



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- การปกครอง. กรม. 2536. สารบบแหล่งน้ำธรรมชาติ. เล่ม 1.
- ชลประทาน. กรม. 2543. โครงการศึกษาการจัดการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา. รายงานฉบับสุดท้าย. จัดทำโดย บริษัทพอลคอนซัลแตนท์จำกัด และบริษัทปัญญาคอนซัลแตนท์จำกัด.
- เจริญ เชื่อมไธสง. 2522. กำเนิดน้ำบาดาล และแหล่งน้ำบาดาลในประเทศไทย. กรมทรัพยากรธรณี.
- เจริญ เพ็ชรเจริญ. 2540. น้ำบาดาล-บ่อบาดาล. กองควบคุมกิจการน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี.
- โชคชัย สุทธิธรรมจิต. 2543. เอกสารการอบรมเรื่องการประยุกต์ใช้ GMS/MODEFLOW ในงานจำลองน้ำใต้ดิน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทรัพยากรธรณี. กรม. 2542. แนวทางการจัดการน้ำเพื่ออุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. รายงานฉบับสมบูรณ์. จัดทำโดยภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทรัพยากรธรณี. กรม. 2542. โครงการศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่ออุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. จัดทำโดยศูนย์บริการวิชาการจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปนต์ ศิริพุทธิชัยกุล. สุจริต คุณธนกุลวงศ์. 2544. การประมาณค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน จากข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินพื้นฐาน. เอกสารประกอบการประชุมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 7. หน้า WRE 61 – 68.
- พัฒนาที่ดิน. กรม. 2538. การวิจัยคุณภาพของดินด้านปฐพีกลศาสตร์ตามกลุ่มชุดดินในประเทศไทย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 380
- มันสิน ตันทุลเวศม์. 2537. วิศวกรรมประปา. เล่ม 1.
- ราชบัณฑิตยสถาน. 2525. พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน.
- ราชบัณฑิตยสถาน. 2530. พจนานุกรม ฉบับเฉลิมพระเกียรติ.
- วจี รามณรงค์ และสมชัย วงศ์สวัสดิ์. 2541. ศักยภาพน้ำบาดาลในประเทศไทย. วารสารชมรมนักอุทกวิทยา ปีที่ 2 ฉบับที่ 2-2541.
- วินัย เชาวน์วิวัฒน์. 2542. การจำลองสภาพการรุกคืบของน้ำเค็มในชั้นน้ำนันทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ส่งเสริมการเกษตร. กรม. 2537. รายงานผลดำเนินงานโครงการขุดเจาะบ่อบาดาลระดับตื้น (บ่อดอก) เพื่อการเกษตร.
- สนธิ์ จินดาสงวน. 2541. การจำลองสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมชัย วงศ์สวัสดิ์. 2542. ทรัพยากรน้ำบาดาลของประเทศไทยและการพัฒนา.
- สุจริต คุณธนกุลวงศ์ และคณะ. 2545. โครงการศึกษาศักยภาพและความต้องการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการจัดการน้ำใต้ดินในพื้นที่ภาคเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง : รายงานฉบับสมบูรณ์. เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สุจริต คุณธนกุลวงศ์ และโชคชัย สุทธิธรรมจิต. 2542. การประยุกต์ใช้ GMS/MODEFLOW ในการจำลองน้ำใต้ดิน. เอกสารประกอบการประชุมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 5. หน้า WRE 26 – 34.
- สุจริต คุณธนกุลวงศ์ และสมบูรณ์ ลูวิระ. 2544. การประเมินการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง. วารสารชมรมนักอุทกวิทยาไทย. ปีที่ 6. ฉบับที่ 5-2544. หน้า 231 – 237.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์. 2543. โครงการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมและการฟื้นฟูแหล่งทราย ภาคกลาง 5 จังหวัด .
 อรุณ หล่อเพ็ญศรี. 2542. การศึกษาค้นคว้าแหล่งน้ำบาดาลจังหวัดชัยนาท . กองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี.
 อุดร จารุรัตน์ และจารุรัตน์ วรนิสรากุล. 2537. วิศวกรรมประปา.

ภาษาอังกฤษ

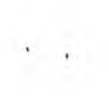
- Anderson, M. P. Woessner, W. W. 1992. Applied groundwater modeling : Simulation of flow and advective transport. Academic Press. Inc.
- Arnold, J. G. Mutiah, R. S. Srinivasan, R. and Allen, P. M. 2000. Regional estimation of base flow and groundwater recharge in the upper Mississippi river basin. Journal of Hydrology (Netherlands). Jan. pp. 21 – 39.
- Batu,V. 1998. Aquifer hydraulics: A comprehensive guide to hydrogeologic data analysis. John Wiley & Sons.
- Berdring, S. Gottschalk, L. 1987. An indirect method for determination of the parameters of flood plain aquifers. Nordic Hydrology. Vol.18. No.2. pp.65-72.
- Bergstrom, S. Sandberg, G. 1983. Simulation of groundwater response by conceptual models – Three case studies. Nordic Hydrology. Vol.114. No.2. pp.71-83.
- Bredehoeft, J.D. Pinder. G.F. 1968. Application of the digital computer for aquifer evaluation. Water Resources Research. Vol.5. pp.1069-1093.
- Brigham Young University. 1996. GMS – reference manual. Utah.
- Carey, M. A. Chadha, D. 1998. Modelling the hydraulic relationship between the river Derwent and the corallian limestone Aquifer. Quarterly Journal of Engineering Geology (UK). Feb.. pp. 63-71.
- Caro, R. Eagleson, P. S. 1981. Estimating aquifer recharge due to rainfall. Journal of Hydrology. Oct.. pp. 185 – 210.
- Christiaens, K. Feyen, J. 2001. Analysis of uncertainties associated with different methods to determine soil hydraulic properties and their propagation in the distributed hydrological MIKE SHE model. Journal of Hydrology. Vol. 246. pp. 63 – 81.
- Ciss, Y. 2000. Estimation of aquifer parameters under steady state conditions using Inverse modeling. Journal of Hydrology and Hvdromechanics (Slovakia). Vol.48. No.1.pp. 3-14.
- Colville, J. S. Estimation of aquifer recharge and flow from natural tritium content of groundwater. Journal of Hydrology. Vol. 67. pp. 195 – 221.
- de Lima, O A L. Niwas, S. 2000. Estimation of hydraulic parameters of shaly sandstone aquifers from geoelectrical measurements. Journal of hydrology (Netherlands). 22 Aug 2000. 12-25.
- Dillon, P. J. Liggett, J. A. 1983. An ephemeral stream-aquifer interaction model. Water Resources Research. June. pp. 621 – 625.
- Donovan, D. J. Katzer, T. 2000. Hydrologic implications of greater ground-Water recharge to Las Vegas Valley, Nevada. Journal of the American Water Resources Association. Vol. 36. No. 5. pp. 1133 – 1148.

- Egboka, B.C.E. Uma, K.O. 1986. Comparative analysis of transmissivity and hydraulic conductivity values from the Ajali aquifer system of Nigeria. Journal of Hydrology. Vol.83. pp.185-195.
- Farr, J.M. 1987. Determination of aquifer transmissivity from earth tide analysis. Water Resources Research. Vol.23. No.10. pp.1824-1831.
- Foster, S. et al. 2000. Groundwater in rural development. World Bank Technical Paper No. 463.
- Freeze, R.A. Witherspoon. 1966. Theoretical analysis of regional groundwater flow 1: Analytical and numerical solution to the mathematical model. Water Resources Research. Vol.2. No.4. pp.155-162.
- Gangopadhyay, S. Gautam, T.R. and Gupta, A.D. 1999. Subsurface characterization using artificial neural network and GIS. ASCE Journal of Computing in Civil Engineering (U.S.A.). Vol.13. No.3. pp.183-160.
- Genereux, D.Guardiario, J.1998. A canal drawdown experiment for determination of aquifer parameters. ASCE Journal of Hydrologic Engineering (U.S.A.). Vol.3. No.4. pp.294-301.
- Genereux, D. Slater, E. 1999. Water exchange between canals and surrounding aquifer and wetlands in the southern Everglades. U.S.A. Journal of Hydrology (Netherlands). Vol. 219. No. 3-4. pp. 153 – 167.
- Gould, G. Siegel, D.I. 1988. Simulation of regional flow in bedrock. south western New York – north western Pennsylvania. Water Resources Research. Vol.3. pp.671-676.
- Goyal, S.K. 1984. New approach for analysis of aquifer test data. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol.110. No.4. pp. 388-341.
- Gupta, A. D. Paudyal, G. N. 1988. Estimating aquifer recharge and parameters from water level observations. Journal of Hydrology. pp. 103 – 115.
- Hill, B. R. 1990. Groundwater discharge to a headwater Valley, Northwestern Nevada. U.S.A.. Journal of Hydrology. Vol. 113. No. 1. pp. 265 – 282.
- Hoffmann, K. H. et al. 1991 .Adaptive methods for parameter identification in groundwater hydrology. Advance in Water Resource. Oct 1991. 220-238.
- Holder, A. W. Bedient, P. B. Dawson, C. N. 2000. FLOTRAN : A three-dimensional ground water model with comparisons to analytical solutions and other models. Advances in Water Resources. Vol. 23. No. 5. pp. 517 – 530.
- Indelman, P. Dagan, G. Cheng, A.H.D. and Ouazar, D. 1996. Sensitivity analysis of flow in multilayer leaky aquifer systems. ASCE Journal of Hydraulic Engineering. Vol.122. No.1. pp.46-48.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). 1983. Water requirement and their determination. Tsukuba International Agricultural Training Center. 2nd edition.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). 1995. The study on management of groundwater and land subsidence in the Bangkok Metropolitan area and its vicinity (Summary Report).
- Konikow, L.F. Bredehoeft, J.D. 1992. Groundwater models can not be validated. Advances in Water Resources. pp.75-82.

- Li, Y. Chu, S. T. 1995. Field evaluation of aquifer-recharge model. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol. 121. No. 6. pp. 385 – 388.
- Mahadeva, K.T. 1991. Groundwater flow simulation using MODFLOW. Master's Thesis No. WA-91-9. Asian Institute of Technology. Thailand.
- Molle, Francois. Chompadist, C. Srijantr, T. and Jesda, K. 2001. Dry-season Water Allocation and Management in the Chao Phraya Delta. Kasetsart University. DORAS center. Research Report No. 8.
- Morel-Seytoux, H. J. 1988. Soil aquifer stream Interactions – A reductionist attempt toward physical-stochastic integration. Journal of Hydrology. Vol. 102. No. 1. pp. 355 – 378.
- Naff, R. L. Gutjahr, A. L. Estimation of groundwater recharge parameters by time series analysis. Water Resource Research. Dec.. pp. 1531 – 1545.
- Niwas, S. Singhal, D.C. 1985. Aquifer transmissivity of porous media from resistivity data. Journal of Hydrology. Vol.82. No.986. pp. 43-52.
- Olin, M.H.E. Svensson, C. 1992. Evaluation of geological and recharge parameters for an aquifer in southern Sweden. Nordic Hydrology. pp.305-363.
- Piggot, A.R. Bobba, A.G. Novakowski, K.S. 1996. Regression and inverse analyses in regional ground-water modeling. ASCE Journal of Water Resources Planning and Management. Vol.122. No.1. pp.1-9.
- Rao, G.N. Beck, J.N. Murray, H.E. and Nyman, D.J. Estimating transmissivity and hydraulic conductivity of Chicot aquifer from specific capacity data. Water Resources Bulletin. Vol.27. No.1. pp.47-57.
- Rastogi, A. K. 1985. Effect of variation in parameters on digital solutions of a river-aquifer interaction problem. Journal of the Institute of Engineers India. Vol. 65. pp. 198 – 203.
- Rosen, M.R. 1999. The importance of long-term seasonal monitoring of groundwater wells in the New Zealand National Groundwater Monitoring Programme (NGMP). Journal of Hydrology (NZ). Vol. 38(1). pp.145-169.
- Royal Irrigation Department (RID). 1977. Chao Phraya – Meklong Basin Study. by Acres International Limited. Canada.
- Rudolph, D.L. Sudicky, E.A. 1990. Simulation of groundwater flow in complex multi aquifer systems: Performance of a quasi three-dimensional technique in the steady-state case. Canadian Geotechnical Journal. Vol.27. No.5. pp.590-599.
- Salman, M.A., ed. 2000. Groundwater : Legal and policy perspectives. World Bank Technical Paper No. 456.
- Scott, D. M. Thorpe, H. R. 1986. Ground water resources between the Rakaia and Ashburton rivers. Publication No.6 of the Hydrology Center Christchurch. National Water and Soil Conservation Authority.
- Shigeya Maeda. Toshihiko Kawachi. Alok Kumar. Takeo Maruyama. and Shinzou Matsumura. 2001. GIS-aided zoning of natural groundwater recharge potential in Yasu river basin, Japan. Journal of Rainwater Catchment Systems. Vol. 6. No. 2. pp. 15 – 20.

- Singh, S. K. 2000. Simple method for confined-aquifer parameter estimation. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol.126. No.6. pp.404-406.
- Singh, S. R. Sagar, B. 1977. Estimation of aquifer diffusivity in stream-aquifer systems. Journal Hydraulics Division. Nov.. pp. 1293 – 1301.
- Sorman, A. U. Abdulrazzak, M. J. Morel-Seytoux, H. J. 1997. Groundwater recharge estimation from ephemeral streams. case study : Wadi Tbalah. Saudi Arabia. Hydrological Processes. Oct.. pp. 1607 – 1618.
- Srinivas, A. Venkateswara, Rao B. and Gurunadha Rao, V. V. S. 1999. Recharge process and aquifer models of a small watershed. Hydrological Sciences Journal (UK). Oct.. pp. 681 – 691.
- Sucharit K. and Panot S. 2002. Determination of recharge rate from soil classification map in GW modelling. 17th WCSS. Symposium No.4. Paper No. 1845.
- Suddiqui, A.H. 1987. Extended simulation study of multi-aquifer system in Bangkok. Master's Thesis No. WA-87-28. Asian Institute of Technology. Thailand.
- Sukhija, B. S. Reddy, D. V. Nagabhushanam, P. Hussain, S. et al. 1996. Environmental and Injected tracers methodology to estimate direct precipitation recharge to a confined aquifer. Journal of Hydrology. Mar. pp. 77 – 96.
- Sun, N. Z. Jeng, M.C. Yeh, W. W. G. 1995. A proposed geological parameterization method for parameter identification in three-dimensional groundwater modelling. Water Resources Research. pp. 89-101.
- Sun, Z. 1986. An approximate method for pumping test analysis in non-penetrating wells. Journal of Hydrology. pp. 109-117.
- Sun, Z.. 1994. Hydrogeophysical concepts in aquifer test analysis. Nordic Hydrology. Vol.25. No.3. pp.183-192.
- Swamee, P. K. Ojha, C.S. 1990. Pumping test analysis of confined aquifer. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol.116. No.1. pp.99-105.
- Thorpe, H. R. Scott, D. M. 1999. An evaluation of four soil moisture models for estimating natural ground water recharge. Journal of Hydrology (NZ). Vol. 38 (2). pp. 179 – 209.
- Tsou, M. S. Whittemore, D. O. 2001. User interface for ground-water modeling: Arcview extension. Journal of Hydrologic Engineering. Vol. 6. No. 3. pp. 251 – 257.
- Todd, D. K. 1980. Ground water hydrology. John Wiley & Sons.
- Tracy, J. C. Marino, A. 1991. Identification of aquifer's well-pumpage histories. ASCE Journal of Water Resource Planning and Management. July/Aug. pp. 432 – 446.
- U.S. Geological Survey. 1988. MODFLOW – user's manual. U.S. Governmentprinting office. Washington.
- Wachyan, E. Rushton, K. R. 1987. Water losses from irrigation canals. Journal of Hydrology. Vol. 92. pp. 275 – 287.
- Water Resources Planning Subcommittee, The National Economic and Social Development Board. 1977. Water balance study for Chao Phya and Mae Klong river basins. by SEATEC and IECO.

- Watkins, D. W. MsKinney, D. C. Maidment, D. R. 1996. Use of geographic informaion systems in ground water flow model. Journal of Water Resource Planning and Management. Vol.12. March/April.
- Wilson, S. D. Kimpel, B. C. 1990. Measurement of irrigation water use. Results of 2 case studies in Illinois. Irrigation and Drainage – Proceedings of the 1990 National Conference. Jul. 11–13 1990. Durango. CO. U.S.A.. pp. 109-117.
- Wu, J. Zhang, R. Yang, J. 1996. Analysis of rainfall – recharge relationships. Journal of Hydrology. Mar. pp. 143 – 159.
- Zabier, M. Z. Kop, J. H. Boekelman, R. H. Brandsma, N. and Subroto, B. 1986. Drinking water supply in tidal lowlands. Research paper for the symposium "Lowland Development in Indonesia". International Institute for Land Reclamation and Improvement. The Natherlands.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การประเมินค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน

การประมาณค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน จากข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินพื้นฐาน

1. การวิเคราะห์ผลการสูบทดสอบ

วิธีการวิเคราะห์ผลการสูบทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำ (T) สำหรับชั้นน้ำแบบมีความดันที่ไม่มีกร้าวซึม (Isotropic Nonleaky Confined aquifer) อาศัยทฤษฎี Theis มีวิธีการคำนวณและประมาณค่าหลายวิธี แต่ละวิธีมีรูปแบบการดังแสดงในตารางที่ 1 โดยที่ Q คืออัตราการสูบน้ำ (m³/day) t คือเวลาดังแต่เริ่มสูบ t' คือเวลาดังแต่หยุดสูบ r คือระยะห่างระหว่างบ่อสูบและบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการวัดระดับน้ำ และ s คือระยะน้ำลด

ตารางที่ 1 วิธีการวิเคราะห์ผลการสูบทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำ

วิธีการวิเคราะห์	Theis	Cooper – Jacob	Theis Recovery
สมการในการหาค่า T	$T = \frac{QW(u)}{4\pi s}$	$T = \frac{2.303Q}{4\pi\Delta s} \Delta \log t$	$T = \frac{2.303Q}{4\pi\Delta s'} \Delta \log \left(\frac{t}{t'} \right)$

หมายเหตุ $u = \frac{r^2 s}{4Tt}$ $W(u) = -0.5772 - \ln u - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-u)^n}{n \cdot n!}$ และ $\frac{\Delta s}{\Delta \log t}$ คือความชันของกราฟ s กับ $\log t$

วิธีการ Theis และ Cooper-Jacob จำเป็นต้องใช้บ่อสังเกตการณ์ในการคำนวณหาค่า T แต่วิธี Theis-Recovery สามารถคำนวณจากข้อมูลบ่อสูบโดยไม่ต้องมีบ่อสังเกตการณ์ทำให้สะดวกและสอดคล้องกับข้อมูลที่มีในพื้นที่ศึกษา อย่างไรก็ตาม วิธี Theis หรือ วิธี Cooper-Jacob อาจใช้คำนวณได้โดยประมาณให้ค่า r ในสมการเป็นขนาดรัศมีของบ่อสูบ

2. ข้อมูลในการประเมินพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้จำแนกได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการคำนวณผลการสูบทดสอบ ใช้ผลการทดสอบที่ดำเนินการโดยโครงการศึกษาศักยภาพและความต้องการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการจัดการน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545) ซึ่งได้ดำเนินการทดสอบจากบ่อบาดาลในพื้นที่ศึกษาจำนวน 11 บ่อ ตามรายละเอียดในตารางที่ 2
2. ข้อมูลสำหรับการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำแบบปรับหน่วย (T') และสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะแบบปรับหน่วย (S_C') ใช้ผลการสูบทดสอบบ่อน้ำใต้ดินโดยวิธีอัตราการสูบคงที่ (Constant rate test) ของการประปาภูมิภาค 52 บ่อ และกรมทรัพยากรธรณี 191 บ่อ
3. ข้อมูลสำหรับการหาค่าการจ่ายน้ำในพื้นที่ศึกษา (T) ใช้ข้อมูลระเบียบบ่อบาดาลของหน่วยงานต่าง ๆ ได้แก่ กรมทรัพยากรธรณี กรมโยธาธิการ กรมอนามัย การประปาภูมิภาค กรมชลประทาน และกรมการเร่งรัดพัฒนาชนบท รวมทั้งสิ้น 2196 บ่อ

ตารางที่ 2 ข้อมูลพื้นฐานของบ่อบาดาลที่ทำการสุบทดสอบ (สุจริต และคณะ , 2545)

ลำดับ	Well No	สถานที่	อำเภอ	จังหวัด	พิกัดภูมิศาสตร์		ความลึก (m.)	ท่อกรอง (m.)	ระดับน้ำปกติ (m.)	อัตราการสูบ (cu.m./h)	ระยะน้ำลด (m.)
					N	E					
1	MN0747	บ้านมา	อินทร์บุรี	สิงห์บุรี	639848	1665131	57	48-54	6.45	30	2.32
2	MN0808	ร.ร. วัดขุนสงฆ์	ค่ายบางระจัน	สิงห์บุรี	663487	1606591	57	45-53	6.09	6.2	0.7
3	MT0109	บ้านโป่งแดง	สามชุก	สุพรรณบุรี	611250	1634400	66	60-66	6.05	6.5	0.84
4	DF0036	คานหนองสังข์ทอง	สามชุก	สุพรรณบุรี	608107	1628699	90	81-87	7.56	6.5	6.69
5	MN0692	วัดโพธิ์ทะเล	ค่ายบางระจัน	สิงห์บุรี	636292	1639500	48	42-47	3.71	5.5	0.23
6	MN0822	วัดโพธิ์วงษ์	เมือง	อ่างทอง	654452	1609915	136	129-133	14.3	4.5	0.93
7	MP0083	วัดหลวงพ่อขาว	เมือง	ชัยนาท	623168	1674395	63	54-60	5.7	12.8	1.82
8	MQ0822	ร.ร. วัดหัวหิน	ท่าเรือ	อยุธยา	602900	1639400	54	45-51	43.38	5	3.32
9	DE0253	บ้านบางสงค์	บ้านหมี่	ลพบุรี	658943	1651390	33	24-30	4.43	30	4.05
10	-	วัดโพธิ์เอน	พรหมบุรี	สิงห์บุรี	655650	1633450	248	206-214/238-248	17.88	22	3.01
11	MQ0847	วัดหันสังข์	บางปะหัน	อยุธยา	663487	1606591	126	108-126	16.83	10.2	2.96

หมายเหตุ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบ่อทุกบ่อเท่ากับ 6 นิ้ว ยกเว้นบ่อที่ 3 และ 4 มีขนาด 5 นิ้ว

3. ผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ผลการสุบทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำ (T, S) สำหรับชั้นน้ำแบบมีความดันที่ไม่มีกร้าวซึม (Isotropic Nonleaky Confined aquifer) อาศัยทฤษฎี Theis โดยมีวิธีการคำนวณและประมาณค่าหลายวิธี จากการวิเคราะห์ข้อมูลสุบทดสอบ พบว่า วิธีการที่ใกล้เคียงกับทฤษฎีที่สุดคือ การประมาณค่าด้วยวิธี Cooper-Jacob ซึ่งให้ค่าเป็น 1.03 เท่าของวิธี Theis ที่คำนวณจากบ่อสังเกตการณ์ ส่วนวิธี Theis-Recovery ให้ค่าใกล้เคียง แต่มีความเบี่ยงเบนสูง ขณะที่การประมาณโดยวิธี Theis ที่ใช้บ่อสุบในกรณีที่ไม่มีบ่อสังเกตการณ์ ให้ค่าต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ (ประมาณ 0.6 เท่าของวิธี Theis ที่คำนวณจากบ่อสังเกตการณ์) และเมื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อมูลกับวิธีการคำนวณ พบว่า ผลจากทั้งวิธี Cooper-Jacob และวิธี Theis-Recovery ข้อมูลสอดคล้องกับเส้นกราฟตามทฤษฎีเป็นอย่างดี กล่าวคือ ค่า R-square สูง ประมาณ 0.95 การศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกใช้วิธี Cooper-Jacob เป็นหลักในการศึกษา และในกรณีที่ไม่มีบ่อสังเกตการณ์จะใช้วิธี Theis-Recovery

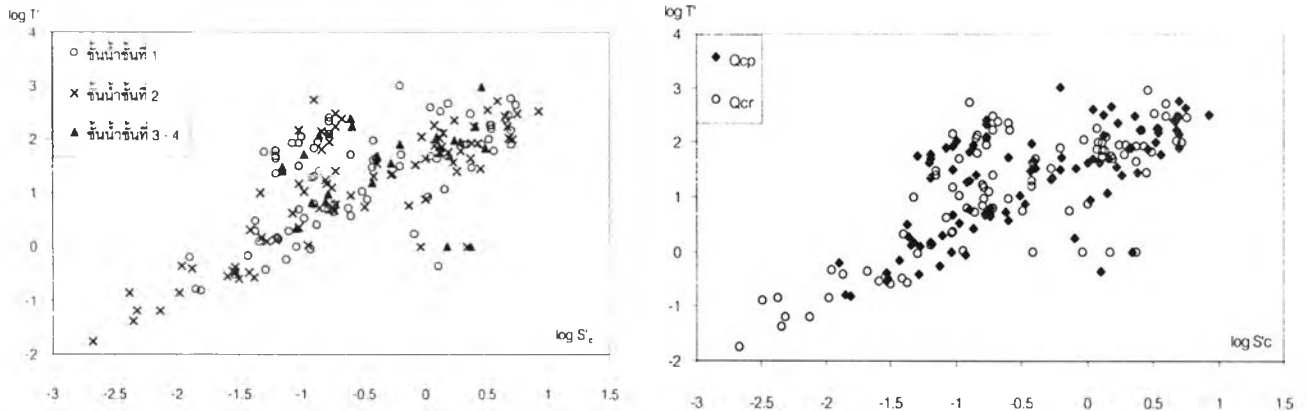
ตารางที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำโดยวิธีต่าง ๆ

วิธีการวิเคราะห์	ค่าเปรียบเทียบกับวิธี Theis - บ่อสังเกตการณ์			R-square	
	Theis - บ่อสุบ	Cooper-Jacob	Recovery	Cooper-Jacob	Recovery
ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ย	0.61	1.03	1.12	0.952	0.959
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.23	0.29	0.70	0.026	0.027

การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในการศึกษาครั้งนี้อาศัยสมมติฐานเช่นเดียวกับการศึกษาของ อรณูช, 2542 โดยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำแบบปรับหน่วย (T' , m/day) จากค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T , m²/day) ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการสุบทดสอบหารด้วยความยาวของท่อกรอง (L, m.) แล้วสร้างความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะแบบปรับหน่วย (S'_c , m/day) ของบ่อทดสอบซึ่งคำนวณจากค่าอัตราการสูบน้ำ (Q, m³/day) หารด้วยระยะน้ำลด (s, m.) และความยาวของท่อกรอง (L, m.) โดยแยกกลุ่มเป็น บ่อที่ท่อกรองอยู่ในชั้นน้ำชั้นที่หนึ่ง 80 บ่อ ชั้นน้ำชั้นที่สอง 79 บ่อ และชั้นที่สามและสี่ 31 บ่อ ผลการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำแบบปรับหน่วยมีความสัมพันธ์ตามรูปแบบสมการ $T' = a(S'_c)^b$ โดยที่ ค่า a, b และค่า R-square ของสมการ สำหรับชั้นน้ำแต่ละชั้นแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์และค่า R-square ของสมการ $T' = a(S'_c)^b$ สำหรับชั้นน้ำต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา

ชั้นน้ำ	a	b	R ²
1	3.6	0.86	0.42
2	1.7	1.10	0.71
3-4	3.5	0.96	0.61
รวมทุกชั้นน้ำ	2.5	1.01	0.59



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า T' และค่า S'_c

เนื่องจากการกระจายของข้อมูลตามรูปที่ 1 ของชั้นน้ำทุกชั้นมีลักษณะสอดคล้องกันตามสมการ $T' = a(S'_c)^b$ โดยมีค่า a ในช่วง 1.7 – 3.6 ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ อรุณข (2542) ที่ทำการศึกษาในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ได้ค่า a เท่ากับ 2.2 แต่ค่าที่ได้นี้สูงกว่าผลการศึกษาของ Logan, 1964 (อ้างถึงใน JICA, 1995) และ Driscoll, 1986 (อ้างถึงใน Batu, 1998) อันเป็นการศึกษาในกรณีทั่วไปที่ไม่ได้ใช้ข้อมูลในพื้นที่เฉพาะ และกำหนดค่า a เท่ากับ 1.22 และ 1.385 ตามลำดับ สำหรับค่า b มีค่าอยู่ในช่วง 0.86 – 1.10 ใกล้เคียงกับการศึกษาทั้ง 3 ที่กล่าวถึงข้างต้น หากพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล (รูปที่ 1) พบว่าชั้นน้ำและประเภทของชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีผลต่อรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่า T' และ S'_c กล่าวคือชั้นน้ำทุกชั้นมีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลไม่แตกต่างกัน การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำแบบปรับหน่วย (T') สำหรับการศึกษาครั้งนี้จึงสามารถสรุปเป็นสมการดังนี้ $T' = 2.5(S'_c)^{1.01}$ โดยมีค่า R-square เท่ากับ 0.59 สำหรับทุกชั้นน้ำ

จากความสัมพันธ์ที่ได้เมื่อนำมาประกอบกับระเบียบข้อที่รวบรวมโดยหน่วยงานราชการต่าง ๆ จำนวน 2,196 บ่อ ทำให้สามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำในพื้นที่ศึกษาได้ แล้วสร้างเป็นเส้นชั้นความสูงเท่ากันของค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำแบบปรับหน่วย (T') เมื่อนำค่าดังกล่าวคูณด้วยค่าความหนาของชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่จะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T) ดังนั้นในอนาคตเมื่อมีการก่อสร้างบ่อน้ำใต้ดินสามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำจากผลทดสอบการให้น้ำและการวัดค่าการลดระดับน้ำซึ่งสามารถคำนวณเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ (S_c) ได้โดยไม่ต้องทำการสูบทดสอบที่ต้องใช้ระยะเวลานาน ทำให้ลดค่าใช้จ่ายและประหยัดเวลาลงได้

กล่าวโดยสรุปได้ว่าการศึกษานี้เป็นการทดสอบวิธีการวิเคราะห์ผลการสุบทดสอบสำหรับชั้นน้ำแบบมีความดันที่ไม่มีการรั่วซึม พบว่าวิธี Cooper-Jacob และ วิธี Theis-Recovery เป็นวิธีที่เหมาะสมจากข้อมูลในพื้นที่ศึกษา และจากข้อมูลดังกล่าว สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำแบบปรับหน่วยกับสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะแบบปรับหน่วย (ซึ่งคำนวณจากระเบียบบ่อน้ำใต้ดินที่มีการรวบรวมไว้โดยทั่วไป) ตามสมการ $T' = 2.5(S_c')^{1.01}$ และเมื่อคูณค่าดังกล่าวด้วยความหนาของชั้นน้ำจะสามารถประมาณค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำของชั้นน้ำได้โดยไม่ต้องทำการสุบทดสอบซึ่งทำให้ลดค่าใช้จ่ายและประหยัดเวลาลงได้

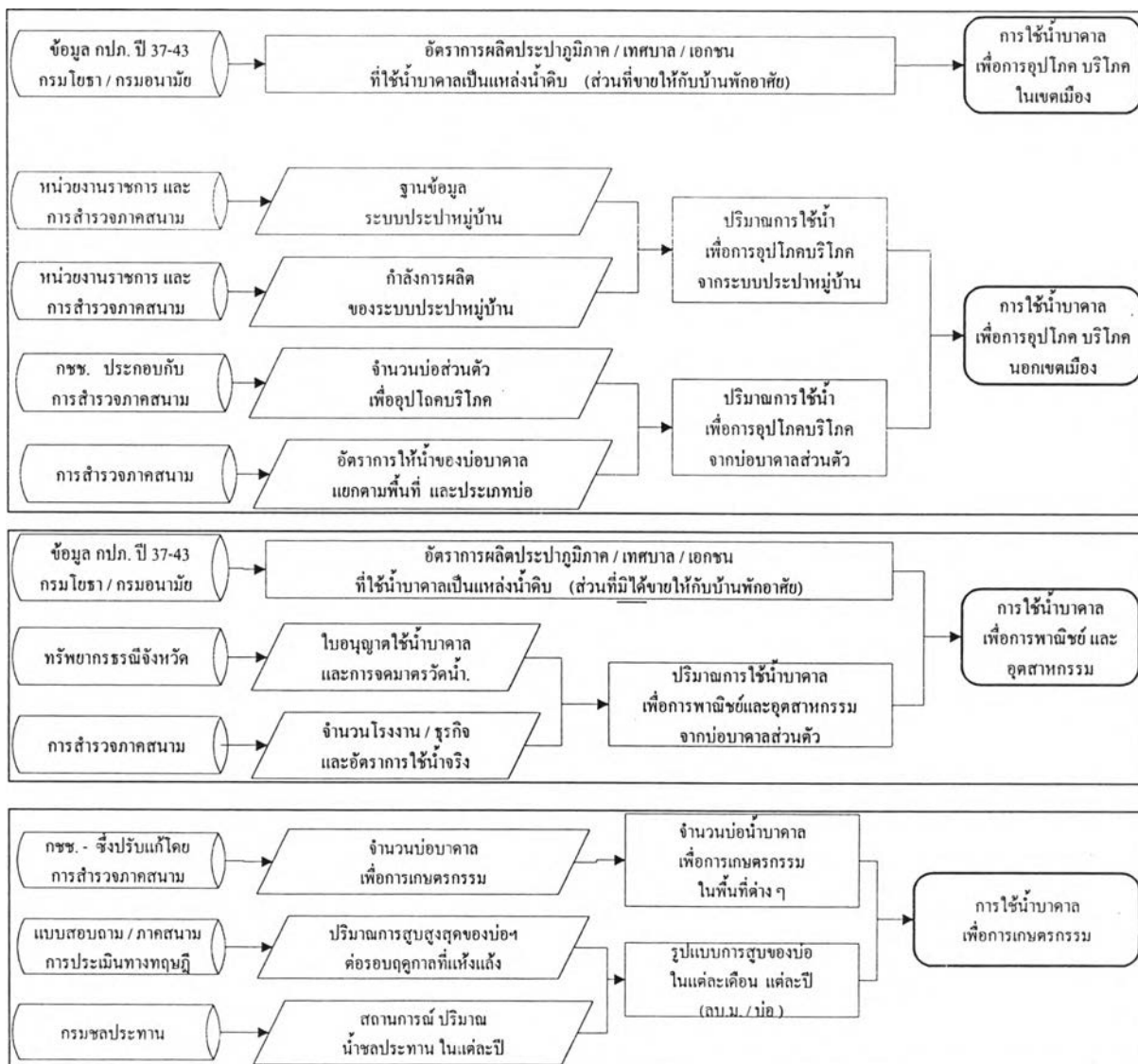
หมายเหตุ ภาคผนวกนี้ได้สรุปเป็นบทความวิชาการ เรื่องการประมาณค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดินจากข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินพื้นฐาน เสนอในการประชุมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 7 วันที่ 17 - 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2544 ณ อาคารศศปฐศาลา สถาบันบัณฑิตบริหารธุรกิจ ศศินทร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การประเมินอัตราการใช้น้ำใต้ดิน

การประเมินอัตราการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

พฤติกรรมกรรมการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาจำแนกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ การใช้น้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค การใช้น้ำเพื่อการพาณิชย์และอุตสาหกรรม และการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม ในแต่ละส่วนจะมีวิธีการพิจารณาที่แตกต่างกัน บนสมมติฐานที่แตกต่างกัน ดังแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 1 (สุจริต และสมบุญ, 2544; จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545)



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการประเมินปริมาณการใช้น้ำใต้ดิน



รูปที่ 2 การศึกษา สัมภาษณ์ และทดสอบในภาคสนาม

1. การประเมินอัตราการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภค บริโภค

การศึกษาการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคจำแนกเป็น 2 ส่วน คือการใช้น้ำในเขตชุมชนซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่บริการของการประปาภูมิภาค ประปาเทศบาล หรือระบบประปาสัมปทาน และส่วนที่สองคือพื้นที่นอกเขตชุมชนซึ่งใช้น้ำจากระบบประปาหมู่บ้าน และบ่อใต้ดินส่วนตัวเป็นแหล่งน้ำหลักสำหรับครอบครัว

ในพื้นที่ศึกษามีสำนักงานการประปาภูมิภาคทั้งหมด 23 แห่ง โดยมี 7 แห่งที่ใช้น้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำดิบ และอีก 4 แห่งใช้น้ำดิบจากทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน อัตราการผลิตน้ำประปาจากแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาในปี 2542 มีปริมาณรวม 20.2 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 43 ของอัตราการผลิตทั้งหมดของการประปาภูมิภาคในพื้นที่ศึกษา และในจำนวนนี้จำแนกเป็นปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคร้อยละ 61 หรือเท่ากับ 12.27 ล้านลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 1) ซึ่งปริมาณการผลิตทั้งหมดของการประปาภูมิภาคเมื่อคิดเปรียบเทียบกับจำนวนผู้ใช้น้ำ เฉพาะส่วนที่ใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้เท่ากับ 109 ลิตรต่อคนต่อวัน

ในเขตพื้นที่ชุมชน นอกจากการประปาภูมิภาคแล้วยังมีการดำเนินการกิจการประปาที่ได้รับสัมปทานจากกรมโยธาธิการ โดยผู้ที่รับสัมปทานไปดำเนินการมี 4 ลักษณะ คือ เทศบาลตำบล, เทศบาลนคร, เทศบาลเมือง และประปาเอกชน กำลังการผลิตรวม ต่อปี ของแต่ละจังหวัดแสดงดังตารางที่ 2 โดยมีปริมาณการใช้น้ำใต้ดินรวม ประเมินได้ ณ ปี 2542 ทั้งสิ้น 14.82 ล้านลูกบาศก์เมตร

สำหรับพื้นที่นอกเขตชุมชน จากการสำรวจภาคสนามพบว่าประชาชนส่วนใหญ่ยังคงอาศัยน้ำผิวน้ำเพื่อการบริโภค ส่วนน้ำใช้อุปโภคในครัวเรือน ร้อยละ 68 ใช้น้ำจากระบบประปาหมู่บ้าน ร้อยละ 20 ใช้น้ำจากบ่อใต้ดินส่วนตัวหรือบ่อใต้ดินสาธารณะในชุมชน

โครงการประปาหมู่บ้านในพื้นที่ศึกษาที่ก่อสร้างโดยหน่วยงานราชการต่าง ๆ มีทั้งสิ้นประมาณ 4,300 โครงการ (ตารางที่ 3) จากการสำรวจภาคสนามพบว่า แหล่งน้ำที่ใช้ในการผลิตร้อยละ 91 เป็นน้ำใต้ดิน และโดยเฉลี่ยแล้วการใช้น้ำจากระบบประปาหมู่บ้านมีค่าประมาณ 64 ลิตรต่อคนต่อวัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับการใช้น้ำของประชาชนในเขตชุมชน สำหรับอัตราการผลิตของระบบประปาหมู่บ้านเป็นรายจังหวัดแสดงในตารางที่ 3 โดยมีปริมาณการใช้น้ำใต้ดินในปี 2542 ประเมินได้เท่ากับ 31.86 ล้านลูกบาศก์เมตร

นอกจากระบบประปาหมู่บ้านแล้ว ในพื้นที่ที่อยู่นอกเขตชุมชนยังมีการใช้น้ำจากบ่อใต้ดินส่วนตัวของประชาชนในพื้นที่ ซึ่งจากข้อมูลของ กชช.2ค ในปี 2542 แสดงจำนวนบ่อน้ำตื้นและบ่อใต้ดินที่ใช้งานได้ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมดทั้งสิ้นประมาณ 100,000 บ่อ ผลการสำรวจภาคสนามพบว่าจำนวนบ่อเหล่านี้ประมาณร้อยละ 75 จะถูกใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค และส่วนที่เหลือเป็นบ่อสำหรับการเกษตรกรรม การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคมีปริมาณโดยเฉลี่ย 709 ลิตรต่อบ่อต่อวัน ดังนั้นจากข้อมูล กชช.2ค สามารถประเมินอัตราการสูบน้ำจากบ่อที่ใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้ดังตารางที่ 4

กล่าวโดยสรุปได้ว่า ปริมาณการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภคบริโภคทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาเท่ากับ 84 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี เป็นการใช้น้ำในเขตชุมชนจากระบบประปาต่าง ๆ 27 ล้านลูกบาศก์เมตร และเป็นการใช้น้ำนอกเขตชุมชนจากระบบประปาหมู่บ้านและบ่อใต้ดินของประชาชน 57 ล้านลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 1 อัตราการผลิตน้ำประปาจากแหล่งน้ำใต้ดินที่จ่ายให้ผู้ใช้ประเภทที่พักอาศัย (ล้าน ลบ.ม./ปี)

จังหวัด	สนง. ประปา	2537	2538	2539	2540	2541	2542
ลพบุรี	บ้านหมี่	0.19	2.07	0.00	0.00	0.00	2.21
อ่างทอง	ป่าโมก	0.21	0.20	0.18	0.20	0.20	0.21
อ่างทอง	วิเศษชัยชาญ	0.52	0.55	0.59	0.53	0.51	0.54
สระบุรี	พระพุทธบาท	0.45	0.52	0.60	0.67	0.75	0.82
สุพรรณ	สุพรรณ	2.33	2.55	2.67	2.81	3.13	2.72
สุพรรณ	ศรีประจันต์	0.00	0.23	0.24	0.43	0.46	0.50
อยุธยา	อยุธยา	1.82*	2.09*	2.41*	2.77*	3.18	3.57
อยุธยา	ผักไห่	0.25	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00
อยุธยา	ท่าเรือ	0.19	0.19	0.22	0.24	0.23	0.25
สิงห์บุรี	สิงห์บุรี	1.18*	1.36*	1.56	1.58	1.59	1.27
สิงห์บุรี	บางระจัน	0.16	0.16	0.17	0.19	0.18	0.18
รวม		7.29	10.22	8.64	9.43	10.22	12.27

หมายเหตุ * หมายถึงตัวเลขที่หน่วยงานไม่มีข้อมูลจริง ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าที่ประมาณจากอัตราการเพิ่มร้อยละ 15 ต่อปี

ตารางที่ 2 อัตราการผลิตของระบบประปาสัมปทานรายจังหวัด ปี 2542

จังหวัด	จำนวนระบบประปาสัมปทาน					จำนวนผู้ใช้น้ำ (ราย)	กำลังการผลิต (ล้าน ลบ.ม. / ปี)	ปริมาณน้ำใต้ดิน (ล้านลบ.ม. / ปี)
	เทศบาลตำบล	เทศบาลนคร	เทศบาลเมือง	เอกชน	รวม			
ชัยนาท	4	0	0	2	6	3,143	2.21	0.8
สิงห์บุรี	0	0	0	0	0	0	0	0
สุพรรณบุรี	1	0	0	1	2	2,686	1.99	1.07
นครสวรรค์	1	1	1	1	4	31,205	16.47	0
อ่างทอง	3	0	0	0	3	1,386	1.31	1.31
อยุธยา	1	1	0	30	32	27,971	22.43	8.92
ลพบุรี	1	0	1	1	3	4,525	2.01	0.99
สระบุรี	4	0	1	8	13	18,069	12.52	1.73
รวม	21	2	3	48	74	88,985	58.94	14.82

ตารางที่ 3 อัตราการผลิตของระบบประปาหมู่บ้านรายจังหวัด ปี 2542

จังหวัด	จำนวนระบบประปาจำแนกตามหน่วยงาน						กำลังการผลิต (ล้าน ลบ.ม. / ปี)	ปริมาณน้ำใต้ดิน (ล้านลบ.ม. / ปี)
	โยธา	อนามัย	กทธ.	รพช.	ไม่ระบุ*	รวม		
ชัยนาท	202	119	80	14	3	418	3.42	3.11
สิงห์บุรี	204	42	78	19	1	344	2.82	2.56
สุพรรณบุรี	216	309	143	34	4	706	5.78	5.26
นครสวรรค์	332	231	176	56	0	795	6.51	5.92
อ่างทอง	200	103	52	33	0	388	3.18	2.89
อยุธยา	166	212	133	22	26	559	4.57	4.16
ลพบุรี	302	144	136	115	4	701	5.74	5.22
สระบุรี	118	92	137	16	4	367	3	2.73
รวม	1,740	1,252	935	309	42	4,278	35.01	31.85

ที่มาของข้อมูลจำนวนระบบประปาจำแนกตามหน่วยงาน : ศูนย์สารสนเทศระบบประปาแห่งประเทศไทย

หมายเหตุ : * ข้อมูลที่ไม่ระบุหน่วยงาน คือข้อมูลที่ศูนย์สารสนเทศระบบประปาแห่งประเทศไทยระบุว่าไม่ทราบหน่วยงานที่ก่อสร้าง และรวมระบบประปาบางส่วนที่โอนเป็นความรับผิดชอบของสภาตำบล / อบต.

ตารางที่ 4 อัตราการสูบน้ำจากบ่อของประชาชนเพื่อการอุปโภคบริโภค (ข้อมูลปี 2542)

จังหวัด	จำนวนบ่อทั้งหมด			จำนวนบ่อ ที่ใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค	ประมาณการสูบน้ำ (ล้าน ลบ.ม. / ปี)
	บ่อน้ำตื้น	บ่อใต้ดิน	รวม		
ชัยนาท	4,309	17,766	22,075	16,556	4.23
สิงห์บุรี	769	13,425	14,194	10,646	2.72
สุพรรณบุรี	6,821	12,836	19,657	14,743	3.76
อ่างทอง	1,196	13,258	14,454	10,841	2.77
อยุธยา	2,571	2,265	4,836	3,627	0.93
ลพบุรี	4,926	10,260	15,186	11,390	2.91
สระบุรี	8,656	4,071	12,727	9,545	2.44
รวม	29,248	73,881	103,129	77,347	20.00

2. การประเมินอัตราการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการพาณิชย์และอุตสาหกรรม

การใช้น้ำใต้ดินเพื่อการพาณิชย์ อุตสาหกรรม รวมถึงหน่วยงานราชการ และรัฐวิสาหกิจต่าง ๆ ส่วนใหญ่อยู่ในเขตชุมชนที่อยู่ในเขตพื้นที่บริการของการประปาภูมิภาค และมีบางส่วนที่เอกชนเจาะบ่อใต้ดินเพื่อใช้ในกิจการของตนเอง ซึ่งตามพระราชบัญญัติน้ำใต้ดิน บ่อที่มีความลึกมากกว่า 30 เมตร จะต้องขออนุญาตต่อทรัพยากรธรณีจังหวัด กระทรวงอุตสาหกรรม

จากการรวบรวมข้อมูลในภาคสนาม ได้รวบรวมปริมาณการจำหน่ายน้ำของการประปาภูมิภาคให้กับผู้ใช้น้ำประเภทธุรกิจ, อุตสาหกรรม และหน่วยงานราชการ ในจังหวัดต่าง ๆ รวม 7.90 ล้านลูกบาศก์เมตรในปี พ.ศ. 2542 ดังตารางที่ 5

ส่วนการประเมินปริมาณการใช้น้ำใต้ดินจากบ่อที่เอกชนเจาะเพื่อใช้ส่วนตัวนั้นอาศัยข้อมูลการขออนุญาตใช้น้ำใต้ดิน ที่มีการยื่นต่อทรัพยากรธรณีจังหวัด ซึ่งแม้ว่าจากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลภาคสนาม มีข้อมูลที่แสดงให้เห็นว่าการใช้บ่อใต้ดินอีกจำนวนหนึ่งโดยมิได้ขออนุญาต แต่ไม่มีหน่วยงานเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพียงพอที่จะนำมาประเมินได้อย่างชัดเจน ในการศึกษาครั้งนี้จึงต้องอาศัยแบบจำลองเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์เพื่อประเมินปริมาณการใช้น้ำในส่วนนี้เพิ่มเติม

จากการรวบรวมข้อมูลการขออนุญาตใช้น้ำใต้ดินพบว่า มีผู้ขออนุญาตทั้งหมด 908 ราย และมีปริมาณน้ำที่อนุญาตให้ใช้ได้ทั้งสิ้น 27.23 ล้านลูกบาศก์เมตร แต่ปริมาณการใช้จริงอาจแตกต่างจากตัวเลขที่อนุญาต ดังนั้นจึงได้มีการรวบรวมข้อมูลบ่อใต้ดินที่มีการติดตั้งมาตรวัดน้ำ จำนวน 75 บ่อ แล้วเปรียบเทียบปริมาณการใช้จากมาตรวัดน้ำ กับปริมาณน้ำตามใบอนุญาต พบว่า อัตราการใช้น้ำจริงจากมาตรวัดน้ำมีอัตราส่วนเฉลี่ยเป็น 0.67 เท่าของตัวเลขในใบอนุญาต ดังนั้นจึงสามารถประเมินอัตราการใช้น้ำจริงได้เท่ากับ 18.41 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 6

และสรุปได้ว่า ปริมาณการใช้น้ำเพื่อการพาณิชย์และอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษา ณ ปี พ.ศ. 2542 มีปริมาณเท่ากับ 31.75 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

ตารางที่ 5 อัตราการผลิตน้ำประปาจากแหล่งน้ำใต้ดินที่จ่ายให้ผู้ใช้ประเภทธุรกิจ
อุตสาหกรรม และหน่วยงานราชการ (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)

จังหวัด	สน.ง. ประปา	2537	2538	2539	2540	2541	2542
ลพบุรี	บ้านหมี่	0.12	1.34	0.00	0.00	0.00	1.42
อ่างทอง	ป่าโมก	0.14	0.13	0.12	0.13	0.13	0.14
อ่างทอง	วิเศษชัยชาญ	0.34	0.35	0.38	0.34	0.33	0.35
สระบุรี	พระพุทธบาท	0.29	0.34	0.39	0.43	0.48	0.53
สุพรรณ	สุพรรณ	1.50	1.64	1.72	1.81	2.02	1.75
สุพรรณ	ศรีประจันต์	0.00	0.15	0.15	0.28	0.30	0.32
อยุธยา	อยุธยา	1.17	1.35	1.55	1.78	2.05	2.30
อยุธยา	ผักไห่	0.16	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
อยุธยา	ท่าเรือ	0.12	0.12	0.14	0.16	0.15	0.16
สิงห์บุรี	สิงห์บุรี	0.76	0.87	1.01	1.02	1.02	0.82
สิงห์บุรี	บางระจัน	0.10	0.10	0.11	0.12	0.11	0.11
รวม		4.70	6.58	5.56	6.07	6.59	7.90

หมายเหตุ * หมายถึงตัวเลขที่หน่วยงานไม่มีข้อมูลจริง ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าที่ประมาณจากอัตราการเพิ่มร้อยละ 15 ต่อปี

ตารางที่ 6 อัตราการสูบน้ำจากบ่อใต้ดินที่ขออนุญาตต่อกรมทรัพยากรธรณี (ข้อมูล ปี พ.ศ. 2542)

จังหวัด	ชัยนาท	สิงห์บุรี	สุพรรณบุรี	อ่างทอง	ลพบุรี	สระบุรี	รวม
จำนวนผู้ขออนุญาตสูบน้ำใต้ดิน (ราย)	39	66	328	51	56	368	908
ปริมาณการสูบตามใบอนุญาต (ล้าน ลบ.ม./ปี)	0.74	1.37	3.02	0.88	2.79	18.43	27.23
ปริมาณการใช้น้ำจริง (ล้าน ลบ.ม./ปี)	0.5	0.93	2.04	0.59	1.89	12.46	18.41

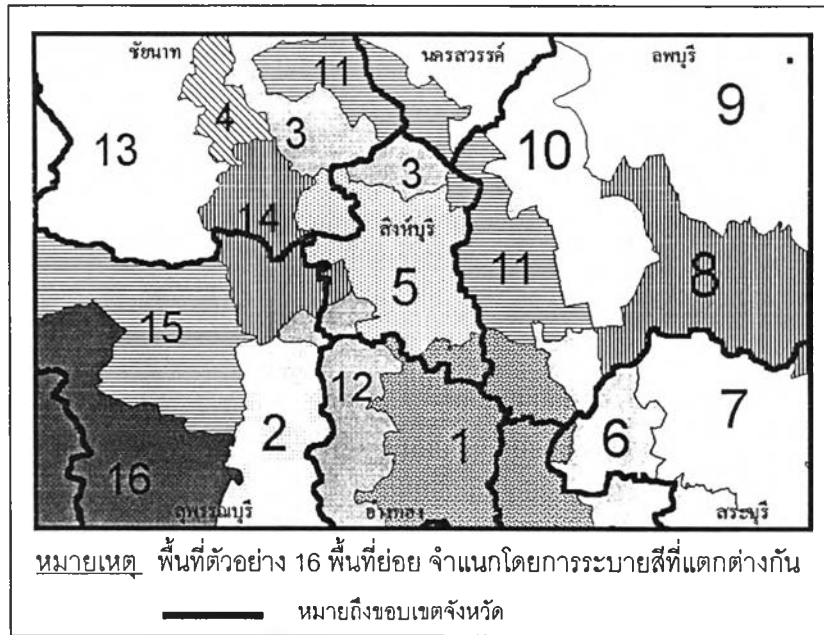
3. การประเมินอัตราการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรม

การประเมินปริมาณการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรมเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากและยากอย่างยิ่งเนื่องจากไม่มีระบบข้อมูลใดที่จะใช้เป็นฐานในการพิจารณาได้เลย อีกทั้งการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรมก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ หลายประการ เช่น ปริมาณฝน น้ำชลประทาน ความสำคัญของการศึกษาในสวนนี้จึงอยู่ที่การกำหนดกรอบการพิจารณาให้มีความสอดคล้องกับความเป็นจริงภายใต้ข้อจำกัดของการรวบรวมข้อมูล

การศึกษาของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2545) ได้ทำการสำรวจภาคสนามในระดับตำบลสามารถสรุปได้ว่า ลักษณะพฤติกรรมการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรม ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 3 ประการ คือ ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา ขอบเขตโครงการชลประทาน และลักษณะของพืชที่ทำการเพาะปลูก จึงอาศัยปัจจัยดังกล่าวจำแนกพื้นที่ศึกษาออกเป็น 16 พื้นที่ย่อยดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 7 แล้วทำการศึกษาพฤติกรรมการใช้น้ำ ระยะเวลา และอัตราการใช้น้ำใต้ดินสำหรับการเพาะปลูกของแต่ละพื้นที่ย่อย ๆ ในสถานการณ์มาตรฐานที่เกิดความขาดแคลนน้ำผิวดินมากที่สุดได้ผลการศึกษาโดยสรุปดังตารางที่ 7 กล่าวคือ การสูบน้ำเพื่อการเกษตรสวนใหญ่เกษตรกรใช้เครื่องสูบน้ำแบบใช้น้ำมัน มีอัตราการสูบน้ำได้เฉลี่ย 41 ลบ.ม./ชม. อัตราการให้น้ำในพื้นที่ที่มีชั้นหินอุ้มน้ำเป็นแบบ Qcp อยู่ในช่วง 35 – 62 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือโดยเฉลี่ย 50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่วนชั้นหินอุ้มน้ำแบบ Qcr ให้น้ำในช่วง 22 – 50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือโดยเฉลี่ย 40 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และแหล่งน้ำบาดาลในหินแข็ง มีอัตราการให้น้ำประมาณ 12 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ค่าที่ได้ดัง

กล่าวต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี (ตารางที่ 8) เล็กน้อย ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลจากการสูญเสียพลังงานในระบบเครื่องสูบน้ำและท่อสาย ยางที่ใช้ในการสูบน้ำ

ระยะเวลาการสูบน้ำอยู่ในช่วง 100 - 200 ชั่วโมงต่อบ่อต่อเดือน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช สถานการณ์น้ำผิวดิน รวมทั้งขนาดพื้นที่เพาะปลูกและจำนวนบ่อใต้ดินของเกษตรกร ซึ่งจากการสำรวจพบว่ามีค่าเฉลี่ย 16 ไร่ต่อบ่อ ส่วน ช่วงเวลาที่เกษตรกรจะต้องสูบน้ำใต้ดินใช้คือช่วงฤดูแล้ง เดือน มกราคม - พฤษภาคม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์น้ำผิวดิน ในแต่ละปี



รูปที่ 3 การแบ่งพื้นที่ย่อยในการศึกษาพฤติกรรมกรน้ำ

ในการประเมินอัตราการใช้น้ำเพื่อการเกษตรอาศัยข้อมูลในปีที่แล้งที่สุดที่มีการสำรวจในภาคสนามคือปี พ.ศ. 2542 เป็นฐานในการคำนวณปริมาณการสูบน้ำ โดยใช้อัตราการสูบและระยะเวลาที่สูบที่ได้จากการสำรวจภาคสนามดังกล่าว ประกอบกับข้อมูลจำนวนบ่อน้ำตื้นและบ่อใต้ดินของ กษช.2ค. ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าวแล้วระบุว่าร้อยละ 25 เป็นบ่อที่ถูกใช้เพื่อการเกษตรกรรม ดังนั้นจำนวนบ่อใต้ดินที่ใช้เพื่อการเกษตรกรรมจึงมีจำนวนจำแนกตามจังหวัดได้ดังตารางที่ 9 เมื่อใช้โปรแกรม ArcviewGIS ทำการวิเคราะห์ในเชิงพื้นที่ ทำให้สามารถคำนวณอัตราการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรมในแต่ละพื้นที่ในกรณีปี พ.ศ. 2542 ได้ดังตารางที่ 10 โดยมีอัตราการสูบรวม 726 ล้าน ลบ.ม/ปี

สำหรับการประเมินการสูบน้ำในอดีต ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้กำหนดสมมติฐานจากผลการสำรวจภาคสนามที่แสดงว่าปริมาณการสูบน้ำขึ้นอยู่กับสถานการณ์น้ำผิวดิน หรือน้ำชลประทานในเวลาต่าง ๆ ซึ่งมีความผันแปรในแต่ละเดือน ฤดูกาล และแตกต่างกันในแต่ละปี การประเมินการสูบน้ำในอดีตจึงอาศัยการกำหนดสัมประสิทธิ์เพื่อเป็นตัวแทนความผันแปรในรายเดือนและรายปี ความผันแปรรายเดือนแสดงถึงความขาดแคลนน้ำในเดือนต่าง ๆ ในรอบปี ซึ่งมีรูปแบบคล้ายคลึงกันทุกปี กล่าวคือเกษตรกรจะขาดแคลนน้ำผิวดินและต้องทำการสูบน้ำใต้ดินในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน และเมื่อฝนทิ้งช่วงประมาณเดือนสิงหาคมถึงกันยายน ส่วนความผันแปรรายปีนั้นกำหนดให้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์น้ำผิวดินซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากข้อมูลของกรมชลประทาน ซึ่งพบว่า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2529 - พ.ศ. 2542 สามารถจำแนกสถานการณ์น้ำผิวดินได้เป็น 4 ประเภท คือ สถานการณ์น้ำมาก น้ำปานกลาง น้ำน้อย และน้อย

มาก ดังแสดงในตารางที่ 11 จากค่าความผันแปรรายเดือนและรายปีดังกล่าวข้างต้น สามารถนำมาประมวลผลเพื่อสร้างเป็นสัมประสิทธิ์ความผันแปรในการสูบน้ำรายเดือนสำหรับปีที่มีสถานการณ์น้ำผิวดินแบบต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 12 และเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรในการสูบน้ำคูณกับจำนวนบ่อน้ำใต้ดินที่ใช้เพื่อการเกษตรกรรมในแต่ละปีซึ่งได้จากระบบข้อมูล กชช.2ค. และค่าอัตราการสูบน้ำและระยะเวลาการสูบน้ำในสถานการณ์มาตรฐาน (ตารางที่ 8) จะสามารถประเมินอัตราการสูบน้ำเพื่อการเกษตรในแต่ละเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 - 2542 ได้ ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ได้ถูกปรับแก้และตรวจสอบด้วยแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในขั้นตอนของการสอบเทียบและสอบทานเพื่อให้ได้ค่าที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด (ดูรายละเอียดของการสอบเทียบและสอบทานในหัวข้อที่ 4.6 และ 6.1)

ตารางที่ 7 ลักษณะของพื้นที่ย่อยที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรม
อัตราการให้น้ำและระยะเวลาการสูบน้ำของบ่อน้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรในสถานการณ์มาตรฐาน

ที่	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ลักษณะตัวแทนพื้นที่			อัตราการให้น้ำเฉลี่ย (ลบ.ม. / ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่สูบน้ำ (ชั่วโมง/บ่อ/ เดือน)
				ชั้นน้ำ	พืชหลัก	เขตชลประทาน		
1	สามโก้ องครักษ์	สามโก้ โพธิ์ทอง	อ่างทอง	Qcp	ข้าว+อ้อย	ใน	47.7	106
2	ศรีประจันต์	ศรีประจันต์	สุพรรณบุรี	Qcm	ข้าว	ใน	38.1	100
3	ห้วยกรด	สรรคบุรี	ชัยนาท	Qcp	ข้าว	ใน	35.2	122
4	หนองน้อย	วัดสิงห์	ชัยนาท	Qcr	ข้าว	ใน	47.7	156
5	บางระจัน / ค่ายบางระจัน		สิงห์บุรี	Qcp	ข้าว	ใน	1035	62.1
6	นรเทพ	บ้านหมอ	สระบุรี	Qcr	ข้าว	ใน	N/A	N/A
7	หนองแค	บ้านหมอ	สระบุรี	ขอบQcr	ข้าวโพด	นอก	N/A	46
8	คลองเกตุ	โคกสำโรง	ลพบุรี	VC,PC	ข้าวโพด	นอก	N/A	N/A
9	เพนียด/หนอง	โคกสำโรง	ลพบุรี	VC,PC	ไร่	นอก	12.0	130
10	สายห้วยแก้ว	บ้านหมี่	ลพบุรี	ขอบQcr	ข้าว	ขอบ	N/A	N/A
11	บ้านชี	บ้านหมี่	ลพบุรี	Qcr	ข้าว	ใน	N/A	155
12	วังน้ำเย็น	แสวงหา	อ่างทอง	Qcr	ข้าว	ใน	49.8	169
13	กิ่ง อ.เนินขาม		ชัยนาท	VC,Gr	อ้อย	นอก	N/A	200
14	วังไทรเดียน	หันคา	ชัยนาท	Qcr	ข้าว	ใน	48.0	146
15	หนองหญ้าไซ	หนองหญ้าไซ	สุพรรณบุรี	Qcl	อ้อย	นอก	48.7	218
16	หนองขาม	หนองหญ้าไซ	สุพรรณบุรี	Qcl,Qcr	อ้อย	นอก	22.8	191

หมายเหตุ : ช่องที่ว่างแสดงว่า ไม่สามารถทำการทดสอบในพื้นที่นั้น ๆ

ตารางที่ 8 อัตราการให้น้ำของบ่อน้ำใต้ดินที่ได้จากการสำรวจเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี

ลักษณะชั้นหินอุ้มน้ำ		Qcp	Qcr	อื่น ๆ
ผลการสำรวจ (จากตารางที่ 7)	(ลบ.ม./ชม.)	35 - 62	22 - 50	≈ 12
ค่าทางทฤษฎี **	(ลบ.ม./ชม.)	60 - 150	5 - 50	10 - 30

หมายเหตุ ** ค่าทางทฤษฎีอ้างอิงจากค่าประเมินของกรมทรัพยากรธรณี, อ้างถึงใน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

ตารางที่ 9 จำนวนบ่อน้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรม

จังหวัด	ชัยนาท	สิงห์บุรี	สุพรรณบุรี	นครสวรรค์	อ่างทอง	อยุธยา	ลพบุรี.	สระบุรี	รวม
จำนวนบ่อ (บ่อ)	5,519	3,549	4,914	7,285	3,614	1,209	3,797	3,182	27,549

(ที่มา: กชช.2ค ปี 2542)

ตารางที่ 10 ผลการประเมินอัตราการสูบน้ำใต้ดินเพื่อการเกษตรกรรม (ปี 2542)

จังหวัด	ชัยนาท	สิงห์บุรี	สุพรรณบุรี	นครสวรรค์	อ่างทอง	อยุธยา	ลพบุรี	สระบุรี	รวม
อัตราการสูบน้ำ (m ³ /ปี)	130.88	99.18	199.20	8.85	137.48	26.12	79.37	44.28	725.36

ตารางที่ 11 การจำแนกสภาพการณ์น้ำผิวดินในแต่ละปี

(ที่มา : กรมชลประทาน)

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

หมายเหตุ ★ แทนลักษณะสภาพการณ์ในปีนั้น ๆ

ตารางที่ 12 สัมประสิทธิ์ความผันแปรการสูบน้ำรายเดือนสำหรับกรณีของสถานการณ์น้ำผิวดินแบบต่าง ๆ

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

ปริมาณการใช้น้ำเพื่อการเกษตรที่คำนวณได้จากวิธีการ และผลการสำรวจในภาคสนามดังกล่าวมาข้างต้น ซึ่งพบว่าในกรณีที่เกิดสภาพแล้งจัด มีการสูบน้ำใต้ดินเฉลี่ย 50 - 200 ชั่วโมงต่อบ่อต่อเดือน โดยมีอัตราการสูบน้ำเฉลี่ย 41 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และมีจำนวนบ่อประมาณ 1 บ่อต่อพื้นที่ 16 ไร่ จากข้อมูลดังกล่าวนี้สามารถสรุปได้ว่า อัตราการสูบน้ำที่ใช้ในกรณีแล้งจัดอยู่ในช่วง 4.3 - 18.7 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อวัน ซึ่งตัวเลขนี้สอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการศึกษาของ JICA, 1983 (รายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 1.4.4) ซึ่งได้ทำการศึกษาอัตราการคายระเหย ของนาข้าวในประเทศไทย พบว่า ความต้องการน้ำของข้าวในประเทศไทยเท่ากับ 6.5 - 8.2 มิลลิเมตรต่อวัน หรือเท่ากับ 10.4 - 13.12 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อวัน นั่นแสดงว่า ผลการประเมินอัตราการใช้น้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่ศึกษาด้วยวิธีการและข้อมูลจากการสำรวจครั้งนี้ ให้ผลกรคำนวณที่น้ำเชื่อถือในระดับหนึ่ง และมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่นี้ต่อไป

4. สรุปผลการศึกษา

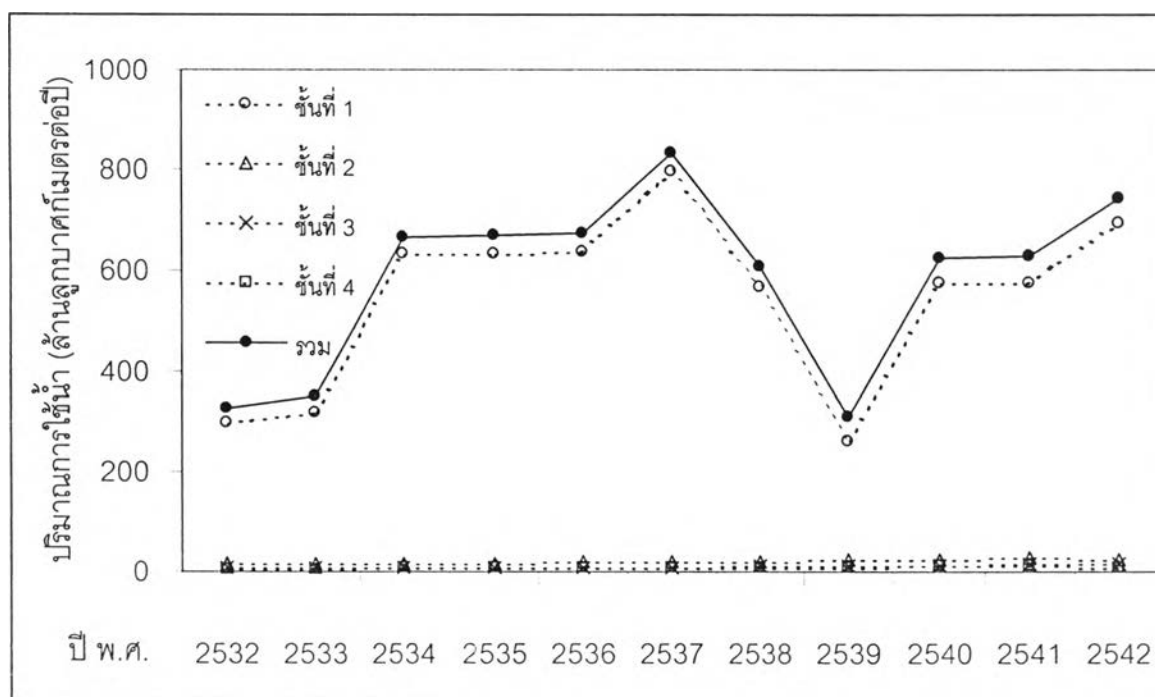
จากการประเมินการใช้น้ำในด้านต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วทั้ง 3 ส่วน สามารถประเมินปริมาณการใช้น้ำใต้ดินเป็นรายจังหวัดได้ดังตารางที่ 13 ซึ่งมีปริมาณการใช้น้ำที่ประเมินได้ในปี 2542 ประมาณ 836 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี จำแนกเป็นน้ำเพื่อการเกษตรกรรม, เพื่อการอุปโภคบริโภค และเพื่อการประกอบธุรกิจอุตสาหกรรม เป็นอัตราส่วนประมาณ 87 : 10 : 3 ส่วนอัตราการใช้น้ำในปี พ.ศ. 2532 - 2542 ที่ประเมินได้จากข้อมูลและสมมติฐานดังกล่าวแล้วข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการใช้น้ำอยู่ในช่วง 300 - 800 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี แปรผันตามสถานการณ์ความแห้งแล้ง ดังแสดงในรูปที่ 4

ตารางที่ 13 ปริมาณการใช้น้ำใต้ดินจำแนกตามวัตถุประสงค์ (ปี 2542)

(หน่วย : ล้าน ลบ.ม. / ปี)

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

หมายเหตุ : * รวบรวมเฉพาะข้อมูลในพื้นที่ศึกษาซึ่งไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งจังหวัด

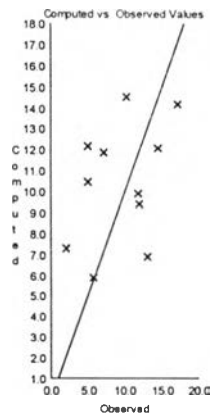
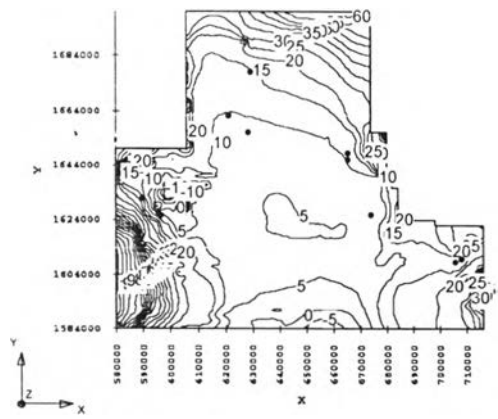


รูปที่ 4 ปริมาณการใช้น้ำใต้ดินรายปี ในพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 - 2542

หมายเหตุ ภาคผนวกนี้ได้สรุปเป็นส่วนหนึ่งของบทความวิชาการเรื่องการประเมินการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง โดย สุจิต คุนธนกุลวงศ์ และสมบุญรณ์ สุวีระ ในวารสารชมรมนักอุทกวิทยาไทย ปีที่ 6 ฉบับที่ 5-2544

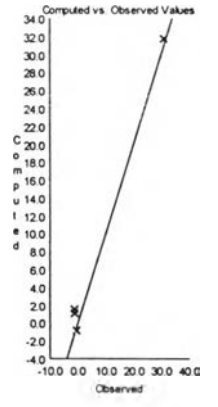
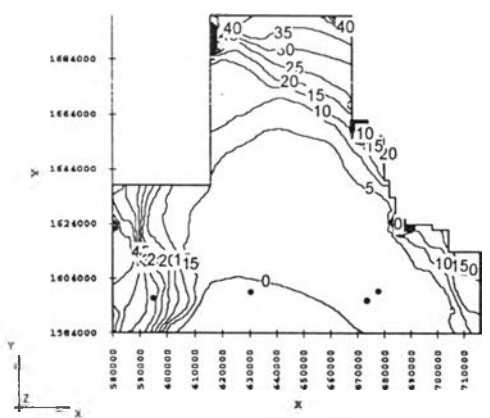
ภาคผนวก ค

ผลการคำนวณจากแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน



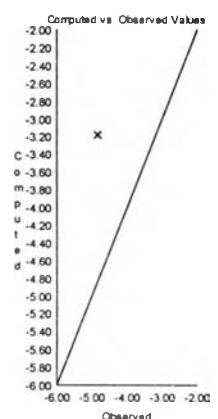
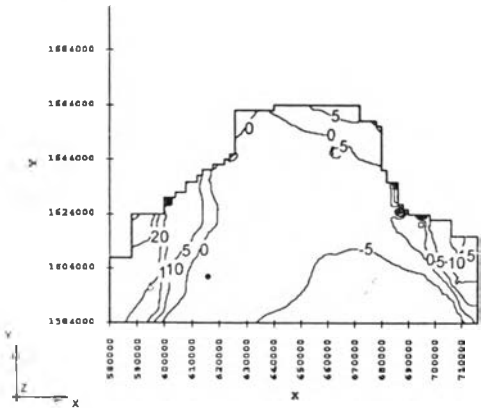
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 1
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง เมษายน พ.ศ. 2532

Mean Error = 0.99
Mean Absolute Error = 3.91
Root Mean Square Error = 4.39



ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 2
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง เมษายน พ.ศ. 2532

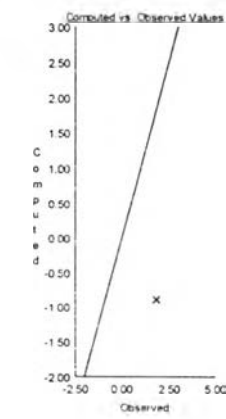
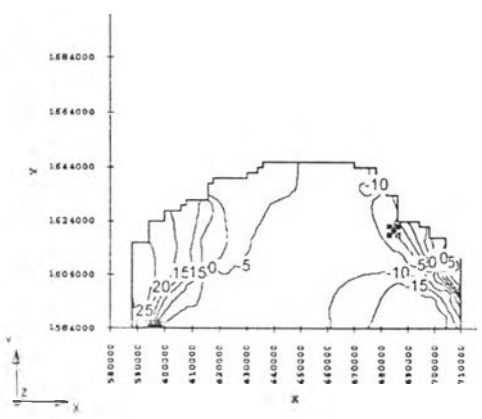
Mean Error = 1.18
Mean Absolute Error = 1.40
Root Mean Square Error = 1.68



ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 3
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง เมษายน พ.ศ. 2532

Mean Error = 1.63
Mean Absolute Error = 1.63
Root Mean Square Error = 1.63

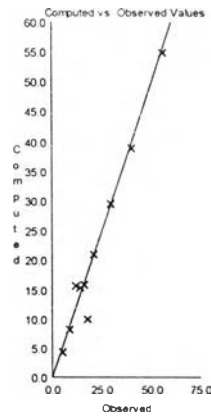
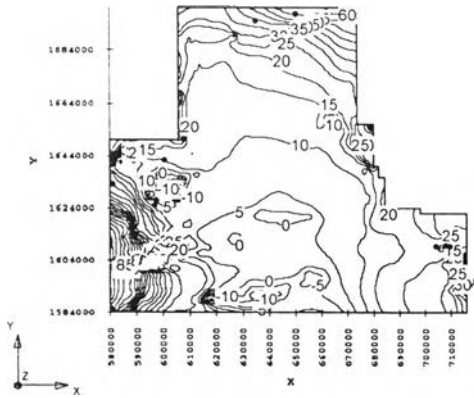
หมายเหตุ : บ่อสังเกตการณ์มีเพียง 1 บ่อ



ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 4
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง เมษายน พ.ศ. 2532

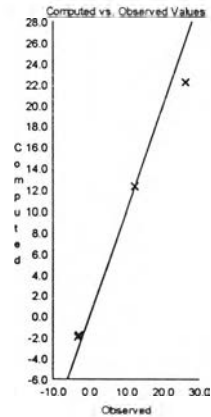
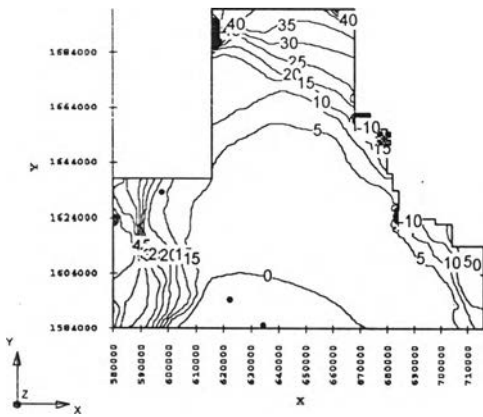
Mean Error = -2.73
Mean Absolute Error = 2.73
Root Mean Square Error = 2.73

หมายเหตุ : บ่อสังเกตการณ์มีเพียง 1 บ่อ



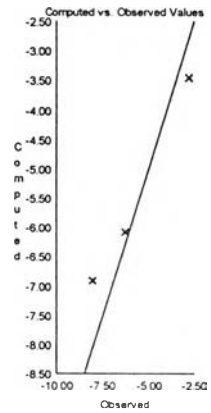
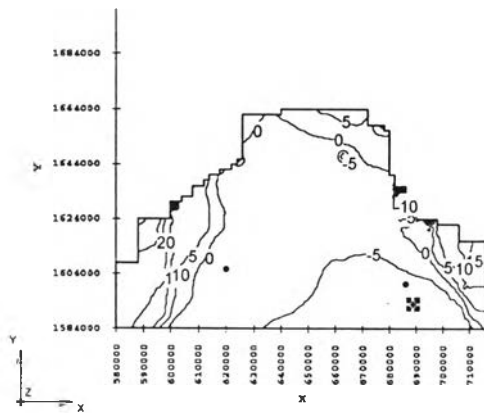
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 1
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง ตุลาคม พ.ศ. 2532

Mean Error = -0.90
Mean Absolute Error = 1.83
Root Mean Square Error = 2.91



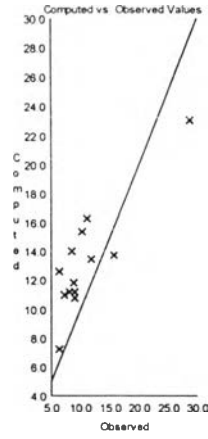
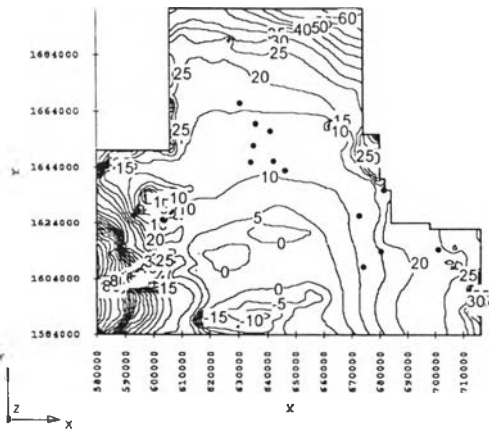
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 2
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง ตุลาคม พ.ศ. 2532

Mean Error = -0.42
Mean Absolute Error = 1.62
Root Mean Square Error = 2.19



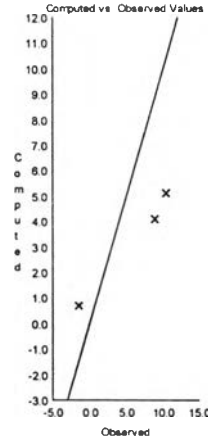
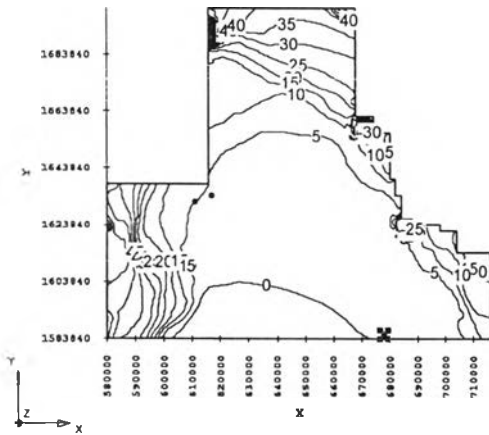
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 3
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง ตุลาคม พ.ศ. 2532

Mean Error = 0.23
Mean Absolute Error = 0.66
Root Mean Square Error = 0.77



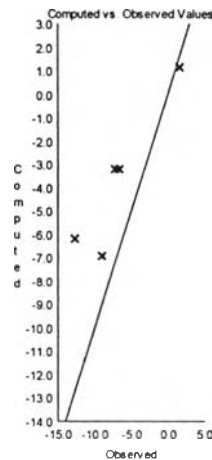
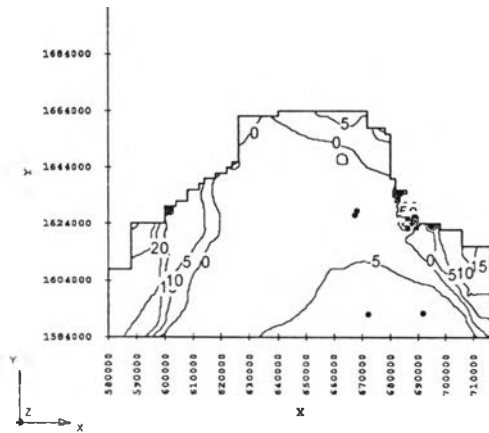
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 1
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง เมษายน พ.ศ. 2534

Mean Error = 2.32
Mean Absolute Error = 3.51
Root Mean Square Error = 3.92



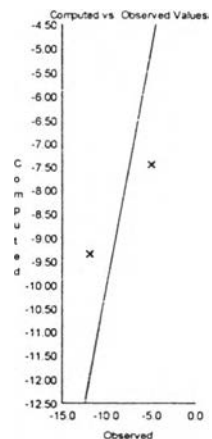
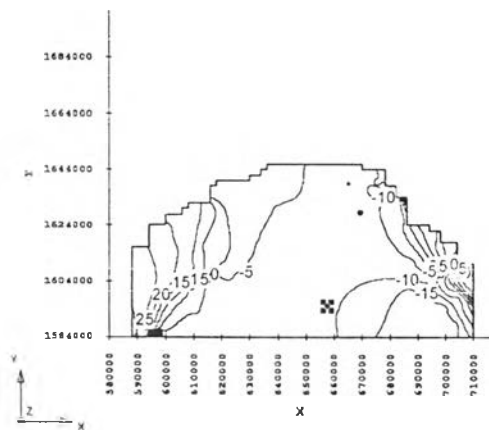
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 2
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง เมษายน พ.ศ. 2534

Mean Error = -2.71
Mean Absolute Error = 4.16
Root Mean Square Error = 4.40



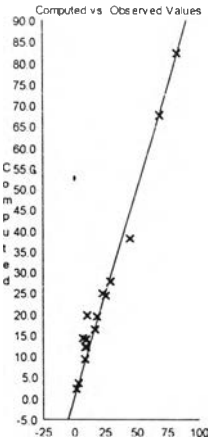
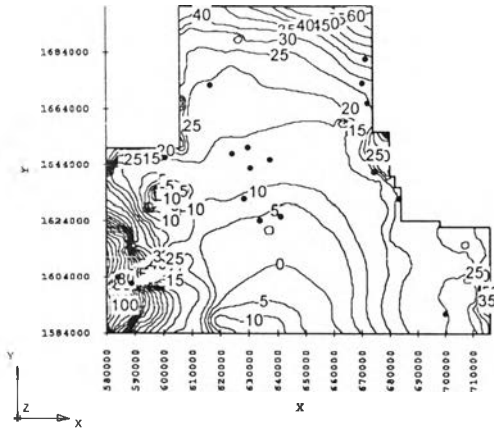
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 3
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง เมษายน พ.ศ. 2534

Mean Error = 3.09
Mean Absolute Error = 3.25
Root Mean Square Error = 3.82



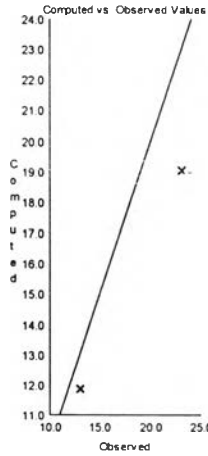
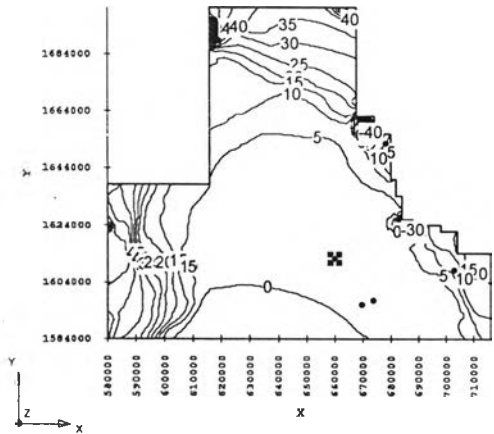
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 4
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง เมษายน พ.ศ. 2534

Mean Error = 0.02
Mean Absolute Error = 2.51
Root Mean Square Error = 2.51



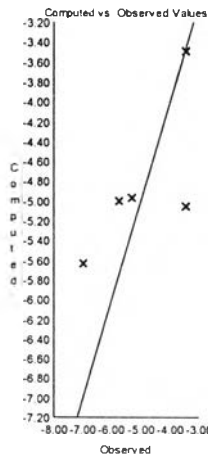
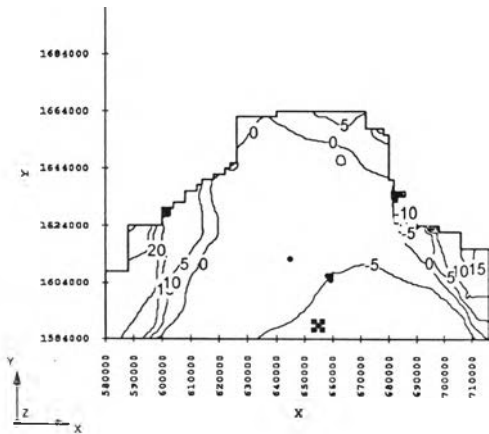
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 1
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง ตุลาคม พ.ศ. 2534

Mean Error = 1.02
Mean Absolute Error = 2.47
Root Mean Square Error = 3.77



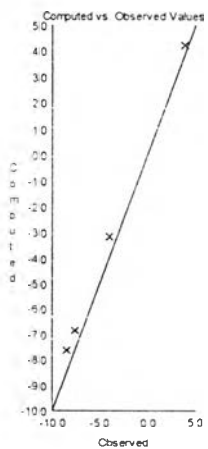
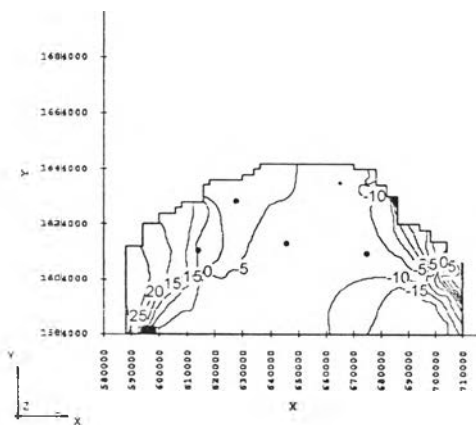
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 2
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง ตุลาคม พ.ศ. 2534

Mean Error = -2.66
Mean Absolute Error = 2.66
Root Mean Square Error = 3.00



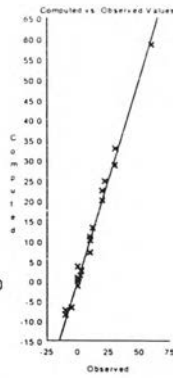
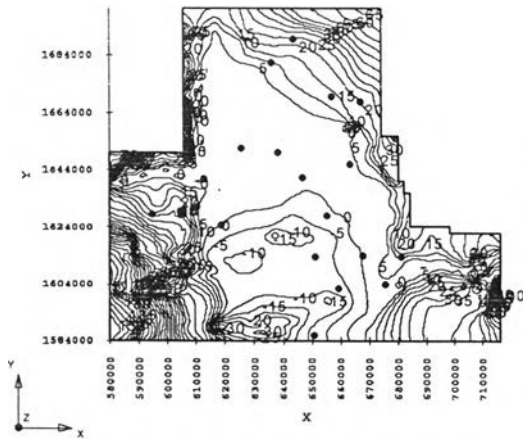
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 3
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง ตุลาคม พ.ศ. 2534

Mean Error = 0.13
Mean Absolute Error = 0.80
Root Mean Square Error = 1.00



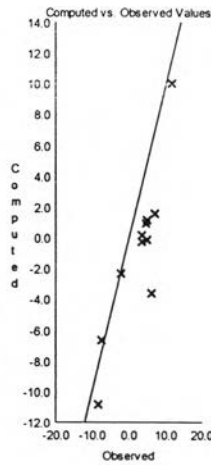
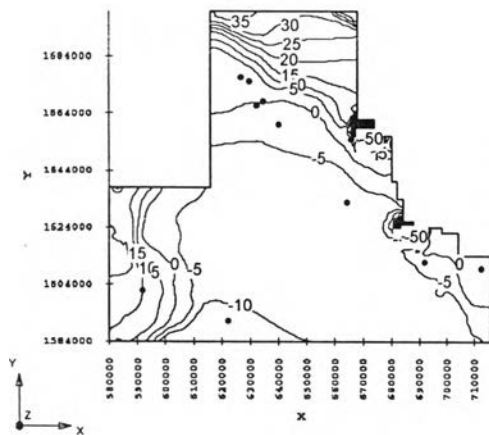
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 4
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง ตุลาคม พ.ศ. 2534

Mean Error = 0.64
Mean Absolute Error = 0.64
Root Mean Square Error = 0.67



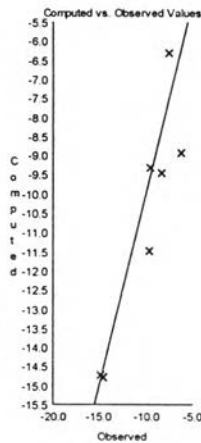
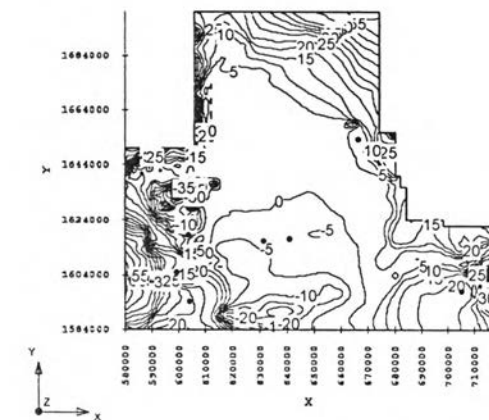
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 1
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง เมษายน พ.ศ. 2537

Mean Error = 0.43
Mean Absolute Error = 1.34
Root Mean Square Error = 1.70



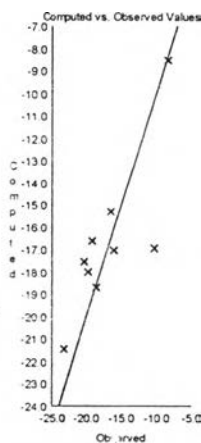
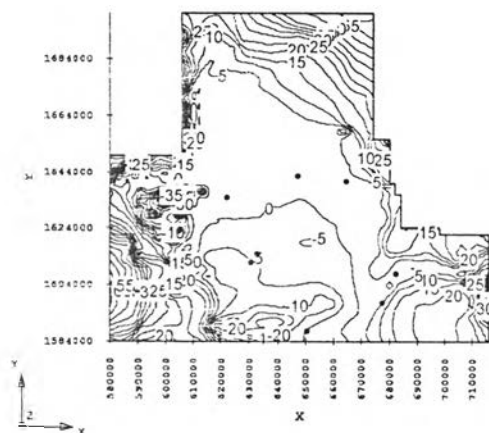
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 2
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง เมษายน พ.ศ. 2537

Mean Error = -3.54
Mean Absolute Error = 3.69
Root Mean Square Error = 4.45



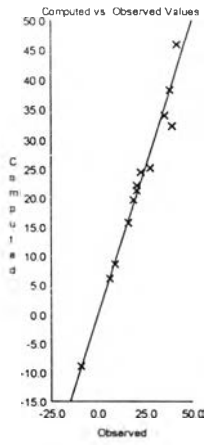
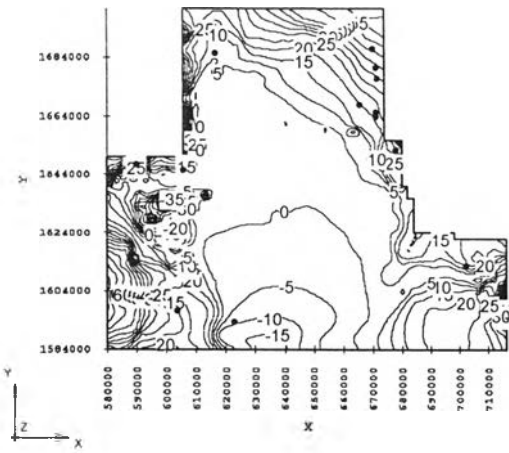
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 3
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง เมษายน พ.ศ. 2537

Mean Error = -0.64
Mean Absolute Error = 1.10
Root Mean Square Error = 1.41



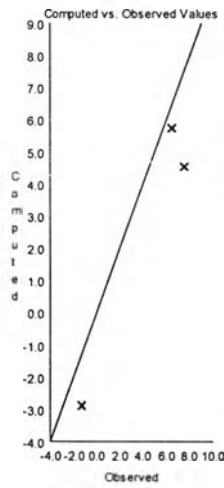
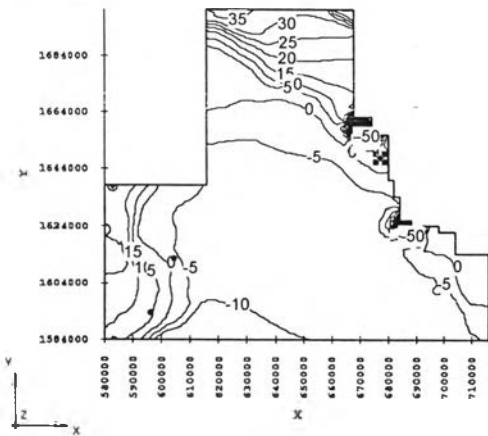
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 4
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง เมษายน พ.ศ. 2537

Mean Error = 0.23
Mean Absolute Error = 2.00
Root Mean Square Error = 2.72



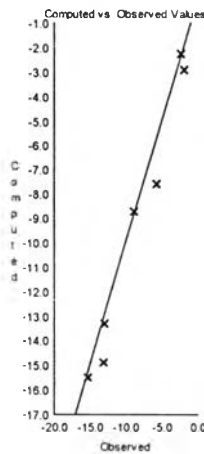
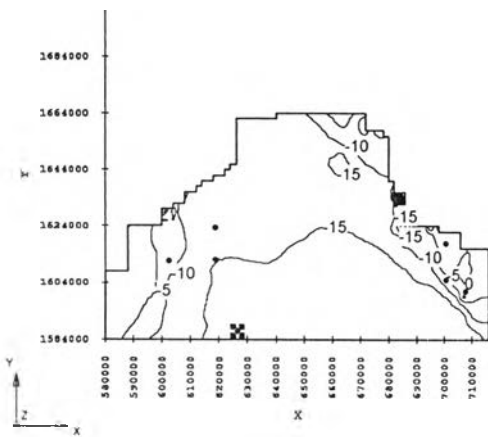
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 1
 จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
 กรณี ฤดูแล้ง ตุลาคม พ.ศ. 2537

Mean Error = -0.50
 Mean Absolute Error = 1.66
 Root Mean Square Error = 2.56



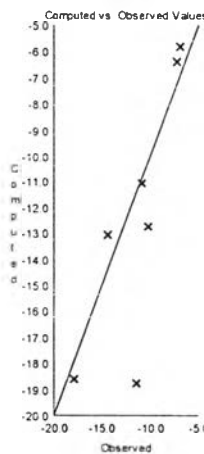
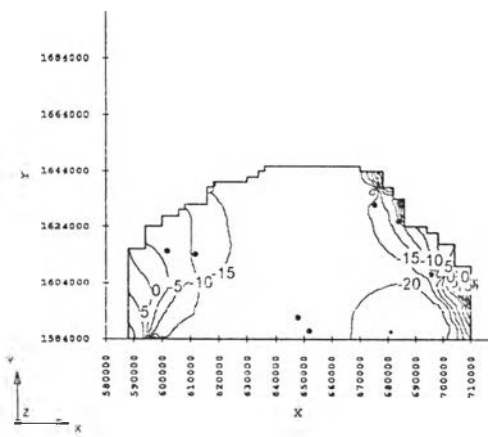
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 2
 จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
 กรณี ฤดูแล้ง ตุลาคม พ.ศ. 2537

Mean Error = -1.81
 Mean Absolute Error = 1.81
 Root Mean Square Error = 2.05



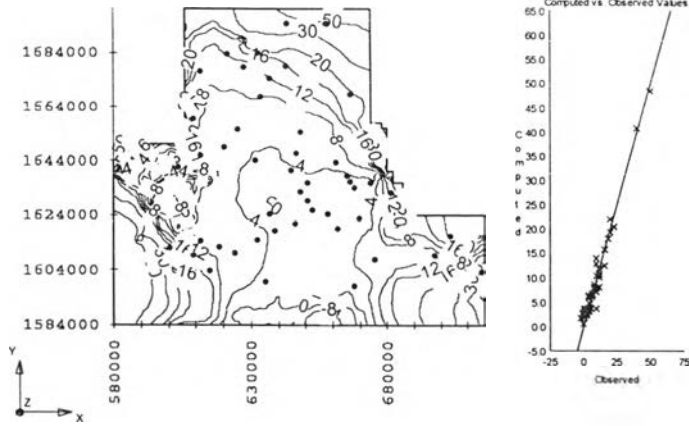
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 3
 จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
 กรณี ฤดูแล้ง ตุลาคม พ.ศ. 2537

Mean Error = -0.74
 Mean Absolute Error = 0.79
 Root Mean Square Error = 1.08



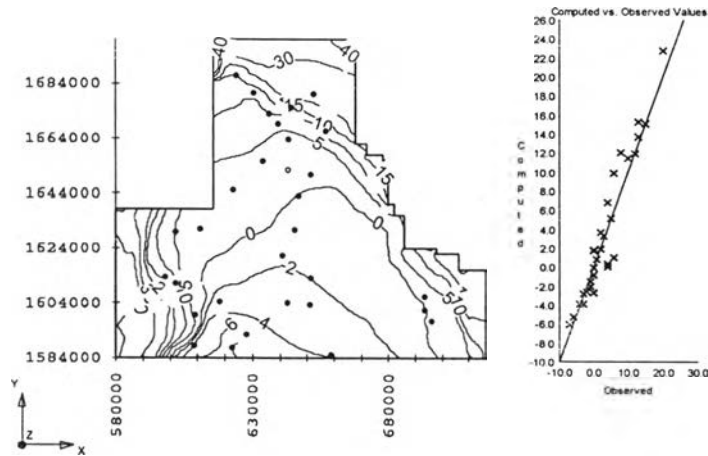
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 4
 จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
 กรณี ฤดูแล้ง ตุลาคม พ.ศ. 2537

Mean Error = -1.11
 Mean Absolute Error = 2.00
 Root Mean Square Error = 3.04



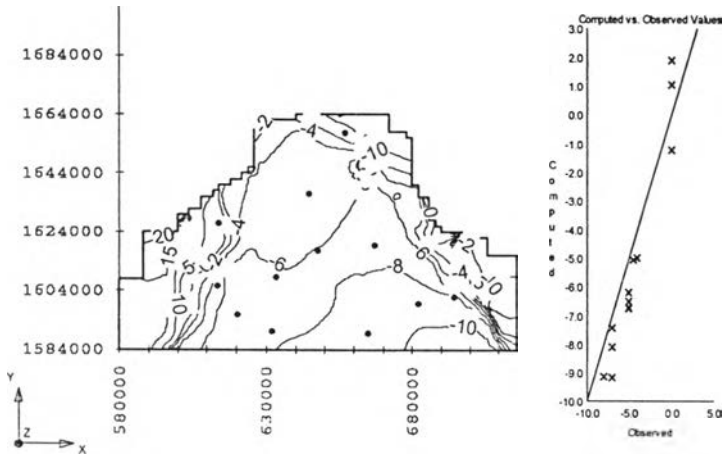
ผลการคำนวณระดับน้ำเฉลี่ย ชั้นที่ 1
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี พ.ศ. 2542

Mean Error = -0.19
Mean Absolute Error = 1.39
Root Mean Square Error = 2.07



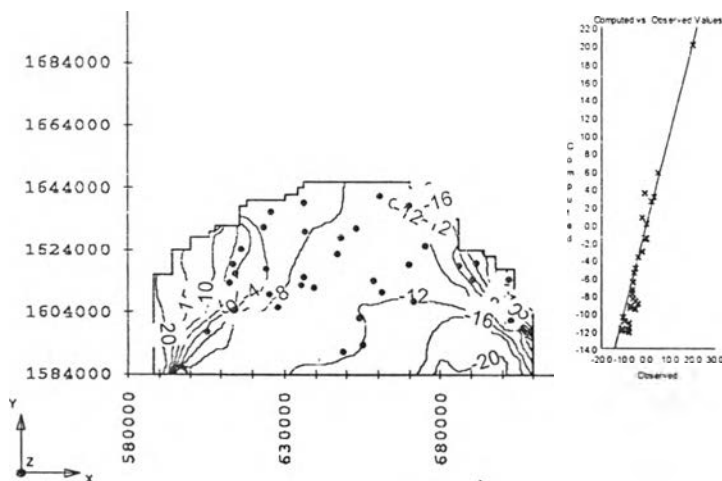
ผลการคำนวณระดับน้ำเฉลี่ย ชั้นที่ 2
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี พ.ศ. 2542

Mean Error = -0.12
Mean Absolute Error = 0.73
Root Mean Square Error = 1.05



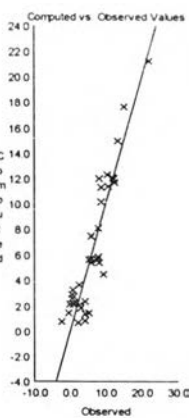
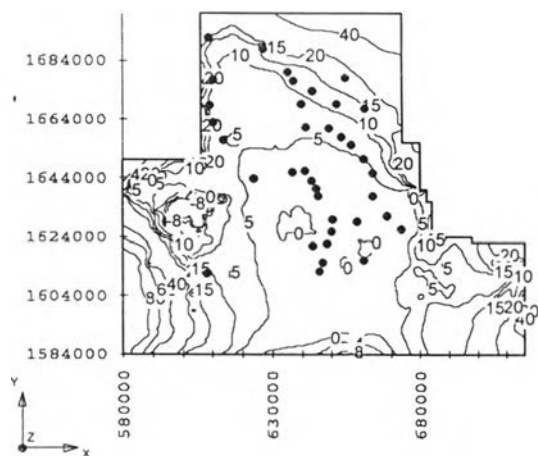
ผลการคำนวณระดับน้ำเฉลี่ย ชั้นที่ 3
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี พ.ศ. 2542

Mean Error = 0.64
Mean Absolute Error = 1.02
Root Mean Square Error = 1.22



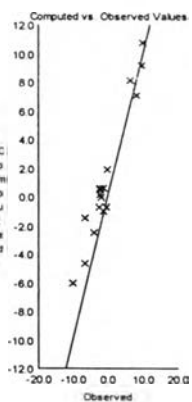
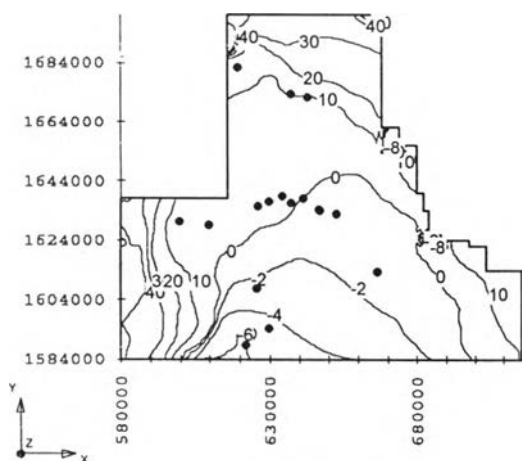
ผลการคำนวณระดับน้ำเฉลี่ย ชั้นที่ 4
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี พ.ศ. 2542

Mean Error = 0.63
Mean Absolute Error = 0.88
Root Mean Square Error = 1.03



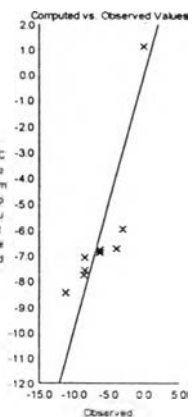
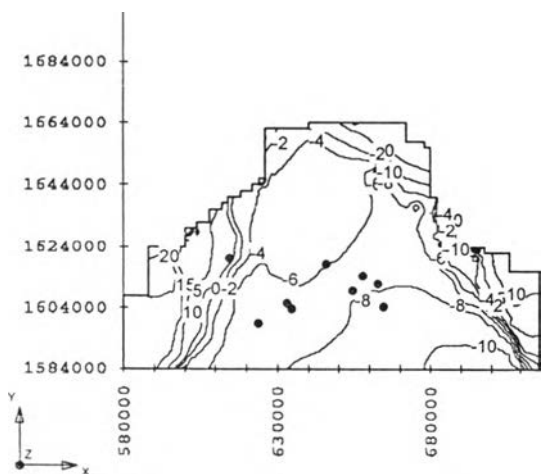
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 1
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง พ.ศ. 2544

Mean Error = 0.11
Mean Absolute Error = 1.75
Root Mean Square Error = 2.09



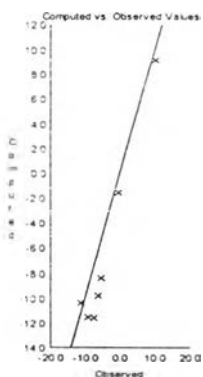
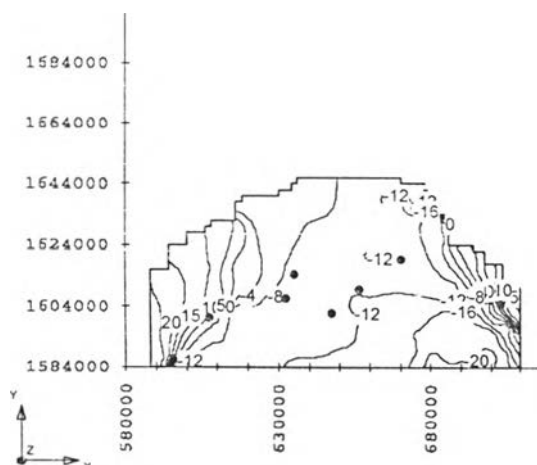
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 2
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง พ.ศ. 2544

Mean Error = 1.62
Mean Absolute Error = 1.88
Root Mean Square Error = 2.23



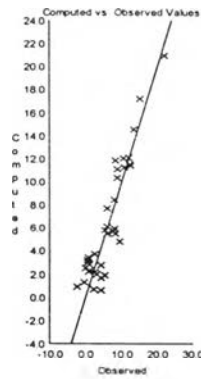
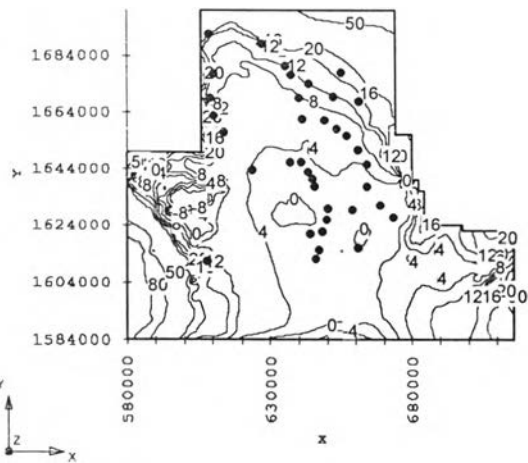
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 3
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง พ.ศ. 2544

Mean Error = -0.02
Mean Absolute Error = 1.55
Root Mean Square Error = 1.83



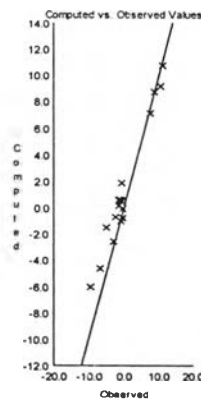
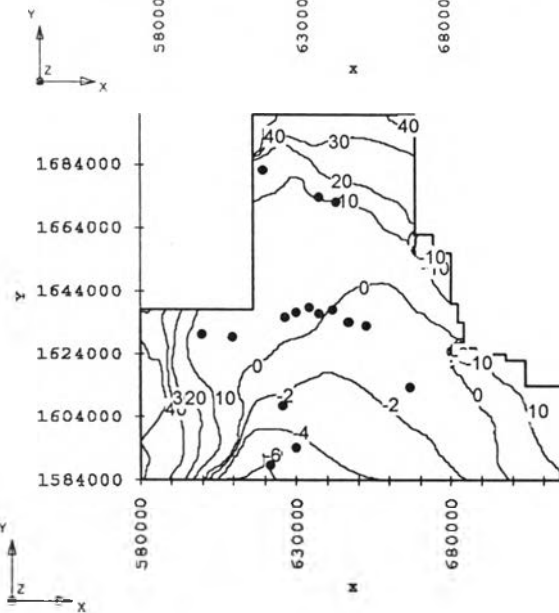
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 4
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูแล้ง พ.ศ. 2544

Mean Error = -2.12
Mean Absolute Error = 2.32
Root Mean Square Error = 2.65



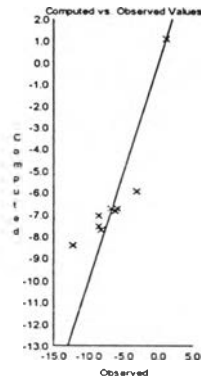
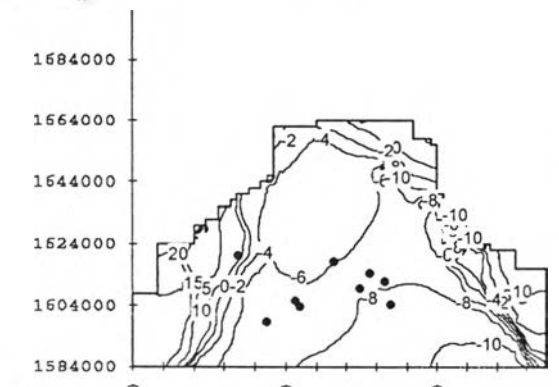
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 1
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูฝน พ.ศ. 2544

Mean Error = 0.15
Mean Absolute Error = 1.74
Root Mean Square Error = 2.05



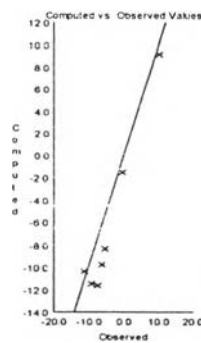
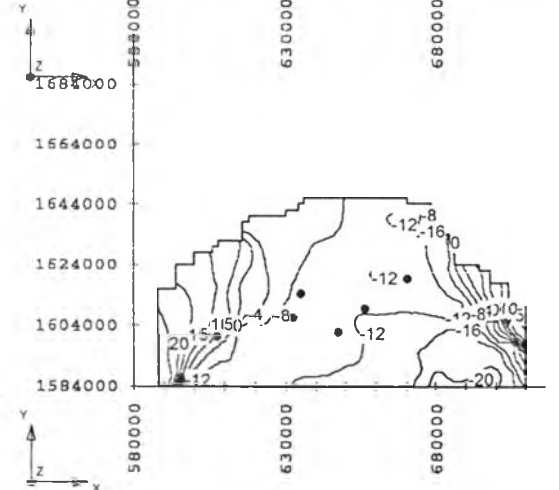
ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 2
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูฝน พ.ศ. 2544

Mean Error = 1.65
Mean Absolute Error = 1.91
Root Mean Square Error = 2.26



ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 3
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูฝน พ.ศ. 2544

Mean Error = -0.02
Mean Absolute Error = 1.55
Root Mean Square Error = 1.83



ผลการคำนวณระดับน้ำ ชั้นที่ 4
จากจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน
กรณี ฤดูฝน พ.ศ. 2544

Mean Error = -2.12
Mean Absolute Error = 2.33
Root Mean Square Error = 2.66

สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในกรณีสถานการณ์ปีน้ำปกติ ช่วงฤดูแล้ง พ.ศ.2532 (หน่วย : ลบ.ม./วัน)

ชั้นน้ำ	1	2	3	4
ปริมาณการสูบน้ำ	1,059,000	7,000	3,000	6,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านเหนือ	182,000	4,000	1,000	0
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันตก	37,000	27,000	28,000	13,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันออก	23,000	19,000	1,000	7,000
ปริมาณน้ำไหลออกจากด้านใต้	66,000	27,000	27,000	10,000
การเติมจากผิวดิน / ชั้นน้ำชั้นบน	179,000	33,000	21,000	5,000

สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในกรณีสถานการณ์ปีน้ำปกติ ช่วงฤดูฝน พ.ศ.2532 (หน่วย : ลบ.ม./วัน)

ชั้นน้ำ	1	2	3	4
ปริมาณการสูบน้ำ	38,000	8,000	3,000	6,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านเหนือ	182,000	4,000	1,000	0
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันตก	37,000	27,000	28,000	13,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันออก	23,000	19,000	1,000	7,000
ปริมาณน้ำไหลออกจากด้านใต้	66,000	27,000	27,000	10,000
การเติมจากผิวดิน / ชั้นน้ำชั้นบน	3,272,000	33,000	20,000	8,000

สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในกรณีสถานการณ์ปีน้ำน้อย ช่วงฤดูแล้ง พ.ศ.2534 (หน่วย : ลบ.ม./วัน)

ชั้นน้ำ	1	2	3	4
ปริมาณการสูบน้ำ	2,081,000	7,000	3,000	6,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านเหนือ	182,000	4,000	1,000	0
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันตก	37,000	27,000	28,000	13,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันออก	23,000	19,000	1,000	7,000
ปริมาณน้ำไหลออกจากด้านใต้	66,000	27,000	27,000	10,000
การเติมจากผิวดิน / ชั้นน้ำชั้นบน	197,000	38,000	18,000	6,000

สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในกรณีสถานการณ์ปีน้ำน้อย ช่วงฤดูฝน พ.ศ.2534 (หน่วย : ลบ.ม./วัน)

ชั้นน้ำ	1	2	3	4
ปริมาณการสูบน้ำ	37,000	8,000	3,000	6,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านเหนือ	182,000	4,000	1,000	0
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันตก	37,000	27,000	28,000	13,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันออก	23,000	19,000	1,000	7,000
ปริมาณน้ำไหลออกจากด้านใต้	66,000	27,000	27,000	10,000
การเติมจากผิวดิน / ชั้นน้ำชั้นบน	5,311,000	43,000	18,000	10,000

สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในกรณีสถานการณ์ปีน้ำน้อยมาก ช่วงฤดูแล้ง พ.ศ.2537 (หน่วย : ลบ.ม./วัน)

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

สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในกรณีสถานการณ์ปีน้ำน้อยมาก ช่วงฤดูฝน พ.ศ.2537 (หน่วย : ลบ.ม./วัน)

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

สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในกรณีสถานการณ์ปีน้ำมาก ช่วงฤดูแล้ง พ.ศ.2544 (หน่วย : ลบ.ม./วัน)

ชั้นน้ำ	1	2	3	4
ปริมาณการสูบน้ำ	1,621,000	35,000	20,000	21,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านเหนือ	182,000	4,000	1,000	0
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันตก	37,000	27,000	28,000	13,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันออก	23,000	19,000	1,000	7,000
ปริมาณน้ำไหลออกจากด้านใต้	66,000	27,000	27,000	10,000
การเติมจากผิวดิน / ชั้นน้ำชั้นบน	536,000	30,000	20,000	6,000

สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในกรณีสถานการณ์ปีน้ำมาก ช่วงฤดูฝน พ.ศ.2544 (หน่วย : ลบ.ม./วัน)

ชั้นน้ำ	1	2	3	4
ปริมาณการสูบน้ำ	1,908,000	35,000	20,000	21,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านเหนือ	182,000	4,000	1,000	0
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันตก	37,000	27,000	28,000	13,000
ปริมาณน้ำไหลเข้าจากด้านตะวันออก	23,000	19,000	1,000	7,000
ปริมาณน้ำไหลออกจากด้านใต้	66,000	27,000	27,000	10,000
การเติมจากผิวดิน / ชั้นน้ำชั้นบน	1,537,000	27,000	20,000	7,000

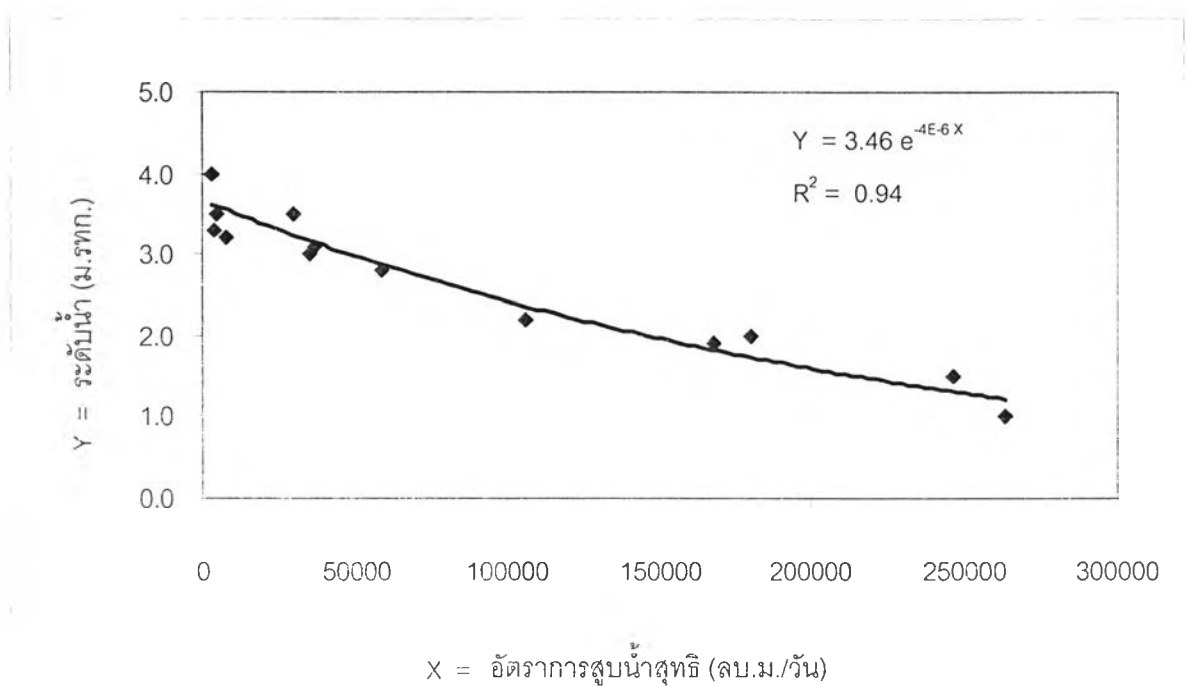


ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับน้ำใต้ดินกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ตัวอย่างข้อมูลระดับน้ำและปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และตัวอย่างการคำนวณหาสมการความสัมพันธ์

อัตราการสูบน้ำ (ลบ.ม./วัน)	อัตราการเติมน้ำ (ลบ.ม./วัน)	อัตราการสูบน้ำสุทธิ (ลบ.ม./วัน)	ระดับน้ำเมื่อปลายฤดูการ (ม. รทก.)
2916	55	2861	4.0
3284	390	2894	4.0
3723	41	3682	3.3
4743	52	4691	3.5
107321	99698	7623	3.2
108356	78512	29844	3.5
99581	64744	34837	3.0
116824	79821	37003	3.1
138506	79822	58684	2.8
108356	2578	105778	2.2
270551	102891	167660	1.9
291288	111510	179778	2.0
250880	4532	246348	1.5
291286	27858	263428	1.0



ภาคผนวก จ

ตัวอย่างระบบข้อมูลนำเข้า และผลลัพธ์ของแบบจำลอง

ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง เกี่ยวกับสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (File Name : final42.bcf)

```

1 40 -888.0000 0 1.0000000 1 0
2000
CONSTANT 1.0000000000000000e+000
CONSTANT 2.0000000000000000e+003
CONSTANT 2.0000000000000000e+003
INTERNAL 1.0000000000000000e+000 (free) 0 "Transmissivity Layer 1"
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 2.468611450195312e+003 5.831886873513177e+003
1.046827471343440e+004 1.463310689682228e+004 1.608985039227427e+004 1.694283873484442e+004 2.157416932674969e+004
1.244769519826779e+004 8.836417723204962e+003 3.081662517988334e+003 3.260122187678917e+003 2.247868580762901e+003
2.237710644366840e+003 2.106630053420121e+003 1.880182439017619e+003 1.192432669652007e+003 1.528400937732720e+003
9.951783367933149e+002 1.429781262794625e+003 1.882256602426598e+003 2.335169992204730e+003 2.771257848890581e+003
3.199332288053454e+003 3.597901212648140e+003 3.936737097353667e+003 4.196130341783647e+003 4.35217400916974e+003
4.377364283297229e+003 4.257794330434197e+003 3.986873597643775e+003 3.564710706110214e+003 2.996669427455554e+003
2.287183724632366e+003 1.400167177854188e+003 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 7.102071533203123e+002 9.149910278320310e+002
1.410839170831355e+003 1.597350010169568e+003 2.348029841483258e+003 4.420849103639957e+003 9.320120922796674e+003
4.387606710598368e+003 4.395926601857878e+003 4.211927456337216e+003 2.524794557638117e+003 1.862620067596436e+003
1.858036804199219e+003 1.854061660766602e+003 1.850909423828125e+003 1.848698406219482e+003 1.847441844940186e+003
1.847139415740967e+003 9.719401101078347e+002 1.534638589041606e+003 2.111361828267965e+003 2.653528175458057e+003
3.119108313504607e+003 3.473336669799319e+003 3.689945598011607e+003 3.784874611072992e+003 3.745366125090222e+003
3.529031803934486e+003 3.130066776631738e+003 2.544653408306793e+003 1.756504012766782e+003 7.094318700813149e+002
7.876151392617090e+002 3.640124774209115e+003 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000
0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 0.0000000000000000e+000 5.356990356445310e+002 2.852847747802734e+002
7.843468661007026e+002 1.506707695111241e+003 2.088004241698582e+003 2.611217623487943e+003 7.157184190147369e+003
3.127288513960830e+003 2.130456701558485e+003 1.648749534651139e+003 1.649046504813734e+003 1.849433460235596e+003
1.843247699737549e+003 1.837993030548096e+003 1.834037418365479e+003 1.831443729400635e+003 1.830218982696533e+003
1.830346698760986e+003 9.159103965759277e+002 9.174790096282959e+002 2.460455199147791e+002 5.792233970761299e+002
8.974287759519121e+002 1.161549426563354e+003 1.332124994430269e+003 1.376796502634624e+003 1.271738687514949e+003
1.012522401244378e+003 5.594927096314078e+002 1.350604781195685e+002 1.139184517015201e+003 2.548030481412963e+003
    
```

ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง เกี่ยวกับระดับของชั้นน้ำ (File Name : final42.lvr)

```
LAYER
TOPTYPE
LAY 1
INTERNAL 1.000000000000000e+000 (free) 0 "Top Elevations Layer 1"
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 7.929795265197754e+000
7.821292400360107e+000 7.707667350769043e+000 7.590723991394043e+000 7.472262859344482e+000 7.354044914245606e+000
7.237761974334717e+000 7.125026226043701e+000 7.017362117767334e+000 6.916210651397705e+000 6.822929859161377e+000
6.738796710968018e+000 6.664984703063965e+000 6.603599071502686e+000 6.557831287384033e+000 6.528109550476074e+000
6.514573097229004e+000 6.517192363739014e+000 6.536820411682129e+000 6.575224876403809e+000 6.626745700836182e+000
6.686633586883545e+000 6.751945495605469e+000 6.821121692657471e+000 6.892946243286133e+000 6.966531753540039e+000
7.041203022003174e+000 7.116427898406982e+000 7.191776752471924e+000 7.266893386840820e+000 7.341474056243897e+000
7.415251255035400e+000 7.487980842590332e+000 7.559417247772217e+000 7.628859043121338e+000 7.695685386657715e+000
7.759494304656982e+000 7.819860458374023e+000 7.876320362091065e+000 7.928651332855225e+000 7.977710723876953e+000
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000
7.919321060180664e+000 7.809668540954590e+000 7.678719043731690e+000
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000
7.894561290740967e+000 7.752954006195068e+000 7.603037357330322e+000 7.447773933410645e+000 7.290160179138184e+000
7.133141517639160e+000 6.979553222656250e+000 6.832089424133301e+000 6.693284034729004e+000 6.565501689910889e+000
6.450920104980469e+000 6.351541519165039e+000 6.272735595703125e+000 6.217460155487061e+000 6.186046123504639e+000
6.178485393524170e+000 6.194472312927246e+000 6.237897872924805e+000 6.306386470794678e+000 6.390531539916992e+000
6.483393192291260e+000 6.581850051879883e+000 6.683767795562744e+000 6.787620067596436e+000 6.892289161682129e+000
6.996921539306641e+000 7.100844383239746e+000 7.203513145446777e+000 7.304475784301758e+000 7.403345108032227e+000
7.499777317047119e+000 7.593427181243897e+000 7.683246135711670e+000 7.768348693847656e+000 7.848214626312256e+000
7.922308921813965e+000 7.990065097808838e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 7.970884323120117e+000
7.837821483612061e+000 7.683192253112793e+000 7.507285118103027e+000
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000
7.955361366271973e+000 7.789993762969971e+000 7.607092380523682e+000 7.411259651184082e+000 7.207397460937500e+000
7.000476360321045e+000 6.795364856719971e+000 6.596711158752441e+000 6.408867359161377e+000 6.235836505889893e+000
6.081192493438721e+000 5.949825763702393e+000 5.850935459136963e+000 5.786093235015869e+000 5.755474567413330e+000
5.758667469024658e+000 5.795519828796387e+000 5.873950481414795e+000 5.982409477233887e+000 6.107335090637207e+000
6.240767478912871e+000 6.379233837127686e+000 6.520180702209473e+000 6.661829948425293e+000 6.802866458892822e+000
6.942276954650379e+000 7.079252243041992e+000 7.213132381439209e+000 7.343360900878906e+000 7.469449996948242e+000
7.590847969055176e+000 7.705956459045410e+000 7.813699722290039e+000 7.913372993469238e+000 8.000000000000000e+000
8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000 8.000000000000000e+000
```


ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง เกี่ยวกับอัตราดอกเบี้ย (File Name : final42.rch)

1 40
1 1
INTERNAL 1.20000000000000e+000 (free) 0
1.018222174025141e-004 9.906306513585150e-005 9.621939534554258e-005 9.388398029841483e-005 9.108566882787272e-005
8.873309707269073e-005 8.651048119645566e-005 8.431166497757658e-005 8.268535748356953e-005 8.114154479699209e-005
7.994491897989065e-005 7.966552948346362e-005 7.996599015314132e-005 8.045949653023854e-005 8.080955740297213e-005
8.121805876726285e-005 8.198218711186200e-005 8.360626816283912e-005 1.574910274939612e-004 2.529571647755802e-004
2.051324554486200e-004 1.013548971968703e-004 2.081359416479245e-004 3.085291828028858e-004 2.215117274317890e-004
1.176798468804918e-004 1.207861787406728e-004 1.228392065968365e-004 1.237178366864100e-004 2.284823131049052e-004
3.460794687271118e-004 3.377337707206607e-004 2.205071941716597e-004 1.082583548850380e-004 1.001055425149389e-004
9.028071508510038e-005 7.895252929301933e-005 6.653940363321453e-005 1.093932805815712e-004 1.052710722433403e-004
4.847393938689493e-005 4.847393938689493e-005 4.865120718022808e-005 4.877164974459447e-005 4.877509127254598e-005
4.867404277320020e-005 4.847393938689493e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005
5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005
5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005
6.342992855934426e-005 6.801773997722194e-005 7.419850589940324e-005 8.020786481210962e-005 8.569632336730138e-005
9.157825115835294e-005 9.782718552742153e-005 1.044172531692311e-004
1.089033612515777e-004 1.063589079421945e-004 1.037854526657611e-004 1.011684289551340e-004 9.843624138738960e-005
9.5581875933938783e-005 9.262731327908114e-005 8.965168672148138e-005 8.711164264241234e-005 8.478105155518279e-005
8.281526970677078e-005 8.144069579429925e-005 8.089999028015882e-005 8.133432856993750e-005 8.146381151163951e-005
8.171726221917197e-005 8.196639100788161e-005 8.322932990267873e-005 8.535012602806091e-005 1.775001728674397e-004
1.915840548463166e-004 9.841998689807952e-005 2.108239714289084e-004 2.416698262095451e-004 1.149642339441925e-004
1.191460687550716e-004 1.223124127136543e-004 1.243784499820322e-004 1.252660003956407e-004 2.258135791635141e-004
3.506318025756627e-004 2.628012443892658e-004 1.163895431091078e-004 1.101357702282257e-004 1.021174903144129e-004
9.316660725744441e-005 8.485269790980965e-005 1.147104485426098e-004 1.610934414202347e-004 1.059823407558724e-004
4.847393938689493e-005 4.847393938689493e-005 4.874216028838418e-005 4.877408355241641e-005 4.877311585005373e-005
4.847393938689493e-005 4.847393938689493e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005
5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005
5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 6.318754458334297e-005 6.744687561877072e-005 7.229335460579023e-005
7.770327647449449e-005 8.363401866517961e-005 9.004148887470365e-005 9.688237332738936e-005 1.041154173435643e-004
1.117022402468137e-004 1.168263042927720e-004 1.219919286086224e-004
1.168105882243253e-004 1.143334666267037e-004 1.117895808420144e-004 1.091739977709949e-004 1.063553063431755e-004
1.034251035889611e-004 1.008736580843106e-004 9.809045150177553e-005 9.516164573142305e-005 9.201547072734684e-005
8.869700104696676e-005 8.572339720558375e-005 8.309812983497977e-005 8.241825707955286e-005 8.248365338658914e-005
8.255116699729115e-005 8.234480628743768e-005 8.311674901051447e-005 8.478962990920991e-005 9.507205686531961e-005
1.012562861433253e-004 9.854917152551934e-005 2.074733347399160e-004 2.306702372152358e-004 1.163798588095233e-004
1.205608059535734e-004 1.281858567381278e-004 1.301014854107052e-004 1.263776357518509e-004 1.312067761318758e-004
1.409382093697786e-004 1.338559814030305e-004 1.175380239146762e-004 1.113808903028257e-004 1.040911520249210e-004
9.449852950638160e-005 8.329559932462871e-005 7.550337613793090e-005 7.102670497260988e-005 5.212370888330342e-005
4.847393938689493e-005 4.863779031438753e-005 4.877408355241641e-005 4.877408355241641e-005 4.877394530922175e-005
4.847393938689493e-005 4.847393938689493e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005
5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 5.999999848427251e-005 6.223923992365599e-005

ตัวอย่างผลลัพธ์ของแบบจำลอง (File Name : 42-2.out)

```

1          MODFLOW
          U.S. GEOLOGICAL SURVEY MODULAR FINITE-DIFFERENCE GROUND-WATER FLOW MODEL

Test Boundary

THE FREE FORMAT OPTION HAS BEEN SELECTED
  4 LAYERS   58 ROWS   68 COLUMNS
  1 STRESS PERIOD(S) IN SIMULATION
MODEL TIME UNIT IS DAYS
BAS5 -- BASIC MODEL PACKAGE, VERSION 5, 1/1/95 INPUT READ FROM UNIT 1
ARRAYS RHS AND BUFF WILL SHARE MEMORY
INITIAL HEAD WILL BE KEPT THROUGHOUT THE SIMULATION
  153958 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED BY BAS
  153958 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 10000000
BCF5 -- BLOCK-CENTERED FLOW PACKAGE, VERSION 5, 9/1/93 INPUT READ FROM UNIT 11
STEADY-STATE SIMULATION
CELL-BY-CELL FLOWS WILL BE SAVED ON UNIT 40
HEAD AT CELLS THAT CONVERT TO DRY= -888.00
WETTING CAPABILITY IS NOT ACTIVE
  LAYER LAYER-TYPE CODE INTERBLOCK T
  -----
  1      0      0 -- HARMONIC
  2      0      0 -- HARMONIC
  3      0      0 -- HARMONIC
  4      0      0 -- HARMONIC
  4 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED BY BCF
  153962 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 10000000
WEL5 -- WELL PACKAGE, VERSION 5, 9/1/93 INPUT READ FROM UNIT 13
MAXIMUM OF 6223 WELLS
CELL-BY-CELL FLOWS WILL BE SAVED ON UNIT 40
  24892 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED BY WEL
  178854 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 10000000
RIV5 -- RIVER PACKAGE, VERSION 5, 9/1/93 INPUT READ FROM UNIT 15
MAXIMUM OF 419 RIVER REACHES
CELL-BY-CELL FLOWS WILL BE SAVED ON UNIT 40
  2514 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED BY RIV
  181368 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 10000000
RCH5 -- RECHARGE PACKAGE, VERSION 5, 6/1/95 INPUT READ FROM UNIT 20
OPTION 3 -- RECHARGE TO HIGHEST ACTIVE NODE IN EACH VERTICAL COLUMN
CELL-BY-CELL FLOWS WILL BE SAVED ON UNIT 40
  7888 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED BY RCH
  189256 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF 10000000
OPCG2 -- CONJUGATE GRADIENT SOLUTION PACKAGE, VERSION 2.1, 6/1/95
MAXIMUM OF 25 CALLS OF SOLUTION ROUTINE
MAXIMUM OF 50 INTERNAL ITERATIONS PER CALL TO SOLUTION ROUTINE
MATRIX PRECONDITIONING TYPE : 1
  74354 ELEMENTS IN X ARRAY ARE USED BY PCG
  263610 ELEMENTS OF X ARRAY USED OUT OF*****

```

ตัวอย่างผลลัพธ์ของแบบจำลอง

SOLUTION BY THE CONJUGATE-GRADIENT METHOD

```

0          MAXIMUM NUMBER OF CALLS TO PCG ROUTINE =   25
          MAXIMUM ITERATIONS PER CALL TO PCG =   50
          MATRIX PRECONDITIONING TYPE =     1
          RELAXATION FACTOR (ONLY USED WITH PRECOND. TYPE 1) =  0.10000E+01
PARAMETER OF POLYNOMIAL PRECOND. = 2 (2) OR IS CALCULATED :    0
          HEAD CHANGE CRITERION FOR CLOSURE =  0.10000E-01
          RESIDUAL CHANGE CRITERION FOR CLOSURE =  0.10000E-01
          PCG HEAD AND RESIDUAL CHANGE PRINTOUT INTERVAL =   999
          PRINTING FROM SOLVER IS LIMITED(1) OR SUPPRESSED (>1) =    0
          DAMPING PARAMETER =  0.10000E+01
1          STRESS PERIOD NO. 1, LENGTH =  1.000000

```

```

NUMBER OF TIME STEPS =  1
MULTIPLIER FOR DELT =  1.000
INITIAL TIME STEP SIZE =  1.000000

```

6223 WELLS

LAYER ROW COL STRESS RATE WELL NO.

```

-----
1  43  38 -767.00   1
1  24  32 -679.00   2
1  15  29 -330.00   3
1  10  21 -317.00   4
1  28  24 -298.00   5
1  7   19 -272.00   6
1  16  22 -263.00   7
1  17  31 -217.00   8
1  39  40 -170.00   9
1  14  23 -154.00  10
1  16  17 -139.00  11
1  19  16 -136.00  12
1  5   19 -131.00  13
1  3   20 -130.00  14
1  19  24 -128.00  15
1  40  27 -126.00  16
1  39  24 -124.00  17
1  38  33 -124.00  18
1  13  23 -123.00  19
1  39  25 -121.00  20
1  32  46 -117.00  21
1  9   20 -117.00  22
1  22  40 -115.00  23
1  22  19 -112.00  24
1  39  27 -108.00  25
1  2   20 -104.00  26
1  36  23 -103.00  27
1  37  27 -103.00  28

```

ตัวอย่างผลลัพธ์เกี่ยวกับระดับน้ำจากแบบจำลอง

HEAD IN LAYER 2 AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
	61	62	63	64	65	66	67	68			
1	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	32.16	33.15
	34.41	35.51	36.35	36.81	36.95	36.87	36.63	36.32	36.02	35.81	
	35.73	35.81	36.06	36.48	37.05	37.78	38.67	39.78	41.21	43.34	
	50.72	54.79	57.90	58.73	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0		
2	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	31.72	32.45
	33.83	34.95	35.74	36.18	36.32	36.23	35.97	35.61	35.27	35.00	
	34.85	34.85	35.02	35.34	35.78	36.34	37.00	37.75	38.58	39.51	
	40.81	44.84	50.37	56.48	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0		
3	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	27.08	27.58
	30.17	33.69	34.96	35.57	35.76	35.62	35.33	34.91	34.47	34.10	
	33.87	33.78	33.84	34.05	34.38	34.80	35.30	35.84	36.41	36.97	
	37.59	38.40	39.47	45.61	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0		
4	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	22.06	23.13
	25.10	28.26	30.37	31.35	33.25	34.60	34.61	34.08	33.51	33.05	
	32.76	32.63	32.65	32.81	33.07	33.42	33.83	34.27	34.71	35.15	
	35.57	35.98	36.31	36.44	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0		
5	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	18.66	19.26
	20.73	22.58	24.00	25.28	25.11	29.38	31.14	32.95	32.25	31.74	
	31.45	31.35	31.39	31.56	31.82	32.16	32.55	32.95	33.35	33.73	
	34.06	34.32	34.49	34.58	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0		
6	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0
	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	-999.0	16.27	16.69
	17.74	18.93	19.94	20.67	21.52	22.89	26.35	29.73	30.52	30.10	

ตัวอย่างผลลัพธ์เกี่ยวกับสมดุลของน้ำใต้ดินจากแบบจำลอง

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 = 368433.0000   WELLS = 368433.0000
RIVER LEAKAGE =      0.0000   RIVER LEAKAGE =      0.0000
  RECHARGE = 2078139.5000   RECHARGE = 2078139.5000

TOTAL IN = 2446572.5000   TOTAL IN = 2446572.5000

OUT:                  OUT:
---                  ---
CONSTANT HEAD =      0.0000   CONSTANT HEAD =      0.0000
  WELLS = 217162.0000   WELLS = 217162.0000
RIVER LEAKAGE = 2229410.7500   RIVER LEAKAGE = 2229410.7500
  RECHARGE =      0.0000   RECHARGE =      0.0000

TOTAL OUT = 2446572.7500   TOTAL OUT = 2446572.7500

IN - OUT = -0.2500   IN - OUT = -0.2500

PERCENT DISCREPANCY =      0.00   PERCENT DISCREPANCY =      0.00

```

ภาคผนวก ฉ

พารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 1 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	พารามิเตอร์	วิธีการประเมิน	ค่าที่ใช้	หมายเหตุ
1	สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage coefficient)	ผลการสุบทดสอบในพื้นที่ศึกษา เปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่เสนอโดย Walton (1970) อ้างถึงใน JICA (1995)	$5.0 \times 10^{-4} - 1.5 \times 10^{-3}$	
2	สัมประสิทธิ์ความจำเพาะ (Specific storage)	พิจารณาจากลักษณะวัสดุชั้นน้ำ ตามเกณฑ์ของ Johnson (1967) อ้างถึงใน Todd (1980)	0.25 เฉพาะชั้นน้ำชั้นที่ 1 เพราะเป็นชั้นน้ำแบบกึ่งมี ความดัน	ดูตารางที่ 4 ประกอบ
3	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ ของน้ำ (Hydraulic conductivity)	ใช้สมการที่ 4-3 ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ ข้อมูลการสุบทดสอบในภาคสนาม ประกอบกับข้อมูลของหน่วยงานต่างๆ	$5.0 - 1.0 \times 10^3$ ม./วัน สำหรับ Q_{cp} และ $1.0 \times 10^{-1} - 5.0 \times 10^2$ เมตรต่อวัน สำหรับ Q_{cr}	ดูภาคผนวก ก ประกอบ
4	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ ของน้ำในแนวตั้ง (Vertical hydraulic conductivity)	พิจารณาจากลักษณะวัสดุชั้นน้ำ ตามเกณฑ์ของ Bureau of Reclamation อ้างถึงใน Todd (1980)	2.0×10^{-5} เมตรต่อวัน	
5	ระดับของชั้นน้ำใต้ดิน แต่ละชั้น (Top and bottom elevations)	อ้างอิงการศึกษาของสุจริตและคณะ (2545)	รูปที่ 4-10 หน้า 59	
6	ประเภทของชั้นน้ำใต้ดิน (Type of each layer)	อ้างอิงการศึกษาของสุจริตและคณะ (2545)	ชั้นที่ 1 เป็นชั้นน้ำแบบกึ่ง มีความดัน ส่วนชั้นน้ำชั้น ที่ 2, 3 และ 4 เป็นชั้นน้ำ แบบมีความดัน	
7	ระดับน้ำเริ่มต้น (Initial heads)	กรณีการไหลคงตัว ปี พ.ศ. 2542 ใช้ค่าระดับน้ำเฉลี่ยในปีดังกล่าว	รูปที่ 2-9 หน้า 31	
		กรณีการไหลแบบไม่คงตัว กรณี พ.ศ. 2543 - 2544 ใช้ผลการคำนวณ จากกรณีการไหลแบบคงตัว	รูปที่ 6-1 หน้า 86	
		กรณีการไหลแบบไม่คงตัว กรณี พ.ศ. 2532 - 2544 ใช้ค่าระดับน้ำ ปี พ.ศ. 2532	รูปที่ 2-8 หน้า 30	
8	อัตราการเติมน้ำ (Recharge rate)	ปริมาณฝนในแต่ละพื้นที่ คูณด้วยอัตรา ส่วนการซึมของฝนซึ่งขึ้นอยู่กับคุณ สมบัติของผิวดินในแต่ละพื้นที่ โดยใช้ เทคนิคของ GIS ช่วยในการประเมิน	$5.0 \times 10^{-5} - 5.0 \times 10^{-4}$ ม./วัน (18 - 180 มิลลิเมตรต่อปี) โดยมีลักษณะการกระจายตัว ดังรูปที่ 4-11 หน้า 61	
9	อัตราการสูบน้ำ (Pumping rate)	การรวบรวม และสำรวจข้อมูลภาค สนาม ดังแสดงรายละเอียดในภาค ผนวก ข	300 - 800 ล้านลูกบาศก์ เมตรต่อปี สำหรับชั้นน้ำ ทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา	ดูภาคผนวก ข ประกอบ

ตารางที่ 2 การจำแนกประเภทของวัสดุท้องน้ำตามขนาด (Morris and Johnson อ้างถึงใน Todd, 1980)

Material	Particle Size, mm
Clay	< 0.004
Silt	0.004-0.062
Very fine sand	0.062-0.125
Fine sand	0.125-0.25
Medium sand	0.25-0.5
Coarse sand	0.5-1.0
Very coarse sand	1.0-2.0
Very fine gravel	2.0-4.0
Fine gravel	4.0-8.0
Medium gravel	8.0-16.0
Coarse gravel	16.0-32.0
Very coarse gravel	32.0-64.0



ตารางที่ 3 ค่าความพรุนของวัสดุชั้นน้ำ (Morris and Johnson อ้างถึงใน Todd, 1980)

Material	Porosity, Percent	Material	Porosity, Percent
Gravel, coarse	28 ^a	Loess	49
Gravel, medium	32 ^a	Peat	92
Gravel, fine	34 ^a	Schist	38
Sand, coarse	39	Siltstone	35
Sand, medium	39	Claystone	43
Sand, fine	43	Shale	6
Silt	46	Till,	
Clay	42	predominantly silt	34
Sandstone,		Till,	
fine-grained	33	predominantly sand	31
Sandstone,		Tuff	41
medium-grained	37	Basalt	17
Limestone	30	Gabbro, weathered	43
Dolomite	26	Granite, weathered	45
Dune sand	45		

^aThese values are for repacked samples; all others are undisturbed.

ตารางที่ 4 ค่า Specific Yield ของวัสดุชั้นน้ำ (Johnson อ้างถึงใน Todd, 1980)

Material	Specific Yield, percent
Gravel, coarse	23
Gravel, medium	24
Gravel, fine	25
Sand, coarse	27
Sand, medium	28
Sand, fine	23
Silt	3
Clay	3
Sandstone, fine-grained	21
Sandstone, medium-grained	27
Limestone	14
Dune sand	38
Loess	18
Peat	44
Schist	26
Siltstone	12
Till, predominantly silt	6
Till, predominantly sand	16
Till, predominantly gravel	16
Tuff	21

ตารางที่ 5 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (Morris and Johnson อ้างถึงใน Todd, 1980)

Material	Hydraulic Conductivity, m/day	Type of Measurement ^a
Gravel, coarse	150	R
Gravel, medium	270	R
Gravel, fine	450	R
Sand, coarse	45	R
Sand, medium	12	R
Sand, fine	2.5	R
Silt	0.08	H
Clay	0.0002	H
Sandstone, fine-grained	0.2	V
Sandstone, medium-grained	3.1	V
Limestone	0.94	V
Dolomite	0.001	V
Dune sand	20	V
Loess	0.08	V
Peat	5.7	V
Schist	0.2	V
Slate	0.00008	V
Till, predominantly sand	0.49	R
Till, predominantly gravel	30	R
Tuff	0.2	V
Basalt	0.01	V
Gabbro, weathered	0.2	V
Granite, weathered	1.4	V

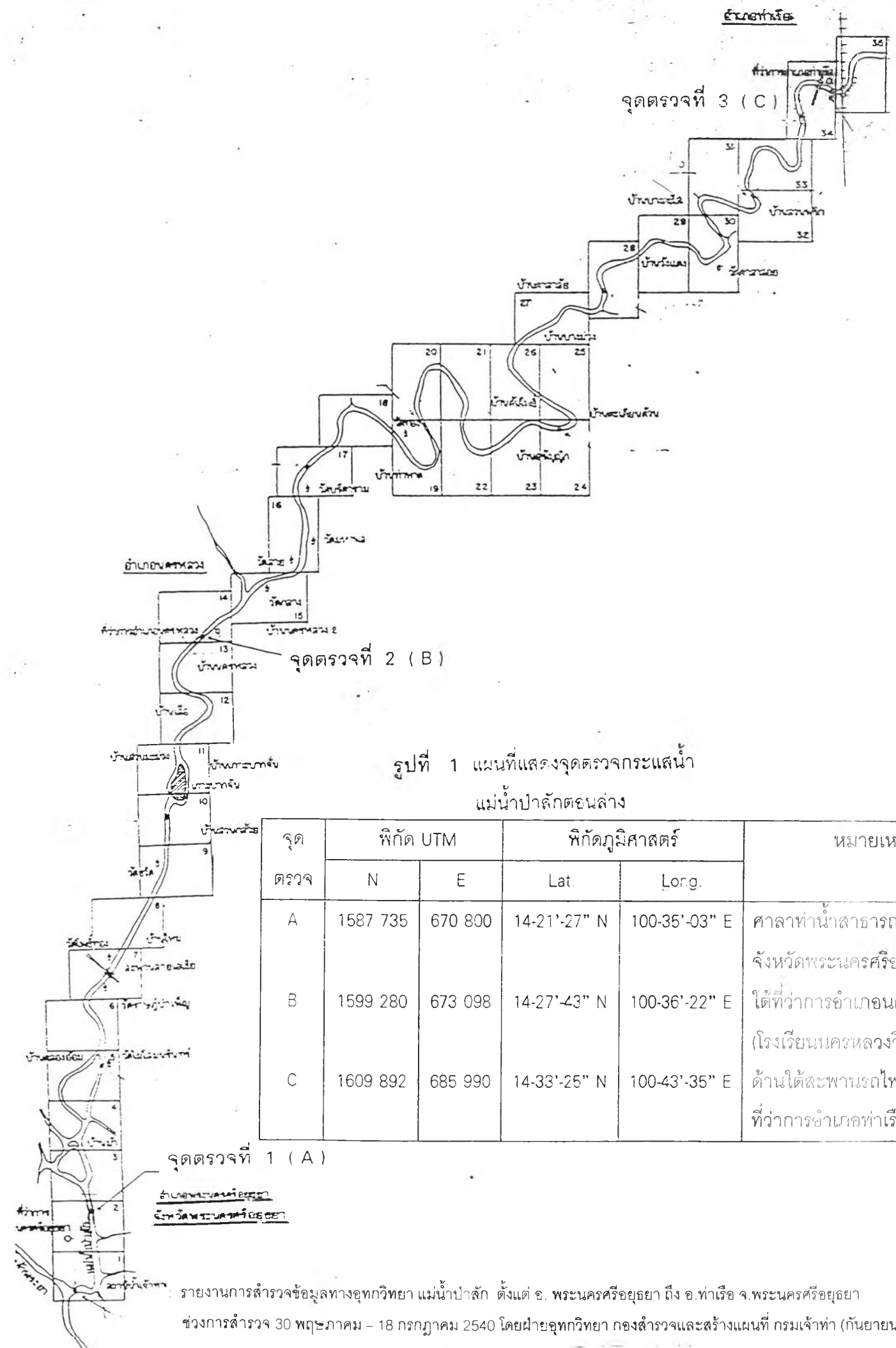
^aH is horizontal hydraulic conductivity, R is a repacked sample, and V is vertical hydraulic conductivity.

ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (Bureau of Reclamation อ้างถึงใน Todd, 1980)

Hydraulic conductivity, meters/day										
10 ⁴	10 ³	10 ²	10 ¹	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
Relative hydraulic conductivity										
Very high		High		Moderate			Low		Very low	
REPRESENTATIVE MATERIALS										
<i>Unconsolidated deposits</i>										
Clean gravel	—	Clean sand and sand and gravel	—	Fine sand	—	Silt, clay, and mixture of sand, silt, and clay	—	Massive clay		
<i>Consolidated Rocks</i>										
Vesicular and scoriaceous basalt and cavernous limestone and dolomite	—	Clean sandstone and fractured igneous and metamorphic rocks	—	Laminated sandstone, shale, mudstone	—	Massive igneous and metamorphic rocks				

ภาคผนวก ช

ตัวอย่างหน้าต่างทางน้ำในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 1 แผนที่แสดงจุดตรวจกระแสน้ำ
แม่น้ำป่าสักตอนล่าง

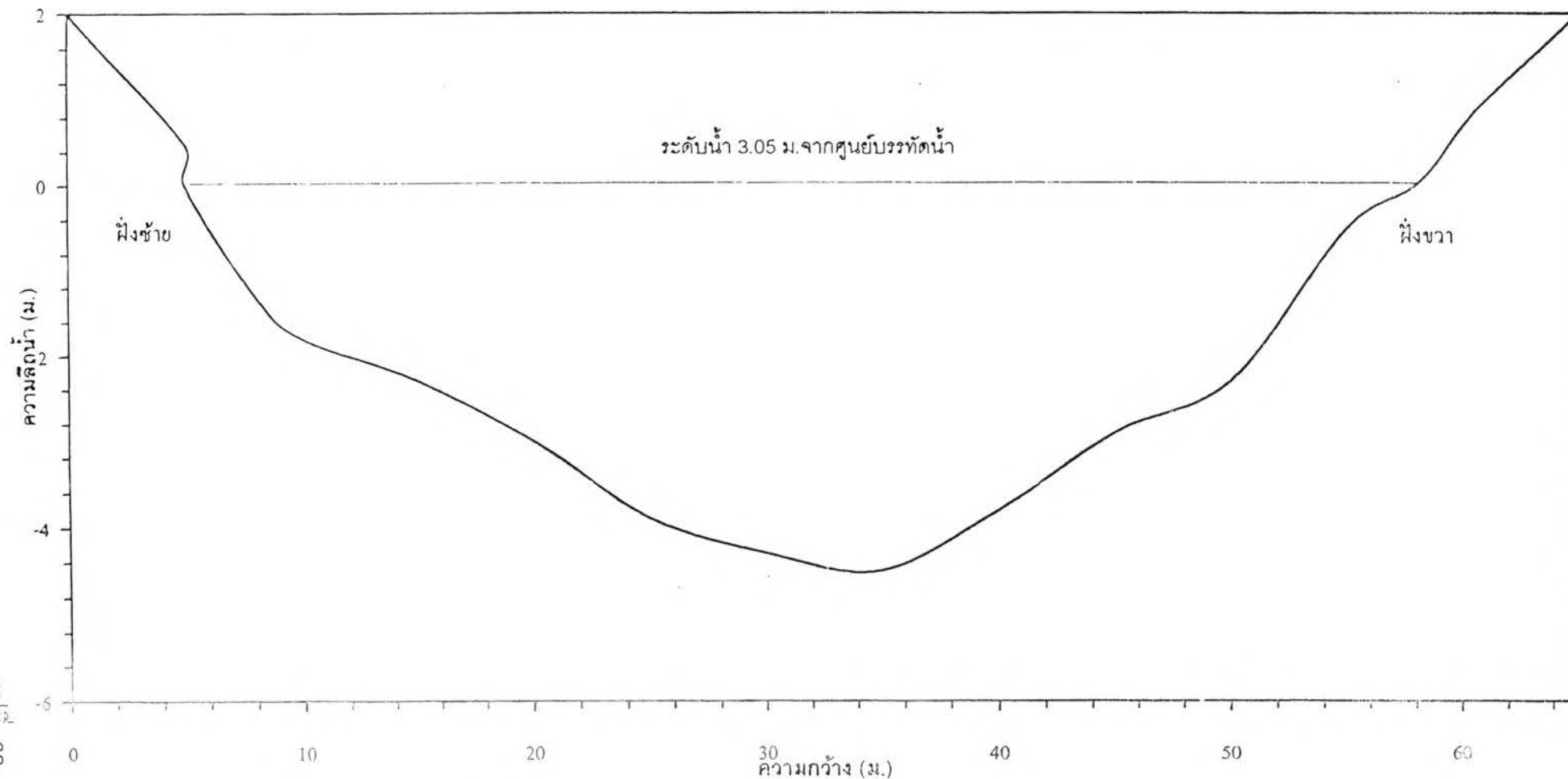
จุดตรวจ	พิกัด UTM		พิกัดภูมิศาสตร์		หมายเหตุ
	N	E	Lat.	Long.	
A	1587 735	670 800	14-21'-27" N	100-35'-03" E	ศาลาทำน้ำสาธารณะสุข จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
B	1599 280	673 098	14-27'-43" N	100-36'-22" E	ใต้ที่ว่าการอำเภอนครหลวง (โรงเรียนนครหลวงวิทยา)
C	1609 892	685 990	14-33'-25" N	100-43'-35" E	ด้านใต้สะพานรถไฟ ที่ว่าการอำเภอท่าเรือ

รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำป่าสัก ตั้งแต่ อ. พระนครศรีอยุธยา ถึง อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา
ช่วงการสำรวจ 30 พฤษภาคม - 18 กรกฎาคม 2540 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (กันยายน 2540)

รูปตัดขวางแม่น้ำป่าสักบริเวณที่ว่าการอำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

วันที่ 4 มิถุนายน 2540

N 1609 892, E 685 990



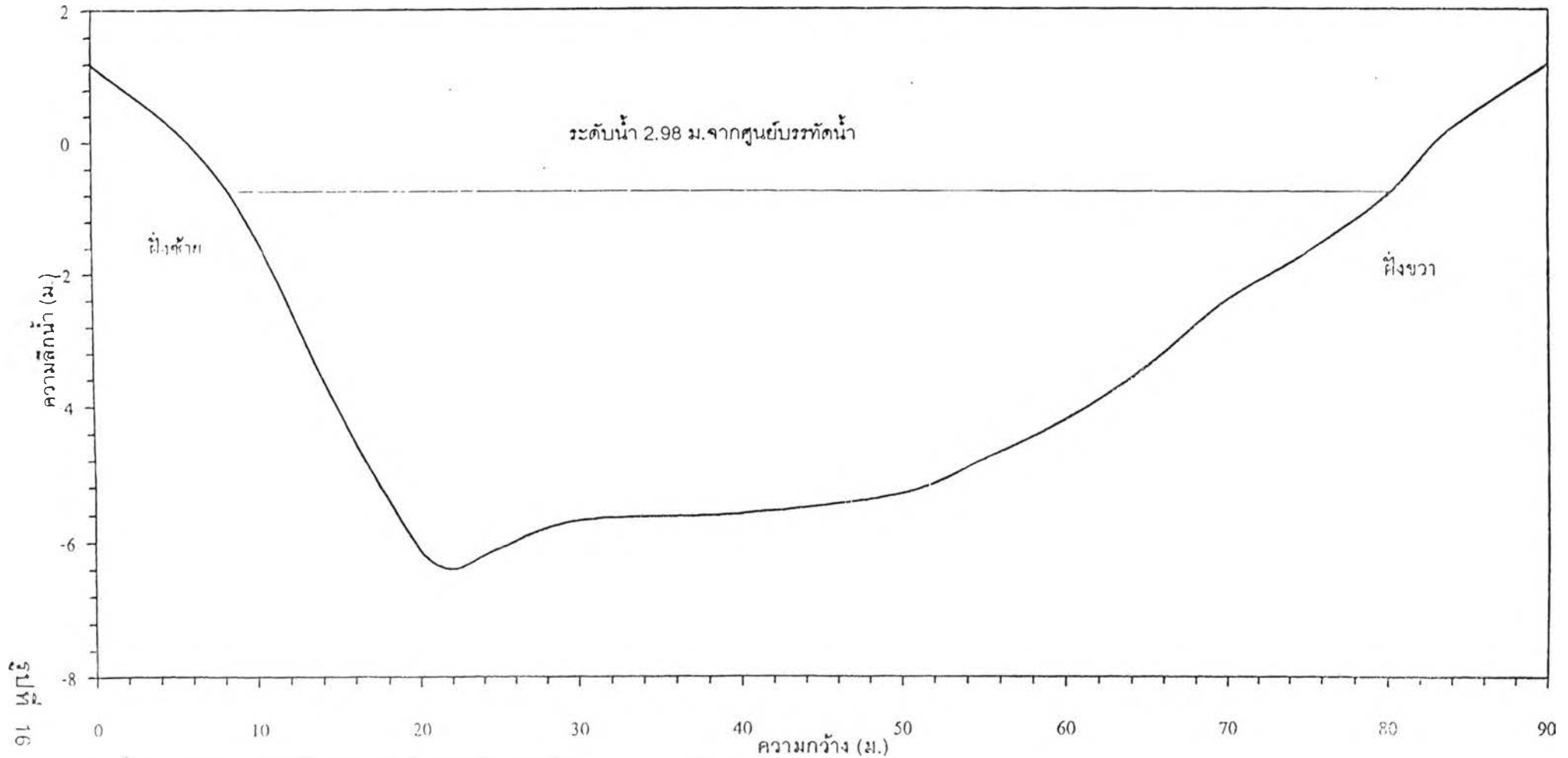
รูปที่ 29

ที่มา : รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำป่าสัก ตั้งแต่ อ. พระนครศรีอยุธยา ถึง อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา
ช่วงการสำรวจ 30 พฤษภาคม - 18 กรกฎาคม 2540 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (กันยายน 2540)

รูปตัดขวางแม่น้ำป่าสักบริเวณที่ว่าการอำเภอนครหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

วันที่ 4 มิถุนายน 2540

N 1599 280, E 673 098



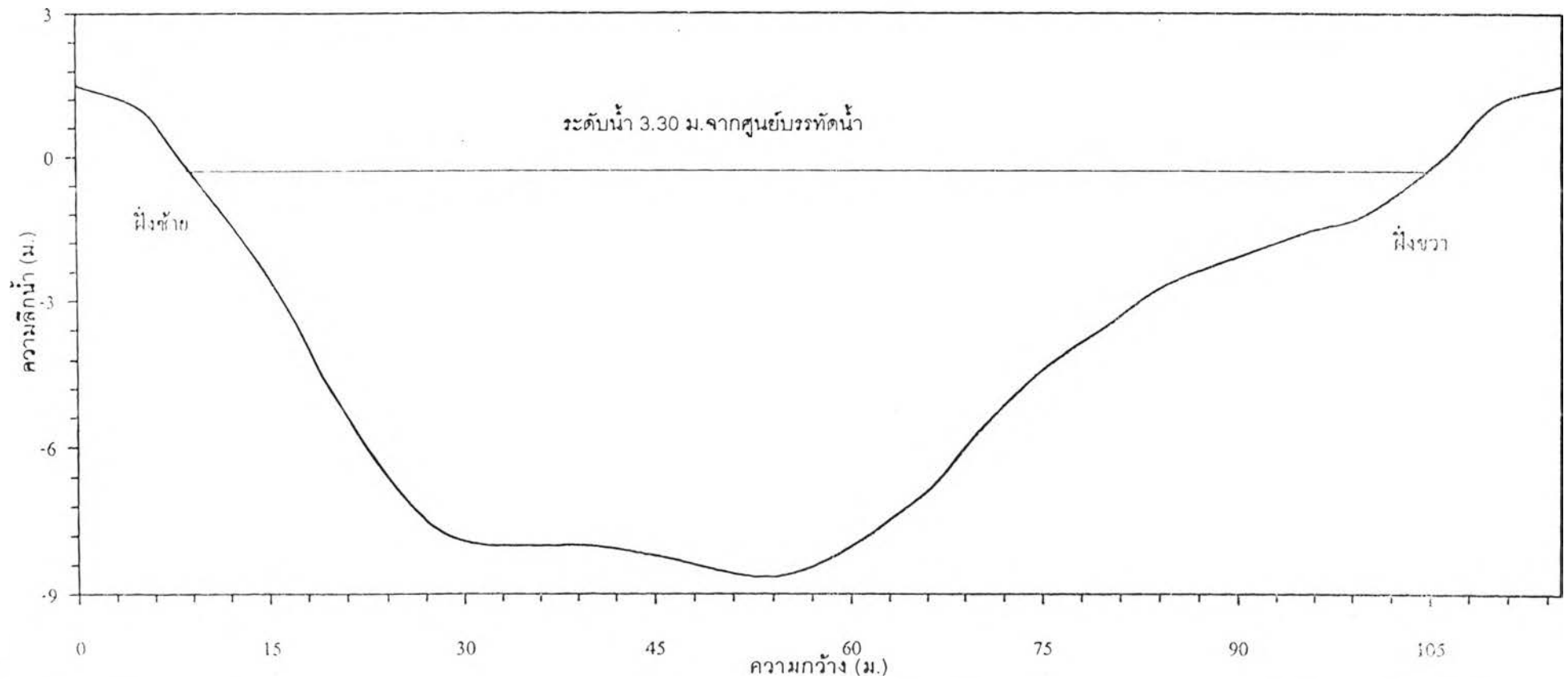
ที่มา : รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำป่าสัก ตั้งแต่ อ. พระนครศรีอยุธยา ถึง อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา

ช่วงการสำรวจ 30 พฤษภาคม - 18 กรกฎาคม 2540 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (กันยายน 2540)

รูปตัดขวางแม่น้ำป่าสักบริเวณสาธารณสุขจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

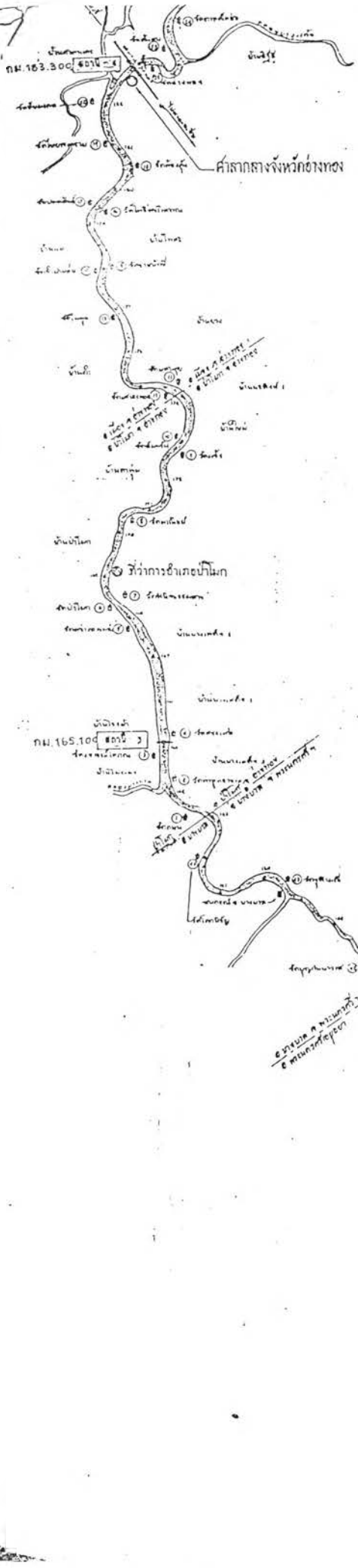
วันที่ 6 มิถุนายน 2540

N 1587 735, E 670 800

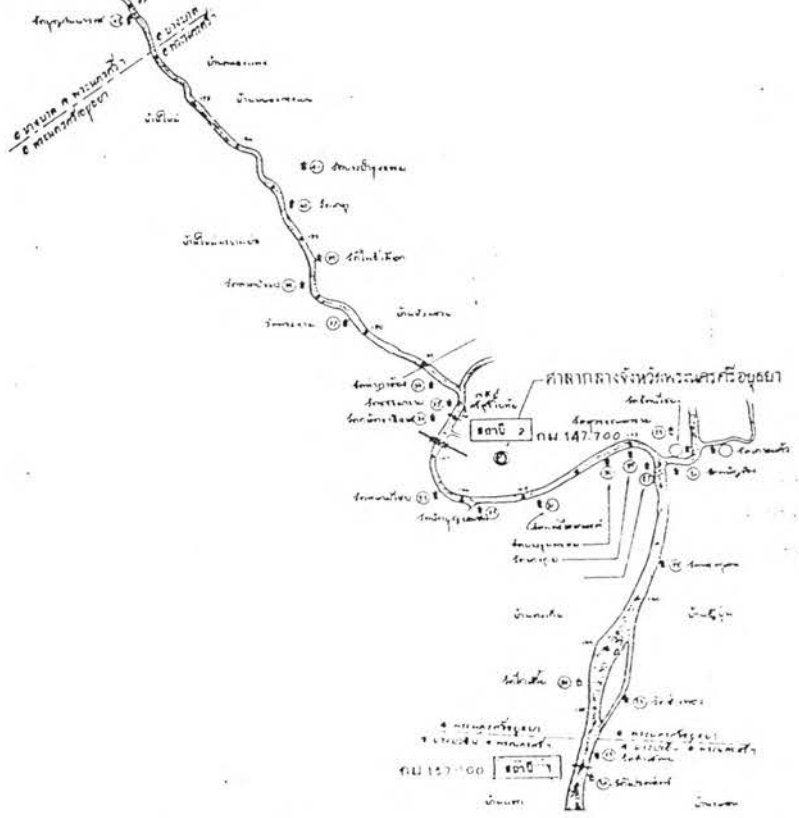


ที่มา : รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำป่าสัก ตั้งแต่ อ. พระนครศรีอยุธยา ถึง อ.ท่าเรือ จ.พระนครศรีอยุธยา

ช่วงการสำรวจ 30 พฤษภาคม -- 18 กรกฎาคม 2540 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (กันยายน 2540)



แผนที่แสดงสถานีตรวจกระแสน้ำและตะกอน
แม่น้ำเจ้าพระยา



ที่มา : รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำเจ้าพระยา ปี 2533 ตั้งแต่ อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา ถึง อ.เมือง จ.อ่างทอง
ช่วงการสำรวจ 1 - 30 เมษายน 2533 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (สิงหาคม 2533)

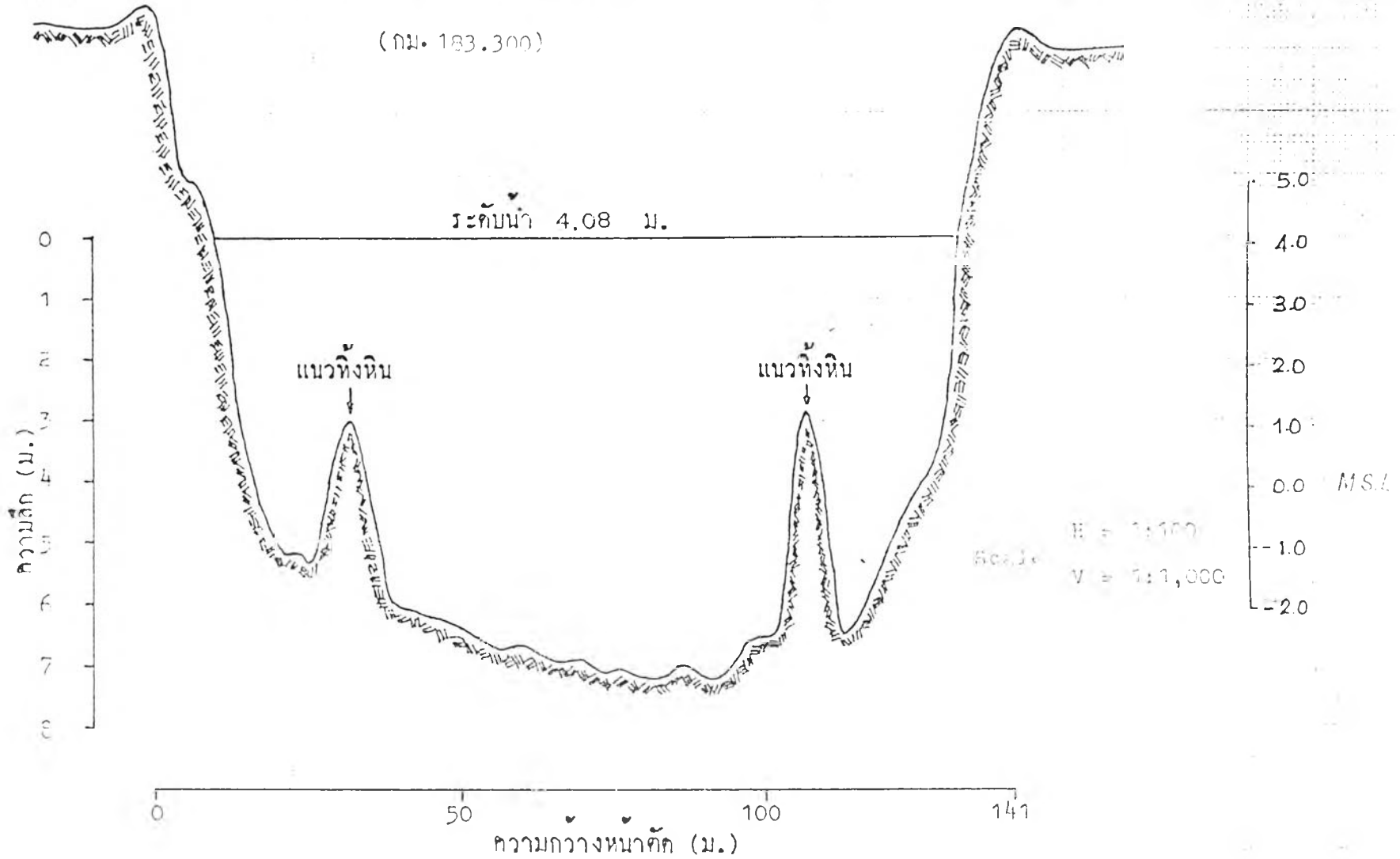
ลักษณะพื้นที่หน้าตัด (CROSS - SECTION) สถานี 4

ฝั่งซ้าย

(บริเวณสะพานทางทอง อ.เมือง จ.อ่างทอง)

ฝั่งขวา

(กม. 183.300)

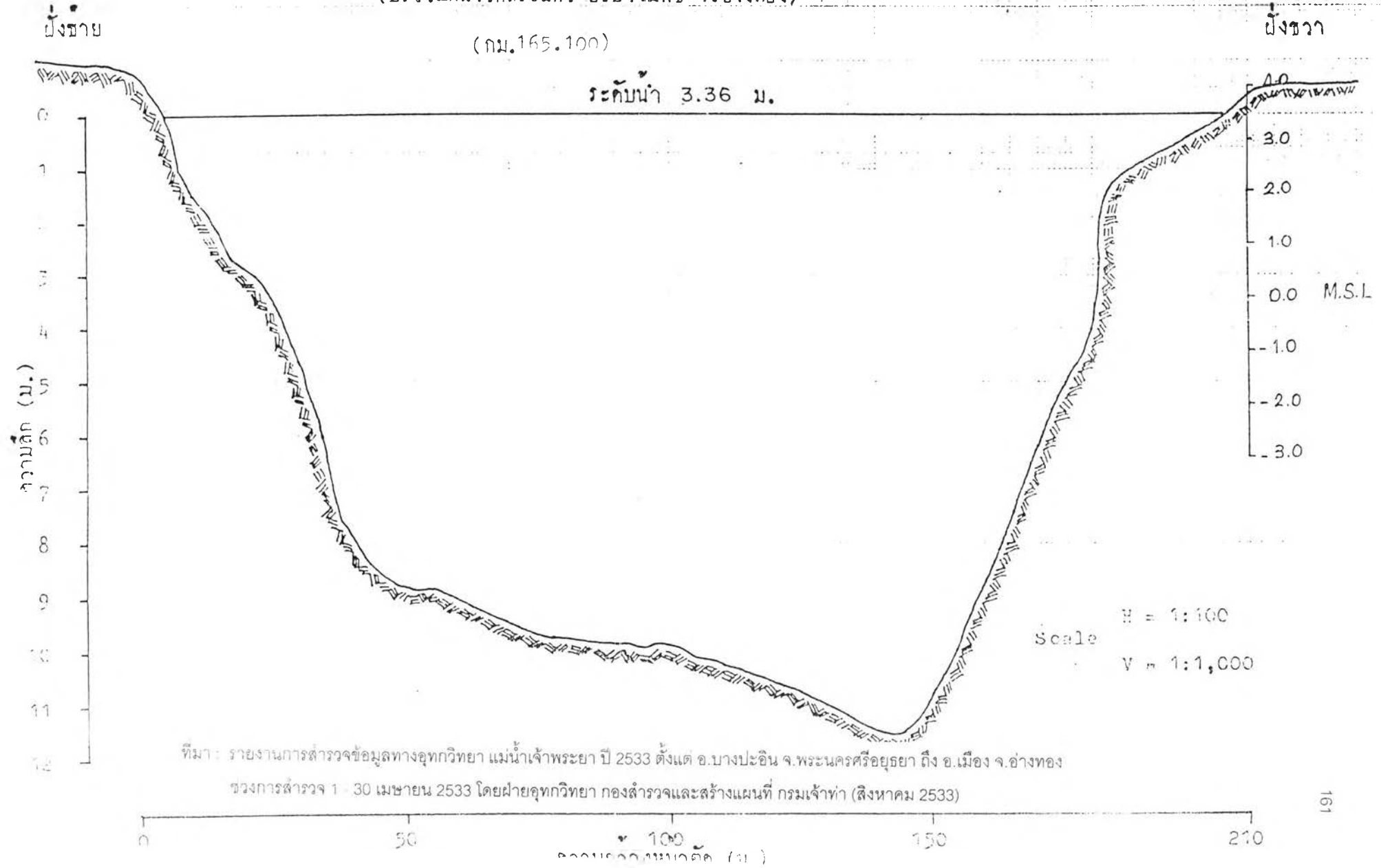


ที่มา รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำเจ้าพระยา ปี 2533 ตั้งแต่ อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา ถึง อ.เมือง จ.อ่างทอง
 ขบวนการสำรวจ 1 - 30 เมษายน 2533 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (สิงหาคม 2533)

ลักษณะพื้นที่หน้าตัด (CROSS - SECTION) สถานี 3

(บริเวณหน้าวัดสระแก้ว อ.ป่าโมกข์ จ.อ่างทอง)

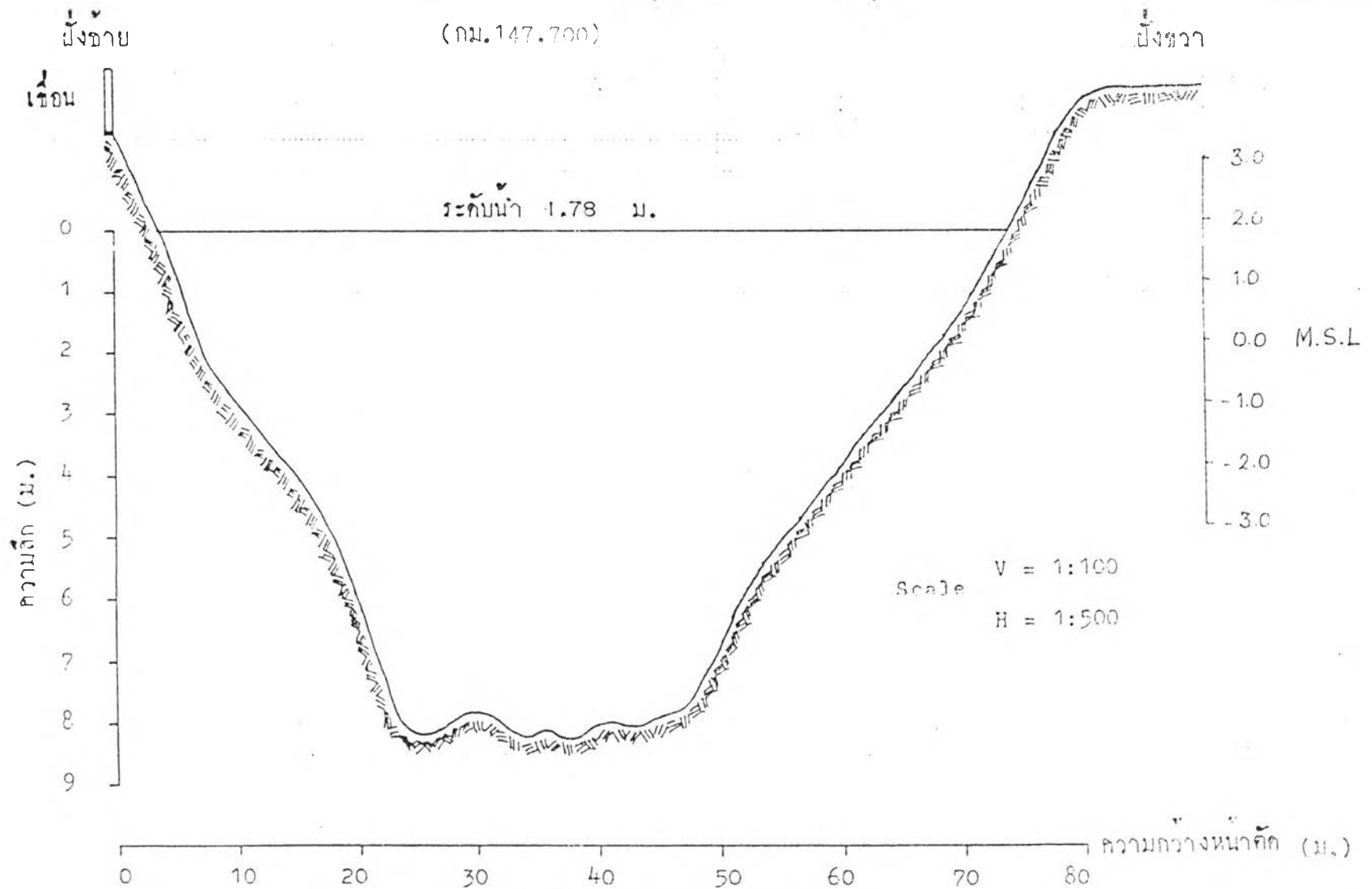
(กม.165.100)



ที่มา : รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำเจ้าพระยา ปี 2533 ตั้งแต่ อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา ถึง อ.เมือง จ.อ่างทอง
โครงการสำรวจ 1 - 30 เมษายน 2533 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (สิงหาคม 2533)

ลักษณะพื้นที่หน้าตัด (CROSS - SECTION) สถานี 2

(บริเวณหน้าวัดชัยศรีราช อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา)



ที่มา : รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำเจ้าพระยา ปี 2533 ตั้งแต่ อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา ถึง อ.เมือง จ.อ่างทอง

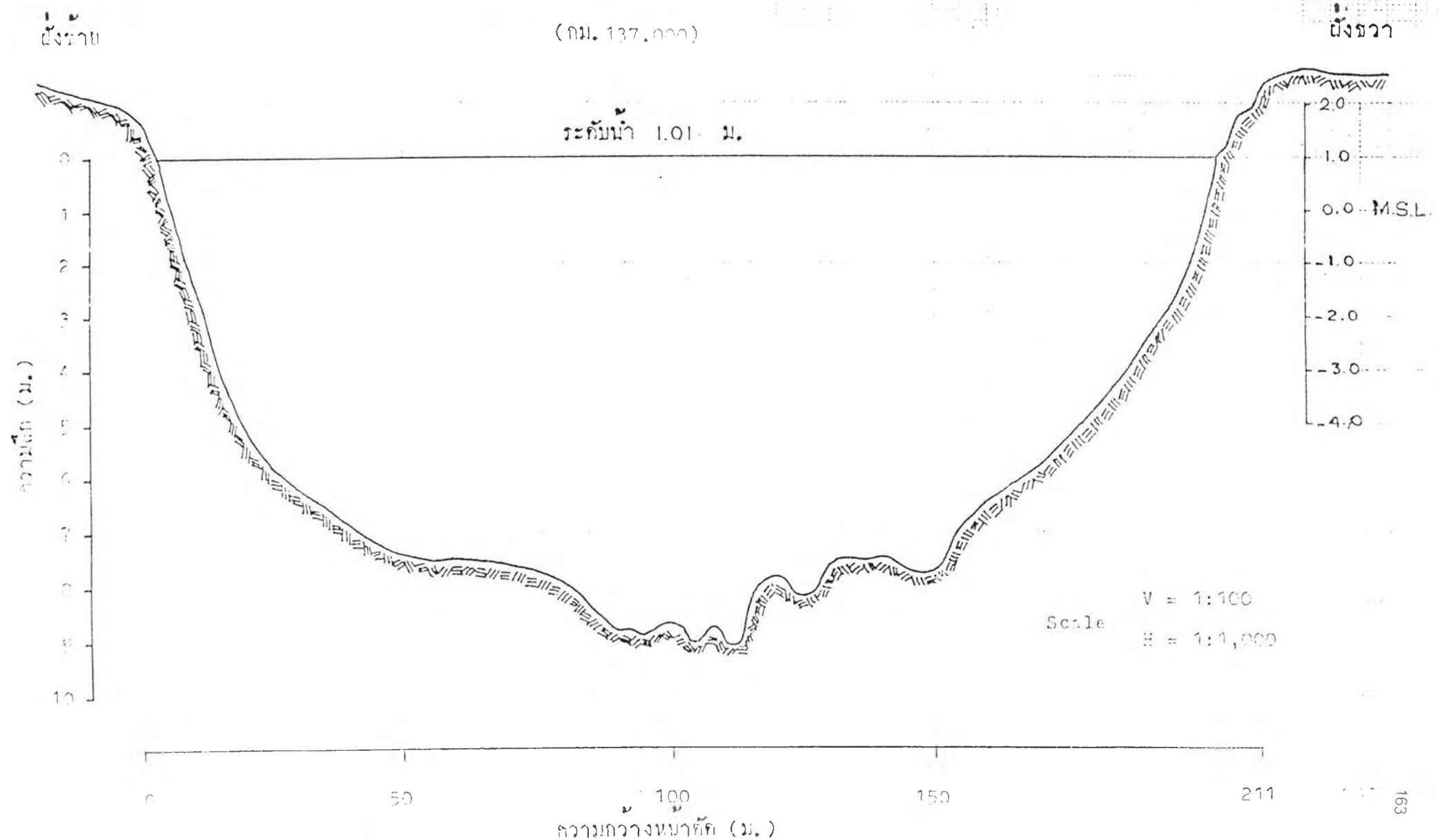
ช่วงการสำรวจ 1 - 30 เมษายน 2533 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (สิงหาคม 2533)

ลักษณะพื้นที่หน้าตัด (CROSS - SECTION) สถานี 1

(บริเวณหน้าวัดโปรดสัตว์ อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา)

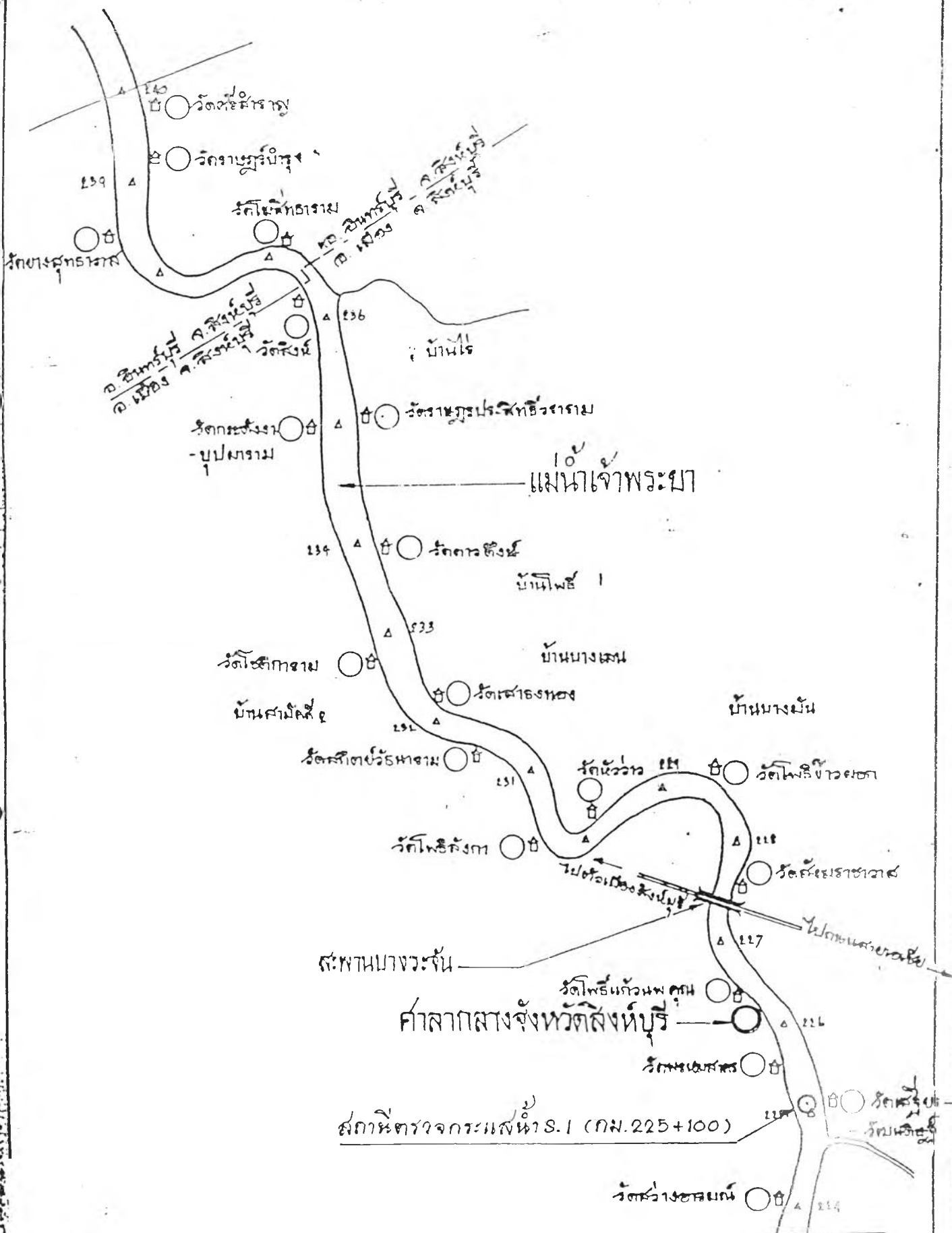
(ถม. 137.000)

ระดับน้ำ 1.01 ม.



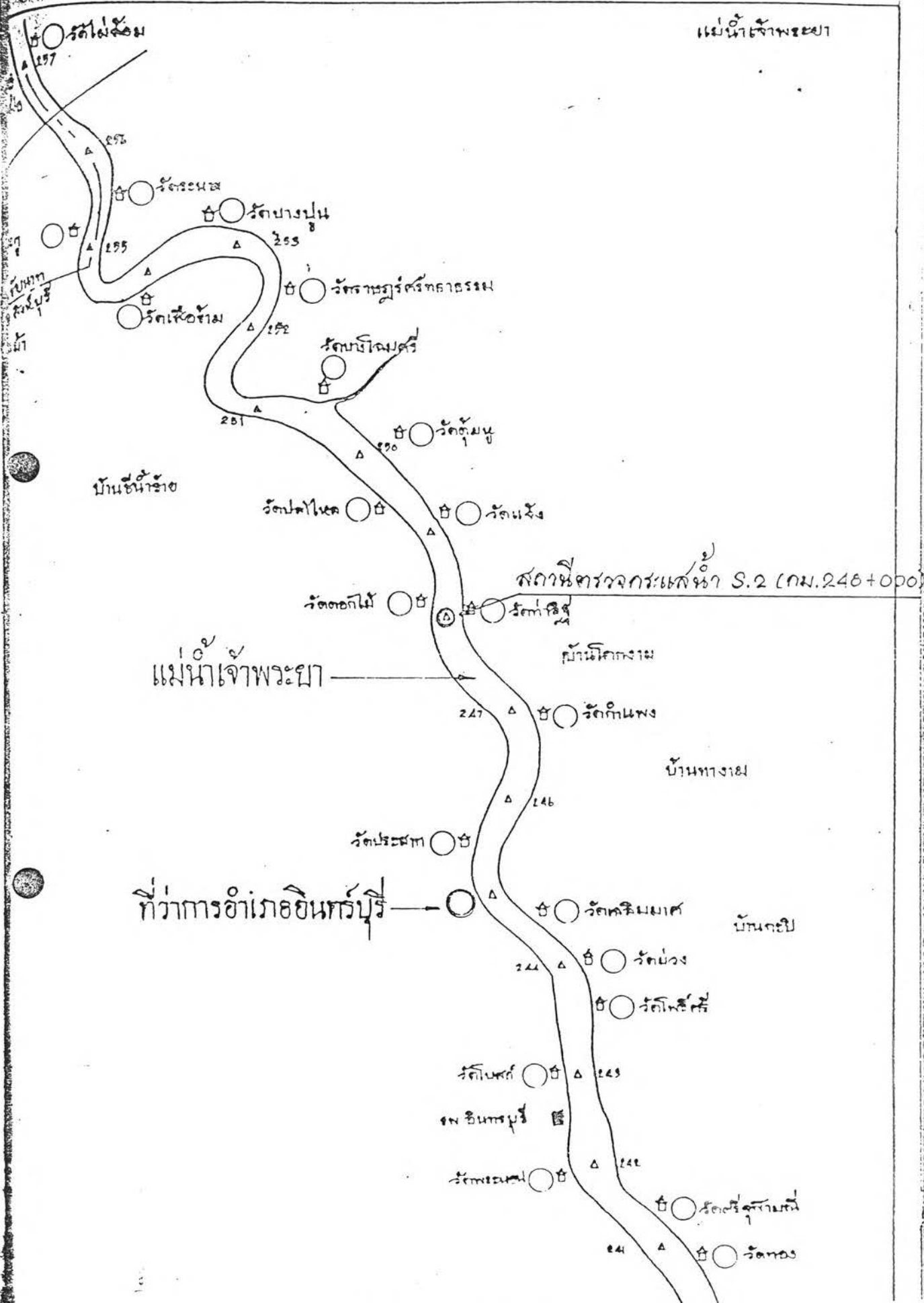
ที่มา : รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำเจ้าพระยา ปี 2533 ตั้งแต่ อ.บางปะอิน จ.พระนครศรีอยุธยา ถึง อ.เมือง จ.อ่างทอง
ช่วงการสำรวจ 1 - 30 เมษายน 2533 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (สิงหาคม 2533)

แม่น้ำเจ้าพระยา



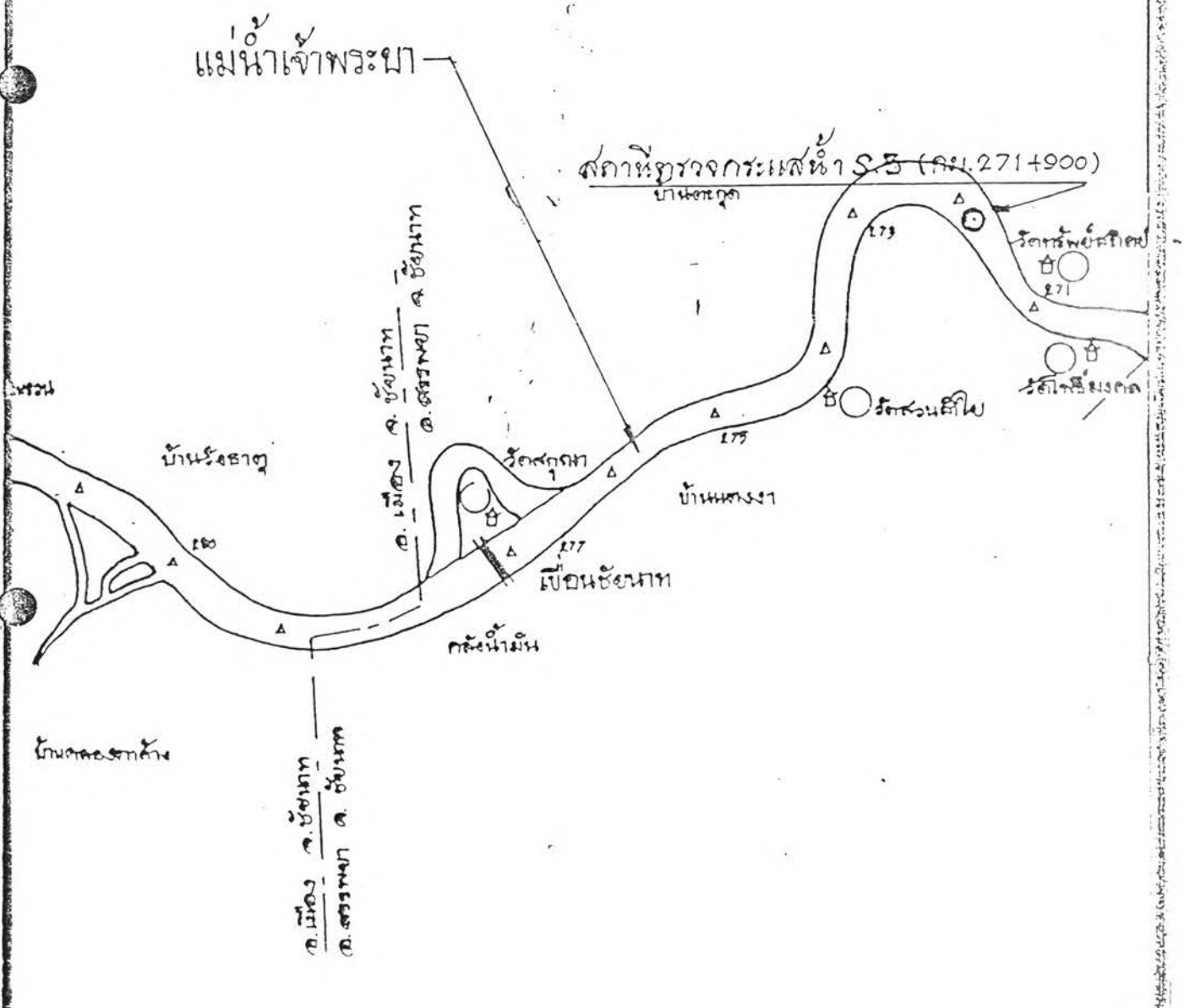
ที่มา: รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำเจ้าพระยา ปี 2533 ตั้งแต่ อ.เมือง จ.สิงห์บุรี ถึง อ.เมือง จ.ชัยนาท

ช่วงการสำรวจ 15 เมษายน 2533 - 25 พฤษภาคม 2533 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (สิงหาคม 2533)

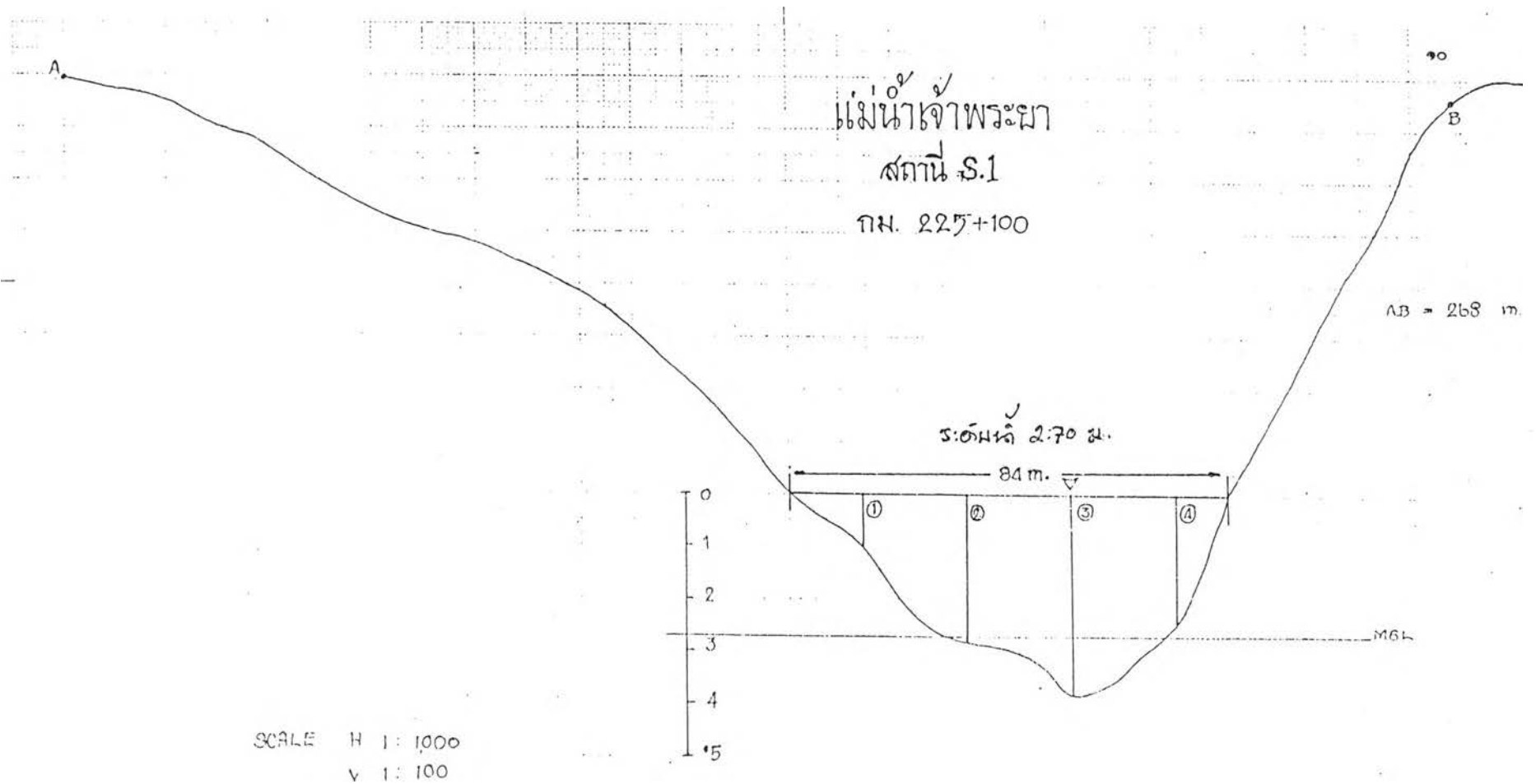


ที่มา : รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำเจ้าพระยา ปี 2533 ตั้งแต่ อ.เมือง จ.สิงห์บุรี ถึง อ.เมือง จ.ชัยนาท
 ช่วงการสำรวจ 15 เมษายน 2533 - 25 พฤษภาคม 2533 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (สิงหาคม 2533)

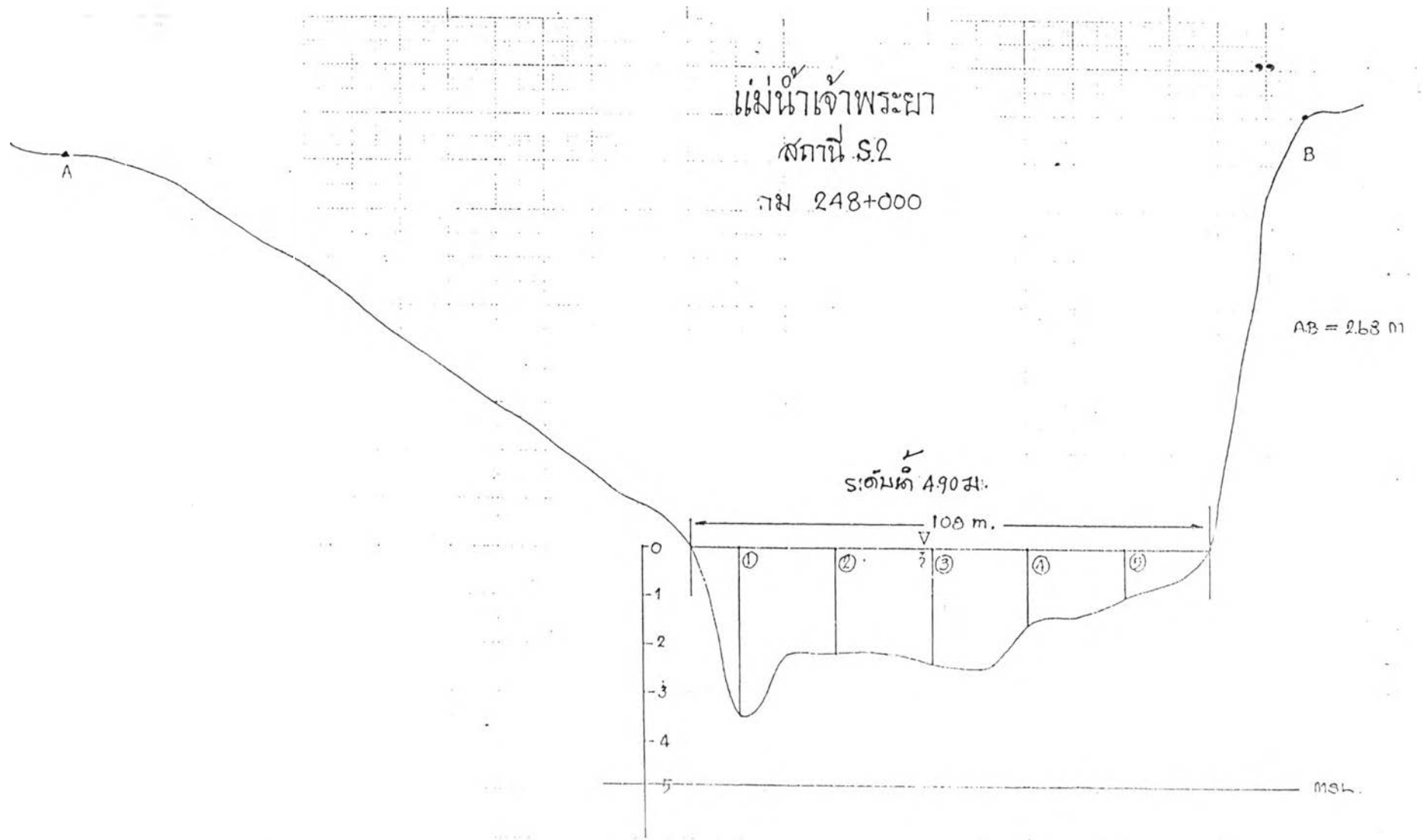
แม่น้ำเจ้าพระยา



ที่มา : รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำเจ้าพระยา ปี 2533 ตั้งแต่ อ.เมือง จ.สิงห์บุรี ถึง อ.เมือง จ.ชัยนาท
 ช่วงการสำรวจ 15 เมษายน 2533 - 25 พฤษภาคม 2533 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (สิงหาคม 2533)

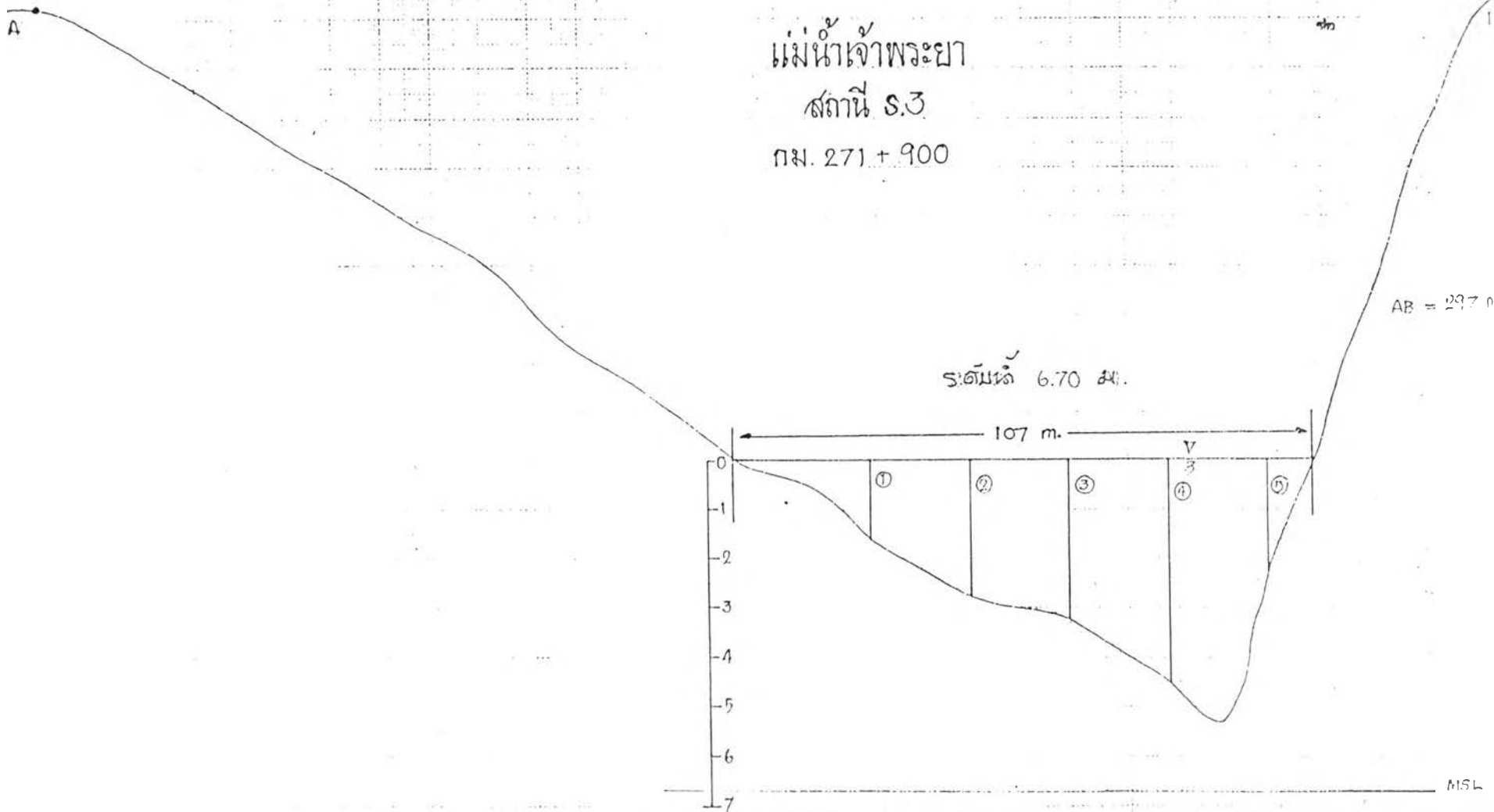


ที่มา : รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำเจ้าพระยา ปี 2533 ตั้งแต่ อ.เมือง จ.สิงห์บุรี ถึง อ.เมือง จ.ชัยนาท
ช่วงการสำรวจ 15 เมษายน 2533 - 25 พฤษภาคม 2533 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (สิงหาคม 2533)



ที่มา : รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำเจ้าพระยา ปี 2533 ตั้งแต่ อ.เมือง จ.สิงห์บุรี ถึง อ.เมือง จ.ชัยนาท

ช่วงการสำรวจ 15 เมษายน 2533 - 25 พฤษภาคม 2533 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (สิงหาคม 2533)



ที่มา : รายงานการสำรวจข้อมูลทางอุทกวิทยา แม่น้ำเจ้าพระยา ปี 2533 ตั้งแต่ อ.เมือง จ.สิงห์บุรี ถึง อ.เมือง จ.ชัยนาท

ช่วงการสำรวจ 15 เมษายน 2533 - 25 พฤษภาคม 2533 โดยฝ่ายอุทกวิทยา กองสำรวจและสร้างแผนที่ กรมเจ้าท่า (สิงหาคม 2533)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์



ชื่อ	นายปณต ศิริพิสุทธิชัยกุล
เกิด	22 พฤษภาคม 2521 กรุงเทพมหานคร
การศึกษา	พ.ศ. 2541 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2541 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผลงานทางวิชาการ	บทความทางวิชาการเรื่อง คุณสมบัติของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็ก, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6, 2543 บทความทางวิชาการเรื่อง การประมาณค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดินจากข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินพื้นฐาน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 7, 2544 ผู้เขียนร่วม บทความทางวิชาการเรื่อง <i>Determination of Recharge Rate from Soil Classification Map in GW Modelling</i> , 17 th WCSS, Symposium No.4, Paper No 1845, 2002