไฟล์ข้อมูลของข้อมูลน้ำฝนให้อยู่ในรูปแบบของแบบจำลอง SWAT ซึ่งต้องหาตัวแทนของฝนในพื้นที่แต่ละลุ่มน้ำย่อยจากที่มีการแบ่งด้วยแบบจำลองมาแล้ว ทั้งสิ้น 22 ลุ่มน้ำย่อย โดยในการศึกษานี้ได้ใช้วิธีของ Thiessen Polygon แบ่งย่อยพื้นที่รับน้ำฝนให้กับสถานีวัดน้ำฝนแต่ละสถานี จากนั้นจึงคิดเป็นสัดส่วนของพื้นที่ที่มีอิทธิพลฝนในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย แล้วเปลี่ยนตำแหน่งที่ตั้งสถานีน้ำฝนที่เป็นตัวแทนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ให้อยู่ที่บริเวณจุดศูนย์ถ่วงของแต่ละลุ่มน้ำย่อยนั้นๆ

จ. สร้างไฟล์ข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง SWAT

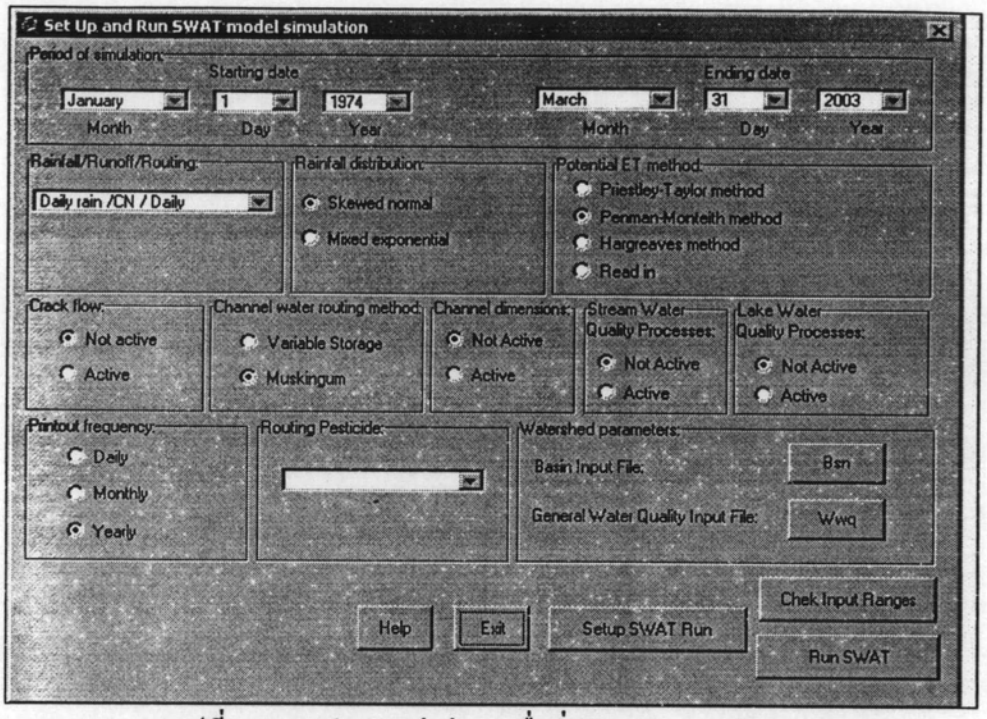
หลังจากมีการนำเข้าข้อมูลครบถ้วนตามกระบวนการของแบบจำลอง SWAT แล้ว สิ่งที่ต้องทำต่อไปคือ การสั่งให้ข้อมูลนำเข้าแต่ละส่วน เข้าสู่กระบวนการสร้างฐานข้อมูลในแบบจำลอง เพื่อนำข้อมูลไปคำนวณทางคณิตศาสตร์ ทำได้โดยการเลือกเมนู Input ซึ่งเป็นเมนูที่อยู่ใน SWAT View ซึ่งในแต่ละคำสั่งที่ปรากฏ จะเป็นการสั่งให้มีการนำเข้าข้อมูลตามลำดับขั้นตอน แต่ละขั้นตอนจะมีความสัมพันธ์กัน คือถ้าจะผ่านไปขั้นการนำเข้าข้อมูลต่อไปต้องผ่านการนำเข้าข้อมูลที่กำหนดไว้จากแบบจำลองของขั้นที่แล้วสำเร็จก่อน โดยก่อนที่แบบจำลอง SWAT จะนำค่าต่าง ๆ ไปคำนวณ ต้องมีการนำเข้าลุ่มน้ำเริ่มต้นที่ถูกตั้งขึ้นอัตโนมัติ จากฐานของการกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำ และการกำหนดสภาพดิน/ สภาพการใช้ที่ดิน เสียก่อน และเลือกคำสั่ง Write All เพื่อให้โปรแกรมมีการนำเข้าข้อมูลทุกอย่างสู่แบบจำลอง ตามลำดับขั้นตอนที่แบบจำลองกำหนดไว้

ฉ. การสั่งคำนวณแบบจำลอง SWAT

เมื่อการนำเข้าข้อมูล และการสั่งให้โปรแกรมเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลของแบบจำลองเสร็จสิ้นแล้ว ต่อไปจึงเป็นขั้นตอนการสั่งให้มีการคำนวณค่าต่าง ๆ จากข้อมูลที่นำเข้าไป สำหรับในที่นี้ สนใจเฉพาะในส่วนของแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า ดังนั้นจึงให้กำหนดช่อง Crack flow, Channel dimensions, Stream Water, Lake Water และ Routing Pesticides ให้เป็น not active ส่วนตัวแปรในช่องอื่นๆ กำหนดตามความต้องการใช้งาน เมื่อกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ครบถ้วนแล้ว ให้กดปุ่ม Setup SWAT Run เพื่อให้โปรแกรมสร้างไฟล์ข้อมูลฝน (pcp.pcp) ที่จะใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง SWAT



รูปที่ จ-4 การนำเข้าสถานีฝน



รูปที่ จ-5 การกำหนดค่าต่างๆ เพื่อสั่งคำนวณแบบจำลอง SWAT

2) ชุดการคำนวณในแบบจำลองน้ำใต้ดิน

ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ซึ่งได้ทำการรวบรวมและวิเคราะห์แล้ว จำแนกเป็นประเด็นต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลทั่วไปทางภูมิศาสตร์และการแบ่งชั้นทางอุทกธรณีวิทยา ข้อมูลทางน้ำ ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน พารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำใต้ดิน การเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน และปริมาณการสูบน้ำใต้ดิน

ข้อมูลเหล่านี้จะต้องทำการประมวลผลอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้เข้าสู่ระบบกริดของแบบจำลอง แล้วนำเข้าสู่แบบจำลอง MODFLOW ผ่านทางโปรแกรม GMS ซึ่งมีส่วนช่วยให้การนำเข้าและการปรับแก้ข้อมูลต่าง ๆ เป็นไปได้ง่าย และมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ระบบข้อมูลและการคำนวณของแบบจำลอง MODFLOW มีการแบ่งเป็นชุดการคำนวณ (package) 10 ชุด ดังได้อธิบายรายละเอียดในบทที่ 3 ในที่นี้จะได้กล่าวถึงการนำเข้าข้อมูลเข้าสู่ชุดการคำนวณที่สำคัญที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ 5 ชุดการคำนวณ ได้แก่

1. ชุดการคำนวณพื้นฐาน
2. ชุดการคำนวณสภาพการไหล
3. ชุดการคำนวณอัตราการสูบน้ำ
4. ชุดการคำนวณอัตราการเติมน้ำใต้ดิน
5. ชุดการคำนวณเกี่ยวกับทางน้ำ

ข้อมูลระดับน้ำใต้ดินเริ่มต้นที่ใช้เป็นเงื่อนไขตั้งต้นของแบบจำลองถูกนำเข้าสู่ชุดการคำนวณพื้นฐาน ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพทั่วไปทางอุทกธรณีวิทยาซึ่งได้แก่การแบ่งชั้นน้ำใต้ดินและข้อมูลพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดินถูกนำเข้าสู่ชุดการคำนวณสภาพการไหล ส่วนข้อมูลการสูบน้ำ ทางน้ำ และการเติมน้ำถูกนำเข้าสู่ชุดการคำนวณซึ่งเรียกรวมกันว่า Source/Sink Package รายละเอียดของวิธีการประมวลผลและการนำเข้าข้อมูลในรูปแบบกริดเซลเข้าสู่ชุดการคำนวณต่าง ๆ มีดังนี้

ก. ชุดการคำนวณพื้นฐาน

ข้อมูลในชุดการคำนวณพื้นฐาน ได้แก่ จำนวนชั้นน้ำ หลักและแถวของระบบกริด ค่าระดับน้ำเริ่มต้น (Starting head) จำนวนช่วงเวลา และขอบเขตของแบบจำลอง

ข้อมูลส่วนที่สำคัญที่ต้องทำการประมวลผลให้อยู่ในรูป กริดเซลก่อนนำเข้าสู่ชุดการคำนวณนี้คือค่าระดับน้ำเริ่มต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าแบบจำลองนั้นๆ เริ่มต้นทำการคำนวณที่ช่วงเวลาใด ต้องวิเคราะห์ค่าระดับน้ำในช่วงเวลานั้นจากข้อมูลระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์หรือฐานข้อมูลระเบียนบ่อน้ำใต้ดินในเวลานั้น แล้วนำเข้าสู่โปรแกรม GMS ในรูปแบบของข้อมูลแบบจุด (scatter points) แล้วให้โปรแกรม GMS ทำการคำนวณค่าระหว่างจุดที่มีข้อมูล (interpolation) แล้วโอนข้อมูลที่ได้เข้าสู่รูปแบบกริดเซล แล้วนำเข้าสู่แบบจำลอง MODFLOW ซึ่งการนำเข้าข้อมูลระดับน้ำเริ่มต้นสู่แบบจำลอง MODFLOW นี้อาจทำเฉพาะชั้นน้ำใต้ดินชั้นใดชั้นหนึ่ง หรือนำเข้าพร้อมกันทุกชั้นก็ได้การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลระดับน้ำเริ่มต้นสามารถทำได้โดยให้โปรแกรม GMS สร้างเส้นชั้นความสูงเท่ากันของระดับน้ำใต้ดินแต่ละชั้นน้ำแล้วตรวจสอบกับข้อมูลการสังเกตระดับน้ำจากสนาม ความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้มักเกิดจากค่าระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์หรือระเบียนบ่อบางบ่อที่มีความผิดปกติ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าระดับน้ำในบริเวณใกล้เคียงคลาดเคลื่อน อีกส่วนหนึ่งอาจเกิดจากวิธีการคำนวณค่าระหว่างจุดที่มีข้อมูล (interpolation) ซึ่งอาจผิดพลาดหากจำนวนข้อมูลมีน้อยและมีการกระจายตัวไม่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา

ข. ชุดการคำนวณสภาพการไหล

ข้อมูลในชุดการคำนวณสภาพการไหลได้แก่ การกำหนดสภาวะการไหลว่าเป็นการไหลคงตัวหรือไม่คงตัว คุณสมบัติของชั้นน้ำใต้ดินแต่ละชั้น เช่นเป็นชั้นน้ำแบบมีความดันหรือไม่ รวมทั้งการกำหนดค่าระดับของชั้นน้ำใต้ดิน และค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ต่าง ๆ ได้แก่

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมในแนวดิ่ง ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ และค่า Specific Yield ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของแบบจำลองนั้น ๆ ว่าต้องการใช้ค่าพารามิเตอร์ใดบ้าง เช่น หากทำการคำนวณการไหลในสภาวะคงตัว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ เป็นต้น นอกจากนี้ สำหรับแบบจำลอง GMS เวอร์ชั่น 3.1 ผู้ใช้สามารถระบุค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ แล้วให้แบบจำลองทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย และสะดวกยิ่งขึ้นได้

ข้อมูลที่ต้องทำการประมวลผลให้อยู่ในรูปแบบกริดเซลล์สำหรับชั้นน้ำใต้ดินแต่ละชั้น คือ ค่าระดับของขอบเขตด้านบน และด้านล่างของชั้นน้ำใต้ดินแต่ละชั้น รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ต่าง ๆ การนำเข้าข้อมูลในส่วนนี้ใช้วิธีเช่นเดียวกันกับการนำเข้าข้อมูลระดับน้ำเริ่มต้น คือการนำค่าพารามิเตอร์ที่ประเมินได้สำหรับชั้นน้ำต่าง ๆ จัดรูปแบบด้วยโปรแกรม MS Excel (ให้อยู่ในรูปแบบไฟล์สกุล .prn) แล้วนำเข้าสู่โปรแกรม GMS ในรูปแบบของข้อมูลแบบจุด (scatter points) แล้วให้โปรแกรม GMS ทำการคำนวณค่าระหว่างจุดที่มีข้อมูล (interpolation) แล้วโอนข้อมูลที่ได้เข้าสู่รูปแบบกริดเซลล์ แล้วนำเข้าสู่แบบจำลอง MODFLOW

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลสามารถทำได้โดยให้แบบจำลอง GMS สร้างเส้นชั้นความสูงเท่ากันของค่าพารามิเตอร์ของแต่ละชั้นน้ำ แล้วตรวจสอบกับสภาพอุทกธรณีวิทยา ความผิดพลาดในข้อมูลส่วนนี้อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากการคำนวณค่าระหว่างจุดที่มีข้อมูล (interpolation) เพราะข้อมูลมีพิสัยกว้างมาก ดังนั้นจึงต้องกำหนดเงื่อนไขของการคำนวณค่าระหว่างจุดที่มีข้อมูลให้เหมาะสม เช่นกำหนดขอบเขตของผลการคำนวณ มิให้เกิดค่าที่สูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริง และในบางกรณีอาจจำเป็นต้องประมาณการค่าที่บริเวณขอบเขตของแบบจำลองเพื่อช่วยป้องกันไม่ให้แบบจำลองคำนวณค่าบริเวณดังกล่าวสูงหรือต่ำจนเกินไป

ในการจำลองสภาพการไหล ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มักต้องมีการปรับแก้ในขั้นตอนของการสอบเทียบแบบจำลอง สำหรับการศึกษาครั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำได้มาจากการวิเคราะห์จากข้อมูลบ่อใต้ดินพื้นฐาน ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับสภาพการไหลดีพอสมควร ในการจำลองสภาพจึงไม่มีความจำเป็นต้องปรับแก้มากนัก แต่พารามิเตอร์ที่ต้องมีการปรับแก้เช่นเดียวกับการศึกษาอื่น ๆ ทั่วไป คือค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ (สำหรับกรณีสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว) ค่า Specific Yield (สำหรับกรณีของชั้นน้ำใต้ดินแบบไม่มีความดัน) และค่าสัมประสิทธิ์การซึมในแนวดิ่ง วิธีการปรับแก้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ในชุดการคำนวณสภาพการไหลนี้สามารถทำได้โดยการกำหนดค่าตัวคูณ (multiplier) ให้กับชุดข้อมูลของแต่ละชั้นน้ำ เพื่อปรับแก้ในเบื้องต้น และแบบจำลอง GMS ถูกออกแบบมาให้ผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อมูลในแต่ละ กริดเซลล์ได้โดยตรง ในทางปฏิบัติผู้ใช้ควรทำการปรับแก้เบื้องต้นด้วยการใช้ตัวคูณให้ได้ผลการคำนวณที่

ใกล้เคียงที่สุด แล้วจึงปรับแก้ค่าเฉพาะจุดที่เห็นว่ามีความผิดปกติโดยวิธีการแก้ไขค่าโดยตรงในแต่ละกริดเซลล์ต่อไป

ค. ชุดการคำนวณอัตราการสูบน้ำใต้ดิน

ข้อมูลอัตราการสูบน้ำใต้ดินมีลักษณะที่แตกต่างจากชุดการคำนวณพื้นฐาน และชุดการคำนวณสภาพการไหลเนื่องจากเป็นข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (สำหรับสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว) ดังนั้นข้อมูลในส่วนนี้จึงเป็นข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และมีขนาดแปรผันตามช่วงเวลาของแบบจำลอง ดังนั้นหากต้องทำการจำลองสภาพการไหลที่ครอบคลุมระยะเวลายาวนานมาก ๆ เช่น 10 ปีขึ้นไป อาจทำการตัดตอนแบบจำลองลงให้เป็น 2 – 3 ช่วงเพื่อช่วยประหยัดทรัพยากรของระบบการคำนวณและช่วยลดระยะเวลาในการทำงานของแบบจำลอง

ข้อมูลที่นำเข้าสู่ชุดการคำนวณนี้ได้มาจากการประเมินอัตราการสูบน้ำในแต่ละช่วงเวลา ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ จากข้อมูลเหล่านั้น จะต้องระบุชั้นน้ำ และตำแหน่ง (กริดเซลล์) ของการสูบน้ำที่เกิดขึ้น การกำหนดตำแหน่งของการสูบน้ำอาศัยพิกัดภูมิศาสตร์ (UTM) ของตำแหน่งที่ตั้งของบ่อใต้ดิน หรือพิกัดของหมู่บ้านที่เป็นที่ตั้งของการสูบน้ำแต่ละประเภทเป็นเครื่องมือในการระบุค่าการสูบน้ำลงในกริดเซลล์ ส่วนการระบุว่าการสูบน้ำนั้นเป็นการสูบน้ำจากชั้นน้ำใต้ดินชั้นใด อาศัยสมมติฐาน และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่แตกต่างกันไปตามประเภทของข้อมูล

การนำเข้าข้อมูลอัตราการสูบน้ำเข้าสู่แบบจำลอง MODFLOW สามารถทำได้ 2 วิธี วิธีแรกคือการนำเข้าผ่านแบบจำลอง GMS ตามปกติ โดยการนำเข้าข้อมูลแบบจุด (scattered points) แล้วให้ GMS ส่งผ่านข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง MODFLOW โดยใช้ module ที่ชื่อว่า MODFLOW Import แต่เนื่องจากขนาดของข้อมูลที่ใหญ่มาก หากทรัพยากรของระบบการคำนวณไม่เพียงพอกระบวนการดังกล่าวอาจใช้เวลานานมาก หรืออาจทำให้ระบบการคำนวณหยุดชะงักได้ วิธีการนำเข้าแบบที่สองจึงอาจถูกนำมาใช้ทดแทน โดยการจัดทำข้อมูลให้อยู่ในรูปไฟล์ข้อมูลของ MODFLOW โดยตรง

การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลอัตราการสูบน้ำด้วยแบบจำลอง GMS อาจไม่สามารถทำได้โดยง่าย วิธีที่เหมาะสมกว่าคือการตรวจสอบด้วยผลการคำนวณซึ่งจะแสดงค่าระดับน้ำและสมดุลน้ำของแต่ละกริดเซลล์ ดังนั้นจึงสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้โดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีก่อนการนำเข้าสู่แบบจำลอง

ในการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินส่วนมากมักต้องมีการปรับแก้ค่าอัตราการสูบน้ำในขั้นตอนของการสอบเทียบแบบจำลอง แบบจำลอง MODFLOW เวอร์ชั่น 96 มิได้ถูกออกแบบมาให้ผู้ใช้สามารถปรับแก้ข้อมูลโดยใช้ตัวคูณ (multiplier) ได้ การปรับแก้ต้องกระทำโดยตรงลงในแต่ละกริดเซลล์ โดยใช้คำสั่ง Point source/sink ซึ่งสามารถปรับแก้ข้อมูลการสูบได้ทั้งในสภาวะการไหลแบบคงตัว และแบบไม่คงตัว ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีมิติของเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง

ง. ชุดการคำนวณอัตราการเติมน้ำใต้ดิน

ชุดข้อมูลอัตราการเติมน้ำใต้ดิน หมายถึงอัตราการเติมน้ำโดยการซึมผ่านจากผิวดินลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งวิธีการนำเข้าข้อมูลคล้ายกับการนำเข้าข้อมูลพารามิเตอร์ในชุดการคำนวณสภาพการไหล แต่ข้อมูลมีมิติของเวลาเช่นเดียวกับกับข้อมูลอัตราการสูบน้ำ

ในการศึกษาครั้งนี้ประเมินอัตราการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินจากข้อมูลฝนและคุณสมบัติของดิน การนำเข้าข้อมูลอาจนำเข้าข้อมูลทั้งสองส่วนนั้นแยกจากกัน กล่าวคือ นำเข้าข้อมูลฝนในรูปแบบของจุดข้อมูล (scattered point) ตามตำแหน่งของสถานีวัดน้ำฝน แล้วให้แบบจำลอง GMS ทำการคำนวณค่าระหว่างจุดที่มีข้อมูล (interpolation) ให้เป็นข้อมูล 2 มิติไว้ก่อน แล้วจึงนำเข้าข้อมูลคุณสมบัติของดินในแต่ละกริดว่ายอมให้ฝนซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินเป็นอัตราส่วนร้อยละเท่าใด ในรูปแบบข้อมูล 2 มิติอีกชุดหนึ่ง แล้วจึงให้ แบบจำลอง GMS ช่วยทำการคำนวณข้อมูลสองมิติทั้ง 2 ชุดดังกล่าวให้ ส่วนการนำเข้าข้อมูลตามแกนเวลา และการปรับแก้สามารถทำได้โดยใช้ตัวคูณ (multiplier) สำหรับค่าอัตราการเติมน้ำในแต่ละช่วงเวลา

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลอัตราการเติมน้ำพิจารณาจากผลการคำนวณระดับน้ำและสมดุลน้ำของแต่ละกริดเซลล์

จ. ชุดการคำนวณเกี่ยวกับทางน้ำ

ข้อมูลเกี่ยวกับทางน้ำ คือการคำนวณการไหลเชื่อมต่อระหว่างชั้นน้ำใต้ดินกับทางน้ำ ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับทางน้ำต้องถูกนำมาสร้างเป็นแผนที่แสดงทางน้ำสายหลักเพื่อกำหนดให้กริดเซลล์นั้น ๆ ในแบบจำลองทำหน้าที่เป็นทางน้ำ และรับข้อมูลเกี่ยวกับทางน้ำ ซึ่งได้แก่ ระดับน้ำ อัตราการซึมของน้ำผ่านวัสดุท้องน้ำ และค่าระดับท้องน้ำ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีมิติของเวลาด้วย

การนำเข้าข้อมูลเริ่มต้นจากการนำเข้าแผนที่ทางน้ำ (ในรูปแบบ ไฟล์สกุล .shp) แล้วกำหนดให้กริดเซลล์ที่มีตำแหน่งตรงกับแม่น้ำเป็นเซลล์ที่รับข้อมูลในชุดการคำนวณเกี่ยวกับทางน้ำ แล้วจึงนำเข้าข้อมูลระดับน้ำ อัตราการซึมของน้ำผ่านวัสดุท้องน้ำ และค่าระดับท้องน้ำ ที่

ตำแหน่งที่มีสถานีวัดข้อมูล ของทางน้ำแต่ละสาย เข้าสู่แบบจำลอง GMS โดยการกำหนดค่าเข้าสู่แบบจำลองทีละจุดโดยตรง และเนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับทางน้ำบางส่วน เช่นค่าระดับน้ำ เป็นข้อมูลที่ขึ้นกับเวลา ดังนั้นการนำเข้าจึงต้องระบุเวลากำกับด้วย ซึ่งขั้นตอนนี้อาจใช้การจัดรูปแบบข้อมูลเป็นไฟล์สกุล .prn เช่นเดียวกับข้อมูลระดับน้ำเริ่มต้นก็ได้ จากนั้น แบบจำลอง GMS จะทำการคำนวณค่าของกริดเซลล์อื่น ๆ ในทางน้ำที่ไม่มีข้อมูลวัดจากภาคสนาม แล้วส่งต่อข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง MODFLOW ด้วยคำสั่ง Map to MOD

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเกี่ยวกับทางน้ำพิจารณาจากผลการคำนวณระดับน้ำและสมดุลน้ำของแต่ละกริดเซลล์

3) ผลลัพธ์จากการคำนวณของแบบจำลอง

เมื่อดำเนินการแบบจำลองเสร็จสิ้นแล้ว โปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินการแบบจำลองของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินจึงนำผลการคำนวณ ออกมาแสดงในรูปแบบของตัวเลขและรูปภาพที่แตกต่างกันไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

ก. ผลลัพธ์จากแบบจำลองน้ำผิวดิน

i. การกำหนดแนวขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

ในการกำหนดแนวขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยจะใช้ฐานข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (DEM) ที่สร้างมาจากข้อมูลชั้นความสูงทางภูมิศาสตร์ (contour) ในแผนที่ 1:50,000 และเพื่อเป็นการช่วยให้แบบจำลองสามารถกำหนดตำแหน่งของแนวลำน้ำได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น จะใช้ประกอบกับฐานข้อมูลเส้นแนวลำน้ำที่มีอยู่เดิม ทำการสร้างสภาพลำน้ำจากต้นน้ำจนถึงจุดออกของลุ่มน้ำโดยแบบจำลอง จากผลการกำหนดแนวลำน้ำ จะได้ตำแหน่งจุดออกของลุ่มน้ำ (outlet) แต่ละจุดตามความละเอียดของ ได้กำหนดจุดออกอีกหนึ่งจุดคือตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่า C.2 ส่งผลให้ผลลัพธ์ของการแบ่งเส้นขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่ศึกษา เป็น 22 ลุ่มน้ำย่อย

พบว่าการแบ่งขอบเขตของลุ่มน้ำย่อยจากแบบจำลอง เพื่อนำข้อมูลทางกายภาพไปคำนวณหาปริมาณน้ำท่าต่อไปนั้น มีความสมเหตุสมผล กับข้อมูลสภาพพื้นที่จริง เห็นได้ว่าสภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำที่ศึกษานี้มีคุณลักษณะ ของลุ่มน้ำเป็นสองสัณฐาน คือเป็นทั้งลักษณะของพื้นที่สูงชันและพื้นที่ราบสูง โดยสามารถสรุปลักษณะทางกายภาพหลัก ๆ สำหรับการนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำท่า

เนื่องจากความสลับซับซ้อน ของลักษณะทางภูมิประเทศ จึงเป็นการยากที่จะกำหนดให้ ภูมิประเทศเป็นชนิดใดชนิดหนึ่งได้ จึงต้องพิจารณาลักษณะที่สำคัญหลัก ๆ ทางกายภาพ ที่มีความสัมพันธ์กับการคำนวณปริมาณน้ำ คือ

- พื้นที่รับน้ำฝนหรือพื้นที่ลุ่มน้ำ คือ พื้นที่ทั้งหมดภายในลุ่มน้ำที่อยู่เหนือจุดออกของลำน้ำ
- ความยาวลำน้ำ คือ ระยะทางที่วัดจากจุดออกลำน้ำขึ้นไปตามลำน้ำสายที่ยาวที่สุดจนถึงต้นน้ำในบริเวณที่เป็นสันปันน้ำ
- ความลาดชันของลำน้ำ ใช้ความลาดชันเฉลี่ยเป็นตัวแทนความลาดชันของลำน้ำ
- รูปร่างของพื้นที่รับน้ำ คือลักษณะความกว้างและความยาวของพื้นที่ลุ่มน้ำ
- สภาพลักษณะการใช้ที่ดิน เป็นลักษณะของสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมทั้งสภาพการปกคลุมของพืช
- สภาพชนิดดิน คือคุณลักษณะของดินภายในลุ่มน้ำ

ii. การแผ่กระจายของหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs)

จากการแบ่งขอบเขตลุ่มน้ำย่อยจากแบบจำลองออกเป็น 6 ลุ่มน้ำย่อยแล้วนั้น แบบจำลอง SWAT จะแบ่งให้มีหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา โดยแบ่งจากจากลักษณะของสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน และชนิดของดิน ดังแสดงตัวอย่างการนำข้อมูลมาแบ่งการแผ่กระจายของหน่วยตอบสนองอุทกวิทยา โดยในการศึกษานี้กำหนดให้แบ่งแบบ Multiple Hydrologic Response Units เป็นการกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยมี HRUs สอดคล้องตามสัดส่วนของการใช้ประโยชน์ที่ดินและชนิดดิน ใช้ Land use % over subbasin area = 1% และ Soil class % over subbasin area = 10% นั่นคือ โปรแกรมจะทำการแบ่งทุก ๆ พื้นที่ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีค่าการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่และชนิดของดินที่มีค่าตั้งแต่ 1% และ 10% ขึ้นไป ตามลำดับให้เป็น 1 HRUs ภายในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังนั้นจะได้ HRUs ที่แตกต่างกันไป แต่ละชั้นข้อมูลของการใช้ที่ดินแต่ละปี

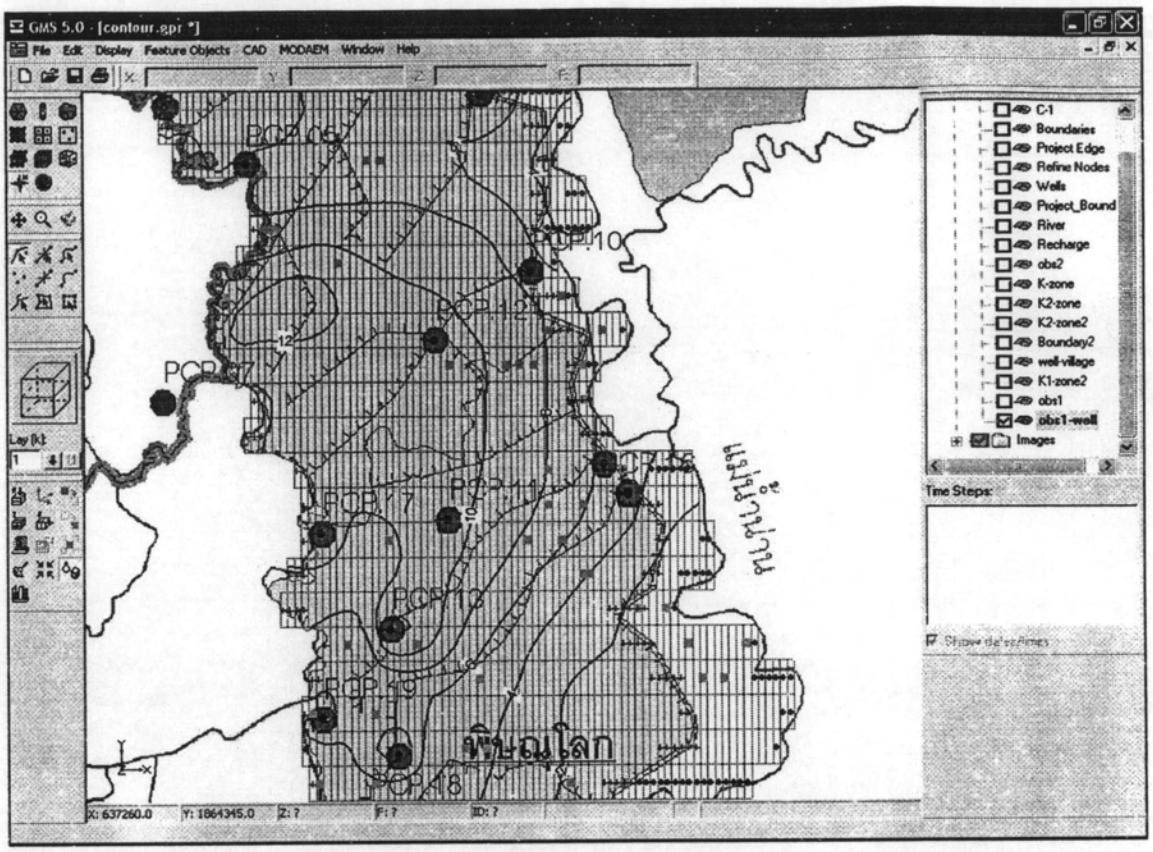
ข. ผลลัพธ์จากแบบจำลองน้ำใต้ดิน

ผลการคำนวณจากแบบจำลอง MODFLOW/GMS สามารถแสดงในรูปแบบของตัวอักษร ดังรูปที่ จ-6 และเชิงรูปภาพ (graphic mode) ในรูปที่ จ-7 โดยที่แบบจำลอง GMS จะช่วยในการแสดงและวิเคราะห์ผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลอง MODFLOW โดยสามารถแสดงภาพความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณจากแบบจำลอง กับข้อมูลที่มีการเก็บวัดจริงในภาคสนาม และแสดงผลได้ทั้งในรูปแบบแผนภูมิ และกราฟความคลาดเคลื่อนแบบต่าง ๆ การกำหนดรูปแบบในการแสดงผลนี้ทำได้ในส่วนที่เรียกว่า Plot window แล้วกำหนดรูปแบบของชั้นน้ำที่ต้องการให้ทำการแสดงผล ส่วนผลการคำนวณในเรื่องสมดุลน้ำ แสดงในคำสั่ง Data และคำสั่งย่อย Flow budget แบบจำลองจะแสดงตารางค่าการไหลเข้าและออก ในแต่ละกริดเซล โดยผู้ทำการศึกษาสามารถกำหนดขอบเขตของกริดเซลที่ต้องการวิเคราะห์สมดุลน้ำ ได้

```
DRAWDOWN WILL BE SAVED ON UNIT 35 AT END OF TIME STEP 1, STRESS PERIOD 1
1
 VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1
 ---------------------------------------------------------------------------
  CUMULATIVE VOLUMES    L**3    RATES FOR THIS TIME STEP    L**3/T
  ------------------          ------------------------

     IN:                          IN:
     ---                          ---
   CONSTANT HEAD =        0.0000      CONSTANT HEAD =        0.0000
       WELLS =    365203.0000           WELLS =    365203.0000
   RIVER LEAKAGE =        0.0000      RIVER LEAKAGE =        0.0000
     RECHARGE =    2078139.5000          RECHARGE =    2078139.5000
     TOTAL IN =    2443342.5000          TOTAL IN =    2443342.5000
    OUT:                         OUT:
    ----                         ----
   CONSTANT HEAD =        0.0000      CONSTANT HEAD =        0.0000
       WELLS =    193283.0000           WELLS =    193283.0000
   RIVER LEAKAGE =    2250059.5000      RIVER LEAKAGE =    2250059.5000
     RECHARGE =        0.0000          RECHARGE =        0.0000
     TOTAL OUT =    2443342.5000          TOTAL OUT =    2443342.5000
      IN - OUT =        0.0000           IN - OUT =        0.0000
 PERCENT DISCREPANCY =      0.00    PERCENT DISCREPANCY =      0.00
     TIME SUMMARY AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1
          SECONDS     MINUTES     HOURS      DAYS        YEARS
          -----------------------------------------------------------
  TIME STEP LENGTH  86400.      1440.0     24.000     1.0000     2.73785E-03
 STRESS PERIOD TIME  86400.     1440.0     24.000     1.0000     2.73785E-03
     TOTAL TIME  86400.      1440.0     24.000     1.0000     2.73785E-03
```

รูปที่ จ-6 ผลการคำนวณของแบบจำลอง MODFLOW ในรูปแบบของ Text File



รูปที่ จ-7 ผลการคำนวณของแบบจำลอง MODFLOW ในรูปแบบ Graphic

ภาคผนวก ฉ

Sources code ของโปรแกรมเชื่อมต่อแบบขจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

```
Private Sub Frame1_DragDrop(Source As Control, X As
Single, Y As Single)

End Sub

Private Sub Command1_Click(index As Integer)
If index = 0 Then
Commondl.DialogTitle = "Define  MODFLOW  main file"
Commondl.FileName = "*.mfn"
Commondl.Filter = "Modflow Name File"
Commondl.ShowOpen

Else
   If index = 1 Then
   Commondl.DialogTitle = "Define  SWAT2005  folder"
   Commondl.FileName = "*.cio"
   Commondl.Filter = "SWAT main file"
   Commondl.ShowOpen
   Else
      Commondl.DialogTitle = "Define Report Text file"
      Commondl.FileName = "*.txt"
      Commondl.Filter = "Text file"
      Commondl.ShowSave
   End If

End If
Text2(index).Text = Commondl.FileName
Text1(index).Text = Commondl.FileTitle
End Sub
Private Sub Command1_close()

End Sub

Private Sub Command2_Click()



Dim str, str2 As String
Dim node As Double
Dim tstep, tstepst, val1 As Single
Dim Pst, Lngth, eod, I, J, Endtime As Integer

Dim u, interv, dratio As Single
Dim ical As Single
Dim u_1, u0, u1, um1, ug As Single
Dim DTn, ATn, Tn, k, a, b As Single
Const pi As Single = 3.14159
Text7.Text = "In processing"
Me.MousePointer = vbHourglass

Open Text2(0) For Input As #10
Open Text2(1) For Output As #5
Open App.Path & "\Temp.txt" For Output As #3
Print #5, "Tn,Dtn"
Text9.Text = "Tn # DTn" & Chr(13) & Chr(10)

Do While Not EOF(10)
Line Input #10, str
Lngth = Len(str)
Pst = InStr(str, ",")
tstep = Val(str)
str2 = Mid(str, Pst + 1, Lngth - Pst)
val1 = Val(str2)
I = I + 1
Loop
Text4.Text = I
Text7.Text = tstep
Text6.Text = tstep / (I - 1)
interv = tstep / (I - 1)
Close #10

dratio = Text3.Text
Tn = 0.01
interv = Text6.Text
J = 0
DTn = 0
ATn = 0

Do
   k = 1 / interv ^ 2 + 2 * pi * dratio / Tn / interv
   a = 1 / interv ^ 2 - 2 * pi * dratio / Tn / interv
   b = 4 * pi ^ 2 / Tn - 2 / interv ^ 2

   u0 = 0
   u_1 = 0
   ug = 0
   node = eod

I = Val(Text8.Text)
Endtime = Val(Text4.Text)
Open Text2(0) For Input As #6
Do While (Not EOF(6))
      u_1 = u0
      u0 = u1
      Line Input #6, str
      Lngth = Len(str)
      Pst = InStr(str, ",")
      tstep = Val(str)
      str2 = Mid(str, Pst + 1, Lngth - Pst)
      val1 = Val(str2)
      ug = val1
      u1 = (-ug - a * u_1 - b * u0) / k
      If Abs(u1) > DTn Then DTn = Abs(u1)
      J = J + 1
Loop
Close #6
Print #5, Tn & "," & DTn
   ATn = 4 * DTn * pi ^ 2 / Tn
   Text9.Text = Text9.Text & Tn & " # " & DTn & Chr(13)
& Chr(10)

   If (Tn >= 0.01) And (Tn < 1) Then Tn = Tn + 0.01
   If (Tn > 1) And (Tn < 10) Then Tn = Tn + 0.1
   If Tn >= 10 Then Tn = Tn + 1

Loop Until Tn > 30
Close #3
Close #5

Me.MousePointer = vbDefault
Text7.Text = "Accomplish!"
End Sub

Private Sub Command3_Click()
Dim str, str2 As String
Dim node As Double

Dim tstep, tstepst, val1 As Single
Dim Pst, Lngth, eod, I, J, Endtime As Integer
Text7.Text = "In processing.. "
"Text2(0) = App.Path & "\data\baiyoke.csv"
"Text2(1) = App.Path & "\data\test.csv"
Open Text2(0) For Input As #1

Do While Not EOF(1)
Line Input #1, str
Lngth = Len(str)
Pst = InStr(str, ",")
tstep = Val(str)
str2 = Mid(str, Pst + 1, Lngth - Pst)
val1 = Val(str2)
I = I + 1
Loop
Text4.Text = I
Text7.Text = tstep
Text6.Text = tstep / (I - 1)
```

```
Close #1
Close #5
Text7.Text = "Checking is OK"
Me.MousePointer = vbDefault
End Sub

Private Sub Command4_Click()
Dim basin, Mon, yr, rch As Single

swpath = Left(Text2(1), Len(Text2(1)) - Len(Text1(1)))
Text9 = swpath & "output.sub"
Open Text9 For Input As 2

yr = 1993
I = 1

While Not Mid(temp, 1, 6) = "BIGSUB"
  Line Input #2, temp
Wend


While Not EOF(2)
    If Val(Mid(temp, 21, 4)) = 1 And Val(Mid(temp, 7, 4))
= 1 Then yr = yr + 1
    basin = Val(Mid(temp, 7, 4)) 'Basin
    Mon = Val(Mid(temp, 20, 5)) 'Month
    Perco = Val(Mid(temp, 85, 10)) 'PERCO
    Wyld = Val(Mid(temp, 115, 10)) 'WYLD
    Area = Val(Mid(temp, 25, 10)) 'Area
    If Val(Mid(temp, 7, 4)) = 1 Then Text12 = Text12 & yr
& ":" & Mon & Chr(13) & Chr(10)
    Line Input #2, temp
Wend

Text3 = "1993 -" & yr


Close #2

'xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
modpath = Left(Text2(0), Len(Text2(0)) - Len(Text1(0)))
modfile = Left(Text2(0), (Len(Text2(0)) - 4))

Text9 = modfile & ".rch"

Open modfile & ".rch" For Input As 2

step = 1

For m = 1 To 2
Line Input #2, temp
Next


While Not EOF(2)

  Line Input #2, temp

  If temp = "1 -1" Then step = step + 1

Wend

Close #2
Text6 = step

End Sub

Private Sub Command5_Click()
Dim b As Double

Open "modflow.bat" For Output As 1
Print #1, "Echo off"
Print #1, "PATH C:\Program Files\GMS50\models"
Print #1, Left(Text2(0), 2)
Print #1, "cd " & Left(Text2(0), Len(Text2(0)) -
Len(Text1(0)))
'Open Text2(0) For Input As #10
'Open Text2(1) For Output As #5
'Open App.Path & "\Temp.txt" For Output As #3
'Print #5, Tn & "," & DTn
'Text9.Text = "Tn # DTn" & Chr(13) & Chr(10)

Print #1, "mf2k " & Text1(0)
Print #1, "pause"
'Print "Cls"
Close #1
'b = Shell(Left(Text2(0), Len(Text2(0)) - Len(Text1(0))) &
"modflow.bat", vbHide)
b = Shell(Left(Text2(0), Len(Text2(0)) - Len(Text1(0))) &
"modflow.bat")

End Sub

Private Sub Command6_Click()
Dim b As Double

Open "swat.bat" For Output As 1
Print #1, "Echo off"
Print #1, "PATH C:\AVSWATX\AvSwatPr"
Print #1, Left(Text2(1), 2)
Print #1, "cd " & Left(Text2(1), Len(Text2(1)) -
Len(Text1(1)))
'Open Text2(0) For Input As #10
'Open Text2(1) For Output As #5
'Open App.Path & "\Temp.txt" For Output As #3
'Print #5, Tn & "," & DTn
'Text9.Text = "Tn # DTn" & Chr(13) & Chr(10)
Print #1, "swat2003"
Print #1, "pause"
'Print "Cls"
Close #1
'b = Shell(Left(Text2(0), Len(Text2(0)) - Len(Text1(0))) &
"swat.bat", vbHide)
b = Shell(Left(Text2(1), Len(Text2(1)) - Len(Text1(1))) &
"swat.bat")

End Sub

Private Sub Command7_Click()

swpath = Left(Text2(1), Len(Text2(1)) - Len(Text1(1)))
Text9 = swpath & "swat.bat"
Open Text9 For Input As 2

Do Until EOF(2)
  Line Input #2, Nextline
  Text9 = Text9 + Nextline + Chr(13) + Chr(10)
Loop
Close #2


Open "swat.bat" For Output As 1
Print #1, Text9
Close #1

End Sub

Private Sub Command8_Click()
Dim rcharge(23, 22) As Double
Dim basin, Mon, yr, rch As Single
Dim tt As Boolean
Text11.Text = "Running"


'Open "swat.bat" For Output As 1
'Print #1, "Echo off"
'Print #1, "PATH C:\AVSWATX\AvSwatPr"
'Print #1, Left(Text2(1), 2)
```

```
'Print #1, "cd " & Left(Text2(1), Len(Text2(1)) -
Len(Text1(1)))
'Print #1, "swat2003"
'Print #1, "pause"
'Close #1
'b = Shell(Left(Text2(0), Len(Text2(0)) - Len(Text1(0))) &
"swat.bat", vbHide)
'b = Shell(Left(Text2(1), Len(Text2(1)) - Len(Text1(1))) &
"swat.bat")

'xxxxxxxxxxxxxxxxx Recharge from SWAT rch.txt
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
xxxxx

swpath = Left(Text2(1), Len(Text2(1)) - Len(Text1(1)))
Text9 = swpath & "output.sub"
Open Text9 For Input As 2

savepath = Left(Text2(2), Len(Text2(2)) - Len(Text1(2)))
Open savepath & "rch.txt" For Output As 3

yr = 1993
I = 1

While Not Mid(temp, 1, 6) = "BIGSUB"
  Line Input #2, temp
Wend


While Not EOF(2)
    If Val(Mid(temp, 21, 4)) = 1 And Val(Mid(temp, 7, 4))
= 1 Then yr = yr + 1
    basin = Val(Mid(temp, 7, 4)) 'Basin
    Mon = Val(Mid(temp, 20, 5)) 'Month
    Perco = Val(Mid(temp, 85, 10)) 'PERCO
    Wyld = Val(Mid(temp, 115, 10)) 'WYLD
    Area = Val(Mid(temp, 25, 10)) 'Area
    If Val(Mid(temp, 21, 4)) < 13 Then
      If Not (Val(Mid(temp, 20, 5)) = 10 And yr = 2003)
Then Print #3, basin, yr, Mon, Perco
    End If
    Line Input #2, temp
Wend

Close #2
Close #3
'Text9.Text = ""
'For I = 1 To 2
 'For J = 4 To 6
 '  Text9.Text = Text9.Text & I & "-Basin " & J & "-Month
Recharge (mm) : " & Outswat(I, J, 1) & Chr(13) & Chr(10)
'Next
'Next

'xxxxxxxxxxxxxxxxx MODFLOW CONCLUSION gw-
out.txt
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
xxxxx

modpath = Left(Text2(0), Len(Text2(0)) - Len(Text1(0)))
modfile = Left(Text2(0), (Len(Text2(0)) - 4))

Open modfile & ".out" For Input As 2
Open savepath & "gw-out.txt" For Output As 3

Print #3, " Stress", "STOI(m3)", "CONI", "WELI", "RIVI",
"RECI", "STOO", "CONO", "WELO", "RIVO", "RECO"

n = 1

While Not EOF(2)
    Line Input #2, temp
    If Mid(temp, 3, 17) = "VOLUMETRIC BUDGET" Then
      For I = 1 To 8
      Line Input #2, temp
      Next
      yr = yr + 1
      STOI = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      CONI = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      WELI = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      RIVI = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      RECI = Val(Mid(temp, 23, 17))

      For I = 1 To 6
      Line Input #2, temp
      Next
      yr = yr + 1
      STOO = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      CONO = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      WELO = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      RIVO = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      RECO = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Print #3, n, STOI, CONI, WELI, RIVI, RECI, STOO,
CONO, WELO, RIVO, RECO
      n = n + 1
    End If
Wend

Close #2
Close #3
'xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx Recharge in stress Period
*.txt save file
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Open savepath & "rch.txt" For Input As 2
Open Text2(2) For Output As 3

For I = 1 To 22
 For J = 1 To 22
   rcharge(I, J) = 0
 Next
Next

tt = True
I = 1
stress = 1

While Not EOF(2)

    Input #2, basin, yr, Mon, rch

    If Mon = 10 And tt = True Then
      stress = stress + 1
      tt = False
    End If

    If Mon = 4 And tt = False Then
      stress = stress + 1
      tt = True
    End If

    rcharge(basin, stress) = rch + rcharge(basin, stress)

Wend

Close #2

Print #3, "Basin", "Stress", "Recharge(mm/day)"
For I = 1 To 22
 For J = 1 To 22
   rcharge(I, J) = rcharge(I, J) / 182.5
   Print #3, I, J, rcharge(I, J)
```

```
Next
Next

Close #3

'xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx Change recharge in
MODFLOW *.ttt and Copy to *.rc2
xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
xxxxx

modpath = Left(Text2(0), Len(Text2(0)) - Len(Text1(0)))
modfile = Left(Text2(0), (Len(Text2(0)) - 4))


rcharge(23, 1) = 0.0076
rcharge(23, 2) = 0.00228
rcharge(23, 3) = 0.00332
rcharge(23, 4) = 0.00252
rcharge(23, 5) = 0.00912
rcharge(23, 6) = 0.00433
rcharge(23, 7) = 0.00638
rcharge(23, 8) = 0.0148
rcharge(23, 9) = 0.00445
rcharge(23, 10) = 0.00576
rcharge(23, 11) = 0.00835
rcharge(23, 12) = 0.011232877
rcharge(23, 13) = 0.00662
rcharge(23, 14) = 0.0724
rcharge(23, 15) = 0.0043
rcharge(23, 16) = 0.00645
rcharge(23, 17) = 0.0185
rcharge(23, 18) = 0.0155
rcharge(23, 19) = 0.0164
rcharge(23, 20) = 0.00191
rcharge(23, 21) = 0
rcharge(23, 22) = 0


Open modfile & ".rch" For Input As 2
Open modfile & ".ttt" For Output As 3
Open modfile & ".rc2" For Output As 4


step = 1

For m = 1 To 2
Line Input #2, temp
Print #3, temp
Print #4, temp
Next


While Not EOF(2)

   Line Input #2, temp
   Print #4, temp
   temp = " " & temp
   Text9 = Replace$(temp, " 1.0 ", " " & rcharge(1, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 2.0 ", " " & rcharge(2, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 3.0 ", " " & rcharge(3, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 4.0 ", " " & rcharge(4, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 5.0 ", " " & rcharge(5, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 6.0 ", " " & rcharge(6, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 7.0 ", " " & rcharge(7, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 8.0 ", " " & rcharge(8, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 9.0 ", " " & rcharge(9, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 10.0 ", " " & rcharge(10, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 11.0 ", " " & rcharge(11, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 12.0 ", " " & rcharge(12, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 13.0 ", " " & rcharge(13, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 14.0 ", " " & rcharge(14, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 15.0 ", " " & rcharge(15, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 16.0 ", " " & rcharge(16, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 17.0 ", " " & rcharge(17, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 18.0 ", " " & rcharge(18, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 19.0 ", " " & rcharge(19, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 20.0 ", " " & rcharge(20, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 21.0 ", " " & rcharge(21, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 22.0 ", " " & rcharge(22, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 0.0 ", " " & rcharge(23, step) & "
")
   temp = Text9

      Text9 = Replace$(temp, " 1.0 ", " " & rcharge(1, step) &
" ")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 2.0 ", " " & rcharge(2, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 3.0 ", " " & rcharge(3, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 4.0 ", " " & rcharge(4, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 5.0 ", " " & rcharge(5, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 6.0 ", " " & rcharge(6, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 7.0 ", " " & rcharge(7, step) & "
")
   temp = Text9
   Text9 = Replace$(temp, " 8.0 ", " " & rcharge(8, step) & "
")
```

```
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 9.0 ", " " & rcharge(9, step) & "
")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 10.0 ", " " & rcharge(10, step) &
" ")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 11.0 ", " " & rcharge(11, step) &
" ")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 12.0 ", " " & rcharge(12, step) &
" ")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 13.0 ", " " & rcharge(13, step) &
" ")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 14.0 ", " " & rcharge(14, step) &
" ")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 15.0 ", " " & rcharge(15, step) &
" ")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 16.0 ", " " & rcharge(16, step) &
" ")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 17.0 ", " " & rcharge(17, step) &
" ")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 18.0 ", " " & rcharge(18, step) &
" ")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 19.0 ", " " & rcharge(19, step) &
" ")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 20.0 ", " " & rcharge(20, step) &
" ")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 21.0 ", " " & rcharge(21, step) &
" ")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 22.0 ", " " & rcharge(22, step) &
" ")
    temp = Text9
    Text9 = Replace$(temp, " 0.0 ", " " & rcharge(23, step) & "
")
    temp = Text9


    temp = Mid(temp, 2, Len(temp) - 1)
    Print #3, temp
    If temp = "1 -1" Then step = step + 1
    Text9 = step

Wend


Close #2
Close #3
Close #4

Text11 = "#### Finished ####"
End Sub

Private Sub Command9_Click()

modpath = Left(Text2(0), Len(Text2(0)) - Len(Text1(0)))
modfile = Left(Text2(0), (Len(Text2(0)) - 4))

Open modfile & ".out" For Input As 2
Open savepath & "gw-out.txt" For Output As 3

Print #3, " Stress", "STOI(m3)", "CONI", "WELI", "RIVI",
"RECI", "STOO", "CONO", "WELO", "RIVO", "RECO"

n = 1

While Not EOF(2)
    Line Input #2, temp
    If Mid(temp, 3, 17) = "VOLUMETRIC BUDGET" Then
      For I = 1 To 8
      Line Input #2, temp
      Next
      yr = yr + 1
      STOI = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      CONI = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      WELI = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      RIVI = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      RECI = Val(Mid(temp, 23, 17))

      For I = 1 To 6
      Line Input #2, temp
      Next
      yr = yr + 1
      STOO = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      CONO = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      WELO = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      RIVO = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Line Input #2, temp
      RECO = Val(Mid(temp, 23, 17))
      Print #3, n, STOI, CONI, WELI, RIVI, RECI, STOO,
CONO, WELO, RIVO, RECO
      n = n + 1
    End If
Wend

Close #2
Close #3

End Sub
```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นายวีรพล เพชรานนท์

เกิด 22 มกราคม 2524 กรุงเทพมหานคร

การศึกษา

พ.ศ. 2545	สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)
	สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
	คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2546	เข้าศึกษาต่อหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.)
	สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ
	คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานทางวิชาการ

Bejranonda, W., S. Koontanakulvong, M. Koch, and C. Suthidhummajit, "Groundwater Modeling for Conjunctive Use Patterns Investigation in the Upper Central Plain of Thailand", Aquifers Systems Management, Dijon, France, Mai, 30 - June, 1, 2006 (in press).

Arlai, P., M. Koch, S. Koontanakulvong, and **W. Bejranonda**, "Numerical Modeling as a Tool to Investigate the Feasibility of Artificial Recharge to Prevent Possible Saltwater Intrusion into the Bangkok Coastal Aquifers System", Groundwater Hydraulics in Complex Environments, Toulouse, France, June, 12-14, 2006

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นายวีรพล เพชรานนท์

เกิด 22 มกราคม พ.ศ.2524 กรุงเทพมหานคร

การศึกษา

พ.ศ. 2545	สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2550	สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานทางวิชาการ

Bejranonda, W., S. Koontanakulvong, M. Koch, and C. Suthidhummajit, "Groundwater Modeling for Conjunctive Use Patterns Investigation in the Upper Central Plain of Thailand", Aquifers Systems Management, Dijon, France, May, 30 - June, 1, 2006 (in press).

Arlai, P., M. Koch, S. Koontanakulvong, and **W. Bejranonda**, "Numerical Modeling as a Tool to Investigate the Feasibility of Artificial Recharge to Prevent Possible Saltwater Intrusion into the Bangkok Coastal Aquifers System", Groundwater Hydraulics in Complex Environments, Toulouse, France, June, 12-14, 2006