



ความเป็นไปได้ในการใช้แก๊มลึงเพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ โดยใช้แบบจำลองทาง  
คณิตศาสตร์

โดย

นายมณฑล ยงค์ประวัติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ความเป็นไปได้ในการใช้แก้มลิงเพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ โดยใช้แบบจำลองทาง  
คณิตศาสตร์

โดย

นายมณฑล ยงค์ประวัติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**FEASIBILITY OF USING RETENTION PONDS FOR RECHARGING FLOOD INTO  
BANGKOK AQUIFERS BASE MATHEMATICAL MODEL**

**By**

**Monthon Yongphrawat**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree**

**MASTER OF SCIENCE**

**Department of Environmental Science**

**Graduate School**

**SILPAKORN UNIVERSITY**

**2009**

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ความเป็นไปได้ในการใช้แก๊มลึงเพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์” เสนอโดย นายมณฑล ยงค์ประวัติ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

.....

(รอง

ศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นแจ่ม
2. อาจารย์ ดร.พัชรศักดิ์ อาลัย

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.อรประภา ภูมมะกาญจนะ โรแบร์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล )

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อ้นแจ่ม)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.พัชรศักดิ์ อาลัย )

...../...../.....

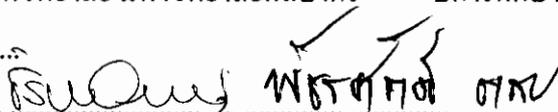
50311308 : สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : แก้มลิง/การเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล/ความเป็นไปได้/แบบจำลองทางคณิตศาสตร์  
มณฑล ยงคัมประวัตติ : ความเป็นไปได้ในการใช้แก้มลิงเพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำ  
บาดาลกรุงเทพ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ. ดร.รัฐพล  
อ้นแจ่ม และ อ. ดร.พัชรศักดิ์ อาลัย. 99 หน้า.

ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย และ  
ประสบปัญหาของน้ำท่วมเป็นประจำทุกปี ในขณะที่ได้พื้นที่ลุ่มน้ำนี้มีระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ  
ซึ่งระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างมาก และทำให้มีการปนเปื้อนของน้ำเกลือ และน้ำทะเลในระบบชั้น  
น้ำบาดาลนี้ (Arlai, 2007) เนื่องจากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้มากกว่าที่ธรรมชาติยอมให้ได้ แนวคิด  
ในการบรรเทาปัญหาดังกล่าวข้างต้นคือการผันน้ำท่วมในแม่น้ำเจ้าพระยาไปเก็บไว้ในแก้มลิง และ  
ให้น้ำท่วมบางส่วนเติมลงไปสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำจืด วิทยานิพนธ์นี้จะ  
ศึกษาเฉพาะในส่วนการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาล จำลองสภาพการเติมน้ำท่วมจากแก้ม  
ลิงเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ ซึ่งแต่ละแก้มลิงจะถูกขุดให้ท้องของแก้มลิงติดกับชั้นน้ำบาดาล  
โดยใช้ตำแหน่งของแก้มลิงตามการศึกษาของ ADB (2549) แก้มลิงได้ถูกนำเข้าไปแบบจำลอง  
คณิตศาสตร์โดยการเชื่อมแบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาล MODFLOW-96 สำหรับคำนวณการ  
ไหลของน้ำบาดาล และ Reservoir Module สำหรับการคำนวณปฏิสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำผิวดินที่  
อยู่ในแก้มลิง และระดับน้ำบาดาลในระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ เพื่อจำลองสภาพการเติมน้ำโดย  
แก้มลิง และศึกษาความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเติมน้ำเป็น 3 กรณี คือ แก้มลิง  
อยู่ด้านเหนือเขื่อนเจ้าพระยา แก้มลิงอยู่ด้านท้ายเขื่อนเจ้าพระยา และ แก้มลิงอยู่ด้านเหนือและท้าย  
เขื่อนเจ้าพระยา ผลการศึกษาพบว่าระดับน้ำในพื้นที่แก้มลิงเป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่ออัตราการเติมน้ำ  
มากที่สุด และกรณีพื้นที่แก้มลิงตั้งอยู่ทางด้านเหนือและท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา มีศักยภาพใน  
การเติมน้ำมากกว่ากรณีอื่นๆ การจำลองที่อัตราการเติมน้ำสูงสุดจากแก้มลิงทั้ง 7 แห่ง พบว่ามีอัตรา  
การเติมน้ำเท่ากับ 286,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวันคิดเป็นร้อยละ 25 ของอัตราการสูบน้ำบริเวณ  
กรุงเทพ และปริมณฑล จากการศึกษาศักยภาพของการเติมน้ำในแต่ละแก้มลิง พบว่าพื้นที่แก้มลิง  
ตำแหน่งที่ 5 มีศักยภาพของการเติมน้ำมากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาตร ( $31.45 \times 10^6$  ต่อวัน) และ  
พื้นที่ (1,117 กิโลเมตรต่อวัน)

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนักศึกษา.....  
.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1.  พชรศักดิ์ อาลัย

50311308 : MAJOR : ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORDS : RETENTION PONDS/RECHARGING FLOOD INTO BANGKOK  
AQUIFERS/FEASIBILITY/MATHEMATICAL MODEL

MONTHON YONGPHRAWAT : FEASIBILITY OF USING RETENTION PONDS  
FOR RECHARGING FLOOD INTO BANGKOK AQUIFERS BASE MATHEMATICAL MODEL.

THESIS ADVISORS : ASST.PROF.RATTAPON ONCHANG, DR.TECHN., PHATCHARASAK  
ARLAI.DR.-ING., 99 pp.

Chao Phraya river basin is the prime economic area of Thailand which has encountered the flood inundation in every year. In the other hand, Bangkok aquifers system underneath the basin has faced the heavy depletion of groundwater level and salt-/seawater intrusion (Arlai, 2007) due to withdrawing groundwater greater than natural yield. The fundamental idea to remediate these problems is to divert floodwater in Chao Phraya river into the flood retention reservoir or so called "Kamling" in Thai. Under gravitational energy, partial floodwater retaining in the retention reservoir gravitationally percolate downward Bangkok aquifer system in order to augment freshwater into the aquifers system. The thesis focuses only to apply groundwater model for simulating recharge of floodwater into Bangkok aquifers system. Each flood retention reservoir will be cut until its bed intersects an aquifer layer and the flood retention reservoir locations are obtained from the study result of ADB in 2007. The flood retention reservoirs are embedded into the mathematical modeling by coupling the groundwater model-MODFLOW-96 for simulating the groundwater flow and Reservoir Module for simulating the interaction between water level in flood retention reservoirs and groundwater level in Bangkok Aquifers System. The coupling of two models aims to simulate the gravitational recharge through flood retention reservoirs and study the sensitivity of involved parameters of recharge for 3 study cases, i.e., the retention reservoirs locating at (a) the upstream-, downstream-, both upstream and downstream of Chao Phraya dam. The study unveils that water level in the flood retention reservoirs is the most sensitive parameter to recharge and locations of flood retention reservoirs at upstream and downstream of Chao Phraya Dam is the most effective study case in terms of highest recharging rate of 286,000 CMD, This recharge rate is equal to 25% of total daily extraction rate in Bangkok and it's vicinities. From the potential recharge study of each flood retention reservoir, it discloses that 5<sup>th</sup> location of flood retention reservoir - Amphoe Tawung, Lobburi is the most effective reservoir for gravitational recharge when it is compared with recharge volume ( $31.45 \times 10^{-6}$  per day) and area (1,170 Kilometers per day)

---

Department of Environmental Science Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2009

Student's signature .....

Thesis Advisors' signature 1. .... 2. ....

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ อาจารย์ผศ.ดร.รัฐพล อ้นแอ่ง อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยเหลือตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณ อาจารย์ดร.พัชรศักดิ์ อาลัย ที่กรุณาให้โอกาสเข้าร่วมทำงานวิจัย “การศึกษาการบรรเทาน้ำท่วมในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างแบบบูรณาการ โดยใช้แก้มลิง และการ เติมน้ำสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ” ตลอดจนให้คำปรึกษา คำแนะนำในการดำเนินงานต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.อรประภา ภูมมะกาญจนะ โรแบร์ ที่ให้คำแนะนำและให้ความคิดเห็น ในการดำเนินงานต่างๆ ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อมที่ให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกใน การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณนางสาว อัญชลี ไชยเนตรและ เพื่อนๆ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม รุ่นที่ 3 ที่ให้การสนับสนุน และเป็น กำลังใจให้ตลอดทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อวีระวัฒน์ และ คุณแม่ตรุณี ยงศ์ประวัติ ให้การสนับสนุนและ เป็นกำลังใจตลอดการมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่	
1    บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	2
สมมุติฐานของการศึกษา .....	2
ขอบเขตของการศึกษา.....	2
ขั้นตอนการศึกษา .....	3
ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2    เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของพื้นที่บริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา.....	5
สภาพภูมิประเทศบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง .....	5
ลักษณะภูมิอากาศ.....	6
ลักษณะธรณีวิทยา Geology .....	7
ลักษณะอุทกธรณีวิทยา .....	10
การเติมน้ำผิวดินตามธรรมชาติสู่หน้าใต้ดิน .....	12
วิกฤตของระดับน้ำบาดาล .....	13
โครงการแก้มลิง .....	18
ลักษณะและวิธีการของโครงการแก้มลิง .....	18
หลักการของแก้มลิง .....	18
พื้นที่แก้มลิงในประเทศไทย.....	19
การประยุกต์ใช้แก้มลิงเพื่อการเติมน้ำบาดาล .....	22
การศึกษาการเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล .....	26

บทที่	หน้า
การศึกษาการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล .....	29
การศึกษาการเติมน้ำบาดาลในต่างประเทศ .....	29
การศึกษาการเติมน้ำบาดาลในประเทศไทย .....	30
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ .....	32
การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผ่านมา .....	32
ทฤษฎีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ .....	35
แบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาล MODFLOW .....	35
ชุดการคำนวณ Reservoir Module .....	39
กรณีศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำบาดาลภายในประเทศ .....	41
แนวทางการพัฒนาการจำลองการไหลของน้ำบาดาล .....	43
ขั้นตอนพัฒนาแบบจำลอง .....	44
ข้อมูลที่สำคัญต่อการพัฒนาแบบจำลอง .....	45
การพัฒนากรอบความคิดของแบบจำลองน้ำบาดาล .....	47
กรอบความคิดของการเชื่อมโยงแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ .....	49
3 วิธีการดำเนินการศึกษา .....	50
4 ผลการศึกษา .....	63
ผลการออกแบบแบบจำลองของน้ำบาดาล .....	63
ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของน้ำบาดาล .....	65
ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์การไหลของน้ำบาดาล	
แบบไม่ผันแปรตามเวลา .....	66
ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์การไหลของน้ำบาดาล	
แบบผันแปรตามเวลา .....	69
ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำบาดาลเชื่อมกับแก้มลิง .....	73
ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการเติมน้ำเนื่องจากพารามิเตอร์ต่างๆ .....	75
ผลการศึกษาความอ่อนไหวของการเติมน้ำจากแก้มลิงเข้าสู่ระบบ	
ชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ .....	75
กรณีหลักที่ 1 มีแก้มลิงตั้งอยู่เหนือน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา .....	75
กรณีหลักที่ 2 มีแก้มลิงตั้งอยู่ท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา .....	77
กรณีหลักที่ 3 มีแก้มลิงตั้งอยู่เหนือ และท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา .....	79

บทที่	หน้า
ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในแก้มลิง และระดับน้ำบาดาล ....	81
กรณีหลักที่ 1 มีแก้มลิงตั้งอยู่เหนือน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา.....	81
กรณีหลักที่ 2 มีแก้มลิงตั้งอยู่ท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา .....	82
กรณีหลักที่ 3 มีแก้มลิงตั้งอยู่เหนือ และท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา .....	84
ผลปริมาณความจุของแก้มลิง.....	88
การคัดเลือกพื้นที่แก้มลิงที่เหมาะสมต่อการสร้างแก้มลิง .....	90
5   อภิปราย และวิจารณ์ .....	93
บรรณานุกรม .....	95
ประวัติผู้วิจัย .....	99

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ชุดการคำนวณในแบบจำลอง MODFLOW .....	38
2	การปรับแปรค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาความอ่อนไหว.....	52
3	ระดับน้ำเก็บกักสูงสุดของแก้มลิง .....	55
4	แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	60
5	อัตราการรั่วซึมของน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล ในกรณีที่ 1 .....	76
6	อัตราการรั่วซึมของน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล ในกรณีที่ 2 .....	79
7	อัตราการรั่วซึมของน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล ในกรณีที่ 3 .....	80
8	สรุปผลปริมาตรความจุ และศักยภาพของการเติมน้ำของแก้มลิงทั้ง 7 แห่ง .....	92

## สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะภูมิประเทศแบบสามมิติของพื้นที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง	6
2	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยสะสม .....	7
3	แผนที่ 3 มิติของธรณีวิทยาในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง .....	9
4	ภาพตัดขวางของชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพจากทิศเหนือไปยังทิศใต้ของชั้นน้ำบาดาล กรุงเทพมหานคร.....	12
5	ระดับน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาลนครหลวง (ม.รทก.) พ.ศ.2542.....	14
6	ระดับน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาลนนทบุรี (ม. รทก.) พ.ศ.2542 .....	14
7	แผนที่โซนการปนเปื้อนของน้ำเกลือ และน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ .....	15
8	การทรุดตัวของแผ่นดินกรุงเทพมหานครและปริมณฑล .....	16
9	อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในปี พ.ศ.2540 .....	17
10	ลักษณะและวิธีการของโครงการแก้มลิง .....	19
11	ตำแหน่งของแก้มลิงที่เสนอ โดย ADB ในปี 2549 .....	23
12	พื้นที่น้ำท่วมในปี พ.ศ. 2538.....	25
13	แผนที่ภูมิศาสตร์สารสนเทศของตำแหน่งของแก้มลิงในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ดิจิทัลจากการศึกษาของ ADB ลงบน ArcView GIS .....	26
14	กรอบแนวคิดในเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล.....	28
15	ระบบชั้นน้ำบาดาลสมมุติซึ่งถูกแบ่งเป็นเซลล์ย่อยสำหรับการใช้ Finite Difference คำนวณการไหลของน้ำบาดาล .....	37
16	เซลล์ i, j, k และ 6 เซลล์ที่ต่อกัน.....	37
17	การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของอ่างเก็บน้ำ .....	40
18	แสดงขั้นตอนมาตรฐานในการพัฒนาการจำลองทางคณิตศาสตร์ทั่วไป .....	46
19	กรอบความคิดของแบบจำลองน้ำบาดาลของระบบชั้นน้ำกรุงเทพ .....	48
20	กรอบแนวคิดในการเชื่อมโยงระหว่างแก้มลิง และชั้นน้ำบาดาลแบบอัดตัว.....	49
21	อาณาเขตพื้นที่แก้มลิงที่ 1.....	56
22	อาณาเขตพื้นที่แก้มลิงที่ 2.....	56
23	อาณาเขตพื้นที่แก้มลิงที่ 3.....	57
24	อาณาเขตพื้นที่แก้มลิงที่ 4 .....	58
25	อาณาเขตพื้นที่แก้มลิงที่ 5.....	59

ภาพที่		หน้า
26	อาณาเขตพื้นที่แก้มลิงที่ 6.....	60
27	อาณาเขตพื้นที่แก้มลิงที่ 7.....	61
28	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	62
29	ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์กริดในชั้นที่ 5 ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบชั้น น้ำบาดาลกรุงเทพฯ .....	64
30	ภาพ 3 มิติของไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์กริดของแบบจำลองน้ำบาดาลกรุงเทพฯ .....	64
31	ตำแหน่งของสถานีวัดระดับน้ำบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในชั้นที่ 3 (ก), 4 (ข) และ 5 (ค) .....	66
32	ค่าระดับน้ำที่วัดได้ เทียบกับค่าระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองของปี พ.ศ. 2542: สีฟ้าเส้นขอบเขตความเชื่อมั่นที่ประมาณ 95% .....	67
33	ค่า ME, MAE และ RMS ซึ่งได้มาจากการผันแปรค่า T และ $V_k$ เป็นเปอร์เซ็นต์ จากค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบของแบบจำลอง.....	68
34	แผนที่เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลผลการเปรียบเทียบของแบบจำลองในสภาวะการไหล แบบคงตัว (Steady State) .....	69
35	การพล็อตเปรียบเทียบเชิงคุณภาพของค่าระดับน้ำที่วัดได้ในสนาม กับค่าระดับน้ำ ที่ได้จากการคำนวณ โดยแบบจำลองในชั้นที่ 3 (ก) 4 (ข) และ 5 (ค) ปี พ.ศ. 2547-2550 .....	70
36	ภาพที่ 36 แผนที่เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลผลการเปรียบเทียบของแบบจำลองในสภาวะ การไหลผันแปรตามเวลา(Transient State)ในชั้นที่ 3 (ก) 4 (ข) และ 5 (ค) ปี พ.ศ. 2547-2550 .....	72
37	ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์กริดใหม่ของแบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาลเพื่อใช้ใน การเชื่อมโยงระหว่างแก้มลิง และระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ.....	74
38	การผันแปรของระดับน้ำในแก้มลิง สัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้ง ของท้องแก้มลิง และความหนาของท้องแก้มลิง เทียบกับอัตราการรั่ว.... ซึมของน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ ในกรณีที่ 1.....	76
39	การผันแปรของระดับน้ำในแก้มลิง สัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้ง ของท้องแก้มลิง และความหนาของท้องแก้มลิง เทียบกับอัตราการรั่ว.... ซึมของน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ ในกรณีที่ 2.....	78

ภาพที่	หน้า
40	การผันแปรของระดับน้ำในแก้มลิง สัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้ง ของท้องแก้มลิง และความหนาของท้องแก้มลิง เทียบกับอัตราการรั่วซึมของน้ำ จากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ ในกรณีที่ 3..... 80
41	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในแก้มลิงตำแหน่งที่ 7 และการเปลี่ยนแปลงของ ระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยในชั้นที่ 2 ถึง 5 ..... 81
42	ผลของระดับน้ำในแก้มลิงในกรณีที่มีแก้มลิงตั้งอยู่ทางด้านท้ายน้ำของเขื่อน เจ้าพระยา ที่มีผลต่อการฟื้นตัวของระดับน้ำเฉลี่ยในชั้นน้ำที่ 3 ถึง 5..... 82
43	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในแก้มลิงตำแหน่งที่ 1 ถึง 6 และการเปลี่ยนแปลง ของระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยในชั้นที่ 2 ถึง 5 ..... 83
44	ผลของระดับน้ำในแก้มลิงในกรณีที่มีแก้มลิงตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำ . ของเขื่อนเจ้าพระยา ที่มีผลต่อการฟื้นตัวของระดับน้ำเฉลี่ย ในชั้นน้ำที่ 3 ถึง 5 ..... 84
45	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในแก้มลิงตำแหน่งด้านเหนือ และท้ายน้ำของเขื่อน และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยในชั้นที่ 2 ถึง 5 ..... 85
46	ผลของระดับน้ำในแก้มลิงในกรณีที่มีแก้มลิงตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำของเขื่อน เจ้าพระยา ที่มีผลต่อการฟื้นตัวของระดับน้ำเฉลี่ยในชั้นน้ำที่ 3 ถึง 5..... 86
47	รูป 3 มิติของระดับน้ำในชั้นที่ 2 อันเนื่องมาจากระดับน้ำในแก้มลิงที่ค่าต่างๆ: ค่า ระดับน้ำในแก้มลิงมีค่าเท่ากับ -15 เมตร รทก. (ก) 5 เมตร รทก. (ข) และ 15 เมตร รทก. (ค) โดยวงกลมแสดงถึงตำแหน่งแก้มลิง 1 ถึง 7..... 86

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติขนาดใหญ่ ที่นับวันจะมีความสำคัญมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเป็นแหล่งน้ำหลักของลำน้ำต่างๆในช่วงฤดูแล้ง และในบางพื้นที่ที่แหล่งน้ำผิวดินไม่เพียงพอสามารถใช้แหล่งน้ำผิวดินเป็นแหล่งน้ำเสริม ซึ่งในสภาวะปัจจุบันบริเวณพื้นที่ภาคกลาง บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง มีอาณาเขตตั้งแต่จังหวัด นครสวรรค์ อุทัยธานี ชัยนาท สิงห์บุรี สุพรรณบุรี อ่างทอง พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี นนทบุรี สมุทรปราการ ลพบุรี และ กรุงเทพมหานคร จากการศึกษาในระบบชั้นน้ำบาดาลที่ผ่านมาพบว่า บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง มีระบบชั้นน้ำบาดาลทั้งหมด 9 ชั้น ได้แก่ ชั้นดินเหนียวกรุงเทพที่มีความลึกผันแปรจากผิวดินตั้งแต่ 15-30 เมตร ชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ (ความลึกประมาณ 50 เมตร) ชั้นน้ำบาดาลพระประแดง (ความลึกประมาณ 100 เมตร) ชั้นน้ำบาดาลนครหลวง (ความลึกประมาณ 150 เมตร) ชั้นน้ำบาดาลนนทบุรี (ความลึกประมาณ 200 เมตร) ชั้นน้ำบาดาลสามโคก (ความลึกประมาณ 250 เมตร) ชั้นน้ำบาดาลพญาไท (ความลึกประมาณ 350 เมตร) ชั้นน้ำบาดาลธนบุรี (ความลึกประมาณ 450 เมตร) และ ชั้นน้ำบาดาลปากน้ำ (ความลึกประมาณ 550 เมตร) ตามลำดับ (Arlai, 2007) ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดของประเทศ โดยเฉพาะในบริเวณเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล มีการขยายตัวของสังคมเมือง มีการเพิ่มของประชากรเพิ่มพื้นที่การเกษตร และมีการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นความต้องการน้ำบาดาลในพื้นที่จึงได้เพิ่มสูงขึ้น การนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเกินระดับของสมดุลของน้ำบาดาล โดยขาดการควบคุมและการจัดการที่เหมาะสม ทำให้เกิดผลกระทบต่างๆตามมา ตั้งแต่ในปี พ.ศ. 2502-2518 ได้เกิดปัญหาระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างรวดเร็ว คุณภาพน้ำเสื่อมลง และเกิดปัญหาแผ่นดินทรุดตัว นำมาซึ่งความเสียหายทางเศรษฐกิจอย่างมหาศาล ในปี 2525 จากรายงานกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในปี พ.ศ.2542 พบว่าระดับน้ำบาดาลสูงขึ้นจากเดิม (สมคิด บัวเพ็ง, 2542)

แนวทางการจัดการแก้ปัญหาในส่วนของน้ำผิวดินและระบบชลประทาน สามารถทำการวิเคราะห์วางแผนได้ โดยทราบปริมาณน้ำได้ชัดเจนพอสมควร เนื่องจากมีระบบเขื่อนและการชลประทานต้นน้ำอย่างเป็นระบบ ในทางกลับกันการจัดการแก้ปัญหาวิกฤตการณ์น้ำบาดาลนั้นทำ

ได้ยากเนื่องจากเป็นน้ำอยู่ใต้ดิน มีปัจจัยสลับซับซ้อนและผลกระทบต่างๆมากมาย ทำให้การประเมินศักยภาพ และการวางแผนการจัดการแหล่งน้ำบาดาล เป็นเรื่องที่ปฏิบัติได้ยาก ซึ่งในปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้แก้ปัญหาในประเทศไทยจะใช้วิธีสุบทดสอบและ ลดปริมาณการสูบน้ำในบริเวณที่เกิดปัญหา ส่งผลให้ปัญหานั้นเบาบางลง เกิดความสมดุลของปริมาณน้ำบาดาล แต่สามารถแก้ปัญหาได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ยังไม่สามารถเพิ่มระดับน้ำบาดาลให้มากขึ้น

ดังนั้นทางผู้ศึกษาจึงได้เสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหา โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) จำลองสภาพการไหลของระบบน้ำบาดาลกรุงเทพฯ และประเมินความเป็นไปได้ในการใช้พื้นที่แก้มลิงขนาดใหญ่ซึ่งถูกขุดให้ท้องของแก้มลิงติดกับชั้นน้ำบาดาล เพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อเพิ่มระดับน้ำบาดาลอย่างยั่งยืน

## 2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อพัฒนาและเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MODFLOW (Modular Three-Dimensional Groundwater Flow Model) ที่คำนวณการไหลในระบบน้ำบาดาลกรุงเทพฯ และผลของการเติมน้ำของแก้มลิง
2. เพื่อประยุกต์แบบจำลอง MODFLOW ในการประเมินความเป็นไปได้ของพื้นที่แก้มลิงในการพัฒนาเป็นอ่างเก็บน้ำเพื่อเติมน้ำ เข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ

## 3. สมมุติฐานของการศึกษา

1. ผลพัฒนาและเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MODFLOW (Modular Three-Dimensional Groundwater Flow Model) ที่คำนวณการไหลในระบบ น้ำบาดาลกรุงเทพฯมีค่าใกล้เคียง กับพฤติกรรมกรไหลของน้ำบาดาลในสภาพความเป็นจริง และสามารถให้ผลการเติมน้ำของแก้มลิง
2. ประยุกต์แบบจำลอง MODFLOW ในการประเมินความเป็นไปได้ของพื้นที่แก้มลิงในการพัฒนาเป็นอ่างเก็บน้ำเพื่อเติมน้ำ เข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ

## 4. ขอบเขตของการศึกษา

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาพื้นที่ที่เหมาะสมในการทำอ่างเก็บน้ำเพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ บริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง มีรายละเอียดดังนี้

1. การศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำบาดาลบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง เริ่มตั้งแต่ขอบเขตตามเส้นรุ้งจาก 13-28-00 ถึง 16-05-00 เส้นแวง จาก 99-32-00 ถึง 101-03-00 มีอาณาเขตตั้งแต่จังหวัด นครสวรรค์ อุทัยธานี ชัยนาท สิงห์บุรี สุพรรณบุรี อ่างทอง พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี นนทบุรี สมุทรปราการ ลพบุรี และ กรุงเทพมหานคร มีพื้นที่รับน้ำ 157,925 ตารางกิโลเมตร โดยคิดเป็น 30 % ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ

2. การศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำบาดาลบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง โดยทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง ให้ผลการคำนวณสอดคล้องกับค่าระดับน้ำที่วัดได้ ตั้งแต่ปี 2537 จนถึงปี 2550 ทั้งนี้ทำการเปรียบเทียบอยู่ 2 สภาวะคือ การเปรียบเทียบแบบไม่ผันแปรตามเวลา (Steady State Calibration) และการเปรียบเทียบแบบผันแปรตามเวลา (Transient Calibration)

3. การศึกษาสภาพการไหลของระบบน้ำบาดาลกรุงเทพฯ ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ “MODFLOW-96”(Modular Three-Dimensional Groundwater Flow Model) ศึกษาหาพื้นที่เหมาะสมกับการทำพื้นที่กักเก็บหรืออ่างเก็บน้ำ เพื่อเพิ่มปริมาณเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล และทำการคัดเลือกพื้นที่กักเก็บที่เหมาะสมที่สุด

4. การศึกษาความอ่อนไหวของการเติมน้ำจากกักเก็บเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 กรณีหลัก คือ กรณีหลักที่ 1 มีกักเก็บตั้งอยู่เหนือน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา กรณีหลักที่ 2 มีกักเก็บตั้งอยู่ที่ท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา และ กรณีหลักที่ 3 มีกักเก็บตั้งอยู่เหนือและท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา

## 5. ขั้นตอนการศึกษา

มีลำดับขั้นตอนการดำเนินการศึกษาดังนี้

1. กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย หาข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. กำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง (Model Boundaries)
3. กำหนดเงื่อนไขขอบเขตของพื้นที่ศึกษาในแต่ละชั้นของชั้นน้ำบาดาล (Boundaries of Aquifer Layers)
4. กำหนดระบบกริดเซลล์ (Discretization Grid)
5. การเปรียบเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) โดยดูจาก
  - (1) การสอบทานแบบจำลอง (Model Verification)
  - (2) การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง (Sensitivity Analysis)

## 6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลการปรับเทียบแบบจำลองน้ำบาดาลบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ตั้งแต่ปี 2537 จนถึงปี 2550 โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MODFLOW-96 และให้ผลของการเติมน้ำของแก้มลิง มีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง

2. ทราบพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเป็นพื้นที่ในการสร้างแก้มลิง เพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ แก้ปัญหาการลดต่ำลงของน้ำบาดาลบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

## บทที่ 2

### เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของพื้นที่บริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา

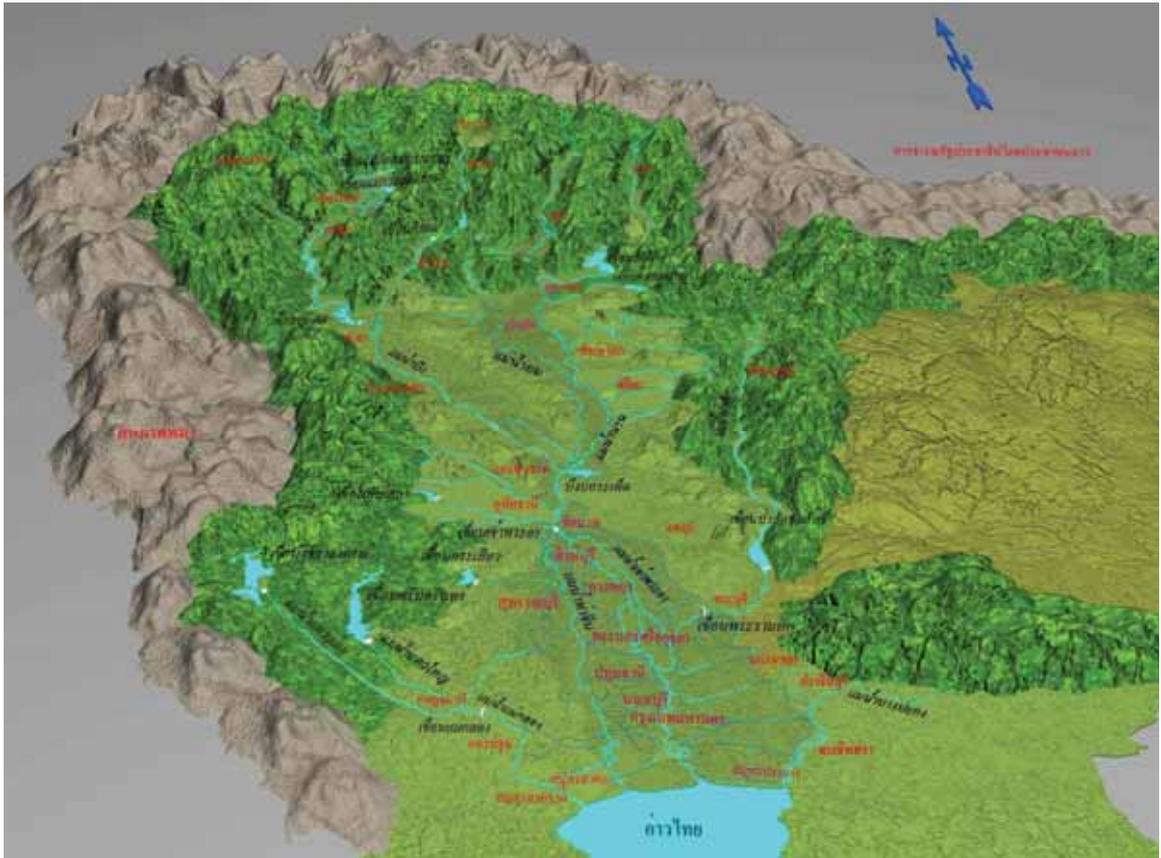
##### 1.1 สภาพภูมิประเทศบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

แม่น้ำเจ้าพระยา เป็นแม่น้ำสายใหญ่ที่สุดในประเทศไทยมีพื้นที่รับน้ำ 157,925 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 30 % ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ โดยลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างมี อาณาเขตตั้งแต่จังหวัด นครสวรรค์ อุทัยธานี ชัยนาท สิงห์บุรี สุพรรณบุรี อ่างทอง พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี นนทบุรี สมุทรปราการ ลพบุรี และกรุงเทพมหานคร มีขอบเขตตามเส้นรุ้งจาก 13-28-00 ถึง 16-05-00 เส้นแวง จาก 99-32-00 ถึง 101-03-00 ต้นกำเนิดของแม่น้ำเจ้าพระยาเกิดจากการบรรจบกันของแม่น้ำ 4 สาย คือแม่น้ำปิง วัง ยม และแม่น้ำน่าน โดยแม่น้ำปิง และแม่น้ำวัง ไหลมาบรรจบกันที่ อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก แม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน ไหลมาบรรจบกันที่ อำเภอ ชุมแสง จังหวัด นครสวรรค์ จากนั้นบรรจบกันเป็นแม่น้ำเจ้าพระยาที่บริเวณ อำเภอ ปากน้ำโพ จังหวัด นครสวรรค์ มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 20,125 ตารางกิโลเมตร

ระดับพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างมีลักษณะ เปลี่ยนแปลงมากโดยมีระดับตั้งแต่ +16.00 เมตร(ระดับน้ำทะเลกลาง)ที่บริเวณ จังหวัด ชัยนาท และลดระดับลงเรื่อยๆมีความลาดเท 1:7,000 ตั้งแต่ระดับ +10.00,+5.00 และ +2.00 เมตร(ระดับน้ำทะเลกลาง) ที่ จังหวัด สิงห์บุรี อ่างทอง และพระนครศรีอยุธยาตามลำดับ พื้นที่ทางใต้ของ จ.พระนครศรีอยุธยาลงมา มีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มต่ำ คิดเป็นความลาดเทของพื้นที่ประมาณ 1:25,000 มีระดับ +1.00 ที่ปทุมธานี ถึง +0.00 เมตร (ระดับน้ำทะเลกลาง) ที่ กรุงเทพมหานครไปถึงปากแม่น้ำ

แม่น้ำเจ้าพระยาไหลจากเหนือลงมาทางใต้ โดยมีแม่น้ำสะแกกรัง ไหลลงมาบรรจบที่บริเวณอำเภอบรรพตพิสัย และเมื่อไหลผ่านที่ราบบริเวณเขตติดต่อระหว่างจังหวัดนครสวรรค์ อุทัยธานี และจังหวัดชัยนาท โดยแยกสาขาออกเป็นแม่น้ำท่าจีนซึ่งไหลขนานกับแม่น้ำเจ้าพระยา ออกสู่อ่าวไทย ที่จังหวัดสมุทรสาคร และมีแม่น้ำน้อยแยกออกจากแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณอำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท ซึ่งแม่น้ำน้อยจะไหลกลับลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาที่อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ส่วนทางฝั่งตะวันออก แม่น้ำเจ้าพระยาจะแยกเป็นแม่น้ำลพบุรี บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี โดยแม่น้ำลพบุรีจะไหลไปบรรจบกับแม่น้ำป่าสักบริเวณอำเภออุทัย จังหวัด

พระนครศรีอยุธยา และแม่น้ำป่าสักจะไหลลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณจังหวัดพระนครศรีอยุธยา นอกจากนี้มีคลองบางแก้ว ซึ่งแยกออกจากแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณจังหวัดอ่างทอง แล้วไหลไปรวมกับแม่น้ำลพบุรีที่อำเภอมหาราช จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และแม่น้ำเจ้าพระยาไหลลงสู่อ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรปราการดังภาพที่ 1

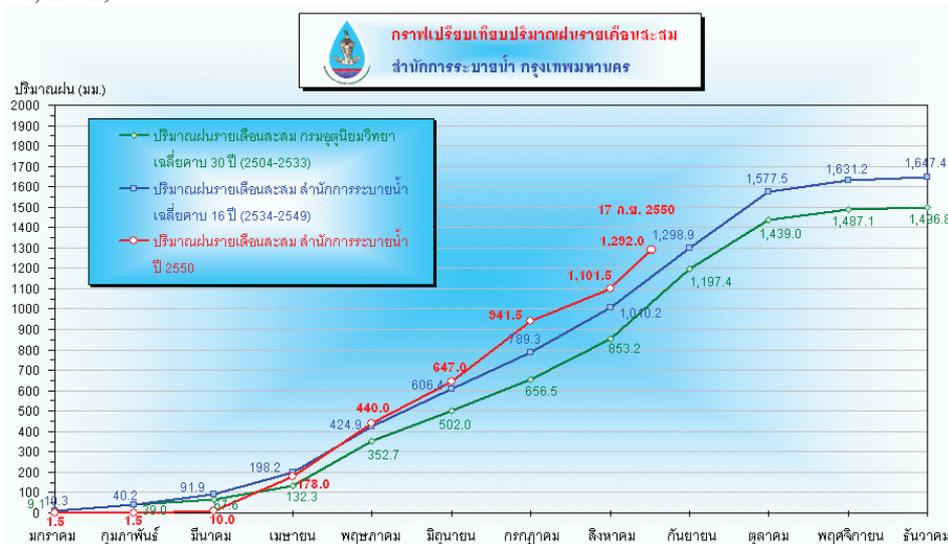


ภาพที่ 1 ลักษณะภูมิประเทศแบบสามมิติของพื้นที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง  
ที่มา: สำนักชลประทานที่ 12 (2551)

### 1.2 ลักษณะภูมิอากาศ

น้ำฝน ฝนตกในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างได้รับอิทธิพลโดยลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และใต้ฝุ่น ความถี่ของใต้ฝุ่นที่พัดผ่านประเทศไทยประมาณ 2 ลูกต่อปีโดยทั่วไปเกิดในเดือนพฤษภาคม ถึงธันวาคม ประมาณร้อยละ 85 ของน้ำฝนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และมีความเข้มของฝนตกสูงในช่วงเดือนกันยายนขณะที่ ในเดือนพฤษภาคมจนถึงเมษายนโดยทั่วไปเป็นฤดูแล้งปริมาณฝนตกเฉลี่ย 1,200 มิลลิเมตรต่อปี (วินัย เชาวิวัฒน์, 2542)

การระเหย ปริมาณการระเหยเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,080 มิลลิเมตร (Hirota, 2001) ปริมาณการระเหยสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนเมษายน ประมาณ 190 มิลลิเมตรเนื่องจากเป็นเดือนที่ร้อนที่สุดในประเทศไทยขณะที่ปริมาณการระเหยน้อยที่สุดในเดือนพฤศจิกายนประมาณ 126 มิลลิเมตร (วินัย เชาวิวัฒน์, 2542)



ภาพที่ 2 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยสะสม  
ที่มา: สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร (2550)

### 1.3 ลักษณะธรณีวิทยา Geology

ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างมีลักษณะทางธรณีวิทยา Kokusai Kogyo (1995) และ Gangopadhyay (1997) (ภาพที่ 3) ดังนี้ ภูเขา ตะพักลำน้ำระดับสูง ที่ราบ ตะพักลำน้ำระดับกลาง เนินตะกอนน้ำพาทั้งเก่าและใหม่ สามเหลี่ยมปากแม่น้ำ ที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึง และ ม่านกั้น แบ่งตามหลักทางธรณีวิทยาได้ดังนี้

ภูเขา (Mountain) มีส่วนประกอบหลักคือดินขาว และมีความลาดชันน้อย ในทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของที่ราบภูเขา มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือหินปูนยุค Paleozoic

ตะพักลำน้ำระดับสูง (High Terrace) เป็นพื้นที่ขรุขระมีความกว้างโดยประมาณ 40 กิโลเมตร ตั้งแต่ทิศเหนือไปยังทิศใต้ในเขตตะวันตกของพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง ระดับความสูงของชั้นเหล่านี้มีความผันแปรตั้งแต่ 30 เมตรถึง 150 เมตร Monadnocks (เนินเขาหรือภูเขาที่ยังอยู่เหนือผิวหน้าของที่ราบที่เกิดจากการชะกร่อน) ซึ่งประกอบด้วยหินในยุค Palaeozoic และ Mesozonic กระจายกระจายทั่วลานตะพักลำน้ำระดับสูง ดินซึ่งอยู่ในลานตะพักลำน้ำระดับสูง ประกอบด้วยดิน Laterite ทรายเลนและทรายขนาดใหญ่อันเกิดขึ้นในยุค Pliocene ถึงยุค Pliocene ตอนต้น

ตะพักลำนํ้าระดับกลาง (Middle Terrace) อยู่ในพื้นที่แคบๆระหว่างลานตะพักลำนํ้าระดับสูงและที่ราบ และระดับความสูงมีตั้งแต่ 3 เมตรถึง 40 เมตร ตะพักลำนํ้าระดับกลางมีส่วนประกอบที่สำคัญคือดินเหนียว ทราย และกรวด ถูกแทรกด้วย Laterite ในที่ตกตะกอนทับถมในยุค Pleistocene ช่วงกลาง

พื้นที่ราบ (Peneplain) ตั้งอยู่ในตะวันออกของแม่น้ำบางปะกง (ในทิศตะวันออกของที่ราบลุ่ม) มีระดับพื้นแปรจาก 10 เมตร ถึง 100 เมตร Peneplain ประกอบด้วย Laterite และหินแกรนิต (Weathered Granite) ที่ตกตะกอนและครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ยุคตอนต้นของ Pleistocene ไปยังยุค Pliocene Age

เนินตะกอนน้ำพารูปพัดเก่า (Old Alluvial Fan) ตั้งอยู่ในทิศตะวันตกของพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง มีชื่อว่าเนินตะกอนรูปพัดหนองช้าง (ระดับความสูง จาก 20 เมตรถึง 100 เมตร) และเนินตะกอนรูปพัดดอนเจดีย์ในทิศตะวันออก (มีระดับความสูง จาก 5 เมตรถึง 45 เมตร) เนินตะกอนอีกอันหนึ่งคือ เนินตะกอนป่าสัก (ระดับความสูง จาก 5 เมตรถึง 40 เมตร ) ดินประกอบไปด้วยดินเหนียว ทรายเลน และกรวด ซึ่งถูกแทรกด้วย Laterite อยู่ในช่วงกลางของยุค Pleistocene

เนินตะกอนน้ำพารูปพัดใหม่ (Young Alluvial Fan) เนินตะกอนรูปพัดใหม่ตั้งอยู่ในทิศตะวันตกพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง และเนินตะกอนน้ำพารูปพัดใหม่ มีความชันลาดเอียงไปทางทิศตะวันออก ประกอบด้วยเนินตะกอนแม่กลอง (ระดับความสูงอย่างช้าๆ จาก 5 เมตรถึง 20 เมตร) ที่มีการตกตะกอนทับถมค่อนข้างหนาโดยมีความหนามากกว่า 80 เมตร และส่วนประกอบหลัก คือ ทราย ดินเหนียว และดินคอนสามเหลี่ยมรูปพัดเกิดขึ้นในช่วงกลางจนถึงปลายของยุคพลีสโตซีน (Pleistocene)

สามเหลี่ยมปากแม่น้ำ (Delta) ที่เกิดขึ้นจากการไหลพัดพาของแม่น้ำเจ้าพระยาสามารถแบ่งเขตภูมิศาสตร์ได้ 2 พื้นที่ ดังนี้

(1) สามเหลี่ยมปากแม่น้ำของเขตตะกอนแม่น้ำ (Delta of Alluvial Sediments) ในทิศเหนือของกลุ่มแม่น้ำ มีความกว้างประมาณ 60 กิโลเมตร และความยาว 80 กิโลเมตร มีความสูงพื้นแปรตั้งแต่ 6 เมตรถึง 18 เมตร และเอียงไปทางทิศใต้ประมาณ 3 องศา ตะกอนประกอบด้วย ดินเลน และดินร่วนปนทรายที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญคือ Pisolitic และ Iron Oxide ดินที่เกิดขึ้นในยุคพลีสโตซีน (Pleistocene) ที่เกิดขึ้นในทะเลตื้น และเป็นลักษณะสิ่งแวดล้อมสามเหลี่ยมปากแม่น้ำของระดับทะเลลึก (ระดับ Monastirian 8 เมตร ถึง 15 เมตร ระดับน้ำทะเลกลาง) และอาจจะเชื่อมต่อกับชั้นน้ำบาดาล ที่มีความลึก 60 เมตร

(2) สามเหลี่ยมปากแม่น้ำของเขตตะกอนน้ำกร่อย (Delta of Brackish Sediments) มีขอบเขตไปทิศทางเหนือของจังหวัดอยุธยา มีระดับพื้นดินแปรจาก 4 เมตร ถึง 12 เมตร และลาด

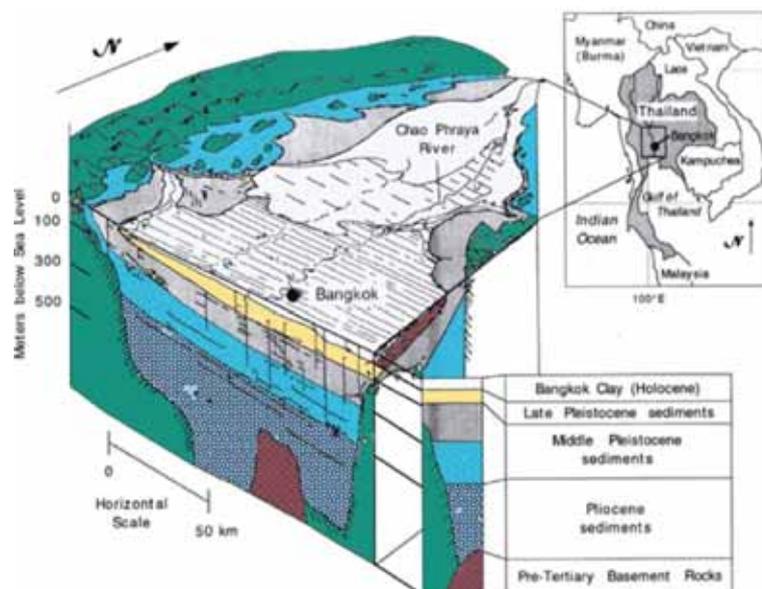
เอียงท่ามุม 3 องศาไปยังทิศใต้ การตกทับถมของสามเหลี่ยมปากแม่น้ำนี้ เกิดในช่วง ของยุคพาลีสโตซีนตอนปลาย และมีส่วนประกอบหลักคือดินเหนียวสีดำหรือสีเทา ที่ประกอบไปด้วยแร่ธาตุหลักคือ แมงกานีส และเหล็กที่มี Pisolitic กลม สามเหลี่ยมปากแม่น้ำบริเวณนี้อาจเชื่อมโยงกับชั้นดินเหนียวแข็งกรุงเทพ

ที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึง (Tidal Flat) บริเวณที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึงสามารถแบ่งคำจำกัดความได้ คือ

(1) ที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึงของดินกร่อย ที่วางตัวไปในทิศใต้ของที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างมีความกว้าง 120 กิโลเมตร และความยาว 80 กิโลเมตร และมีระดับความสูงผันแปรตั้งแต่ 2 เมตร ถึง 3 เมตร ที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึงประกอบด้วย ดินเหนียวที่สีเข้มหรือสีดำ ซึ่งมีซากเปลือกหอยและปูเป็นส่วนประกอบ และมีความหนา 2 เมตร ถึง 3 เมตรในจังหวัดอยุธยา และ 20 เมตรในกรุงเทพมหานคร ที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึงนี้อาจเชื่อมต่อกับชั้นดินเหนียวอ่อนที่กรุงเทพมหานคร

(2) ที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึงของดินทะเล วางตัวตามแนวชายฝั่ง มีระดับผันแปรจาก 0 เมตร ถึง 3 เมตร และมีดินเป็นส่วนประกอบคือ ดินเหนียวสีดำสนิม/สีดำหรือสีน้ำตาล/สีฟ้า ซึ่งที่ราบลุ่มมีการเชื่อมต่อกับส่วนของดินเหนียวกรุงเทพมหานครส่วนบน (ดินเหนียวอ่อน)

Barrier ถูกวางตัวตามเขตแดนทิศใต้และตะวันออกเฉียงใต้ ของที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างมีการผันแปรระดับพื้นดินจาก 1 เมตรถึง 3 เมตร และส่วนประกอบหลักคือชั้นส่วนของเปลือกหอย กำเนิดในยุค Holocene ที่มีระดับน้ำทะเลมีการหยุดนิ่งชั่วคราวระหว่างการลดลงของระดับน้ำทะเล จาก Maximum Transgression



ภาพที่ 3 แผนที่ 3 มิติของธรณีวิทยาในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

ที่มา: Arlai (2007)

#### 1.4 ลักษณะอุทกธรณีวิทยา

น้ำใต้ดิน – น้ำบาดาล – น้ำในดิน ตามความหมายของพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน ปี พ.ศ. 2525 อธิบายความหมายของ “น้ำบาดาล” ไว้ว่า น้ำฝน ที่ตกลงมาสู่พื้นดินแล้วไหลซึมไปรวมอยู่บาดาล จากนั้นในปี พ.ศ. 2530 พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน ได้เพิ่มเติมความหมายของคำว่า “น้ำบาดาล” ว่า หมายถึงน้ำบาดาลที่อยู่ใต้หินชั้นล่าง

เจริญ เชื้อมไธสง (2522) และ เจริญ เพียรเจริญ (2540) นิยามว่า น้ำบาดาล คือน้ำที่ไหลซึมลงไปบาดาลถูกกักเก็บไว้ทั้งในดินและในหิน น้ำในดิน คือน้ำที่ซึมซาบอยู่ในดิน ลึกเท่าที่รากไม้หยั่งลงไปถึง มีประโยชน์โดยตรงสำหรับการเกษตรและการยังชีพของพืช (Soil Water) ส่วนน้ำบาดาล หมายถึง น้ำบาดาลที่เหลือนอกจากดินที่ดูดอมไว้แล้วไหลซึมลึกลงไปอีกเป็นช่วงๆ และช่วงสุดท้ายถูกกักเก็บไว้ในช่องว่างทุกชนิดในเนื้อหินหรือชั้นหินจนกระทั่งอิ่มตัวด้วยน้ำ

การศึกษาที่ผ่านมาทางธรณีวิทยาโดย Kokusai Kogyo (1995) และ Gangopadhyay (1997) สรุปได้ว่า กรุงเทพฯ และอำเภอพุทธมณฑล วางตัวอยู่เหนือชั้นดินเหนียว หรือ ดินทะเลสีเทา ถูกเรียกว่า ดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok Clay) มีความหนา 15 เมตร ถึง 30 เมตร ภายใต้อินดินเหนียวนี้พบว่ามีชั้นตะกอนทรายและกรวดซึ่งมีความหนาประมาณเท่ากับ 400 เมตรถึง 1,800 เมตร จากข้อมูลหลุมเจาะของบ่อบาดาล พบว่า ชั้นดินใต้วางกรุงเทพฯ และอำเภอพุทธมณฑล สามารถแบ่งเป็น 1 ชั้นดินเหนียวและ 8 ชั้นน้ำบาดาล (Aquifer) โดยชั้นสุดท้ายมีความลึกประมาณ 550 เมตร จากผิวดิน ชั้นน้ำบาดาลเหล่านี้ประกอบไปด้วยทรายและกรวด ซึ่งถูกแทรกด้วยชั้นดินเหนียวหรือชั้นดินเหนียวบางๆ (ภาพที่ 3)

(1) **ชั้นดินเหนียวกรุงเทพ** ที่มีความผันแปรตั้งแต่ 15 – 30 เมตร ถูกแบ่งได้ 2 ชั้น คือ ชั้นบน คือดินเหนียวอ่อน และ ชั้นล่างเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง โดยดินเหนียวอ่อน จะมีความอ่อนมาก มีสีดำ และส่วนประกอบเดิมของมันมีเกลือที่เป็นส่วนประกอบของเปลือกหอยที่แทรกตัวกับทรายละเอียด ตามแม่น้ำเจ้าพระยา อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่เกิดจากน้ำท่วมจะพบตะกอนทราย และอีกด้านหนึ่ง พบดินแข็งมีส่วนประกอบคือ ดินเลนทรายสีน้ำตาล และดินเหนียว

(2) **ชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ** (ความลึก 50 เมตร) ความหนาของชั้นน้ำบาดาลนี้ ผันแปรจาก 20-60 เมตรประกอบไปด้วย ทรายหยาบ กรวด และก้อนกรวด ซึ่งถูกแทรกโดย ดินเหนียวสีดำ หรือน้ำตาลบางๆ และน้ำบาดาลในชั้นนี้ถูกปนเปื้อนด้วยน้ำเกลือตั้งแต่ยุค Transgression จากการรั่วซึมในแนวตั้งจากชั้นดินเหนียวกรุงเทพ เนื่องจากผลอันนี้ น้ำในชั้นน้ำบาดาลนี้จึงมีคุณภาพต่ำ และมีรสชาดกร่อยถึงเค็ม โดยปกติแล้วน้ำในชั้นนี้ไม่สามารถนำมาใช้สำหรับการอุปโภคบริโภคได้

(3) **ชั้นน้ำบาดาลพระประแดง** (ความลึก 100 เมตร) ถูกแยกจากชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ โดยมีดินเหนียวแข็งแทรก ชั้นน้ำบาดาลประกอบด้วย กรวดสีน้ำตาลอ่อน มีเมล็ดกลมและมีการ

เรียงตัวของขนาดเป็นอย่างดี แต่ว่ามันถูกแทรกโดยเศษไม้และเศษพืชในส่วนล่างของชั้นน้ำบาดาล นอกจากนี้จะมีชั้นดินเหนียวบางๆ แทรกอยู่ระหว่างชั้นน้ำบาดาล ชั้นน้ำบาดาลพระประแดง เป็นชั้นที่ให้น้ำบาดาลเป็นอย่างดี โดยปกติแล้วสามารถสูบน้ำขึ้นมาใช้ได้ประมาณ 50-100 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงแต่ว่าคุณภาพของน้ำบาดาลกร่อยถึงค่อนข้างเค็มยกเว้นในพื้นที่ตอนใต้ และตะวันตกเฉียงใต้ของกรุงเทพ น้ำบาดาลมีรสจืด อย่างไรก็ตามปัจจุบันน้ำบาดาลในพื้นที่เหล่านั้นถูกปนเปื้อนโดยการรุกรานของน้ำเค็ม และน้ำมีรสชาตกร่อย หรือเค็มแล้ว

(4) **ชั้นน้ำบาดาลนครหลวง** (ความลึก 150 เมตร) ชั้นน้ำบาดาลนี้ประกอบไปด้วยกรวดและทรายมีการเรียงตัวที่ดีมาก โดยถูกแทรกโดยชั้นดินเหนียวสีแกมขาว สีเหลืองหรือสีน้ำตาลแกมเทา ชั้นน้ำบาดาลชั้นนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้เป็นจำนวนมาก โดยทั่วไปบ่อบาดาลสามารถสูบน้ำได้ที่อัตรา 100 – 250 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีคุณภาพน้ำดีมากยกเว้นในทิศตะวันตก ทิศใต้ และ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ของกรุงเทพซึ่งน้ำมีรสเค็ม

(5) **ชั้นน้ำบาดาลนนทบุรี** (ความลึก 200 เมตร) คุณลักษณะทั่วไปของชั้นน้ำบาดาลนี้เหมือนกับชั้นน้ำบาดาลนครหลวง ซึ่งประกอบด้วยทราย และกรวดที่ถูกแทรกโดยชั้นดินเหนียวปนทรายบางๆระหว่างดินทราย น้ำบาดาลในชั้นนี้เป็นชั้นที่ให้น้ำบาดาลมากที่สุด คุณภาพน้ำบาดาลดีมาก ก่อนปี 2518 มีการเจาะบ่อบาดาลถึงชั้นนี้น้อยมาก แต่หลังจากมีการการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในชั้นน้ำบาดาลนครหลวง บ่อน้ำบาดาลจำนวนมากถูกพัฒนาขึ้นในชั้นน้ำบาดาลนนทบุรี เป็นผลให้น้ำเกลือรุกรานลงสู่น้ำบาดาลในชั้นนี้มากขึ้น

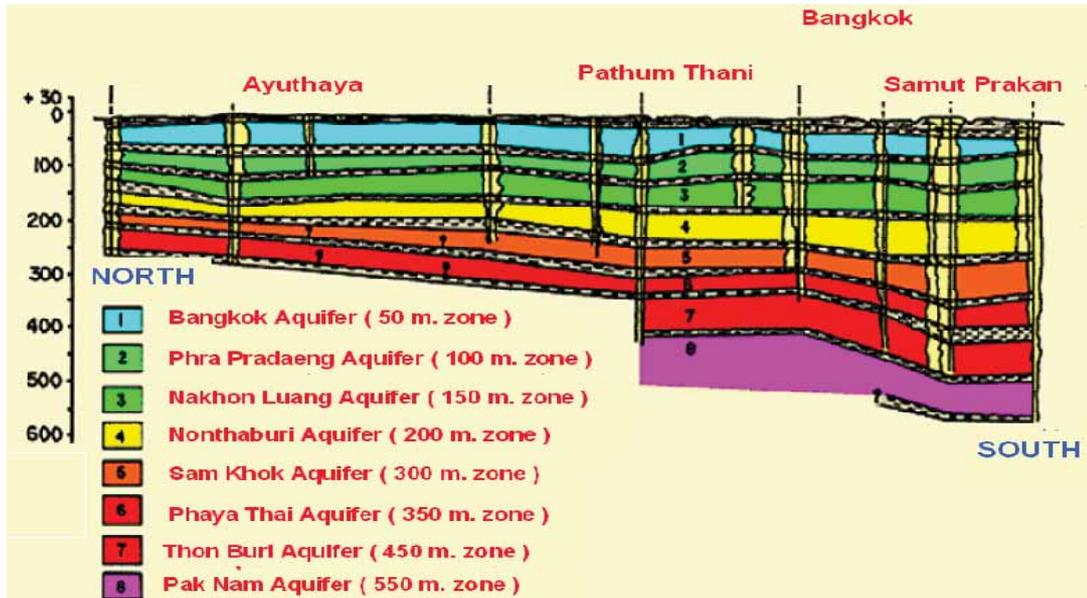
(6) **ชั้นน้ำบาดาลสามโคก** (ความลึก 250 เมตร) ชั้นน้ำบาดาลนี้ประกอบด้วยของกรวด ทรายและดินเหนียวมีสีเหลืองหรือน้ำตาลเข้ม และถูกแทรกโดยดินเหนียวบางๆ ความสามารถในการให้น้ำบาดาลในชั้นนี้น้อยกว่าของชั้นน้ำบาดาลนครหลวง และนนทบุรี แต่มีคุณภาพน้ำที่ดี

(7) **ชั้นน้ำบาดาลพญาไท** (ความลึก 350 เมตร) ชั้นน้ำบาดาลนี้ประกอบด้วยทรายกรวด ซึ่งมีการเรียงตัวของขนาดดีพอใช้ถึงแย และถูกแทรกโดยชั้นดินเหนียวบางสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลเข้ม บ่อน้ำบาดาลส่วนใหญ่ซึ่งตั้งอยู่ตอนกลาง และตอนใต้ของกรุงเทพ ให้น้ำบาดาลกร่อยถึงเค็ม ขณะที่พื้นที่อื่นๆในตอนเหนือของพื้นที่กรุงเทพ ผลผลิตเป็นน้ำจืด เพราะ ว่า ชั้นนี้มีความลึกมากจึงมีการพัฒนาบ่อน้ำบาดาลในชั้นนี้น้อย

(8) **ชั้นน้ำบาดาลธนบุรี** (ความลึก 450 เมตร) ถูกแยกจากชั้นบนโดยดินเหนียวแข็งและอัดตัวแน่น ชั้นน้ำบาดาลนี้ประกอบด้วย ทราย กรวด และถูกแทรกด้วยดินเหนียวบางๆ น้ำบาดาลโดยทั่วไปในชั้นนี้มีรสจืด แต่ในพื้นที่ตะวันตกเฉียงใต้ของกรุงเทพมีรสกร่อยเล็กน้อย

(9) **ชั้นน้ำบาดาลปากน้ำ** (ความลึก 550 เมตร) ถูกแยกจากชั้นน้ำข้างบนโดย ดินเหนียวที่สามารถรั่วซึมได้ และชั้นดินเหนียวปนทราย ชั้นน้ำบาดาลปากน้ำประกอบด้วย กรวดทราย และ

ถูกแทรกโดยชั้นดินเหนียวบางระหว่างกลาง คุณภาพน้ำบาดาลในชั้นนี้มีคุณภาพดี และให้ปริมาณน้ำบาดาลมาก แต่น้ำมีอุณหภูมิประมาณ 43 องศาเซลเซียส ถึงอย่างไรก็ตาม เนื่องจากชั้นน้ำบาดาลนี้อยู่ลึกมากดังนั้นจึงมีการพัฒนาบ่อน้ำบาดาลน้อยยกเว้นในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลในชั้นข้างบน และไม่สามารถใช้น้ำบาดาลในชั้นเหล่านั้นได้ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาบ่อน้ำบาดาลในชั้นน้ำบาดาลนี้ เช่น ในเขตอุตสาหกรรมหลักสมุทรปราการ



ภาพที่ 4 ภาพตัดขวางของชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพจากทิศเหนือไปยังทิศใต้ของชั้นน้ำบาดาล กรุงเทพมหานคร  
ที่มา: Arlai (2007)

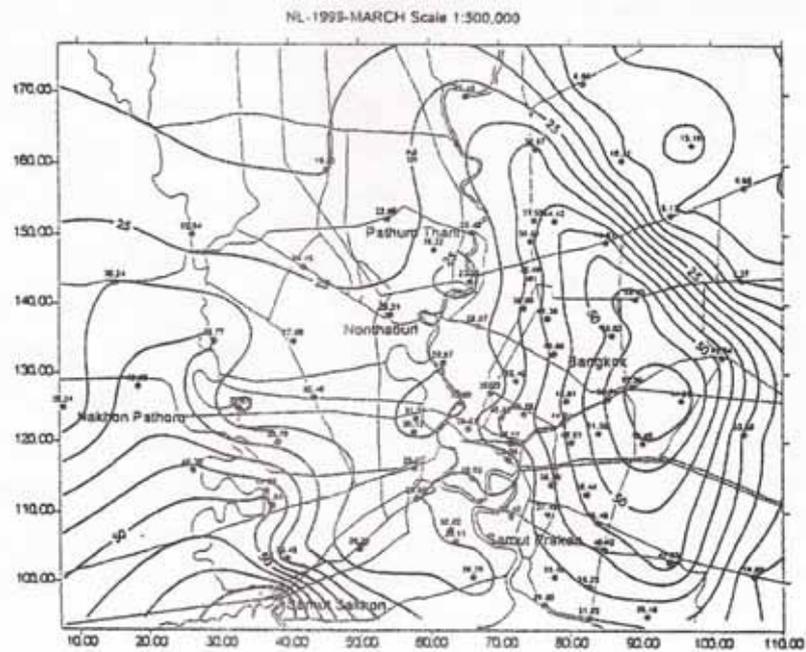
### 1.5 การเติมน้ำผิวดินตามธรรมชาติสู่ชั้นน้ำบาดาล

จากลักษณะของพื้นที่และชั้นดินตกตะกอน การเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลเกิดจากภูเขา เนินเขา ซึ่งตั้งอยู่ในขอบทิศตะวันตกและตะวันออกของที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ขณะที่การเติมน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยามีปริมาณน้อยมากเนื่องจากดินตะกอนส่วนใหญ่ตามแม่น้ำเป็นวัสดุละเอียดและถูกแทรกโดยชั้นดินเหนียวแข็ง นอกจากนี้ ชั้นดินเหนียวกรุงเทพค่อนข้างจะหนาดังนั้นมันสามารถกล่าวได้ว่าการเติมน้ำจากผิวดิน จากผลการศึกษาของ Sandford and Buapeng (1996) ได้ทำการศึกษาไอโซโทปของน้ำบาดาลและ กำหนดแบบย้อนกลับโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์พบว่าน้ำบาดาลเกิดขึ้นในยุค 10,000 และ 30,000 ปีที่ผ่านมา โดยนั้นสามารถแปลความหมายได้ว่าการเติมน้ำภายในที่ราบมีปริมาณน้อยมากหรือการหมุนเวียนน้ำบาดาลค่อนข้างช้าในระบบชั้นน้ำบาดาล

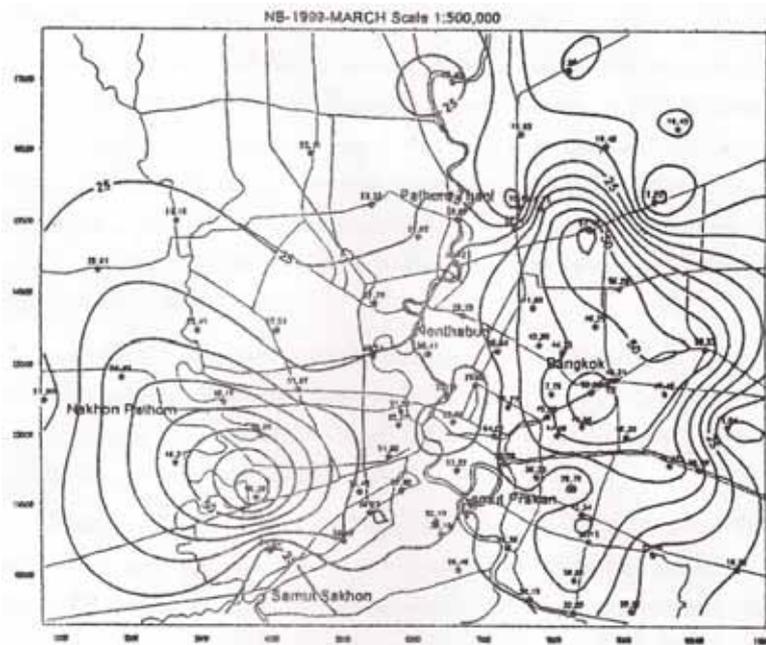
## 1.6 วิกฤตของระดับน้ำบาดาล

### (1) ระดับน้ำบาดาล

น้ำบาดาล นับวันจะมีความสำคัญมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพราะมีความต้องการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ ซึ่งได้แก่ อุปโภค บริโภค อุตสาหกรรมและเกษตรกรรม เพิ่มมากขึ้นในทุกๆปี จึงได้มีการพัฒนาน้ำบาดาลขึ้นมาใช้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่หาน้ำผิวดินได้ยาก ซึ่งในพื้นที่ภาคกลาง บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพฯ และจังหวัดปทุมธานี ได้มีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากทำให้ในบริเวณใจกลางกรุงเทพฯ ตั้งแต่ในปี พ.ศ. 2502-2518 มีระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างรวดเร็ว โดยระดับน้ำบาดาลลดลงถึง 30 เมตรจากผิวดิน และในบริเวณชานเมืองเฉลี่ยถึง 25-26 เมตรจากผิวดิน แต่บางแห่งถึง 30 เมตร จากผิวดินในปี พ.ศ. 2522 ระดับน้ำได้ลดสูงสุดถึง 49 เมตรจากผิวดิน และในปี พ.ศ.2525 บริเวณหัวหมาก ถนนพัฒนาการ-ลาดพร้าว ระดับน้ำลดลงสูงสุดถึง 53 เมตร จึงได้มีการมาตรการป้องกันและแก้ไขวิกฤตการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดเกิดขึ้น โดยมีมาตรการลดปริมาณการสูบน้ำบาดาลในเขตใจกลางกรุงเทพฯ ส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลสูงขึ้น ในปี พ.ศ.2542 บริเวณใจกลางกรุงเทพฯ ระดับน้ำอยู่ลึกจากผิวดิน 30-35 เมตร ส่วนบริเวณชานเมืองด้านตะวันออก ระดับน้ำยังคงลดต่ำลง เนื่องจากยังมีการใช้น้ำบาดาลอยู่ปริมาณมาก โดยเฉพาะในเขตมีนบุรี ลาดกระบัง หนองจอก กรุงเทพมหานคร และเขตบางพลี บางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ โดยระดับน้ำบาดาลในชั้นน้ำนครหลวงอยู่ลึกมากกว่า 60 เมตร (ภาพที่ 4) และอำเภอเมืองและอำเภอกระทุ่มแบนจังหวัดสมุทรสาคร ระดับน้ำลดลงมากถึงมากกว่า 70 เมตร ระดับน้ำบาดาลในชั้นน้ำนนทบุรี (ภาพที่ 5) ซึ่งเป็นระดับน้ำต่ำสุดอยู่บริเวณด้านตะวันออกของกทม. ที่ระดับ 50-55 เมตร และใน อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาครอยู่ที่ระดับลึกมากกว่า 60 เมตร การลดความลึกของระดับน้ำบาดาลมีผลทำให้มีผลต่อค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ (สมคิด บัวเพ็ง, 2542)



ภาพที่ 5 ระดับน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาลนครหลวง (เมตร ระดับน้ำทะเลกลาง) พ.ศ.2542  
ที่มา: สมคิด บังเฟิ่ง (2542)

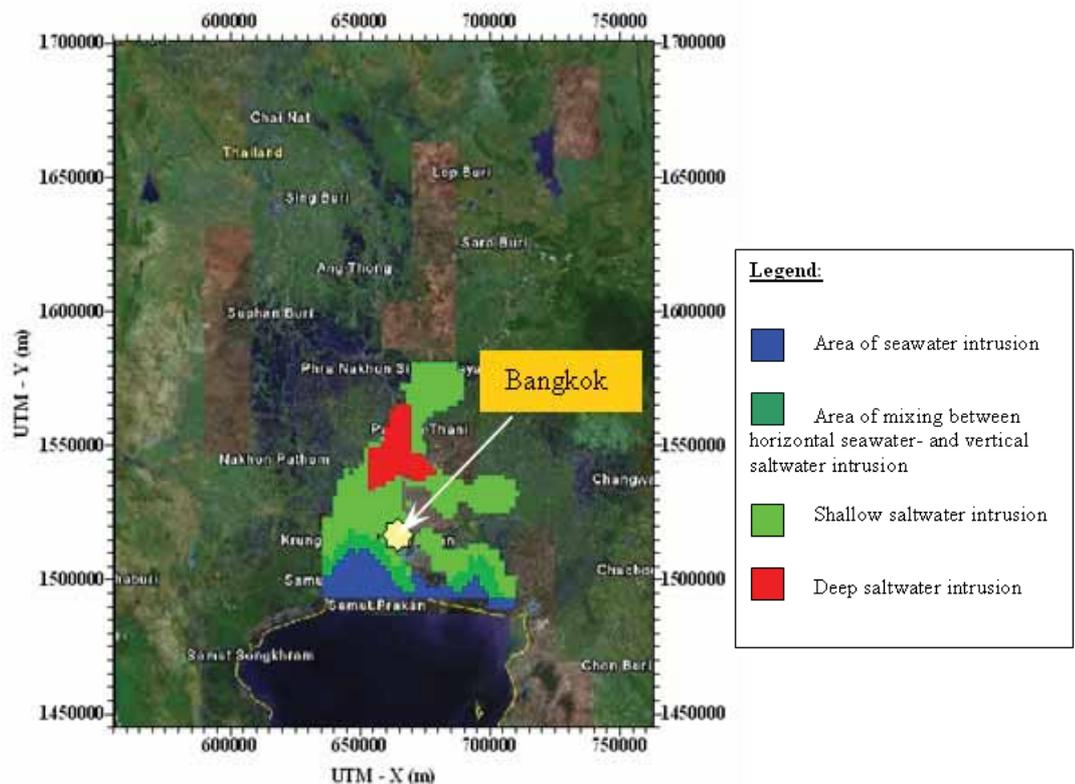


ภาพที่ 6 ระดับน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาลนนทบุรี (เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง) พ.ศ.2542  
ที่มา: สมคิด บังเฟิ่ง (2542)

## (2) การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำบาดาล

โดยปกติ การใช้น้ำบาดาลจะเลือกใช้น้ำบริเวณที่มีแหล่งน้ำบาดาลที่ให้คุณภาพน้ำจืด หากไม่มีแหล่งน้ำจืด จะใช้น้ำเฉพาะบริเวณที่มีน้ำกร่อยหรือเค็มน้อยที่สุด การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้มีสาเหตุมาจากการที่ได้สูบน้ำจืดออกมามากใช้มากจนระดับน้ำและแรงดันในชั้นน้ำลดลง น้ำเค็มซึ่งอยู่ในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ จึงได้ไหลซึมลงมาปนเป็นอน้ำจืดในชั้นน้ำบาดาลชั้นล่าง นอกจากนั้น น้ำเค็มในอ่าวไทยยังได้รุกเข้ามาสู่ชั้นน้ำจืดของระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ

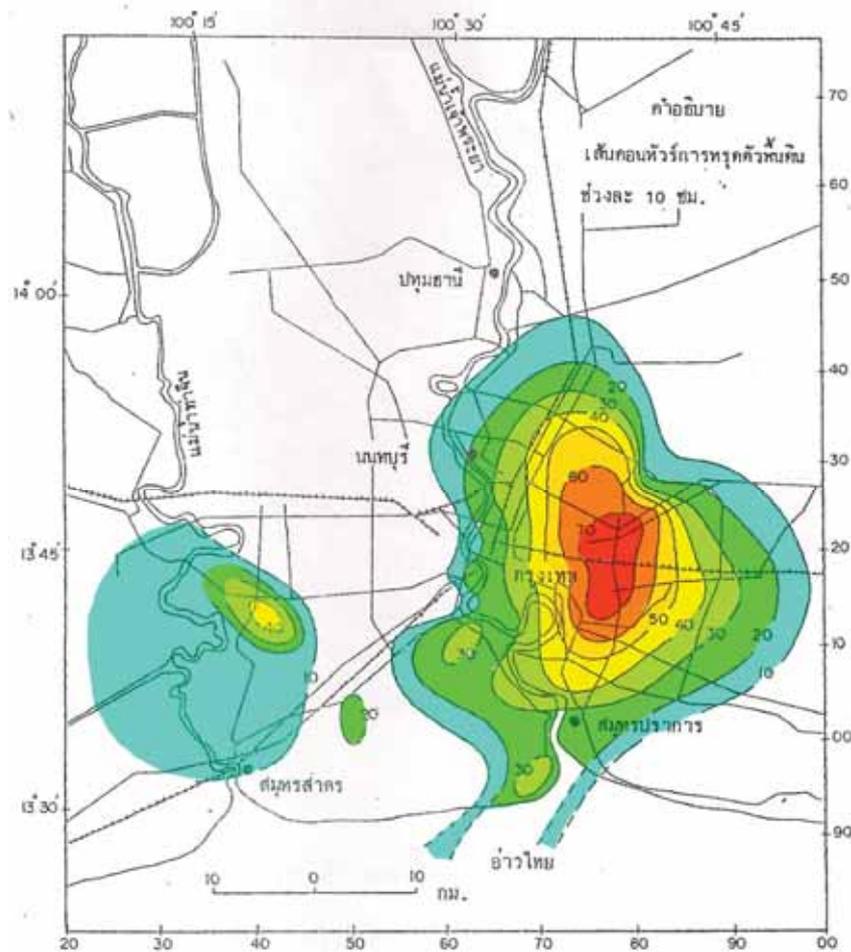
Arlai (2007) พบว่าแหล่งน้ำเค็มหลักที่มาปนเป็นอน้ำบาดาลกรุงเทพฯ คือ การรั่วซึมในแนวตั้งของน้ำเกลือที่มาจากชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ และการรุกคืบของน้ำทะเลจากอ่าวไทย โดยการรั่วซึมในแนวตั้งของน้ำเกลือที่มาจากชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ เป็นสาเหตุ นอกจากนั้นมีการแบ่งโดยใช้การปนเปื้อนของน้ำเค็มออกเป็น 4 โซน โซนที่ 1 (ภาพที่ 7 สีน้ำเงิน) พื้นที่ที่น้ำบาดาลถูกปนเปื้อนโดยการรุกคืบของน้ำเค็ม โซนที่ 2 (ภาพที่ 7 สีเขียวเข้ม) พื้นที่ที่น้ำบาดาลถูกปนเปื้อนมาจาก 2 แหล่ง โซนที่ 3 (ภาพที่ 7 สีเขียวอ่อน) พื้นที่ที่ถูกปนเปื้อนจากการรั่วซึมของน้ำเกลือในแนวตั้งจากชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ถึงชั้นน้ำบาดาลพระประแดง โซนที่ 4 (ภาพที่ 7 สีแดง) พื้นที่ที่ถูกปนเปื้อนจากการรั่วซึมของน้ำเกลือในแนวตั้งจากชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ถึงชั้นน้ำบาดาลนนทบุรี



ภาพที่ 7 แผนที่โซนการปนเปื้อนของน้ำเกลือ และน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ  
ที่มา: Arlai (2007)

### (3) แผ่นดินทรุดตัว

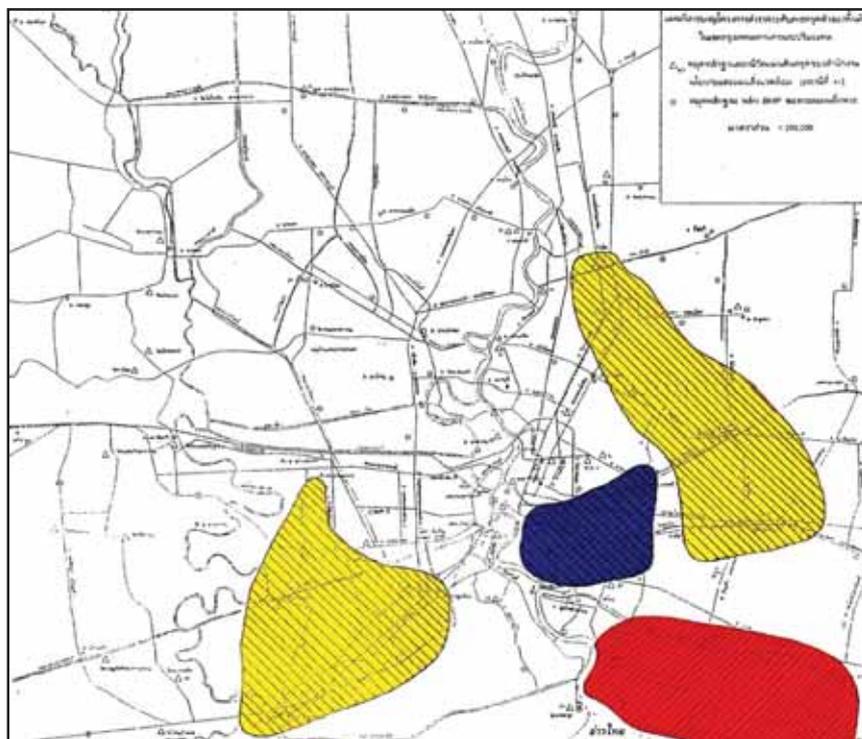
แผ่นดินทรุดเป็นผลกระทบที่เกิดจากวิกฤตการณ์น้ำบาดาลอันหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมและทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก ซึ่งการสูบน้ำบาดาลจากชั้นน้ำที่เป็นกรวดทรายสลับกับชั้นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายซึ่งมีค่าอัตราสูง จะทำให้น้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นดินเหนียวปนทรายไหลออกมาทำให้ชั้นดินเหนียวเกิดการอัดตัวขึ้น และในขณะเดียวกันแรงดันน้ำในชั้นน้ำ (Piezometric level) จะลดลง และเกิดการอัดตัวของชั้นน้ำ เมื่อมีการสูบน้ำในชั้นน้ำขึ้นมาใช้พร้อมกันมากเกินไป การทรุดตัวจะเกิดขึ้น ลักษณะการทรุดตัวของพื้นที่ที่เกิดจากการสูบน้ำบาดาลจะเป็นรูปกระทะหรือแอ่งขนาดใหญ่ โดยมีการทรุดตัวมากที่สุดบริเวณศูนย์กลางที่มีการใช้น้ำบาดาลมาก และมีอัตราการลดลงของระดับน้ำสูงสุด การทรุดตัวจะแผ่ขยายออกไปกว้าง แต่ภายในพื้นที่ไม่สามารถสังเกตเห็นการทรุดตัวได้ เพราะแต่ละจุดจะทรุดลงไปเกือบเท่าๆกัน จากแผนที่การทรุดตัวพบว่าในเขตตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยามีการทรุดตัวมากกว่า 70 เซนติเมตร ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การทรุดตัวของแผ่นดินกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

ที่มา: สมคิด บัวเพ็ง (2542)

อัตราการทรุดตัวของพื้นดินกรุงเทพฯ (ภาพที่ 9) ในปี พ.ศ. 2521-2524 พบว่าบริเวณ การทรุดตัวมากที่สุดคือ ด้านตะวันออกของกรุงเทพฯ มีอัตราการทรุดตัวปีละมากกว่า 10 เซนติเมตร ในบริเวณใจกลางกรุงเทพฯ มีอัตราการทรุดตัวน้อยกว่าปีละ 5 เซนติเมตร ส่วนบริเวณ ด้านตะวันตกของกรุงเทพฯ มีอัตราการทรุดตัวน้อยกว่าปีละ 5 เซนติเมตร และผลจากการติดตาม ตรวจสอบระดับน้ำบาดาลแสดงให้เห็นว่าการทรุดตัวของพื้นดิน และการลดลงของระดับน้ำบาดาลมี ส่วนสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี ในบริเวณที่มีอัตราการทรุดตัวสูง ระดับน้ำบาดาลจะลดลงไปมากใน ขณะที่บริเวณที่มีการทรุดตัวน้อย ระดับน้ำบาดาลจะไม่ลดต่ำลงไปมากนัก (สมคิด บัวเพ็ง ,2542)



หมายเหตุ ขอบเขตอัตราการทรุดตัวของพื้นดิน ระดับความลึก 1 เมตร ประจำปีงบประมาณปี.2540

-  พื้นที่การทรุดตัวของพื้นดิน 3.5 เซนติเมตร ต่อปี
-  พื้นที่การทรุดตัวของพื้นดิน 3.0 เซนติเมตร ต่อปี
-  พื้นที่การทรุดตัวของพื้นดิน 1.5 เซนติเมตร ต่อปี
-  พื้นที่การทรุดตัวของพื้นดิน 1.0 เซนติเมตร ต่อปี

ภาพที่ 9 อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในปี พ.ศ.2540

ที่มา: สมคิด บัวเพ็ง (2542)

ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดการทรุดตัวคือ น้ำท่วม โดยเฉพาะบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการซึ่งเป็นบริเวณที่มีการใช้น้ำบาดาลมาก และมีการทรุดตัวของแผ่นดินสูงน้ำที่ท่วมเกิดจากน้ำที่ท่วมเกิดจากน้ำทะเลไหลบ่าเข้ามา ในปี พ.ศ. 2525 จังหวัดสมุทรปราการมีน้ำท่วมปีละหลายเดือนและเดือนละหลายวัน โดยระดับน้ำท่วมจะขึ้นลงตามระดับน้ำทะเล

## 2. โครงการแก้มลิง

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2551) ได้ให้คำนิยามของ “แก้มลิง” เป็นแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช เกี่ยวกับพื้นที่ที่หนองน้ำ (Detention Area) เพื่อแก้ปัญหา น้ำท่วม มีแนวคิดจากการที่ลิงอมกล้วยไว้ในกระพุ้งแก้มไว้ได้คราวละมากๆ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ได้มีพระราชกระแสตอบรับว่า "ลิงโดยทั่วไปถ้าเราส่งกล้วยให้ ลิงจะรีบปอกเปลือก เอาเข้าปากเคี้ยว แล้วนำไปเก็บไว้ในที่แก้มก่อนลิงจะทำอย่างนั้นกล้วยหมดหวีหรือ เต็มกระพุ้งแก้ม จากนั้นจะค่อยๆ นำออกมาเคี้ยวและกลืนกินภายหลัง"

### 2.1 ลักษณะและวิธีการของโครงการแก้มลิง

- (1) ดำเนินการระบายน้ำออกจากพื้นที่ตอนบน ให้น้ำไหลลงคลองพักน้ำขนาดใหญ่ที่บริเวณชายทะเล
- (2) เมื่อระดับน้ำทะเลลดต่ำกว่าระดับน้ำในคลอง ก็ทำการระบายน้ำจากคลอง ดังกล่าว โดยใช้หลักการทฤษฎีแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity Flow) ตามธรรมชาติ
- (3) สูบน้ำออกจากคลองที่ทำหน้าที่ "แก้มลิง" นี้ เพื่อจะได้ทำให้น้ำตอนบนค่อยๆ ไหลมาเองตลอดเวลา ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่วมพื้นที่ลัดน้อยลง
- (4) เมื่อระดับน้ำทะเลสูงกว่าระดับน้ำในลำคลองให้ทำการปิดประตูระบายน้ำ โดยยึดหลักน้ำไหลลงทางเดียว (One Way Flow)

### 2.2 หลักการของแก้มลิง

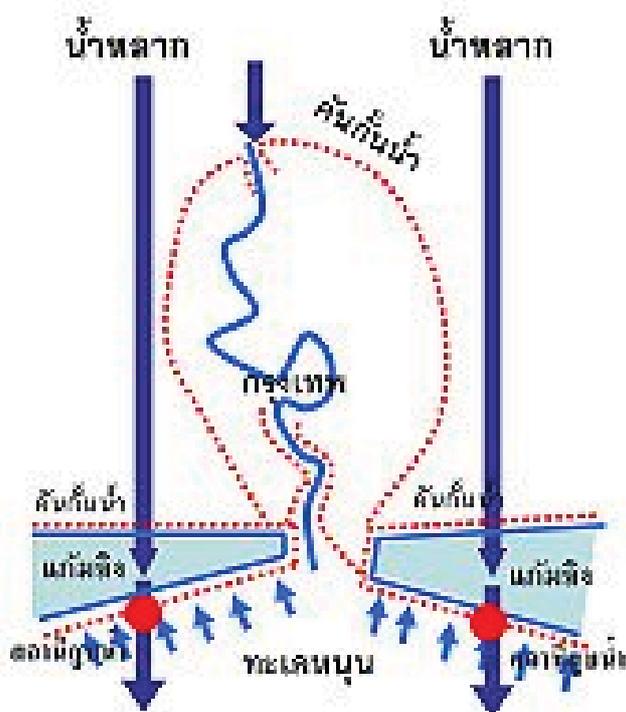
โครงการแก้มลิงจะสามารถมีประสิทธิภาพบรรลุผลสำเร็จตามแนวพระราชดำริมี 3 ประเด็นคือ

- (1) การพิจารณาสถานที่ที่จะทำหน้าที่เป็นบ่อพัก และวิธีการชักนำน้ำท่วมไหลเข้าสู่บ่อพักน้ำ
- (2) เส้นทางน้ำไหลที่สะดวกต่อการระบายน้ำเข้าสู่แหล่งที่ทำหน้าที่บ่อพักน้ำ
- (3) การระบายน้ำออกจากบ่อพักน้ำอย่างต่อเนื่อง

## 2.3 พื้นที่แก้มลิงในประเทศไทย

### (1). โครงการ แก้มลิงฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา

มูลนิธิชัยพัฒนา(2548)โครงการ แก้มลิงฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา ใช้คลองชายทะเลที่ตั้งอยู่ริมทะเลด้านจังหวัดสมุทรปราการ ทำหน้าที่เป็นบ่อพักน้ำหรือบ่อรับน้ำ โครงการแก้มลิงในพื้นที่ฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา ทำหน้าที่รับน้ำในพื้นที่ฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยาเพื่อระบายออกทะเล ด้านจังหวัดสมุทรสาคร พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้พระราชทานพระราชดำริเพื่อให้การระบายน้ำท่วม ออกทะเลเร็วขึ้นด้วยวิธีการต่าง ๆ คือ โครงการแก้มลิง "แม่น้ำท่าจีนตอนล่าง" ซึ่งใช้หลักการในการควบคุมน้ำในแม่น้ำท่าจีน คือ เปิดระบายน้ำจำนวนมากลงสู่อ่าวไทยเมื่อระดับน้ำทะเลต่ำ โครงการแก้มลิงแม่น้ำท่าจีนตอนล่างจะมีประสิทธิภาพสมบูรณ์ต้องดำเนินการครบ ระบบ 3 โครงการ ด้วยกัน คือ



ภาพที่ 10 ลักษณะและวิธีการของโครงการแก้มลิง

ที่มา วิถีพิเศษ สารานุกรมเสรี(2551)

### (1.1) โครงการแก้มลิง "แม่น้ำท่าจีนตอนล่าง"

โครงการแก้มลิง “แม่น้ำท่าจีนตอนล่าง” ซึ่งใช้หลักในการควบคุมน้ำในแม่น้ำท่าจีน คือ เปิดระบายน้ำจำนวนมากลงสู่อ่าวไทยเมื่อระดับน้ำทะเลต่ำ ปิดกั้นไม่ให้น้ำจากด้านท้ายน้ำไหลรुक้าเข้าไปในแม่น้ำเมื่อน้ำทะเลมีระดับ สูง ถือเป็นโครงการเอนกประสงค์ที่สำคัญยิ่งในอนาคตด้วย นอกจากช่วยบรรเทาอุทกภัยให้กับพื้นที่บางส่วนทางตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยาแล้ว ยังจะช่วยป้องกันการรุกคืบของน้ำเค็มเข้าไปในแม่น้ำท่าจีนในช่วงฤดูแล้ง ระหว่างเดือนมกราคม – พฤษภาคม โดยสามารถนำเข้าไปให้ประโยชน์ในด้านเกษตร อุตสาหกรรม และอุปโภค-บริโภค ซึ่ง โครงการแก้มลิง “แม่น้ำท่าจีนตอนล่าง” ประกอบด้วย

ประตูระบายน้ำ ค.ส.ล. ปิดกั้นน้ำแม่น้ำท่าจีน ขนาด 6 ช่อง กว้างช่องละ 30 เมตร ความจุเก็บกัก 67.7 ล้านลูกบาศก์เมตร สามารถระบายน้ำนองสูงสุดในรอบ 100 ปี ได้ 1576 ลูกบาศก์เมตร/วินาที

ประตูเรือสัญจร กว้าง 14 เมตร

ทำนบดินปิดลำนน้ำเค็ม ยาวประมาณ 260 เมตร สูงประมาณ 14.80 เมตร

บันไดปลา 2 แห่ง กว้างแห่งละ 3.50 เมตร

สถานีสูบน้ำบริเวณทำนบปิดกั้นลำนน้ำเค็มขนาด 5 ลูกบาศก์เมตร/วินาที จำนวน 4 เครื่อง

สถานที่ก่อสร้าง ตำบลท่าทราย อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร

ปัจจุบันไม่สามารถเปิดโครงการได้เนื่องจากปัญหาการต่อต้านจากราษฎร

แผนการดำเนินงาน 5 ปี

### (1.2) โครงการแก้มลิง "คลองมหาชัย-คลองสนามชัย"

โครงการแก้มลิง "คลองมหาชัย - คลองสนามชัย" เป็นโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ มีวัตถุประสงค์ในการช่วยระบายน้ำท่วมขังจากพื้นที่ตอนบน โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา (ฝั่งธนบุรี) ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล เพื่อระบายน้ำออกสู่ทะเลโดยเร็วที่สุด โดยการก่อสร้างประตูระบายน้ำ (ปตร.) ปิดกั้นคลองสายต่าง ๆ พร้อมสถานีสูบน้ำตามความจำเป็น โดย "แก้มลิง" จะทำหน้าที่รวบรวม รับ และดึงน้ำท่วมขังจากพื้นที่ตอนบนลงมาเก็บไว้ในคลองมหาชัย - คลองสนามชัย และคลองต่าง ๆ ในพื้นที่ แล้วสูบน้ำทิ้งลงทะเลผ่านทางปากคลองมหาชัย คลองพระราม และคลองขุนราชพินิจใจ ในช่วงที่ระดับน้ำทะเลหนุนสูง รวมทั้งการเปิดระบายออกสู่อ่าวไทยตามจังหวะการขึ้น - ลง ของน้ำทะเล โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก เช่นเดียวกับโครงการทางฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งดำเนินการได้ผลมาแล้วเมื่อคราวน้ำท่วมใหญ่ปี พ.ศ. 2538

ขอบเขตของพื้นที่โครงการแก้มลิง "คลองมหาชัย - คลองสนามชัย" สรุปได้ดังนี้

ทิศเหนือ ติดเขต อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ โดยอาศัยคลองมหา  
สวัสดิ์เป็นแนวรับน้ำ

ทิศตะวันออก ติดต่อแม่น้ำเจ้าพระยา ตั้งแต่ได้สะพานพระราม 7 ลงไปจดเขตรายฐ์  
บูรณะ เขตพระประแดงถึง อ.พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ โดยมีคลองขุนราชพินิจใจเป็นแนว  
แบ่งเขต ทิศใต้ จดชายทะเลในเขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ และเขต อ.เมือง จ.สมุทรสาคร

### (1.3) โครงการแก้มลิง "คลองสุนัขหอน"

ประตูละบายน้ำและสถานีสูบน้ำปิดกั้นคลองสุนัขหอนพร้อมอาคารประกอบ  
ปัจจุบันอยู่ในระหว่างการศึกษาศักยภาพและความเหมาะสมของสถานที่ก่อสร้าง

### (2). โครงการแก้มลิงบางบาล

อำเภอบางบาล ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ระยะทางห่าง  
จากจังหวัดประมาณ 12 กิโลเมตร มีเนื้อที่ประมาณ 135.305 ตารางกิโลเมตร หรือ  
ประมาณ 84,566 ไร่ นอกจากนี้ยังมีบางส่วนของตำบลโผงเผง อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง  
รวมอยู่ด้วย

ทิศเหนือ ติดต่อกับ อำเภอบางปะหัน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และอำเภอป่าโมก  
จังหวัดอ่างทอง

ทิศใต้ ติดต่อกับ อำเภอบางไทร อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัด  
พระนครศรีอยุธยา

ทิศตะวันออก ติดต่อกับอำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ทิศตะวันตก ติดต่อกับอำเภอเสนา และอำเภอฟักไห้ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

### (3) โครงการแก้มลิง พื้นที่บริเวณคลองทับมา จังหวัดระยอง

คลองทับมาปี 2548 ที่ผ่านมา พื้นที่จังหวัดระยอง พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด  
ประสบปัญหาภัยแล้ง ขาดแคลนน้ำอย่างหนัก โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมปิโตรเคมีคอล การ  
ปิโตรเลียม และเครื่องซีเมนต์ไทย ที่อาจจำเป็นต้องหยุดการผลิตชั่วคราวและอาจจะส่งผลกระทบต่อ  
สร้างความเสียหายกับอุตสาหกรรมต่อเนื่องรวมแล้วมากกว่าแสนล้านบาท มาจากสาเหตุหลัก 4  
ประการ คือ

(3.1) ปริมาณการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นทั้งภาคอุตสาหกรรม และการอุปโภค

(3.2) ความแปรปรวนของฤดูฝนในปี 2547 ที่หยุดตกตั้งแต่เดือนกันยายน และความล่าช้าของฝน ในปี 2548 ที่เริ่มตกหนักปลายเดือนสิงหาคม

(3.3) สภาพการเปลี่ยนแปลงการใช้น้ำในพื้นที่ลุ่มรับน้ำ หรือต้นน้ำของอ่างเก็บน้ำดอกกรายและหนองปลาไหล ที่มีการกักเก็บและใช้น้ำเพิ่มขึ้นอย่างมาก

(3.4) แม่น้ำระยอง คลองทับมา แม่น้ำประแสร์ ที่แต่เดิมมีพื้นที่แก้มลิง หรือพื้นที่ชุ่มน้ำ ก่อนไหลลงทะเลนั้น พื้นที่เหล่านี้หายไปเกือบหมด ทำให้ในฤดูฝนไม่มีระบบสำรองหรือเสริมการกักเก็บน้ำหลัก

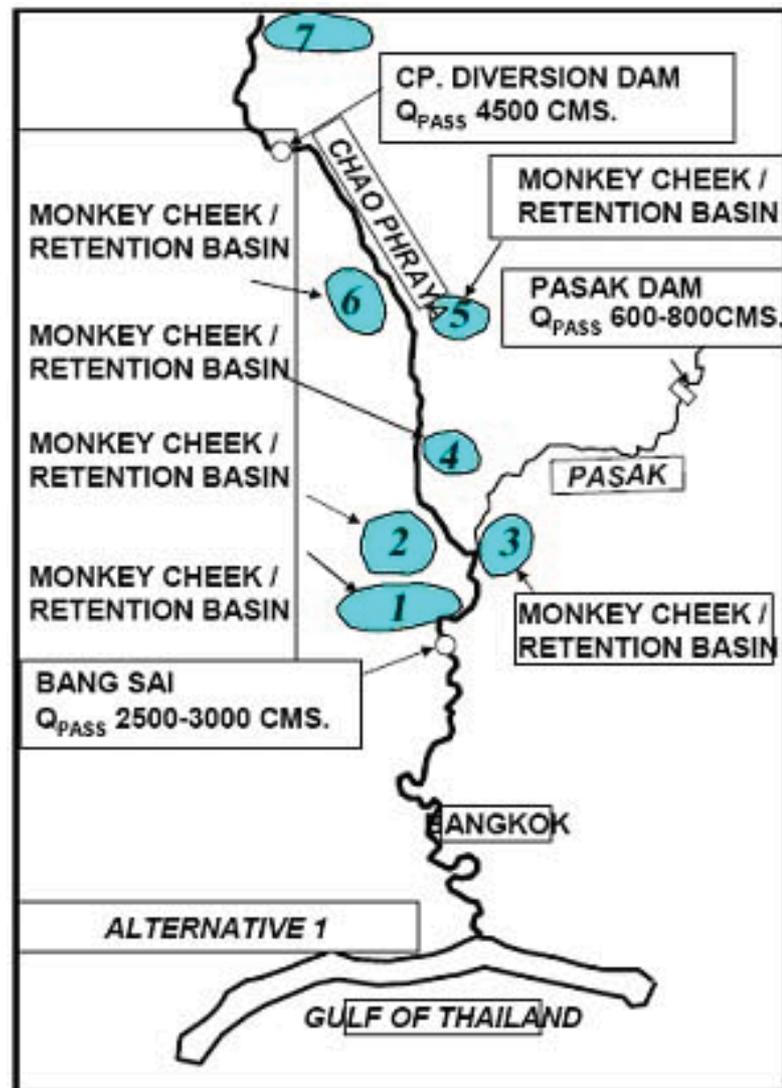
พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองใหญ่ จังหวัดระยอง โดยจะทำการศึกษาเฉพาะในส่วนของคลองทับมา และคลองสาขา ประกอบด้วย คลองกระเจต คลองมาบ หินตาด คลองข้างตาย คลองหนองผักหนาม และคลองทับมา

#### การประยุกต์ใช้แก้มลิงเพื่อการเติมน้ำบาดาล

การเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลจำเป็นต้องใช้พื้นที่ และปริมาณน้ำเป็นจำนวนมาก ดังนั้น พื้นที่แก้มลิงจึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมในการเติมน้ำบาดาล อีกทั้งยังได้ประโยชน์จากการลดน้ำท่วมในช่วงเวลาน้ำหลากอีกด้วย ซึ่งพื้นที่แก้มลิงตามการศึกษาของ ADB ในปี พ.ศ.2549 เป็นพื้นที่ๆเหมาะสมตาม การพิจารณาจากปัจจัยดังต่อไปนี้

(1) ระดับความลึกของชั้นทรายและการกระจายตัวของชั้นทราย: เนื่องจากระดับท้องของแก้มลิงถูกกำหนดไว้ที่จะตัดกับชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 2 หรือชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ เนื่องจากชั้นที่ 2 เป็นชั้นน้ำบาดาลแบบมีแรงดัน (Confined Aquifer) ชั้นแรกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ที่ค้ำึงถึงความหนาของชั้นน้ำบาดาลค่อนข้างสูง และเป็นชั้นบนสุดที่มีความเหมาะสมที่ท้องของแก้มลิงควรจะวางตัวลงในชั้นนี้ จากการทบทวนวรรณกรรมและพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity) ที่มีการใช้ในการศึกษาที่ผ่านมาในชั้นที่ 2 Kogkusai Kogyo (1995) และ Gangopadhyay (1997) พบว่า ความลึกของชั้นที่ 2 และ ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity) ที่ใช้เป็นค่าคงที่ ดังนั้นแก้มลิงสามารถวางตัวที่จุดไหนของพื้นที่ศึกษาก็ได้สำหรับปัจจัยนี้

(2) พื้นที่ใกล้กับแม่น้ำเจ้าพระยา: จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับพื้นที่ที่เหมาะสมของแก้มลิงและอยู่ใกล้กับแม่น้ำเจ้าพระยาพบว่า ADB, 2549 ได้เสนอตำแหน่งที่เหมาะสมในการใช้ เป็นแก้มลิงจำนวน 7 พื้นที่ คือ บริเวณอำเภอ บางไทร ผักไห้ อุทัย ท่าวุ้ง มหาสาร ค่ายบางระจัน และ มโนรมย์ (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 ตำแหน่งของแก้มลิงที่เสนอ โดย ADB ในปี 2549: ตำแหน่งที่ 1 แทน อำเภอบางไทร จ. พระนครศรีอยุธยา 2 แทน อำเภอฟักไห้ จ.พระนครศรีอยุธยา 3 แทน อำเภออุทัย จ. พระนครศรีอยุธยา 4 แทน อำเภอมหาสาร จ.พระนครศรีอยุธยา 5 แทน อำเภอท่าวุ้ง จ.ลพบุรี 6 แทน อำเภอค่ายบางระจัน จ.สิงห์บุรี และ 7 แทน อำเภอมโนรมย์ จ.ชัยนาท

ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ใน 7 อำเภอนี้ สอดคล้องกับแผนที่น้ำท่วมซ้ำซากในปี พ.ศ. 2538 (นิพนธ์ คำพรหม, 2544) อย่างไรก็ตามแก้มลิงที่เสนอนี้มีความแตกต่างจากการศึกษาที่ผ่านมา คือแก้มลิงที่เสนอโดย ADB และ นิพนธ์ คำพรหม ไม่ได้เชื่อมโยงกับน้ำบาดาล และแก้มลิงที่เสนอจากการศึกษาที่ผ่านมาเป็นแก้มลิงที่เกิดจากการปล่อยในน้ำท่วมทุ่งนาของเกษตรกร แต่แก้มลิงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการขุดให้ท้องของแก้มลิงตัดกับชั้นที่ 2 ของระบบน้ำบาดาลกรุงเทพ

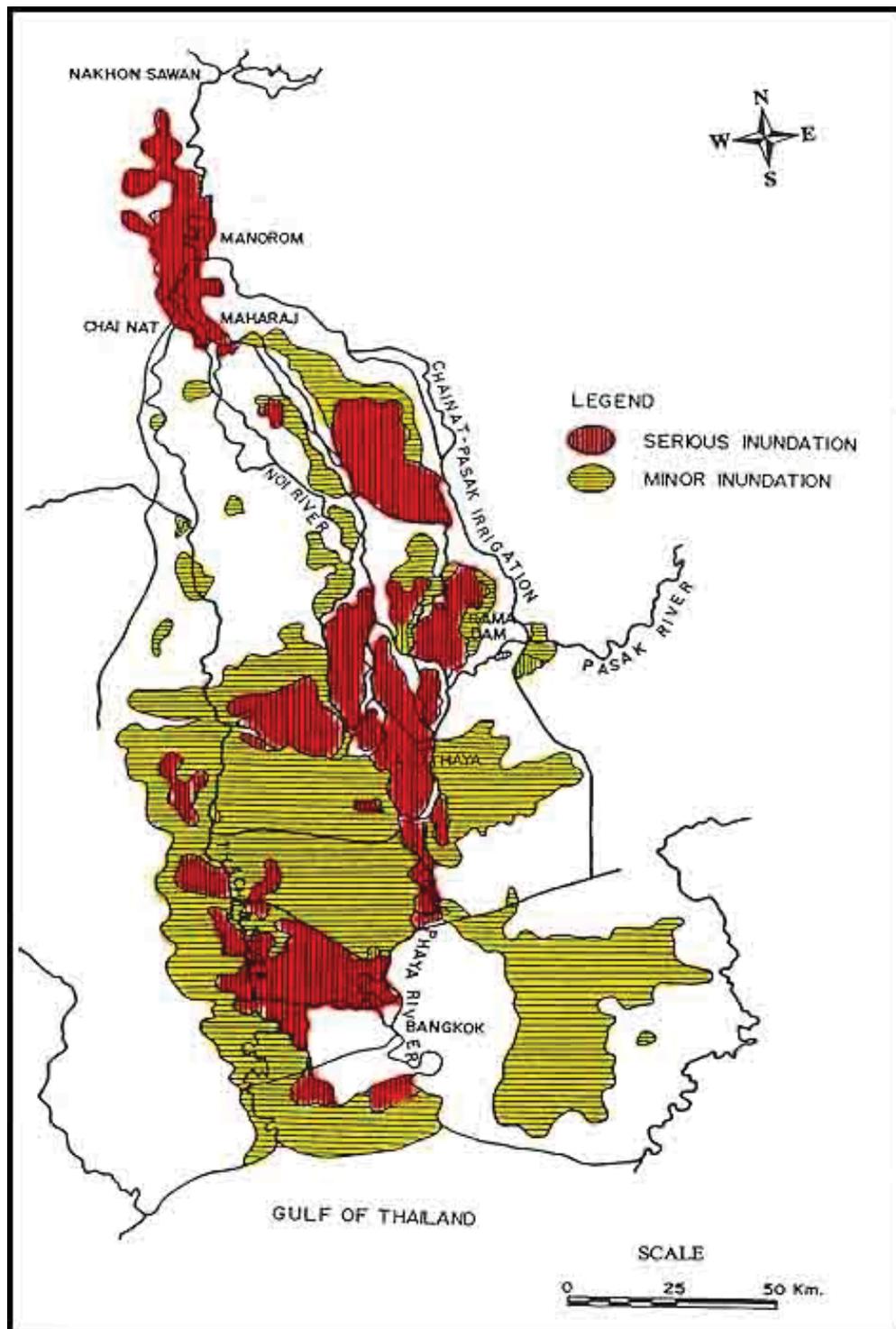
(3) เป็นพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากในฤดูน้ำหลาก: ปัจจุบันพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากจะสอดคล้องกับภาพที่ 12 ซึ่งมีพื้นที่แก้มลิงสอดคล้องกับพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก

(4) เป็นพื้นที่เหนือเขื่อนเจ้าพระยา: จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าพื้นที่แก้มลิงส่วนใหญ่อยู่ใต้เขื่อนเจ้าพระยา ยกเว้นพื้นที่แก้มลิงในอำเภอวัดสิงห์ นอกจากนั้นพื้นที่ที่เป็นแก้มลิงซึ่งอยู่ด้านเหนือของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างนั้นจะอยู่นอกพื้นที่ที่เป็น Active Cells ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของน้ำบาดาล ซึ่งต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาลที่เชื่อมกับแบบจำลองของอ่างเก็บน้ำ หรือแก้มลิง

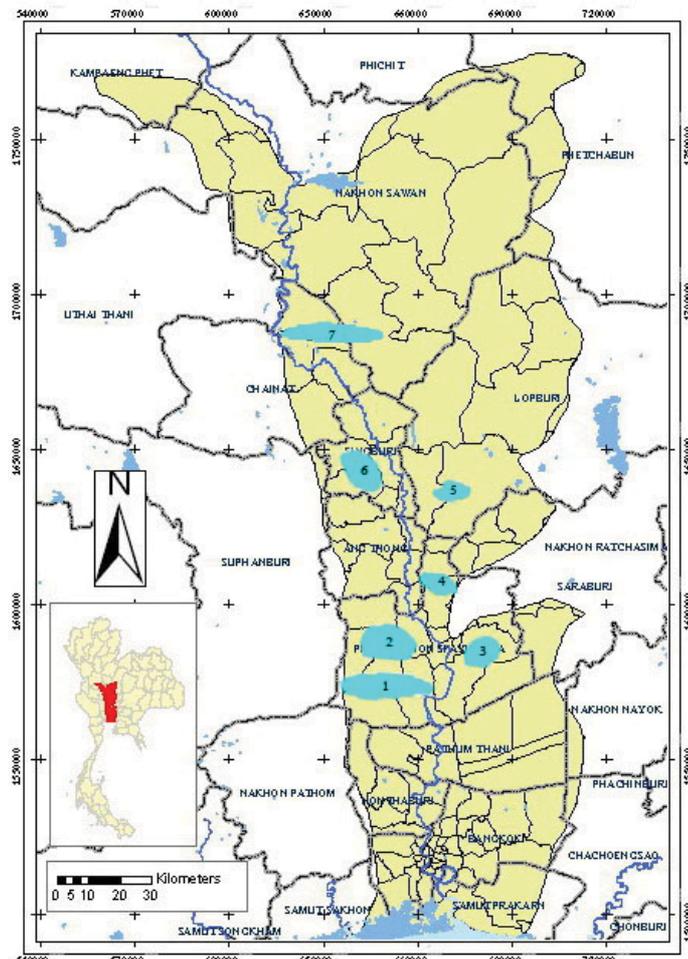
(5) ไม่เป็นพื้นที่ที่มีมูลค่าสูงทางเศรษฐกิจ: พื้นที่ส่วนใหญ่ในภาพที่ 11 เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ดังนั้นจะมีความเหมาะสมในการที่จะพัฒนาโครงการเนื่องจากค่าลงทุนจะไม่สูงมาก เมื่อเทียบกับประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการนี้ในการบรรเทาความเสียหายในแต่ละปีอันเนื่องมาจากปัญหาน้ำท่วม

(6) เป็นพื้นที่ที่ใช้เป็นแก้มลิงอยู่แล้ว: พื้นที่ในภาพที่ 12 เป็นพื้นที่ที่มีน้ำท่วมซ้ำซากอยู่แล้วในแต่ละฤดูน้ำหลาก หรืออีกนัยยะหนึ่งก็คือ พื้นที่แก้มลิงตามธรรมชาตินั่นเอง

เพื่อนำตำแหน่งของแก้มลิงที่ได้มีการเสนอโดย ADB มาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยทำการดิจิทัลตำแหน่งของแก้มลิงทั้ง 7 แห่ง แล้วนำพิกัดของตำแหน่งที่ได้ไปประยุกต์กับโปรแกรม ArcGIS โดยเลือกใช้ ArcMap ในการจัดทำเป็นแผนที่สารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (ภาพที่ 13) เพื่อใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ตำแหน่งของแก้มลิงจะถูกใช้กำหนดตำแหน่งของแก้มลิงในแบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาล และแบบจำลองคณิตศาสตร์การไหลของแม่น้ำ และแก้มลิง



ภาพที่ 12 พื้นที่น้ำท่วมในปี พ.ศ. 2538  
ที่มา: นิปีทน์ คำพรหม



ภาพที่ 13 แผนที่ภูมิศาสตร์สารสนเทศของตำแหน่งของแก้มลิงในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ดิจิไตซ์จากการศึกษาของ ADB ลงบน ArcView GIS

### การศึกษาการเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล

ในแนวทางการจัดการปัญหาในส่วนของน้ำผิวดิน และระบบชลประทาน สามารถทำการวิเคราะห์วางแผนได้โดยทราบปริมาณน้ำได้ชัดเจน เนื่องจากมีระบบเขื่อนและการชลประทานต้นน้ำอย่างเป็นระบบ แต่ในการวางแผนและควบคุมปัญหาความสมดุลทางอุทกธรณีวิทยาของน้ำบาดาล โดยส่วนมากในทางปฏิบัติ จะใช้การสูบน้ำทดสอบเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์ค่าการไหลของชั้นน้ำบาดาล ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงใช้เวลามากและมีความคลาดเคลื่อนได้ โดยเฉพาะการทดสอบในบ่อที่ผ่านการใช้งานแล้ว (Egbaka B.C.E., Uma K.O., 1986) จึงมีการศึกษาอีกด้านหนึ่งที่พยายามจะประเมินสภาพการไหลของน้ำบาดาลโดยวิธีการ หรือใช้ข้อมูลอื่นๆ แทนการสูบน้ำทดสอบ การศึกษาเหล่านี้ เช่น

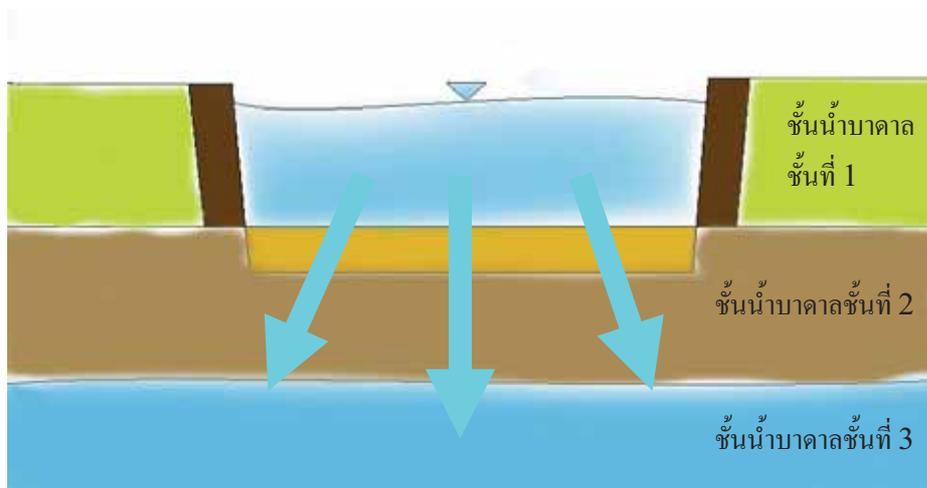
Sigh S. R., Sagar B. (1977) พัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล โดยการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตระหว่างแบบจำลองกับทางน้ำด้วยค่าความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสอง แล้วตรวจสอบผลการคำนวณด้วยค่าระดับน้ำสังเกตการณ์ในแบบจำลองของถังทราย (Sand Tank Model) พบว่าผลการคำนวณระดับน้ำที่เวลาต่างๆ ได้ผลดี

Dillon P. J. Liggett J. A., (1983) พัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างชั้นน้ำบาดาลตามสถานะของระดับน้ำในทางน้ำโดยอาศัยสมการของ Green-Ampt พบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถผ่านการเปรียบเทียบได้เป็นอย่างดี

Rastogi A. K. (1985) ใช้วิธี MIADI (Modified Iterative Alternating Direction Implicit) ศึกษาสภาพการไหล 2 มิติในสถานะคงตัว ซึ่งมักมีขอบเขตของแบบจำลองมีสองสาย และแม่น้ำอีกหนึ่งสาย ผลการศึกษาพบว่าค่าระดับน้ำในทางน้ำ ค่าการซึมได้ของท้องน้ำ และความหนาของชั้นน้ำบาดาลมีนัยสำคัญต่อผลการคำนวณ

Maeda S, *et al.* (2001) เสนอวิธีการอธิบายเชิงตำแหน่งเพื่อระบุพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำบาดาล โดยใช้เทคนิค GIS วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเติมน้ำตามสมการสมดุลน้ำและสมการการไหลของ Manning ซึ่งได้แก่ ปริมาณฝน อัตราการระเหย ความลาดชันและความขรุขระของพื้นที่ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้สะท้อนถึงสภาพพื้นที่ทางภูมิประเทศภูมิอากาศ และการใช้พื้นที่ได้พอสมควร แล้วทำการซ้อนภาพของปัจจัยต่างๆ เข้าด้วยกันก็จะสามารถระบุศักยภาพในการเติมน้ำของแต่ละพื้นที่ในเชิงเปรียบเทียบได้ ซึ่งการศึกษานี้พบว่าพื้นที่ที่มีบทบาทสูงในการเติมน้ำบาดาลคือที่นาบริเวณพื้นที่ศึกษา

การจัดการแก้ปัญหาวิกฤตการณ์น้ำบาดาลในประเทศไทย โดยทั่วไปใช้วิธีการควบคุมการสูบน้ำในบริเวณพื้นที่ๆเกิดปัญหา ส่งผลให้ปัญหานั้นเบาบางลง เกิดความสมดุลของปริมาณน้ำบาดาล แต่ไม่สามารถเพิ่มระดับน้ำบาดาลให้มากขึ้นได้นั้น กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้เสนอแนวทางในการแก้ปัญหาวิกฤต ของน้ำบาดาลไว้หลายแนวทาง ซึ่งวิธี “การเก็บกักน้ำเดิมกลับในชั้นน้ำบาดาลเพื่อนำมาใช้ใหม่” Aquifer Storage and Recovery (ASR) เป็นวิธีที่ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้ในการเติมน้ำบาดาลในบริเวณพื้นที่ศึกษา วิธีนี้เป็นวิธีเติมน้ำลงในชั้นน้ำบาดาลที่มีคุณภาพน้ำดีและได้ใช้น้ำสำหรับอุปโภคบริโภค เป็นการเพิ่มปริมาณในชั้นน้ำแล้วนำมาใช้ใหม่หรือเติมลงในชั้นน้ำบาดาลที่มีคุณภาพน้ำกร่อยหรือเค็มก็ได้ แต่วิธีของผู้ศึกษาจะแตกต่างจาก วิธี ASR ตรงที่ ท้องของแก้มลิงต้องตัดกับชั้นน้ำบาดาลในชั้นที่ 2 จะใช้การไหลตามแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Recharge Through Retention Reservoir) เติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 กรอบแนวคิดในเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล

ผลการดำเนินงาน ASR ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในเขตพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก

เนื่องจากในเขตพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก เป็นเขตพื้นที่เศรษฐกิจที่สำคัญที่สุดแห่งหนึ่งของประเทศ นอกเหนือไปจากแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงระดับโลกยังเป็นแหล่งอุตสาหกรรม โดยมีนิคมอุตสาหกรรมกระจายตัวอยู่ในพื้นที่ต่างๆ และยังมีแนวโน้มการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นศูนย์กลางการขนส่งที่สำคัญ อาทิ สนามบินสุวรรณภูมิ และท่าเรือแหลมฉบัง เป็นต้น อีกทั้งในอดีตเคยผ่านสภาวะการขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรง ด้วยเหตุนี้จึงได้ดำเนินโครงการศึกษาออกแบบและก่อสร้างระบบเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลพื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดชลบุรีและจังหวัดระยอง เป็นที่แรก ซึ่งเป็นการออกแบบและก่อสร้างระบบเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักๆ จำนวน 2 ระบบดังนี้

- (1) ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ เป็นระบบผลิตน้ำขนาด 50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ประกอบด้วยระบบสูบน้ำจ่ายสารเคมี ระบบกวนเร็ว-กวนช้า ถึงตกตะกอน ระบบกรอง ระบบเก็บกักน้ำ และระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ
- (2) ระบบเติมน้ำ ประกอบด้วย บ่อน้ำบาดาล จำนวน 2 บ่อ บ่อสังเกตการณ์ 6 บ่อและปัจจุบันกำลังดำเนินการที่จะทำในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยจะใช้แหล่งน้ำจากบึงหนองบอน เขตประเวศ พื้นที่บึงรับน้ำ 1,030,950 ตารางเมตร ปริมาตรเก็บกัก 5,000,000 ลูกบาศก์เมตร เพื่อแก้ไขปัญหาทั่วมเขตประเวศและพระโขนง

## 1. การศึกษาการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

การเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ได้กระทำอย่างแพร่หลายในต่างประเทศนับตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน วิธีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

(1) การใช้บ่อบาดาลในการเติมน้ำ (Recharging Wells) ได้ถูกนำมาใช้ค่อนข้างแพร่หลายในหลายๆสภาพทางอุทกธรณีวิทยา โดยวิธีการนี้จะเหมาะสมมากที่สุด ในพื้นที่ที่มีค่าซึมผ่านของชั้นที่อยู่ระหว่างพื้นผิวดินและชั้นอุ้มน้ำ มีค่าต่ำหรือในสภาพที่ชั้นอุ้มน้ำแบบมีแรงดัน

(2) การใช้พื้นที่บนดินในการเติมน้ำ (Basin Recharge) วิธีการนี้จะสามารถกระทำได้ดีเมื่อชั้นอุ้มน้ำ เป็นชั้นอุ้มน้ำแบบไม่มีแรงดัน ในอดีตที่ผ่านมาความนิยมในการเติมน้ำผ่านบ่อเติมน้ำจะน้อยกว่า Basin Recharge เนื่องจากการเติมน้ำโดยใช้บ่อเติมน้ำจะมีความยุ่งยากมากกว่า โดยเฉพาะในเรื่องของการเดินระบบ การบำรุงรักษาและปัญหาเรื่องการอุดตันของบ่อ

ในปัจจุบันสถานการณ์เปลี่ยนไป โดยที่บ่อเติมน้ำได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น ประมาณกว่าครึ่งหนึ่งของการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลทั่วโลกใช้วิธีบ่อเติมน้ำ Recharging Wells

จากการศึกษาการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในประเทศต่างๆ สามารถสรุปวัตถุประสงค์ของการดำเนินการได้ดังนี้

- (1) เพื่อขยายหรือเพิ่มเติมแหล่งกักเก็บน้ำบาดาล
- (2) เพื่อนำน้ำมาใช้ต่อไปในเวลาขาดแคลน และที่เหลือก็ดำเนินการเพื่อลดความเค็มของน้ำบาดาล
- (3) เพื่อป้องกันการรุกคืบของน้ำเค็มในชั้นน้ำบาดาล
- (4) เพื่อช่วยเสริมสร้างมาตรการป้องกันน้ำท่วม
- (5) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำผิวดิน
- (6) เพื่อป้องกันแผ่นดินทรุด

## 2. การศึกษาการเติมน้ำบาดาลในต่างประเทศ

Victor M., et al. ทำการศึกษาพื้นที่ Sand Hollow, Utah ซึ่งเป็นพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำผิวดินอย่างเต็มระบบในเดือนมีนาคมปี 2002 ซึ่งเริ่มการศึกษาโดย the Washington County Water Conservancy District อ่างเก็บน้ำเป็นที่รองรับน้ำแบบปิดจาก แม่น้ำ Virgin ใกล้กับเมือง Virgin, Utah. พบว่าอัตราการเติมน้ำของน้ำบาดาลที่ต่ำกว่า อ่างเก็บน้ำ Sand Hollow โดยมีอัตราการเติมน้ำประมาณ 0.02-0.44 ฟุตต่อวันโดยเฉลี่ยยกเว้นอัตราการเริ่ม 3 เดือน ที่เป็นช่วงฤดูฝน จะมีอัตราการ

เติมน้ำประมาณ 0.06 ฟุตต่อวัน. รวมทั้งสิ้นประมาณ 28,000 เอเคอร์ต่อฟุต ของการเติมน้ำเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล Navajo ที่เกิดขึ้นจากเดือนมีนาคม 2002 ถึงยายน 2004.

K. C. Fana., *et al.* ผลของอุณหภูมิของน้ำ เป็นส่วนสำคัญของ Chingshui Geothermal : ซึ่งเป็นพื้นที่ใหญ่จากพื้นที่ๆแยกตัวมาจาก Jentse Member ของ Miocene ของ Lushan Formation อายุของ Chingshui Geothermal Water ถูกทำนายกับข้อมูลของ Tritium ซึ่งเป็นการทดลองหนึ่งที่รวมอยู่ในการศึกษา อ่างเก็บน้ำ Chingshui Geothermal ถูกวิเคราะห์โดยทำการรั่วซึมและความหนาของผลผลิตในชั้นน้ำบาดาล ซึ่งทำการคำนวณการไหลในพื้นที่โดยวิธีการวัดเชิงปริมาณ รายงานได้รวมการใช้ทั้งวิธีการทดสอบบน Tracer and Interference หาค่าการเติมน้ำทางธรรมชาติของอ่างเก็บน้ำ Chingshui Geothermal มีการเติมน้ำอย่างสม่ำเสมอซึ่งถูกประมาณโดยการใช้ค่าเฉลี่ยรวมต่อเวลาของ Chingshui Geothermal Water และการไหลในพื้นที่ของ Chingshui Geothermal การประมาณการไหลในพื้นที่ ค่าเฉลี่ยขึ้นกับเวลา และการเติมน้ำตามธรรมชาติสำหรับอ่างเก็บน้ำ Chingshui Geothermal คือ 15 ปี มีปริมาตร  $2 \times 10^8$  ลูกบาศก์เมตร และ  $1.3 \times 10^7$  ลูกบาศก์เมตรต่อปีตามลำดับ

### 3. การศึกษาการเติมน้ำบาดาลในประเทศไทย

สุจิต คุณธนกุลวงศ์ และ กฤษดา วิสวธีรานนท์ (2545) สร้างเครื่องจำลองการสูบน้ำและอัดเติมน้ำบาดาล เครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นเป็นอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดลองการไหลของน้ำบาดาลในตัว กลางพูนในสภาพความดัน โดยมีทิศทางทั้งแบบสูบน้ำและเติมน้ำได้ มีระบบการเก็บข้อมูลความดัน ความสูงน้ำล้นฝาย เครื่องเก็บข้อมูล 16 ช่องสัญญาณ ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์เพื่อจัดการโอนถ่าย แสดงผลและสรุปผลการทดลองในเครื่องคอมพิวเตอร์พีซี ผลการทดสอบพบว่า เครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถจำลองสภาพการไหลผ่านตัวกลางพูน ภายใต้แรงดันและวัดอัตราการไหล การกระจายของความดัน ณ จุดต่างๆ ของเครื่องมือในสภาพน้ำเปล่าและตัวกลางพูนได้ ระบบควบคุมและบันทึกสามารถเก็บข้อมูลที่ได้ในทดลอง เพื่อถ่ายโอน แสดงผลบนจอและนำไปจัดทำรายงานต่อไปได้

นพดล เณลิมชัยรัตนกุล และ สุจิต คุณธนกุลวงศ์ (2545) การบรรเทาปัญหาวิธีการหนึ่งคือการเติมน้ำลงไปชั้นน้ำ แต่ยังคงขาดความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการไหลของน้ำบาดาลระหว่างการเติมน้ำ การศึกษานี้จึงทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการไหลของน้ำ

ภายใต้แรงดันเข้าสู่บ่อน้ำบาดาลขณะทำการสูบน้ำและการไหลของน้ำออกจากบ่อน้ำ บาดาลขณะทำการเติมน้ำ เมื่อขนาดอนุภาคทรายชั้นน้ำเปลี่ยนไป การศึกษาได้จัดทำแบบจำลองบ่อน้ำบาดาล-ชั้นน้ำชั้น 2 แบบ เพื่อทำการทดลองการไหลภายใต้แรงดันประกอบด้วยแบบจำลองการไหลในแนวรัศมี และแบบจำลองการไหลในทิศทางเดียว ผลการทดลองพบว่า การไหลเข้าและออกจากบ่อน้ำบาดาลในการทดลอง เสถียรสูญเสียจากการไหลสามารถแบ่งออกเป็นเสถียรสูญเสียจากการไหลแบบเชิงเส้น และเสถียรสูญเสียจากการไหลแบบไม่เชิงเส้น โดยระยะจากศูนย์กลางบ่อน้ำบาดาลที่มีการเปลี่ยนแปลงการไหล คือ รัศมีวิกฤติบ่อน้ำบาดาล ซึ่งให้ค่าเรย์โนลด์ส์วิกฤติใกล้เคียงกัน ค่าความนำไหลศาสตร์ของการไหลเข้าสูงกว่าการไหลออก พารามิเตอร์ดาร์ซี พารามิเตอร์นอนดาร์ซีและสัมประสิทธิ์ของการไหลนำพาของการไหลของสูงกว่าการไหลเข้า ทำให้เสถียรสูญเสียจากการไหลแบบไม่เชิงเส้นและแบบเชิงเส้นออกจากบ่อน้ำบาดาลมี ค่าเฉลี่ยประมาณ 1.06 และ 1.02 เท่าของการไหลเข้า ตามลำดับขณะที่ความสูญเสียบ่อน้ำบาดาลจากการไหลเข้ามีค่าเฉลี่ยประมาณ 1.49 เท่าของการไหลออก และเสถียรสูญเสียในทุกเรื่องลดลงเมื่อขนาดทรายใหญ่ขึ้น

รุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล และ สุรัชย์ สมพดุง (2548)ทำการสำรวจสภาพอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่อ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์ ประกอบด้วย การศึกษารายงาน ข้อมูลและบันทึกระดับน้ำบาดาล ข้อมูลอุทกนิยมนิเวศวิทยา และการสำรวจภาคสนาม ระดับน้ำบาดาลที่วัดได้ในบ่อสังเกตการณ์ รวมทั้งคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำที่ได้จากการสุบทดสอบ ใช้เป็นข้อมูลในการสร้างเส้นสมศักย์และทิศทางการไหลของน้ำบาดาล การศึกษายังประกอบด้วยการศึกษาเกี่ยวกับอ่างเก็บน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์ เพื่อพิสูจน์ว่าจะมีการเพิ่มเติมน้ำในแหล่งน้ำบาดาลโดยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ ตัวอย่างน้ำที่เก็บมา ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี เช่น อนุมูลหลัก รวมทั้งค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณสารละลายทั้งหมด รวมถึงการวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรได้แก่ ปริมาณดิวเทอเรียมและออกซิเจน-18 จากข้อมูล ไอโซโทปเสถียรพบว่าปริมาณที่มีอยู่ในน้ำบาดาลมีค่าใกล้เคียง กับปริมาณที่มีอยู่ในน้ำฝน นอกจากนี้ยังได้คำนวณหาสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์ ค่าที่ได้แสดงว่ามีการรั่วซึมน้อยมาก จากการศึกษาไอโซโทปเสถียรและการคำนวณสมดุลน้ำในอ่างเก็บน้ำนำไปสู่บทสรุปว่าน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์ไม่ใช่เป็นแหล่งเพิ่มเติมน้ำแก่น้ำบาดาลที่ทำให้เกิดดินเค็มในพื้นที่ศึกษา

จากการศึกษาที่ผ่านมาในประเทศไทยจะเห็นได้ว่า ไม่มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาศึกษาการเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล แสดงว่า การศึกษานี้เป็นการศึกษาแรกในประเทศไทยที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาศึกษาการเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล

## แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษาดังที่กล่าวมามีหลายวิธีที่สามารถนำข้อมูลต่างๆ มาประยุกต์ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินการไหลของชั้นน้ำบาดาล ซึ่งในทางปฏิบัติ ณ ปัจจุบันนักอุทกธรณี ได้มีการพัฒนาคิดค้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มากมาย และสามารถการประเมินการไหลของน้ำบาดาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงเป็นที่นิยมในการใช้ประเมินแหล่งน้ำบาดาล

### 1. การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผ่านมา

Freeze R.A., Withgrspon P.A. (1966) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) โดยอาศัยหลักการของสมดุลน้ำเพื่อหารูปแบบการไหลของน้ำบาดาล

Bredehoeft J.D., Pinder G.F. (1968) ใช้หลักการคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Method) แบบ Finite Difference จำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลแบบมีความดัน กึ่งสามมิติ (Quasi 3-Dimension) กล่าวคือพิจารณาสมการการไหลสองมิติโดยรวมค่าสัมประสิทธิ์ในแนวตั้งของชั้นน้ำเข้าพารามิเตอร์ในแนวราบ

Bredestrom S., Sandberg G. (1983) จำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลแบบมีความดัน และไม่มีความดัน พบว่าความถูกต้องของคำตอบที่ได้ขึ้นอยู่กับการประมาณค่าการเติมน้ำผ่านชั้นน้ำแบบไม่มีความดัน

Suddiqui A. H. (1987) ใช้แบบจำลองกึ่งสามมิติซึ่งถูกพัฒนาในช่วงปี 1978 – 1981 สำหรับชั้นน้ำในกรุงเทพฯ แล้วทำการปรับเทียบกับข้อมูลระดับน้ำในปี 1982 และ 1985 พบว่าผลของแบบจำลองในช่วงปี 1982 – 1986 สอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนาม

Gould G., Siegel D.I. (1988) ศึกษาทิศทางการไหลของน้ำบาดาลโดยใช้แบบจำลอง MODFLOW จำลองสภาพการไหลแบบคงที่ ส่วนค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใช้การตั้งสมมติฐาน ซึ่งพบว่าผล (Sensitivity) ต่อผลลัพธ์ที่ได้

Rudolph D.L., Sudicky E.A. (1990) ใช้การจำลองสภาพน้ำบาดาลแบบกึ่งสามมิติ เพื่อแก้ปัญหาาระบบชั้นน้ำหลายชั้น (Multiaquifer System) พบว่าสามารถให้คำตอบได้ดี เปรียบเทียบกับการคำนวณแบบ Finite Element โดยแบ่งระบบชั้นน้ำที่ศึกษาเป็นชั้นย่อยๆ

Mahadeva K.T. (1991) ปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ทางอุทกธรณีวิทยาสำหรับชั้นน้ำในพื้นที่กรุงเทพฯ แล้วสร้างแบบจำลอง MODFLOW(3D Finite-Difference Ground-Water Flow Model) ผลที่ได้พบว่า MODFLOW ให้ค่าระดับน้ำที่ใกล้เคียงกว่าแบบจำลองกึ่งสามมิติ

กรมโยธาธิการ (2538) ใช้แบบจำลอง MODFLOW จำลองสภาพน้ำบาดาลจังหวัด กำแพงเพชรเพื่อศึกษาความเหมาะสมในการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ประกอบกับการทดลองใน สนาม พบว่ามีความเป็นไปได้ในการเติมน้ำจากผิวดินลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

JICA (1995) จำลองสภาพชั้นน้ำบาดาล การรुक้าของน้ำเค็ม และการทรุดตัวในเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร และปริมณฑลด้วยโปรแกรม MODFLOW และ MOCNENCE (A Computer Model of Solute Transport in Grounds Water) MT3D (A Modular Three-Dimensional Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems) การศึกษานี้ได้ประเมินค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำอยู่ในช่วง 0.5 – 500 เมตรต่อวัน โดยกระจายตามค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ ตามสมการของ Logan (1964) และประเมินค่าการ สูบน้ำจากตัวเลขที่มีการขออนุญาตต่อกรมทรัพยากรธรณีคูณกับตัวคูณที่ได้จากการสำรวจ ภาคสนาม

Indelman P., *et al.* (1996) ศึกษาความผันแปรของผลการจำลองสภาพการไหลของน้ำ บาดาลเนื่องจากค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำในกรณีต่างๆ รวมทั้งระบบแหล่งน้ำบาดาลที่มีหลายชั้น พบว่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลต่อผลการคำนวณ

Piggot A.R., *et al.* (1996) วิเคราะห์แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลแบบถดถอย และ แบบย้อนกลับ (Regression and Inverse Analyses) สำหรับชั้นน้ำในพื้นที่ Lambton County, Ontario, Canada การวิเคราะห์แบบถดถอยเพื่อสร้างพฤติกรรมการไหลจากข้อมูลทางกายภาพต่างๆ ส่วนการวิเคราะห์แบบย้อนกลับอาศัยข้อมูลการสำรวจระดับน้ำประกอบเพื่อใช้แสดงถึงปริมาณ และการกระจายของการสูบน้ำ และการเติมน้ำ

Watkins D. W., *et al.* (1996) ประยุกต์ใช้ระบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ในการพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในส่วนของ การจัดเตรียมข้อมูล การจัดการข้อมูลให้อยู่ ในระบบกริด การตรวจสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งการเปรียบเทียบ การสอบทาน และการแสดงผลการจำลองสภาพการไหล การศึกษานี้เสนอวิธีการทำงานของแบบจำลองน้ำบาดาล เช่น MODFLOW ร่วมกับ GIS(Geographic Information System) ไว้ 3 วิธี คือ (1) ArcMod เป็นการ เชื่อมโยงข้อมูลกันระหว่าง MODFLOW และ ARC View เป็นวิธีที่ง่ายแต่ใช้หน่วยความจำและเวลา ในการคำนวณมาก (2) MODFLOWARC เป็นการรวม MODFLOW และ ARC View เข้าเป็น โปรแกรมเดียวกันทำให้ประสิทธิภาพในการคำนวณและจัดเก็บข้อมูลสูงขึ้น และ (3) การสร้าง แบบจำลองน้ำบาดาลบนระบบ GIS โดยใช้ฟังก์ชันการทำงานของ GIS โดยตรง วิธีนี้ต้องอาศัย ความเชี่ยวชาญสูง แต่ได้ความสะดวกมาในการนำเข้าข้อมูลแบบ Vector แล้วแปลงเป็นแบบ Raster

ซึ่งสามารถทำการคำนวณและแสดงผลได้ง่าย แต่มีข้อจำกัดที่ GIS ไม่สามารถสร้างแบบจำลองที่ซับซ้อนมากๆ ได้ และขนาดของกริดเซลล์ต้องเท่ากันทั้งหมด

สุจิต คุณชนกุลวงศ์ และ โชคชัย สุทธิธรรมจิต (2542) เสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลอง GMS และ MODFLOW ร่วมกันในการจำลองการไหลของน้ำบาดาล เพื่อช่วยในการจัดการข้อมูล ตั้งแต่ขั้นเริ่มต้น การนำเข้าสู่การคำนวณ การปรับเทียบ และการแสดงผล การโอนถ่ายข้อมูลระหว่างแบบจำลองทั้งสองทำให้การจัดเตรียมข้อมูลและการคำนวณง่ายขึ้นส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ดีขึ้นด้วย

Holder A.W., *et al.* (2000) เสนอแบบจำลอง FLOTRAN (A Three-Dimensional Ground Water Model, with Comparisons to Analytical Solutions and Other Models) สำหรับการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาล คุณสมบัติเด่นของแบบจำลองแบบใหม่คือการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขที่ก้าวหน้าและทันสมัย การแก้สมการการไหลและการแพร่ใช้วิธี Godunov-Mix และการผสมผสานวิธี Finite Element ทำให้แบบจำลอง FLOTRAN สามารถให้ผลการคำนวณในกรณีตัวอย่างใกล้เคียงหรือดีกว่าการวิเคราะห์แบบจำลองอื่นๆ ที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบ ได้แก่ 1D และ 2D Analytical Solutions, Galya's 3D Horizontal Plane Source Solution, 2 Radial Semi-Analytical Solutions, รวมทั้งเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ BIOPLUME II (Computer Model of Two-Dimensional Contaminant Transport Under The Influence of Oxygen Limited Biodegradation in Ground Water) และ MT3D

Tsou M.S., Whittemore D.O. (2001) ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Watkin D.W., *et al* (1996) ในการเชื่อมต่อการทำงานของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลกับระบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยใช้วิธีการสร้างส่วนการคำนวณเพิ่มเติม (Extension) ให้กับ ARC View เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลกับ MODFLOW และ MT3D ในส่วนการคำนวณเพิ่มเติมนี้ทำหน้าที่ตั้งแต่การประมวลผลข้อมูลต่างๆ ในเชิงตำแหน่ง เพื่อนำเข้าสู่แบบจำลอง รวมถึงกระบวนการคำนวณของแบบจำลองน้ำบาดาล ได้แก่ การปรับเทียบและแสดงผล

จากข้อมูลที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MODFLOW เป็นทางเลือกที่นิยมใช้ในการจำลองการไหลของน้ำบาดาลรวมทั้งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ เชื่อมโยงกับโปรแกรม ทางภูมิศาสตร์ เช่น GIS ได้

## 2. ทฤษฎีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

### ทฤษฎีการไหลของน้ำบาดาล

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (ก)$$

โดย  $K_f$  = ความเหนียวนำทางชลศาสตร์ของน้ำจืดบาดาล  $h$  = ระดับน้ำจืดบาดาล  $S_f$  = ความจุจำเพาะของน้ำจืดในชั้นน้ำบาดาล  $C$  = ความเข้มข้นของน้ำบาดาล  $\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำเกลือ  $\rho_f$  = ความหนาแน่นของน้ำจืด  $q_s$  = ปริมาณน้ำไหลเข้า และออกจากชั้นน้ำบาดาลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของชั้นน้ำบาดาล การเปรียบเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์ของน้ำบาดาล 3 มิติ จะทำการปรับค่า  $K_f$  ในแนวแกน X และ Y ในขณะที่ แกน Z จะทำการปรับเทียบการรั่วซึมในแนวตั้งระหว่างชั้นน้ำบาดาล สำหรับการปรับเทียบแบบคงที่กับเวลา ในขณะที่การปรับเทียบผันแปรกับเวลา จะ ปรับเทียบค่า  $S_f$  เพิ่มขึ้นมา

### 3. แบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาล MODFLOW

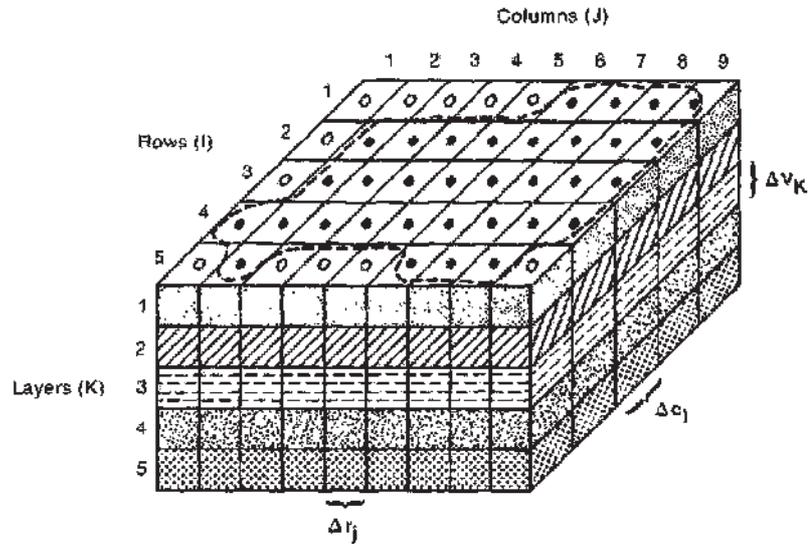
แบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาล MODFLOW-96 (A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model) เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่คำนวณการไหลของน้ำบาดาลเป็นสามมิติ โดยซึ่งได้รับการพัฒนาโดย USGS ตั้งแต่ในปี 1988 จนปัจจุบันได้รับการพัฒนาถึงรุ่น MODFLOW 2000 ได้อาศัยสมการ Darcy และใช้สมการ Partial Differential Equation (สมการ(ข)) เป็นสมการรูปหนึ่งของสมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) ซึ่งถูกคำนวณในรูปของ Finite Difference (ภาพที่ 15) ผลรวมการไหลทั้งหมดที่เข้าและออกจากเซลล์หนึ่งต้องเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความจุภายในเซลล์นั้นๆ ภายใต้สมมุติฐานนี้ ถ้าความหนาแน่นของน้ำบาดาลคงที่สามารถเขียนสมการต่อเนื่องในรูปของสมการ (ค) ทั้งนี้แบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาล MODFLOW มีชุดการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 2.1

$$\sum Q_i = SS^{\Delta h} \Delta V \quad (\text{ข})$$

$Q_i$  ที่คือปริมาณการไหลที่เซลล์ ( $L^3T^{-1}$ );  $Ss$  ถูกใช้เป็นเครื่องหมายเพื่ออธิบายการเก็บกักเก็บจำเพาะในสมการ Finite Difference;  $\Delta V$  คือปริมาตรของเซลล์ ( $L^3$ ); และ  $\Delta h$  คือการเปลี่ยนแปลงใน head ในช่วงเวลาของความยาว  $\Delta t$  ภาพที่ 20 วาดเซลล์หนึ่งเซลล์  $i, j, k$  และเซลล์อื่นๆภายในชั้นน้ำบาดาล 6 เซลล์ติดกัน,  $i-1, j, k$ ;  $i+1, j, k$ ;  $i, j-1, k$ ;  $i, j, k-1$ ; และ  $i, j, k+1$  สมมติให้การไหลเข้าเซลล์  $i, j, k$  เป็นบวก และเป็นบวกเมื่อไหลออกจากเซลล์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นกฎของ Darcy's law ได้ดังนี้

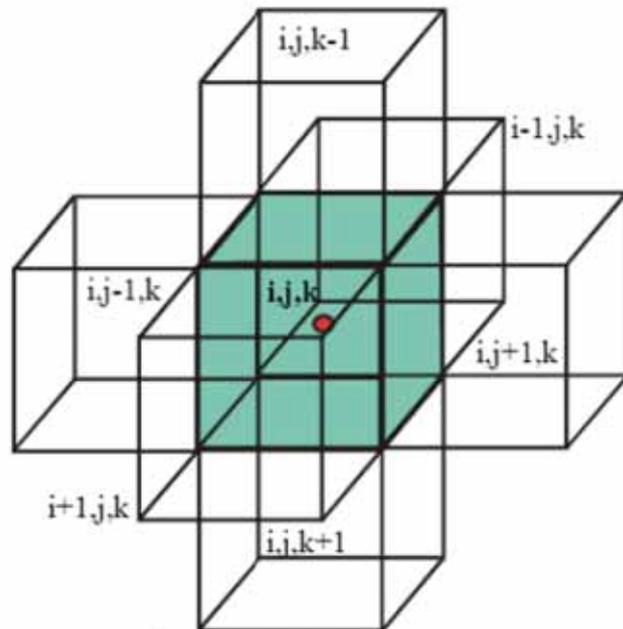
$$q_{i,j-1/2,k} = KR_{i,j-1/2,k} \Delta c_j \Delta v_k \frac{(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j-1/2}} \quad (\text{ค})$$

ที่  $h_{i,j,k}$  คือ Head ที่จุด  $i, j, k$  และ  $h_{i,j-1,k}$  คือ Head ที่จุด  $i, j-1, k$ ;  $q_{i,j-1/2,k}$  คือปริมาณการไหลที่ผ่านหน้าตัดระหว่างเซลล์  $i, j, k$  และ  $i, j-1, k$ ;  $KR_{i,j-1/2,k}$  คือ สัมประสิทธิ์ความนำชลศาสตร์ตามแถวระหว่าง  $i, j, k$  และ  $i, j-1, k$ ;  $\Delta c_j \Delta v_k$  คือ พื้นที่ของหน้าตัดเซลล์ที่ตั้งฉากกับทิศทางของแถว; และ  $\Delta r_{j-1/2}$  คือระยะทางระหว่างจุด  $i, j, k$  และ  $i, j-1, k$  (L).



ภาพที่ 15 ระบบชั้นน้ำบาดาลสมมุติซึ่งถูกแบ่งเป็นเซลล์ย่อยสำหรับการใช้ Finite Difference คำนวณการไหลของน้ำบาดาล ----- เป็นขอบเขตชั้นน้ำบาดาล ● เป็นเซลล์ที่ใช้ในการคำนวณการไหล ○ เป็นเซลล์ที่ไม่ใช้ในการคำนวณการไหล  $\Delta r_j$  เป็นขนาดตามทิศทางแถว; ตัวห้อยที่ (J) ซึ่งให้เห็นถึงจำนวนของคอลัมน์  $\Delta c_1$  เซลล์ขนาดตามทิศทางคอลัมน์; ดรรชนีล่าง (I) บ่งบอกให้เห็นจำนวนของแถวและการวัด  $\Delta v_K$  ของเซลล์ตามทิศทางที่ตั้งฉาก, ตัวห้อยที่ (K) บ่งบอกให้เห็นจำนวนของความหนา

ที่มา: Arlai (2007)



ภาพที่ 16 เซลล์  $i, j, k$  และ 6 เซลล์ที่ต่อกัน

ที่มา: Arlai (2007)

ตารางที่ 1 ชุดการคำนวณในแบบจำลอง MODFLOW

ชื่อชุดการคำนวณ	หน้าที่
Basic	จัดการพื้นฐานของแบบจำลอง เช่นการกำหนดขอบเขต, ระบบกริด, ช่วงเวลาในการคำนวณ, เงื่อนไขตั้งต้น และรูปแบบการนำเสนอผลลัพธ์
Block Centered Flow	กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณสมการเชิงอนุพันธ์ของการไหลในตัวกลางรูพรุนในแต่ละกริดเซลล์ เช่นค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำ
Well	การจัดการข้อมูลการสูบน้ำ ที่ตั้งบ่อน้ำบาดาล และพจน์ที่เกี่ยวข้องในสมการเชิงอนุพันธ์
Recharge	จัดการข้อมูลการเติมน้ำ
River	และระดับน้ำจัดการข้อมูลทางน้ำ และระดับน้ำในทางน้ำ ซึ่งมีผลต่อการไหลของน้ำบาดาล
Drain	จัดการข้อมูลการระบายน้ำ
Evapotranspiration	จัดการข้อมูลการระเหย
General Head Boundary	กำหนดระดับน้ำบาดาลในชั้นน้ำต่างๆ ในการคำนวณสมการเชิงอนุพันธ์
Strongly Implicit Procedure	ควบคุมระเบียบวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาระบบสมการ Finite Difference โดยการคำนวณซ้ำแบบ Implicit
Slice Successive Overrelaxation	ควบคุมระเบียบวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อการแก้ปัญหาระบบสมการ Finite Difference

ที่มา: ปณต (2550)

#### 4. ชุดการคำนวณ Reservoir Module

Jon P.Fenske., *et al.* (1996) ได้กล่าวว่า Reservoir Package ได้ถูกออกแบบสำหรับกรณี ที่เซลล์แต่ละเซลล์ เป็นตัวแทนของ อ่างเก็บน้ำ สามารถใช้ชุดการคำนวณจำลองอ่างเก็บน้ำได้ มากกว่า 1 บ่อ พื้นที่บ่อน้ำที่มีน้ำได้ถูกกำหนดโดยการใส่หมายเลขในแต่ละบ่อ สำหรับแบบจำลอง จะรวมพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำ โดยพื้นที่ๆมีระดับต่ำกว่าจะถูกคำนวณแยกกับพื้นที่ๆมีระดับที่สูงกว่า โดยสิ่งที่เติมเข้าไปในส่วนของอ่างเก็บน้ำ อาจเกิดขึ้นก่อนการล้นออกไปสู่พื้นที่ที่ใกล้เคียง ซึ่งชุด การคำนวณสามารถจำลองผลโดยกำหนดสองพื้นที่หรือมากกว่านั้นในพื้นที่อ่างเก็บน้ำเดียวได้

อ่างเก็บน้ำ ถูกกำหนดโดยการใส่ข้อมูลลงในชุดคำนวณแต่ละเซลล์ของโมเดลดังนี้

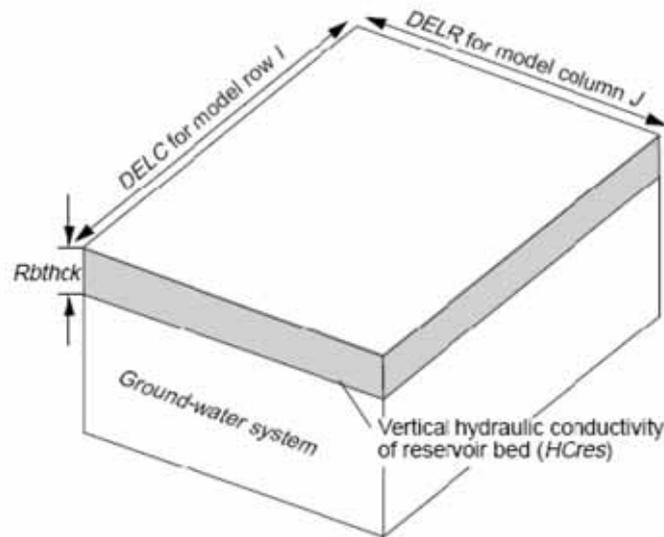
- Reservoir Number I [-], RES คือ หมายเลขของอ่างเก็บน้ำ
- Land-surface Elevation of the reservoir B [L], RES คือ ระดับของพื้นอ่างเก็บน้ำ
- Vertical Hydraulic Conductivity of The Reservoir Bed HC [L/T], RES (HCres) ค่า สัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำ
- Thickness of The Reservoir Bed Rb [L],(Rbthck) คือ ความหนาของพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำ
- Layer Indicator IRESL [-] เครื่องหมายที่แสดงชั้นของน้ำบาดาลที่อ่างเก็บน้ำเข้าถึง
- Parameter Number [-].

การรั่วซึมระหว่างอ่างเก็บน้ำ กับระบบน้ำบาดาล ได้ถูกจำลองสำหรับแต่ละเซลล์ของ แบบจำลองตามส่วนที่เป็นพื้นที่รับน้ำโดยการเพิ่มค่าความแตกต่างของระดับน้ำระหว่าง ระดับน้ำ ในอ่างเก็บน้ำและระดับน้ำในระบบน้ำบาดาลโดยสัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ของพื้นที่บ่อน้ำ สัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ถูกคำนวณดังนี้

$$\text{Hydraulic Conductance of Reservoir Bed (CRES)} = \frac{\text{HCres} \times \text{DEL} \times \text{DEL} \text{R}}{\text{Rbthck}} \quad (ง)$$

ซึ่ง HCres คือ ค่าสัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ในแนวตั้ง ของพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำ (L/T), DELC (i) คือความกว้างของแบบจำลองแถว I (L) DELR (j) คือความกว้างของแบบจำลอง คอลัมน์ J (L) และ Rbthck คือ ความหนาของตะกอนพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำ (L) การคำนวณ สัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ของตะกอนพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำที่เซลล์ I ,J ถูกแสดงในภาพที่ 17 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์และความหนาของพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำสามารถใส่ใน Res1

เพียงค่าเดียวได้และจะถูกประยุกต์กับอ่างเก็บน้ำทุกๆเซลล์ หรือทั้ง 2 มิติ CRES ได้ถูกคำนวณในโปรแกรมสำหรับแต่ละขอบเขตของอ่างเก็บน้ำที่ถูกใช้ในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของอ่างเก็บน้ำ

ที่มา: Jon P.Fenske, *et al.* (1996)

ความหนาของพื้นจะถูกลบออกจากระดับของผิวของอ่างเก็บน้ำ เป็นการนำเอาระดับของฐานของตะกอนอ่างเก็บน้ำ และระดับผิวของตะกอนของอ่างเก็บน้ำ ทำการคำนวณการรั่วซึม โดยจะเริ่มการคำนวณ ก็ต่อเมื่อระดับน้ำในระบบชั้นน้ำบาดาลสูงกว่าฐานของตะกอนที่พื้นท้องน้ำของอ่างเก็บน้ำ จะมีการการรั่วซึมของน้ำบาดาลเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลหรือ ออกจากระบบชั้นน้ำบาดาลถูกคำนวณดังสมการ (จ)

$$Q_{res} = CRES(h_{res} - h_{gw}) \quad (จ)$$

ซึ่ง  $Q_{res}$  คือการรั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำ ( $L^3/T$ ),  $h_{res}$  คือ ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ (L), และ  $h_{gw}$  คือระดับน้ำในระบบชั้นน้ำบาดาล(L), เมื่อระดับน้ำในระบบน้ำบาดาลมีค่าน้อยกว่าการยกตัวของฐานของตะกอนที่ท้องน้ำของอ่างเก็บน้ำ, การรั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำไปยังระบบชั้นน้ำบาดาลถูกคำนวณดังสมการ (ฉ)

$$Q_{res} = CRES(h_{res} - h_{resbot}) \quad (ฉ)$$

$h_{resbot}$  คือ ระดับฐานของตะกอนในอ่างเก็บน้ำ(L)

## 5. กรณีศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำบาดาลภายในประเทศ

### (1) บริเวณพื้นที่ศึกษาบริเวณที่ต่างๆภายในประเทศ

สนง. จินดาสงวน (2541) ทำการจำลองสภาพน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW และโปรแกรม GIS สรุปว่า โปรแกรม GIS มีประโยชน์ในการนำเข้าข้อมูล และแสดงผลเชิงรูปภาพ และแบบจำลอง MODFLOW มีความสามารถในการจำลองสภาพได้ทั้งในกรณีสถานะคงที่ และไม่คงที่ และใช้สำหรับการจำลองสภาพที่มีชั้นน้ำหลายชั้นได้ด้วย สำหรับค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำที่เหมาะสมในการจำลองสภาพนี้ผู้ทำการศึกษากำหนดค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำเท่ากับ 70 เมตรต่อวัน ส่วนความต้องการใช้น้ำบาดาลในจังหวัดกำแพงเพชร 2538 มีค่าประมาณ 631 ล้านลูกบาศก์เมตร และจากการเปรียบเทียบแบบจำลองพบว่าประมาณการสูบน้ำบาดาลในฤดูฝน และฤดูแล้งมีค่าประมาณ 50% และ 20% ของความต้องการใช้น้ำบาดาลทั้งหมด

ไพยม สราภิรมย์ (2544) ทำการศึกษาการจำลองสภาพน้ำบาดาลในเขตเมืองเชียงใหม่ สมดุลของระบบอุทกธรณีวิทยาที่ได้จากการประเมินโดยใช้แบบจำลอง MODFLOW และเปรียบเทียบในสถานะคงที่โดยใช้ข้อมูล เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2539 พบว่าการเพิ่มเติมน้ำฝนมีค่าประมาณร้อยละ 1 ในเขตเมือง ส่วนในเขตชนบท มีค่าร้อยละ 3 ถึง 8 ของปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละพื้นที่ การเพิ่มเติมน้ำ จากการรั่วซึมของระบบประปาในเขตเมืองมีค่าประมาณ 35 มิลลิเมตรต่อปี รวมคิดเป็นปริมาณ 116,980 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ปริมาณการคายระเหยที่ได้จากการประเมินครั้งนี้พบว่า พื้นที่เขตเมืองมีค่าปริมาณการคายระเหยเท่ากับร้อยละ 10 ของปริมาณการระเหย ที่วัดได้จากดาววัดการระเหย ส่วนเขตเกษตรกรรมมีค่าการคายระเหยเท่ากับร้อยละ 50 ของปริมาณการระเหยจากดาววัดการระเหย คิดเป็นปริมาณ 26,181 ลูกบาศก์เมตร/วัน ส่วน ปริมาณการสูบน้ำขึ้นมาใช้นั้น มีค่าประมาณ 21,905 ลูกบาศก์เมตรต่อวันการจำลองในสถานะไม่คงที่ ในระยะเวลา 1 ปี พบว่าแรงดันน้ำจากการจำลอง มีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลจากบ่อสังเกตการณ์ คือ พบว่าการเปรียบเทียบแบบจำลอง ไม่สามารถทำให้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำมีรูปแบบเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ได้ทุกบ่อ คือ พบว่าระดับน้ำจากการ คำนวณบางบ่อสูงขึ้นโดยไม่มี การลดลงตามฤดูกาล ทำให้ที่ช่วงเวลาเพิ่มขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนจึงเพิ่มขึ้นตลอดเวลา ดังนั้นแบบจำลองที่ได้นี้จึงยังไม่สามารถนำไปใช้ในการจำลองช่วงเวลาที่ยาวนานกว่านี้ และไม่สามารถนำไปใช้ในการทำนายได้

พิศาล และบัญชา (2547) ทำการศึกษาการจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำบาดาลของโครงการน้ำบาดาลสุโขทัย โดยใช้โปรแกรม MODFLOW การคาดการณ์อัตราการสูบน้ำที่เหมาะสม โดยกำหนดอัตราการสูบน้ำต่าง ๆ ตั้งแต่ 35 ถึง 55 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี และทำการสูบน้ำอย่างต่อเนื่อง

เป็นเวลา 10 ปี พบว่าปริมาณการสูบที่ปลอดภัยจะอยู่ในช่วง 35-40 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ซึ่งจะ เป็นค่าปริมาณการสูบที่จะไม่ทำให้สมดุลของชั้นน้ำเปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองครั้ง นี้กับการจำลองในอดีตทั้ง 2 ครั้ง โดยแบบจำลอง MIKE SHE และ SGDP (State Gross Domestic Product) พบว่า MODFLOW ให้ผลเป็นที่น่าพอใจมากกว่า นอกจากนี้ยังเป็น โปรแกรมสาธารณะจึง เป็นแบบจำลองที่ประหยัดและเหมาะสม โปรแกรมหนึ่ง

## (2) บริเวณพื้นที่ศึกษาบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

JICA (1995) ได้ทำการศึกษาการจัดการแหล่งน้ำบาดาล และปัญหาแผ่นดินทรุดใน พื้นที่กรุงเทพมหานคร และเขตปริมณฑล โดยอาศัยแบบจำลอง MODFLOW , MOCDENSE MT3D ทำการศึกษาในกรณีการไหลแบบคงตัวโดยไม่พิจารณาการใช้น้ำจากชั้นน้ำที่ไม่มี ความดัน (Unconfined Aquifer) และชั้นดินเหนียวชั้นบน (Bangkok Clay) พบว่าอัตราการใช้น้ำบาดาลในปี 2535 เท่ากับ 1.48 ล้าน ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (540.6 ลูกบาศก์เมตรต่อปี) ระดับน้ำบาดาลลดลงถึง ระดับ -30 ถึง -60 เมตรระดับน้ำทะเลกลาง เนื่องจากการสูบน้ำบาดาลมากเกินไป ทำให้แผ่นดินทรุด มากกว่า 20 มิลลิเมตรต่อปี พื้นที่ที่มีปัญหาคือ สมุทรปราการ มีนบุรี ลาดกระบัง และปริมาณคลอไรด์มีค่าประมาณ 3000 – 16000 มิลลิกรัมต่อลิตร พื้นที่ที่มีปัญหามากคือ สมุทรปราการ ใน การศึกษาครั้งนั้นได้ทำการก่อสร้าง Monitoring Station ที่ ลาดกระบัง AIT และสมุทรสาคร และ คาดการณ์ระดับน้ำและทรุดตัวของผิวดิน ในปี 2560 ตามสมมุติฐานการใช้น้ำในอนาคตกรณีต่างๆ ทำให้ได้ค่าระดับน้ำในปี 2560 อยู่ในช่วง 35 - 200 เมตร ผลสรุปของการศึกษาเสนอว่าประมาณ อัตราการใช้น้ำเหมาะสม (Permissible Yield) เท่ากับ 1.6 ล้าน ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามเงื่อนไขที่จะ ควบคุมให้ระดับน้ำไม่ต่ำกว่า -50 เมตรระดับน้ำทะเลกลาง นอกจากนี้ยังได้เสนอแผนการจัดการลุ่ม น้ำโดย ควบคุมอัตราการใช้น้ำให้ได้ภายในปี 2548 ขยายพื้นที่วิกฤติ และปรับกฎหมายการใช้น้ำ บาดาล

วินัย เชาว์วิวัฒน์ (2542) จำลองสภาพการรुक้าของน้ำเค็มในชั้นน้ำนันทบุรี โดย ใช้แบบจำลอง MODFLOW และ MT3D ร่วมกับโปรแกรม GMS โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากผล การศึกษาของ JICA (1995) ผลการศึกษาพบว่า อัตราการสูบน้ำมีค่าประมาณ 2.5 ล้านลูกบาศก์เมตร ต่อวัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นปีละ 5.1% นอกจากผลการจำลองสภาพยังแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่ ได้รับผลกระทบของการรुक้าของน้ำเค็มในปี 2540 เท่ากับ 1,824 ตารางกิโลเมตร

ปณต ศิริพุทธชัยกุล ( 2545) ทำการศึกษาพื้นที่ศึกษาด้านเหนือของที่ราบภาคกลาง ตอนล่างบริเวณจังหวัด ชัยนาท สิงห์บุรี ลพบุรี สระบุรี สุพรรณบุรี อ่างทอง และพระนครศรีอยุธยา โดยใช้โปรแกรม MODFLOW ในการจำลองสภาพการไหลให้สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของ

ข้อมูลในพื้นที่ซึ่งไม่มีข้อสังเกตการณ์ระดับน้ำอย่างเป็นระบบ โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยของสถานการณ์น้ำในปี พ.ศ. 2542 เป็นพื้นฐานในการปรับแก้แบบจำลองในสภาวะการไหลแบบคงตัว ก่อนปรับแก้และสอบทานในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลของน้ำบาดาลในช่วง พ.ศ. 2532 – 2544 ผลการศึกษาพบว่า ขั้นตอนการจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้จำลองสภาพได้ในระดับที่น่าพอใจและสามารถประมาณว่าการใช้น้ำบาดาลเพิ่มสูงขึ้นจาก 300 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปีในปี พ.ศ. 2532 มาเป็น 800 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยเฉพาะในชั้นแรกของชั้นน้ำ ในปี พ.ศ. 2542 ส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลชั้นบนสุดมีแนวโน้มลดลง 2 – 10 เมตร โดยมีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือ จังหวัดสิงห์บุรี และอ่างทอง

Arlai (2007) ได้ทำการศึกษาลักษณะระบบชั้นน้ำบาดาลบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW หาค่าการลดลงของน้ำบาดาล รวมทั้งการรูกกล้าของน้ำเกลือในระบบชั้นน้ำกรุงเทพ โดยการจำลองสภาพโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ และพบว่าแหล่งน้ำเกลือหลักที่ปนเปื้อนระบบชั้นน้ำกรุงเทพนั้นมาจากชั้นดินเหนียวกรุงเทพ และจากอ่าวไทยเป็นแหล่งปนเปื้อนรอง นอกจากนี้ยังได้ทำการประยุกต์แนวทางในการบริหารจัดการน้ำบาดาลในระบบชั้นน้ำบาดาลนี้ ทั้งคุณภาพ และปริมาณ โดยใช้วิธี ลองผิดลองถูก และเทคนิคทางคณิตศาสตร์ในการหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการบริหารจัดการน้ำบาดาล

## 6. แนวทางการพัฒนาการจำลองการไหลของน้ำบาดาล

Anderson and Woessner (1992) ได้กล่าวว่านักพัฒนาการจำลองที่ประสบความสำเร็จต้องมีความเข้าใจในพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของแบบจำลองที่ใช้ และมีศิลปะในการประยุกต์ใช้หลักการนั้นให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงในทางปฏิบัติ นักพัฒนาการจำลองต้องมีความสามารถในการวิเคราะห์ขอบเขตของปัญหา การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Calibration and Verification) ให้ สอดคล้อง เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงและข้อจำกัดทั้งทางด้านข้อมูลและความซับซ้อนของสภาพพื้นที่ อย่างไรก็ตามแม้ว่าการจำลองจะถูกพัฒนาขึ้นได้ดีเพียงใด นักพัฒนาการจำลองต้องไม่ลืมว่าแบบจำลองนั้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของการเรียนรู้เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการอุทกวิทยาทั้งหมด ซึ่งแบบจำลองมิใช่คำตอบสุดท้ายที่สมบูรณ์ในตัวเอง ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์เฉพาะทาง รวมทั้งการทำความเข้าใจในเชิงกายภาพยังเป็นสิ่งจำเป็น ในการอธิบายและตรวจสอบแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้น

## 7. ขั้นตอนพัฒนาแบบจำลอง

Anderson and Woessner (1992) ได้กล่าวว่าเมื่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกเลือกให้เป็นวิธีการแก้ปัญหาสำหรับพื้นที่หนึ่งๆ ภารกิจในการออกแบบและพัฒนาการจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อาจใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาการจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อาจใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับกรณีศึกษาต่างๆ แสดงได้ดังภาพที่ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนี้จำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจและการประยุกต์ให้เหมาะสมกับสภาพปัญหาของในแต่ละพื้นที่ ซึ่งความหมายของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

(1) การกำหนดวัตถุประสงค์ของการจำลอง เป็นขั้นเริ่มต้นที่มีความสำคัญมากเพราะจะเป็นการระบุว่าต้องให้แบบจำลองตอบคำถามอะไรบ้าง และในการพัฒนาการจำลองต้องให้ความสำคัญรวมทั้งทรัพยากรต่างๆในด้านใด มากน้อยเพียงใด คำถามหลักที่ผู้พัฒนาการจำลองควรตอบให้ชัดเจนในขั้นตอนนี้อาจสรุปได้เป็น 2 ข้อ คือ

(1.1) ใช้ให้แบบจำลองทำหน้าที่เพื่อคำนวณเหตุการณ์ในอนาคตที่คาดว่าจะเกิดขึ้นสำหรับพื้นที่ศึกษา (Predictive Model) เพื่อวิเคราะห์และทำความเข้าใจกระบวนการบางอย่างภายในพื้นที่ศึกษา (Interpretive Model) เช่น สภาพการไหล อัตราการเติมน้ำ เป็นต้น หรือต้องการให้แบบจำลองสังเคราะห์เหตุการณ์ สมมติขึ้นเพื่อช่วยอธิบายเหตุการณ์ เฉพาะอย่าง เช่น แบบจำลองแบบทั่วไป (Generic Model) ที่สามารถอธิบายการไหลระหว่างทางน้ำกับชั้นน้ำบาดาล

(1.2) คำตอบอะไรบ้างที่ต้องการจากแบบจำลอง และแบบจำลองเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการตอบคำถามนั้นหรือไม่

(2) การพัฒนาการจำลองเชิงแนวคิด (Conceptual Model) เป็นขั้นตอนที่ต้องอาศัยข้อมูลภาคสนาม เพื่อทำความเข้าใจสภาพพื้นที่ เช่น คุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยา สภาพการไหลของน้ำบาดาล สภาพการไหลบริเวณขอบเขตของพื้นที่ศึกษา แล้วทำการจำลองสภาพปัญหาในภาคสนามซึ่งมีความซับซ้อนให้อยู่ในรูปแบบที่จะสามารถทำการวิเคราะห์คำนวณได้

(3) การเลือกสมการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายสภาพปัญหา ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าสภาพปัญหานั้นๆ มีตัวแปรของปัญหา และคำตอบที่ต้องการเป็นเช่นไร ส่วนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นเครื่องมือในการหาคำตอบตามระบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เลือกใช้ ซึ่งเลือกให้เหมาะสมและสอดคล้องกัน

(4) การออกแบบการจำลอง เป็นการใส่รายละเอียดให้กับแบบจำลองเชิงแนวคิด รายละเอียดที่สำคัญของการออกแบบจำลอง ได้แก่ การกำหนดระบบกริดเซลล์ ช่วงระยะเวลาใน

การคำนวณ (Time Step) เงื่อนไขตั้งต้น และเงื่อนไขขอบเขต รวมทั้งค่าประมาณการเริ่มต้น (Preliminary Value) ของพารามิเตอร์ต่างๆ

(5) การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบแบบจำลองและทำให้แบบจำลองมีความสามารถที่จะสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ เช่นระดับน้ำในอนาคตได้ ในการปรับเทียบแบบจำลองนั้นค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งข้อมูลบางส่วนจำเป็นต้องได้รับการปรับแก้ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำ (Trial-and-Error Adjustment) จนกระทั่งผลการคำนวณระดับน้ำและสภาพการไหลของแบบจำลองมีความสอดคล้องใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ในสนาม

(6) การสอบทานแบบจำลอง (Model Verification) มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มความมั่นใจให้กับแบบจำลองโดยการใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลองที่ได้รับการเปรียบเทียบแล้ว มาทำการคำนวณข้อมูลในภาคสนามชุดใหม่ เพื่อตรวจสอบผลการคำนวณอีกครั้งหนึ่ง

(7) การคำนวณเหตุการณ์ในอนาคต เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อคำนวณสภาพการไหลและระดับน้ำที่จะเกิดขึ้นตามเงื่อนไข หรือสถานการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ผลการคำนวณที่ได้ควรทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เพื่อตรวจสอบความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ในอนาคต

(8) การนำเสนอผลการคำนวณของแบบจำลอง ควรมุ่งเน้นที่ความชัดเจน และตรงประเด็น ตามที่ได้กำหนดวัตถุประสงค์ไว้

(9) การติดตามผลและตรวจสอบ เป็นขั้นตอนในระยะยาว เพื่อติดตามตรวจสอบ และเก็บข้อมูลเพิ่มเติมจากภาคสนามในอนาคต เพื่อการแก้ไขแบบจำลองให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น การแก้ไขอาจหมายถึงการปรับแก้พารามิเตอร์ บางอย่าง หรืออาจจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองเชิงแนวคิดใหม่ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลและความเข้าใจในพื้นที่ศึกษาที่อาจมีเพิ่มมากขึ้นในอนาคต

## 8. ข้อมูลที่จำเป็นต่อการพัฒนาแบบจำลอง

### (1) ข้อมูลทางกายภาพ

(1.1) Geologic Map ภาพตัดขวางแสดงขนาด ขอบเขตพื้นที่ในแนวตั้ง ของระบบ

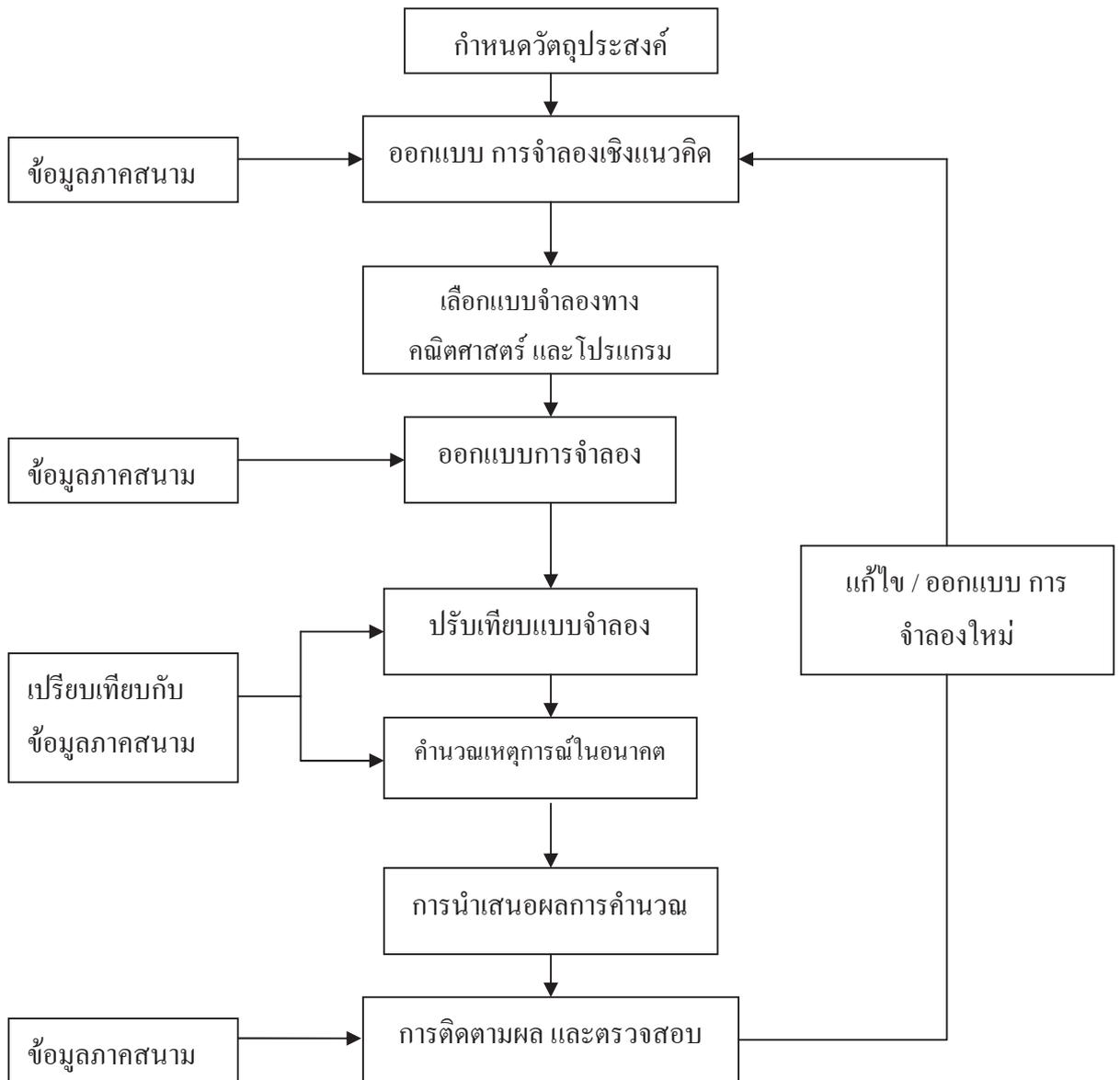
(1.2) Topographic Map แสดงแม่น้ำหลัก และสันปันน้ำ

(1.3) Contour Map แสดงความลาดชันของพื้นที่ของชั้นน้ำบาดาล และขอบเขตของ

แนวหิน

(1.4) Isopach Map แสดงความหนาของชั้นน้ำบาดาล และขอบเขตของแนวหิน

(1.5) แผนที่แสดง ขนาดและความหนาของ แม่น้ำ และ ความหนาของตะกอน



ภาพที่ 18 แสดงขั้นตอนมาตรฐานในการพัฒนาการจำลองทางคณิตศาสตร์ทั่วไป  
ที่มา: Anderson M. P., and Woessner W. W (1992)

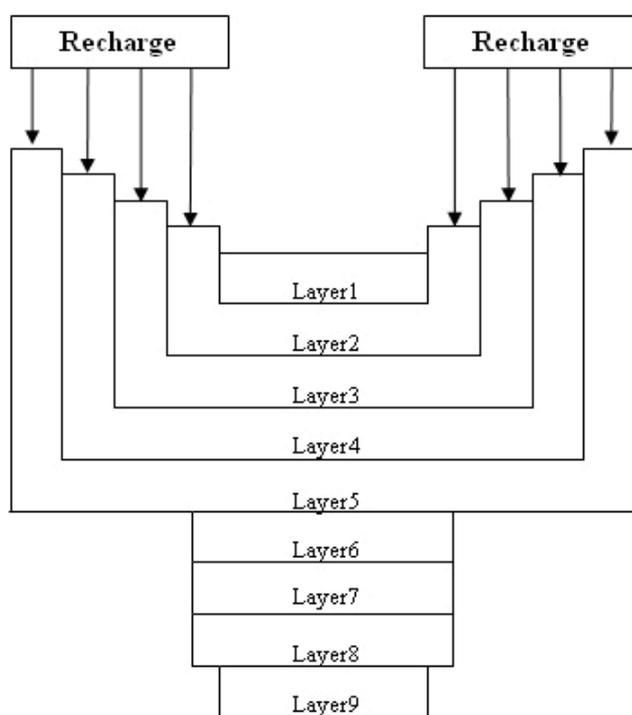
## (2) โครงร่างทางชลศาสตร์

- (2.1) Water Table และ Potentiometric Map สำหรับทุกชั้นน้ำบาดาล
- (2.2) กราฟการไหล ของระดับน้ำบาดาล และระดับน้ำผิวดิน และอัตราการสูบน้ำบาดาล
- (2.3) แผนที่ และแผนที่ตัดขวางที่แสดง ค่าความเหนียวนำทางชลศาสตร์ และ หรือ การกระจายของการนำพาน้ำบาดาล
- (2.4) แผนที่ และแผนที่ตัดขวางที่แสดงเกี่ยวกับคุณสมบัติของการกักเก็บของชั้นน้ำบาดาล และ ก้นของชั้นน้ำบาดาล
- (2.5) ระดับ และการกระจายตัวของค่าความเหนียวนำทางชลศาสตร์ สำหรับ แม่น้ำและ ตะกอนของทะเลสาบ
- (2.6) การกระจายตัวเชิงพื้นที่ และทางธรณีวิทยา ของอัตราของการระเหย การเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล, ความมีปฏิริยาต่อกันระหว่าง น้ำผิวดินและน้ำบาดาล การสูบน้ำบาดาล และการนำน้ำออกในทางธรรมชาติ(Anderson M. P., and Woessner1992)

## 9. การพัฒนารอบความคิดของแบบจำลองน้ำบาดาล

เนื่องจากระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯอยู่ภายใต้พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของระบบชั้นน้ำบาดาลถูกแบ่งออกเป็น ชั้นที่ 1 เป็นชั้นดินเหนียวอ่อน และแข็ง และตามด้วยชั้นน้ำบาดาลแบบมีแรงดัน (Confined Aquifers) จำนวน 8 ชั้น (ภาพที่ 19) แบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาลสำหรับระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯถูกสร้างขึ้นเป็น 3 มิติโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขไฟไนต์ดิฟเฟอเรน ซึ่งแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณคือ MODFLOW-96 ซึ่งสามารถคำนวณการไหลของน้ำบาดาลที่มีการผลของการผันแปรของความหนาแน่นของน้ำบาดาลในแง่ของตำแหน่งการไหล (Space) และเวลา (Time) แบบจำลองคณิตศาสตร์นี้ถูกแบ่งออกเป็น 9 ชั้น โดยชั้นบนสุดที่เป็นดินเหนียวถูกกำหนดให้เป็นชั้นน้ำบาดาลแบบไม่มีแรงดัน (Unconfined Aquifer) และ 8 ชั้นน้ำบาดาลแบบมีแรงดัน ตามลักษณะทางธรณีวิทยา และการวางตัวของตะกอน การเติมน้ำทางธรรมชาติของระบบชั้นน้ำกรุงเทพฯ จะเกิดขึ้นบริเวณเทือกเขา ตะพักลำน้ำ ซึ่งอยู่ในบริเวณขอบเขตด้านตะวันออก และตก (ภาพที่ 3) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามี การไหลขึ้นมาจากชั้นน้ำ (Outcropping) ของชั้นที่ 2 ถึง 5 ขึ้นสู่ผิวดิน Kogkusai Kogyo (1995) ขณะที่การเติมน้ำผ่านแม่น้ำเจ้าพระยา และพื้นที่บริเวณตอนกลางของลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง มีปริมาณน้อยมาก

เนื่องจากตะกอนดินเหนียวกรุงเทพฯที่วางตัวที่ชั้นบนของระบบชั้นน้ำบาดาลมีความหนาแน่นแปรจากประมาณ 15 ถึง 30 เมตร ซึ่งมีความสามารถในการซึมต่ำ เป็นเหตุให้การซึมจากผิวดินบริเวณนี้มีค่าค่อนข้างน้อยมาก นอกจากนั้นจากการศึกษาโดยใช้ไอโซโทป และการจำลองสภาพของ Particle Tracking (Sanford and Buapeng, 1996) พบว่าอายุของน้ำบาดาลมีค่าอยู่ระหว่าง 10,000 ถึง 30,000 ปีที่ผ่านมา ซึ่งสามารถชี้ให้เห็นว่าการเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯมีค่าน้อยมาก และแหล่งเติมน้ำมาจากขอบทางด้านตะวันออก และตะวันตกของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาในบริเวณที่เป็น Outcropping จากรายละเอียดที่กล่าวข้างต้นสามารถพัฒนากรอบความคิดของแบบจำลองน้ำบาดาล (Conceptual Model) ของระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯได้ดังแสดงในภาพที่ 19

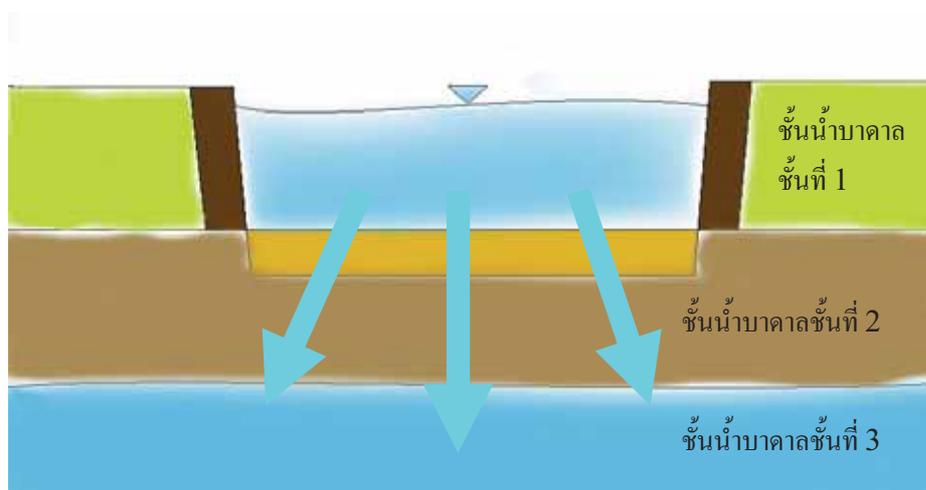


ภาพที่ 19 กรอบความคิดของแบบจำลองน้ำบาดาลของระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ

ที่มา: Arlai (2007)

## 10 กรอบความคิดของการเชื่อมโยงแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ

กรอบความคิดของการเชื่อมโยงแบบจำลองอ่างเก็บน้ำเข้ากับแบบจำลองน้ำบาดาล เป็นการจำลองการสร้างแก้มลิงซึ่งขุดให้เป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ เพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล กรุงเทพฯ ด้วยวิธีการไหลตามแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Recharge Through Retention Reservoir) ซึ่งบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างในชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 1 คือชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ที่มีความผันแปรตั้งแต่ 15 – 30 เมตร เมตร แบ่งเป็น 2 ชั้น คือชั้นบน เป็นตะกอนดินเหนียวอ่อน และชั้นล่างเป็นชั้นเป็นตะกอนดินเหนียวแข็ง ซึ่งมีความสามารถในการซึมต่ำ เป็นเหตุให้การซึมจากผิวดินบริเวณนี้มีค่าค่อนข้างน้อยมาก นอกจากนั้นจากการศึกษาโดยใช้ไอโซโทป และการจำลองสภาพของ Particle Tracking (Sanford and Buapeng, 1996) พบว่าอายุของน้ำบาดาลนอกจากชั้นที่ 1 มีค่าอยู่ระหว่าง 10,000 ถึง 30,000 ปีที่ผ่านมา แสดงว่าการเติมน้ำจากชั้นน้ำบาดาลในชั้นที่ 1 มีค่าน้อยมาก ดังนั้นแก้มลิงที่เหมาะสมในการเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลเพื่อให้ได้ศักยภาพในการเติมน้ำจากแก้มลิงมีค่าสูงจำเป็นต้องขุดให้ท้องของแก้มลิงตัดกับชั้นทรายในชั้นที่ 2 ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ และในการขุดแก้มลิงตัดกับน้ำบาดาลทั้ง ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 บริเวณผิวด้านข้างของแก้มลิงจำเป็นต้องมีการปิดทึบเพื่อไม่ให้น้ำทั้งสองชั้น เข้ามารวมกัน ดังแสดงในภาพที่ 20 และนำพื้นที่แก้มลิงที่เสนอโดย ADB, 2549 ดังภาพที่ 13 เป็นพื้นที่ในการศึกษา และศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเติมน้ำทั้ง 3 ตัว คือ 1) ระดับน้ำในแก้มลิง 2) ความหนาของพื้นที่ท้องน้ำของอ่างเก็บน้ำ 3) ค่าสัมประสิทธิ์ทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของพื้นที่ท้องน้ำของอ่างเก็บน้ำ



ภาพที่ 20 กรอบแนวคิดในการเชื่อมโยงระหว่างแก้มลิง และชั้นน้ำบาดาลแบบมีแรงดัน

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการศึกษา

1. เริ่มต้นงานวิจัย กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย หาข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. กำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง (Model Boundaries)
3. เขียนเงื่อนไขขอบเขตพื้นที่ศึกษาในแต่ละชั้นของชั้นน้ำบาดาล (Model Boundary and Specify Layers)
4. กำหนดระบบกริดเซลล์ (Discretization)
5. ใส่ข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา ของพารามิเตอร์ต่างๆ (Input Data)
6. การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) โดยดูจาก
  - (1) การสอบทานแบบจำลอง (Model Verification)
  - (2) วิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง (Sensitivity Analysis)

ซึ่งวัตถุประสงค์ของการปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) คือ การสร้างให้แบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถให้ผลการคำนวณสอดคล้องกับค่าระดับน้ำที่วัดได้ ระหว่างการปรับเทียบ เขตของค่าพารามิเตอร์ และปริมาณการสูบน้ำจะถูกปรับจนแบบจำลองคณิตศาสตร์นี้สามารถบรรลุเป้าหมายในการให้ผลการคำนวณระดับน้ำ ได้สอดคล้องกับค่าระดับน้ำที่วัดได้ อย่างสมเหตุสมผล การปรับเทียบในการศึกษานี้ทำการปรับเทียบได้ดำเนินการ โดยใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and error Method) ถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

การปรับเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์การไหลของน้ำบาดาลแบบไม่ผันแปรตามเวลา (Steady State Calibration) การปรับเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบน้ำบาดาลกรุงเทพได้ใช้ระดับน้ำในปี พ.ศ. 2542

การปรับเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์การไหลของน้ำบาดาลแบบผันแปรตามเวลา (Transient Calibration) การปรับเทียบแบบผันแปรตามเวลาได้ดำเนินการปรับเทียบโดยใช้ข้อมูลระดับน้ำที่วัดได้จากปี 2543 ถึง 2550

#### 7. การจำลองเหตุการณ์ตามจุดประสงค์ของการศึกษา

(1) การศึกษาความอ่อนไหวของการเติมน้ำจากแก้มลิงเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสภาพการเติมน้ำเข้าสู่ระบบน้ำบาดาล และพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อการเติมน้ำจากแก้มลิงเข้ามา เพื่อจะใช้เป็นข้อพิจารณาในการ ออกแบบแก้มลิงจริงต่อไป พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาณการเติมน้ำที่จะเกิดขึ้นที่สภาวะต่างๆ โดยมี ขั้นตอนดังนี้

(1.1) ทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเติมน้ำจากแก้มลิง จากการศึกษา พบว่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเติมน้ำจากแก้มลิงมี 3 ตัว คือ ระดับน้ำในแก้มลิง สัมประสิทธิ์ การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของท้องแก้มลิง (Vertical Hydraulic Conductivity of Reservoir Bed) และ ความหนาของท้องแก้มลิง (Reservoir Bed Thickness)

(1.2) แบ่งกรณีในการศึกษาความอ่อนไหวของพื้นที่เหมาะสมของแก้มลิงเป็น 3 กรณีหลัก ตามข้อเสนอในการศึกษาแก้มลิงในรายงานฉบับที่ 1 คือ กรณีที่ 1 แก้มลิงตั้งอยู่เหนือ เขื่อนเจ้าพระยา กรณีที่ 2 แก้มลิงตั้งอยู่ใต้เขื่อนเจ้าพระยา และกรณีที่ 3 แก้มลิงตั้งอยู่เหนือ และได้ เขื่อนเจ้าพระยา

(1.3) ในแต่ละกรณีของการศึกษาจะทำการผันแปรพารามิเตอร์ที่สนใจในการศึกษา ความอ่อนไหว โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ตัวอื่นคงที่ และพิจารณาปริมาณการเติมน้ำจากแก้มลิงเข้าสู่ ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพอันเนื่องจากการผันแปรของพารามิเตอร์นั้นๆที่พิจารณา

(1.4) ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์เบื้องต้นทั้งสามตัวสำหรับการศึกษาความอ่อนไหว ของแก้มลิงทั้ง 7 มีค่าดังนี้ ค่าระดับน้ำในแก้มลิงกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์เมตร รทก. ค่า สัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของท้องแก้มลิงมีค่าเท่ากับ 0.375 เมตรต่อวัน (Jones and Torak, 2004) และ ค่าความหนาของท้องแก้มลิงมีค่าเท่ากับ 1 เมตร โดยมีความลึกเฉลี่ยที่ 25 เมตร รทก. โดยมีความผันแปรดังตารางที่ 3.1 ซึ่งใช้กับทุกพื้นที่แก้มลิง

ตารางที่ 2 การผันแปรค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาความอ่อนไหว

ค่าพารามิเตอร์	-75%	-50%	-25%	0	25	50	75	100	150
ระดับน้ำในแก้มลิง (เมตร รทก.)	-7.5	-5	-2.5	0	2.5	5	7.5	10	15
ค่าสัมประสิทธิ์การไหลทางชล ศาสตร์ในแนวตั้งของท้องแก้มลิง (เมตรต่อวัน)	0.075	0.15	0.225	0.375	0.45	0.525	0.6	0.75	0.925
ความหนาของท้องแก้มลิง(เมตร)	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5

(1.5) เมื่อทำการศึกษาความอ่อนไหวแล้ว จะทำให้ทราบว่าพารามิเตอร์ตัวไหนมีผลความอ่อนไหวมากที่สุดต่ออัตราการรั่วซึมของน้ำจากแก้มลิงเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล

(1.6) เมื่อทราบพารามิเตอร์ที่อ่อนไหวที่สุดซึ่งมีผลต่ออัตราการรั่วซึมของน้ำจากแก้มลิงเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพแล้ว นำพารามิเตอร์ตัวนั้นมาศึกษาให้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในแก้มลิง และการฟื้นตัวของน้ำบาดาล

(2) การศึกษาปริมาตรความจุของแก้มลิง และศักยภาพของการเติมน้ำจากแก้มลิงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ

(2.1) ปริมาตรความจุ สามารถศึกษาได้จากในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

(2.2) ศักยภาพของการเติมน้ำจากแก้มลิงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ

การศึกษาศักยภาพของการเติมน้ำจากแก้มลิงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ ทำได้โดย การคำนวณหาระดับเฉลี่ยของตลิ่งแม่น้ำซึ่งติดกับพื้นที่แก้มลิง เพื่อใช้ในการกำหนดค่าระดับน้ำเก็บกักสูงสุดของแก้มลิงในแต่ละแห่ง ซึ่งระดับน้ำกักเก็บสูงสุดนั้นคือ ระดับที่สามารถเก็บน้ำในแก้มลิงได้ในสภาวะความเป็นจริง อีกทั้งยังเป็นระดับที่สามารถนำน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงเวลาน้ำหลากเข้าสู่แก้มลิงได้ ซึ่งกำหนดให้เท่ากับระดับที่ต่ำกว่าระดับเฉลี่ยของตลิ่งแม่น้ำ 1 เมตร แสดงในตารางที่ 3.2

(3) การศึกษาพื้นที่เหมาะสมของแก้มลิงหาพื้นที่เหมาะสมในการสร้างแก้มลิง โดยดูจากค่าความเหมาะสมของการเติมน้ำซึ่งเทียบจาก อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตร อัตราการเติมน้ำต่อพื้นที่ และอัตราการเติมน้ำต่อความลึก เป็นเกณฑ์ในการเลือกพื้นที่ที่เหมาะสม โดยใช้ข้อมูลของแก้มลิงดังนี้

(3.1) พื้นที่แก้มลิงที่ 1 มีพื้นที่ทั้งหมด 176 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 20 ตำบล 3 อำเภอ ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ดังภาพที่ 21 ได้แก่ อำเภอ บางไทร ครอบคลุมพื้นที่ 11 ตำบล ได้แก่ ตำบลกกแก้วบุรพา ตำบลบางพลี ตำบลบางไทร ตำบลบ้านแปง ตำบลสนามชัย ตำบลช้างน้อย ตำบลบ้านเกาะ ตำบลห่อหมก ตำบลกระแซง ตำบลแคตก ตำบลช่างเหล็ก อำเภอเสนา ครอบคลุมพื้นที่ 7 ตำบล ได้แก่ ตำบลชานา ตำบลमारวิชัย ตำบลคอนทอง ตำบลสามตุ่ม ตำบลบ้านหลวง ตำบลบางนมโค ตำบลไผ่พระ อำเภอลาดบัวหลวง ครอบคลุมพื้นที่ 2 ตำบล ได้แก่ ตำบลลาดบัวหลวง ตำบลคู์สอด

บริเวณแก้มลิงที่ 1 ชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 2 มีระดับน้ำบาดาลเฉลี่ย -1.86 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง และมีระดับท้องแก้มลิงเฉลี่ย -24 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กำหนดปริมาตรจากความสูงแก้มลิงเท่ากับ 0 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ทำให้แบบจำลองคิดปริมาตรที่ความลึกของแก้มลิงเท่ากับ 24 เมตร มีปริมาตรเท่ากับ 4,224 ล้านลูกบาศก์เมตร แต่สถานะความเป็นจริงของแก้มลิงที่ 1 ถูกกำหนดให้ความสูงของแก้มลิงขึ้นกับระดับน้ำกักเก็บสูงสุด จากตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าระดับเฉลี่ยของตลิ่งแม่น้ำ 1 เมตร จากข้อมูลความสูงของตลิ่งแม่น้ำเจ้าพระยาพบว่า ระดับตลิ่งเฉลี่ยของแม่น้ำเจ้าพระยาที่ใกล้กับแก้มลิงมากที่สุดมีระดับเท่ากับ 3.5 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ดังนั้นแก้มลิงแก้มที่ 1 มีระดับน้ำกักเก็บสูงสุด เท่ากับ 2.5 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ทำให้แก้มลิงมีความลึกเท่ากับ 26.5 เมตร ดังนั้นปริมาตรน้ำสูงสุดแก้มลิงสามารถกักเก็บได้ในสภาพความเป็นจริงเท่ากับ 4,664 ล้านลูกบาศก์เมตร

(3.2) พื้นที่แก้มลิงที่ 2 มีพื้นที่ทั้งหมด 144 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 19 ตำบล 2 อำเภอ ได้แก่ อำเภอบางบาล ครอบคลุมพื้นที่ 7 ตำบล ได้แก่ตำบลวัดตะกู ตำบลทางช้าง ตำบลวัดยม ตำบลกบเจา ตำบลบ้านคลัง ตำบลบางหลวง ตำบลสะพานไทร อำเภอเสนา ครอบคลุมพื้นที่ 12 ตำบล ได้แก่ตำบลล้านกระทุ่ม ตำบลลาดจา ตำบลหัวเวียง ตำบลบ้านโพธิ์

ตำบลรางจรเข้ ตำบลเจ้าเสด็จ ตำบลเสนา ตำบลน้ำเค็ม ตำบลชายนา ตำบลสามกอ ตำบลบ้านแพน  
ตำบลบางนมโค

บริเวณแก้มลิงที่ 2 ชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 2 มีระดับน้ำบาดาลเฉลี่ย 0.67 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง และมีระดับท้องแก้มลิงเฉลี่ย -24 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คำนวณปริมาตรจากความสูงแก้มลิงเท่ากับ 0 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ทำให้แบบจำลองคิดปริมาตรที่ความลึกของแก้มลิงเท่ากับ 24 เมตร มีปริมาตรเท่ากับ 3,373 ล้านลูกบาศก์เมตร แต่สถานะความเป็นจริงของแก้มลิงที่ 2 ถูกกำหนดให้ความสูงของแก้มลิงขึ้นกับระดับน้ำกักเก็บสูงสุด จากตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าระดับเฉลี่ยของตลิ่งแม่น้ำ 1 เมตร จากข้อมูลความสูงของตลิ่งแม่น้ำเจ้าพระยาพบว่า ระดับตลิ่งเฉลี่ยของแม่น้ำเจ้าพระยาที่ใกล้กับแก้มลิงมากที่สุดมีระดับเท่ากับ 4.6 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ดังนั้นแก้มลิงแก้มที่ 2 มีระดับน้ำกักเก็บสูงสุด เท่ากับ 3.6 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ทำให้แก้มลิงมีความลึกเท่ากับ 27.6 เมตร

(3.3) พื้นที่แก้มลิงที่ 3 มีพื้นที่ทั้งหมด 104 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 8 ตำบล ได้แก่ ตำบลข้าวเม่า ตำบลธนู ตำบลอุทัย ตำบลเสนา ตำบลบ้านทึบ ตำบลสามัคคีตำบลบ้านช้าง และตำบลบ้านช้าง อำเภออุทัยธานี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ดังภาพที่ 21

บริเวณแก้มลิงที่ 3 ชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 2 มีระดับน้ำบาดาลเฉลี่ย -1.86 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง และมีระดับท้องแก้มลิงเฉลี่ย -24 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คำนวณปริมาตรจากความสูงแก้มลิงเท่ากับ 0 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ทำให้แบบจำลองคิดปริมาตรที่ความลึกของแก้มลิงเท่ากับ 24 เมตร มีปริมาตรเท่ากับ 2,495 ล้านลูกบาศก์เมตร แต่สถานะความเป็นจริงของแก้มลิงที่ 3 ถูกกำหนดให้ความสูงของแก้มลิงขึ้นกับระดับน้ำกักเก็บสูงสุด จากตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าระดับเฉลี่ยของตลิ่งแม่น้ำ 1 เมตร จากข้อมูลความสูงของตลิ่งแม่น้ำเจ้าพระยาพบว่า ระดับตลิ่งเฉลี่ยของแม่น้ำเจ้าพระยาที่ใกล้กับแก้มลิงมากที่สุดมีระดับเท่ากับ 4.3 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ดังนั้นแก้มลิงแก้มที่ 3 มีระดับน้ำกักเก็บสูงสุด เท่ากับ 3.3 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ทำให้แก้มลิงมีความลึกเท่ากับ 27.3 เมตร ดังนั้นปริมาตรน้ำสูงสุดแก้มลิงสามารถกักเก็บได้ในสภาพความเป็นจริงเท่ากับ 2,839.2 ล้านลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 3 ระดับน้ำเก็บกักสูงสุดของแก้มลิง

ตำแหน่งของแก้ม ลิงที่	อำเภอ	จังหวัด	พื้นที่ของแก้มลิง (ตร.กม.)	ระดับเฉลี่ยของ ตลิ่งแม่น้ำ (เมตร, รทก.)	ระดับน้ำเก็บกัก สูงสุด (เมตร, รทก.)	ระดับความลึก ของแก้มลิง (เมตร, รทก.)	ปริมาตรน้ำ สูงสุดของแก้ม ลิง (10 <sup>6</sup> ลบ.ม.)	ตำแหน่งเหนือ/ ท้ายของเขื่อน เจ้าพระยา
1	บางไทร	พระนครศรีอยุธยา	176	3.5	2.5	26.5	4,664	ท้ายเขื่อน
2	ผักไห่	พระนครศรีอยุธยา	144	4.6	3.6	27.6	3,974.4	ท้ายเขื่อน
3	อูทัย	พระนครศรีอยุธยา	104	4.3	3.3	27.3	2,839.2	ท้ายเขื่อน
4	มหาราช	พระนครศรีอยุธยา	80	8	7	32	2,560	ท้ายเขื่อน
5	ท่าม่วง	ลพบุรี	44	11.5	10.5	35.5	1,562	ท้ายเขื่อน
6	ค่ายบางระจัน	สิงห์บุรี	128	11.9	10.9	35.9	4,595.2	ท้ายเขื่อน
7	มโนรมย์	ชัยนาท	128	18.7	17.7	39.7	5,081.6	เหนือเขื่อน





ภาพที่ 23 อาณาเขตพื้นที่แก้มลิงที่ 3

(3.4) พื้นที่แก้มลิงที่ 4 มีพื้นที่ทั้งหมด 80 ตารางกิโลเมตร ลอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 10

ตำบล 2 อำเภอ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดอ่างทอง ดังภาพที่ 24

อำเภอ มหาราช คลอบคลุมพื้นที่ 8 ตำบล ได้แก่ ตำบลบ้านนา ตำบลบ้านขวาง ตำบลเจ้าปลุก ตำบลท่าตอ ตำบลมหาราช ตำบลน้ำเค็ม ตำบลบ้านใหม่ ตำบลหัวไผ่

อำเภอ เมืองอ่างทอง คลอบคลุมพื้นที่ 2 ตำบล ได้แก่ ตำบลบ้านอิฐ ตำบลหัวไผ่ บริเวณแก้มลิงที่ 4 ชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 2 มีระดับน้ำบาดาลเฉลี่ย 3.26 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง และมีระดับท้องแก้มลิงเฉลี่ย -25 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กำหนดปริมาตรจากความสูงแก้มลิงเท่ากับ 0 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ทำให้แบบจำลองคิดปริมาตรที่ความลึกของแก้มลิงเท่ากับ 25 เมตร มีปริมาตรเท่ากับ 1,997 ล้านลูกบาศก์เมตร แต่สภาวะความเป็นจริงของแก้มลิงที่ 4 ถูกกำหนดให้ความสูงของแก้มลิงขึ้นกับระดับน้ำกักเก็บสูงสุด จากตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าระดับเฉลี่ยของตลิ่งแม่น้ำ 1 เมตร จากข้อมูลความสูงของตลิ่งแม่น้ำเจ้าพระยาพบว่า ระดับตลิ่งเฉลี่ยของแม่น้ำเจ้าพระยาที่ใกล้กับแก้มลิงมากที่สุดมีระดับเท่ากับ 8 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ดังนั้นแก้มลิงแก้มที่ 4 มีระดับน้ำกักเก็บสูงสุด เท่ากับ 7 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ทำให้แก้มลิงมีความลึกเท่ากับ 32 เมตร ดังนั้นปริมาตรน้ำสูงสุดแก้มลิงสามารถกักเก็บได้ในสภาพความเป็นจริงเท่ากับ 2,560 ล้านลูกบาศก์เมตร



10.5 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ทำให้แก้มลิงมีความลึกเท่ากับ 35.5 เมตร ดังนั้นปริมาณน้ำสูงสุด แก้มลิงสามารถกักเก็บได้ในสภาพความเป็นจริงเท่ากับ 1,562 ล้านลูกบาศก์เมตร



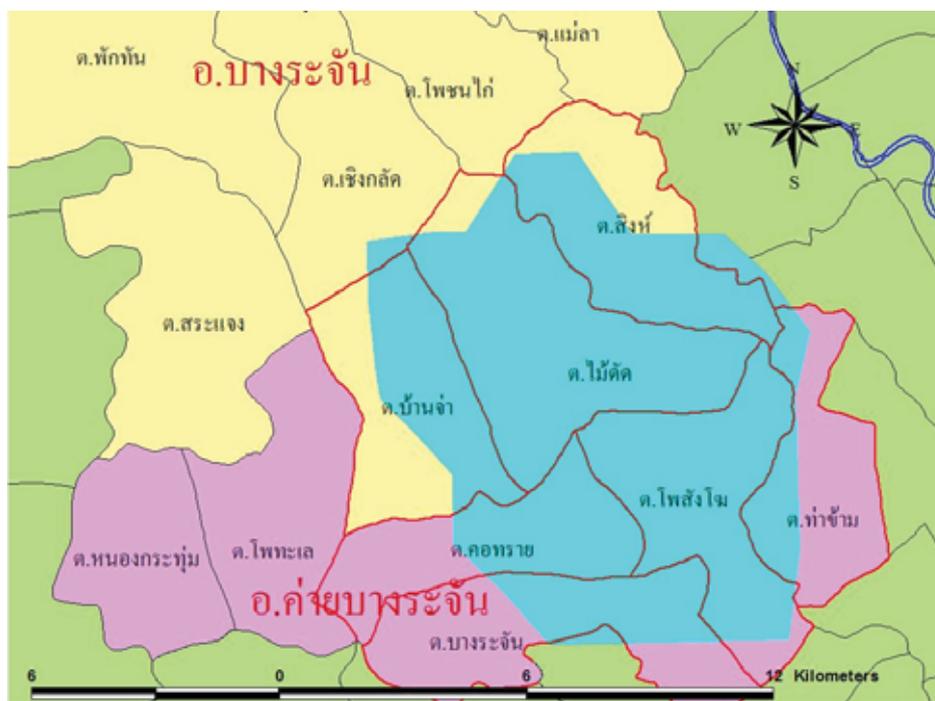
ภาพที่ 25 อาณาเขตพื้นที่แก้มลิงที่ 5

### (3.6) ผลปริมาณความจุ และศักยภาพของการเติมน้ำของแก้มลิงที่ 6

พื้นที่แก้มลิงที่ 6 มีพื้นที่ทั้งหมด 128 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 7 ตำบล ได้แก่ ตำบลสิงห์ ตำบลไม้คัด ตำบลบ้านจำ ตำบลท่าข้าม ตำบลโพสังโฆ ตำบลคอทราย ตำบลบางระจัน อำเภอ ค่ายบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี ดังภาพที่ 26

บริเวณแก้มลิงที่ 6 ชี้น้ำบาดาลชั้นที่ 2 มีระดับน้ำบาดาลเฉลี่ย 5.7 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง และมีระดับท้องแก้มลิงเฉลี่ย -25 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กำหนดปริมาตรจากความสูงแก้มลิงเท่ากับ 0 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ทำให้แบบจำลองคิดปริมาตรที่ความลึกของแก้มลิงเท่ากับ 25 เมตร มีปริมาตรเท่ากับ 3,207 ล้านลูกบาศก์เมตร แต่สภาวะความเป็นจริงของแก้มลิงที่ 6 ถูกกำหนดให้ความสูงของแก้มลิงขึ้นกับระดับน้ำกักเก็บสูงสุด จากตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าระดับเฉลี่ยของตลิ่งแม่น้ำ 1 เมตร จากข้อมูลความสูงของตลิ่งแม่น้ำเจ้าพระยาพบว่า ระดับตลิ่งเฉลี่ยของแม่น้ำเจ้าพระยาที่ใกล้กับแก้มลิงมากที่สุดมีระดับเท่ากับ 11.9 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ดังนั้นแก้มลิงแก้มที่ 6 มีระดับน้ำกักเก็บสูงสุด เท่ากับ

10.9 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ทำให้แก้มลิงมีความลึกเท่ากับ 35.9 เมตร ดังนั้นปริมาตรน้ำสูงสุดแก้มลิงสามารถกักเก็บได้ในสภาพความเป็นจริงเท่ากับ 4,595.2 ล้านลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 26 อาณาเขตพื้นที่แก้มลิงที่ 6

(3.7) พื้นที่แก้มลิงที่ 7 มีพื้นที่ทั้งหมด 128 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 6 ตำบล ได้แก่ ตำบลท่าฉนวน ตำบลศิลาदान ตำบลวัดโคก ตำบลคู้้งสำเภา ตำบลหางน้ำสาคร ตำบลไร่พัฒนา อำเภอ มโนรมย์ จังหวัดชัยนาท ดังภาพที่ 27

บริเวณแก้มลิงที่ 7 ชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 2 มีระดับน้ำบาดาลเฉลี่ย 6.79 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง และมีระดับท้องแก้มลิงเฉลี่ย -22 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กำหนดปริมาตรจากความสูงแก้มลิงเท่ากับ 0 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ทำให้แบบจำลองคิดปริมาตรที่ความลึกของแก้มลิงเท่ากับ 22 เมตร มีปริมาตรเท่ากับ 2,814 ล้านลูกบาศก์เมตร แต่สภาพความเป็นจริงของแก้มลิงที่ 7 ถูกกำหนดให้ความสูงของแก้มลิงขึ้นกับระดับน้ำกักเก็บสูงสุด จากตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าระดับเฉลี่ยของตลิ่งแม่น้ำ 1 เมตร จากข้อมูลความสูงของตลิ่งแม่น้ำเจ้าพระยาพบว่า ระดับตลิ่งเฉลี่ยของแม่น้ำเจ้าพระยาที่ใกล้กับแก้มลิงมากที่สุดมี

ระดับเท่ากับ 18.7 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ดังนั้นแก้มลิงแก้มที่ 7 มีระดับน้ำกักเก็บสูงสุด เท่ากับ 17.7 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง ทำให้แก้มลิงมีความลึกเท่ากับ 39.7 เมตร ดังนั้นปริมาณน้ำสูงสุด แก้มลิงสามารถกักเก็บได้ในสภาพความเป็นจริงเท่ากับ 5,081.6 ล้านลูกบาศก์เมตร



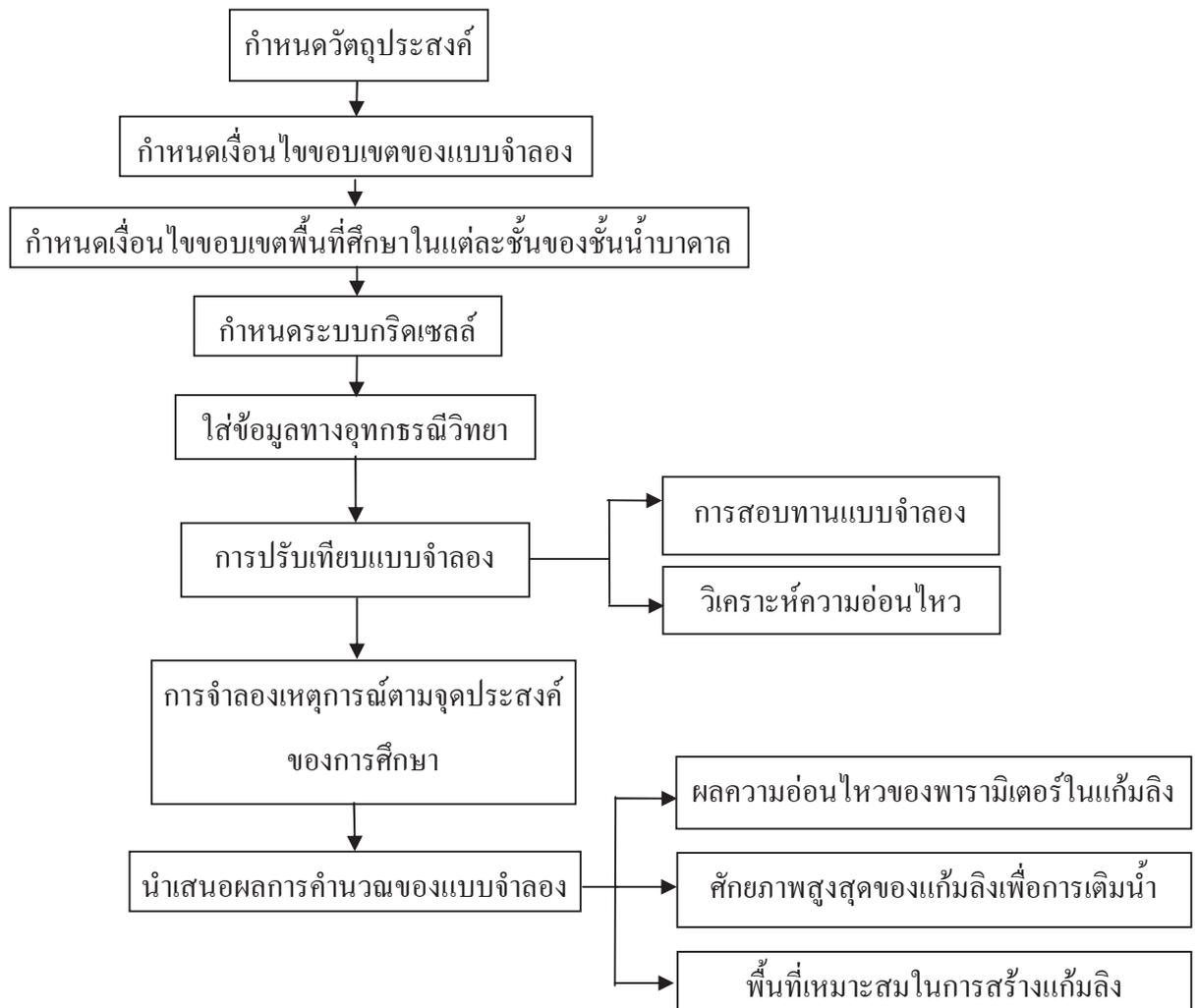
ภาพที่ 27 อาณาเขตพื้นที่แก้มลิงที่ 7

ตารางที่ 4 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่	ข้อมูลที่เป็นต่อการพัฒนาแบบจำลอง	ได้รับข้อมูลมาจาก
1	ข้อมูลค่าระดับน้ำบาดาลในแต่ละชั้น (ข้อมูลเชิงเลข)	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
2	จำนวนบ่อบาดาล (ข้อมูลเชิงเลข) ข้อมูลบ่อสูบ/บ่อวัดระดับ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
3	ข้อมูลพารามิเตอร์ในระบบชั้นน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
4	แผนที่ GIS ของอุทกธรณีของน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

8. การนำเสนอผลการคำนวณของแบบจำลอง โดยใช้ Post Processing ทั้งแบบจำลองสองมิติ แบบสามมิติ และแบบเคลื่อนไหว

ขั้นตอนและวิธีการศึกษา ดังแสดงดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

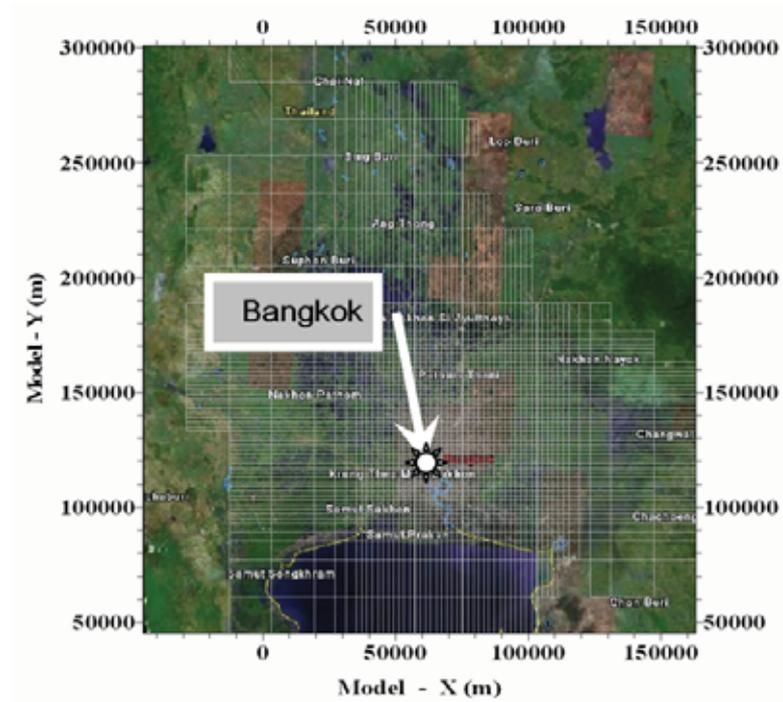
## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

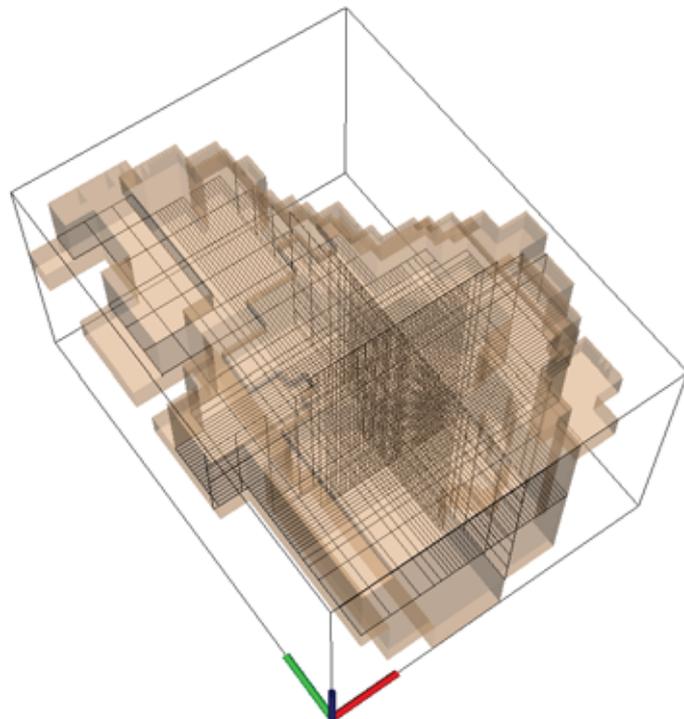
#### 1. ผลการออกแบบแบบจำลองของน้ำบาดาล

หลังจากการพัฒนากรอบความคิดของแบบจำลองน้ำบาดาลแล้ว กรอบความคิดของแบบจำลองน้ำบาดาลนี้จะถูกนำเข้าสู่การจำลองสภาพซึ่งจะประกอบไปด้วย การออกแบบกริด (Grid Design) ให้สอดคล้องกับลักษณะทางภูมิศาสตร์ และอุทกธรณีวิทยา การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) การกำหนดเงื่อนไขเบื้องต้น (Initial Conditions) การเลือกค่าเริ่มต้นของค่าพารามิเตอร์ของระบบชั้นน้ำบาดาล (Initial Set of Parameters) เช่น สัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ (Hydraulic Conductivity) สัมประสิทธิ์การเติมน้ำในแนวตั้ง (Vertical Conductance) เป็นต้น ความเค้นทางอุทกวิทยา (Hydrologic Stresses) เช่น ปริมาณการสูบน้ำ และการกระจายของการสูบน้ำ ฯลฯ

ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพถูกออกแบบกริดโดยใช้ระเบียบวิธี ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ แบ่งกริดออกเป็นเมสซ์สี่เหลี่ยมมีขนาดผันแปรตั้งแต่ 2x2 ถึง 16x16 ตารางกิโลเมตร (ภาพที่ 29) แบ่งออกเป็น 9 ชั้น ในแต่ละชั้นประกอบไปด้วย 55 แถว และ 52 สดมภ์ รวมจำนวนกริดทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 25,740 กริด (Arlai 2007) โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นเซลล์ที่ใช้ในการคำนวณการไหล (Active Cells) และเซลล์ที่ไม่ใช้ในการคำนวณการไหล (Inactive Cells) ตามลักษณะการกระจายตัวของชั้นหินทางอุทกธรณีวิทยา จากรายละเอียดการออกแบบกริดที่ได้กล่าวไว้ สามารถแสดงเป็น 3 มิติของไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์กริดได้ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 29 ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์กริดในชั้นน้ำบาดาลที่ 5 ของแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพฯ



ภาพที่ 30 ภาพ 3 มิติของไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์กริดของแบบจำลองน้ำบาดาลกรุงเทพฯ (Arlai, 2007)

กำหนดเงื่อนไขขอบเขต ขอบเขตเงื่อนไขของชั้นบนสุดของแบบจำลองคณิตศาสตร์นี้ถูกกำหนดให้เป็นแบบ Dirichlet Boundary Condition เพื่อแทนระดับน้ำซึ่งอยู่ในชั้นนี้ ในขณะที่การเติมน้ำตามธรรมชาติเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ เกิดขึ้นในส่วนของพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา อันเกิดจากส่วนของชั้นน้ำบาดาลที่โผล่ขึ้นมา (Outcropping Basin Flanks) ขอบเขตเงื่อนไขสำหรับการเติมน้ำตามธรรมชาตินี้ถูกกำหนดให้เป็นแบบ Dirichlet Boundary Condition ด้วย โดยกำหนดให้ค่าระดับน้ำเท่ากับระดับภูมิประเทศของปีกของพื้นที่ลุ่มน้ำ ในขณะที่พื้นที่ส่วนกลางของแบบจำลองสมมติว่าไม่มีการเติมน้ำจากผิวดิน ขณะที่ท้องของชั้นที่ 9 ถูกกำหนดให้มีเงื่อนไขขอบเขตเป็นแบบ Neumann Boundary Condition เนื่องจากท้องของชั้นนี้ถูกสมมติให้ทับน้ำ เซลล์ของแบบจำลองในแถวที่ 55 ถูกกำหนดให้มีเงื่อนไขขอบเขตเป็นแบบ Dirichlet Boundary Condition ซึ่งแทนเงื่อนไขขอบเขตของระดับน้ำทะเลซึ่งอยู่ในพื้นที่ของอ่าวไทย

ค่าระดับน้ำเริ่มต้นได้รับมาจากข้อมูลระดับน้ำที่มีการวัดโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในปี พ.ศ.2542 ซึ่งเป็นปีที่ระดับน้ำค่อนข้างจะคงที่ และกำหนดให้ระดับน้ำในปีนี้ใช้เป็นปีสำหรับการเปรียบเทียบแบบคงที่กับเวลา (Steady State Calibration)

ค่าเขตเริ่มต้นของพารามิเตอร์นี้ ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์การไหล สัมประสิทธิ์การเติมน้ำในแนวตั้ง และสัมประสิทธิ์ของการเก็บกักของชั้นน้ำบาดาลแบบไม่อัดตัว และ-อัดตัวนั้น ได้นำมาจากการศึกษาของ Kokusai Kogyo (1995)Gangopadyay (1997) และ Arlai (2007) ความเห็นของอุทกวิทยา ในการศึกษาของน้ำบาดาลนี้ คือ ปริมาณ และตำแหน่งของการสูบน้ำได้มาจากข้อมูลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

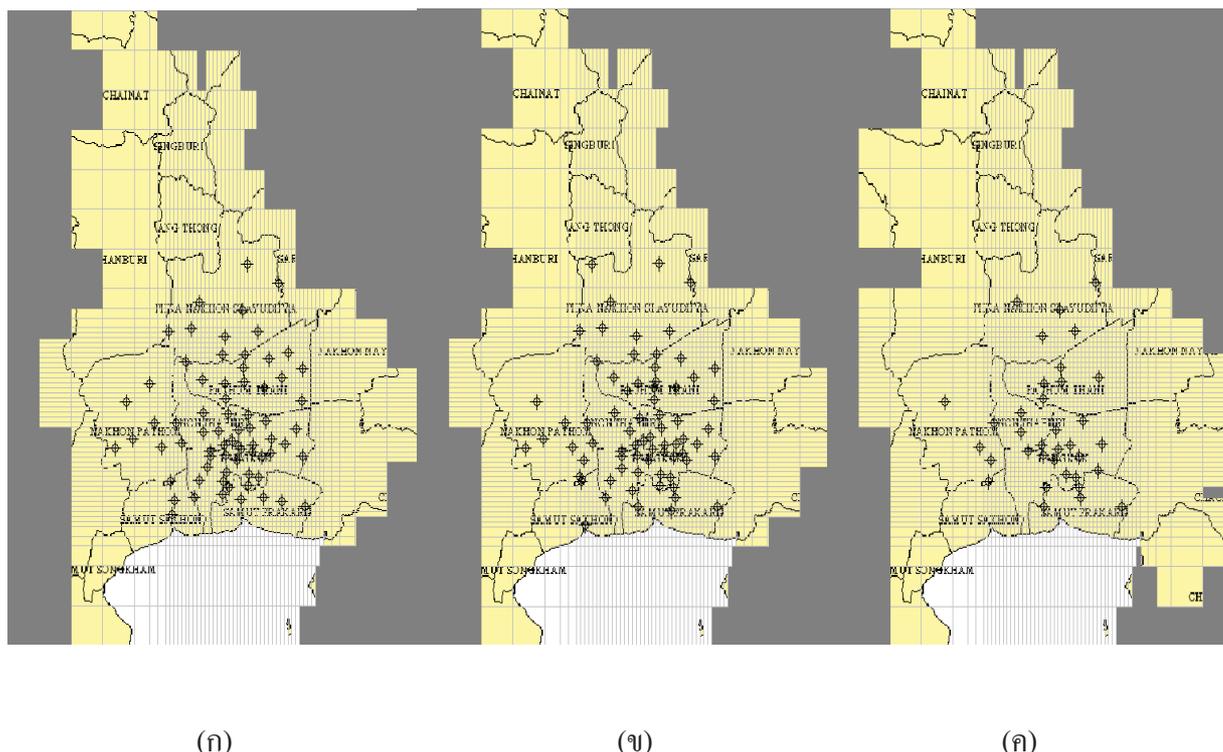
## 2. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองของน้ำบาดาล

วัตถุประสงค์ของการเปรียบเทียบแบบจำลอง (Calibration) คือ การสร้างให้แบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถให้ผลการคำนวณสอดคล้องกับค่าระดับน้ำที่วัดได้ ระหว่างการเปรียบเทียบ เซลล์ค่าพารามิเตอร์ และปริมาณการสูบน้ำจะถูกปรับจนแบบจำลองคณิตศาสตร์นี้สามารถบรรลุเป้าหมายในการให้ผลการคำนวณระดับน้ำ ได้สอดคล้องกับค่าระดับน้ำที่วัดได้ อย่างสมเหตุสมผล การเปรียบเทียบในการศึกษาครั้งนี้ถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การเปรียบเทียบแบบไม่ผันแปรตามเวลา

(Steady State Calibration) และการปรับเทียบแบบผันแปรตามเวลา (Transient Calibration) การปรับเทียบได้ดำเนินการโดยใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error Method)

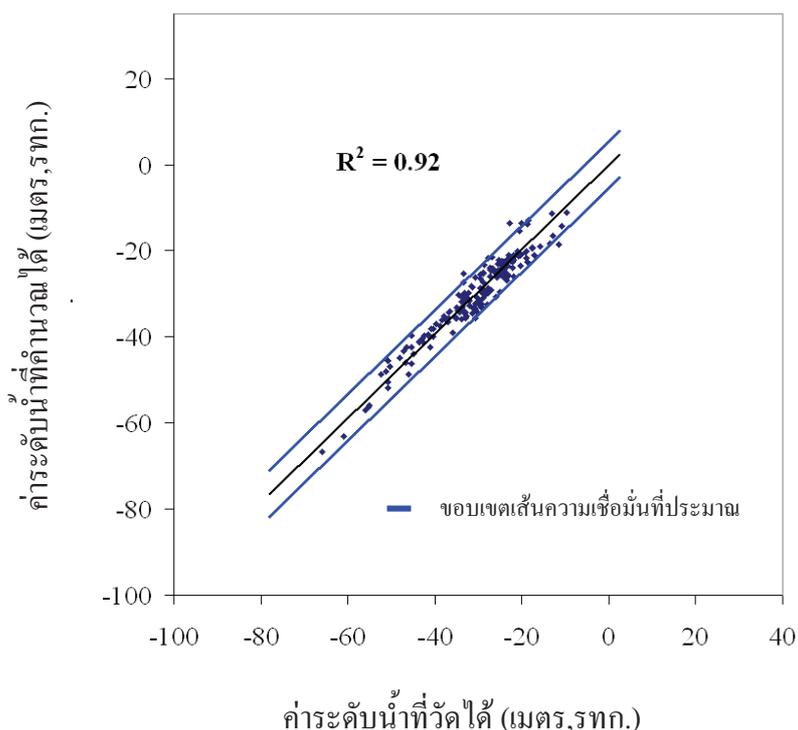
### 1.1 ผลการปรับเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์การไหลของน้ำบาดาลแบบไม่ผันแปรตามเวลา

การปรับเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบน้ำบาดาลกรุงเทพได้ใช้ระดับน้ำในปี พ.ศ. 2542 สำหรับการปรับเทียบแบบจำลองฯ แบบไม่ผันแปรตามเวลา เนื่องจากระดับน้ำบาดาลที่วัดได้จากสถานีวัดระดับน้ำบาดาล (ภาพที่ 31) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในปี พ.ศ. 2542 มีค่าค่อนข้างคงที่ เทียบกับระดับน้ำที่วัดได้ในปีอื่นๆ ได้ดำเนินการปรับเทียบโดยวิธีลองผิด และลองถูก (Trial and Error Method)



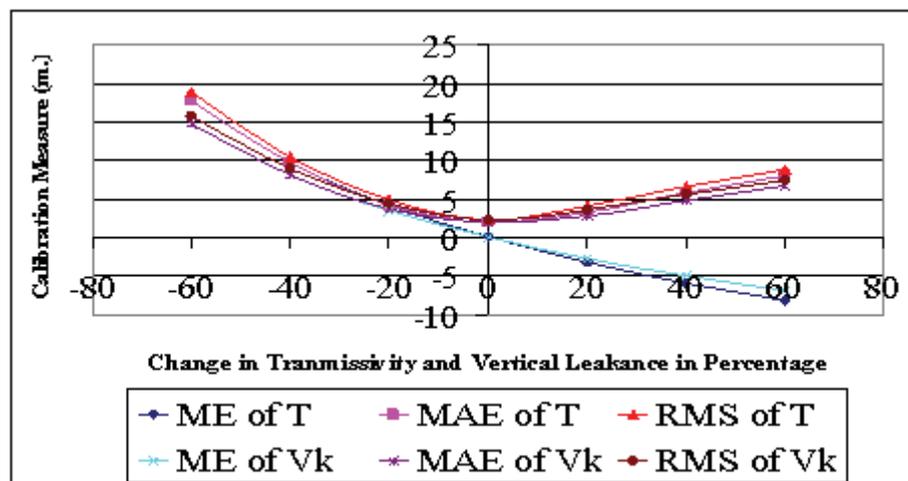
ภาพที่ 31 ตำแหน่งของสถานีวัดระดับน้ำบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลในชั้นที่ 3 (ก), 4 (ข) และ 5 (ค)

ค่าพารามิเตอร์ที่ถูกปรับเทียบคือ ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity, T) และ สัมประสิทธิ์การไหลซึมในแนวดิ่ง (Vertical Leakage,  $V_k$ ) การปรับเทียบแบบจำลองนี้ได้ถูก ประเมินว่าการปรับเทียบมีความเหมาะสมหรือไม่โดยใช้วิธีการประเมินเชิงปริมาณ (Quantitative Assessment) และคุณภาพ (Qualitative Assessment) การปรับเทียบเชิงปริมาณ สามารถกระทำได้ โดยการพล็อตเปรียบเทียบระหว่างค่าระดับน้ำที่วัดได้ กับค่าระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลอง (ภาพที่ 32) และโดยพิจารณาจากค่าผิดพลาด (Error) ในรูปแบบต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่า ผิดพลาดของแบบจำลอง ดังนี้ คือ ค่าผิดพลาดเฉลี่ย (Mean Error, ME) ค่าผิดพลาดสมบูรณ์ (Mean Absolute Error, MAE) และรากที่สองของค่าผิดพลาดเฉลี่ย (Root Mean Squared Error, RMS) พร้อมทั้งเป็นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่มีการปรับเทียบด้วย ดังแสดงในภาพที่ 32



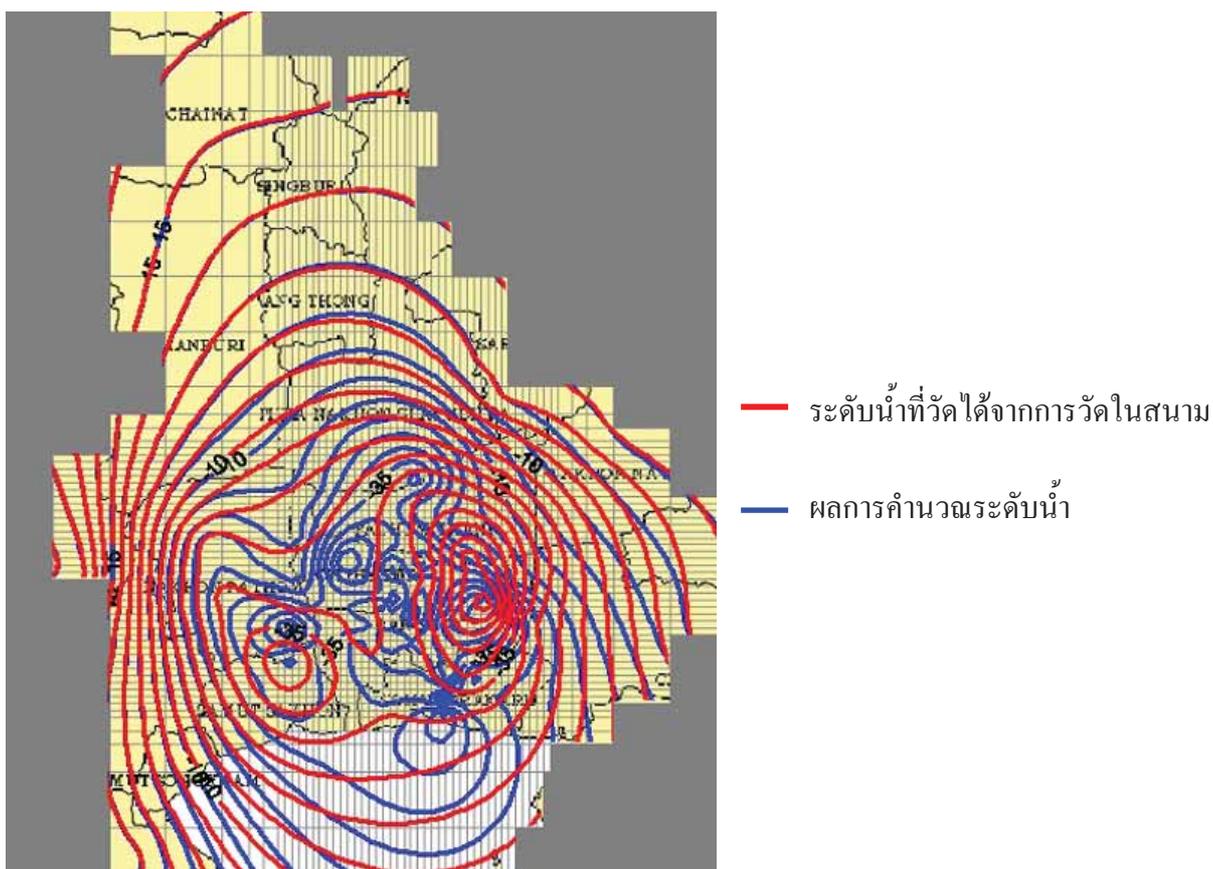
ภาพที่ 32 ค่าระดับน้ำที่วัดได้ เทียบกับค่าระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองของปี พ.ศ. 2542

จากภาพที่ 32 จะเห็นได้ว่าผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าระดับน้ำที่วัดได้ กับค่าระดับน้ำที่คำนวณได้ หรือสามารถเรียกว่า กราฟของกระจายตัวของค่าระดับน้ำที่วัดได้ และค่าระดับน้ำที่คำนวณได้ (Scatter Plot) ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับน้ำที่วัดได้ และ ค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถจำลองค่าระดับน้ำได้ใกล้เคียงกับระดับน้ำจริงเป็นอย่างดี จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) กับค่าผิดพลาดในรูปแบบต่างๆของพารามิเตอร์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity) และ การเติมน้ำในแนวตั้ง (Vertical Leakance) ดังภาพที่ 33 พบว่า ให้ค่าผิดพลาดต่ำที่สุดของแบบจำลองในตำแหน่งของค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบจากแบบจำลอง (ที่  $X = 0$ ) และพารามิเตอร์ที่ปรับเทียบมีความอ่อนไหวต่อค่าผิดพลาดซึ่งสังเกตได้จากการโค้งเพิ่มขึ้นของกราฟที่พล็อต จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้สามารถสรุปได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบ และแบบจำลองมีความเหมาะสมสำหรับการคำนวณ หรือทำนายระบบการไหลของระบบชั้นน้ำกรุงเทพต่อไป



ภาพที่ 33 ค่า ME, MAE และ RMS ซึ่งได้มาจากการผันแปรค่า Transmissivity (T) และ Vertical Leakance (Vk) เป็นเปอร์เซ็นต์จากค่าที่ได้จากการปรับเทียบของแบบจำลอง

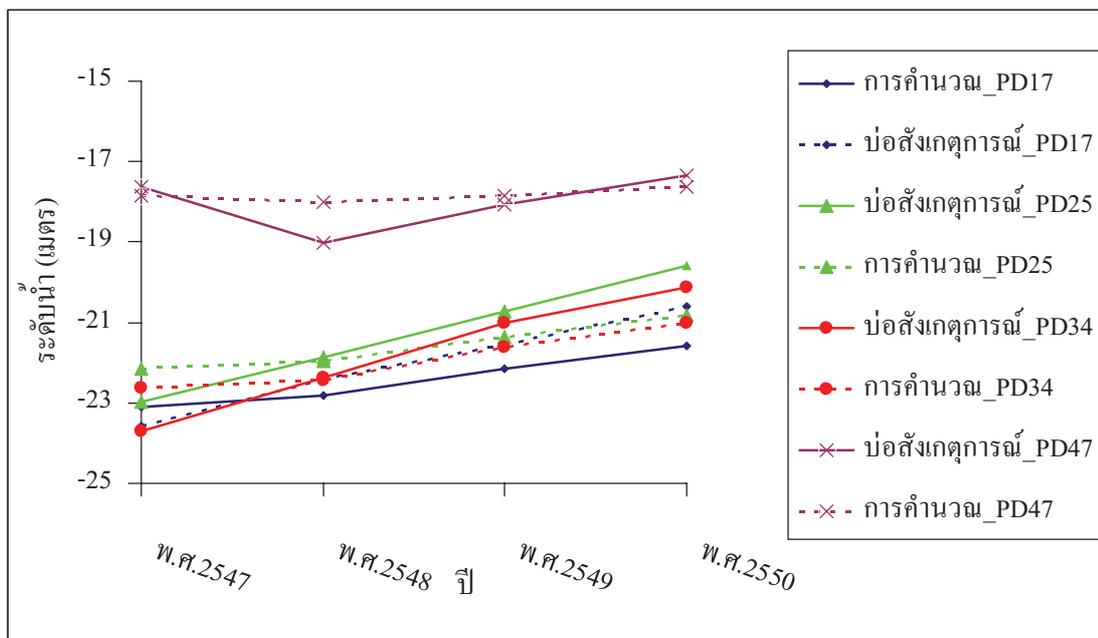
จากการพล็อตแผนที่เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลเปรียบเทียบระหว่างการกระจายตัวของระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ และการวัดจริงในสนาม (ภาพที่ 31) และพิจารณาความเหมือนของการกระจายตัวของระดับน้ำที่ได้จากการวัดในสนาม และการคำนวณ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ระดับน้ำที่วัดในชั้นที่ 3, 4 และ 5 เนื่องจากบ่อวัดระดับน้ำเกือบทั้งหมดของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลอยู่ใน 3 ชั้นนี้ จากภาพที่ 34 จะเห็นได้ว่าผลการคำนวณระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองมีความสอดคล้องในการกระจายตัวเป็นอย่างดีกับระดับน้ำที่ได้จากการวัดในสนาม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ชุดของพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบ และแบบจำลองมีความเหมาะสมในการคำนวณ หรือทำนายระบบการไหลของน้ำบาดาลต่อไป



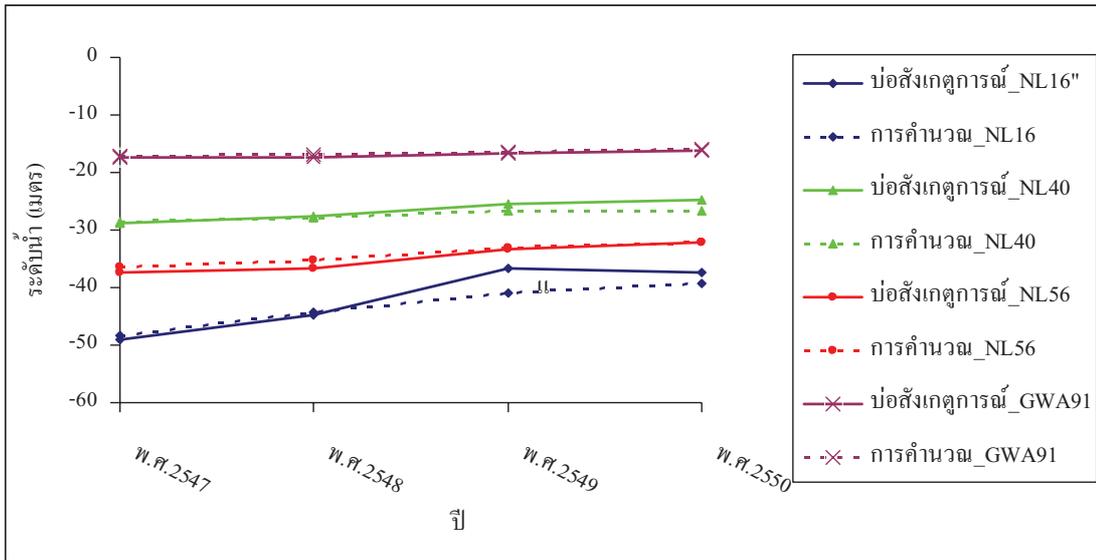
ภาพที่ 34 แผนที่เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลผลการปรับเทียบของแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบคงตัว (Steady State)

## 1.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์การไหลของน้ำบาดาลแบบผันแปรตามเวลา

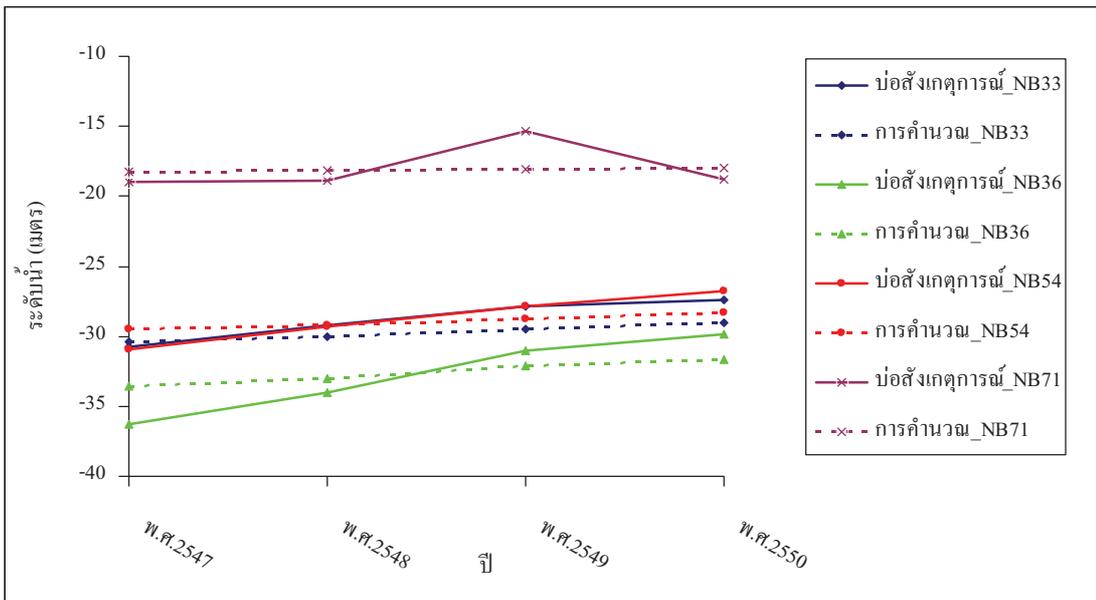
ผลของการเปรียบเทียบคุณภาพประเมิน โดยการพล็อตเปรียบเทียบเชิงคุณภาพของค่าระดับน้ำที่วัดได้ในสนาม กับค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ โดยแบบจำลอง ในช่วงปี 2549 ถึง ปี 2550 ที่ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ในชั้นน้ำบาดาล (ภาพที่ 35) และการเปรียบเทียบเชิงปริมาณ โดยการพล็อตแผนที่เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลเปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่วัดได้ในสนาม กับค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ โดยแบบจำลอง (ภาพที่ 36) พบว่าให้ผลของการคำนวณระดับน้ำ มีความสอดคล้องกับระดับน้ำที่ได้จากการวัดเป็นอย่างดี แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถจำลองสภาพการไหลของระบบน้ำบาดาลกรุงเทพได้เป็นอย่างดีในสภาวะการไหลแบบผันแปรตามเวลา



(ก) ชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 3

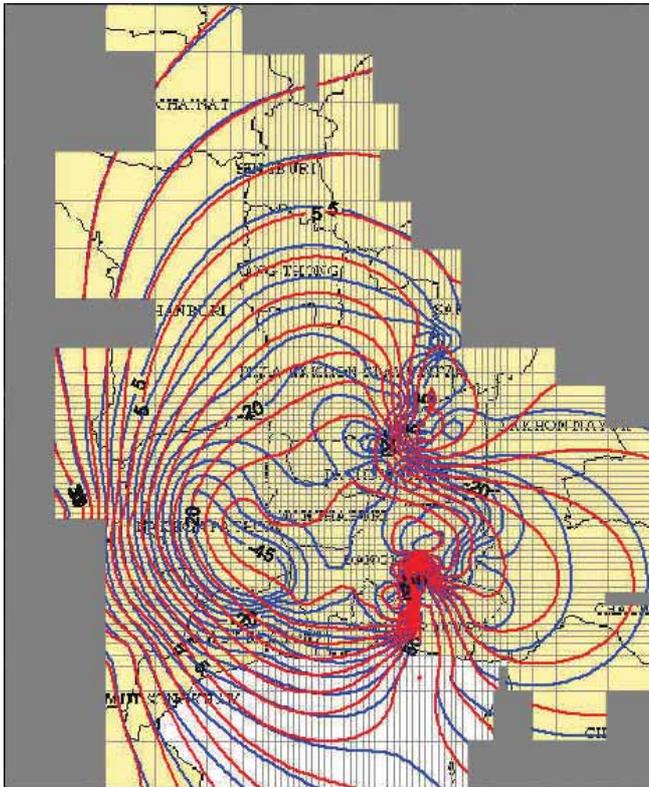


(ข) ชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 4



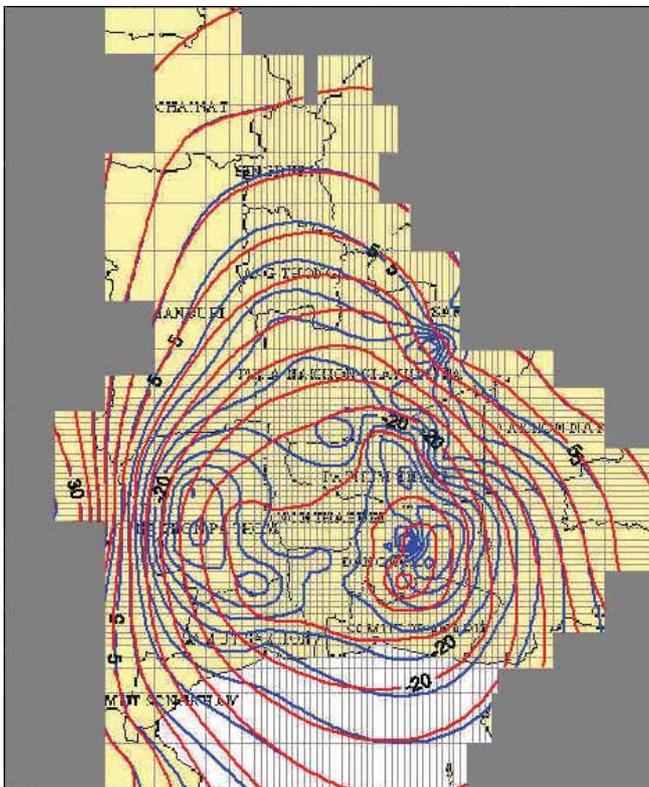
(ค) ชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 5

ภาพที่ 35 การพล็อตเปรียบเทียบของค่าระดับน้ำที่วัดได้ในสนาม กับค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองในชั้นที่ 3 (ก) 4 (ข) และ 5 (ค) ในปี พ.ศ. 2547-2550



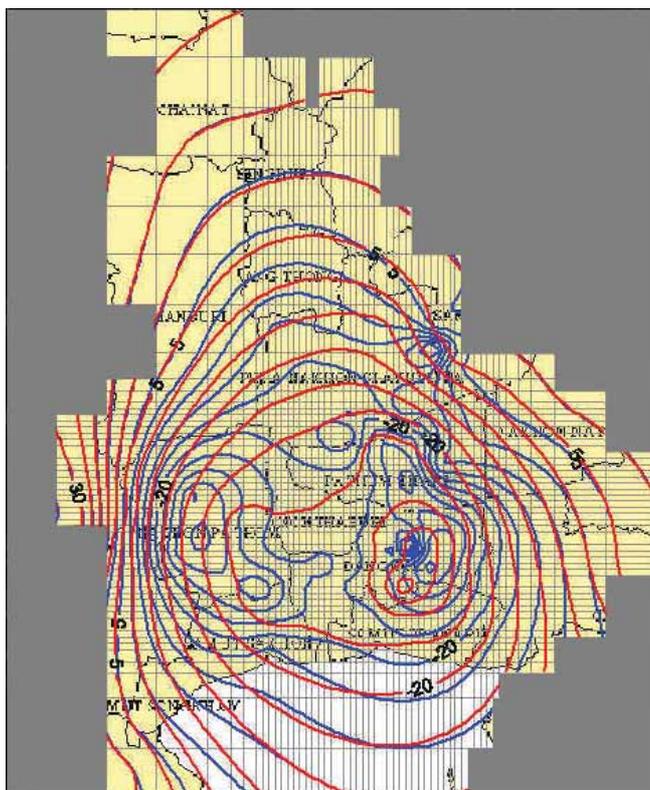
— ระดับน้ำที่วัดได้จากการวัดในสนาม  
— ผลการคำนวณระดับน้ำ

(ก) ชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 3



— ระดับน้ำที่วัดได้จากการวัดในสนาม  
— ผลการคำนวณระดับน้ำ

(ข) ชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 4



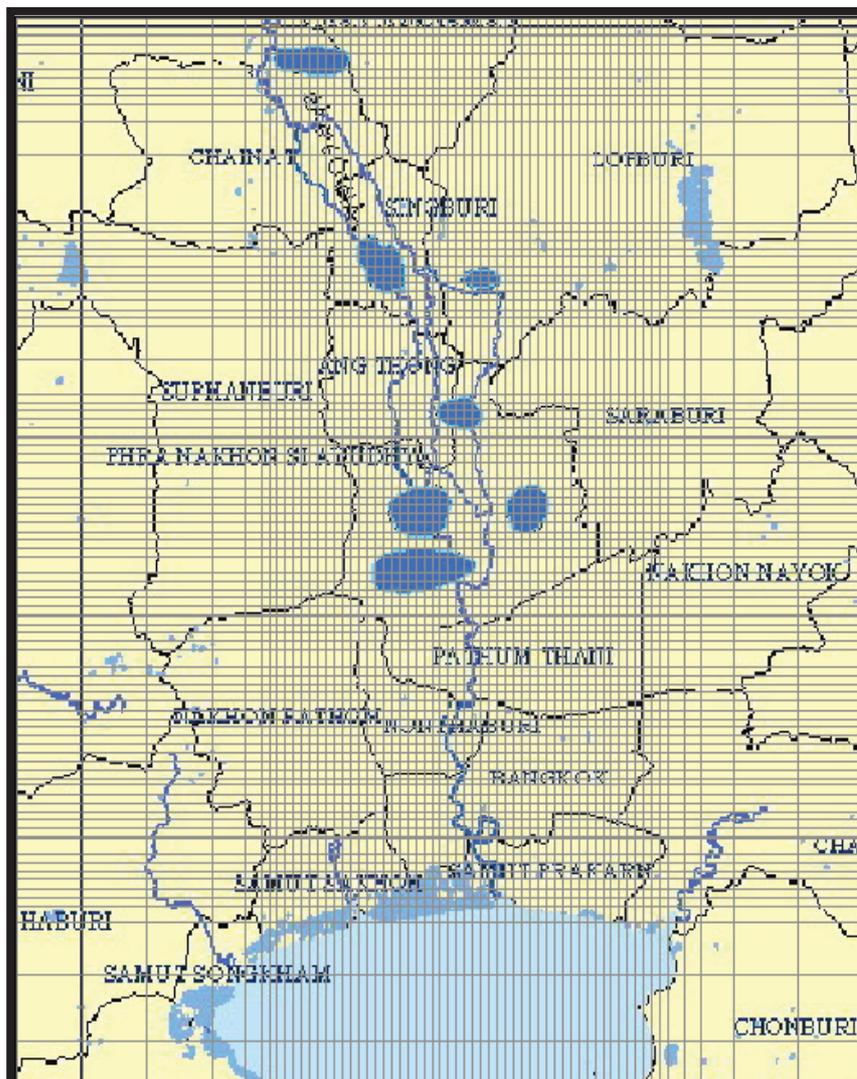
- ระดับน้ำที่วัดได้จากการวัดในสนาม
- ผลการคำนวณระดับน้ำ

(ค) ชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 5

ภาพที่ 36 แผนที่เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลผลการเปรียบเทียบของแบบจำลองในสภาวะการไหลผันแปรตามเวลา(Transient State)ในชั้นที่ 3 (ก) 4 (ข) และ 5 (ค) ปี พ.ศ. 2547-2550

### 3. ผลการพัฒนาแบบจำลองน้ำบาดาลเชื่อมกับแก้มลิง

การพัฒนาแบบจำลองน้ำบาดาลเชื่อมกับแก้มลิง ทำได้โดยการใช้โมดูลชื่อ Reservoir Module หรือ RES1 (Fenske et al., 1996) ซึ่งเป็นโมดูลในการจำลองสภาพปฏิสัมพันธ์ของอ่างเก็บน้ำหรือแก้มลิง เชื่อมกับแบบจำลอง 3 มิติของน้ำบาดาลหรือ MODFLOW-96 เมื่อมีการนำตำแหน่งของแก้มลิงซึ่งได้ดิจิทัลไว้มาลงในแบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาล พบว่าส่วนของตำแหน่งของแก้มลิงส่วนใหญ่อยู่ในกริดของไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ที่มีขนาดใหญ่ (ภาพที่ 37) คือ 2x8 ถึง 2x16 ตารางกิโลเมตร ทำให้การคำนวณของแก้มลิงเชื่อมต่อกับแบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาลอาจจะไม่มีความถูกต้องเพียงพอ



ภาพที่ 37 ไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์กริดใหม่ของแบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาลเพื่อใช้ในการเชื่อมโยงระหว่างแก้มลิง และระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ

เพื่อให้การคำนวณมีความถูกต้องมากขึ้นจำเป็นต้องมีการออกแบบกริดใหม่ (Re-Gridding Design) ให้มีขนาดเล็กลงในส่วนของพื้นที่ที่มีตำแหน่งของแก้มลิงตั้งอยู่ โดยมีการออกแบบกริดใหม่ในพื้นที่ที่มีแก้มลิงให้มีขนาดเล็กลงเป็น 2x2 ตารางกิโลเมตร ทำให้จำนวนแถว (Row) และสดมภ์ (Column) จากเดิมที่มีค่า 55 แถว และ 52 สดมภ์ เป็น 92 แถว และ 60 สดมภ์ แต่กำหนดให้พารามิเตอร์ทุกตัวมีค่าเหมือนกับที่ได้จากการปรับเทียบ และกำหนดให้ห้องของแก้มลิงเชื่อมกับชั้นที่ 2 หรือชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ

#### 4. ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการเติมน้ำเนื่องจากพารามิเตอร์ต่างๆ

##### 4.1 ผลการศึกษาความอ่อนไหวของการเติมน้ำจากแก้มลิงเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ

การศึกษาความอ่อนไหวของการเติมน้ำจากแก้มลิงเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ เน้นการเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสภาพการเติมน้ำเข้าสู่ระบบน้ำบาดาล และ พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อการเติมน้ำจากแก้มลิงเข้ามา เพื่อจะใช้เป็นข้อพิจารณาในการ ออกแบบแก้มลิงจริงต่อไป พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาณการเติมน้ำที่จะเกิดขึ้นที่สถานะต่างๆ โดยมี ขั้นตอนดังนี้

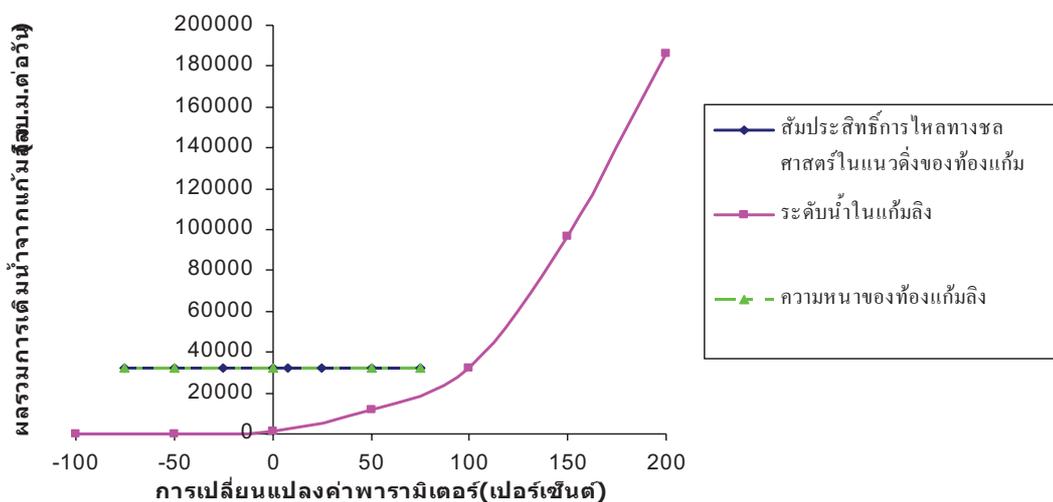
(1) ทำการศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเติมน้ำจากแก้มลิง จากการศึกษา พบว่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเติมน้ำจากแก้มลิงมี 3 ตัว คือ ระดับน้ำในแก้มลิง สัมประสิทธิ์ การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของท้องแก้มลิง (Vertical Hydraulic Conductivity of Reservoir Bed) และ ความหนาของท้องแก้มลิง (Reservoir Bed Thickness)

(2) แบ่งกรณีในการศึกษาความอ่อนไหวของพื้นที่เหมาะสมของแก้มลิง แบ่งเป็น 3 กรณีคือ กรณีที่ 1 แก้มลิงตั้งอยู่เหนือน้ำเขื่อนเจ้าพระยา กรณีที่ 2 แก้มลิงตั้งอยู่ที่น้ำเขื่อนเจ้าพระยา และกรณีที่ 3 แก้มลิงตั้งอยู่เหนือน้ำ และที่น้ำของเขื่อนเจ้าพระยาในแต่ละกรณี ของการศึกษาตามรายละเอียดในตารางที่ 3 ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์พื้นที่ด้านเหนือและท้ายเขื่อน เจ้าพระยาเป็นตัวกำหนดกรณีศึกษาเนื่องจาก เขื่อนเจ้าพระยาเป็นตัวควบคุมปริมาณการไหลของ แม่น้ำเจ้าพระยาทั้งสาย ทำให้ในช่วงน้ำหลากสามารถจัดการผันน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าสู่แก้มลิง เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำในแก้มลิงและช่วยลดน้ำท่วมได้อีกทางหนึ่ง

##### กรณีที่ 1 มีแก้มลิงตั้งอยู่เหนือน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา

กรณีที่ 1 มีเขื่อนตั้งอยู่เหนือน้ำเขื่อนเจ้าพระยา เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 11 และ 13 จะพบว่าจะมีแก้มลิงตำแหน่งที่ 7 เท่านั้นที่ตั้งอยู่เหนือเขื่อนเจ้าพระยา ดังนั้นในกรณีที่ 1 จะจำลอง สภาพการปฏิสัมพันธ์ระหว่างแก้มลิงกับระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ โดยใช้เฉพาะแก้มลิงตำแหน่งที่ 7 จากนั้นทำการผันแปรค่า ระดับน้ำในแก้มลิง สัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของ ท้องแก้มลิง และ ความหนาของท้องแก้มลิง ที่ละพารามิเตอร์ โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ตัวอื่น มี

ค่าคงที่ และพิจารณาอัตราการเติมน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ (Total Reservoir Leakage) ผลจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวในกรณีที่ 1 สามารถแสดงได้ในภาพที่ 38



ภาพที่ 38 การผันแปรของระดับน้ำในแก้มลิง สัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของท้องแก้มลิง และความหนาของท้องแก้มลิง เทียบกับอัตราการเติมน้ำของน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ ในกรณีที่ 1 แก้มลิงเหนือเขื่อน

ตารางที่ 5 อัตราเติมน้ำของน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล ในกรณีที่ 1

พารามิเตอร์ที่ผันแปร	-75 %	-50 %	0 %	50 %	75 %	100 %	150 %	200 %
ระดับน้ำในแก้มลิง	0	0	1,222	11,560	18,281	32,536	96,479	186,443
ความหนาของท้องแก้มลิง	32,549	32,545	32,536	32,527	32,522	32,510	-	-
ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการเติมน้ำ	32,485	32,518	32,536	32,537	32,539	32,542	-	-

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า ระดับน้ำในแก้มลิงเป็นพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวมากที่สุดต่ออัตราการเติมน้ำของน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ พบว่าที่ 200%

นั่นคือความลึกน้ำในแก้มลิงเท่ากับ เมตร ซึ่งเป็นความลึกที่ไม่สามารถสร้างได้จริง มีอัตราการเติมน้ำประมาณ 185,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณร้อยละ 5 ของอัตราการสูบน้ำทั้งหมดในเขตกรุงเทพและปริมณฑลจากระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพต่อวัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,000,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

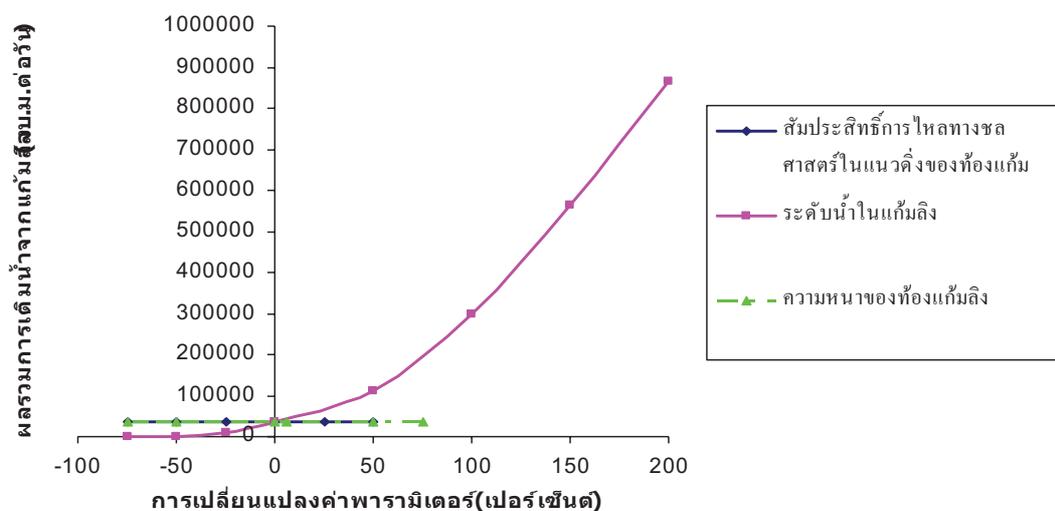
จะเห็นได้ว่าปริมาณอัตราการเติมน้ำซึ่งได้จากแก้มลิงซึ่งตั้งอยู่เหนือน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา พบว่าระดับน้ำในแก้มลิงเป็นพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลมากต่อการเติมน้ำมากที่สุด ขณะที่สัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของท้องแก้มลิง และ ความหนาของท้องแก้มลิงนั้นปรากฏว่าเป็นพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวน้อยมาก หรือไม่มีความอ่อนไหว ปรากฏการณ์ตรงนี้สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อระดับน้ำในแก้มลิงมีค่าน้อยกว่า ค่าระดับน้ำเริ่มต้นในชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 2 ค่าอัตราการเติมน้ำจะต่ำมากหรือ ไม่มีการเติมน้ำอันเนื่องมาจากน้ำในแก้มลิง ดังแสดงในบทที่ 2 สมการ (จ) ในทางกลับกันเมื่อค่าระดับน้ำในแก้มลิงเพิ่มขึ้น อัตราการเติมน้ำเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าของระดับน้ำแปรผันโดยตรงต่ออัตราการเติมน้ำ ขณะที่การผันแปรสัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของท้องแก้มลิงมีผลต่ออัตราการเติมน้ำน้อยมาก เนื่องจากการผันแปรค่านี้ทั้งในทางลบและทางบวกที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ค่าของมันมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากที่เปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกัน และสัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ไม่ได้เป็นพารามิเตอร์ที่แปรผันตรงต่ออัตราการเติมน้ำ แต่เป็นพารามิเตอร์ที่หารด้วยความหนาของท้องแก้มลิง และแปรผันตรงต่อค่าความเหนียวนำทางชลศาสตร์ของท้องแก้มลิง (Hydraulic Conductance of Reservoir Bed) ดังแสดงในบทที่ 2 สมการ (จ) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ซึ่งแปรผันตรงต่ออัตราการเติมน้ำ (บทที่ 2 สมการ(ข))

### กรณีหลักที่ 2 มีแก้มลิงตั้งอยู่ท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา

กรณีที่มีแก้มลิงตั้งอยู่ท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา จากภาพที่ 11 และ 13 พบว่าแก้มลิงที่ตำแหน่ง 1 ถึง 6 ตั้งอยู่ท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา ดังนั้นในกรณีที่ 2 จะทำการจำลองสภาพแก้มลิงที่ปฏิสัมพันธ์กับระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพโดยใช้แก้มลิงที่ตำแหน่ง 1 ถึง 6 จากนั้นทำการจำลองสภาพเพื่อศึกษาความอ่อนไหวของพารามิเตอร์แต่ละตัวที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเติมน้ำของ

น้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพเหมือนในกรณีที่ 1 ผลของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวแสดงในภาพที่ 39

จะเห็นว่าผลของการวิเคราะห์ความอ่อนไหว มีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกันของกรณีที่ 1 นั่นคือ ระดับน้ำในแก้มลิงเป็นพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวสูงสุด โดยพบว่าที่ 200% มีอัตราการเติมน้ำประมาณ 865,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณร้อยละ 87% ของอัตราการสูบน้ำทั้งหมดในเขตกรุงเทพและปริมณฑลจากระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพต่อวันจะเห็นได้ว่า ปริมาณอัตราการเติมน้ำซึ่งได้จากแก้มลิงซึ่งตั้งอยู่ทางด้านท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยานั้นมีปริมาณมาก หรือมีนัยสำคัญต่อระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของท้องแก้มลิง และความหนาของท้องแก้มลิงเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่อ่อนไหว เหตุผลสามารถอธิบายได้ดังกล่าวไว้ในกรณีที่ 1



ภาพที่ 39 การผันแปรของระดับน้ำในแก้มลิง สัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของท้องแก้มลิง และความหนาของท้องแก้มลิง เทียบกับอัตราการเติมน้ำของน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ ในกรณีที่ 2 แก้มลิงท้ายเขื่อน

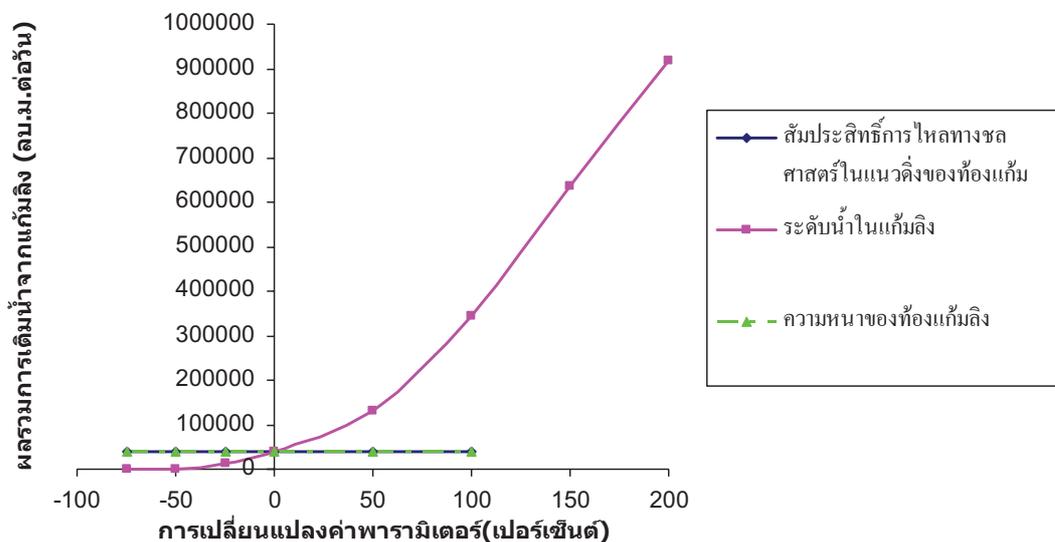
ตารางที่ 6 อัตราการเติมน้ำของน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล ในกรณีที่ 2

พารามิเตอร์ที่ ผันแปร	-75 %	-50 %	0 %	50 %	75 %	100 %	150 %	200 %
ระดับน้ำในแก้ม ลิง	0	0	151,182	77,535	154,332	297,854	564,017	864,932
ความหนาของ ท้องแก้มลิง	34,727	34,731	34,735	34,739	34,743	34,747	-	-
ค่าสัมประสิทธิ์ การเติมน้ำ	34675	34,705	34,735	34,738	34,741	34,744	-	-

### กรณีหลักที่ 3 มีแก้มลิงตั้งอยู่เหนือ และท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา

กรณีที่มีแก้มลิงตั้งอยู่เหนือ และท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 11 และ 13 กรณีนี้ก็คือการจำลองสภาพแก้มลิงทั้ง 7 ตำแหน่ง จากนั้นทำการจำลองสภาพเพื่อศึกษาความอ่อนไหวของพารามิเตอร์แต่ละตัวต่ออัตราการเติมน้ำของน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพเหมือนในกรณีที่ 1 ผลของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวแสดงในภาพที่ 40

ผลของการวิเคราะห์ความอ่อนไหวได้แสดงให้เห็นว่า มีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกันของกรณีที่ 1 นั่นคือ ระดับน้ำในแก้มลิงเป็นพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวสูงสุด โดยพบว่าที่ 200% มีอัตราการเติมน้ำประมาณ 917,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวันวัน หรือประมาณ 92% ของของอัตราการสูบน้ำทั้งหมดจากระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพจะเห็นได้ว่าปริมาณอัตราการเติมน้ำซึ่งได้จากแก้มลิงซึ่งตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยานั้นมีปริมาณมาก หรือมีนัยสำคัญต่อระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของท้องแก้มลิง และความหนาของท้องแก้มลิงเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่อ่อนไหว เหตุผลสามารถอธิบายได้ดังกล่าวไว้ในกรณีที่ 1



ภาพที่ 40 การผันแปรของระดับน้ำในแก้มลิง สัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของท้องแก้มลิง และความหนาของท้องแก้มลิง เทียบกับอัตราการเติมน้ำของน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ ในกรณีที่ 3 แก้มลิงเหนือเขื่อนและท้ายเขื่อน

ตารางที่ 7 อัตราการเติมน้ำของน้ำจากแก้มลิงลงสู่ระบบชั้นน้ำบาดาล ในกรณีที่ 3

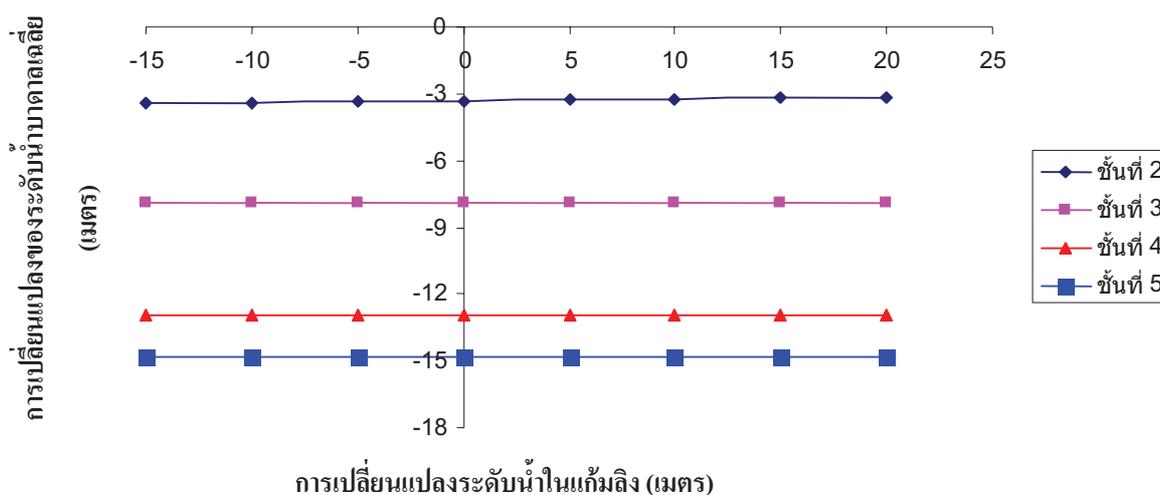
พารามิเตอร์ที่ผันแปร	-75 %	-50 %	0 %	50 %	75 %	100 %	150 %	200 %
ระดับน้ำในแก้มลิง	0	0	14,623	39,879	130,000	343,000	636,000	917,000
ความหนาของท้องแก้มลิง	39,867	39,871	39,875	39,879	39,883	39,887	-	-
ค่าสัมประสิทธิ์การเติมน้ำ	39,815	39,845	39,875	39,878	39,881	39,884	-	-

## 4.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในแก้มลิง และระดับน้ำในชั้นน้ำบาดาล ต่างๆ

จากการศึกษาความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเติมน้ำ หรือการ  
เติมน้ำจากแก้มลิงเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ พบว่า ค่าระดับน้ำในแก้มลิงมีค่าความอ่อนไหว  
สูงที่สุด ในลำดับต่อไปเพื่อที่จะศึกษาว่าระดับน้ำในแก้มลิงมีผลต่อระดับของน้ำบาดาลอย่างไร  
กระทำได้โดยผันแปรค่าระดับน้ำในแก้มลิง (Head in Reservoir) จาก -15 ถึง 20 เมตร  
(ระดับน้ำทะเลกลาง) โดยให้มีระดับน้ำเท่ากันทุกแก้มลิงในแต่ละกรณีศึกษาหลัก ว่ามีผลกระทบต่อ  
ระดับน้ำเฉลี่ย (Averaged Piezometric Head) ในแต่ละชั้นน้ำบาดาลอย่างไร ซึ่งสามารถแบ่ง  
การศึกษาตาม 3 กรณีหลัก คือ

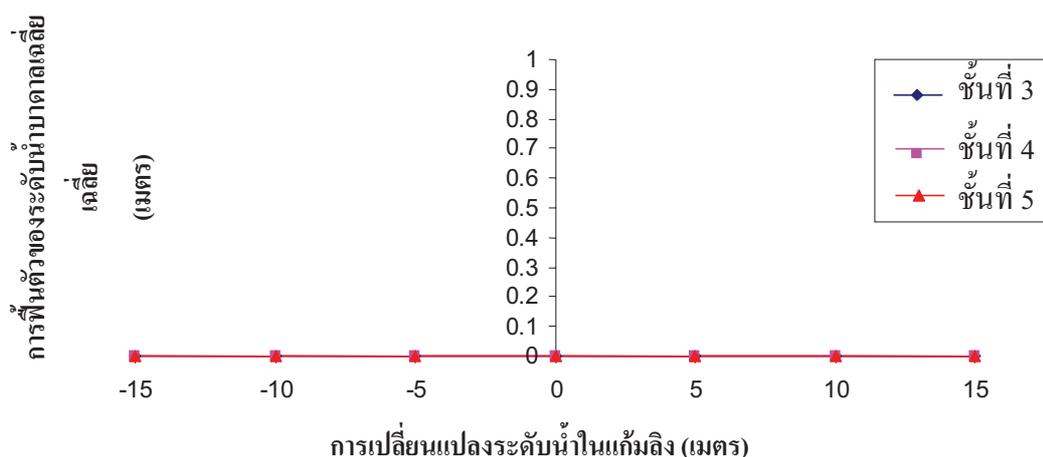
### กรณีหลักที่ 1 มีแก้มลิงตั้งอยู่เหนือน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา

การจำลองสภาพเฉพาะแก้มลิงตำแหน่งที่ 7 เมื่อทำการผันแปรค่าระดับน้ำในแก้ม  
ลิง (แกน X) ค่าระดับน้ำบาดาลเฉลี่ย (เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง) ในชั้นที่ 2, 3, 4 และ 5 หรือชั้นน้ำ  
บาดาลกรุงเทพ พระประแดง นครหลวง และนนทบุรี (แกน Y) ได้ถูกคำนวณจากผลการจำลอง  
สภาพปฏิสัมพันธ์ของระดับน้ำในแก้มลิง และระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพอันเนื่องมาจากระดับน้ำ  
ในแก้มลิงที่แตกต่าง จากภาพที่ 41 จะเห็นได้ว่าระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยในชั้นที่ 2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น  
เล็กน้อย ขณะที่ระดับน้ำในชั้นที่ 3 ถึง 5 มีแนวโน้มคงที่



ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในแก้มลิงตำแหน่งที่ 7 และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ  
บาดาลเฉลี่ยในชั้นที่ 2 ถึง 5

ในกรณีมีแก้มลิงด้านที่ 1 เหนือน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา มีแก้มลิงจำนวน 1 แห่ง คือ ตำแหน่งที่ 7 จะเห็นได้ว่า แก้มลิงในกรณีที่ 1 มีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในการฟื้นฟูระดับน้ำบาดาลของระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ (ภาพที่ 41) เพื่อให้เป็นการยืนยันให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จะมีการคำนวณระดับน้ำบาดาลอันเนื่องมาจากความแตกต่างของระดับน้ำในแก้มลิง เทียบกับระดับน้ำบาดาลในกรณีไม่มีแก้มลิง ดังแสดงในภาพที่ 42 จะเห็นได้ว่าแก้มลิงในกรณีนี้ไม่มีผลต่อการฟื้นตัวของระดับน้ำในชั้นน้ำบาดาลหลักที่มีการสูบน้ำใช้ เพราะค่าระดับน้ำฟื้นตัวเฉลี่ยมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากระดับน้ำบาดาลในชั้นที่ 2 บริเวณพื้นที่แก้มลิงอยู่ในระดับที่สูง และ ปริมาณการเติมน้ำสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลมีค่าน้อย เนื่องจากมีเพียง 1 แก้มลิง ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อย เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำในชั้นน้ำบาดาล ชั้นที่ 2 ทำให้แทบไม่มีผลของการเติมน้ำในแก้มลิงเหนือเขื่อน

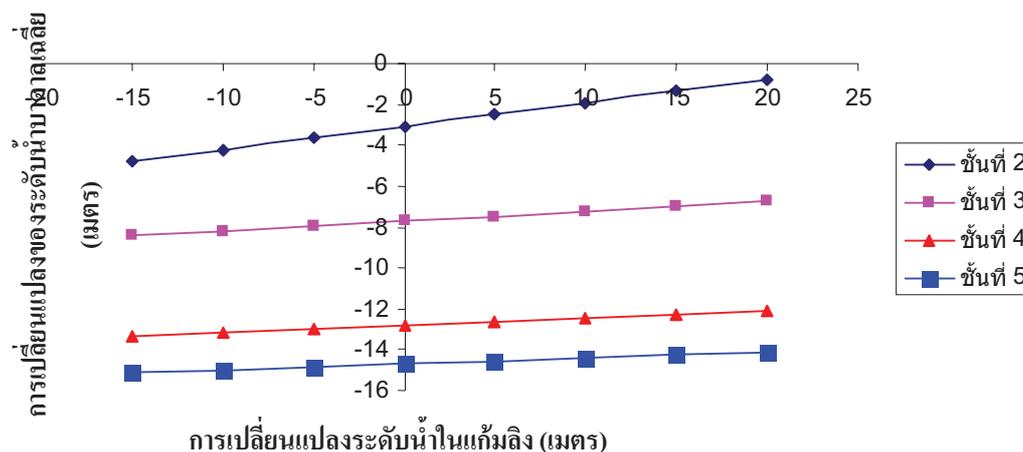


ภาพที่ 42 ผลของระดับน้ำในแก้มลิงในกรณีที่มีแก้มลิงตั้งอยู่ทางด้านเหนือของเขื่อนเจ้าพระยา ที่มีผลต่อการฟื้นตัวของระดับน้ำเฉลี่ยในชั้นน้ำที่ 3 ถึง 5

### กรณีหลักที่ 2 มีแก้มลิงตั้งอยู่ท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา

กรณีที่แก้มลิงตั้งอยู่ท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา กรณีนี้คือ การจำลองสภาพแก้มลิงในตำแหน่งที่ 1 ถึง 6 เมื่อทำการผันแปรค่าระดับน้ำในแก้มลิง (แกน X) ค่าระดับน้ำบาดาลเฉลี่ย (เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง) ในชั้นที่ 2, 3, 4 และ 5 หรือชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ พระประแดง นครหลวง และ นนทบุรี (แกน Y) ได้ถูกคำนวณจากผลการจำลองสภาพปฏิสัมพันธ์ของระดับน้ำในแก้มลิง และระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพอันเนื่องมาจากระดับน้ำในแก้มลิงที่แตกต่าง จากภาพที่ 43 พบว่าระดับ

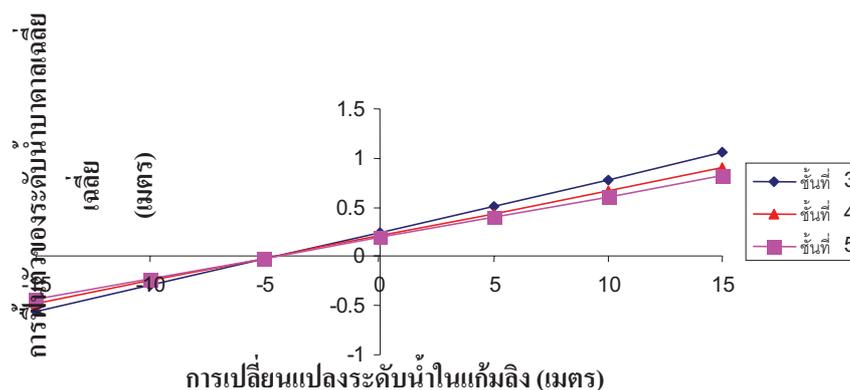
น้ำบาดาลเฉลี่ยในชั้นที่ 2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นค่อนข้างชัน ในขณะที่ระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยในชั้นที่ 3 ถึง 5 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่มีความชันน้อยกว่าระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยในชั้นที่ 2



ภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในแก้มลิงตำแหน่งที่ 1 ถึง 6 และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลในชั้นที่ 2 ถึง 5

ในกรณีซึ่งแก้มลิงตั้งอยู่ทางด้านท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา ซึ่งมีแก้มลิงจำนวน 6 ตำแหน่ง มากกว่ากรณีแก้มลิงตั้งอยู่ด้านเหนือเขื่อนเจ้าพระยาซึ่งมีแก้มลิงจำนวน 1 แก้มลิง นอกจากนั้นปริมาณการเติมน้ำจากแก้มลิงเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ มีปริมาณใกล้เคียงกับกรณี กรณีแก้มลิงตั้งอยู่ด้านเหนือเขื่อนเจ้าพระยา จากภาพที่ 44 นั้นมีอัตราการฟื้นตัวของระดับน้ำบาดาลมีค่าใกล้เคียงกับ กรณีแก้มลิงตั้งอยู่ด้านเหนือเขื่อนเจ้าพระยา โดยชั้นที่ 2 อาจมีความแตกต่างเล็กน้อย แต่ชั้นที่ 3 ถึง 5 ของหลักที่ 2 มีแก้มลิงตั้งอยู่ท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา นั้นมีความคล้ายคลึงกับกรณีหลักที่ 1 มีแก้มลิงตั้งอยู่เหนือน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา เป็นอย่างมาก เพื่อให้เห็นถึงความสามารถในการฟื้นตัวของระดับน้ำบาดาลอันเนื่องมาจากการเติมน้ำจากแก้มลิงจำนวน 6 ตำแหน่งนี้ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยการพิจารณาระดับน้ำบาดาลที่ฟื้นตัวอันเนื่องมาจากการเติมน้ำจากแก้มลิงที่ระดับน้ำในแก้มลิงที่ค่าต่างๆ เทียบกับระดับน้ำบาดาลกรณีไม่มีแก้มลิง ดังแสดงในภาพที่ 42 จะเห็นได้ว่า ระดับน้ำบาดาลฟื้นตัวเฉลี่ยในชั้นที่ 3, 4 และ 5 นั้นมีการเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน และใกล้เคียงกับกรณีหลักที่ 1 มีแก้มลิงตั้งอยู่เหนือน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา เมื่อมีการเพิ่มขึ้น

ของระดับน้ำในแก้มลิง เช่น เมื่อระดับน้ำในแก้มลิงมีค่าเท่ากับ 15 เมตร มีการฟื้นตัวของระดับน้ำเฉลี่ยประมาณ 1, 0.7 และ 0.6 เมตร ในชั้นที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าแก้มลิงในกรณีที่ 2 นั้นก็เป็นทางเลือกที่ดีในการฟื้นฟูระดับน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ



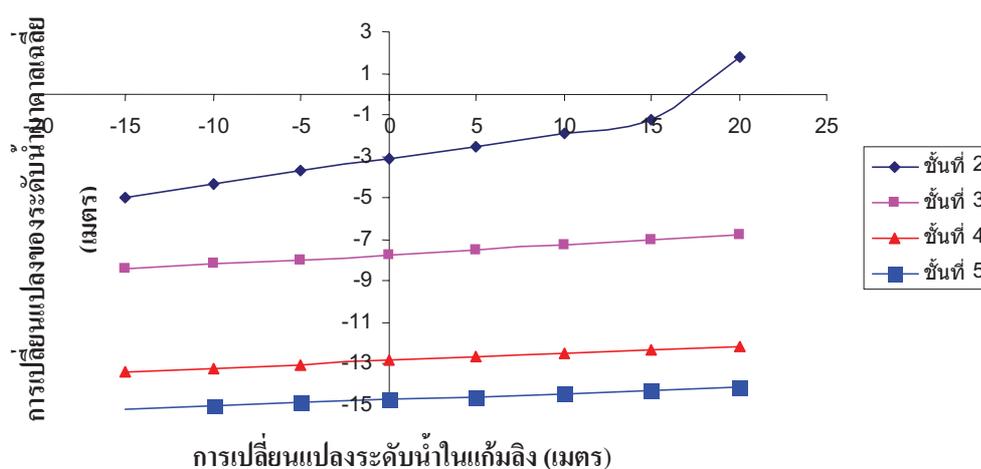
ภาพที่ 44 ผลของระดับน้ำในแก้มลิงในกรณีที่มีแก้มลิงตั้งอยู่ทางด้านท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา ที่มีผลต่อการฟื้นตัวของระดับน้ำเฉลี่ยในชั้นน้ำที่ 3 ถึง 5

### กรณีหลักที่ 3 มีแก้มลิงตั้งอยู่เหนือ และท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา

กรณีที่แก้มลิงตั้งอยู่เหนือน้ำ และท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา กรณีนี้คือ การจำลองสภาพแก้มลิงทั้งหมด เมื่อทำการผันแปรค่าระดับน้ำในแก้มลิง (แกน X) ค่าระดับน้ำบาดาลเฉลี่ย (เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง) ในชั้นที่ 2, 3, 4 และ 5 หรือชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ พระประแดง นครหลวง และนนทบุรี (แกน Y) ได้ถูกคำนวณจากผลการจำลองสภาพปฏิสัมพันธ์ของระดับน้ำในแก้มลิง และระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพอันเนื่องมาจากระดับน้ำในแก้มลิงที่แตกต่างจากภาพที่ 45

จะเห็นได้ว่ากรณีการจำลองสภาพมีแก้มลิง 7 ตำแหน่งอยู่ทางด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยาให้ปริมาณการเติมน้ำสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพมากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่ามีการฟื้นตัวของระดับน้ำในชั้นที่ 2 อย่างชัดเจน และชั้นที่ 3 ถึง 5 ตามลำดับ (ภาพที่ 45) ซึ่งเป็นชั้นที่มีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้มากที่สุด เพื่อให้เห็นว่าการฟื้นฟูของระดับน้ำบาดาลอันเนื่องมาจากแก้มลิง โดยเทียบกับกรณีไม่มีแก้มลิง ได้ทำการคำนวณ และแสดงในภาพที่ 46 ซึ่งจะพบว่าถึงแม้ว่าชั้นน้ำบาดาลที่ 3 ถึง 5 ไม่ได้รับการเติมน้ำโดยตรงจากแก้มลิง แต่ผลจากการเติมน้ำ

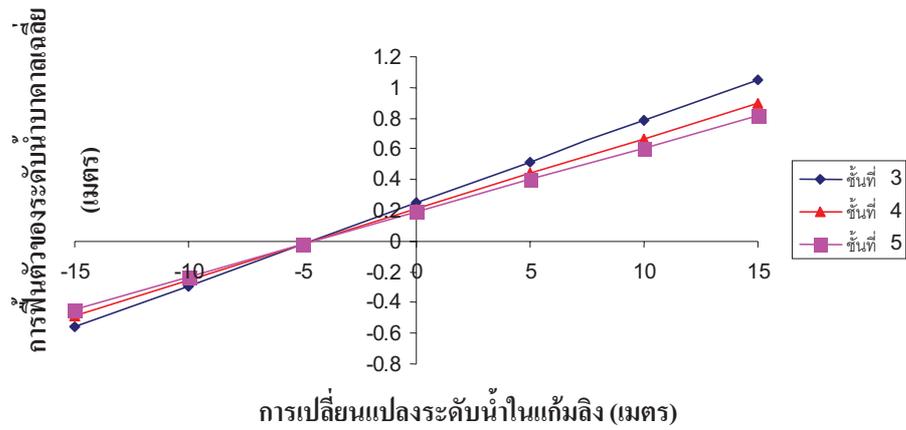
ในแนวโค้งจากชั้นที่ 2 นั้นส่งผลให้ระดับน้ำเฉลี่ยในชั้นที่ 3 ถึง 5 มีการฟื้นตัวของระดับน้ำบาดาลขึ้นมาจากกรณีที่ไม่มีแก้มลิงอย่างชัดเจน เช่นที่ระดับน้ำในแก้มลิงอยู่ที่ 15 เมตร ระดับน้ำเฉลี่ยในชั้นที่ 3, 4 และ 5 ฟื้นตัวขึ้นมาประมาณ 1.15, 0.8 และ 0.6 เมตร ตามลำดับ จากที่กล่าวมาในข้างต้น จะเห็นว่าในกรณีมีแก้มลิงทั้ง 7 แห่ง



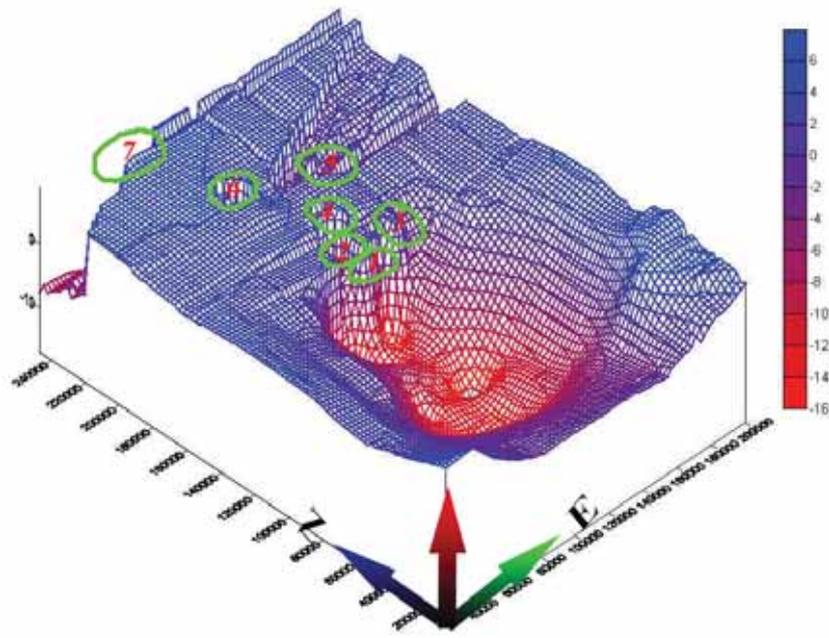
ภาพที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในแก้มลิงตั้งอยู่ในด้านเหนือ และท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลในชั้นที่ 2 ถึง 5

จากภาพที่ 46 พบว่า ค่าระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยในชั้นที่ 2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นชัดเจนมากที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นอื่นๆ และเพิ่มขึ้นอย่างมีความชันสูงสุดเมื่อระดับน้ำในแก้มลิงมีค่าระหว่าง 15 ถึง 20 เมตร ขณะที่ในชั้นที่ 3 ถึง 5 มีการแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนของระดับน้ำบาดาลเฉลี่ย อันเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำในแก้มลิง

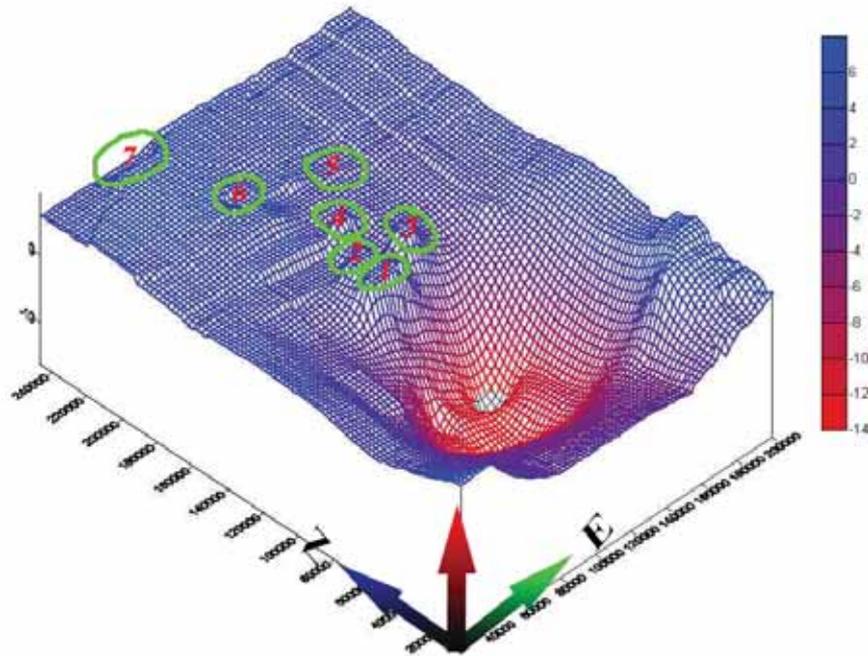
เพื่อให้เห็นภาพชัดยิ่งขึ้นว่า เมื่อมีการเพิ่มระดับน้ำในแก้มลิง จะมีการฟื้นตัวของระดับน้ำบาดาลขึ้นอย่างชัดเจน โดยการพล็อตระดับน้ำในชั้นที่ 2 เป็นสามมิติซึ่งเป็นผลจากการผันแปรค่าระดับน้ำในแก้มลิงทั้ง 7 แห่ง ดังแสดงในภาพที่ 47 จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับน้ำในแก้มลิงมีค่าเท่ากับ 5 และ 15 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง มีการฟื้นตัวของระดับน้ำอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับระดับน้ำในแก้มลิงมีค่า -5 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง



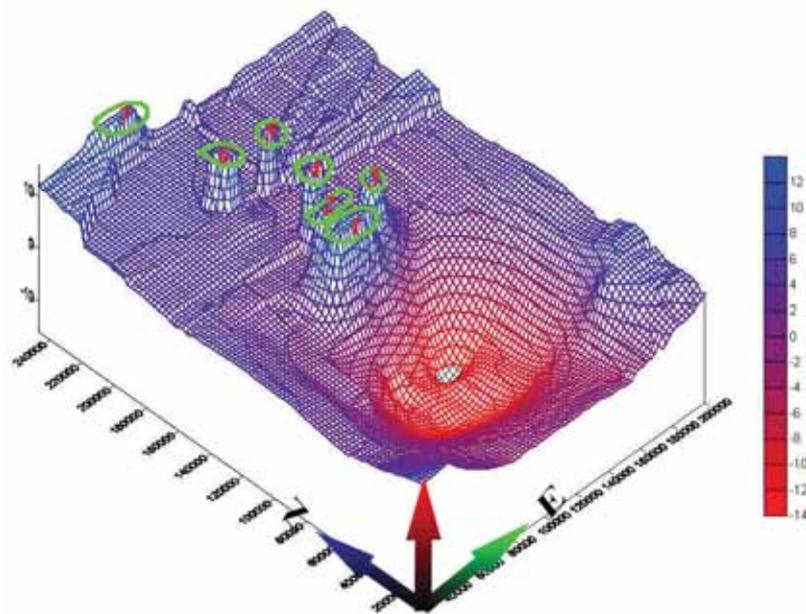
ภาพที่ 46 ผลของระดับน้ำในแก้มลิงในกรณีที่มีแก้มลิงตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา ที่มีผลต่อการผันตัวของระดับน้ำเฉลี่ยในชั้นน้ำที่ 3 ถึง 5



(ก) ค่าระดับน้ำในแก้มลิงมีค่าเท่ากับ -15 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง



(จ) ค่าระดับน้ำในแก้มลิงมีค่าเท่ากับ 5 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง



(ค) ค่าระดับน้ำในแก้มลิงมีค่าเท่ากับ 15 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง

ภาพที่ 47 รูป 3 มิติของระดับน้ำในชั้นที่ 2 อันเนื่องมาจากระดับน้ำในแก้มลิงที่ค่าต่างๆ โดยวงกลมแสดงถึงตำแหน่งแก้มลิง 1 ถึง 7

## 5. ผลปริมาณความจุของแก้มลิง

### 5.1 ผลปริมาณความจุของแก้มลิง และศักยภาพของการเติมน้ำจากแก้มลิงที่ 1

ผลการคำนวณอัตราการเติมน้ำเข้าสู่แก้มลิงที่ระดับน้ำกักเก็บสูงสุดโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อัตราการเติมน้ำเท่ากับ 37,668 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณร้อยละ 3.7 ของอัตราการสูบน้ำในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล จากนั้นทำการศึกษาหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการสร้างแก้มลิงโดยดูจากค่าความเหมาะสมของการเติมน้ำซึ่งเทียบจาก อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตร ซึ่ง แก้มลิงแก้มที่ 1 มีศักยภาพการเติมน้ำโดยคิดจาก อัตราการเติมน้ำต่อพื้นที่เท่ากับ 214 กิโลเมตรต่อวัน อัตราการเติมน้ำต่อความลึกเท่ากับ 176 ตารางเมตรต่อวัน และ อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตรเท่ากับ  $8.076 \times 10^{-6}$  ต่อวัน

### 5.2 ผลปริมาณความจุของแก้มลิง และศักยภาพของการเติมน้ำจากแก้มลิงที่ 2

ผลการคำนวณอัตราการเติมน้ำเข้าสู่แก้มลิงที่ระดับน้ำกักเก็บสูงสุดโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อัตราการเติมน้ำเท่ากับ 23,205 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณร้อยละ 2.3 ของอัตราการสูบน้ำในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล จากนั้นทำการศึกษาหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการสร้างแก้มลิงโดยดูจากค่าความเหมาะสมของการเติมน้ำซึ่งเทียบจาก อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตร ซึ่ง แก้มลิงแก้มที่ 2 มีศักยภาพการเติมน้ำโดยคิดจาก อัตราการเติมน้ำต่อพื้นที่เท่ากับ 161 กิโลเมตรต่อวัน อัตราการเติมน้ำต่อความลึกเท่ากับ 144 ตารางเมตรต่อวัน และ อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตรเท่ากับ  $5.838 \times 10^{-6}$  ต่อวัน

### 5.3 ผลการศึกษาปริมาณความจุ และศักยภาพของการเติมน้ำของแก้มลิงที่ 3

ผลการคำนวณอัตราการเติมน้ำเข้าสู่แก้มลิงที่ระดับน้ำกักเก็บสูงสุดโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อัตราการเติมน้ำเท่ากับ 18,206 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณร้อยละ 1.8 ของอัตราการสูบน้ำในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล จากนั้นทำการศึกษาหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการสร้างแก้มลิงโดยดูจากค่าความเหมาะสมของการเติมน้ำซึ่งเทียบจาก อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตร ซึ่ง แก้มลิงแก้มที่ 3 มีศักยภาพการเติมน้ำโดยคิดจาก อัตราการเติมน้ำต่อพื้นที่เท่ากับ 175 กิโลเมตรต่อวัน อัตราการเติมน้ำต่อความลึกเท่ากับ 104 ตารางเมตรต่อวัน และ อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตรเท่ากับ  $6.412 \times 10^{-6}$  ต่อวัน

#### 5.4 ผลการศึกษาปริมาณความจุ และศักยภาพของการเติมน้ำของแก้มลิงที่ 4

ผลการคำนวณอัตราการเติมน้ำเข้าสู่แก้มลิงที่ระดับน้ำกักเก็บสูงสุดโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อัตราการเติมน้ำเท่ากับ 45,005 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณร้อยละ 4.5 ของอัตราการสูบน้ำในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล จากนั้นทำการศึกษาหาพื้นที่ๆ เหมาะสมในการสร้างแก้มลิงโดยดูจากค่าความเหมาะสมของการเติมน้ำซึ่งเทียบจาก อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตร ซึ่ง แก้มลิงแก้มที่ 4 มีศักยภาพการเติมน้ำโดยคิดจาก อัตราการเติมน้ำต่อพื้นที่เท่ากับ 563 กิโลเมตรต่อวัน อัตราการเติมน้ำต่อความลึกเท่ากับ 80 ตารางเมตรต่อวัน และ อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตรเท่ากับ  $17.580 \times 10^{-6}$  ต่อวัน

#### 5.5 ผลปริมาณความจุ และศักยภาพของการเติมน้ำของแก้มลิงที่ 5

ผลการคำนวณอัตราการเติมน้ำเข้าสู่แก้มลิงที่ระดับน้ำกักเก็บสูงสุดโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อัตราการเติมน้ำเท่ากับ 49,133 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณร้อยละ 4.9 ของอัตราการสูบน้ำในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล จากนั้นทำการศึกษาหาพื้นที่ๆ เหมาะสมในการสร้างแก้มลิงโดยดูจากค่าความเหมาะสมของการเติมน้ำซึ่งเทียบจาก อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตร ซึ่ง แก้มลิงแก้มที่ 5 มีศักยภาพการเติมน้ำโดยคิดจาก อัตราการเติมน้ำต่อพื้นที่เท่ากับ 1,117 กิโลเมตรต่อวัน อัตราการเติมน้ำต่อความลึกเท่ากับ 44 ตารางเมตรต่อวัน และ อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตรเท่ากับ  $31.455 \times 10^{-6}$  ต่อวัน

#### 5.6 ผลปริมาณความจุ และศักยภาพของการเติมน้ำของแก้มลิงที่ 6

ผลการคำนวณอัตราการเติมน้ำเข้าสู่แก้มลิงที่ระดับน้ำกักเก็บสูงสุดโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อัตราการเติมน้ำเท่ากับ 88,083 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณร้อยละ 8.8 ของอัตราการสูบน้ำในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล จากนั้นทำการศึกษาหาพื้นที่ๆ เหมาะสมในการสร้างแก้มลิงโดยดูจากค่าความเหมาะสมของการเติมน้ำซึ่งเทียบจาก อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตร ซึ่ง แก้มลิงแก้มที่ 6 มีศักยภาพการเติมน้ำโดยคิดจาก อัตราการเติมน้ำต่อพื้นที่เท่ากับ 688 กิโลเมตรต่อวัน อัตราการเติมน้ำต่อความลึกเท่ากับ 128 ตารางเมตรต่อวัน และ อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตรเท่ากับ  $19.168 \times 10^{-6}$  ต่อวัน

### 5.7 ผลปริมาณความจุ และศักยภาพของการเติมน้ำของแก้มลิงที่ 7

ผลการคำนวณอัตราการเติมน้ำเข้าสู่แก้มลิงที่ระดับน้ำกักเก็บสูงสุด โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อัตราการเติมน้ำเท่ากับ 42,835 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณร้อยละ 4.2 ของอัตราการสูบน้ำในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล จากนั้นทำการศึกษาหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการสร้างแก้มลิงโดยดูจากค่าความเหมาะสมของการเติมน้ำซึ่งเทียบจาก อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตร ซึ่ง แก้มลิงแก้มที่ 7 มีศักยภาพการเติมน้ำโดยคิดจาก อัตราการเติมน้ำต่อพื้นที่เท่ากับ 356 กิโลเมตรต่อวัน อัตราการเติมน้ำต่อความลึกเท่ากับ 128 ตารางเมตรต่อวัน และ อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตรเท่ากับ  $8.429 \times 10^{-6}$  ต่อวัน

### 5.8 ผลปริมาณความจุ และศักยภาพของการเติมน้ำของแก้มลิงที่ 1-7

พื้นที่แก้มลิง 1-7 มีพื้นที่ทั้งหมด 804 ตารางกิโลเมตร ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คำนวณปริมาตรจากความสูงแก้มลิงเท่ากับ 0 เมตร มีปริมาตรเท่ากับ 19,213 ล้านลูกบาศก์เมตรแต่สถานะความเป็นจริงแก้มลิงทั้งหมด ถูกกำหนดให้ความสูงของแก้มลิงขึ้นกับระดับน้ำกักเก็บสูงสุดจากตารางที่ 3 ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าระดับเฉลี่ยของตลิ่งแม่น้ำ 1 เมตร ดังนั้น ปริมาณน้ำสูงสุดแก้มลิงสามารถกักเก็บได้ในสภาพความเป็นจริงเท่ากับ 25,276 ล้านลูกบาศก์เมตร ทำการคำนวณอัตราการเติมน้ำเข้าสู่แก้มลิงที่ระดับน้ำกักเก็บสูงสุด โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้อัตราการเติมน้ำเท่ากับ 286,367 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณร้อยละ 28.6 ของอัตราการสูบน้ำในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล มีศักยภาพการเติมน้ำ โดยคิดจาก อัตราการเติมน้ำต่อพื้นที่เท่ากับ 356 กิโลเมตรต่อวัน และ อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตรเท่ากับ  $11.329 \times 10^{-6}$  ต่อวัน

## 6. การคัดเลือกพื้นที่แก้มลิงที่เหมาะสมต่อการสร้างแก้มลิง

การคัดเลือกพื้นที่แก้มลิงที่เหมาะสม ต้องคำนึงถึง ปัจจัยต่างๆดังนี้ ความจุแก้มลิง อัตราการเติมน้ำต่อวัน อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตร อัตราการเติมน้ำต่อพื้นที่แก้มลิง อัตราการเติมน้ำต่อความลึกของแก้มลิง โดยผลของการจำลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 8 ซึ่งผลการศึกษาออกมาอย่างชัดเจนว่าแก้มลิงที่ 5 เป็นแก้มลิงที่มีความเหมาะสมต่อการเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลมากที่สุดเนื่องจาก มีศักยภาพของการเติมน้ำที่อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตรมากที่สุด ( $31.45 \times 10^{-6}$  ต่อวัน) และมีอัตราการเติมน้ำต่อพื้นที่ (1,117 กิโลเมตรต่อวัน) มากกว่าทุกแก้ม แสดงว่ามีความ

เหมาะสมในการสร้างแก้มลิงเพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลมากที่สุด เนื่องจากให้อัตราการเติมน้ำสูงถึง 49,133 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน แต่ใช้พื้นที่ และปริมาตรน้อยกว่าแก้มลิงอีก 6 แห่งที่เหลือ แต่เมื่อเปรียบเทียบระดับความลึกซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวมากที่สุดในการสร้างแก้มลิงพบว่าแก้มลิงที่ 5 มีอัตราการเติมน้ำต่อความลึก (1,384) น้อยกว่าแก้มลิง 1 (1,421), 4 (1,406) และ 6 (2,453) ซึ่งแก้มลิงที่ 5 มีความลึกของแก้มลิง(35.5 เมตร, รทก.) มากกว่าแก้มลิงที่ 1 (26.5 เมตร, รทก.) และ 4 (32 เมตร, รทก.) แต่ใกล้เคียงกับแก้มลิงที่ 6(35.9 เมตร, รทก.) แต่มีอัตราการเติมน้ำพื้นที่แก้มลิงที่ 5 น้อยกว่าเนื่องจากพื้นที่แก้มลิง(44 ตร.กม.) แก้มลิงที่ 1 (176 ตร.กม.) 4 (80 ตร.กม.) และแก้มลิงที่ 6 (128 ตร.กม.) มาก พบว่าเมื่อเปรียบเทียบพื้นที่แก้มลิงที่ 1 4 และ 6 คิดเป็น 4, 2 และ 3 เท่าของแก้มลิงที่ 5 ตามลำดับ สามารถเรียงลำดับของพื้นที่ๆเหมาะสมโดยใช้เกณฑ์อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตร จากมากที่สุดไปพื้นที่ๆเหมาะสมน้อยที่สุดในการสร้างแก้มลิงเพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ ได้ดังนี้ แก้มลิงที่ 5 แก้มลิงที่ 6 แก้มลิงที่ 4 แก้มลิงที่ 7 แก้มลิงที่ 1 แก้มลิงที่ 3 และแก้มลิงที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 8 สรุปผลปริมาณความจุ และศักยภาพของการเติมน้ำของแก้มลิงทั้ง 7 แห่ง

แก้มลิงที่	อำเภอ	จังหวัด	พื้นที่ของแก้มลิง (ตร.กม.)	ปริมาตรของแก้มลิง ( $10^6$ ลบ.ม.)* <sup>1</sup>	ระดับความลึกของแก้มลิง (เมตร, รทก.)	ระดับน้ำเก็บกักสูงสุด (เมตร, รทก.)	ปริมาตรน้ำสูงสุดของแก้มลิง ( $10^6$ ลบ.ม.)	อัตราการเติมน้ำที่ระดับน้ำกักเก็บสูงสุด (ลบ.ม.ต่อวัน)* <sup>2</sup>	อัตราการเติมน้ำ/พื้นที่ (กม.ต่อวัน)	อัตราการเติมน้ำ/ความลึกแก้มลิง (ตร.ม.ต่อวัน)	อัตราการเติมน้ำ/ปริมาตร ( $10^{-6}$ ต่อวัน)
1	บางไทร	พระนครศรีอยุธยา	176	4,224	26.5	2.5	4,664	37,668	214	1,421	8.08
2	บางบาล	พระนครศรีอยุธยา	144	3,373	27.6	3.6	3,974.4	23,205	161	840	5.84
3	อูทัย	พระนครศรีอยุธยา	104	2,495	27.3	3.3	2,839.2	18,206	175	666	6.41
4	มหาราช	พระนครศรีอยุธยา	80	1,997	32	7	2,560	45,005	563	1,406	17.58
5	ท่าม่วง	ลพบุรี	44	1,103	35.5	10.5	1,562	49,133	1,117	1,384	31.45
6	ค่ายบางระจัน	สิงห์บุรี	128	3,207	35.9	10.9	4,595.2	88,083	688	2,453	19.17
7	มโนรมย์	ชัยนาท	128	2,814	39.7	17.7	5,081.6	42,835	335	1,078	8.43
รวม			804	19,213			25,276.4	286,367	356		11.33

\*หมายเหตุ\* \*<sup>1</sup> ปริมาตรของแก้มลิงเป็นผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยคิดปริมาตรที่ระดับแก้มลิงเท่ากับ 0 เมตร, ระดับน้ำทะเลกลาง

\*<sup>2</sup> อัตราการเติมน้ำที่ระดับน้ำกักเก็บสูงสุดของแก้มลิงเป็นผลที่ได้จากของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

## บทที่ 5

### อภิปราย และวิจารณ์

จากผลของการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการศึกษาความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ ทั้งสามตัวคือ ระดับน้ำในแก้มลิงสัมประสิทธิ์การไหลทางชลศาสตร์ในแนวตั้งของท้องแก้มลิง (Vertical Hydraulic Conductivity of Reservoir Bed) และ ความหนาของท้องแก้มลิง (Reservoir Bed Thickness) พบว่าระดับน้ำในแก้มลิงมีผลต่ออัตราการเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลมากที่สุด

2. จากการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับน้ำในแก้มลิงกับระดับน้ำในชั้นน้ำบาดาลต่างๆ พบว่า ในกรณีหลักที่ 2 พื้นที่แก้มลิงท้ายเขื่อน และกรณีหลักที่ 3 พื้นที่แก้มลิงทั้งเหนือเขื่อนและท้ายเขื่อนระดับน้ำบาดาลในชั้นที่ 2 มีระดับน้ำเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเนื่องจากการเติมน้ำเดิมเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 2 โดยตรง และมีการเพิ่มระดับน้ำบาดาลในชั้นที่ 3 4 และ 5 เช่นกัน

3. จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้แก้มลิงเพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า ในกรณีหลักที่ 3 พื้นที่แก้มลิงทั้งเหนือเขื่อนและท้ายเขื่อนเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพเนื่องจากมีอัตราการเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ พื้นที่โดยรวมและความจุของแก้มลิงมีมากที่สุด เมื่อเทียบกับอีกสองกรณีที่เหลือ ในสภาพความเป็นจริงสามารถสร้างให้แก้มลิงมีความสูง เท่ากับตลิ่งในแม่น้ำเจ้าพระยาเท่านั้น ซึ่งอัตราการเติมน้ำจากแก้มลิงทั้ง 7 แห่ง เท่ากับ 286,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือประมาณร้อยละ 25 ของอัตราการสูบน้ำบริเวณกรุงเทพ และปริมณฑลทั้งหมดจากระบบชั้นน้ำใต้ดินกรุงเทพ

4. การคำนวณศักยภาพของการเติมน้ำในแต่ละแก้มลิง พื้นที่แก้มลิงตำแหน่งที่ 5 เป็นแก้มลิงที่มีความเหมาะสมต่อการเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลมากที่สุดเนื่องจากและมีอัตราการ

เติมน้ำต่อพื้นที่ (1,117) มากกว่าทุกแก้ม แสดงว่ามีความเหมาะสมในการสร้างแก้มลิงเพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลมากที่สุด เนื่องจากให้อัตราการเติมน้ำสูงถึง 49,133 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน แต่ใช้พื้นที่ และปริมาตรน้อยกว่าแก้มลิงอีก 6 แห่งที่เหลือ แต่เมื่อเปรียบเทียบระดับความลึกซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวมากที่สุดในการสร้างแก้มลิง พบว่าแก้มลิงที่ 5 มีอัตราการเติมน้ำต่อความลึก (1,384) น้อยกว่าแก้มลิง 1 (1,421), 4 (1,406) และ 6 (2,453) ซึ่งแก้มลิงที่ 5 มีความลึกของแก้มลิง(35.5 เมตร, รทก.) มากกว่าแก้มลิงที่ 1 (26.5 เมตร, รทก.) และ 4 (32 เมตร, รทก.) แต่ใกล้เคียงกับแก้มลิงที่ 6 (35.9 เมตร, รทก.) แต่มีอัตราการเติมน้ำพื้นที่แก้มลิงที่ 5 น้อยกว่าเนื่องจากพื้นที่แก้มลิง(44 ตร.กม.) แก้มลิงที่ 1 (176 ตร.กม.) 4 (80 ตร.กม.) และแก้มลิงที่ 6 (128 ตร.กม.) มาก พบว่าเมื่อเปรียบเทียบพื้นที่แก้มลิงที่ 1 4 และ 6 คิดเป็น 4, 2 และ 3 เท่าของแก้มลิงที่ 5 ตามลำดับ สามารถเรียงลำดับของพื้นที่ๆเหมาะสมโดยใช้เกณฑ์อัตราการเติมน้ำต่อปริมาตร จากมากที่สุดไปพื้นที่ๆเหมาะสมน้อยที่สุดในการสร้างแก้มลิงเพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ ได้ดังนี้ แก้มลิงที่ 5 แก้มลิงที่ 6 แก้มลิงที่ 4 แก้มลิงที่ 7 แก้มลิงที่ 1 แก้มลิงที่ 3 และแก้มลิงที่ 2 ตามลำดับ

จากผลการศึกษาทั้งหมดที่ผ่านมาเห็นได้ว่าการใช้พื้นที่แก้มลิงสามารถช่วยเพิ่มปริมาณน้ำในระบบชั้นน้ำบาดาลได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นควรใช้วิธีการสูบน้ำร่วมกับการใช้แก้มลิงเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพในการแก้ไขปัญหาได้ดินอย่างยั่งยืน

### ข้อเสนอแนะ ในงานวิจัยครั้งต่อไป

1. พื้นที่แก้มลิงในงานวิจัยนี้มีขนาดใหญ่ มีอาณาเขตพื้นที่แก้มลิงพื้นที่หลายตำบล และบางส่วนต้องใช้พื้นที่บริเวณที่พักอาศัยของชุมชน และพื้นที่ทางเศรษฐกิจบางแห่ง ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไป ควรที่นำพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน และค่าใช้จ่ายในการสร้างแก้มลิงแต่ละแห่ง มาวิเคราะห์หาความเหมาะสมแก้มลิงที่และสามารถนำมาใช้ได้ สถานการณ์จริง
2. ควรมีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทางด้านน้ำผิวดิน มาวางแผนจัดการกับการผันน้ำเข้าสู่แก้มลิงอย่างเป็นระบบใน
3. งานวิจัยการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการเติมน้ำจากแก้มลิงที่มีผลต่อการนำพาของน้ำเกลือบริเวณชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพ

### บรรณานุกรม

- เจริญ เชื้อม ไชสง. 2522. กำเนิดน้ำบาดาล และแหล่งน้ำบาดาลในประเทศไทย.กรมทรัพยากรธรณี  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2544. “แนวทางศึกษาและจัดการน้ำใต้ดินของไทย.” เอกสาร  
ประกอบการสัมมนา. (29 มีนาคม 2544).
- \_\_\_\_\_. 2548. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัย ประสิทธิภาพการ จัดการน้ำผิว  
ดินและผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน. (สิงหาคม 2548).
- \_\_\_\_\_. 2545. ศักยภาพและความต้องการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ ร า บ ภ า ค  
กลางตอนล่าง. (พฤษภาคม 2545).
- นพดล เฉลิมชัยรัตนกุล และ สุจริต คุณชนกุลวงศ์. 2545. พฤติกรรมทางชลศาสตร์ของการไหลเข้า  
และออกจากบ่อน้ำบาดาล วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิปัทม์ คำพรหม. 2544. การศึกษาการบรรเทาอุทกภัยของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างโดยใช้พื้นที่ทุ่ง  
น้ำท่วม ชลลพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปณิต ศิริพุทธชัยกุล. 2545.,การจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาค  
กลางตอนล่าง
- พิศาล ชัยสายัณห์ และบัญญัติ ขวัญยืน. 2547. การจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำ ใต้ดินของโครงการ  
น้ำใต้ดินสุโขทัยโดยใช้โปรแกรม MODFLOW. วิทยาสารกำแพงแสน.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 : 71-61
- โพยม สราภิรมย์, 2544. การจำลองสภาพน้ำใต้ดินในเขตเมืองเชียงใหม่. แหล่งที่มา:  
<http://civil.eng.cmu.ac.th/civil/modules.php?name=Content&file=print&pid=76>
- มูลนิธิชัยพัฒนา, 2548. โครงการ แก้มลิงฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา. แหล่งที่มา:  
[http://www.chaipat.or.th/chaipat/index.php?option=com\\_content&task=blogcategory&id=67 &It  
mid=92](http://www.chaipat.or.th/chaipat/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=67&Itemid=92)
- ราชบัณฑิตยสถาน. 2525. พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน.  
\_\_\_\_\_. 2530. พจนานุกรม ฉบับเฉลิมพระเกียรติ.

- รุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล. 2548 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของดินเค็ม วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วชิ งามณรงค์ และ สมชัย วงศ์สวัสดิ์. 2541. ศักยภาพน้ำบาดาลในประเทศไทย.
- วินัย ศรีอำพร. 2539. วิศวกรรมน้ำใต้ดิน. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2551 โครงการแก้มลิง. แหล่งที่มา: <http://dit.dru.ac.th/ka/a34.php>
- สนั่น จินดาสงวน. 2541. การจำลองสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมคิด บัวเพ็ง. 2542. วิกฤตการณ์น้ำบาดาล และแผ่นดินทรุดในบริเวณกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล. กองน้ำบาดาล.
- สุจริต คุณชนกุลวงศ์ และ กฤษดา วิสวธีรานนท์. 2545. จำลองการสูบน้ำและอัดเติมน้ำใต้ดิน. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
- สุจริต คุณชนกุลวงศ์ และ โชคชัย สุทธิธรรมจิต. 2542. การประยุกต์ใช้ GMS/MODFLOW ในการจำลองน้ำใต้ดิน. เอกสารประกอบการประชุมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 5. : WRE 26-34.
- อุดร ชนะศรีรัตนกุล. 2543. การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์กับสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับงานน้ำท่วมในบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิตวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Anderson, M. P. Woessner, W.W. 1992. Applied groundwater modelling : Simulation of flow and advective transport. Academic Press. Inc.
- Arlai, P.(2007), Numerical Modeling of possible Saltwater Intrusion Mechanisms in the Greuel, Multiple-Layer Coastal Aquifer System of the Gulf of Thailand, Dr.-Ing. Dissertation, Faculty of Civil Engineering, University of Kassel, Republic of Germany.
- Bredehoef, JD. Pinder. GF.1968. Application of the digital computer for aquifer evaluation, water Resources Research. Vol.5. pp. 1069-1093
- Chiang, W.H. and W.Kinzelbach.1998, Processing Modflow A simulation system for Modeling Groundwater Flow and Pollution.

- Dillon, P.J., Liggett, J.A. 1983. An ephemeral stream-aquifer interaction model. *Water Resources Research* June. pp. 621-625
- Egboka, B.C.E. Uma, K.O. 1986. Comparative analysis of transmissivity and hydraulic conductivity values from the Ajali aquifer system of Nigrai. *Journal of Hydrology*. Vol. 83. pp. 185-195
- Fenske J. P., S.A. Leake, and David E. Prudic 1996, Documentation of a Computer Program (RES1) to Simulate Leakage from Reservoirs Using the Modular Finite-Difference Ground-Water Flow Model (MODFLOW), Tucson, Arizona, Open-File Report 96-364, U.S. GEOLOGICAL SURVEY
- Freeze, R.A. Witherspoon. 1986. 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.
- 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.
- Heilweil, V.M. and David D. Susong (2007), Assessment of Artificial Recharge at Sand Hollow Reservoir, Washington County, Utah, Updated Conditions through 2006, Scientific Investigations Report 2007-5023, USGS.
- 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. *Advance in Water Resources*. Vol. 23. No. 5. pp. 517-530.
- Indelman, P. Dagan, G Cheng, A.H.D. and Ouazar, D 1966. Sensitivity analysis of flow in multilayer leaky aquifer systems. *ASCE journal of Hydraulic Engineering*. Vol. 122. No. 5. pp. 517-530
- K. C. Fan., *et al.* 2006. 'EVALUATION OF NATURAL RECHARGE OF CHINGSHUI GEOTHERMAL RESERVOIR IN TAIWAN' Thirty-First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California

- Kokusai Kogyo Co., Ltd. 1995. "The Study on Management of Groundwater and Land Subsidence in the Bangkok Metropolitan Area and its Vicinity", Final and Main Report, which was funded by JICA and presented to Department of Mineral Resources, Department of Industry and Public Works Department, Ministry of Interior, Thailand.
- Ross, H.C., Nathan C.M. and Walter R. A. (1997), Increased Used of Chenny Reservoir for Wichita Area Water Supply Benefits Equus Beds Aquifers, USGS Fact Sheet 156-97.
- Slattery, R.N. and Lisa D. Miller (2004), A Water- Budget Analysis of Medina and Diversion lakes and the Medina/Diversion Lake System, With Estimated Recharge to Edwards Aquifer, San Antonio Area, Texas, Scientific Investigation Report 2004-5209, USGS.
- Swancar, A. and Terrie M. Lee (2003), Effect of Recharge, Upper Floridan Aquifer Heads, and Time Scale on Simulated Ground-Water Exchange with Lake Starr, a Seepage Lake in Central Florida, Water-Resources Investigations Report 02-4295, USGS.
- The Asian Development Bank :ADB (2549), Flood management in The Chao Phraya River Basin Victor M

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล นาย มณฑล ยงค์ประวัติ

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 1 ถ. ท้าวอู่ทอง ต.หน้าเมือง อ.เมือง จ.ราชบุรี 70000

สถานที่ทำงาน หน่วยวิจัยเพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำ และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน  
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โทรศัพท์ 0-3426-1021-36 ext. 1745

Email address : dew083@hotmail.com , dew083@gmail.com

### ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2549 ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สัตวศาสตร์และ

เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร

พ.ศ. 2550 ศึกษาต่อระดับปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

### การทำงาน

พ.ศ. 2550 เข้าทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย ที่ หน่วยวิจัยเพื่อการจัดการทรัพยากร  
น้ำ และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

### ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

1. Feasibility of Using Retention Ponds for Recharging Flood into Bangkok aquifers, National Environmental Conference, Suranaree University of Technology, 25 th -27 th March, 2009
2. Estimation of Groundwater Pumping in Bangkok Multiple Aquifer System using Mathematical Model MODFLOW-96
3. Arlai, P., T. Kitpaisalsakul, M. Yongprawat and R. Onchang, The Sensitivity Analysis of Groundwater Recharge Into Bangkok Aquifers System to Remediate Flood in Lower Chao Phraya River Basin, 2008 Asian-Pacific Regional Conference on Practical Environmental Technologies, University of Philippines, Diliman, Quezon City, Philippines, June 30 th to July 1 st , 2008.