การศึกษาการไหลของน้ำบาดาลและสถานการณ์การแพร่ของน้ำมันดิบในน้ำบาดาลเมือง Bemidji มลรัฐ Minnesota ประเทศสหรัฐอเมริกา

The study of groundwater flow and the transport of crude oil in groundwater at Bemidji site, Minessota, USA

ภาณุ คำธร
วงศธร เจริญทรัพย์
ศรัณย์ สุลีสถิร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาการไหลของน้ำบาดาลและสถานการณ์การแพร่ของน้ำมันดิบในน้ำบาดาลเมือง Bemidji มลรัฐ Minnesota ประเทศสหรัฐอเมริกา

The study of groundwater flow and the transport of crude oil in groundwater at Bemidji site, Minessota, USA

ภาณุ คำธร
วงศธร เจริญทรัพย์
ศรัณย์ สุลีสถิร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The study of groundwater flow and the transport of crude oil in groundwater at Bemidji site, Minessota, USA

Panu Khamtorn
Wongsatorn Charoensap
Sarun Suleesatira

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาการไหลของน้ำบาดาลและสถานการณ์การแพร่ของน้ำมันดิบในน้ำบาดาล เมือง Bemidji มลรัฐ Minnesota ประเทศสหรัฐอเมริกา	
นักศึกษา	นายภาณุ คำธร	รหัสประจำตัว 56010922
	นายวงศธร เจริญทรัพย์	รหัสประจำตัว 56011041
	นายศรัณย์ สุลีสถิร	รหัสประจำตัว 56011183
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อุมา สีบุญเรือง	

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร.ชดชนก อัฑฒพงศ์	
ผศ.ดร.ชลิดา อู่ตะเภา	
รศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 18 เมษายน พ.ศ.2560 เวลาสอบ 9.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร CV ห้องประชุมภาค

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.ดร. นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 12 เดือน เม.ย. พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการไหลของน้ำบาดาลและสถานการณ์การแพร่ของน้ำมันดิบในน้ำบาดาลเมือง Bemidji มลรัฐ Minnesota ประเทศสหรัฐอเมริกา

นายภาณุ คำธร รหัสประจำตัว 56010922
นายวงศธร เจริญทรัพย์ รหัสประจำตัว 56011041
นายศรัณย์ สุลีสถิร รหัสประจำตัว 56011183
รศ.ดร. อุมา สีบุญเรือง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำสำรองที่สำคัญของประเทศ ปัจจุบันในหลายประเทศทั่วโลกมีการพัฒนาน้ำบาดาลมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เพื่อรองรับการขยายตัวของประชากร เศรษฐกิจ และสังคม อันเนื่องมาจากลักษณะเด่นของน้ำบาดาล คือ คุณภาพและอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ใช้พื้นที่และการลงทุนต่อหน่วยต่ำกว่าการใช้น้ำประปาและน้ำผิวดิน ปริมาณไม่ผันแปรตามฤดูกาล แต่น้ำบาดาลมักจะมีการปนเปื้อนจากอนุภาคต่างๆที่อยู่ใต้ดินหรือปนเปื้อนจากสารต่างๆที่ซึมจากผิวดินลงไป เช่น ตะกอนน้ำมัน การวิจัยนี้จะศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับทิศทางการไหลของน้ำบาดาลด้วยเส้นการไหลของน้ำบาดาลจากบริเวณตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มจนถึงทะเลสาบและศึกษาและคาดการณ์บริเวณรอบๆทะเลสาบที่จะถูกตัดผ่านด้วยเส้นการไหลของตะกอนน้ำมันในรัฐ Bemigji,USA โดยที่รูปแบบของแบบจำลองที่นำมาใช้วิเคราะห์มีทั้งหมด 3 รูปแบบได้แก่ 1.แบบจำลองสำหรับ Calibration 2. แบบจำลองสำหรับValidation 3.แบบจำลองการไหลของน้ำใต้น้ำบาดาล และใช้ข้อมูลระดับน้ำบาดาลตั้งแต่ปี ค.ศ.2000 ถึงปี ค.ศ.2010 มาทำการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม ArcGIS ในการวิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาลและโปรแกรม MODFLOW เพื่อจำลองการแพร่ของน้ำมันดิบในน้ำบาดาล โดยรวบรวมข้อมูลต่างๆ จากเว็บไซต์ของทางสำนักงานธรณีวิทยาสหรัฐอเมริกา

ผลการวิจัยที่ได้จากแบบจำลอง ArcGIS ได้แสดงค่าระดับชั้นความสูงระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลพบว่าทิศทางการไหลของน้ำบาดาลมีทิศทางเคลื่อนที่เข้าสู่ทะเลสาบและผลการวิจัยที่ได้จากแบบจำลอง MODFLOW ได้แสดงทิศทางการไหลของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 ก้อน พบว่าตะกอนน้ำมันกลุ่มแรกนั้นได้ไหลเข้าสู่ทะเลสาบในช่วง ค.ศ.2006 และตะกอนน้ำมันกลุ่มที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 3 ได้ไหลเข้าสู่ทะเลสาบในช่วงเวลาต่อมา กล่าวคือในปัจจุบันทะเลสาบยังมีการปนเปื้อนน้ำมัน การวิจัยนี้สามารถนำไปวิเคราะห์ผลที่จะเกิดขึ้นต่อไปเมื่อตะกอนน้ำมันไหลเข้าสู่ทะเลสาบ และคิดวิธีในการป้องกันโดยให้เกิดผลกระทบต่อทรัพยากรทางธรรมชาติให้น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The study of groundwater flow and the transport of crude oil in groundwater at Bemidji site, Minessota, USA

Mr.Panu Khamtorn 56010922
Mr.Wongsatorn Charoensap 56011041
Mr.Sarun Suleesatira 56011183
Assoc. Prof. Dr. Uma Seeboonruang
Academic Year 2016

ABSTRACT

Groundwater is a major reservoir of water in many countries around the world, the development of groundwater is widely used. To support the expansion of the socio-economic population. Because of the characteristics of groundwater,such as quality and temperature are quite constant, use of space and investment per unit is lower than using tap water and surface water, Volume does not fluctuate in season but groundwater is often contaminated by subterranean particles or contaminated with substances that penetrate the surface.such as oil sludge. This research will study and analyze the flow direction of groundwater and diffusion of crude oil in groundwater in Bemidji site,USA. which can be categorized in 3 scenarios. There are three models of the model to be analyzed such as 1. Model for Calibration 2. Models for Validation 3. Groundwater Flow Model. Groundwater data from 2000 to 2010 were analyzed. Using ArcGIS to analyze groundwater flows and MODFLOW program to simulate the diffusion of crude oil in groundwater. this research can be done by gathering various information. From the website of the USGS Geological America.

The results from the ArcGIS model show the groundwater level and the groundwater flow direction. The direction of groundwater flow direction towards the lake and the MODFLOW model shows the flow direction of the three sediments. It was found that the first sediment flowed into the lake in 2006 and Groups 2 and 3 flowed into the lake at a later time. For this reason, it is currently estimated that there are currently three crude oil contamination in the lake. This research can be

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

used to anc alyze the results when sludge flows into the lake. And think of ways to protect it by minimizing the effect on natural resources.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก รศ.ดร. อุมา สีบุญเรืองเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษนี้ ตลอดระยะเวลาของการศึกษานั้นมีอุปสรรคมากมาย ท่านได้ให้ความรู้ คำปรึกษา แนะแนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูล และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ รวมถึงคำแนะนำตรวจทานรูปเล่ม ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การเขียนโครงงานพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด ซึ่งผู้ทำโครงงานพิเศษ อยากจะขอกล่าวคำขอบคุณและนับถืออย่างสูงแด่ รศ.ดร. อุมา สีบุญเรือง

ขอขอบพระคุณ Mr.Timothy R Ginn และ นายพิณิช ธนชัยโชคศิริกุล ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ มากมายทำให้โครงงานพิเศษได้สำเร็จและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ของผู้ทำโครงงานพิเศษทุกท่าน ที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนช่วยให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และกราบขออภัยบุคคลผู้มีพระคุณทุกท่านที่มิได้กล่าวถึง ณ ที่นี้แต่ยังระลึกถึงตลอดไป

ภาณุ คำธร

วงศธร เจริญทรัพย์

ศรัณย์ สุลีสถิร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III

กิตติกรรมประกาศ V

สารบัญ VI

สารบัญตาราง IX

สารบัญรูป X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 กล่าวนำ 1

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.3 วัตถุประสงค์การศึกษา 3

1.4 ขอบเขตการศึกษา 4

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 4

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์ 6

2.1 บทนำ 6

2.2 ข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่เมือง Bemidji 7

2.3 ลักษณะปัญหาที่จะเกิดขึ้นที่ Bemidji site 8

2.4 ลักษณะของระดับน้ำบาดาลบริเวณ Bemidji site 10

2.5 ลักษณะของน้ำในดินและอุณหภูมิของทะเลสาบที่ศึกษา 10

2.6 รายละเอียดของลักษณะคุณภาพของน้ำในบริเวณที่ศึกษา 14

2.6.1 สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำในพื้นที่ที่ศึกษา 14

2.6.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 15

2.6.3 ค่า pH 16

2.4 ลักษณะของระดับน้ำบาดาลบริเวณ Bemidji site 10

2.5 ลักษณะของน้ำในดินและอุณหภูมิของทะเลสาบที่ศึกษา 10

2.6 รายละเอียดของลักษณะคุณภาพของน้ำในบริเวณที่ศึกษา 14

2.6.1 สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำในพื้นที่ที่ศึกษา 14

2.6.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 15

2.6.3 ค่า pH 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.7 ปฏิกิริยาเคมีในน้ำบาดาล 17
2.8 การไหลซึมของน้ำบาดาล 18
2.9 การประเมินค่าการไหลของน้ำบาดาลวิธี Darcy's law 19
2.9.1 ตาข่ายการไหล 21
2.10 หลักการของแบบจำลองทางชลศาสตร์ MODFLOW 22
2.11 สมการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย 24
2.11.1 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (percentage difference) 24
2.11.2 สมการการเคลื่อนตัวของมลพิษในน้ำบาดาล 25
2.12 ผลงานการศึกษาแบบจำลองทางชลศาสตร์ MODFLOW ที่ผ่านมาในอดีต 28
2.12.1 ข้อมูลเบื้อต้นในการศึกษา 28
2.12..2 การพัฒนาแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ 30
2.12.3 การออกแบบกริด 31
2.12.4 ขอบเขตของแบบจำลอง 32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ 35
3.1 แผนผังการดำเนินการวิจัย 35
3.2 ข้อมูลในพื้นที่การศึกษาและหลักการในการสร้างแบบจำลอง 36
3.2.1 ขอบเขตในการศึกษา 36
3.2.2 หลักการในการสร้างแบบจำลอง 36
3.3 รวบรวมข้อมูล 37
3.3.1ค่าตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจ ค่าระดับ และความลึกของแต่ละหลุมเจาะสำรวจ 38
3.3.2 ข้อมูลระดับน้ำบาดาลบริเวณ Bemidji site 39
3.3.3 ข้อมูลตัวประกอบอื่นๆที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย 40
3.4 การวิเคราะห์และสร้างเงื่อนไขของกรณีศึกษา 41
3.5 รูปแบบของแบบจำลอง 42
3.5.1 แบบจำลองน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันช่วงปี 2000-2006 42
3.5.2 แบบจำลองน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันช่วงปี 2007-2010 43
3.6 ขั้นตอนการดำเนินการ 43
3.6.1 การสร้างแบบจำลอง ARCGI 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.6.2 การสร้างแบบจำลองสำหรับ Calibration 49
3.6.3 การสร้างแบบจำลอง MODFLOW สำหรับ validate 57
3.6.4 การสร้างแบบจำลอง MODFLOW สำหรับคาดการณ์ 59

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย 60
4.1 ผลการศึกษาแบบจำลองการไหลน้ำบาดาล ARCGIS 61
4.1.1 แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลปี ค.ศ. 2000 62
4.1.2 แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลปี ค.ศ. 2005 62
4.1.3 แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลปี ค.ศ. 2010 63
4.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมัน 3 กลุ่ม 63
4.2.1 แบบจำลองสำหรับ Calibration 63
4.2.2 แบบจำลองสำหรับ Validation 64
4.2.3 แบบจำลองสำหรับคาดการณ์ 65

บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการวิจัย 68
5.1 แบบจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาล 69
5.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่ขอตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่ม 70
5.2.1 แบบจำลองสำหรับ Calibration 70
5.2.2 แบบจำลองสำหรับ Valibration 72
5.2.3 แบบจำลองสำหรับคาดการณ์ 73

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 75
6.1 สรุปผลการวิจัย 75
6.2 ข้อเสนอแนะ 75

บรรณานุกรม 77

ภาคผนวก 78
ภาคผนวก ก 79
ภาคผนวก ข 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่2.1 ตัวอย่างทางเคมีของน้ำบาดาลในธรรมชาติ 17
ตารางที่2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน(Clapp and Homberger, 1978) 21
ตารางที่2.3 แพ็คเกจต่างๆในโปรแกรม MODFLOW ที่นิยมใช้ 23
ตารางที่2.4 ตัวอย่างระดับน้ำต่างตามแรงดันในแนวดิ่งบริเวณอ่าวไทย (Langevin 2002) 34
ตารางที่ 3.1 ประเภทและที่มาของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา 37
ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจประเภทที่1 38
ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างระดับน้ำบาดาลจากwell 303 40
ตารางที่ 3.4 ค่าทั่วไปของสัมประสิทธิ์การซึมได้ 41
ตารางที่ 3.5 ค่าทั่วไปของสัมประสิทธิ์การซึมได้ 43
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลหลุมเจาะทั้งหมด 61
ตารางที่ 4.2 ผลการ trail and error ค่าคงที่ 63
ตารางที่ 5.1 ผลจากการ trail and error ค่าคงที่ 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่2.1 ภูมิประเทศเมือง Bemidji 8
รูปที่2.2 ตะกอนน้ำมันและทะเลสาบที่ศึกษา (Masonthesis,2014) 9
รูปที่2.3 อุณหภูมิรายเดือนของน้ำบาดาลที่ใกล้กันอยู่ที่ Long Island,New York
(New York State WaterResources Comm. Bull. 55) 11
รูปที่2.4 แผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงประจำปีของอุณหภูมิของน้ำบาดาลใกล้กับแม่น้ำ
Mohawk New York (New York State Water Resources Comm. Bull. 55) 11
รูปที่2.5 ทะเลสาบ Bemidji 12
รูปที่2.6 ประเภทของลำน้ำแบ่งตามปฏิสัมพันธ์กับชั้นน้ำบาดาล 13
รูปที่2.7 เครื่อง mini-piezometer 14
รูปที่2.8 เครื่อง Eutech Cyberscan 15
รูปที่2.9 การไหลซึมจากลำน้ำลงสู่ใต้ดิน 18
รูปที่2.10 การทดลองของดาร์ซี (Domenico & Schwartz, 1998) 19
รูปที่2.11 ตาข่ายการไหล 22
รูปที่2.12 ตารางกริดของ Finite difference แบบ 3 มิติ (Harbaugh, 2006) 24
รูปที่2.13 แสดงการแพร่กระจายตามแนวยาวและแนวขวางอันเนื่องมาจากกลไกการกระจายตัว 26
รูปที่2.14 ภาพตัดขวางชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่แอ่งเจ้าพระยาตอนล่าง 29
รูปที่2.15 เส้นตัดขวางของแบบจำลองน้ำบาดาลทิศเหนือสุดของพื้นที่ศึกษา 31
รูปที่2.16 แสดงภาพตัดขวาง 2 มิติ ของแบบจำลองน้ำบาดาลแอ่งเจ้าพระยาตอนล่าง 31
รูปที่ 2.17 การคำนวณระดับตามความต่างของแรงดันในแนวดิ่งบริเวณอ่าวไทย (Langevin, 2002) 32
รูปที่2.18 แสดงภาพตัดขวางการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน 33
รูปที่ 3.1 ขอบเขตที่ศึกษา (USGS) 36
รูปที่ 3.2 รูปหลุมเจาะสำรวจจากแผนที่ดาวเทียม 39
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่าระดับน้ำบาดาล 40
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำบาดาลกับเดือนในปี 2000-2006 42
รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงกรณีศึกษา 43
รูปที่ 3.6 หน้าต่างแสดงไอคอนโปรแกรม GIS 44
รูปที่ 3.7 หน้าต่างแสดงคำสั่งข้อมูล 44
รูปที่ 3.8 หน้าต่างแสดงการเพิ่มข้อมูลหลุมเจาะ 45
รูปที่ 3.9 หน้าต่างแสดงการเพิ่มข้อมูล 45
รูปที่ 3.10 หน้าต่างแสดงขั้นตอนการแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ 46
รูปที่ 3.11 หน้าต่างแสดงการใส่ข้อมูล IDW 46
รูปที่ 3.12 หน้าต่างแสดงการใส่ข้อมูล Contour 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 3.13 หน้าต่างแสดงการปรับค่าต่างๆของ Contour 47
รูปที่ 3.14 หน้าต่างแสดงการรวบรวมข้อมูล 48
รูปที่ 3.15 แผนที่ระดับน้ำบาดาล 48
รูปที่ 3.16 หน้าต่างแสดงการเปิดข้อมูลแผนที่ดาวเทียม 49
รูปที่ 3.17 หน้าต่างแสดงการใส่ข้อมูลช่วงเวลา 49
รูปที่ 3.18 แผนที่ดาวเทียมกับหลุมเจาะ 50
รูปที่ 3.19 หน้าต่างแสดงข้อมูลหลุมเจาะ 51
รูปที่ 3.20 หน้าต่างแสดงระดับน้ำบาดาลและตำแหน่งของหลุมเจาะ 52
รูปที่ 3.21 หน้าต่างแสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นดิน 52
รูปที่ 3.22 หน้าต่างแสดงค่าความพรุนและสัมประสิทธิ์การเก็บกัก 53
รูปที่ 3.23 หน้าต่างแสดงข้อมูลระดับน้ำบาดาลเริ่มต้น 54
รูปที่ 3.24 หน้าต่างแสดง Constant Head 54
รูปที่ 3.25 หน้าต่างแสดงวิธีการ Run โปรแกรม 55
รูปที่ 3.26 แบบจำลอง Calibration 55
รูปที่ 3.27 หน้าต่างแสดงผลของการ Run โปรแกรม 56
รูปที่ 3.28 หน้าต่างแสดงช่วงเวลาการ Run โปรแกรมสำหรับแบบจำลอง Validation 57
รูปที่ 3.29 หน้าต่างแสดงข้อมูลระดับน้ำบาดาลสำหรับแบบจำลอง Validation 58
รูปที่ 3.30 หน้าต่างแสดงค่าสัมประสิทธิ์สำหรับแบบจำลอง Validation 58
รูปที่ 3.31 หน้าต่างแสดงข้อมูลเส้นทางการไหลของตะกอนน้ำมัน 59
รูปที่ 4.1 เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลปี 2000 62
รูปที่ 4.2 เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลปี 2005 62
รูปที่ 4.3 เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลปี 2010 63
รูปที่ 4.4 ทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันแบบจำลองCalibration 64
รูปที่ 4.5 ทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันแบบจำลองValidation 65
รูปที่ 4.6 ทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันเมื่อผ่านไป 1 ปี 66
รูปที่ 4.7 ทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันเมื่อผ่านไป 5 ปี 66
รูปที่ 4.8 ทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันเมื่อผ่านไป 8 ปี 67
รูปที่ 5.1 แผนผังการวิเคราะห์งานวิจัย 68
รูปที่ 5.2 กราฟการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาล 69
รูปที่ 5.3 ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลจากพื้นที่จริง 70
รูปที่ 5.4 ค่าความคลาดเคลื่อนและค่าความเที่ยงตรง 71
รูปที่ 5.5 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันในแบบจำลอง Validation 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 5.6 ค่าความคลาดเคลื่อนและค่าความเที่ยงตรงแบบจำลอง Validation 72
รูปที่ 5.7 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันกลุ่ม1 สู่ทะเลสาบ 73
รูปที่ 5.8 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันกลุ่ม3 สู่ทะเลสาบ 74
รูปที่ 5.9 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันกลุ่ม2 สู่ทะเลสาบ 74

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

โดยทั่วไปแล้วน้ำผิวดินและน้ำบาดาลได้จัดเป็นทรัพยากรทางธรรมชาติที่แยกส่วนกัน ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาแนวคิด เทคนิคต่างๆ รวมไปถึงนวัตกรรมใหม่ๆ ซึ่งเกิดจากขีดความสามารถที่มากขึ้นในแต่ละเทศ เพื่อที่จะนำความรู้และเทคนิคเหล่านี้มาประยุกต์ใช้กับการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำบาดาลและน้ำบาดาล การศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับความเชื่อมโยงกันระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการจัดสรรน้ำทั่วประเทศเพื่อใช้อุปโภคและบริโภคและเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาการปนเปื้อนในน้ำบาดาลอีกด้วย

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในวันที่ 20 สิงหาคม 2522 ทางตะวันตกเฉียงเหนือของเมือง Bemidji รัฐ Minnesota ออกไปประมาณประมาณ 16 กิโลเมตร ท่อที่ใช้ในการขนส่งน้ำมันดิบเกิดการระเบิดทำให้น้ำมันดิบทะลักออกมาประมาณ1,700,000 ลิตร หรือราวๆ 10,700 บาเรล น้ำมันดิบได้ก่อตัวกันเป็นก้อนตะกอน และได้กระจายเข้าทั่วพื้นที่ที่เกิดเหตุ ก้อนน้ำมันก่อตัวเป็นกลุ่ม 3 กลุ่ม ก้อนน้ำมันได้ซึมผ่านชั้นดินไม่อิ่มตัว ไปยังระดับน้ำบาดาลก่อนที่จะเกิดเป็นตะกอนน้ำมัน 3 กลุ่มใต้ผิวดิน ซึ่งก้อนตะกอนน้ำมันเหล่านี้ถูกเรียกว่า North Middle และSouth ตามลำดับ หลังจากที่มีการทำความสะอาดเบื้องต้นสามารถกำจัดน้ำมันดิบออกไปได้ประมาณ 400,000 ลิตรของน้ำมันที่อยู่ใต้ผิวดิน ในปี 2526-2542 นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาเกี่ยวกับความเป็นไปได้ทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยาถึงกระบวนการควบคุมปริมาณของไฮโดรคาร์บอนให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมให้น้อยที่สุด และในปี2542 ได้ข้อสรุปจากหน่วยงานควบคุมมลพิษ รัฐMinnesotaว่า 5 ปีในความพยายามที่จะฟื้นฟูพื้นที่ที่เกิดเหตุโดยมีจุดมุ่งหมายคือ กำจัดLNAPL สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในน้ำบาดาลให้ลดลงในทุกๆแหล่งน้ำของพื้นที่ โดยเจาะหลุมเพื่อสำรวจน้ำบาดาลจำนวน 5 หลุม 2หลุมสำหรับตะกอนน้ำมันnorth 2หลุมสำหรับmiddle และ1หลุมสำหรับsouth เมื่อหลุมขุดเจาะเสร็จเรียบร้อยแล้วจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกติดตั้งด้วยท่อกรองน้ำบาดาลขนาด 3.05เมตรซึ่งติดตั้งลงไปใต้ดินบริเวณใกล้เคียงกับผิวของระดับน้ำบาดาล โดยแต่ละหลุมศึกษาจะติดตั้งปั๊มสมรรถภาพสูงไว้บริเวณก้นหลุม และa pneumatic skimmer pumpบริเวณใกล้กับระดับน้ำบาดาล เมื่อปั๊มแรงดันสูงที่บริเวณก้นหลุมถูกเปิดใช้งานจะสามารถสังเกตเห็น เส้นDRAWDOWN ของระดับน้ำบาดาลได้ ซึ่งเส้นDRAWDOWN ทำให้เห็นการลดลงของระดับน้ำบาดาลแบบรูปกรวยซึ่งส่งผลต่อการไหลทั้งในแนวดิ่งและแนวราบจากพื้นที่รอบๆที่เป็นน้ำบาดาลถึงบ่อสังเกตการณ์ น้ำมันดิบที่ลอยอยู่บนระดับน้ำบาดาลระหว่างชั้นดินอิ่มตัวและดินไม่อิ่มตัวของแหล่งน้ำได้เคลื่อนย้ายไปยังบ่อศึกษาส่งผลให้เกิดการเจือปนกัน น้ำและน้ำมันที่ถูกปั๊มรวมกันจากทุกๆบ่อถูกปล่อยไปยังถังแยกเดี่ยว ซึ่งน้ำมันที่อยู่ในถังแยกเดี่ยวนี้จะถูกแยกออกจากน้ำและปั๊มออกไปยังถังเก็บแยกต่างหากเพื่อที่จะนำไปกำจัดต่อในภายหลัง น้ำที่อยู่ในถังแยกเดี่ยวจะถูกปั๊มเพื่อไปผ่านกระบวนการกรอง เปรียบได้ว่าน้ำที่ผ่านกระบวนการกรองจะถูกเจือจางจากตะกอนของปิโตรเลียมออกไปบางส่วนแต่ยังไม่มีผลทดสอบที่ยืนยัน ในขณะที่น้ำไหลไปยังกระบวนการกรองนั้นจะมีการไหลกลับไปยังน้ำบาดาลและกลับไปไหลรวมกลับการไหลน้ำดินเดิมของมัน

จากการทดสอบในพื้นที่ที่ศึกษา การย่อยสลายของจุลินทรีย์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด์ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำบาดาลมีค่าที่ลดลง การวัดคุณสมบัติของน้ำและคุณภาพของน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ตะกอนน้ำมัน NORTH พบว่าในพื้นที่ที่ศึกษา น้ำบาดาลที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำนี้ถูกนำออกมาเสนอปี 2542-2546ซึ่งมีการฟื้นฟูและบำรุงรักษาแล้ว งานวิจัยในเมือง Bemidji แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่มีปริมาณออกซิเจนในน้ำบาดาลต่ำเกิดมาจากผลจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในปิโตรเลียมที่ถูกพบในตะกอนน้ำมัน NORTH

อย่างไรก็ตามเปรียบได้ว่าน้ำบาดาลที่ได้มาจากการปั๊มจากแหล่งน้ำด้วยเครื่องปั๊มสรรถนะสูงนี้มีค่าออกซิเจนต่ำ แสดงว่าน้ำที่ถูกปล่อยเข้าสู่กระบวนการกรองนั้นจะเต็มไปด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด เช่น เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน (BTEX) โดยที่สารเหล่านี้จะถูกส่งเข้าไปในกระบวนการกรองและเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศจากนั้นจะสลายตัวออกไปโดยใช้เวลาสั้นๆ ซึ่งการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในสารประกอบไฮโดรคาร์บอนนี้จะทำหน้าที่ในการลดความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำบาดาลที่ปล่อยไปยังกระบวนการกรอง ส่งผลให้น้ำที่ผ่านการกรองมาตั้งแต่ปี 2542-2546 ที่มีการฟื้นฟู เป็นน้ำที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำ ในปัจจุบันตะกอนน้ำมัน NORTH กำลังเคลื่อนตัวเข้าสู่ทะเลสาบ ทางคณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นว่าควรศึกษาการไหลของน้ำบาดาลและสถานการณ์การแพร่ของน้ำมันดิบในน้ำบาดาลของตะกอนน้ำมัน NORTH MIDDLE และ SOUTH โดยจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลและศึกษาการแพร่ของปริมาณไฮโดรคาร์บอนด้วย โดยการจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บาดาลและโปรแกรมที่จะนำมาใช้สร้างแบบจำลองน้ำบาดาลในการศึกษานี้จะใช้โปรแกรม MODFLOW ซึ่งเหมาะต่อการนำมาใช้ศึกษาการไหลของน้ำบาดาลในโครงการในการศึกษาครั้งนี้ โดยโปรแกรม MODFLOW จะใช้เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำบาดาลที่เปลี่ยนแปลงไปในปัจจุบันและอนาคต และหวังอย่างยิ่งว่าการศึกษาครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคตได้

โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MODFLOW คือ แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลที่ใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบ Finite difference ใน 3 มิติ ที่ถูกสร้างขึ้นโดยสำนักสำรวจธรณีวิทยา ประเทศสหรัฐอเมริกา(USGS) (McDonald and Harbaugh 1998) โปรแกรม MODFLOW ได้รับการพิจารณาว่ามีความเป็นมาตรฐานสากลในแง่ของการจำลองและการทำนายค่าของน้ำบาดาลและปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

โปรแกรมการจำลองการไหลของน้ำบาดาลเป็นโปรแกรมแรกและโปรแกรมเดียวที่ได้รับการพัฒนาอย่างเต็มรูปแบบและถูกตีพิมพ์ออกมาครั้งแรกเมื่อ ปี ค.ศ.1984 โครงสร้างของโปรแกรม MODFLOW เป็นกรอบการดำเนินงานที่ดีสำหรับแบบจำลองอื่นๆ เนื่องจากแบบจำลอง MODFLOW ประกอบไปด้วยความสามารถในการจำลองสถานการณ์การไหลของน้ำบาดาลที่หลากหลาย ในปัจจุบันโปรแกรมที่อยู่ในตระกูลของโปรแกรม MODFLOW มีความสามารถในการจำลองปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน การเคลื่อนที่ของสารละลายในน้ำบาดาล ความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงของของไหล การอัดตัวของระบบชั้นหินอุ้มน้ำและการทรุดตัดของแผ่นดิน การประมาณค่าพารามิเตอร์และการบริหารจัดการน้ำบาดาล

1.3 วัตถุประสงค์การศึกษา

1. เพื่อประมาณทิศทางการไหลของน้ำบาดาลด้วยเส้นการไหลของน้ำบาดาลจากบริเวณตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มจนถึงทะเลสาบที่ศึกษา

2. เพื่อคาดการณ์เส้นการไหลจากการไหลของตะกอนน้ำมันใต้ทะเลสาบ

3 เพื่อศึกษาและคาดการณ์บริเวณรอบๆทะเลสาบที่จะถูกตัดผ่านด้วยเส้นการไหลของตะกอนน้ำมัน NORTH,MIDDLE และ SOUTH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ด้านพื้นที่ในการศึกษา จัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลบริเวณตะกอนน้ำมันจนถึงทะเลสาบและการเปลี่ยนแปลงของสารไฮโดรคาร์บอนเป็นหลัก โดยอยู่ในช่วงเขตพื้นที่รอบๆ ทะเลสาบ

2. ด้านข้อมูลของหลุมเจาะสำรวจและข้อมูลการไหลของน้ำบาดาลจะใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี 2000 – 2010 และข้อมูลของอุณหภูมิจะใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี 2000-2010 ข้อมูลของค่าความเป็นกรดด่างจะใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี 2000-2010 ข้อมูลของค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำจะใช้ในปี 2000-2010 เช่นเดียวกับข้อมูลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

3. ด้านวิธีการจะใช้การประมวลผลข้อมูลเป็นตาข่ายการไหลในเบื้องต้นและจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในรูปแบบ 2 มิติ และการแพร่ของน้ำมันดิบในน้ำบาดาล โดยข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรมเป็นแบบ transient state

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. กำหนดหัวข้อวิจัยและขอบเขตในการศึกษา
2. ศึกษาหลักการทำงานของโปรแกรม GIS โดยจะขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร เช่น ระดับน้ำบาดาล อุณหภูมิ ค่า pH ค่าปริมาณการละลายของออกซิเจน ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน
3. รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาสร้างแบบจำลองจากโปรแกรมMODFLOW ทั้งจากหน่วยงานรัฐบาลและภาคเอกชน รวมถึงศึกษาการใช้โปรแกรมจากเอกสารรายงานต่างๆ
4. วิเคราะห์ข้อมูลและสร้างเงื่อนไขแต่ละกรณีศึกษา
5. กรอกข้อมูลและเงื่อนไขต่างๆลงในโปรแกรมเพื่อสร้างแบบจำลอง
6. นำข้อมูลของน้ำบาดาลจากโปรแกรม MODFLOW มาเปรียบเทียบในแต่ละกรณีศึกษา
7. สรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.สามารถทราบความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของน้ำบาดาลและตะกอนน้ำมัน บริเวณที่ศึกษา เพื่อคาดคะเนผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อทะเลสาบได้

2.สามารถนำไปวิเคราะห์ผลที่จะเกิดขึ้นต่อเมื่อตะกอนน้ำมันไหลเข้าสู่ทะเลสาบ และคิดวิธีในการป้องกันโดยให้เกิดผลกระทบต่อทรัพยากรทางธรรมชาติให้น้อยที่สุด

3.สามารถนำความรู้จากการใช้โปรแกรม MODFLOW ไปประยุกต์ใช้กับงานในอนาคตได้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าการวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาการไหลของน้ำบาดาลและสถานการณ์การแพร่ของน้ำมันดิบในน้ำบาดาลของตะกอนน้ำมัน NORTH MIDDLE และ SOUTH มีวิธีการหลายวิธีการที่จะตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของน้ำระหว่างทะเลสาบที่ศึกษา และ การปนเปื้อนของน้ำบาดาลที่เมือง Bemidji แห่งนี้ เมื่อ 50 ปีที่แล้วมีการพัฒนาการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาลที่รวดเร็วและค่าใช้จ่ายต่ำโดยดูจากทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านตะกอนใต้ทะเลสาบแต่เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นได้มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้นและมีขั้นตอนที่ซับซ้อนมากขึ้นในการวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำ และวัดการไหลของน้ำผ่านอินเทอร์เฟสของตะกอนทะเลสาบ ค่าต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยครั้ง เช่น ค่าศักย์กระแสไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนในน้ำ เป็นต้น ค่าเหล่านี้จะถูกเก็บจาก 4 พื้นที่ในพื้นที่เกิดเหตุ ข้อมูลน้ำบาดาลจะถูกเก็บจากบ่อสังเกตการณ์หลายๆบ่อทางใต้ของตะกอนน้ำมัน NORTH ส่วนน้ำที่อยู่บริเวณชั้นเม็ดดินจะถูกเก็บจากชั้นตะกอนของดินใต้ทะเลสาบและน้ำผิวดินจะถูกเก็บข้อมูลจากทะเลสาบโดยตัวอย่างน้ำที่เก็บได้ทั้งหมดนั้นจะถูกนำไปผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อที่จะทราบค่าต่างๆที่ต้องการนำไปเข้าโปรแกรม ArcGIS ต่อไปเพื่อจะดูแนวโน้มที่เกิดขึ้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสารไฮโดรคาร์บอนที่เจือปนอยู่ในน้ำบาดาล

งานวิจัยครั้งนี้จะศึกษาเกี่ยวกับภูมิประเทศของสถานที่เกิดเหตุบ่อน้ำมันแตกและศึกษาแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลและทิศทางการไหลของตะกอนน้ำมันโดยอาศัยแบบจำลองจากโปรแกรม ArcGIS เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาลตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน และโปรแกรมMODFLOW เพื่อวิเคราะห์การไหลของตะกอนน้ำมันในน้ำบาดาล

แบบจำลอง ArcGIS พัฒนามาเพื่อวิเคราะห์ทางด้านชลศาสตร์และภูมิประเทศควบคู่กันไป มีความสามารถในการจำลองแผนที่ภูมิประเทศและค่าระดับน้ำบาดาลโดยจะแสดงผ่านเส้นชั้นความชัน (contour)เพื่อดูแนวโน้มทิศทางการไหลของน้ำบาดาล และสามารถดูแนวโน้มของปริมาณออกซิเจนในน้ำได้ด้วยเพื่อนำไปวิเคราะห์สารไฮโดรคาร์บอนที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำบาดาลว่าจะไปในทิศทางใด โดยโปรแกรมArcGIS สามารถทำนายข้อมูลของบ่อที่เราไม่ทราบข้อมูลโดยการใช้เส้นความชันในการแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลเพื่อให้ได้ข้อมูลนั้นมา สามารถจำลองการไหลแบบ 2 มิติ การจำลองระบบการไหลของน้ำบาดาล ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อเป็นการวิเคราะห์น้ำบาดาลและปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนในพื้นที่ที่ศึกษา ณ เมือง Bemidji รัฐ Minnesota ประเทศ สหรัฐอเมริกา

2.2 ข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่เมือง Bemidji

ภูมิประเทศที่ Bemidji ประกอบด้วยหลุมและเป็นที่ราบเศษหินธารน้ำแข็ง น้ำบาดาลอยู่ลึกลงไปที่ 7-20 เมตรซึ่งประกอบด้วยทรายและกรวดที่คละกันระดับปานกลางและตะกอนแทรกในบางส่วน มีการซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาลที่ความลึก 17 ถึง 28 เมตรจากพื้นผิวดิน มีความลึกของระดับน้ำบาดาลตั้งแต่ 0 เมตร (ที่พื้นผิว ของ ทะเลสาบที่ศึกษา ใกล้พื้นที่ชุ่มน้ำในบ่อน้ำมันsouth) ถึง 10 เมตร (ใกล้กลุ่มบ่อ 955) มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำอยู่ประมาณ 5.6×10^{-6} ถึง 7×10^{-5} m/s และ 8.9×10^{-4} และมีค่าความเร็วของน้ำจากการทดสอบ bromide tracer test ซึ่งเป็นการทดสอบในสนามในบ่อตะกอนน้ำมัน NORTHพบว่ามีค่า 0.06 เมตรต่อวันทิศทางการไหลของน้ำบาดาลที่ Bemidji คือไหลจากจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทางทิศเหนือ

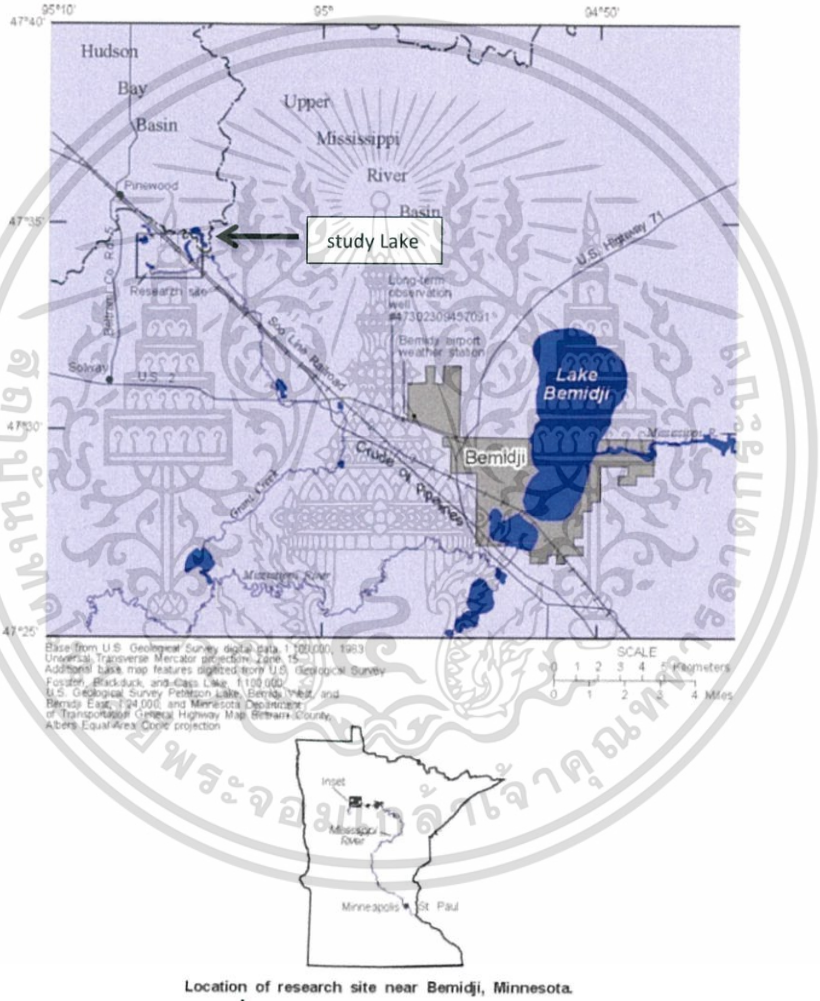
The U.S. Geological Survey (USGS) ได้จัดทำภาพตัดตามขวางของบ่อสังเกตการณ์ซึ่งเป็นแนวจากจุดท่อท่อแตกขึ้นไปประมาณ 160เมตรจนถึง 300 เมตรจากจุดท่อแตกลง ซึ่งรูปตัดแนวขวางของบ่อนี้จะเรียกว่า North Well Transect (NWT)(รูปตัดแนวขวางบ่อทิศเหนือ) บ่อหมายเลข 310 ตั้งอยู่ 160 เมตรจากจุดที่ท่อแตกขึ้นไปประมาณ 160 เมตร ตัวอย่างน้ำจากบ่อนี้จะใช้ในการศึกษาสภาพความเปลี่ยนแปลงของน้ำบาดาลที่Bemidji
บ่อหมายเลข604 อยู่ใกล้ท่อที่แตก ซึ่งบ่อนี้จะใช้เป็น จุดอ้างอิง สำหรับการวัดค่าต่างๆในพื้นที่ศึกษาของเมือง Bemidji ว่าที่จุด เริ่มต้นของการแตกของท่อส่งน้ำมันเกิดขึ้นได้อย่างไร

บ่อ532 จะคลอบคลุมขอบเขตของบ่อน้ำมันNORTH น้ำมันที่ตรวจวัดเป็นบ่อแรกเกิดขึ้นที่บ่อ532A ในปี2012 จากการวัดบ่อกลุ่ม528 มีค่าความเข้มข้นของ สารBTEX มากกว่า 10ppb ความเข้มข้นของ สารBTEX ล่าสุดถูกวัดในบ่อกลุ่ม NWT ในปี 2010 แต่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากการวัดที่ได้ในปี 1996 การเคลื่อนที่ของน้ำที่วิเคราะห์ในปี 1996 ได้นำมาใช้เพื่อบ่งชี้ขอบเขตการเคลื่อนที่ลงไปของสาร BTEX ในระหว่างการศึกษานี้ ทะเลสาบแห่งนี้ มีขนาด 18 เอเคอร์ และเป็นลุ่มน้ำปิดตั้งอยู่ลงมาจากบริเวณท่อที่แตกประมาณ 380 เมตรในเมือง Bemidji ทะเลสาบนี้ตั้งอยู่ใกล้กึ่งกลาง 1700 เป็นฮา (4,200) เอเคอร์ ซึ่งประกอบด้วยอ่าวหลักสองอ่าวที่เชื่อมต่อ ด้วยช่องแคบ บริเวณรอบ ๆ ทะเลสาบไม่มีการพัฒนาชายฝั่งใดๆมีเพียงรางรถไฟร้างตามแนวขอบตะวันตกใต้ของทะเลสาบ ทะเลสาบแห่งนี้มีความลึกสูงสุด 2 เมตร และ ใต้ทะเลสาบประกอบด้วยชั้นตะกอนที่อุดมไปด้วยสารอินทรีย์ที่ช่วงความหนาประมาณตั้งแต่ 0 ถึง 3 ม. และตะกอนนี้โดยทั่วไปมีแนวโน้มที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาขึ้นตรงกลางของทะเลสาบ ทะเลสาบที่ศึกษามีที่อยู่ทางภูมิศาสตร์ใกล้น้ำผิวดินภาคพื้นทวีปซึ่งแบ่งระหว่างลุ่มแม่น้ำมิสซิสซิปปีบนและลุ่มน้ำฮัดสันเบย์ซึ่งเป็นต้นน้ำ ของ แกรนท์ ครีก ลำน้ำต่างที่ไหลสู่แม่น้ำมิสซิสซิปปี ตั้งอยู่ ที่ทะเลสาบอื่นๆที่ห่างไป อีกประมาณ 1 ไมล์ทางตะวันตกเฉียงใต้ของทะเลสาบที่ศึกษา

นอกจากนี้ ทะเลสาบที่ยาวคดเคี้ยวยังเป็นต้นน้ำของลำน้ำต่างๆของแม่น้ำเคลียร์วอเตอร์ที่ตั้งอยู่ประมาณ 0.25 ไมล์ ทางตะวันออกเฉียงเหนือ ของทะเลสาบที่ศึกษา ต้นน้ำของแม่น้ำ แกรนท์ คลีกจะไหลไปทางทิศตะวันออกและถูกแยกออกจากทะเลสาบที่ศึกษาโดยสันเขาที่ตั้งขวางอยู่ แกรนท์ ครีก ก็จะไหลไปสู่แม่น้ำมิสซิสซิปปี ลำน้ำต่างๆของแม่น้ำเคลียร์วอเตอร์ไหลไปทางเหนือจากทะเลสาบที่ยาวคดเคี้ยว และพัดพาน้ำผิวดินออกสู่อ่าวฮัดสัน



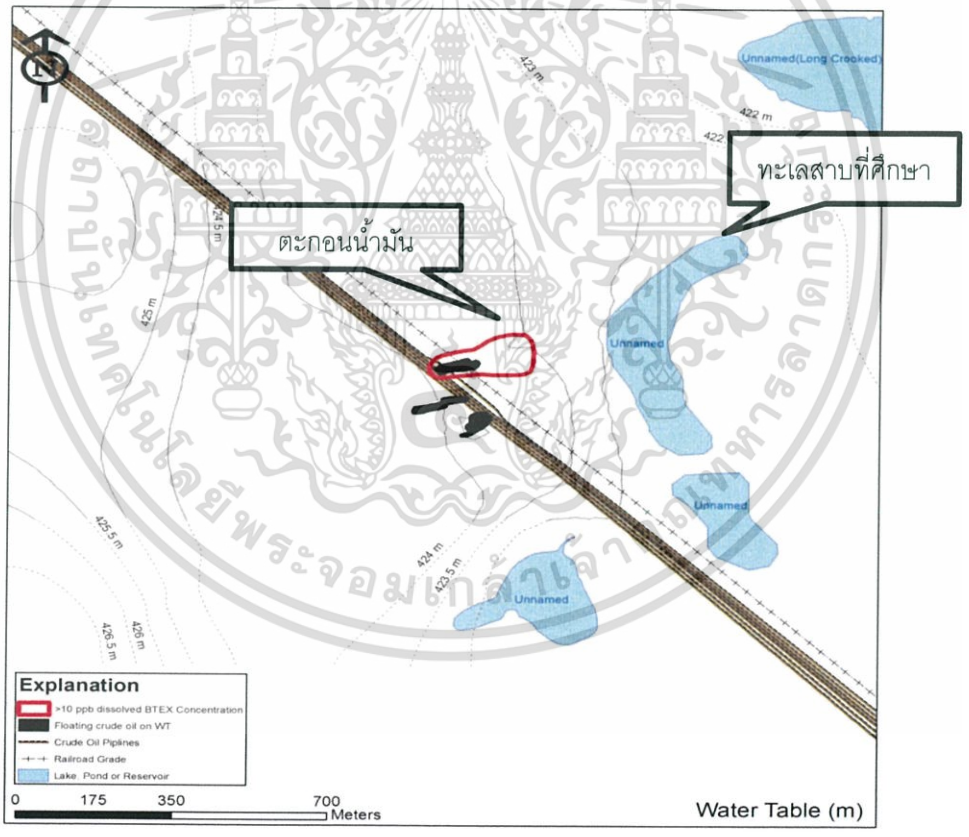
รูปภาพที่2.1 ภูมิประเทศเมือง Bemidji

2.3 ลักษณะปัญหาที่จะเกิดขึ้นที่ Bemidji site

ปัญหาที่เกิดในพื้นที่เมือง Bemidji มลรัฐ Minnesota นั้น คือเกิดการระเบิดของท่อขนส่งน้ำมันและส่งผลให้เกิดการเจือปนของน้ำมันในน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ที่ท่อน้ำมันแตกเกิดเป็นตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมัน 3 ก้อน บริเวณใกล้เคียงกับทะเลสาบ ซึ่งทะเลสาบที่จะศึกษานี้มีแนวทางน้ำที่เชื่อมต่อกับทะเลสาบBemidji ที่อยู่บริเวณในตัวเมือง ซึ่งได้มีการเก็บข้อมูลและทดลองทางห้องทดลองในสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี 1997-ปัจจุบัน แต่ไม่ได้มีคนนำข้อมูลมาวิเคราะห์ว่าจะเกิดในทิศทางใด ทางคณะผู้จัดทำจึงนำข้อมูลที่เก็บจากในอดีตมาวิเคราะห์ว่าจะมีแนวโน้มเป็นอย่างไรต่อไป ทั้งแนวโน้มทิศทางการไหลของน้ำบาดาลว่าจะมีทิศทางในการไหลเข้าสู่ทะเลสาบที่ศึกษาหรือไม่ และยังศึกษาค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบาดาลว่าแต่ละปีมีการเพิ่มหรือลดลงอย่างไรบ้าง และศึกษาค่าปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เจือปนอยู่ในน้ำบาดาล และวิเคราะห์ค่า pH ในน้ำบาดาล เป็นต้น ซึ่งปัญหาหลักๆคือ ถ้าทิศทางการไหลของน้ำบาดาลมีทิศทางไหลเข้าสู่ทะเลสาบจริงจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศบริเวณนั้นและจะส่งผลการทบระยะยาวอีกด้วยเนื่องจากทะเลสาบที่ศึกษานั้นมีแนวการเชื่อมต่อกับทะเลสาบ Bemidji จะส่งผลให้ประชาชนในเมืองนั้นใช้ทรัพยากรน้ำที่มีการเจือปนของน้ำมันและระบบนิเวศในเมืองและรอบๆเมืองจะเกิดการเปลี่ยนแปลง



รูปภาพที่2.2 ตะกอนน้ำมันและทะเลสาบที่ศึกษา (Masonthesis,2014)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

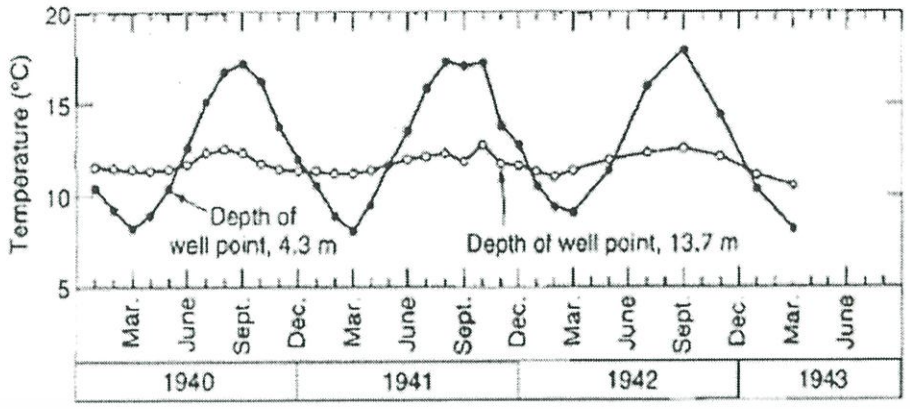
2.4 ลักษณะของระดับน้ำบาดาลบริเวณ Bemidji site

ทิศทางไหลของน้ำบาดาลที่บริเวณศึกษา Bemidji ถูกศึกษาในหลายบริเวณ โดยปกติแล้วน้ำบาลดาลจะไหลจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (Essaid, 2011) ระดับน้ำบาดาลจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและจากปีต่อปี การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาลจะขึ้นอยู่กับความลาดทางชลศาสตร์ของน้ำบาดาล และในบางกรณีทำให้ทิศทางของการไหลเปลี่ยนไป เป็นไปได้ว่าทิศทางและอัตราการไหลของน้ำบาดาลที่เปลี่ยนไปนี้จะขึ้นอยู่กับความลาดของระดับน้ำบาดาลที่ไม่เท่ากัน บ่อสำรวจที่ครอบคลุมบริเวณศึกษา Bemidji ใช้เพื่อวัดความลาดทางชลศาสตร์ของระดับน้ำบาดาล โดยตัวกรองบริเวณใกล้กับพื้นผิวของชั้นหินอุ้มน้ำ ค่าทั้งหมดถูกบันทึกภายในแต่ละวันและเป็นเวลาหลายปี เพื่อป้องกันความผิดพลาดใดๆ เมื่อค่าระดับน้ำบาดาลที่เก็บได้จะเก็บเป็นหน่วย feet BMP คือเทียบจากจุดที่วัด และจะมีอีกหน่วยคือ feet BLS คือระดับน้ำบาดาลจากพื้นผิวดิน (MNDNR, 2014) จากนั้นจะนำเอาข้อมูลของแต่ละหลุมเจาะมาขึ้นรูปเพื่อแสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลบริเวณ Bemidji site

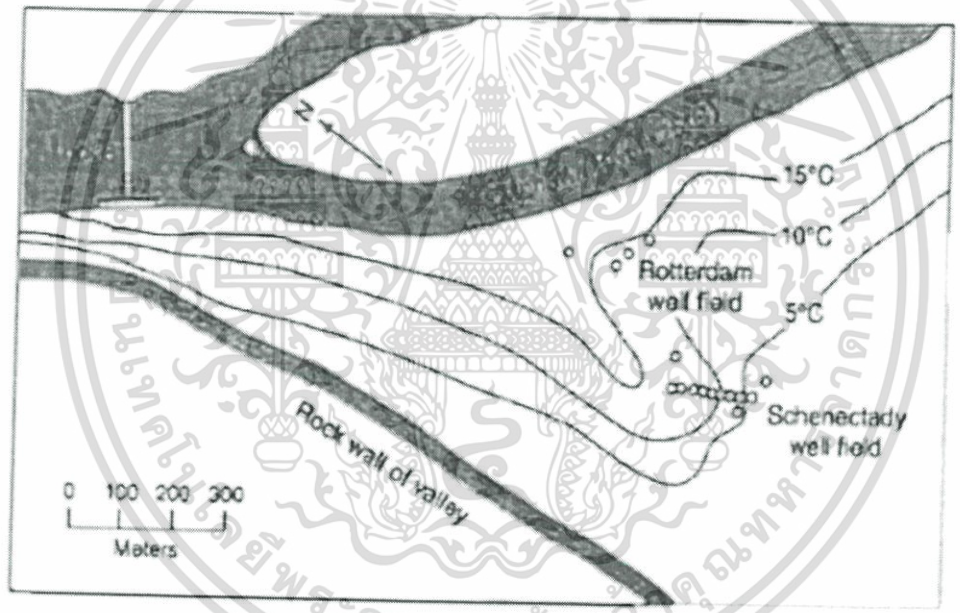
2.5 ลักษณะของน้ำในดินและอุณหภูมิของทะเลสาบที่ศึกษา

ความแปรปรวนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับบนพื้นผิวโลกสามารถแสดงให้เห็นได้ชัดเจนจากสัญญาณการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบนพื้นผิวโลก ซึ่งมีการขึ้นลงของอุณหภูมิเป็นรอบทั้งรายวันและรายปี รวมทั้งความแปรปรวนของอุณหภูมิใต้พื้นดิน แต่รูปแบบความแปรปรวนของตัวแปรอุณหภูมิใต้พิภพอาจไม่ชัดเจนเท่ารอบของอุณหภูมิบนพื้นผิวโลกทั้งนี้เนื่องจากชั้นบรรยากาศของโลกนอกจากมีหน้าที่ให้แก๊สออกซิเจนแก่สิ่งมีชีวิตในโลกเพื่อใช้ในกระบวนการหายใจ และช่วยป้องกันอันตรายจากรังสีและอนุภาคต่างๆที่มาจากนอกโลกแล้ว ที่สำคัญยังช่วยปรับอุณหภูมิบนพื้นผิวโลกให้เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตเพื่อให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อีกด้วย ดังนั้นจึงมีแค่น้ำบาดาลระดับตื้นเท่านั้นที่ตอบสนองและแสดงให้เห็นถึงความผันผวนของอุณหภูมิในอากาศ โดยอุณหภูมิน้ำบาดาลระดับลึกจะมีแนวโน้มที่จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งจัดว่าเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญของน้ำบาดาลอย่างหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.3 อุณหภูมิรายเดือนของน้ำบาดาลที่ใกล้กันอยู่ที่ Long Island,New York (New York State Water Resources Comm. Bull. 55)

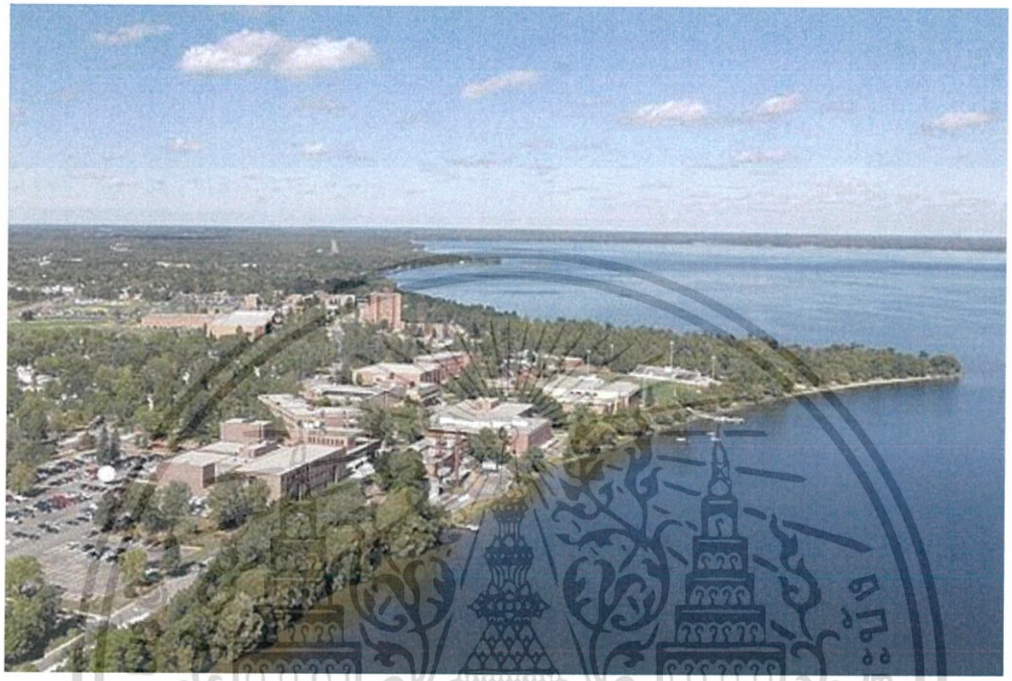


รูปที่2.4 แผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงประจำปีของอุณหภูมิของน้ำบาดาลใกล้กับแม่น้ำ Mohawk New York (New York State Water Resources Comm. Bull. 55)

น้ำบาดาลที่อยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำตื้นในตอนเหนือของรัฐมินนิโซตามีช่วงอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 2.8 และ 5.6 ° C (EPA 2013) การวัดอุณหภูมิน้ำบาดาลในบ่อสำรวจของทีมงานที่ทำงานการศึกษาโดยทั่วไปอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 6 ถึง 7.5 ° C (USGS, 2014) อุณหภูมิของอากาศในตอนเหนือของรัฐมินนิโซตาสามารถเกิน 37 ° C ในฤดูร้อน (EPA, 2013) อากาศอุณหภูมิสูงจะทำให้ผิวน้ำอุ่นอย่างรวดเร็ว ทะเลสาบจำนวนมากในตอนเหนือของรัฐมินนิโซตาจะมีอุณหภูมิของผิวน้ำที่อยู่ในช่วงระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20 ° C และ 30 ° C ในเดือนมิถุนายน กรกฎาคม และสิงหาคม (Jones, 2013) อุณหภูมิพื้นผิวน้ำของทะเลสาบที่ศึกษาถูกวัดและเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของน้ำในโพรงที่อยู่ในชั้นตะกอนใต้ทะเลสาบ ค่าเหล่านี้ถูกนำมาเพื่อกำหนดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวน้ำในทะเลสาบที่ศึกษา และน้ำในรูพรุนที่อยู่ในตำแหน่งใต้ทะเลสาบ



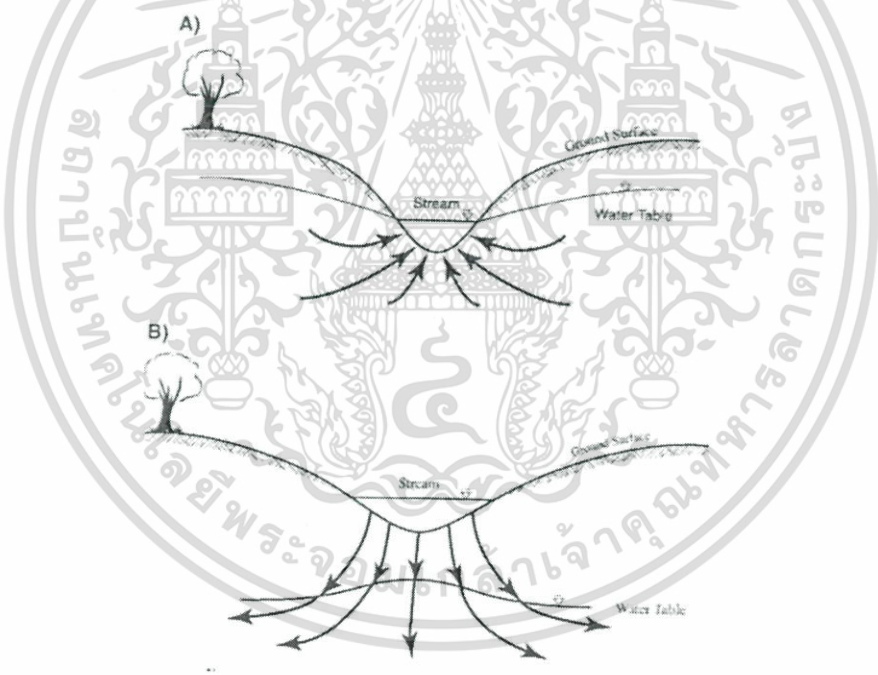
รูปภาพที่2.5 ทะเลสาบ Bemidji

จากรูปที่2.4 เป็นรูปที่แสดงลักษณะของอุณหภูมิของน้ำในช่วงเดือนมิถุนายนที่จะมีอุณหภูมิประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส จะสังเกตได้ว่าลักษณะสีของน้ำนั้นจะเป็นสีเข้มเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น

พื้นที่ของทะเลสาบที่ศึกษามีการรั่วไหลของน้ำบาดาลคาดว่าอุณหภูมิของโพรงน้ำ วัดจากชั้นตะกอนที่ทะเลสาบใต้ทะเลสาบที่ศึกษา ซึ่งมีความคล้ายกับอุณหภูมิของน้ำผิวดินที่วัดในทะเลสาบนี้ อัตราการพาและการนำความร้อนจะเป็นตัวกำหนดน้ำในรูพรุนและอุณหภูมิของน้ำบาดาล ในพื้นที่ที่มีอัตราการซึมของน้ำบาดาลสูงจะมีการพาความร้อนสูงเช่นกันและบริเวณชั้นหินอุ้มน้ำและมีการนำความร้อนต่ำจากน้ำผิวดินของทะเลสาบศึกษา บริเวณเหล่านั้นอุณหภูมิของน้ำในรูพรุนจะคล้ายกับแหล่งน้ำบาดาล พื้นที่ทะเลสาบขนาดเล็กที่ศึกษาที่ซึ่งอัตราการรั่วซึมของน้ำบาดาลคาดว่ามีอัตราต่ำกว่าต่ำกว่าการพาความร้อน และอาจมีอุณหภูมิของรูพรุนน้ำจะอุ่นขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการพาความร้อนจากทะเลสาบศึกษา พื้นที่ของทะเลสาบที่ศึกษาได้มีการสูญเสียน้ำผิวดินไปถึงชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งคาดว่าอุณหภูมิของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อยู่ในรูพรุน วัดจากชั้นตะกอนใต้ทะเลสาบที่ศึกษา ซึ่งมีความคล้ายกับอุณหภูมิของน้ำผิวดินที่วัดในทะเลสาบที่เกิดจากการพาและการนำความร้อนของทะเลสาบ ด้วยเหตุทั้งสองกระบวนการนี้ทำให้เกิดการสมดุลของน้ำที่อยู่รูพรุนไปถึงอุณหภูมิของน้ำในทะเลสาบ จากทั้งสองกระบวนการน้ำในรูพรุนจะอุ่นเนื่องจากทำการสำรวจในช่วงฤดูร้อน น้ำทะเลสาบที่อุ่นจะแทรกตัวเข้าไปใต้ชั้นตะกอน มันจะทำให้ตะกอนเหล่านั้นอุณหภูมิสูงขึ้น กระบวนการนี้จะไหลไปออกทะเลสาบซึมผ่านชั้นตะกอนซึ่งมีอุณหภูมิเย็นกว่าน้ำในทะเลสาบเล็กน้อย ถ้าการสำรวจนี้ทำในช่วงเริ่มฤดูใบไม้ผลิ น้ำในทะเลสาบจะเย็นกว่าน้ำบาดาล การนำความร้อนจะนำจากชั้นหินอุ้มน้ำไปสู่ทะเลสาบที่ศึกษา อุณหภูมิของน้ำในรูพรุนของดินถูกเปรียบเทียบกับอุณหภูมิน้ำบาดาล และอุณหภูมิของน้ำทะเลสาบ บริเวณที่อุณหภูมิของน้ำในรูพรุนเย็น มีการสังเกตว่าบริเวณนั้นน้ำบาดาลจะมีการรั่วซึมไปสู่ทะเลสาบเป็นแบบลำน้ำรับในทางตรงข้ามบริเวณที่น้ำในรูพรุนอุ่นมีการสังเกตว่าบริเวณนั้นน้ำในทะเลสาบจะปล่อยออกจากทะเลสาบศึกษาไปสู่ข้างใต้ชั้นหินอุ้มน้ำเป็นแบบลำน้ำสูญเสีย



รูปที่2.6 ประเภทของลำน้ำแบ่งตามปฏิสัมพันธ์กับชั้นน้ำบาดาล

จากรูปที่ (A)จะแสดงลำน้ำรับ(Gaining stream) และ(B)จะแสดงลำน้ำสูญเสีย(Losing stream) (Jacques Willy, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 รายละเอียดของลักษณะคุณภาพของน้ำในบริเวณที่ศึกษา

น้ำผิวดินและน้ำบาดาลมีลักษณะคุณภาพน้ำที่แตกต่างกันมาก การระบุลักษณะคุณภาพทางกายภาพของน้ำในน้ำผิวดินสามารถช่วยในการตรวจสอบแหล่งที่มาว่าน้ำที่ได้มาจากที่ใด ในการศึกษานี้เครื่องมือ mini-piezometer ดังรูปที่2.7 ถูกใช้ในการดึงน้ำที่อยู่ระหว่างเม็ดดินใต้ทะเลสาบแห่งนี้สำหรับการวิเคราะห์ ลักษณะคุณภาพน้ำภายในทะเลสาบซึ่งจะวิเคราะห์ สภาพนำไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำและค่า pH ถูกวัดจากทั้งน้ำที่อยู่ระหว่างเม็ดดินใต้ทะเลสาบและจากน้ำผิวดินของทะเลสาบที่ศึกษา



รูปภาพที่2.7 เครื่อง mini-piezometer

2.6.1 สภาพการนำไฟฟ้าของน้ำในพื้นที่ที่ศึกษา

สภาพนำไฟฟ้าคือการวัดปริมาณของไอออนที่ละลายในน้ำที่ตัวอย่างน้ำที่มี น้ำบาดาลที่อยู่ติดกับโขดหินและแร่ธาตุในชั้นหินอุ้มน้ำมักจะมีปริมาณของไอออนสูงที่ละลายรวมอยู่ในนั้น จึงอธิบายได้ว่าน้ำเป็นตัวทำละลายและจะละลายสารที่จะเข้ามารวมกับน้ำมากขึ้น แหล่งน้ำผิวดินที่สัมผัสโดยตรงกับบรรยากาศมีการสัมผัสกับออกซิเจนซึ่งจะเกิดการoxidizes กับไอออนจำนวนมากที่อาจจะอยู่ในสารละลาย ผลจากกระบวนการนี้จะเกิดการตกตะกอนของของแข็งซึ่งจะลดสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ การทราบสภาพการนำไฟฟ้าสามารถช่วยได้มากในการหาที่มาของตัวอย่างน้ำ น้ำบาดาลมักจะมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงเมื่อเทียบกับน้ำผิวดิน น้ำที่พบในแหล่งน้ำผิวดินโดยทั่วไปจะมีส่วนผสมจากการตกตะกอน ทะเลสาบแห่งนี้เป็นทะเลสาบปิดคือไม่มีการไหลเข้าจากลำน้ำอื่นและไหลออกไปสู่ลำน้ำอื่น น้ำทั้งหมดที่มีอยู่มีต้นกำเนิดมาจากหนึ่งในสองแหล่งน้ำบาดาลที่ไหลเข้าสู่ทะเลสาบ น้ำทั้งหมดที่ออกจากทะเลสาบแห่งนี้คือการซึมเข้าไปในตะกอนใต้ทะเลสาบหรือระเหยจากพื้นผิวทะเลสาบ น้ำที่อยู่ระหว่างตะกอนที่ได้มาจากแหล่งน้ำบาดาลคาดว่าจะมีความเข้มข้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอออนที่ละลายรวมอยู่ในนั้นเหมือนกับแหล่งน้ำบาดาล จากข้อมูลนี้สามารถบอกได้ว่าน้ำที่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดดินและน้ำบาดาลที่ได้รับมามีค่าที่เป็นสภาพการนำไฟฟ้าคล้ายกัน น้ำที่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดดินที่มาจากแหล่งน้ำผิวดินจะแสดงความเข้มข้นของไอออนที่ละลายในน้ำเช่นเดียวกับแหล่งน้ำ น้ำที่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดดินที่มาจากน้ำผิวดินกับน้ำผิวดินจะมีสภาพการนำไฟฟ้าที่เหมือนกัน ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดดินจะถูกเทียบกับค่าของน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน น้ำมันดิบย่อยสลายสารประกอบ LNAPL ซึ่งสามารถถูกทำลายและลงไปละลายในน้ำ บางส่วนของผลจากการย่อยสลายน้ำมันดิบจะละลายในน้ำและสามารถเคลื่อนย้ายและรั่วซึมในอัตราที่เร็วกว่าที่ไม่ละลายน้ำ ค่าที่เพิ่มขึ้นของไอออนที่ละลายรวมอยู่ในน้ำจะเพิ่มขึ้นเป็นจนกลายเป็นการนำไฟฟ้าของน้ำ ซึ่งที่กล่าวมาจะสังเกตได้ในน้ำบาดาลของบ่อน้ำมัน NORTH ที่ Bemidji site การอ่านค่าการนำไฟฟ้าที่นำมาจากบ่อน้ำมัน NORTH จะสูงกว่าการอ่านค่าการนำไฟฟ้าที่นำมาจากหลุมที่อยู่นอกเขตตะกอนน้ำมัน ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงนี้อาจบ่งบอกว่าน้ำที่ได้รับมานั้นเต็มไปด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ละลายอยู่กับน้ำจาก Bemidji site



รูปภาพที่2.8 เครื่อง Eutech Cyberscan

จากรูปที่2.8 คือเครื่องมือที่ใช้วัดสภาพการนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำบาดาลที่เก็บมาได้จากในแต่ละหลุมขุดเจาะ ในพื้นที่ Bemidji site

2.6.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

การวัดปริมาณการละลายของออกซิเจนคือการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในตัวอย่างน้ำ ออกซิเจนจะกลายเป็นตัวละลายในน้ำโดยกระบวนการหลายๆอย่าง เช่น การแพร่กระจายจากอากาศรอบๆ การกระทำของคลื่นของน้ำผิวดินและการสังเคราะห์แสงจากพืชน้ำซึ่งเป็นวิธีที่ก๊าซออกซิเจนจะกลายเป็นสารละลายในน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำคือสิ่งที่จำเป็นสำหรับการหายใจและเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในน้ำ การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆบริเวณนั้นสามารถอยู่รอดในพื้นที่ที่อาศัยอยู่ การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะส่งผลต่อแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำนั้นถูกใช้ในการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จากน้ำมันดิบที่รั่วไหลที่Bemidji site ซึ่งบริเวณที่มีปริมาณออซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำนั้น จะสังเกตเห็นว่ามีลาดลงของความลาดทางชลศาสตร์ คือตะกอนน้ำมันNorth

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำลงในที่ลึกลงไปในชั้นน้ำบาดาล การลดออกซิเจนนั้นเป็นผลมาจากน้ำที่ลึกมากๆลงไปในชั้นน้ำบาดาลที่ถูกตัดขาดจากออกซิเจนและไม่สามารถที่จะกลายเป็นออกซิเจนโดยการแพร่ การฟื้นฟูของบริเวณที่มีออกซิเจนละลายต่ำนั้นมีแนวโน้มที่สร้างขึ้นจากการสลายตัวของสารไฮโดรคาร์บอน ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายถูกวัดสี่พื้นที่ที่ Bemidji site ในการศึกษาในครั้งลาดชลศาสตร์ของบ่อNORTH น้ำที่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดดินที่วัดจากชั้นตะกอนใต้ทะเลสาบแห่งนี้และน้ำที่ผิวดินของทะเลสาบแห่งนี้ซึ่งค่าที่ได้เหล่านี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบเพื่อให้ทราบความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดดินเป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำบาดาลไหลซึมเข้าทะเลสาบแห่งนี้

2.6.3 ค่า pH

โดยธรรมชาติแล้ว น้ำบาดาลจะมีก๊าซที่ละลายน้ำได้เจือปนอยู่และมีความแตกต่างกันออกไปตามสิ่งแวดล้อมที่อยู่โดยรอบ ก๊าซที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศ ทั้งคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และไนโตรเจน รวมทั้งยังมีกระบวนการทางชีวเคมีใต้ดินที่แสดงให้เห็นอีกว่า มีก๊าซไวไฟอย่างก๊าซมีเทน และไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ใต้ดินด้วย

การละลายของสารต่างๆในน้ำบาดาลนั้นจะสิ่งผลต่อค่า pH ในน้ำบาดาล เช่น ถ้าในน้ำบาดาลมีปริมาณการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากจะส่งผลต่อค่าความเป็นกรดด่างของน้ำซึ่งทำให้น้ำมีความเป็นกรดมากขึ้น จากเก็บตัวอย่างของน้ำบาดาลมาทดสอบค่า pH พบว่าในแต่ละหลุมเจาะก็จะมีค่าความเป็นกรดด่างแตกต่างกันไป ดังนั้นการศึกษาค่า pH ในแต่ละหลุมเจาะก็จะทราบการเปลี่ยนแปลงของไฮโดรคาร์บอนที่เจือปน
อยู่ในน้ำบาดาล

ตารางที่2.1 ตัวอย่างทางเคมีของน้ำบาดาลในธรรมชาติ

สถานที่	อุณหภูมิ	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl	SiO2
ชั้นหินคาร์บอเนต										
cold creek spring	10.00	7.60	1.72	0.64	0.07	0.01	4.79	0.09	0.03	0.11
Com creek spring	21.00	7.70	1.14	1.34	0.27	0.05	4.67	0.18	0.20	0.28
Indian spring	26.00	7.40	1.15	0.92	0.18	0.03	3.97	0.16	0.10	0.20
ชั้นหินคาร์บอร์เนตแบบมีแร่อีแวพอไรท์										
Lewiston Big Spring	10.60	7.58	1.87	1.15	0.10	0.10	3.31	1.46	0.05	-
Hanover Flowing Well	20.40	7.63	2.10	1.19	0.12	0.12	3.42	1.77	0.04	-
Warek Warm Spring	19.60	7.40	3.25	1.65	0.16	0.16	3.53	3.44	0.07	-
Landusky Spring	20.40	7.24	6.50	4.08	1.79	1.79	3.81	10.11	0.54	-
ชั้นหินแกรนิต										
Ephemeral Spring	-	6.20	0.08	0.03	0.13	0.13	0.33	0.01	0.01	0.27
Perennail Spring	-	6.80	0.26	0.08	0.26	0.26	0.90	0.03	0.03	0.41
Shallow Spring	8.00	7.89	0.85	0.19	0.54	0.54	2.34	0.09	0.10	0.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ปฏิกิริยาเคมีในน้ำบาดาล

การเคลื่อนที่ของน้ำลงสู่ชั้นหินอุ้มน้ำบาดาลกลายเป็นน้ำบาดาล จะเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆกัน และเกิดการเปลี่ยนสมดุลทางเคมีให้เข้ากับสภาพแวดล้อมโดยรอบ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อประสิทธิผลและประสิทธิภาพของกระบวนการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับน้ำบาดาล เช่น การเติมน้ำด้วยฝีมือมนุษย์ การเคลื่อนที่ของมลพิษในน้ำบาดาล และการอุดตันของบ่อบาดาล

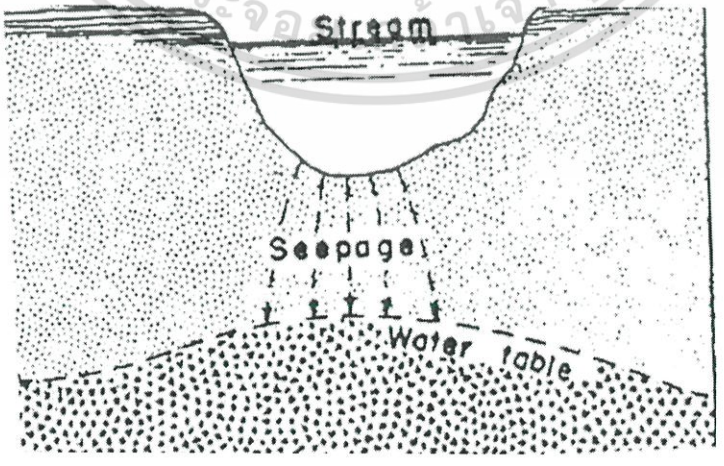
จากตัวอย่างของน้ำที่ถูกเก็บรวบรวมในเดือน สิงหาคม – ตุลาคม 2555 เพื่อศึกษาความเสถียรไอโซโทปของธาตุออกซิเจน และการเพิ่มปริมาณออกซิเจน ตัวอย่างได้ถูกเก็บจาก 4 พื้นที่รอบๆพื้นที่ที่ศึกษาประกอบไปด้วย น้ำผิวดินจากทะเลสาบที่ศึกษา น้ำระหว่างก้อนตะกอนใต้ทะเลสาบที่ศึกษา น้ำบาดาลที่เก็บจากหลุมเจาะ ค่าความเข้มข้นของไอโซโทปได้ถูกพล็อตเพื่อประมาณการระเหยว่าน้ำจากตัวอย่างที่เก็บมาจากที่กล่าวข้างต้นจะมีการระเหยที่น้อยมาก ณ ทางตอนเหนือของรัฐMinnesota เป็นผลเพื่อบ่งบอกว่าน้ำบาดาลนั้นไม่ได้สัมผัสกับอากาศโดยตรง เมื่อเกิดฝนตกและน้ำไหลซึมผ่านเขตที่อยู่เหนือเส้นระดับน้ำบาดาลซึ่งเป็นเขตที่ไม่ได้สัมผัสกับอากาศมาเป็นเวลานานเป็นผลทำให้ออกซิเจนและการเพิ่มของปริมาณออกซิเจนนั้นลดลงในน้ำบาดาล ต่างจากน้ำในทะเลสาบที่สัมผัสกับอากาศตลอดเวลาจึงทำให้มีออกซิเจนและการเพิ่มของปริมาณออกซิเจนมากกว่าน้ำบาดาล จึงคาดการณ์ได้ว่า น้ำผิวดินจะมีการระเหยที่ดีมาก น้ำจากตะกอนใต้ทะเลสาบจะมีการระเหยที่เบาบางกว่า อย่างไรก็ตามค่าความเข้มข้นของออกซิเจนและการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนนั้นถูกคาดการณ์ว่าจะแนวโน้มที่ดีขึ้นตราบที่น้ำจากทะเลสาบที่ศึกษายังไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดิน

การปะปนกันของน้ำผิวดินและน้ำบาดาลนั้นจะเกิดที่บริเวณชั้นตะกอนดินโดยการไหลซึมของน้ำผิวดินลงไปสู่ใต้ดินบริเวณใต้ทะเลสาบที่ศึกษา การไหลซึมลงปริมาณมากๆจะทำให้น้ำไหลซึมลงสู่ใต้ทะเลสาบเป็นจำนวนมาก ซึ่งการแทรกซึมลงไปของน้ำผิวดินนี้จะทำให้ไหลไปรวมกับน้ำที่อยู่บริเวณตะกอนใต้ทะเลสาบอยู่แล้วและจะส่งผลให้น้ำบาดาลที่ไหลเข้าสู่ทะเลสาบถูกคาดการณ์ว่าจะมีปริมาณที่น้อยหรืออาจจะไม่มีเลย อัตราส่วนในการกำหนดปริมาณของน้ำในทะเลสาบและน้ำบาดาลสามารถคำนวณได้จากเปอร์เซ็นต์ของการปะปนกันของน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การไหลซึมของน้ำบาดาล

การไหลของน้ำบาดาลจากชั้นหินอุ้มน้ำบาดาลขึ้นสู่ทะเลสาบที่ศึกษา ได้มีการเปรียบเทียบกันระหว่างน้ำที่อยู่ใต้ทะเลสาบและน้ำผิวดินที่อยู่บริเวณทะเลสาบว่ามีความแตกต่างกัน มีความเป็นเป็นได้สูงที่ว่าการไหลของน้ำระหว่าง 2 ที่นี้จะไม่มีการไหลจากที่ที่มีความลาดสูงมายังความลาดต่ำ บริเวณก้นพื้นของทะเลสาบนั้นประกอบไปด้วยชั้นหินและดินหลายชนิดซึ่งมีความหนาที่ต่างกันและประสิทธิภาพการซึมผ่านที่ต่างกัน ในชั้นที่มีการจัดเรียงตัวของตะกอนแบบสม่ำเสมอนั้นจะทำให้การไหลของน้ำไปยังทะเลสาบเป็นไปได้ยากเนื่องจากช่องว่างระหว่างตะกอนนั้นมีน้อย การหาค่าอัตราการไหลจึงจำเป็นต้องใช้การวัดการไหลของเหลวโดยตรง Seepage meters เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือที่นิยมกันมากเพื่อใช้ในการวัดค่าการไหลซึมของน้ำ ซึ่งในปัจจุบันเครื่องนี้ก็มีอยู่หลายประเภท เครื่องนี้สามารถวัดปริมาตรการไหลเข้าหรือไหลออกของน้ำของน้ำผิวดินได้ด้วย เนื่องจากความต้องการทรัพยากรน้ำที่เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้มีการพัฒนากระบวนการและวิธีการที่จะทำให้การไหลซึมของน้ำผิวดินไปยังน้ำบาดาลเพิ่มมากขึ้นใน 2 ทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งการวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้เครื่อง Seepage meters ในการวิจัยด้วยซึ่งจะติดตั้ง 1 วันก่อนที่จะมีการวัดอัตราการไหลของของเหลวเพื่อความมีเสถียรภาพในการวัด ค่าอัตราการไหลซึมนั้นจะถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอกของชั้นดินตะกอนบริเวณใต้ทะเลสาบจึงต้องมีการดูแลที่ใกล้ชิดเพื่อที่จะให้เกิดการรบกวนจากปัจจัยภายนอกให้น้อยที่สุดเพื่อให้อัตราการไหลตามธรรมชาติไม่ถูกรบกวน และการทดลองปรากฏว่าน้ำบาดาลที่ไหลซึมไปยังทะเลสาบจะมีค่ามากกว่าการไหลซึมจากทะเลสาบลงสู่ใต้ดิน ซึ่งจากการทดลองจะส่งผลให้พื้นที่บริเวณทะเลสาบที่ศึกษาอาจได้รับผลกระทบที่เข้ามาจากตะกอนน้ำมัน ทั้ง 3 ตะกอนและจะส่งให้เกิดการการเปลี่ยนแปลงทางระบบนิเวศ



รูปที่2.9 การไหลซึมจากลำน้ำลงสู่ใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การประเมินค่าการไหลของน้ำบาดาลวิธี Darcy's law

นักวิศวกรชาวฝรั่งเศสได้นำเสนอหลักการคำนวณด้านชลศาสตร์การไหลของน้ำบาดาล โดยทำการทดลองในกระบอกที่ภายในบรรจุด้วยวัสดุประเภททรายและผลการศึกษาพบว่าความเร็วของน้ำผ่านวัสดุที่มีรูพรุน จะแปรผันตรงกับการสูญเสียความดันทางชลศาสตร์ (Head Loss) และแปรผกผันกับระยะทางการไหล ดังสมการที่2.1 นั่นคือ ความเร็วของน้ำสูงขึ้นเมื่อมีการลดลงของความดันชลศาสตร์เพิ่มมากขึ้นและความเร็วของน้ำจะน้อยมากเมื่อความดันระหว่างสองตำแหน่งใดๆ ใกล้เคียงกัน ในทางตรงกันข้าม ภายใต้การลดลงของความดันชลศาสตร์หนึ่งหน่วย หากสองตำแหน่งที่ทำการวัดความดันห่างกันมาก ความเร็วของน้ำบาดาลจะต่ำ แต่หากตำแหน่งที่ทำการวัดอยู่ใกล้กัน ความเร็วของการไหลจะสูง นอกจากนั้น ความเร็วการไหลของน้ำจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของวัสดุตัวกลางนั้นๆ

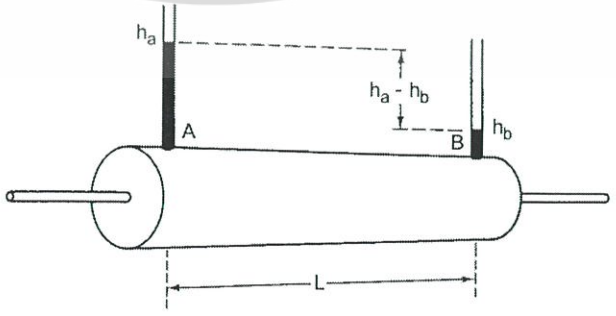
$$q \propto \frac{h_L}{\Delta l} \qquad (2.1)$$

โดยที่ h_L = พลังงานสูญเสียระหว่าง 2 ตำแหน่งในทิศทางการไหลใดๆ (L; m, cm)

Δl = ระยะทางระหว่างตำแหน่งที่ตรวจวัด (L; m, cm)

q = อัตราการไหลต่อพื้นที่หน้าตัดการไหล (L/T; m/s)

ชุดปฏิบัติการทดลองดาร์ซีทดสอบการไหลของน้ำที่อัตราการไหล q ต่างๆผ่านอุปกรณ์ทดสอบรูปทรงกระบอกมีพื้นที่หน้าตัด A อัดแน่นไปด้วยทรายและมีหลอดวัดมาตรความดันน้ำจำนวน 2 ตำแหน่งซึ่งมีระยะห่างมาตรวัดน้ำเท่ากับ ΔL ดังแสดงรูปที่2.10



รูปที่2.10 การทดลองของดาร์ซี (Domenico & Schwartz, 1998)

พลังงานของการไหลจากหน้าตัดที่ 1 และ 2 หาได้จากสมการเบอร์นูลลี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{P_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}+z_1=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+z_2+h_L \qquad (2.2)$$

โดยที่ P คือ ความดัน(Force/ L^2)

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของน้ำ(M/ L^2T^2)

Z คือ ค่าระดับ (L)

h_L คือ พลังงานสูยเสียระหว่าง 2 หน้าตัดใดๆ (L)

เนื่องจากความเร็วของน้ำบาดาลไหลผ่านวัสดุที่มีความพรุนมีค่าน้อยมาก ค่าของพลังงานจลน์ $\frac{v^2}{2g}$ มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับพลังงานรูปแบบอื่นๆในสมการที่ 2.2 ดังนั้น การสูญเสียพลังงานจากหน้าตัดที่ 1 และ 2 หาได้จากสมการที่ 2.3

$$h_L=(\frac{P_1}{\gamma}+z_1)-(\frac{P_2}{\gamma}+z_2) \qquad (2.3)$$

จะเห็นได้ว่าการสูญเสียพลังงานไม่ขึ้นอยู่กับมุมเอียงของแท่งทราย ดาร์ซีแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของน้ำบาดาลและการสูญเสียพลังงาน h_L กับระยะ Δl ตามสมการที่2.4

$$q=-K\frac{H_L}{\Delta l} \qquad (2.4)$$

โดยที่ K คือค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน มีหน่วยเดียวกับความเร็ว เครื่องหมายลบในสมการแสดงว่าการไหลของน้ำบาดาลจากที่มีความดันชลศาสตร์สูงไปยังที่มีความดันชลศาสตร์ต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน(Clapp and Homberger, 1978)

Texture	Saturated Hydraulic Conductivity, K (m/yr)
Sand	5.55×10^3
Loamy sand	4.93×10^3
Sandy loam	1.09×10^3
Silty loam	2.27×10^2
Loam	2.19×10^2
Sandy clay loam	1.99×10^2
Silty clay loam	5.36×10^1
Clay loam	7.73×10^1
Sandy clay	6.84×10^1
Silty clay	3.21×10^1
Clay	4.05×10^1

2.9.1 ตาข่ายการไหล

เป็นวิธีการประมาณค่าปริมาณการไหลและแสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลโดยการวาดภาพ ประกอบขึ้นจากการวาดเส้นสองประเภท คือ เส้นแนวการไหลและเส้นความดันศักย์ เส้นแนวการไหล เป็นเส้นที่แสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลซึ่งจะไหลจากพื้นที่ที่มีเส้นความดันศักย์สูงกว่าไปยังพื้นที่ที่มีเส้นความดันศักย์ต่ำ เส้นความดันศักย์ เป็นเส้นที่ลากผ่านจุดที่มีค่าระดับแรงดันชลศาสตร์เท่ากัน หลักการในการวาดเส้นตาข่ายการไหล คือ ระหว่างเส้นความดันศักย์แต่ละเส้นจะมีความดันลดเท่ากัน และอัตราการไหลทั้งหมดควรถูกแบ่งอย่างเท่ากันระหว่างเส้นแนวการไหลแต่ละคู่ ด้วยเงื่อนไขสองประการ ระหว่างเส้นแนวการไหลและเส้นความดันศักย์นี้ทำให้เส้นตาข่ายการไหลมีลักษณะเป็นจัตุรัส เส้นแนวการไหลจะมีมุมตั้งฉากกับเส้นความดันศักดิ์เสมอ ระยะห่างระหว่างเส้นความดันศักดิ์จะเท่ากันในตาข่ายการไหลหนึ่ง หากพื้นที่ใดมีความลาดชันทางชลศาสตร์สูงเส้นความดันศักดิ์จะเรียงกันถี่ ในทางตรงกันข้ามหากพื้นที่ใดมีระดับแรงดันชลศาสตร์ไม่ต่างกันมากเส้นความดันศักดิ์จะมีระยะห่างกันมาก เมื่อนำเส้นความดันศักดิ์มาประกอบเป็นแผนที่ขนาดใหญ่ต่อเนื่องกันจะเรียกว่าเป็นผิวความดันน้ำบาดาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.11 ตาข่ายการไหล

2.10 หลักการของแบบจำลองทางชลศาสตร์ MODFLOW

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MODFLOW คือ แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลที่ใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบ Finite difference ใน 3 มิติ ที่ถูกสร้างขึ้นโดยสำนักสำรวจธรณีวิทยา ประเทศสหรัฐอเมริกา(USGS) (McDonald and Harbaugh 1998) โปรแกรม MODFLOW ได้รับการพิจารณาว่ามีความเป็นมาตรฐานสากลในแง่ของการจำลองและการทำนายค่าของน้ำบาดาลและปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

โปรแกรมการจำลองการไหลของน้ำบาดาลเป็นโปรแกรมแรกและโปรแกรมเดียวที่ได้รับการพัฒนาอย่างเต็มรูปแบบและถูกตีพิมพ์ออกมาครั้งแรกเมื่อ ปี ค.ศ.1984 โครงสร้างของโปรแกรม MODFLOW เป็นกรอบการดำเนินงานที่ดีสำหรับแบบจำลองอื่นๆ เนื่องจากแบบจำลอง MODFLOW ประกอบไปด้วยความสามารถในการจำลองสถานการณ์การไหลของน้ำบาดาลที่หลากหลาย และยังสามารถขยายความสามารถจากแบบจำลองตั้งต้นได้โดยการเพิ่มแพ็คเกจที่เกี่ยวข้องดังเช่นแสดงในตารางที่ 2.2 ในปัจจุบันโปรแกรมที่อยู่ในตระกูลของโปรแกรม MODFLOW มีความสามารถในการจำลองปฏิสัมพันธ์ระหว่างระบบน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน การเคลื่อนที่ของสารละลายในน้ำบาดาล ความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงของของไหล การอัดตัวของระบบชั้นหินอุ้มน้ำและการทรุดตัดของแผ่นดิน การประมาณค่าพารามิเตอร์และการบริหารจัดการน้ำบาดาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.3 แพ็คเกจต่างๆในโปรแกรม MODFLOW ที่นิยมใช้

Name	Long name	Version Introduce
CHD	Constant-Head Boundary/Time-Varient Specified-Head	Modflow-88
RCH	Recharge Peckage	Original
WEL	Well Peckage	Original
DRN	Drain Package	Original
EVT	Evapotranspiration Package	Original
LAK	Lake Package	Modflow-2000 (1.1)
RES	Reservior Package	Modflow-88 (2.6)
RIP	Riparian Evapotranspiration Package	Modflow-Owhm (1.0)
RIV	River Package	Original
STR	Stream Package	Modflow-88
SFR	Streamflow-Routing Package	Modflow-2000 (1.14.00)
UZF	Unsaturated-Zone Flow Package	Modflow-2005 (1.2)

จากตารางที่2.2 แสดงแพ็คเกจในโปรแกรม MODFLOW ที่นิยมใช้กัน เช่น CHDคือแพ็คเกจที่ใช้สำหรับเงื่อนไขขอบเขตการไหลเมื่อสามารถระบุได้ว่าเป็นขอบเขตจากค่าความดันชลศาสตร์ที่คงที่หรือที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา RCH คือ แพ็คเกจที่ใช้เมื่อเกิดปรากฏการณ์การเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ส่วน Wellแพ็คเกจจะนำมาใช้เมื่อมีการสูบน้ำจากบ่อสูบน้ำบาดาล เป็นต้น

สมการอนุพันธ์ย่อยแสดงการไหลของน้ำบาดาลในชั้นหินอุ้มน้ำแบบมีแรงดันที่ใช้ในโปรแกรม MODFLOW คือ

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z})+W=S_s\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (2.5)$$

เมื่อ K_{xx} , K_{yy} และ K_{zz} คือ ค่าความสามารถในการซึมผ่านชั้นดินในแนวแกน x,y,z ตามลำดับ

h คือ ค่าแรงดันชลศาสตร์ (L)

W คือ อัตราการสูบน้ำ

S_s คือ ค่าการเก็บกักจำเพาะของวัสดุที่มีรูพรุน

t คือ เวลา

สมการอนุพันธ์ย่อยแสดงการไหลของน้ำบาดาลข้างต้นเป็นสมการที่มีตัวแปร เช่น แรงดันชลศาสตร์ที่มีความต่อเนื่องตลอดภายในโดเมนของชั้นหินอุ้มน้ำ หากโดเมนของชั้นหินอุ้มน้ำมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

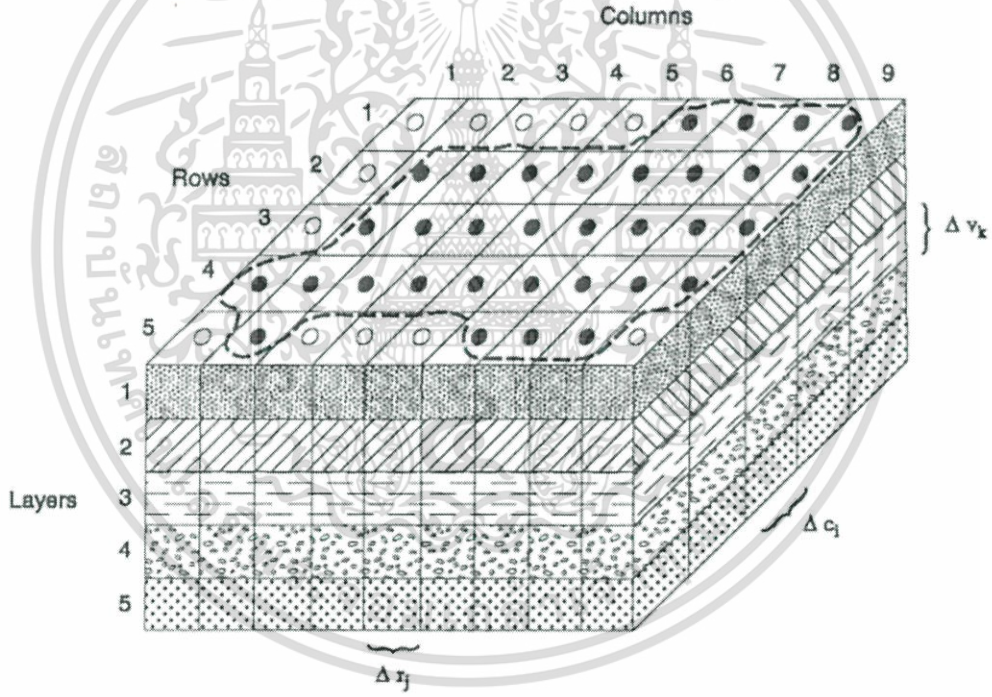
แบ่งเป็นระบบตาข่ายหรือกริดมีการแบ่งเป็นแถว,สดมภ์และชั้นดังรูปที่2.12แรงดันชลศาสตร์และตัวแปรอื่นๆจะมีค่าเฉพาะที่ตำแหน่งแต่ละกริดหรือแต่ละบล็อคเมื่อนั้นสมการนี้จะถูกแทนด้วยระบบของสมการเส้นตรงที่หาคำตอบได้ในรูปแบบของเมทริกซ์

$$A \times h = q \tag{2.6}$$

เมื่อ A คือ เมทริกซ์สัมประสิทธิ์ของแรงดันชลศาสตร์

h คือ เวกเตอร์ของแรงดันชลศาสตร์ที่มีค่าในทุกตำแหน่งกริด

q คือ เวกเตอร์ผลรวมของปัจจัยเงื่อนไขต่างๆ ปัจจัยอัตราการสูบน้ำหรืออัตราการเติมน้ำ และค่าคงที่



รูปที่2.12 ตารางกริดของ Finite difference แบบ 3 มิติ (Harbaugh, 2006)

2.11 สมการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

2.11.1 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (percentage difference)

เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{(\text{ค่าจากวิธีที่ 1} - \text{ค่าจากวิธีที่ 2}) \times 100\%}{\text{ค่าเฉลี่ยทั้ง2วิธี}} \tag{2.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 สมการการเคลื่อนตัวของมลพิษในน้ำบาดาล

2.11.2.1 กระบวนการเคลื่อนที่

กฎทรงมวลของสารละลายในน้ำบาดาลหรือสมการการเคลื่อนที่จากการพัดพาและการแพร่กระจายสำหรับการเคลื่อนที่ของสารละลายในตัวกลางอิ่มน้ำอ้างอิงจากOgata,Bear และ Freeze and Cherry กฎทรงมวลของสารละลายในตัวกลางพิจารณาอัตราการเคลื่อนตัวของสารละลายเข้าและออกจากปริมาตรควบคุมพื้นฐาน การเคลื่อนตัวของสารประกอบจากการพัดพาและการแพร่กระจายอุทกพลศาสตร์เป็นกระบวนทางกายภาพที่ควบคุมอัตราการไหลเข้าและออกจากปริมาตรควบคุมพ้นฐานในตัวกลางการพัดพาด้วยน้ำบาดาล คือ การเคลื่อนตัวของสารละลายจากการไหลไปกับน้ำบาดาล ตามกฎของ Darcy ส่วนการแพร่กระจายอุทกพลศาสตร์เป็นผลมาจากการผสมทางกลศาสตร์และการแพร่ของโมเลกุล

การแพร่กระจายทางกลศาสตร์เกิดขึ้นเมื่อน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนผสมเข้ากับน้ำบาดาลที่ไม่มีสารปนเปื้อนส่งผลให้มีการเจือจางของสารปนเปื้อนซึ่งเรียกว่าการแพร่กระจาย การผสมของสารปนเปื้อนที่เกิดขึ้นในแนวเดียวกับเส้นการไหลของน้ำบาดาลเรียกว่าเป็นการแพร่ในแนวยาว การผสมในแนวตั้งฉากกับการแพร่ในแนวยาวจะเรียกว่าการแพร่กระจายทางขวาง การแพร่กระจายทางกลศาสตร์ในแนวขวางจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนในน้ำบาดาลน้อยกว่าอิทธิพลจากการแพร่กระจายในแนวยาว อย่างไรก็ตาม สัมประสิทธิ์ของการแพร่กระจายแนวยาวและแนวขวางอาจจะมีค่าเข้าใกล้ในกรณีที่มีความเร็วของการไหลของน้ำบาดาลต่ำมากและการแพร่ของโมเลกุลเป็นกระบวนการแพร่กระจายหลัก

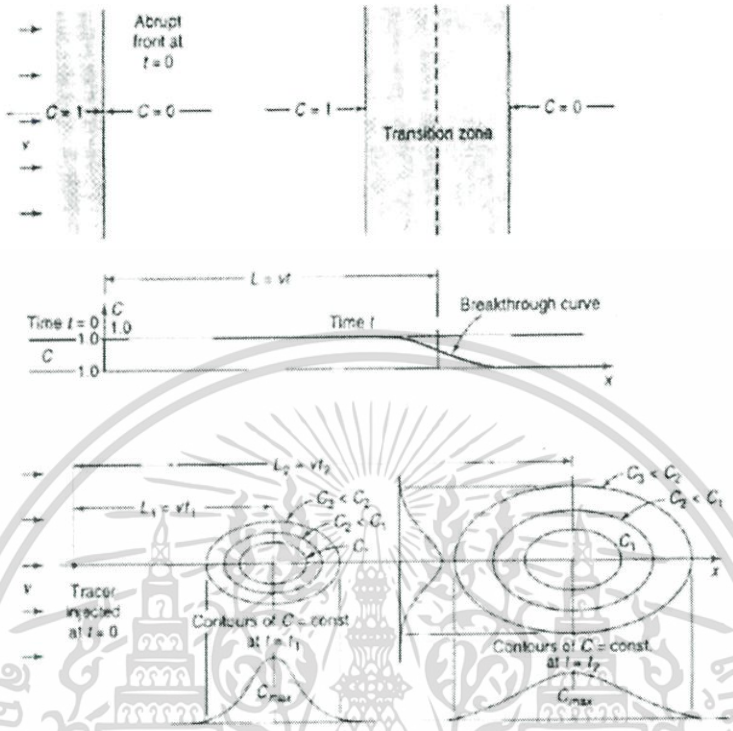
การแพร่คืออัตราการเคลื่อนตัวของสารละลายจากโซนที่มีความเข้มข้นสูงกว่าโซนที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า โดยเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่แบบ Brownian ของไอออนและโมเลกุลต่างๆ กฎของ Fick อธิบายไว้ว่าการแพร่ของสารละลายในสภาวะคงที่แสดงดังสมการที่ 2.8

$$F = -D\frac{\partial C}{\partial x} \tag{2.8}$$

F คือ อัตราการเคลื่อนตัวของสารละลายต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา ($M/L^2/Y$) D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ (L^2/T) C คือ ความเข้มข้นของสารละลาย (M/L^3) $\frac{\partial C}{\partial x}$ คือ ความชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของความเข้มข้นของสารละลาย(M/ L^3 /L) เครื่องหมายลบแสดงการเคลื่อนตัวของสารจะไปจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงกว่ามากไปยังตำแหน่งที่มีความเข้มข้นที่น้อยกว่า



รูปที่2.13 แสดงการแพร่กระจายตามแนวยาวและแนวขวางอันเนื่องมาจากกลไกการกระจายตัว

กฎข้อ 2 ของFrick อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารละลายระหว่างช่วงเวลาภายในปริมาตรที่ควบคุมกับอัตราการแพร่

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \tag{2.9}$$

เมื่อ $\frac{\partial C}{\partial t}$ คือการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นตามช่วงเวลา

เนื่องจากการไหลของน้ำบาดาล กระบวนการแพร่ของโมเลกุลและการแพร่กระจายทางกลศาสตร์ไม่สามารถแยกได้อย่างชัดเจน ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายทางอุทกพลศาสตร์จึงถูกใช้เป็นตัวแทนของกระบวนการทั้งสอง สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายทางอุทกพลศาสตร์แนวยาว D_L สามารถเขียนได้คือ

$$D_L = \alpha_L \bar{v} + D^* \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

α_L คือค่าการแพร่กระจายตัวตามแนวยาวแบบพลวัตร ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของตัวกลางรูพรุน $\bar{v}$ คือความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ยของน้ำบาดาล และ D^* คือการแพร่ของโมเลกุลหรือค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล โดยที่ค่า α_L ได้มีการใช้วิธีทางสถิติในการพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแพร่กระจายตามยาวและระยะทางการเคลื่อนตัวของสารละลายได้ดังนี้

$$\alpha_L = 0.83(\log L)^{2.414} \tag{2.11}$$

2.11.2.2 สมการการพัดพาและการแพร่กระจายสำหรับการเคลื่อนที่ของสารละลายผ่านตัวกลางอิ่มตัวรูพรุน

สำหรับชั้นดินที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและความเร็วการไหลของน้ำบาดาลคงที่และสม่ำเสมอทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา สำหรับสมการทรงมวลในหนึ่งมิติสามารถเขียนได้ดังนี้

$$D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \bar{v}_x \frac{\partial C}{\partial x} \cong \frac{\partial C}{\partial t} \tag{2.12}$$

ซึ่งสามารถใช้แสดงถึงกฎทรงมวลและการเคลื่อนตัวของสารปนเปื้อนบนเส้นทางการไหลหลักโดยการใช้ Lแทน x และ L เป็นพิกัดตามทิศทางของเส้นการไหล D_L คือค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายแนวยาวทางอุทกพลศาสตร์ และ $\bar{v}_x$ คือความเร็วเชิงเส้นเฉลี่ยของน้ำบาดาลบนเส้นทางการไหล

2.11.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

สมการ2.12 ที่มีเงื่อนไขตั้งต้นว่าความเข้มข้นของสารละลาย ณ ตำแหน่งใดๆ ที่เวลาเริ่มต้นมีค่าเท่ากับศูนย์ และเงื่อนไขขอบเขตว่ามีการปล่อยสารละลายด้วยความเข้มข้น C_0 ตลอดเวลา ณ ตำแหน่งตั้งต้น พร้อมกับเส้นทางการไหลของน้ำบาดาลนี้ไกลและสารละลายยังเคลื่อนตัวไม่ถึงปลายทางสามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้คือ

เงื่อนไขตั้งต้น C(x,0) = 0 $x \geq 0$

เงื่อนไขขอบเขต C(0,t) = 0 $t \geq 0$

เงื่อนไขขอบเขต C(∞,t) = 0 $t \geq 0$

จะมีคำตอบเชองวิเคราะห์เขียนได้ดังนี้ โดยที่ x คือระยะทางจากตำแหน่งตั้งต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C(x,t) = \frac{C_0}{2}\left[erfc\left(\frac{x - vt}{2\sqrt{D_L t}}\right) + \exp\left(\frac{vx}{D_L}\right) erfc\left(\frac{x + vt}{2\sqrt{D_L t}}\right)\right] \quad (2.13)$$

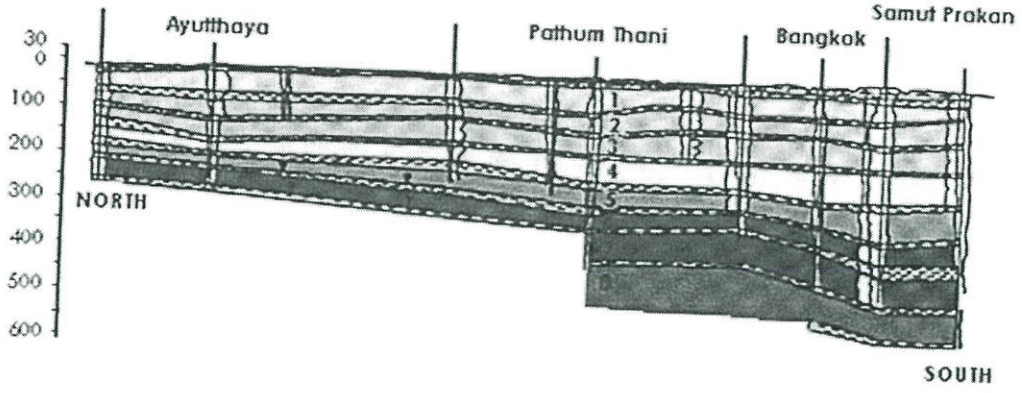
2.12 ผลงานการศึกษาแบบจำลองทางชลศาสตร์ MODFLOW ที่ผ่านมาในอดีต

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการวิเคราะห์อายุของน้ำบาดาลได้เริ่มต้นขึ้นจากที่มนุษย์มีความต้องการที่จะย้อนกลับไปหาแหล่งกำเนิดของน้ำบาดาล และต้องการทำนายการไหลของน้ำบาดาล และต้องการทำนายการไหลของน้ำบาดาลในอนาคต โดยตัวอย่างการทำแบบจำลองเชิงตัวเลขนี้สามารถอ้างอิงได้จากบทความของพิณิชและอุมา(2559) วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อต้องการพัฒนาและประยุกต์การใช้แบบจำลองประเภทเวลาสัมผัสซึ่งเป็นการประเมินอายุของน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง โดยเป็นการตั้งสมมติฐานการไหลในแบบ 2 มิติ เพื่อลดความซับซ้อนของแบบจำลอง ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงได้ใช้สมการการไหลของน้ำบาดาลร่วมกับการใช้ particle tracking เพื่อช่วยในการอธิบายอายุของน้ำบาดาล โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลเท่านั้น

2.12.1 ข้อมูลเบื้อต้นในการศึกษา

จากข้อมูลที่ได้จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล โดยเป็นภาพตัดขวางและข้อมูลหลุมเจาะสำรวจในพื้นที่ศึกษาแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนล่าง ซึ่งเป็นข้อมูลทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยาจนถึงระดับความลึก 700 เมตร พบว่ามีชั้นน้ำบาดาลซึ่งเป็นชั้นกรวดทราย สามารถแบ่งออกเป็น 8 ชั้น แต่ในการศึกษานี้ได้นำข้อมูลมาใช้เพียง 4 ชั้นน้ำที่อยู่บนสุดประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.14 ภาพตัดขวางชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่แอ่งเจ้าพระยาตอนล่าง

ชั้นน้ำที่หนึ่ง คือ ชั้นน้ำกรุงเทพ ประกอบไปด้วยชั้นน้ำย่อย 2 ชั้น คือ ชั้นน้ำกรุงเทพชั้นบน มีความลึกลงไปจากพื้นดินประมาณ 16-30 เมตร และชั้นน้ำกรุงเทพชั้นล่างอยู่ลึกจากชั้นบนประมาณ 30-40 เมตร ความหนาประมาณ 30-50 เมตร ทั้ง 2 ชั้นนี้ถูกคั่นด้วยชั้นดินเหนียว โดยชั้นน้ำทั้ง 2 ชั้น ประกอบด้วยทรายละเอียด ทรายหยาบและกรวด ที่มีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำบาดาลได้ในปริมาณมากแต่คุณภาพที่ได้ยังมีความไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการบริโภค ทั้งนี้ปริมาณของน้ำบาดาลที่พบส่วนใหญ่จะเป็นน้ำกร่อยและน้ำเค็ม ยกเว้นเฉพาะในพื้นที่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของกรุงเทพมหานครที่คุณภาพน้ำพอที่จะนำมาใช้อุปโภคได้เท่านั้นกล่าวคือ ในน้ำบาดาลดังกล่าวมีปริมาณของคลอไรด์อยู่ระหว่าง 250-500 มิลลิกรัมต่อลิตร ชั้นน้ำบาดาลมีค่าความสามารถในการส่งผ่านน้ำได้ 3,950 ตารางเมตรต่อวัน และมีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำเท่ากับ 1×10^{-4}

ชั้นน้ำที่สอง คือ ชั้นน้ำพระประแดงมีความลึกจากผิวดินเฉลี่ย 60-80 เมตร และมีความหนา 20-50 เมตร ชั้นน้ำชั้นนี้ประกอบไปด้วยกรวดและทรายที่มีดินเหนียวบางๆแทรกตัวสลับอยู่ คุณสมบัติในการกักเก็บน้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ที่มีปริมาณน้ำมาก กล่าวคือ บ่อสูบน้ำหนึ่งจะให้น้ำอยู่ในเกณฑ์ 50-100 ลูกบาศก์เมตรต่อ7ชั่วโมง คุณภาพน้ำมีตั้งแต่จืด กร่อยจนถึงเค็ม ชั้นน้ำบาดาลมีค่าความสามารถในการส่งผ่านน้ำ 1,700-3000 ตารางเมตรต่อวันและสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำ 1×10^{-4}

ชั้นน้ำที่สาม คือ ชั้นน้ำนครหลวง จะอยู่ลึกจากผิวดินเฉลี่ย 100-140 เมตร และมีความหนา 50-70เมตร ประกอบไปด้วยชั้นกรวดและทรายที่มีการคัดขนาดเม็ดดินดีปานกลางถึงดี มีคุณสมบัติในการกักเก็บที่ดีกล่าวคือ บ่อสูบน้ำบาดาลจะให้น้ำในเกณฑ์เฉลี่ย 50-200 ลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อชั่วโมง มีค่าความสามารถในการส่งผ่านน้ำ 1,200-3,700 ตารางเมตรต่อวัน น้ำบาดาลมีคุณภาพดี ยกเว้นบางพื้นที่ในบริเวณฝั่งธนบุรีและทางตอนใต้ของกรุงเทพมหานคร คุณภาพจะกร่อยจนถึงเค็ม

ชั้นน้ำที่สี่ คือ ชั้นน้ำนนทบุรี ชั้นน้ำชั้นนี้อยู่ลึกจากผิวดิน 170-200 เมตร และความหนาเฉลี่ย 30-70 เมตร คุณสมบัติในการกักเก็บน้ำของชั้นน้ำนนทบุรีคล้ายคลึงกับของชั้นน้ำนครหลวง

2.12..2 การพัฒนาแบบจำลองเชิงมโนทัศน์

อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา มีลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำ ประกอบด้วย ชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดันและมีแรงดัน มีคุณสมบัติของการยอมให้น้ำซึมผ่านและการเก็บน้ำที่แตกต่าง การไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่จะเป็นการไหลจากทิศเหนือลงสู่ทิศทางทิศใต้ในแนวราบ เนื่องจากคุณสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวนอนดีกว่าคุณสมบัติการยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวดิ่งมีชั้นหินกั้นน้ำและหินกึ่งกั้นน้ำคั่นอยู่ ในการจำลองระบบอุทกธรณีวิทยาในระบบชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษานี้ได้ใช้สมมติฐานดังนี้

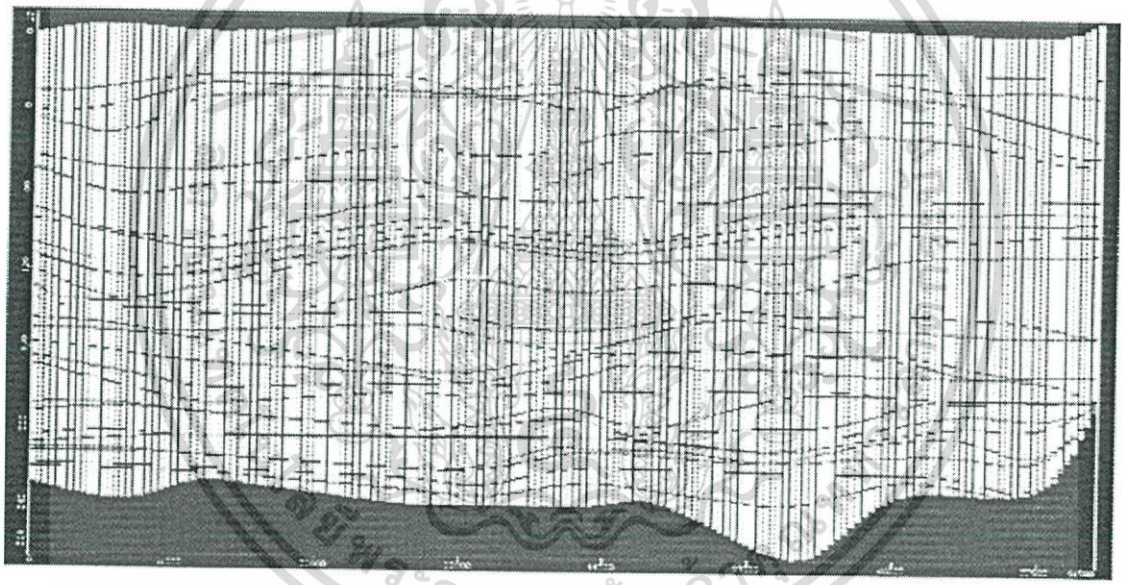
1. น้ำมีความหนาแน่นคงที่
2. ชั้นหินอุ้มน้ำแต่ละชั้นไม่เป็นเนื้อเดียวกันและขึ้นอยู่กับทิศทาง
3. การไหลของน้ำบาดาลเป็นการไหลในแบบ 2 มิติ
4. ชั้นหินกั้นน้ำแต่ละชั้นมีความเป็นเนื้อเดียวกันและไม่ขึ้นกับทิศทาง
5. การไหลของน้ำบาดาลเป็นการไหลแบบคงที่
6. ชั้นหินกั้นน้ำที่รองรับชั้นน้ำนนทบุรีมีความหนามาก
7. ไม่มีแหล่งเติมน้ำจากด้านข้างของแบบจำลอง

แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ครอบคลุมแอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนล่าง แบ่งชั้นน้ำในพื้นที่ศึกษาออกเป็น 4 ชั้นน้ำ ได้แก่ ชั้นที่ 1 เป็นชั้นน้ำกรุงเทพเป็นชั้นบนสุดและส่วนบนของชั้นน้ำนี้ปกคลุมไปด้วยชั้นดินเหนียวกรุงเทพมีความหนาเฉลี่ย 20 เมตร ชั้นน้ำกรุงเทพมีความหนาเฉลี่ย 20-30 เมตร ชั้นที่ 2 เป็นชั้นน้ำพระประแดงมีความหนาเฉลี่ย 20-50 เมตร ชั้นที่ 3 เป็นชั้นน้ำนครหลวงมีความหนาเฉลี่ย 50-60 เมตร ชั้นที่ 4 เป็นชั้นน้ำนนทบุรีมีความหนาเฉลี่ย 60-80 เมตร โดยชั้นน้ำในแต่ละชั้นไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีคุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่ขึ้นอยู่กับทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.15 เส้นตัดขวางของแบบจำลองน้ำบาดาลทิศเหนือสุดของพื้นที่ศึกษา



รูปที่2.16 แสดงภาพตัดขวาง 2 มิติ ของแบบจำลองน้ำบาดาลแอ่งเจ้าพระยาตอนล่าง

2.12.3 การออกแบบกริด

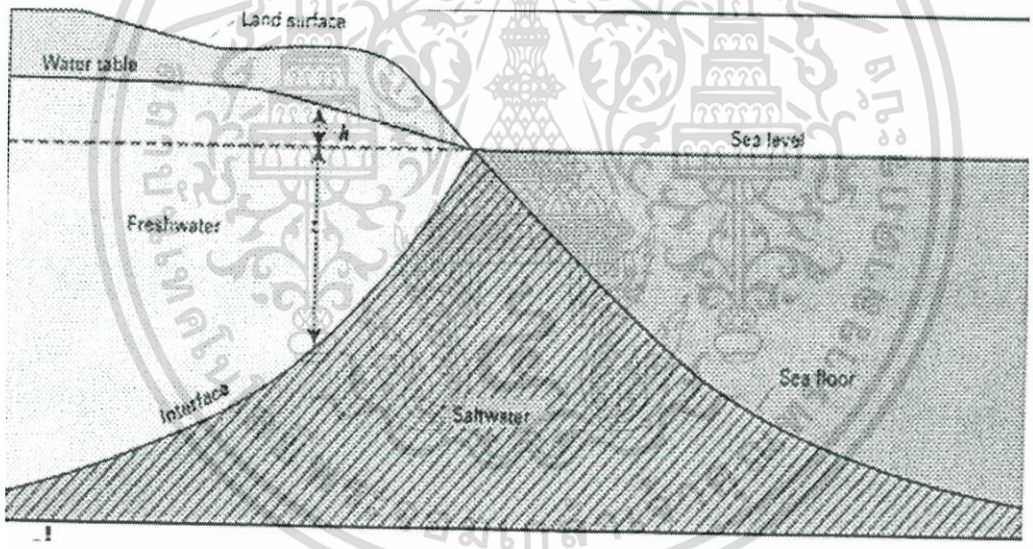
การศึกษาเป็นการจำลองในแบบภาพตัดขวาง 2 มิติ สมมติให้น้ำบาดาลไหลจากทิศเหนือสู่ทิศใต้เป็นทิศทางหลัก แบ่งพื้นที่ศึกษาเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยกำหนดให้ขนาดของรูปไม่คงที่ โดยกำหนดขอบเขตชั้นดินและชั้นหินจากข้อมูลการรายงานของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่กล่าวมา การจำลองชั้นน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษานั้นจำลองเป็น 15 ชั้นแบบจำลอง เทียบเท่ากับ 4 ชั้นน้ำบาดาล คือ ชั้นน้ำกรุงเทพ ชั้นน้ำพระแดง ชั้นน้ำนครหลวง และชั้นน้ำนนทบุรี และมีชั้นดินเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทรกตัวอยู่ระหว่างชั้นน้ำอีก 11 ชั้นแบบจำลอง รวมเป็นชั้นแบบจำลอง 15 ชั้น จำนวนเซลล์รวมทั้งหมด 2,624 เซลล์

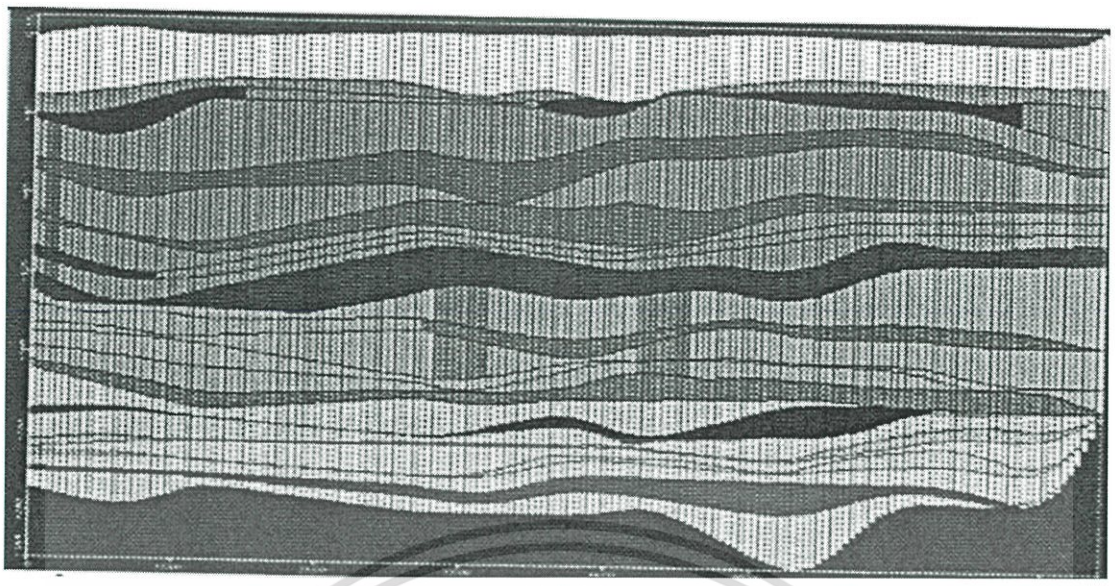
2.12.4 ขอบเขตของแบบจำลอง

การกำหนดขอบเขตของแบบจำลองถูกกำหนดให้เหมาะสมลงไปแล้วในแบบจำลองมโนทัศน์ โดยใช้ข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา และสมมติฐานต่างๆในการจำลอง จากทิศใต้จรดอ่าวไทยไปจนถึงจังหวัดพระนครศรีอยุธยาในทิศเหนือ จากลักาณะทางอุทกธรณีวิทยาและสมมติฐานที่ให้ดินเหนียวในชั้นน้ำนนทบุรีมีความหนามาก สามารถแบ่งชั้นน้ำออกได้เป็น 4 ชั้นน้ำ ได้แก่ ชั้นน้ำกรุงเทพ ชั้นน้ำพระประแดง ชั้นน้ำนครหลวง และชั้นน้ำนนทบุรี การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเป็นการกำหนดสภาพการไหลของระบบน้ำบาดาลจากเงื่อนไขที่ตั้งไว้ตามลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา โดยระบบน้ำบาดาลแอ่งน้ำเจ้าพระยาตอนล่างมีการกำหนดขอบเขตเงื่อนไขของแบบจำลองที่อ้างอิงตามการศึกษาของ JICA(1995)



รูปที่ 2.17 การคำนวณระดับตามความต่างของแรงดันในแนวดิ่งบริเวณอ่าวไทย (Langevin, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.18 แสดงภาพตัดขวางการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน

สมการของ Langevin (2002) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาล แรงดันน้ำทะเลและระดับความลึกของน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาลจืด

$$h_f = \frac{\rho_s}{\rho_f} h_s - \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} Z \qquad (2.14)$$

โดย h_f คือ ระดับน้ำตามแรงดันในแนวดิ่ง (m)

ρ_s คือ ความหนาแน่นของน้ำเค็ม (1025 kg/m^3)

ρ_f คือ ความหนาแน่นของน้ำจืด (1000 kg/m^3)

h_s คือ ระดับน้ำทะเลปานกลาง (m)

Z คือ ระดับความลึก (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.4 ตัวอย่างระดับน้ำต่างตามแรงดันในแนวดิ่งบริเวณอ่าวไทย (Langevin 2002)

ชั้นน้ำบาดาล	Hs (m)	Z(m)	Hf (m)
กรุงเทพ	0	-40	1.00
พระประแดง	0	-90	2.25
นครหลวง	0	-160	4.00
นนทบุรี	0	-250	6.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 แผนผังการดำเนินการวิจัย

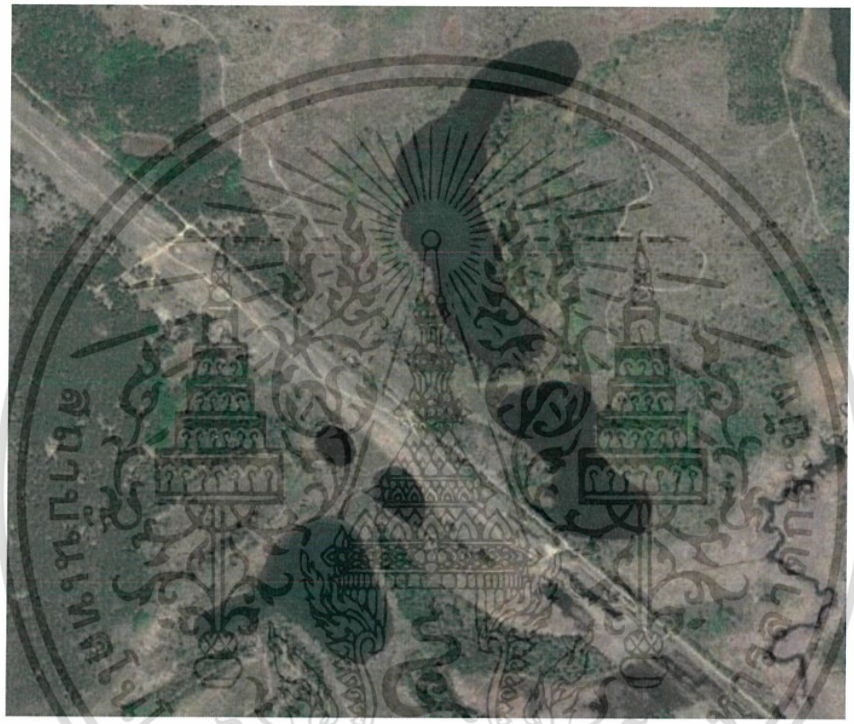


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ข้อมูลในพื้นที่การศึกษาและหลักการในการสร้างแบบจำลอง

3.2.1 ขอบเขตในการศึกษา

แบบจำลองที่จะทำการศึกษาคือแบบจำลองศึกษาการไหลของน้ำบาดาลใน 2 มิติ ใน Bemidji site มลรัฐ MInnessota ประเทศสหรัฐอเมริกา จากหลุมเจาะสำรวจรอบๆบริเวณตะกอนน้ำมัน 3 กลุ่มคือ North Middle และSouth จนถึงทะเลสาบที่ทำการศึกษาโดยประมาณ ข้อมูลที่ทำการศึกษาอยู่ในช่วงประมาณปี 2000-2010



รูปที่ 3.1 ขอบเขตที่ศึกษา (USGS)

3.2.2 หลักการในการออกแบบจำลอง

ข้อจำกัดของการศึกษาแบบจำลอง (Limitation of model study) การศึกษาแบบจำลองทำให้ได้ข้อมูลที่เห็นจริงและวัดค่าได้จริงมองเห็นพฤติกรรมการไหลของน้ำบาดาลและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของตะกอนน้ำมันที่ปะปนอยู่ในน้ำบาดาล อุณหภูมิ ค่า pH ค่าการละลายของสารออกซิเจนในน้ำบาดาล สามารถแปลความหมายได้ตามหลักวิชาชลศาสตร์น้ำบาดาลแต่ข้อเท็จจริงต้องยอมรับว่าในโลกนี้ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้สมบูรณ์เหมือนของจริงได้ครบถ้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรคำนึงในการสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองให้มีความถูกต้องใกล้เคียงมากที่สุดต้องมีความเหมือน(Similarity)ทั้ง 3 ข้อคือ

1. ความเหมือนด้านภูมิศาสตร์ (Geometric) โดยที่เราจะต้องทำการจำลองลักษณะบริเวณพื้นที่ศึกษาจริงมาให้ใกล้เคียงมากที่สุด เช่น ลักษณะการไหลของน้ำบาดาล เนื่องจากจะมีผลต่อการคำนวณการไหลของน้ำบาดาลและสารไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น
2. ความเหมือนด้าน Kinematics ได้แก่ ความเร็วหรืออัตราการไหล ซึ่งเป็นข้อมูลที่ควรนำมาจาก แหล่งข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้
3. ความเหมือนด้าน Dynamic ซึ่งจะบ่งบอกถึงรูปแบบของข้อมูลที่จะถูกนำมาใส่ในโปรแกรม เช่น ลักษณะของระดับน้ำบาดาลที่มีลักษณะเป็น transient state

3.3 รวบรวมข้อมูล

ตารางแหล่งข้อมูลที่มาที่ใช้ในการศึกษามีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ประเภทและที่มาของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่	ข้อมูลที่จำเป็นต่อการพัฒนาแบบจำลอง	ได้รับข้อมูลจาก
1	ค่าตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจ ค่าระดับของหลุมเจาะ ความลึก	USGS สหรัฐอเมริกา
2	ค่าระดับน้ำบาดาลของ Bemidji site และรูปหน้าตัดของระดับน้ำบาดาล	USGS สหรัฐอเมริกา
3	ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำบาดาลและรูปตัด	USGS สหรัฐอเมริกา
4	ค่าความเป็นกรดด่างของแต่ละหลุมเจาะที่ศึกษาและรูปตัด	USGS สหรัฐอเมริกา
5	ค่าระดับไฮโดรคาร์บอนที่ปะปนอยู่ในน้ำบาดาล	USGS สหรัฐอเมริกา
6	ค่าอุณหภูมิของน้ำบาดาลและรูปตัด	USGS สหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ค่าตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจ ค่าระดับ และความลึกของแต่ละหลุมเจาะสำรวจ

ลักษณะของหลุมเจาะสำรวจและค่าตำแหน่งต่างๆที่นำมาใช้เป็นข้อมูลในโปรแกรมนั้น ข้อมูลนี้ทางสำนักงานธรณีวิทยาสหรัฐอเมริกา(USGS) เป็นหน่วยงานสำรวจโดยจากการที่ศึกษาข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ชุดคือ 1.ค่าตำแหน่งของหลุมเจาะที่ใช้สำรวจน้ำบาดาล ค่าความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ค่าปริมาณการละลายของสารออกซิเจน และค่าความลึกของแต่ละหลุมทั้งหมด 25 หลุม 2. ค่าตำแหน่งของหลุมเจาะที่สำรวจสารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด 10 หลุม รวมทั้งสิ้น 35 หลุม

ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจประเภทที่1

หลุมเจาะสำรวจ	พิกัด (UTM)		ความลึก
	ละติจูด	ลองติจูต	
well 303	342766.44	5271052.84	24.87
Well 307	342759.95	5271209.13	11.25
Well 308	342823.71	5271128.47	17.88
Well 310D	342603.63	5270954.99	34.83
Well 311	342882.66	5271084.45	37.38
Well 313	342787.92	5270841.44	6.59
Well 315	342784.16	5271033.98	26.24
Well 401	342542.55	5270674.44	24.75
Well 407	341749.58	5271198.25	26.03
Well 417A	341749.58	5271033.47	54.62
Well 417B	342900.61	5271033.58	44.36
Well 417D	342901.40	5271032.20	33.39
Well 419A	342845.75	5271039.55	35.46
Well 419C	342842.71	5271039.74	33.18
Well 420B	342818.83	5271043.13	44.45
Well 604B	342752.39	5271028.04	20.12
Well 606	342688.60	5271005.76	81.97
Well 607	342832.55	5271035.97	78.99
Well 702A	342824.05	5271130.91	15.65
Well 702B	342826.24	5271129.82	55.20
Well 702C	342823.91	5271131.59	24.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Well 710	342788.14	5271105.24	33.07
Well 812	342776.02	5271005.39	29.81
Well 981	342831.10	5270909.81	16.28
Well 9015	342789.11	5271039.13	29.23



รูปที่ 3.2 รูปหลุมเจาะสำรวจจากแผนที่ดาวเทียม

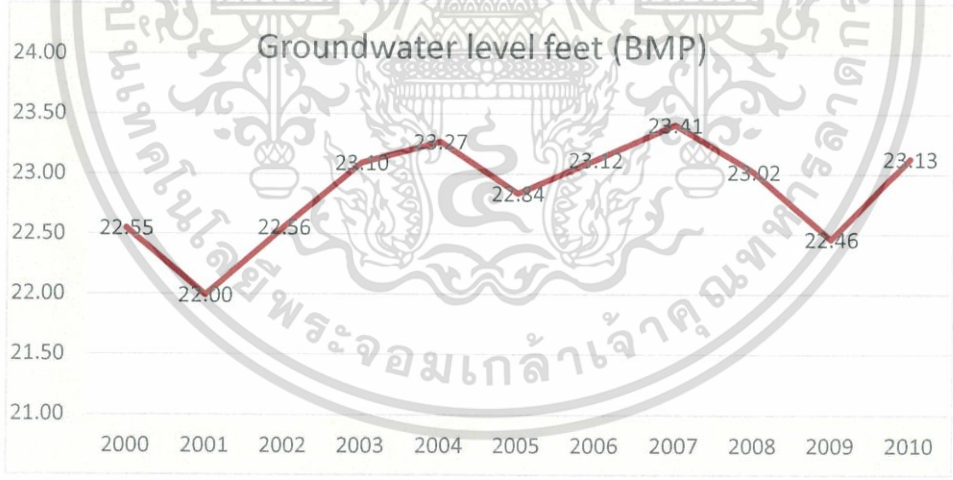
3.3.2 ข้อมูลระดับน้ำบาดาลบริเวณ Bemidji site

ข้อมูลระดับน้ำบาดาลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลน้ำตั้งแต่ปี พ.ศ.2543 ถึงปีพ.ศ. 2553เป็นระยะเวลาทั้งหมด 10 ปี ทางสำนักงานธรณีวิทยาของสหรัฐได้เผยแพร่ข้อมูลมาเป็นรายเดือนแต่เนื่องจากเงื่อนไขที่เราจะนำมาใช้ในโปรแกรมเป็นเงื่อนไขการไหลไม่สม่ำเสมอ จึงนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาเฉลี่ยเป็นรายปีโดยข้อมูลที่นำมาเฉลี่ยนั้นเป็นช่วงข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมปีพุทธศักราช2543 ถึง เดือนธันวาคม ปีพุทธศักราช 2555 นำมาเฉลี่ยเป็นค่าระดับของน้ำบาดาลรอบปี โดยในบางเดือนไม่มีการเก็บข้อมูล ก็ต้องประเมินค่าในช่วงเชิงเส้น แล้วนำไปสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรม ArcGIS เพื่อหาค่าระดับน้ำบาดาลในช่วงเดือนที่หายไป ในส่วนค่าระดับน้ำบาดาลนั้นเป็นค่าที่ได้จากการวัดหลุมเจาะสำรวจทั้งหมด 25 หลุมเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างระดับน้ำบาดาลจากwell 303

ปี	ระดับน้ำบาดาล(feet BMP)
2000	22.55
2001	22.00
2002	22.56
2003	23.10
2004	23.27
2005	22.84
2006	23.12
2007	23.41
2008	23.02
2009	22.46
2010	23.13



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่าระดับน้ำบาดาล

3.3.3 ข้อมูลตัวประกอบอื่นๆที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

นอกเหนือจากค่าของระดับน้ำบาดาลที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์แล้วยังมีค่าตัวประกอบอย่างอื่นที่ต้องนำมาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ด้วย เช่น ค่าการละลายของปริมาณออกซิเจน อุณหภูมิของน้ำบาดาล ปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ปะปนอยู่ในน้ำบาดาล เป็นต้น ซึ่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆเหล่านี้ได้มาจากสำนักงานธรณีวิทยา สหรัฐอเมริกา ทั้งนี้ข้อมูลต่างๆเหล่านี้จะช่วยในการประเมินทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันไปสู่ทะเลสาบที่ทำการศึกษาด้วย

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างค่าปริมาณออกซิเจน

ปี (year)	O2 (mg/L)
2000	9.12
2001	9.38
2002	9.64
2003	9.91
2004	9.91
2005	7.51
2006	7.47
2007	8.15
2008	10.30
2009	9.70
2010	8.60
2011	8.81
2012	9.10

3.4 การวิเคราะห์และสร้างเงื่อนไขของกรณีศึกษา

การวิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลและตะกอนน้ำมันนั้น สิ่งที่จะนำมาวิเคราะห์ก็จะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ก็คือ 1.ค่าระดับน้ำบาดาลในอดีตจนถึงปัจจุบัน 2.ค่าปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน โดยในส่วนของค่าระดับน้ำบาดาล คณะผู้จัดทำต้องการที่จะทำการเปรียบเทียบในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน 2 ช่วงเวลา คือ อดีต ปัจจุบัน เช่นเดียวกับข้อมูลสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยข้อมูลทั้ง 2 ชุดที่จะนำมาใส่ลงโปรแกรมนั้นจะแบ่งออกเป็นทั้งหมดได้หลายกรณี คือทางคณะผู้จัดทำจะทำการประเมินทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันในทุกๆปีตั้งแต่ปี 2000 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน เพื่อที่จะคาดการณ์ว่าตะกอนน้ำมันทั้ง 3 ก้อน จะมีแนวโน้มไปในทิศทางใดและคาดการณ์ว่าตะกอนน้ำมันจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ทะเลสาบที่ศึกษาในปีใด ข้อมูลของระดับน้ำบาดาลที่เราต้องการที่จะนำมาทำการใส่ลงไปในโปรแกรมนั้นจะแบ่งออกเป็นทั้งหมด 2 กรณีหลักดังนี้

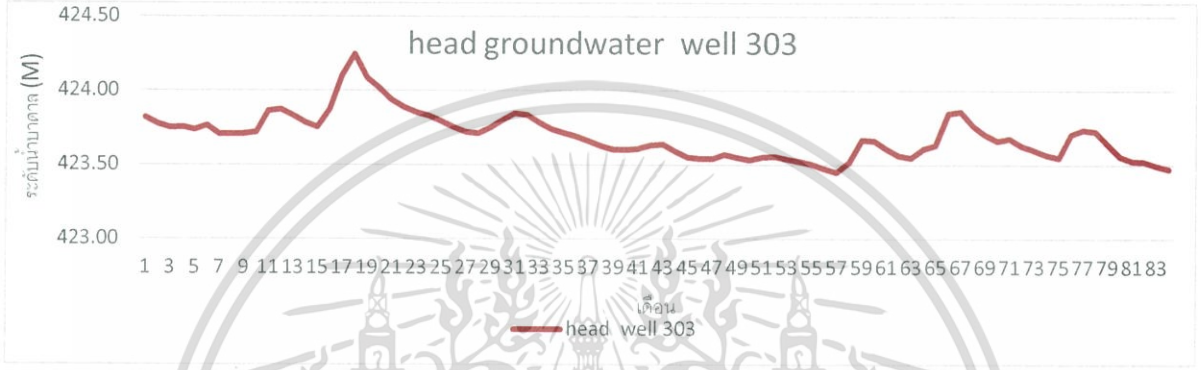
1. ข้อมูลระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ ปี 2000-2006
2. ข้อมูลระดับน้ำบาดาลเฉลี่ยรายเดือนตั้งแต่ ปี 2007-2010

สาเหตุที่นำข้อมูลน้ำบาดาลเฉลี่ยรายเดือนในช่วงปี 2000-2006 มาใส่ในโปรแกรมนั้น เพราะต้องทำการปรับเทียบข้อมูลที่เกิดในโปรแกรมกับข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงในสนามให้มีความถูกต้องมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่าในโปรแกรมนั้นถูกตั้งค่าให้เป็นค่าคงที่ตลอด ส่วนในสนามจริงนั้นค่าคงที่ที่เหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงได้ จึงต้องทำการปรับเทียบค่าระดับน้ำบาดาลก่อน

การนำข้อมูลน้ำบาดาลเฉลี่ยรายเดือนปี 2007-2010 มาใส่โปรแกรมนั้นเพื่อทำการประเมินค่าระดับน้ำบาดาลจากค่าคงที่ที่ได้ทำการปรับเทียบค่าเรียบร้อยแล้วว่าจะมีทิศทางไปในทางใดและนำผลที่ได้จากโปรแกรมนั้นไปคาดการณ์การไหลของปริมาณตะกอนน้ำมันที่จะไหลเข้าสู่ทะเลสาบในอนาคต



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำบาดาลกับเดือนในปี 2000-2006

3.5 รูปแบบของแบบจำลอง

แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันนั้น ต้องคำนึงถึงให้แบบจำลองสอดคล้องกับบริบทตามพื้นที่จริงด้วยเพื่อให้ผลที่ได้จากโปรแกรมนั้นมีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด

3.5.1 แบบจำลองน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันช่วงปี 2000-2006

แบบจำลองนี้มีลักษณะเป็นแบบจำลองที่ใช้เพื่อปรับเทียบข้อมูลต่างๆเช่น ค่าสัมประสิทธิ์การซึม*ผ่าน* (Coefficient of Permeability) ค่าความพรุน(n) ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (*storage coefficient) เป็นต้น เพื่อทำให้ค่าต่างๆที่กล่าวข้างต้นนั้นมีค่าสอดคล้องกับพื้นที่จริงมากที่สุด* ทำโดยวิธีการลองผิดลองถูก(trial and error)ให้ได้ค่าที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ค่าทั่วไปของสัมประสิทธิ์การซึมได้

ชนิดของดิน	ค่า k (ซม.ต่อวินาที)
กรวด	$1 - 10^{2}$
กรวดเม็ดละเอียด, ทรายหยาบ	$1 - 10^{-3}$
ทรายละเอียดและซิลท์อัดไม่แน่น	$10^{-3} - 10^{-5}$
ซิลท์อัดแน่นและซิลท์ปนดินเหนียว	$10^{-5} - 10^{-6}$
ดินเหนียวปนซิลท์และดินเหนียว	$10^{-6} - 10^{-9}$

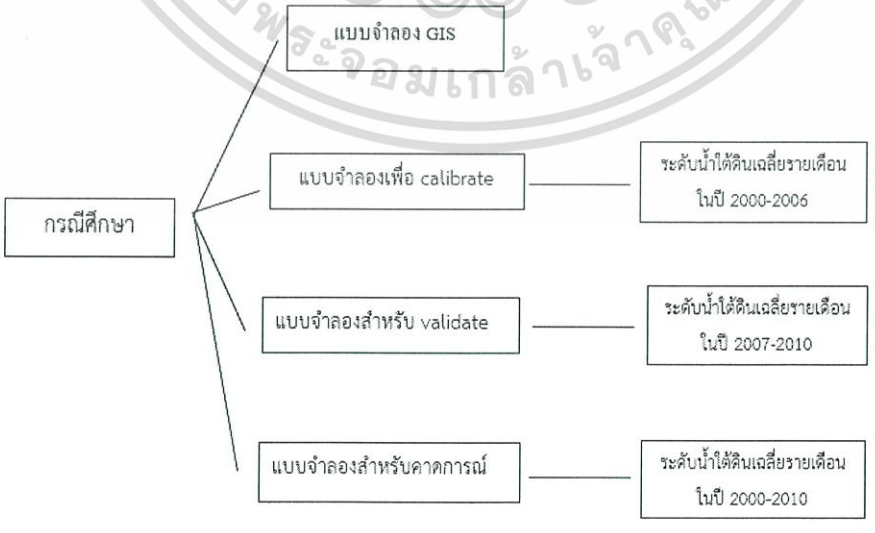
3.5.2 แบบจำลองน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันช่วงปี 2007-2010

แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองเพื่อใช้ในการประเมินค่าการไหลของน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมัน โดยใช้ค่าคงที่ต่างๆจากแบบจำลองที่แล้วที่ถูกปรับค่าให้สอดคล้องกับพื้นที่จริงแล้ว เพื่อนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองที่จะคาดการณ์การไหลของตะกอนมันเข้าสู่ทะเลสาบต่อไป

3.6 ขั้นตอนการดำเนินการ

กำหนดขอบเขตโครงงานหรือขอบเขตการศึกษาเพื่อวางแนวทางการทำงาน และเริ่มศึกษาโปรแกรม MODFLOW สำรวจและรวบรวมข้อมูลทางภูมิศาสตร์และอุทกวิทยาของพื้นที่ที่ทำการศึกษาหรือกำหนดขอบเขตซึ่งใช้ข้อมูลระดับน้ำบาดาลตั้งแต่ปี 2000-2010

สรุปได้ว่า จะแบ่งกรณีที่ศึกษาออกตามจำนวนของแบบจำลองคือ 4 กรณีศึกษา ดังนี้



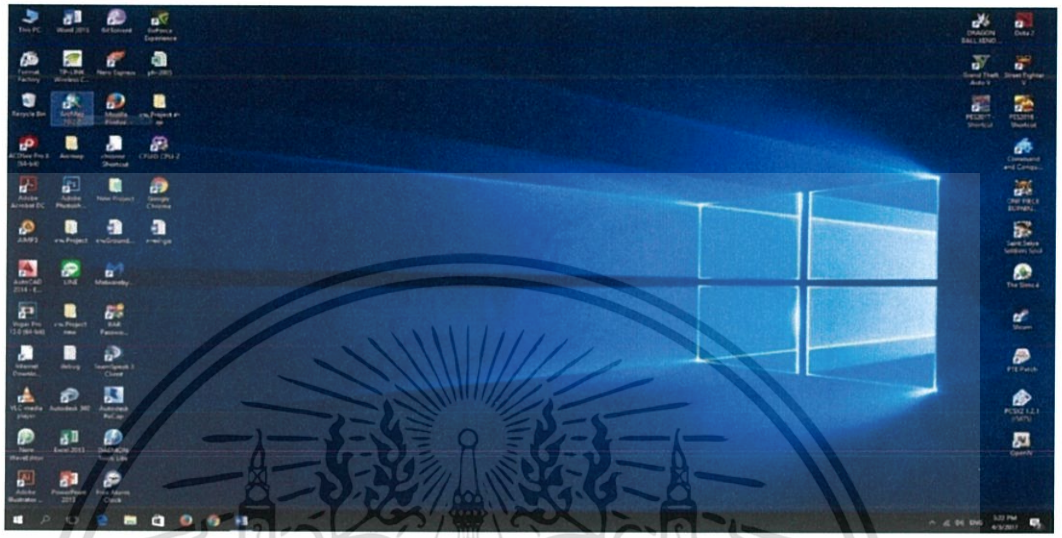
รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นการสร้างแบบจำลองมี 2 โปรแกรมด้วยกัน คือ โปรแกรม ARCGIS และโปรแกรม MODFLOW 3 กรณี

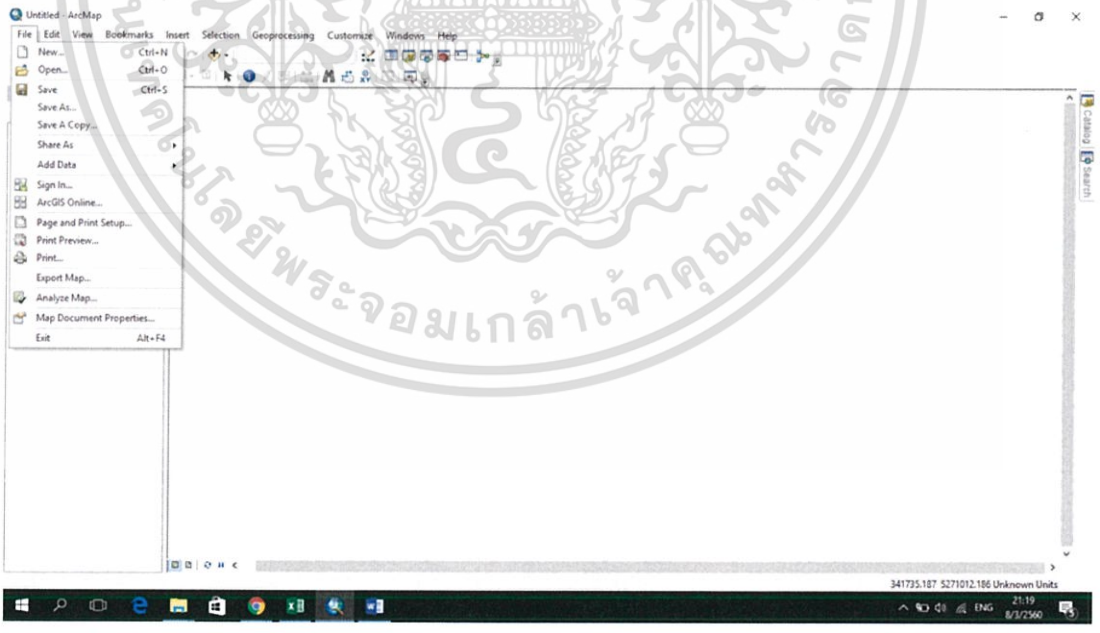
3.6.1 การสร้างแบบจำลอง ARCGIS มีขั้นตอนดังนี้

1.ดับเบิ้ลคลิ๊กที่ไอคอน  เพื่อนเปิดโปรแกรม ArcGis



รูปที่ 3.6 หน้าต่างแสดงไอคอนโปรแกรม GIS

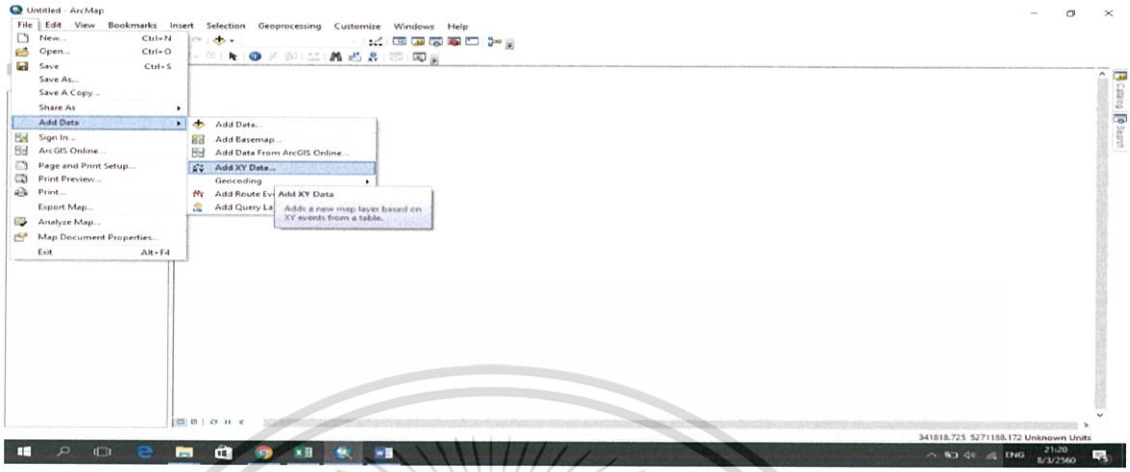
2. คลิ๊กที่ File ดังรูปที่3.7



รูปที่ 3.7 หน้าต่างแสดงคำสั่งข้อมูล

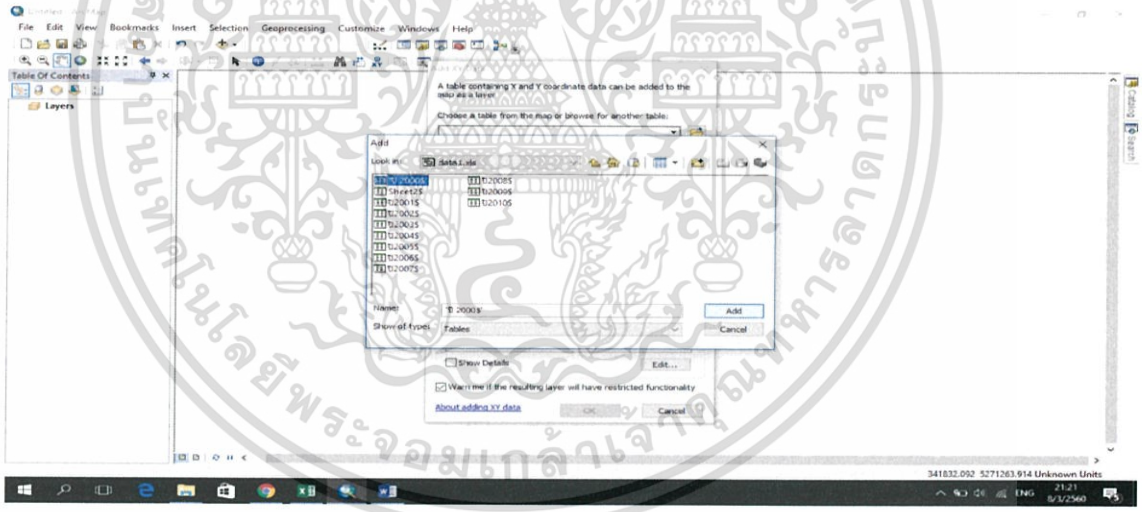
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำเม้าท์ไปชี้ที่ Add Data แล้วจะมีแถบเพิ่มขึ้นมา ให้คลิ๊กที่ Add XY Data... ดังรูปที่3 จากนั้นจะมีหน้าต่างใหม่ขึ้นมาดังรูปที่4 จากนั้นคลิ๊กที่ไอคอน



รูปที่ 3.8 หน้าต่างแสดงการเพิ่มข้อมูลหลุมเจาะ

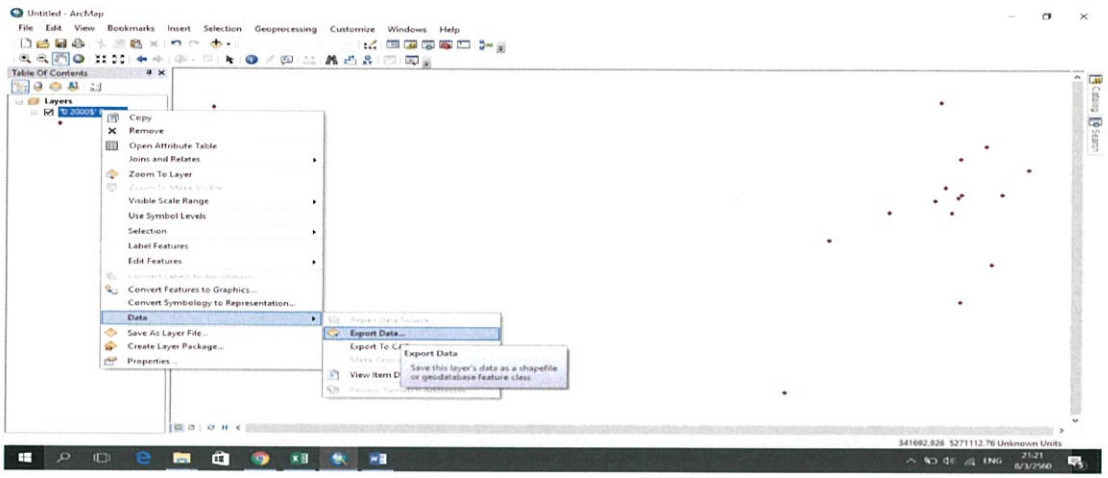
4. เลือกไฟล์ Excel ที่เราจะนำมาขึ้นใน Gis จากนั้นคลิ๊กที่ Add แล้วเราจะได้มา 1Layer



รูปที่ 3.9 หน้าต่างแสดงการเพิ่มข้อมูล

5 คลิ๊กขวาที่.Layer ที่เราได้ทำการ Add มาเมื่อสักครู่นี้ แล้วนำเม้าท์ไปชี้ที่ Data แล้วคลิ๊กที่ Export Data ดังรูปที่3.10 แล้วเราจะได้ Layer Export_Output มา แล้วให้เราทำการลบ Layer เก่าที่เราได้ Add มาในข้อ4 ทิ้งโดยคลิ๊กขวาที่ Layer นั้น แล้วคลิ๊กที่ Remove

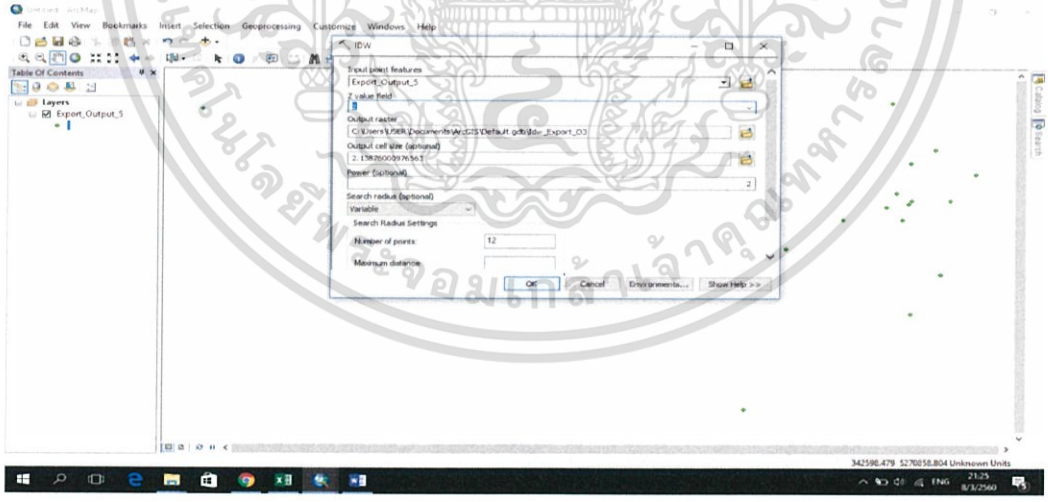
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 หน้าต่างแสดงขั้นตอนการแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ

6.จากนั้นคลิ๊กที่คำสั่ง Search ที่อยู่ด้านขวามือของหน้าจอ แล้วจะได้หน้าต่างที่จะค้นหาเครื่องมือมา จากนั้นให้ทำการพิมไปว่า idw จากนั้นเลือกคำสั่งแรก

7.หลังจากนั้นจะได้หน้าต่างคำสั่งของ idw ในช่อง Input point featuresให้ทำการคลิ๊กที่ไอคอน แล้วเลือกไฟล์ Export_Output ในช่อง Z value fieldให้คลิ๊กที่ไอคอน แล้วคลิ๊กที่ Z จากนั้นคลิ๊ก Ok

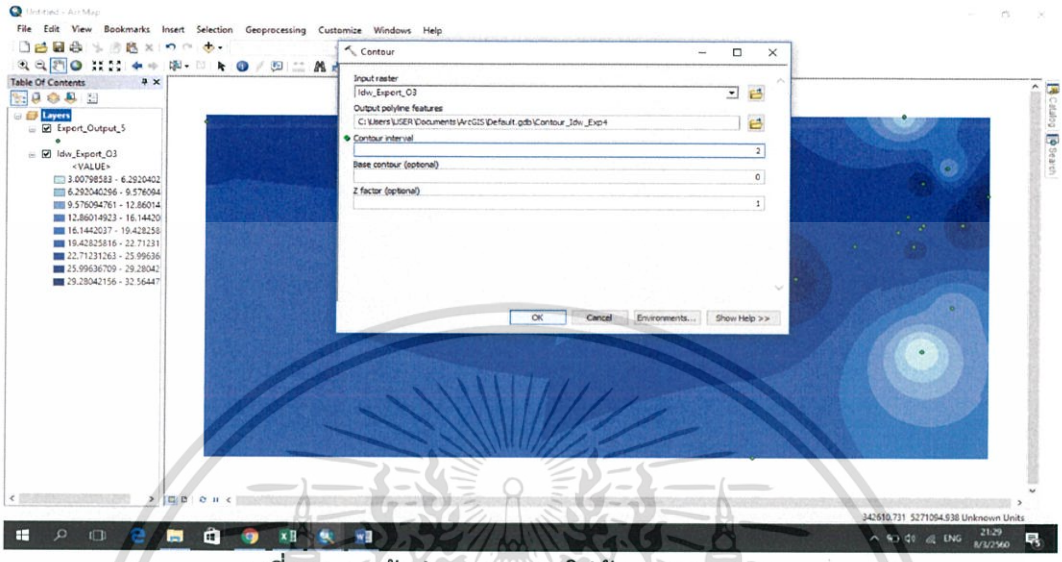


รูปที่ 3.11 หน้าต่างแสดงการใส่ข้อมูล IDW

8.จากข้อเราจะได้ 7 Layer ของ idw หลังจากนั้นให้ทำการ search คำสั่งที่เดิม โดยพิมไปว่า contour จากนั้นเลือกคลิ๊กคำสั่งแรก

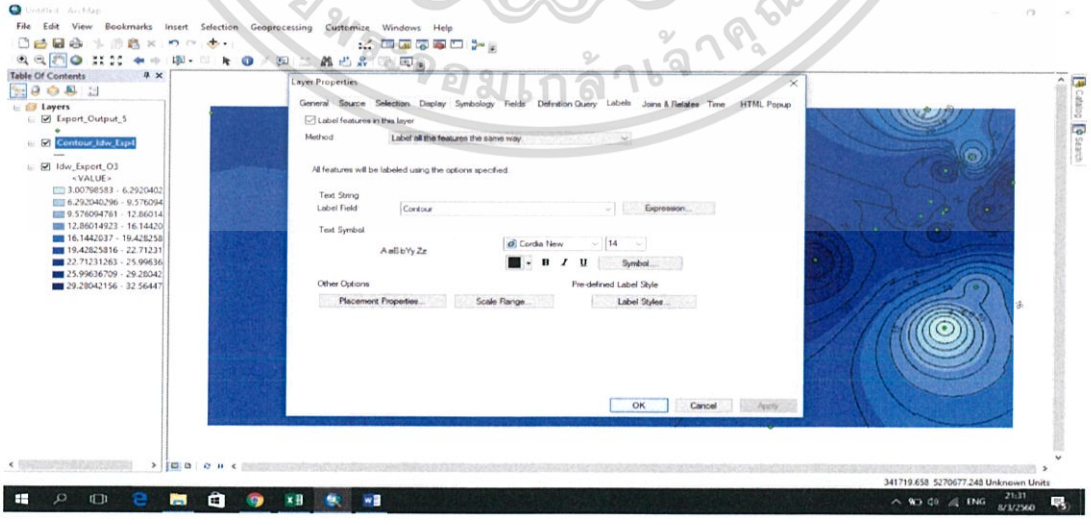
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.หลังจากได้หน้าต่างคำสั่งของ contour ในช่อง input raster ให้คลิ๊กที่ไอคอน แล้วเลือก Layer ของ idw ส่วนในช่อง Contour interval พิมพ์ ไป แล้วคลิ๊ก 2Ok แล้วจะได้ Layer ของ Contour เพิ่มมา



รูปที่ 3.12 หน้าต่างแสดงการใส่ข้อมูล Contour

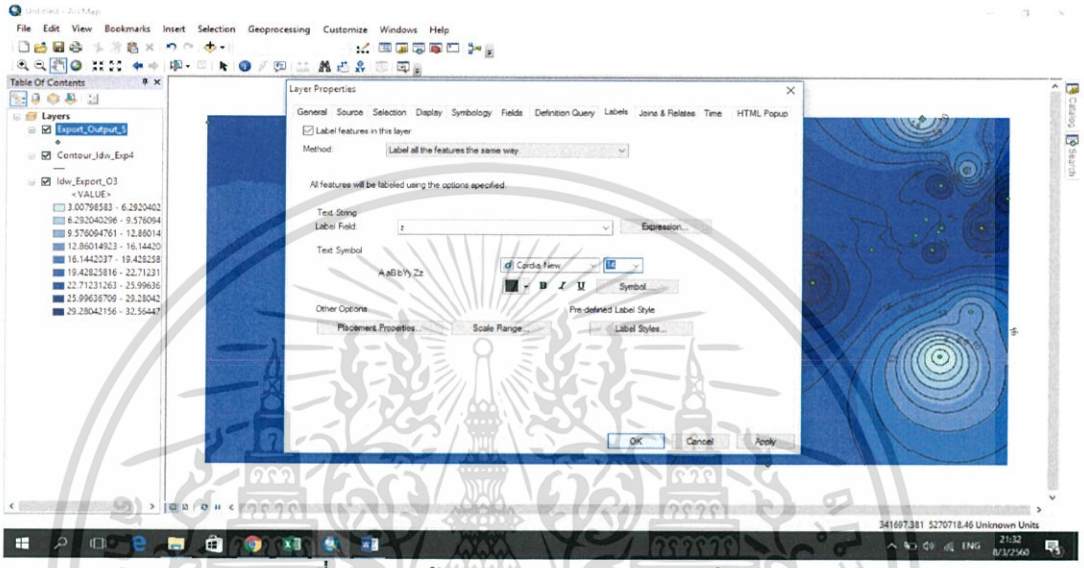
10.ให้ทำการคลิ๊กขวาที่ Layer Contour แล้วคลิ๊กที่ Properties ดังรูปที่3.13 แล้วจะได้หน้าต่างของ Properties มาจากนั้นให้คลิ๊กที่ Labels ในแถบคำสั่งด้านบน หลังจากนั้นให้ทำเครื่องหมายถูกโดยการคลิ๊กในช่อง Labels features in this layer แล้วในช่อง Labels Field ให้คลิ๊กที่ไอคอน แล้วคลิ๊กที่ Contour ในช่องTest symbol ให้เลือกขนาดตัวอักษรที่จะแสดงในเส้นคอนทัวเป็น 14 จากนั้นคลิ๊ก Ok ดังรูปที่3.13



รูปที่ 3.13 หน้าต่างแสดงการปรับค่าต่างๆของ Contour

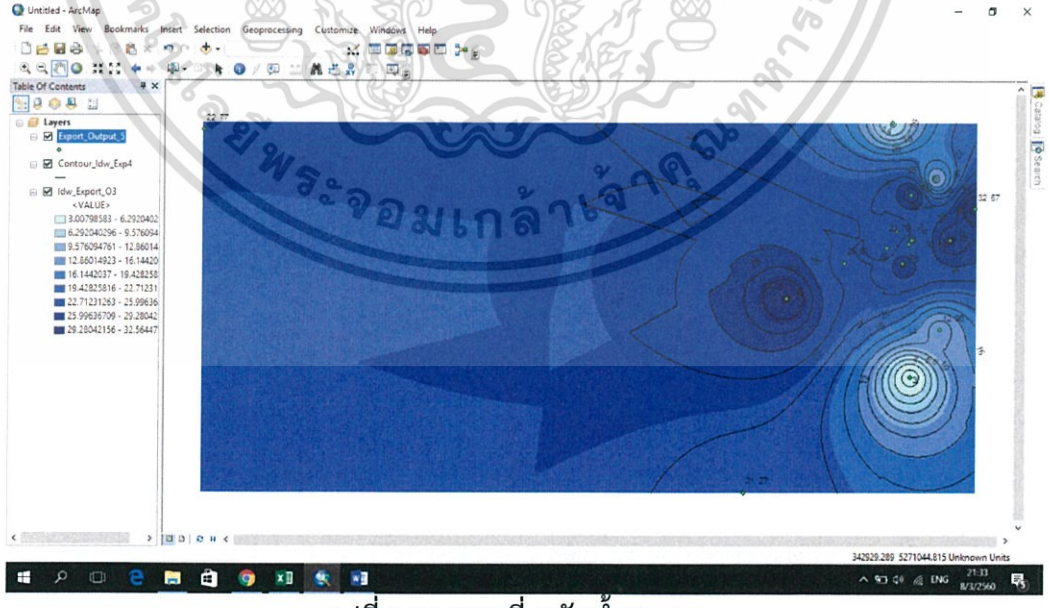
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.จากนั้นจะแสดงค่าที่บ่อแต่ละบ่อโดยการคลิ๊กขวาที่ Layer Export_Output แล้วคลิ๊กที่ Properties...ดังรูปที่3.14แล้วจะได้หน้าต่างของ Properties มาจากนั้นให้คลิ๊กที่ Labels ในแถบคำสั่งด้านบน หลังจากนั้นให้ทำเครื่องหมายถูกโดยการคลิ๊กในช่อง Labels features in this layer แล้วในช่อง Labels Field ให้คลิ๊กที่ไอคอน แล้วคลิ๊กที่ Z ในช่องTest Symbol ให้เลือกขนาดตัวอักษรที่จะแสดงค่าบ่อเป็น 14 จากนั้นคลิ๊ก OK



รูปที่ 3.14 หน้าต่างแสดงการรวบรวมข้อมูล

12. จากนั้นเราจะได้รูป Gis ที่จะแสดงทั้งเส้นคอนทัวและค่าที่แต่ละบ่อดังรูปที่3.15



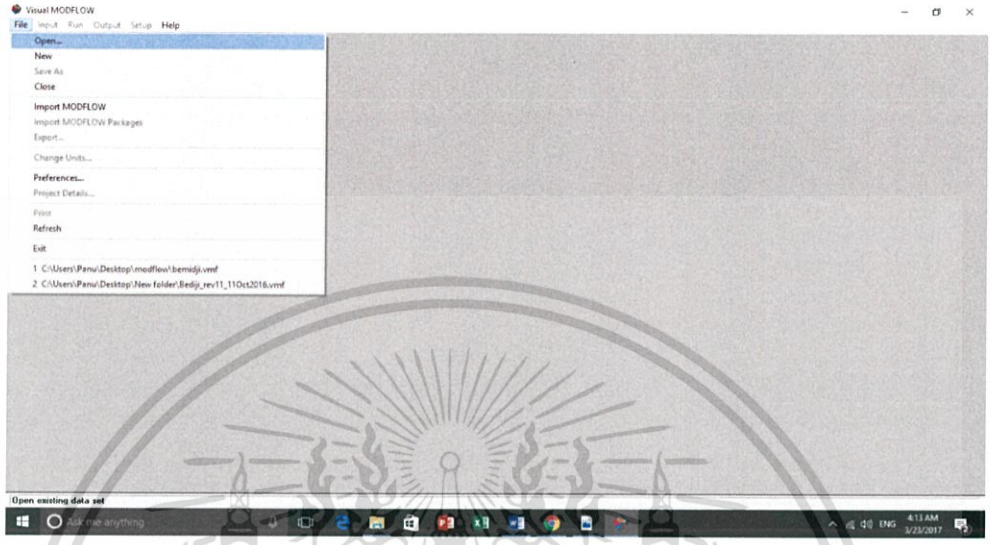
รูปที่ 3.15 แผนที่ระดับน้ำบาดาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสร้างแบบจำลองหลักด้วยโปรแกรม MODFLOW นั้นมี 3 กรณี ได้แก่

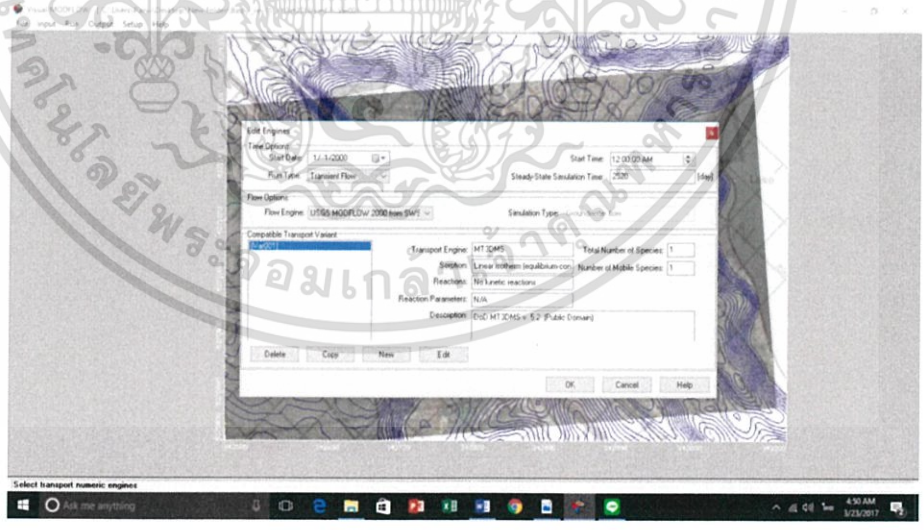
3.6.2 การสร้างแบบจำลองสำหรับ Calibration มีขั้นตอนดังนี้

1. การเริ่มโปรแกรมโดยทำการ Double Clicks ที่ไอคอนดังต่อไปนี้ 
2. เลือก File แล้วไปที่ Open เพื่อเปิดข้อมูลแผนที่ดาวเทียมขึ้นมาตามรูปที่3.16



รูปที่ 3.16 หน้าต่างแสดงการเปิดข้อมูลแผนที่ดาวเทียม

3. จากนั้นเลือกคำสั่ง Set up ⟶ Edit Engines จะปรากฏหน้าต่างดังรูป3.17 เพื่อกำหนดช่วงเวลาในการ Run โปรแกรมและกำหนดรูปแบบของการไหล



รูปที่ 3.17 หน้าต่างแสดงการใส่ข้อมูลช่วงเวลา

โดยที่ ค่าของข้อมูลต่างๆใน Edit Engines มีดังนี้

3.1 Time Options

- Start Date วันที่เริ่มใส่ข้อมูล

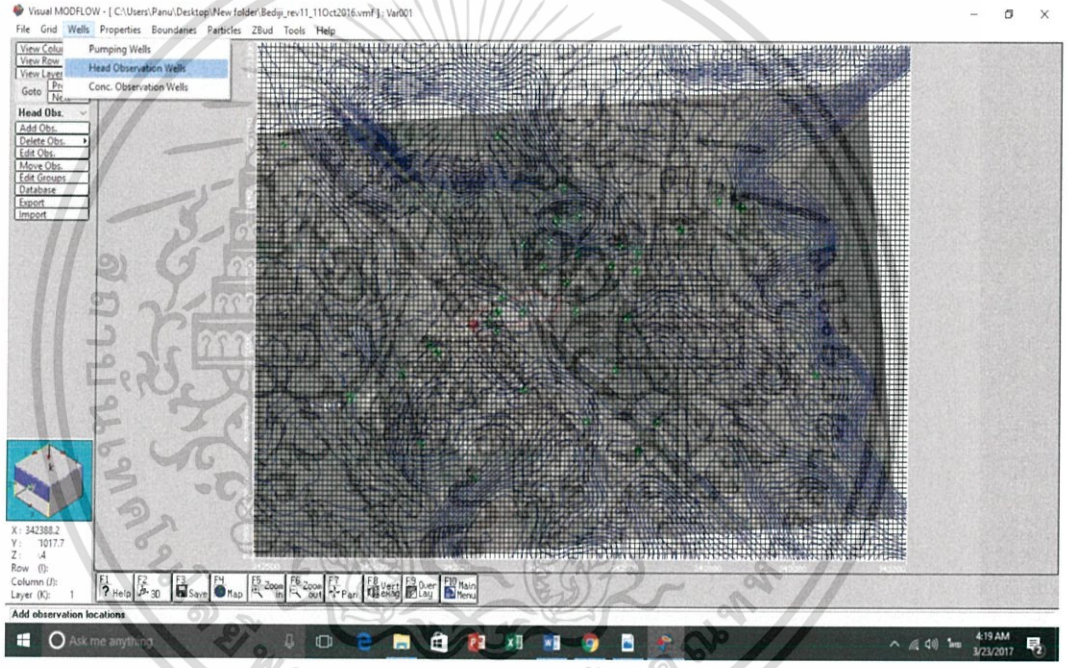
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Start Time เวลาที่จะเริ่มทำการ Run
- Run type รูปแบบการไหลของน้ำบาดาล
- Steady-state Simulations Time จำนวนวันทั้งหมดที่จะทำการRun

3.2 Compatibles Transport Variant

- Transport engine รูปแบบของแบบจำลองที่ต้องการ
- Sorption ค่าการดูดซึม
- Reaction ปัจจัยภายนอกที่ส่งผล

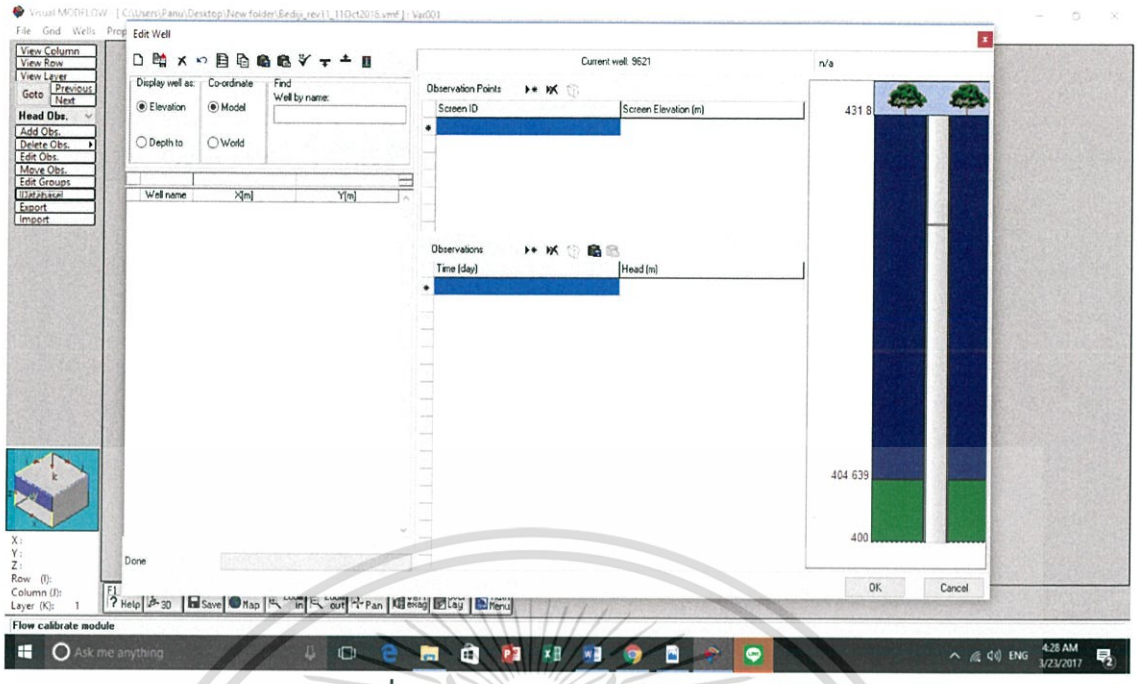
4. จากนั้นเลือก Input ⟶ Well ⟶ Head observation wells เพื่อทำการใส่ค่าระดับข้อมูลน้ำบาดาลตามรูปที่3.18



รูปที่ 3.18 แผนที่ดาวเทียมกับหลุมเจาะ

5. เลือก Database ทางฝั่งซ้ายของจอ เพื่อที่จะใส่ข้อมูล จะปรากฏหน้าต่างตามรูปที่.... จากนั้นเลือกไอคอน 🗋 เพื่อเพิ่มหลุมเจาะตามข้อมูลที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 หน้าต่างแสดงข้อมูลหลุมเจาะ

โดยที่ ค่าข้อมูลต่างๆที่ใช้ใน Database มีดังนี้

5.1 Well name

- หลุมเจาะสำรวจ

5.2 X – Y Coordinates

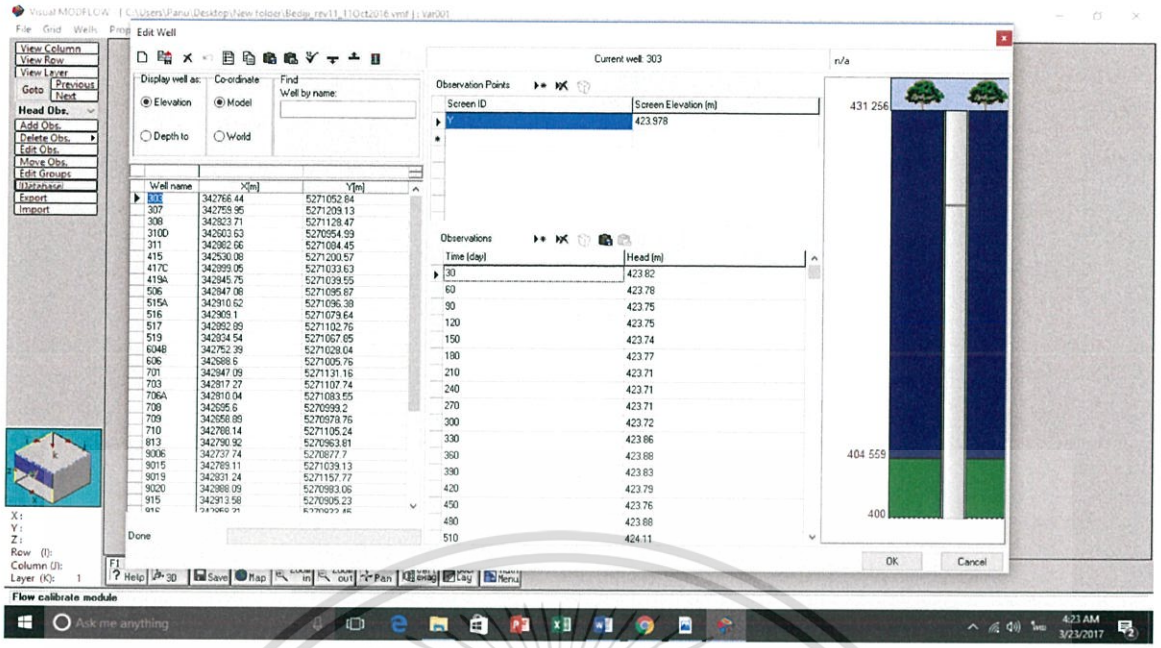
- ตำแหน่งของหลุมเจาะสำรวจตามพิกัดUTM

5.3 Observation

- Time(day) เวลาที่ทำการเก็บข้อมูล
- Head(m) ระดับน้ำบาดาล

6. ใส่ข้อมูลของพิกัดหลุมเจาะ ช่วงเวลา และระดับน้ำบาดาลในแบบจำลองทางชลศาสตร์ดังรูปที่3.20

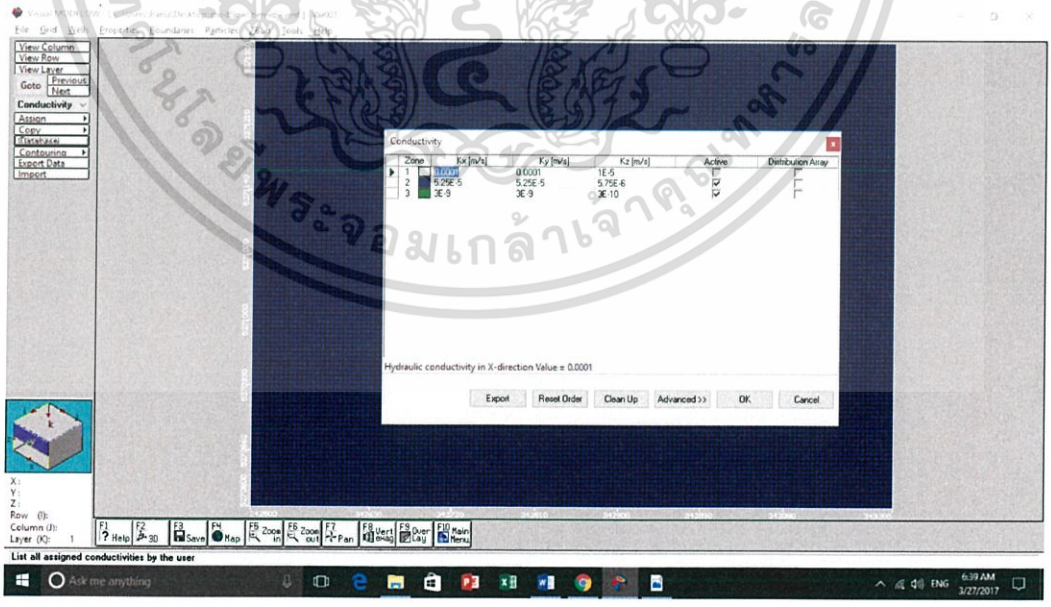
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 หน้าต่างแสดงระดับน้ำบาดาลและตำแหน่งของหลุมเจาะ

7. การดำเนินการสร้างข้อมูลการไหลในการวิเคราะห์ของน้ำบาดาลแบบปั่นป่วน Transient Flow โดยที่ เลือกข้อมูลค่าการวิเคราะห์เป็นแบบ Transient Flow เนื่องจากในสภาพพื้นที่จริงมีการไหลของน้ำบาดาลในทิศทางหลายแนว

8. เลือกคำสั่ง Properties → Conductivity → Database จะปรากฏให้ใส่ค่าข้อมูลดังรูป3.21



รูปที่ 3.21 หน้าต่างแสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของชั้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ค่าข้อมูลต่างๆที่ใช้ใน Database มีดังนี้

8.1 Conductivity

- Kx (m/s) ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านในชั้นดินแกนx
- Ky (m/s) ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านในชั้นดินแกนy
- Kz (m/s) ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านในชั้นดินแกนz

โดยค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านในชั้นดินแต่ละแกนนี้จะอ้างอิงข้อมูลให้ใกล้เคียงกับสภาพดินที่ขุดเจาะสำรวจจากพื้นที่จริง

9.เลือกคำสั่ง Properties ⟶ Storage ⟶ Database จะปรากฏคำสั่งหน้าจอดังรูปที่3.22 ให้ใส่ข้อมูล



รูปที่ 3.22 หน้าต่างแสดงค่าความพรุนและสัมประสิทธิ์การเก็บกัก

โดยที่ ค่าข้อมูลต่างๆที่ใช้ใน Database มีดังนี้

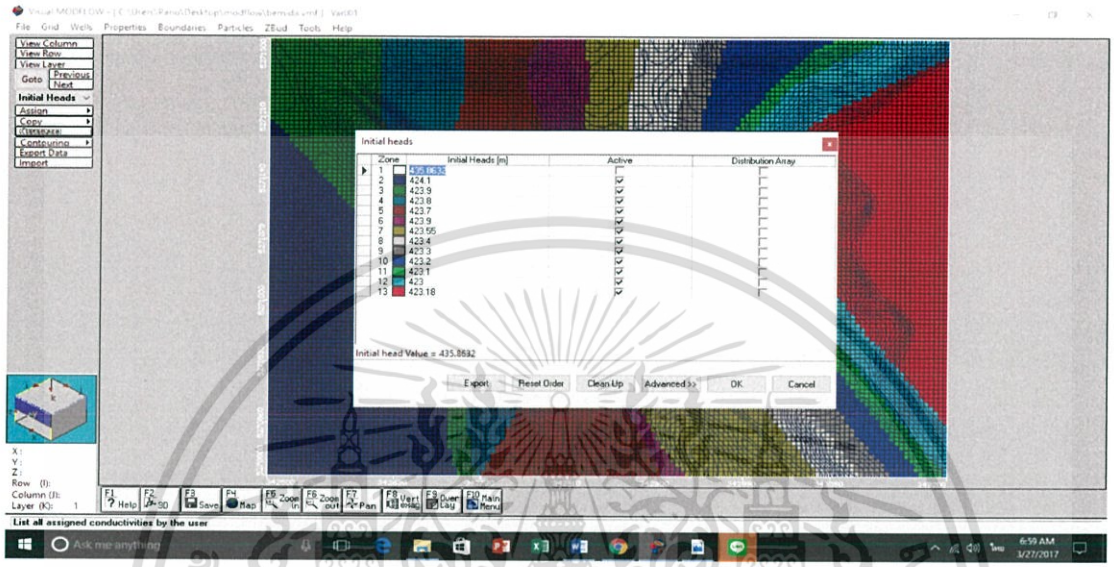
9.1 Storage

- Ss (1/m) ค่าสัมประสทธิ์การเก็บกักในชั้นดิน
- eff.Por. ค่าความพรุนประสิทธิผล
- Tot.Por. ค่าความพรุนทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

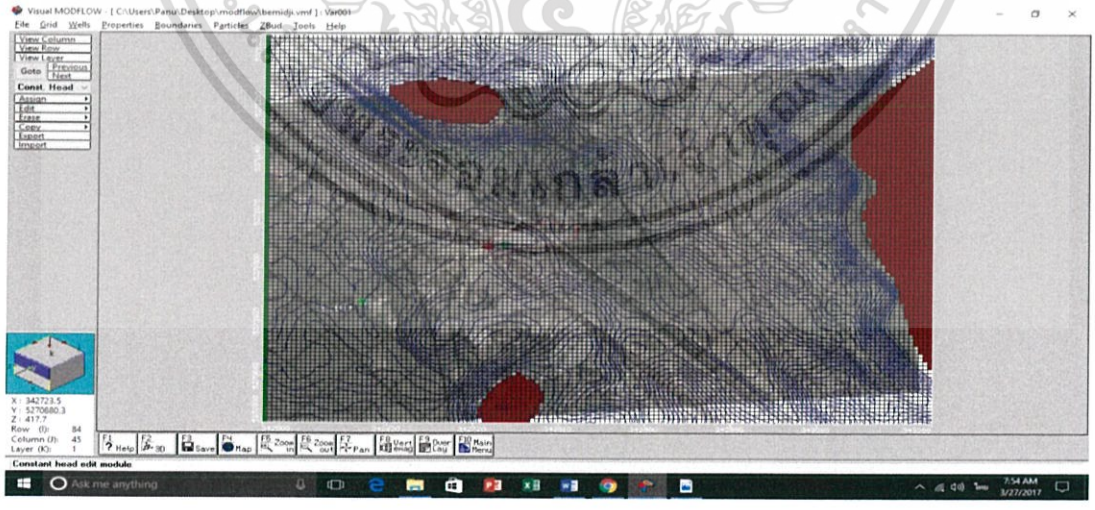
โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกักในชั้นดินและค่าความพรุนได้มาจากการเจาะสำรวจดินในพื้นที่

10. เลือกคำสั่ง Properties →Initial head→ Database เพื่อใส่ข้อมูลระดับน้ำบาดาลเริ่มต้นตามรูปที่3.23



รูปที่ 3.23 หน้าต่างแสดงข้อมูลระดับน้ำบาดาลเริ่มต้น

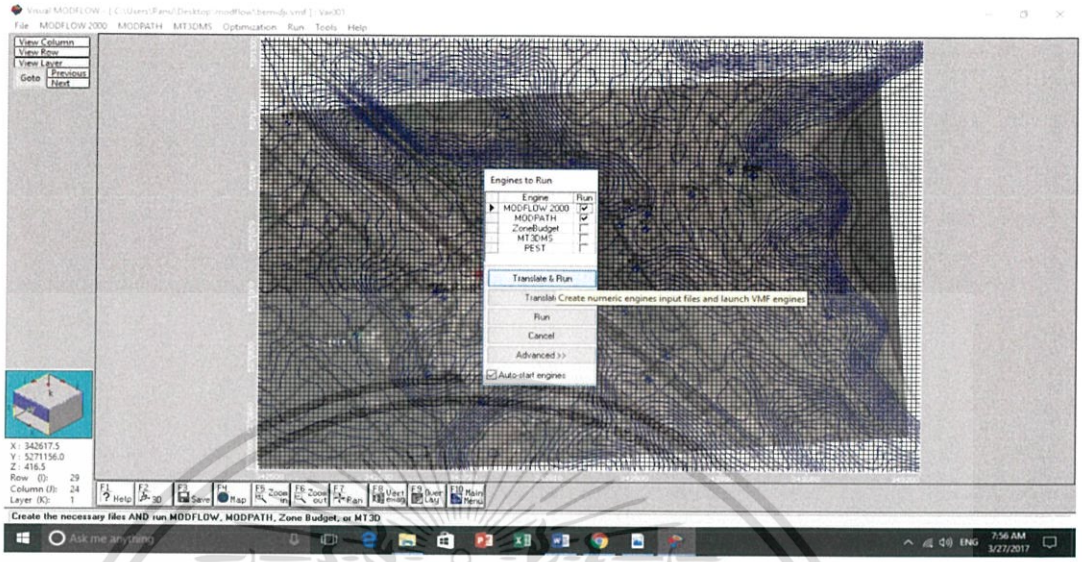
11. เลือกคำสั่ง Boundaries →Constant Head และกำหนดค่าพิกัดของหลุมเจาะตามรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 หน้าต่างแสดง Constant Head

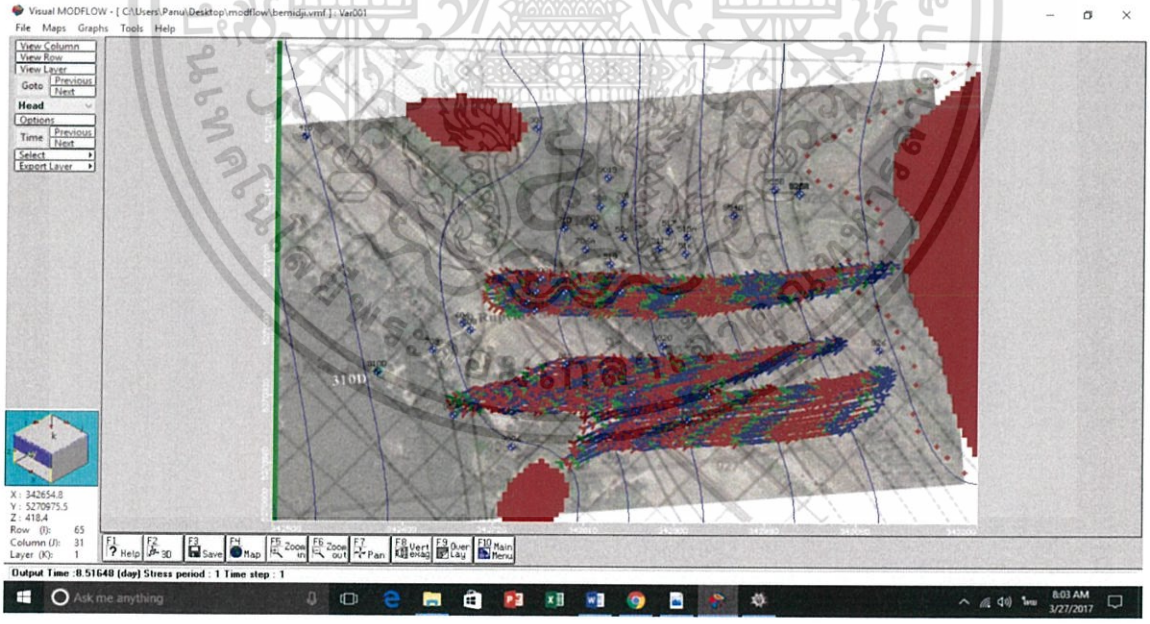
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. เมื่อใส่ข้อมูลครบถ้วนแล้วให้เลือกคำสั่ง File → Main menu → Run → Translate Run เพื่อทำการRunโปรแกรมตามค่าที่กำหนดไว้



รูปที่ 3.25 หน้าต่างแสดงวิธีการ Run โปรแกรม

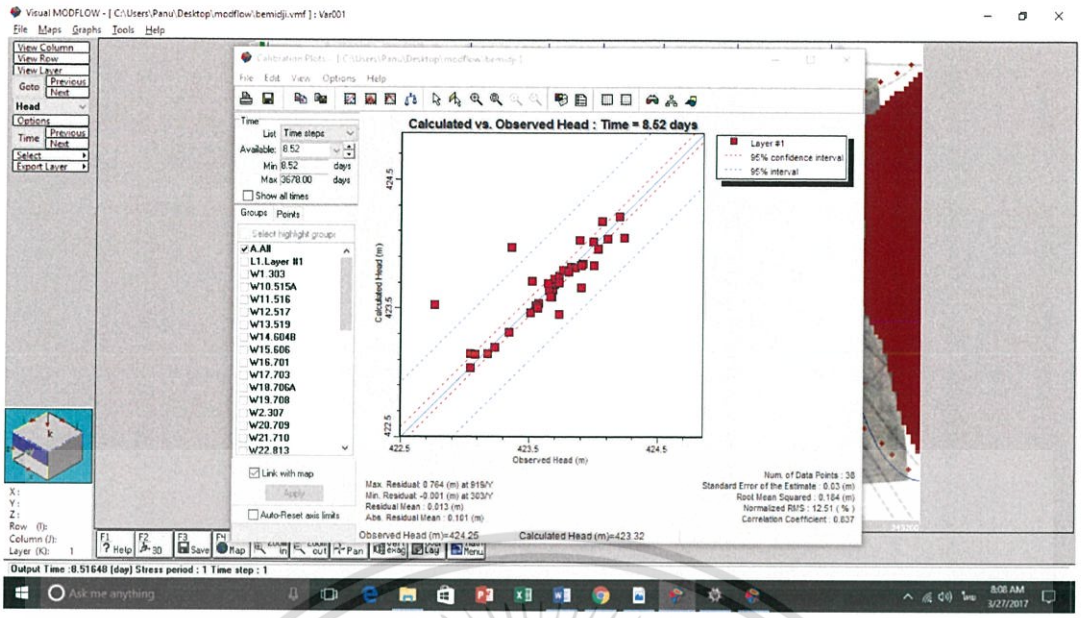
13.เมื่อโปรแกรม Run สำเร็จให้เลือกคำสั่ง Output เพื่อแสดงผลของโปรแกรมจะแสดงดังรูป3.26



รูปที่ 3.26 แบบจำลอง Calibration

14. จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของการ run โปรแกรมโดยเลือก GraphH→ Calibration→ Head จะปรากฏหน้าต่างดังรูป3.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 หน้าต่างแสดงผลของการ Run โปรแกรม

โดยที่ ค่าข้อมูลต่างๆที่ใช้ใน Calibration plots มีดังนี้

14.1 Num. of data point จำนวนข้อมูลที่ใส่

14.2 Standard Error of the estimate ค่าความผิดพลาดพื้นฐานจากการประมาณ

14.3 Root mean squared ค่าเฉลี่ยของผลข้อมูล

14.4 Normalized RMS การวัดทางสถิติของปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

14.5 Correlation Coefficient สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นค่าวัดความสัมพันธ์ระหว่าง 2 แปร ซึ่งในที่นี้ต้องมีค่าเข้าใกล้ 1 จึงจะน่าเชื่อถือได้

15. ดูผลการประมวลการวิเคราะห์ในรูปแบบต่างๆดังนี้



แสดงผลข้อมูลในรูปแบบ 3 มิติ



ขยายรูปของผลข้อมูล



ลดรูปของผลข้อมูล



เลือกตัวแปรที่ต้องการแสดงในข้อมูล

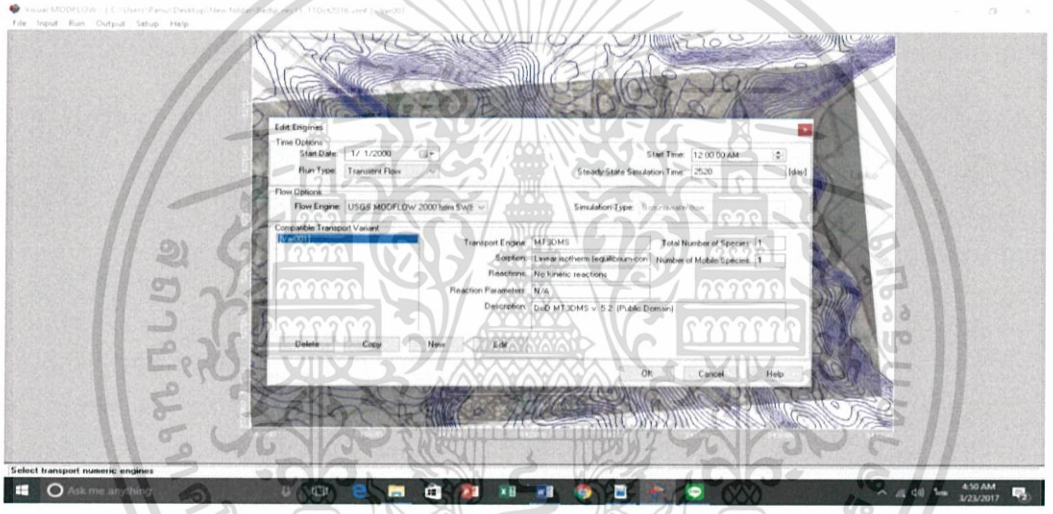
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 การสร้างแบบจำลอง MODFLOW สำหรับ validation

สำหรับแบบจำลองในรูปแบบที่ 3 นั้นเป็นแบบจำลองที่ใช้ค่าคงที่ของแบบจำลองที่ 2 เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของดิน ค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกัก ค่าความพรุน เป็นต้น เพื่อประเมินแบบจำลองในช่วงปี 2007-2010 ว่ามีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด

โดยการสร้างแบบจำลองในรูปแบบที่ 3 นั้นจะมีขั้นตอนเหมือนในแบบจำลองรูปแบบที่ 2 โดยจะมีขั้นตอนที่แตกต่างดังนี้

1.เมื่อเปิดแผนที่ดาวเทียมขึ้นมา เลือกคำสั่ง Set up →Edit Engines จะปรากฏหน้าต่างดังรูป3.26 เพื่อกำหนดช่วงเวลาในการ Run โปรแกรมและกำหนดรูปแบบของการไหล

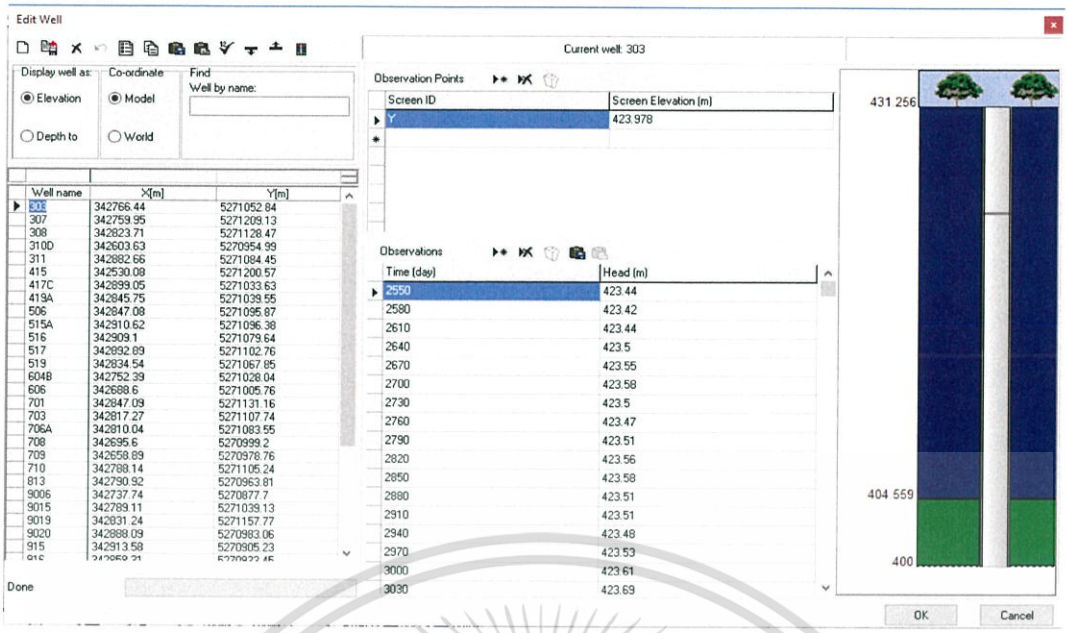


รูปที่ 3.28 หน้าต่างแสดงช่วงเวลาการ Run โปรแกรมสำหรับแบบจำลอง Validation

โดยที่จะมีข้อแตกต่างคือ ในช่องของ Start time ต้องเปลี่ยนเป็นปี 2007 และ Steady state simulation time ให้เป็นช่วงเวลา 2007-2010

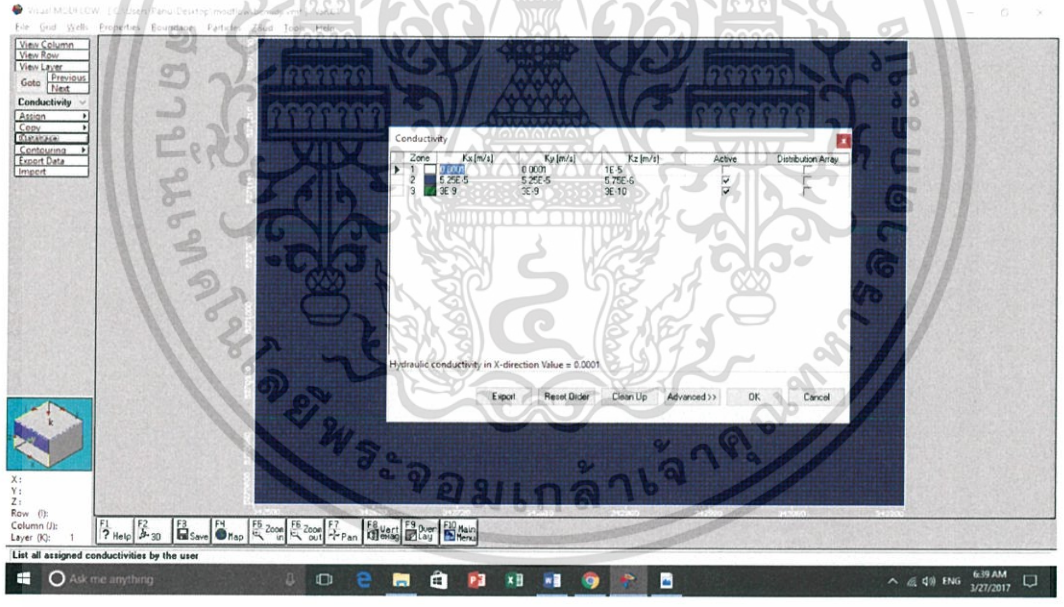
2. ในส่วนของข้อมูลระดับใต้ดิน ให้เปลี่ยนค่าระดับน้ำบาดาลเป็นปี 2007-2010 ดังรูปที่3.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 หน้าต่างแสดงข้อมูลระดับน้ำบาดาลสำหรับแบบจำลอง Validation

3. ค่าคงที่ต่างๆให้นำค่าของที่ของแบบจำลองรูปแบบที่ 2 มาใส่ตามรูปที่3.30



รูปที่ 3.30 หน้าต่างแสดงค่าสัมประสิทธิ์สำหรับแบบจำลอง Validation

4. ทำการ run โปรแกรมและตรวจสอบค่าความถูกต้องตามแบบจำลองรูปแบบที่ 2

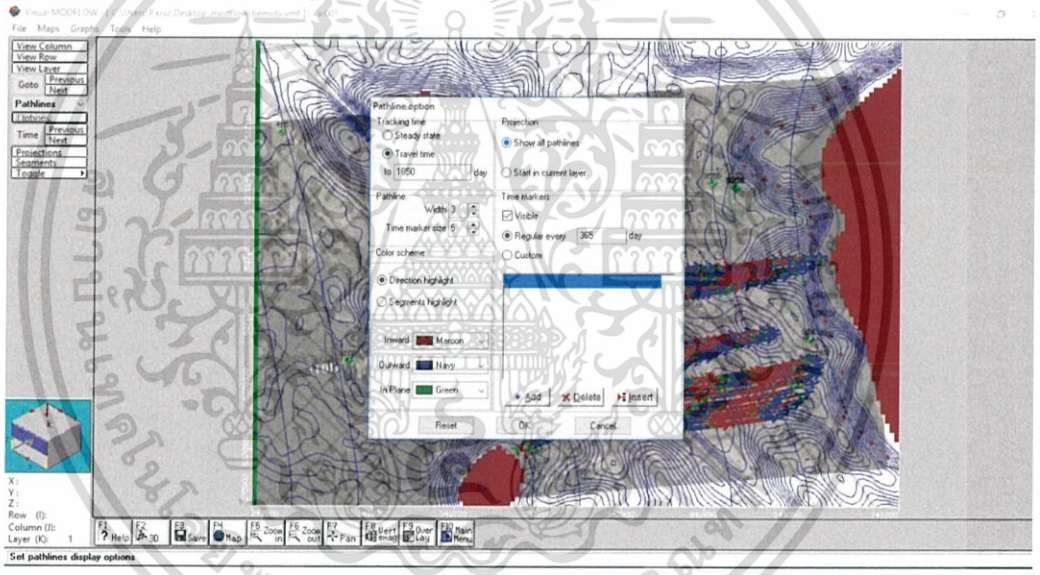
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4 การสร้างแบบจำลอง MODFLOW สำหรับคาดการณ์การไหลของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่ม

สำหรับแบบจำลองในรูปแบบสุดท้ายนี้จะใช้แสดงข้อมูลการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันโดยกำหนดช่วงเวลาเป็นปี ค.ศ.2000 ถึง ค.ศ.2010 และวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่ม ว่าเคลื่อนที่เข้าสู่ทะเลสาบที่ศึกษาในช่วงเวลาใด

โดยที่ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองนี้จะมีขั้นตอนคล้ายกับแบบจำลองที่ 2 โดยมีขั้นตอนที่แตกต่างดังนี้

1. ในช่วงการแสดงผลของข้อมูลให้เปลี่ยนคำสั่ง Head เป็น Pathlines และเลือกคำสั่ง Options จะปรากฏหน้าต่างดังรูป3.31



รูปที่ 3.31 หน้าต่างแสดงข้อมูลเส้นทางการไหลของตะกอนน้ำมัน

2. จากนั้นทำการปรับช่วงเวลาและวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มโดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในชั้นดิน ค่าความพรุน สัมประสิทธิ์การเก็บกัก เป็นค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาครั้งนี้จะเป็นการจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในบริเวณที่เกิดเหตุน้ำมันรั่วซึมโดยใช้โปรแกรมแบบจำลอง ArcGIS และจำลองการเคลื่อนที่ของกลุ่มตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่ม โดยใช้โปรแกรม MODFLOW โดยมีข้อมูลในการคำนวณสร้างแบบจำลอง คือ

-ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ของตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจ

-ข้อมูลของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่ม โดยข้อมูลที่ใช้จะเป็นในรูปแบบ Particle ของตะกอนน้ำมัน

-ข้อมูลระดับน้ำบาดาลจากการเจาะหลุมเจาะสำรวจรอบพื้นที่ที่เกิดเหตุตั้งแต่บริเวณตะกอนน้ำมัน ถึง ทะเลสาบที่ศึกษา และสร้างแบบจำลองของการไหลของน้ำบาดาลและการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันโดยมีกรณีที่ศึกษาของแต่ละแบบจำลองเป็น 2 กรณีศึกษา ได้แก่

1.แบบจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

2.แบบจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่ม

โดยที่แบบจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันนั้น ก็จะมีกรณีย่อยที่ต้องวิเคราะห์อีก 3 กรณีศึกษา ซึ่งได้แก่

1.แบบจำลองสำหรับ Calibration

2.แบบจำลองสำหรับ Validation

3.แบบจำลองสำหรับคาดการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผลการศึกษาแบบจำลองการไหลน้ำบาดาล ARCGIS

ผลการศึกษาของการสร้างแบบจำลองของน้ำบาดาลโดยโปรแกรม ARCGIS ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

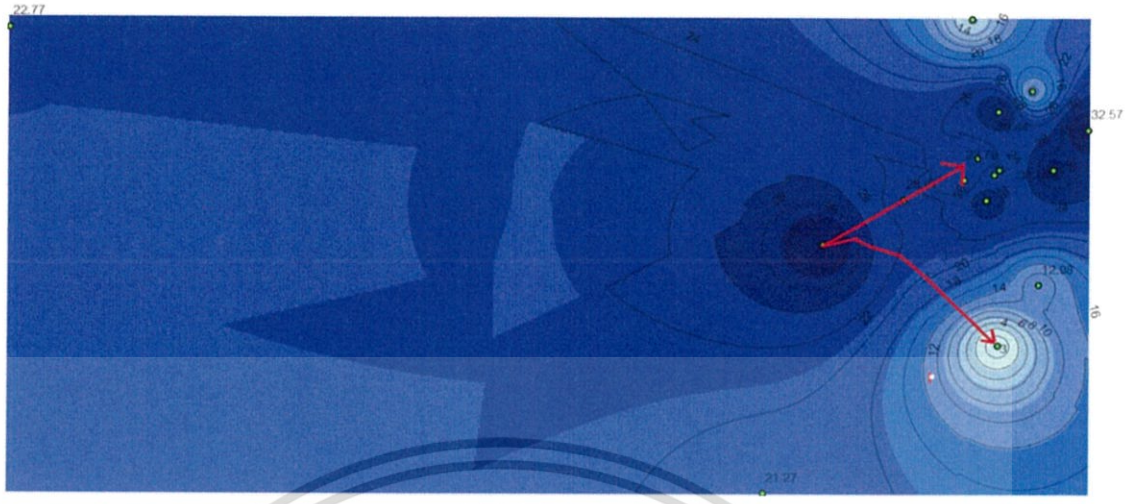
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลหลุมเจาะทั้งหมด

หลุมเจาะ	Elev. (meter)	XcoordUTMNAD83_m	YcoordUTMNAD83_m	Depth (ft)
well 303	430.640	342766.44	5271052.84	24.87
well 307	426.214	342759.95	5271209.13	11.25
well 308	427.732	342823.71	5271128.47	17.88
well 310D	433.787	342603.63	5270954.99	34.83
well 311	433.427	342882.66	5271084.45	37.38
well 313	424.979	342787.92	5270841.44	6.59
well 315	430.593	342784.16	5271033.98	26.24
well 401	430.840	342542.55	5270674.44	24.75
well 407	432.120	341749.58	5271198.25	26.03
well 417A	423.356	342902.24	5271033.47	54.62
well 417B	423.287	342900.61	5271033.58	44.36
well 417D	423.285	342901.40	5271032.20	33.39
well 419A	433.010	342845.75	5271039.55	35.46
well 419C	423.531	342842.71	5271039.74	33.18
well 420B	423.745	342818.83	5271043.13	44.45
well 604B	430.720	342752.39	5271028.04	20.12
well 606	430.570	342688.60	5271005.76	81.97
well 607	423.470	342832.55	5271035.97	78.99
well 702A	423.430	342824.05	5271130.91	15.65
well 702B	423.536	342826.24	5271129.82	55.20
well 702C	423.280	342823.91	5271131.59	24.68
well 710	432.666	342788.14	5271105.24	33.07
well 812	432.460	342776.02	5271005.39	29.81
well 981	426.360	342831.10	5270909.81	16.28
well 9015	430.950	342789.11	5271039.13	29.23

ข้อมูลหลุมเจาะเหล่านี้จะถูกนำไปใส่ในแผนที่เพื่อที่จะแสดงผลออกมาในรูปแบบเส้นชั้นความสูงโดยวิเคราะห์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 ถึง ค.ศ.2010 และผลการศึกษาที่ได้มี ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลปี ค.ศ. 2000



รูปที่ 4.1 เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลปี 2000

ผลการศึกษาทิศทางระดับน้ำบาดาลในปีค.ศ. 2000 ดังรูปที่4.1 พบว่าน้ำบาดาลจะเคลื่อนที่จากเส้นความชันที่สูงไปยังเส้นชั้นความชันที่ต่ำกว่า ซึ่งสามารถวาดทิศทางการไหลของน้ำบาดาลได้โดยวาดตั้งฉากกับเส้นชั้นความสูงออกมาดังรูปที่ 4.1 กล่าวคือเมื่อเทียบกับแผนที่ทางภูมิประเทศแล้วมีทิศทางเข้าสู่ทะเลสาบที่ศึกษา

4.1.2 แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลปี ค.ศ. 2005



รูปที่ 4.2 เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลปี 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาทิศทางระดับน้ำบาดาลในปีค.ศ. 2005 ดังรูปที่4.2 พบว่าน้ำบาดาลนั้นยังคงมีการเคลื่อนที่ที่คล้ายคลึงกับในปีค.ศ. 2000 จึงเป็นการยืนยันทิศทางการไหลของน้ำบาดาลว่ามีการไหลที่เข้าสู่ทะเลสาบที่ศึกษาจริง

4.1.3 แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลปี ค.ศ. 2010



รูปที่ 4.3 เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลและทิศทางการไหลปี 2010

ผลการศึกษาทิศทางระดับน้ำบาดาลปีค.ศ. 2010 ดังรูปที่4.3 พบว่าการไหลของน้ำบาดาลยังคงมีทิศทางการไหลที่เหมือนเดิมจากแบบจำลองในปีก่อนหน้านี้

4.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมัน 3 กลุ่ม

การศึกษาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มนั้นจะอ้างอิงทิศทางทางการไหลของน้ำบาดาลจากแบบจำลอง ARCGIS เพื่อกำหนดแนวทางการไหลของน้ำบาดาลเนื่องจากตะกอนน้ำมันจะพัดพาตามการไหลของน้ำบาดาล โดยมีผลการศึกษาดังนี้

4.2.1 แบบจำลองสำหรับ Calibration

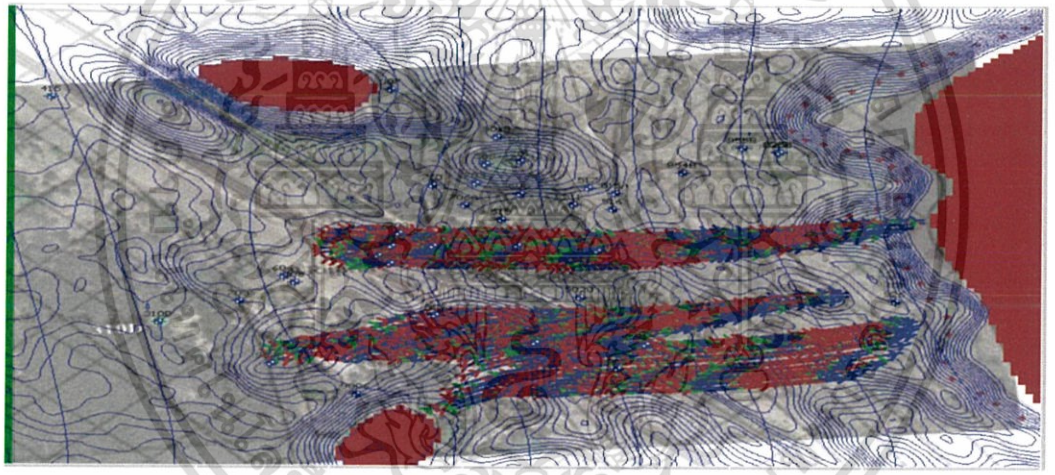
ตารางที่ 4.2 ผลการ trail and error ค่าคงที่

Kx		Ky		Kz		Ss	Sy	Eff.por	Tot.Por.	Normalized	Correlation Coeffcient
6.50E-05	4.00E-09	6.50E-05	4.00E-09	6.50E-06	4.00E-10	4.00E-06	1.500	1.500	0.150	13.424	0.813
6.00E-05	3.75E-09	6.00E-05	3.75E-09	6.00E-06	3.75E-10	4.00E-06	1.000	1.000	0.150	13.250	0.818
5.75E-06	3.50E-09	5.75E-06	3.50E-09	5.75E-07	3.50E-10	4.00E-06	0.500	0.500	0.150	12.959	0.825
5.50E-06	2.50E-09	5.50E-06	2.50E-09	5.50E-07	2.50E-10	4.00E-06	0.050	0.050	0.125	12.596	0.840
4.50E-05	2.25E-09	4.50E-05	2.25E-09	4.50E-06	2.25E-10	4.00E-06	0.085	0.085	0.125	12.520	0.836
4.75E-05	2.25E-09	4.75E-05	2.25E-09	4.75E-05	2.25E-10	4.00E-06	0.085	0.085	0.125	12.520	0.836
5.00E-05	3.00E-09	5.00E-05	3.00E-09	5.00E-05	3.00E-10	4.00E-06	0.100	0.100	0.200	12.526	0.836
5.25E-05	3.00E-09	5.25E-05	3.00E-09	5.25E-06	3.00E-10	4.00E-06	0.085	0.085	0.125	12.510	0.837

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ผลการศึกษาจากกการ trial and error ค่าคงที่ต่างๆคือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้(K) ค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกัก(S) ค่าความพรุน(Porosity) และค่าความถูกต้องของสมการทั้ง 2 ค่า เป็นต้น ซึ่งค่าที่นำมาวิเคราะห์ตามตารางที่4.2 โดยจะเลือกข้อมูลในแถวล่างสุดมาวิเคราะห์เนื่องจากให้ค่าความถูกต้องที่มากที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในแกนX(Kx) เท่ากับ 5.25×10^{-5} และ 3×10^{-9} ตามลำดับ มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในแกนY(Ky) เท่ากับ 5.25×10^{-5} และ 3×10^{-9} ตามลำดับจะสังเกตว่าในแกน x และ y จะมีค่าเท่ากันเนื่องจากเป็นการไหลในแนวระนาบเหมือนกัน มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในแกนZ เท่ากับ 5.25×10^{-6} และ 3×10^{-10} ซึ่งมีค่าน้อยกว่าในแกน x และ y 10 เท่าเพราะเป็นการไหลในแนวดิ่ง ค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกัก(S) เท่ากับ 4×10^{-6} มีค่าความพรุนประสิทธิผล(Eff.Por.) เท่ากับ 0.085 มีค่าความพรุนทั้งหมด(Tot.Por.) เท่ากับ0.125 มีค่าความคลาดเคลื่อน12.51% และค่า R^2 เท่ากับ 0.837

เมื่อนำค่าคงที่ที่ได้ไปใส่และทำการ Run ข้อมูลแบบจำลองจะได้ผลการศึกษา ดังนี้



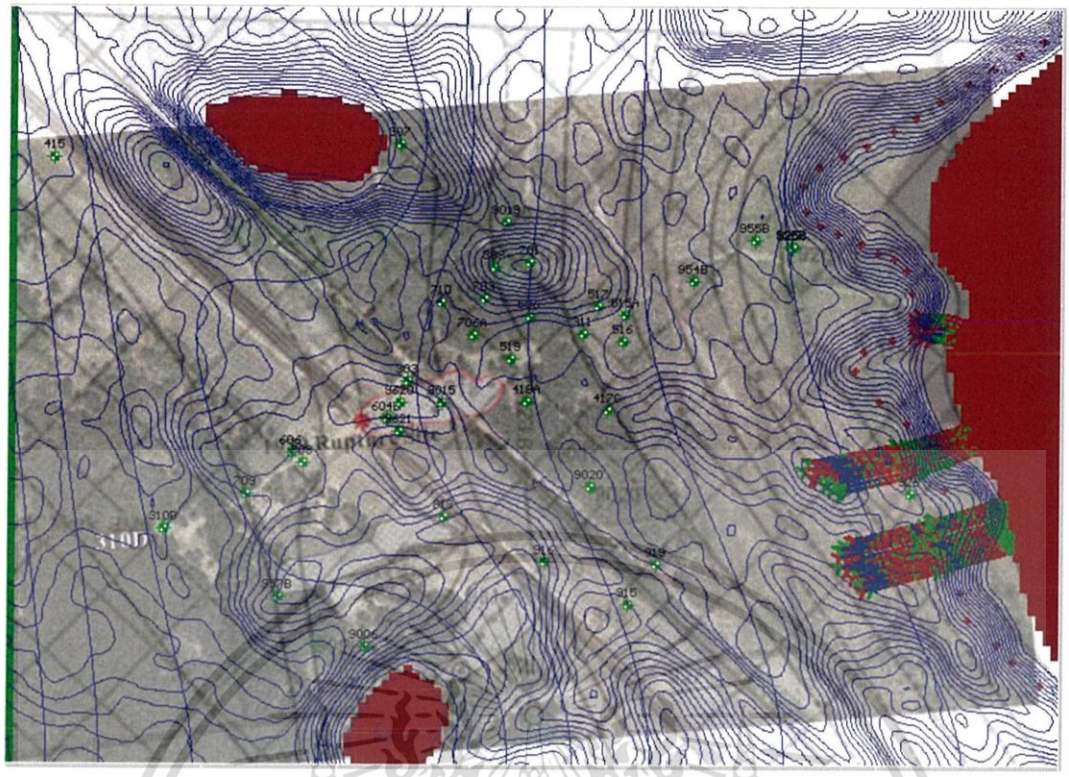
รูปที่ 4.4 ทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันแบบจำลองCalibration

ในแบบจำลองสำหรับ Calibration ตามรูปที่4.3 จะใช้ข้อมูลน้ำบาดาลในปีค.ศ. 2000 ถึง ปีค.ศ. 2010 และวิเคราะห์ผลที่ได้ออกมาพบว่าตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มมีทิศทางเคลื่อนที่เข้าสู่ทะเลสาบ

4.2.2 แบบจำลองสำหรับ Validation

ข้อมูลในแบบจำลองนี้จะใช้ค่าคงที่จากแบบจำลอง Calibration เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่ม ได้ผลการศึกษา ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันแบบจำลองValidation

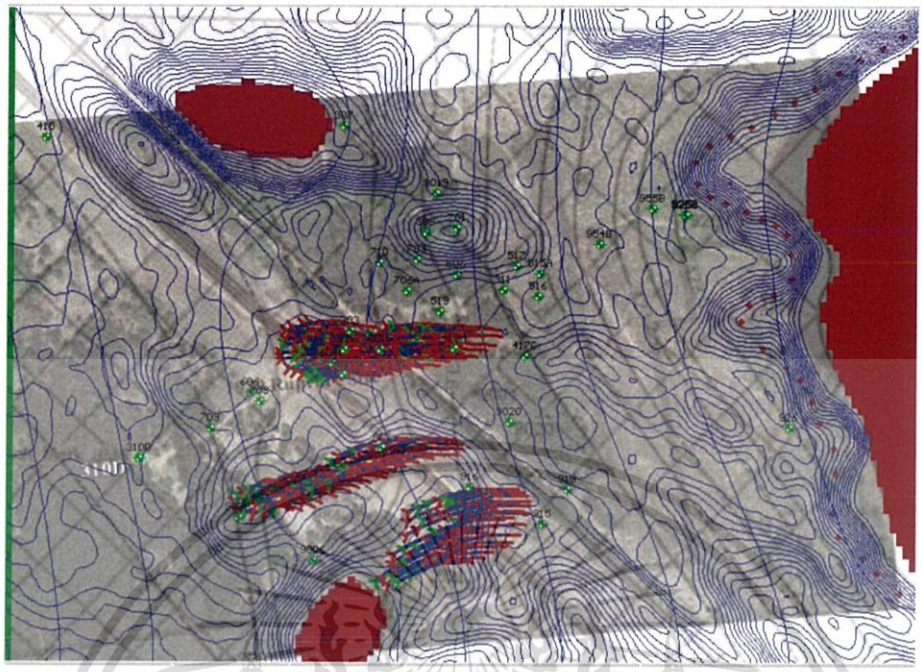
ผลการศึกษาจากแบบจำลองValidation ตามรูปที่4.5 โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำบาดาลจากปีค.ศ.2007 ถึง ปีค.ศ. 2010 และใช้ค่าคงที่จากแบบจำลอง Calibration การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันเคลื่อนที่ตามการไหลของน้ำบาดาลโดยแบบจำลองValidation มีค่าความคลาดเคลื่อน 18.619 % และค่า R^2 เท่ากับ 0.850

4.2.3 แบบจำลองสำหรับคาดการณ์

ข้อมูลในแบบจำลองนี้จะใช้ค่าคงที่จากแบบจำลอง Calibration เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่ม ข้อมูลที่วิเคราะห์ตั้งแต่ปีค.ศ.2000 ถึงปี ค.ศ. 2010 ได้ผลการศึกษา ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

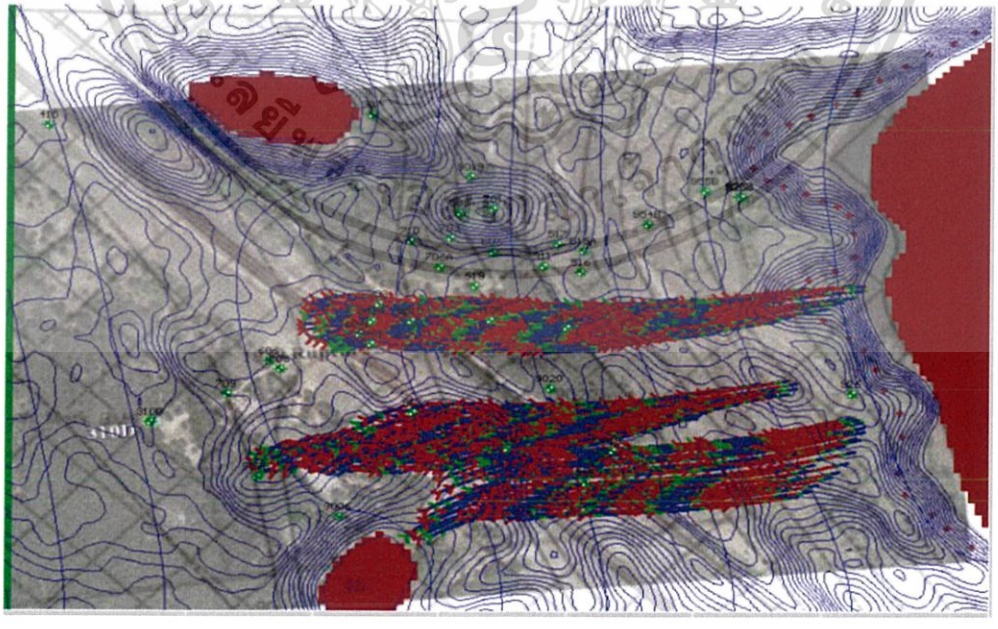
4.2.3.1 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันเมื่อผ่านไป 1 ปี



รูปที่ 4.6 ทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันเมื่อผ่านไป 1 ปี

ผลการศึกษาจากรูปที่4.6 มีค่าความคลาดเคลื่อน12.51% และค่า R^2 เท่ากับ 0.837

4.2.3.2 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันเมื่อผ่านไป 5 ปี

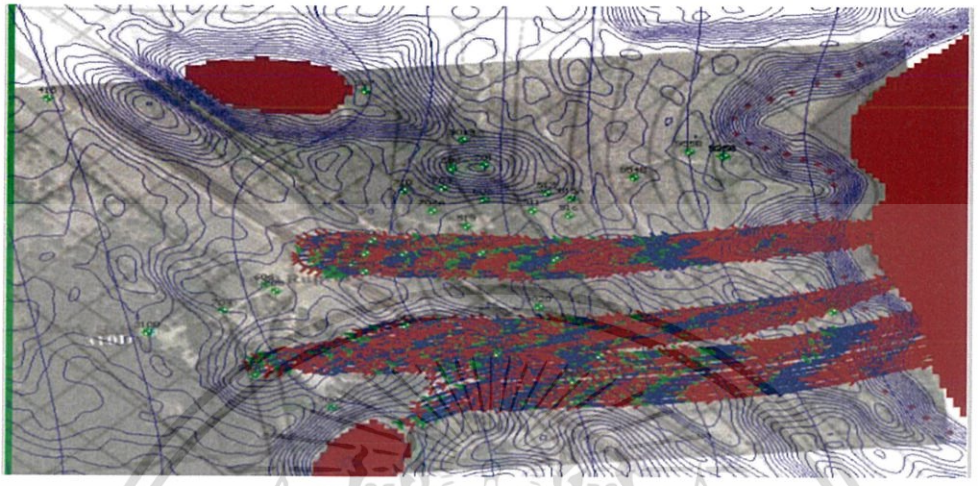


รูปที่ 4.7 ทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันเมื่อผ่านไป 5 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาจากรูปที่4.7 มีค่าความคลาดเคลื่อน12.51%และค่า R^2 เท่ากับ 0.837

4.2.3.3 **การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันเมื่อผ่านไป 8 ปี**



รูปที่ 4.8 ทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันเมื่อผ่านไป 8 ปี

ผลการศึกษาจากรูปที่4.8 มีค่าความคลาดเคลื่อน12.51 % และค่า R^2 เท่ากับ 0.837

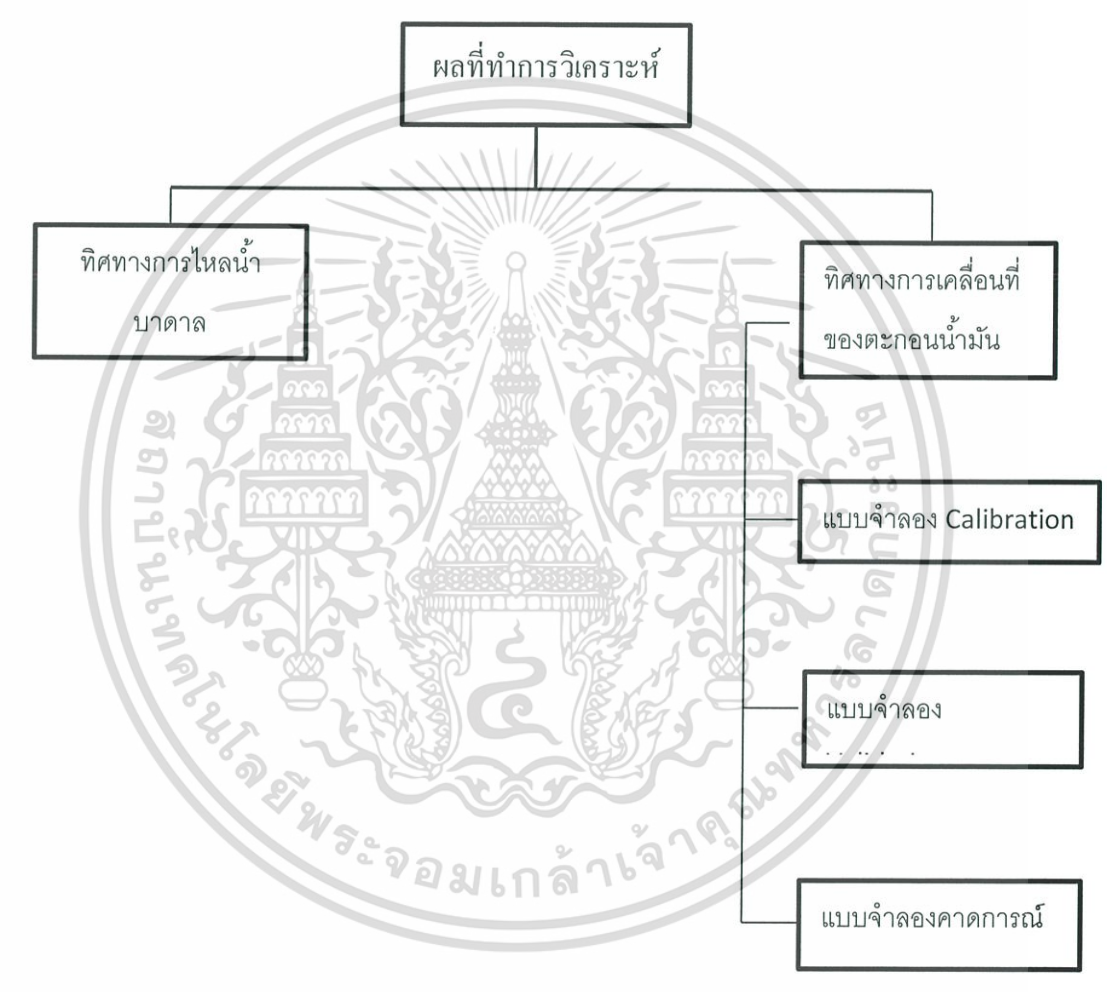
โดยที่ผลการศึกษาแบบจำลอง ARCGIS และแบบจำลอง MODFLOW สามารถใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อใช้ศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำบาดาลและทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่ม จะเห็นได้ว่าโปรแกรม ARCGIS เป็นแบบจำลองที่สามารถจำลองการไหลของน้ำบาดาล และโปรแกรม MODFLOW เป็นแบบจำลองที่สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมัน ลักษณะการไหล การไหลของน้ำบาดาล และอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์ผลการวิจัย

จากการทำการวิจัยเกี่ยวกับทิศทางการไหลของน้ำบาดาลและทิศทางการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันในบริเวณที่เกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้น ดังนี้

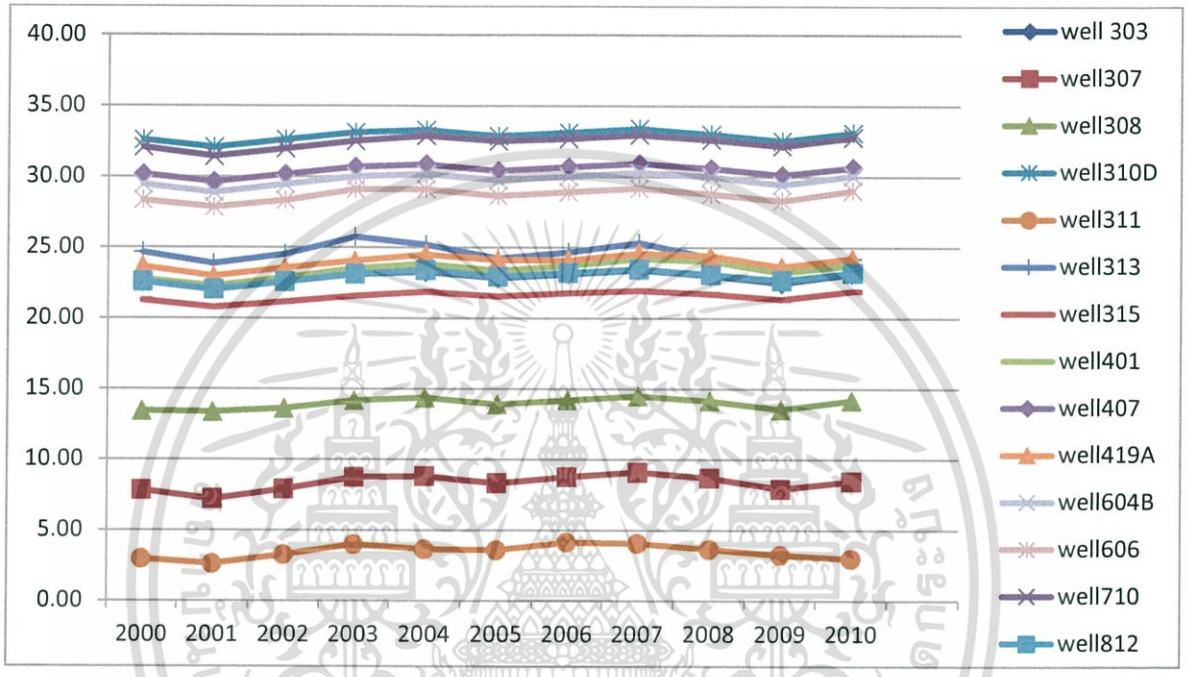


รูปที่ 5.1 แผนผังการวิเคราะห์ผลการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 แบบจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

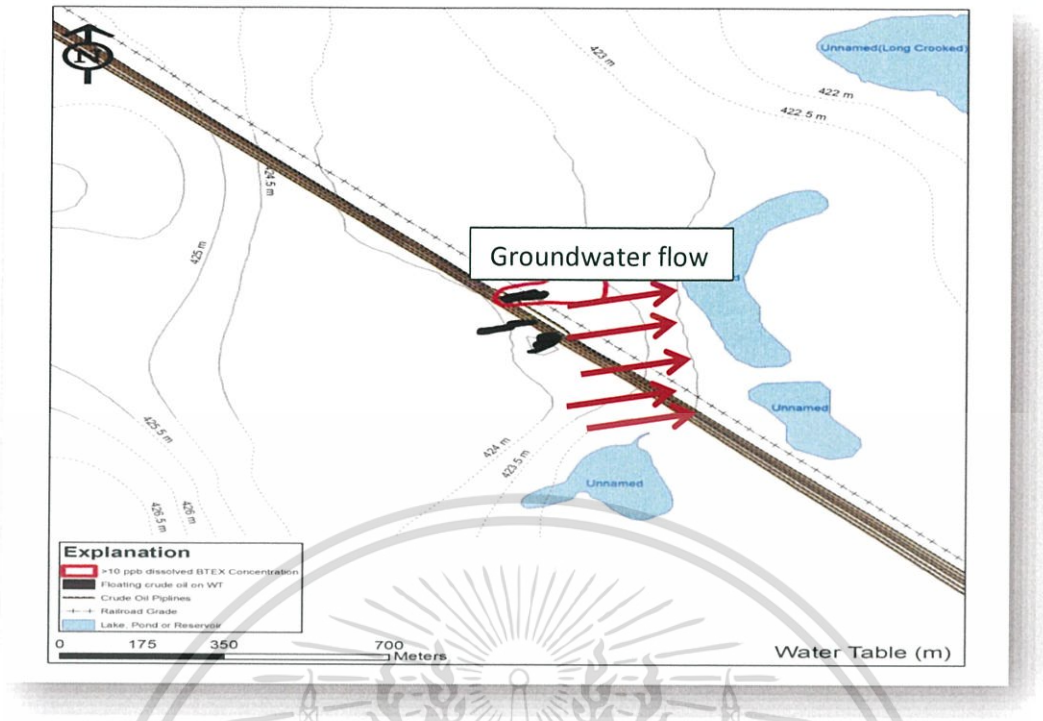
จากผลการวิจัยจากการใช้แบบจำลอง ARCGIS ในการศึกษาดูความเป็นไปของการไหลของน้ำบาดาลจากตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มไปจนถึงทะเลสาบที่ศึกษาพบว่าในช่วงปีค.ศ.2000 ถึงปีค.ศ. 2010 พบว่าระดับน้ำบาดาลในแต่ละปีมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยแต่กระแสน้ำหลักในการไหลยังคงเป็นการไหลเข้าสู่ทะเลสาบ



รูปที่ 5.2 กราฟการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาล

จากกราฟความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาลกับช่วงเวลาที่ศึกษา พบว่าในทุกๆ หลุมเจาะสำรวจนั้นการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาลจะเป็นเป็นในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือเมื่อหลุมเจาะสำรวจใดหลุมหนึ่งมีระดับที่ต่ำลงในหลุมเจาะสำรวจอื่นๆก็จะมีค่าระดับที่ลดลงตามไปด้วย จึงทำให้การไหลของน้ำบาดาลตั้งแต่ปีค.ศ. 2000 ถึงปีค.ศ. 2010 มีทิศทางที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลจากพื้นที่จริง

ผลการวิจัยจากรูปที่5.3 ได้สร้างขึ้นจากแบบจำลอง ARCGIS ที่จำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาลและได้นำมาเทียบกับพื้นที่จริงซึ่งมีความใกล้เคียงกัน

5.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่ม

การวิเคราะห์ผลการวิจัยจากการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันนี้สามารถแบ่งได้อีก 3 กรณีศึกษา

5.2.1 แบบจำลองสำหรับ Calibration

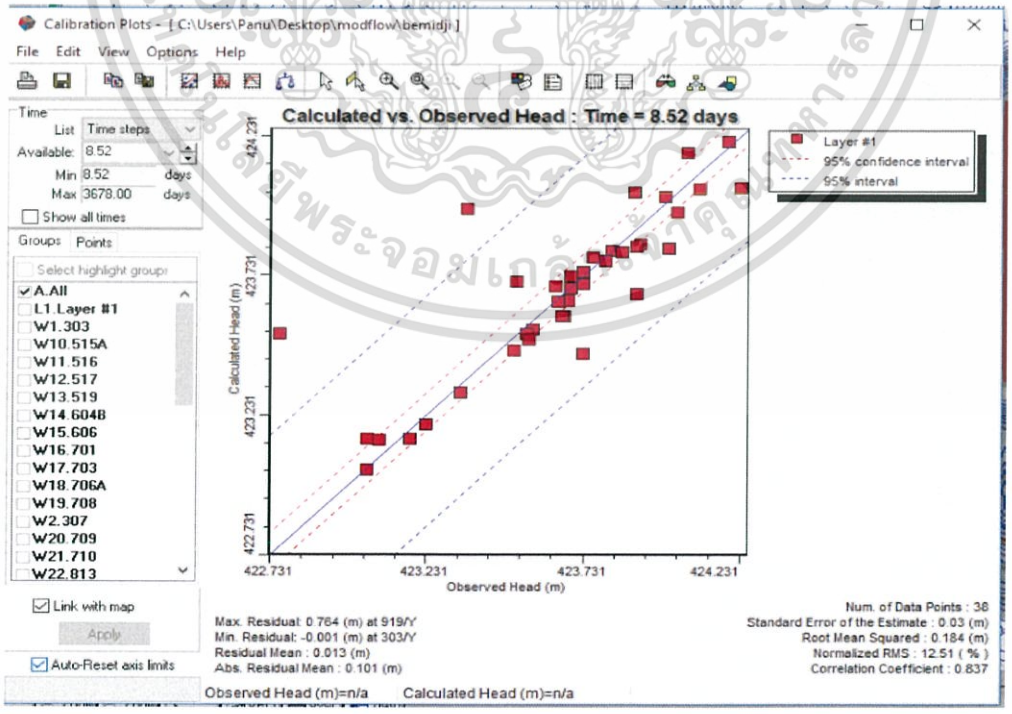
ในแบบจำลองสำหรับ Calibration ทำขึ้นเพื่อ trial and error ค่าคงที่ต่างๆที่ต้องใช้ในการRunโปรแกรม ซึ่งค่าที่ทำการ trial and error นั้นได้มีข้อมูลมาจากพื้นที่จริงว่าในพื้นที่ที่ศึกษานั้นประกอบด้วยชั้นดิน 2 ชั้น 1.เป็นชั้นดินเหนียวปนดินร่วน 2.เป็นชั้นดินเหนียวทึบน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ผลจากการ trail and error ค่าคงที่

Kx		Ky		Kz		Ss	Sy	Eff.por	Tot.Por.	Normalized	Correlation Coeffcient
6.50E-05	4.00E-09	6.50E-05	4.00E-09	6.50E-06	4.00E-10	4.00E-06	1.500	1.500	0.150	13.424	0.813
6.00E-05	3.75E-09	6.00E-05	3.75E-09	6.00E-06	3.75E-10	4.00E-06	1.000	1.000	0.150	13.250	0.818
5.75E-06	3.50E-09	5.75E-06	3.50E-09	5.75E-07	3.50E-10	4.00E-06	0.500	0.500	0.150	12.959	0.825
5.50E-06	2.50E-09	5.50E-06	2.50E-09	5.50E-07	2.50E-10	4.00E-06	0.050	0.050	0.125	12.596	0.840
4.50E-05	2.25E-09	4.50E-05	2.25E-09	4.50E-06	2.25E-10	4.00E-06	0.085	0.085	0.125	12.520	0.836
4.75E-05	2.25E-09	4.75E-05	2.25E-09	4.75E-05	2.25E-10	4.00E-06	0.085	0.085	0.125	12.520	0.836
5.00E-05	3.00E-09	5.00E-05	3.00E-09	5.00E-05	3.00E-10	4.00E-06	0.100	0.100	0.200	12.526	0.836
5.25E-05	3.00E-09	5.25E-05	3.00E-09	5.25E-06	3.00E-10	4.00E-06	0.085	0.085	0.125	12.510	0.837

จากตารางที่5.1 พบว่าค่าคงที่ที่ทำการ trial and error นั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าทั่วไป คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ในดิน(K) เท่ากับ 5.25×10^{-5} และค่าทั่วไปสัมประสิทธิ์การซึมได้ในดินเหนียวปนดินร่วน เท่ากับ 1×10^{-6} ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ในแกนZ นั้นจะมีค่าน้อยกว่าแกนX,Y อยู่ 10 เท่า เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำบาดาลส่วนมากจะเป็นไปในแนวทางตามแกนX และY กล่าวคือน้ำบาดาลจะเคลื่อนที่ในแนวราบมากกว่าในแนวดิ่ง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกัก(Sy) เท่ากับ 0.085 ซึ่งค่าทั่วไปสัมประสิทธิ์การเก็บกักในดินเหนียวปนดินร่วน เท่ากับ 0.08 จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันและค่าความพรุน เท่ากับ 0.125 ซึ่งค่าความพรุนทั่วไปมีค่า เท่ากับ 0.420 จะมีค่าที่คลาดเคลื่อนไปเล็กน้อย จึงทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น 12.51% และได้ค่าความเที่ยงตรง(R^2) เท่ากับ 0.837 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.80 ค่าคงที่ที่ได้จึงเป็นค่าสามารถยอมรับรับได้



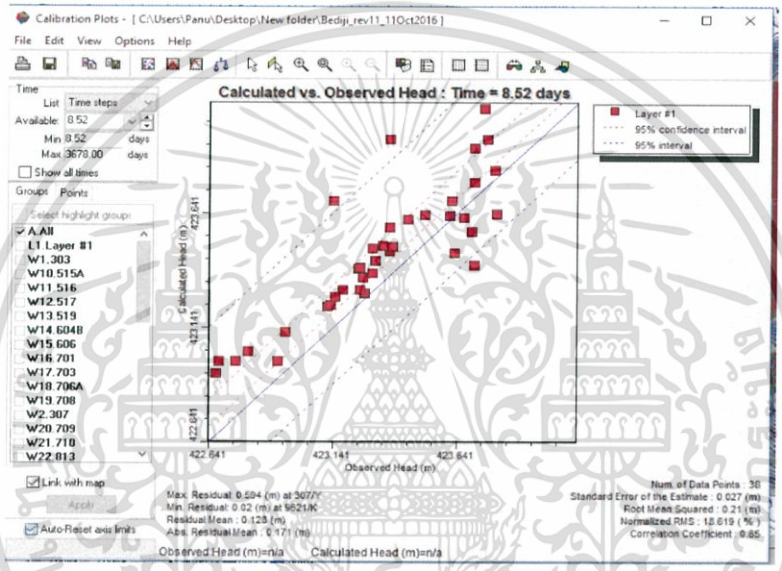
รูปที่ 5.4 ค่าความคลาดเคลื่อนและค่าความเที่ยงตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

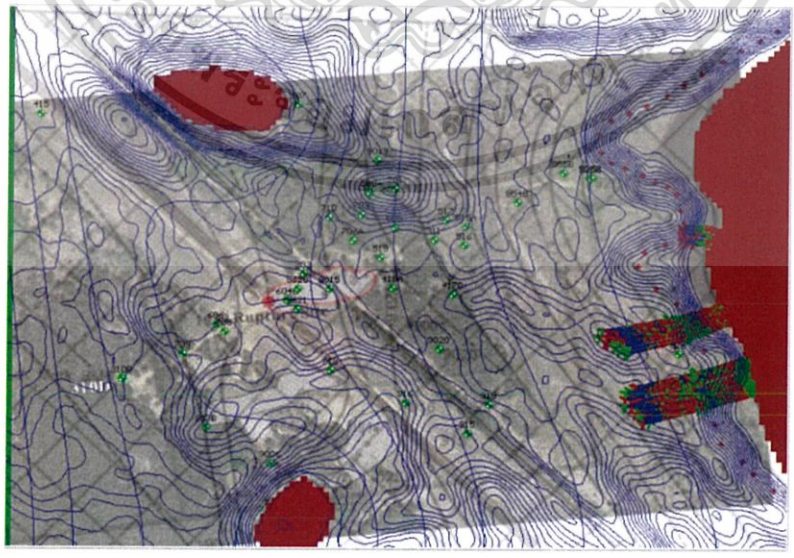
จากรูปที่ 5.4 พบว่าค่าส่วนมากจะอยู่ในเส้นของค่ากลางซึ่งจะมีเพียงส่วนน้อยมีจะอยู่นอกเหนือเส้นอาจเนื่องมาจากข้อมูลในอดีตที่อุปกรณ์ยังไม่มีการพัฒนาจึงอาจจะทำให้เก็บข้อมูลได้คลาดเคลื่อน

5.2.2 แบบจำลองสำหรับ Validation

แบบจำลองสำหรับ Validation ทำขึ้นเพื่อยืนยันค่าคงที่ที่ได้ทำการ trial and error มาว่ามีความถูกต้องมากเพียงใด โดยจะใช้ค่าระดับน้ำบาดาลในปีค.ศ. 2007 ถึงปีค.ศ. 2010 ซึ่งผลการวิจัยได้ผลออกมา ดังนี้



รูปที่ 5.5 ค่าความคลาดเคลื่อนและค่าความเที่ยงตรงแบบจำลอง Validation



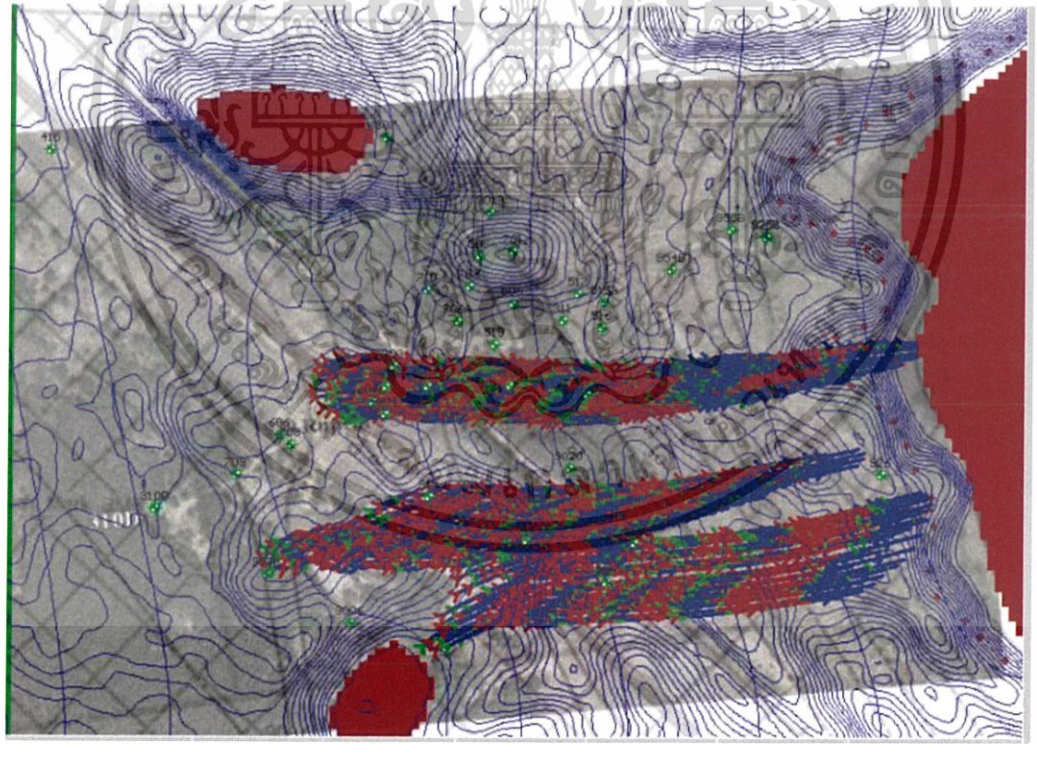
รูปที่ 5.6 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันในแบบจำลอง Validation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่5.6 พบว่าเมื่อใส่ค่าคงที่ที่ได้จากแบบจำลอง Validation ลงในแบบจำลอง Validationแล้วจะให้ค่าความคลาดเคลื่อน 18.62% อาจเกิดจากการเปรียบเทียบของระดับน้ำใต้ดินที่เปลี่ยนแปลง จึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนที่มากขึ้น และค่าความเที่ยงตรงของข้อมูล เท่ากับ 0.85 ซึ่งมีค่าที่มากกว่า 0.80 จึงเป็นค่าที่ยอมรับได้

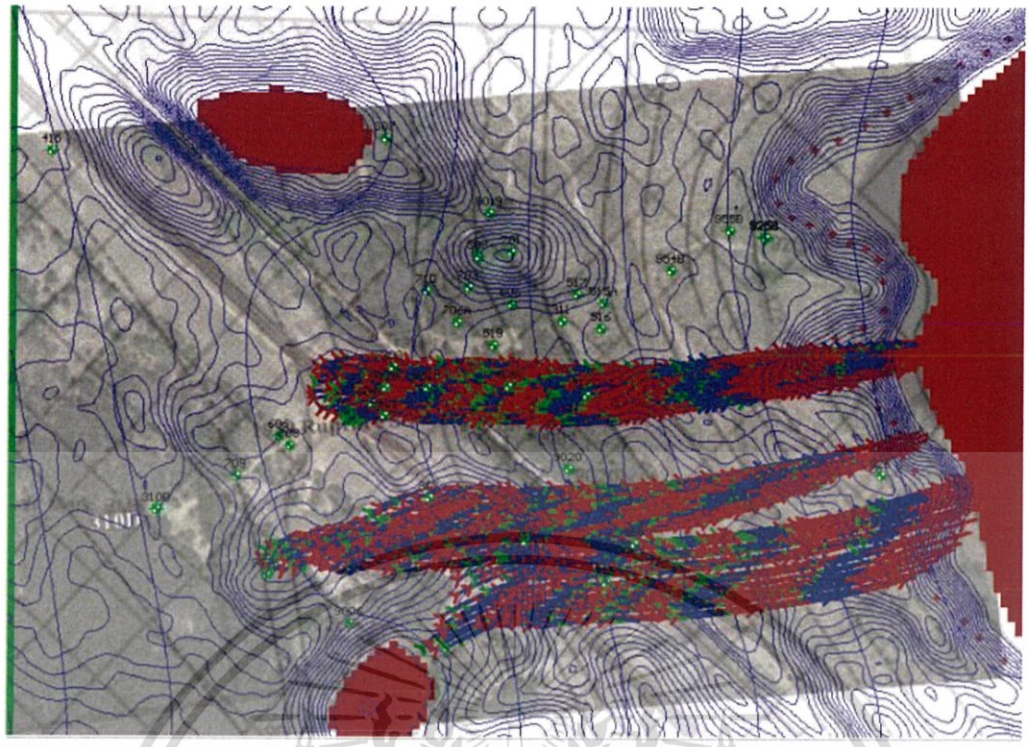
5.2.3 แบบจำลองสำหรับคาดการณ์

จากผลการวิจัยแบบจำลองสำหรับคาดการณ์นั้นจะสังเกตการณ์เคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มจากปีค.ศ. 2000 ถึงปีค.ศ. 2010 และได้ผลการวิจัยออกมาว่า ตะกอนน้ำมันนั้นได้เคลื่อนที่เข้าสู่ทะเลสาบในช่วงปีค.ศ.2006 ถึง ปีค.ศ.2007 โดยที่ตะกอนน้ำมันกลุ่มที่1(บนสุด) เคลื่อนที่เข้าสู่ทะเลสาบเป็นกลุ่มแรกในปีค.ศ. 2006 ในช่วงกลางปีค.ศ.2006 พบว่าตะกอนน้ำมันกลุ่มที่ 3 (ล่างสุด) ก็เคลื่อนที่เข้าสู่ทะเลสาบ และในช่วงต้นปี 2007 ตะกอนน้ำมันกลุ่มที่ 2 (กลาง) ก็ได้เคลื่อนตัวเข้าสู่ทะเลสาบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงคาดการณ์ว่าในปัจจุบันนี้บริเวณรอบๆทะเลสาบหรือบริเวณในตัวทะเลสาบเองยังคงมีการปนเปื้อนจากตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มนี้อยู่

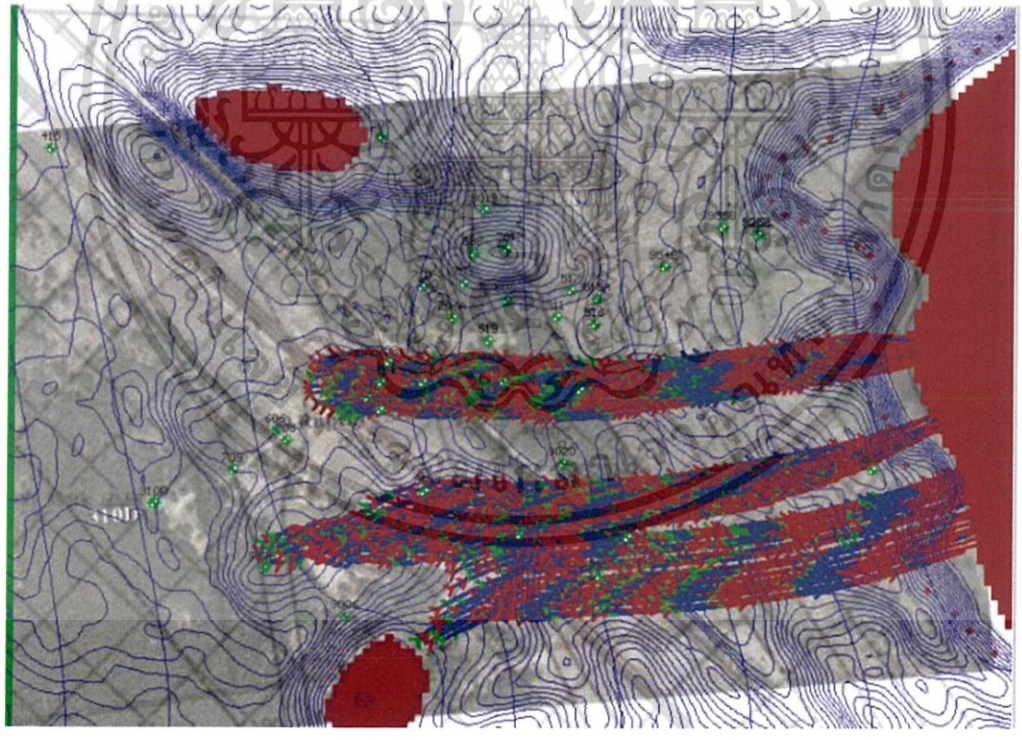


รูปที่ 5.7 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันกลุ่ม1 สู่ทะเลสาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันกลุ่ม3 สู่ทะเลสาบ



รูปที่ 5.9 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันกลุ่ม2 สู่ทะเลสาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

1. จากผลการวิจัยทิศทางการไหลของน้ำบาดาลบริเวณ Bemidji site พบว่าเส้นการไหลของน้ำบาดาลมีทิศทางการไหลจากบริเวณที่มีเส้นชั้นความสูงที่มากไปยังเส้นความสูงที่น้อยกว่า ซึ่งเมื่อเทียบกับแผนที่จริงแล้วมีทิศทางการไหลจากตะกอนน้ำมันเข้าสู่ทะเลสาบด้วย

2. ค่าคงที่ต่างๆที่ได้จากแบบจำลองสำหรับ Calibration มีค่าใกล้เคียงกับค่าทั่วไปที่อ้างอิงได้ และผลจากการ Run โปรแกรมให้ค่าความคลาดเคลื่อนและค่าความเที่ยงตรงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

3.ผลการวิจัยจากแบบจำลอง Validation ให้ค่าที่คลาดเคลื่อนจากเดิมเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากในแบบจำลองValidation ค่าระดับน้ำใต้ดินแตกต่างจากแบบจำลองCalibration จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน แต่ค่าความเที่ยงตรงยังอยู่ในช่วงที่รับได้

4. จากผลในการจำลองโปรแกรมการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่ม พบว่าเส้นการไหลของตะกอนน้ำมันจะสอดคล้องกับเส้นการไหลของน้ำบาดาลคือไหลเข้าสู่ทะเลสาบ โดยในการวิจัยนี้จะศึกษาในกรณีที่น้ำไหลไปพร้อมกันกับน้ำมันซึ่งเป็นกรณีที่จะสามารถเกิดขึ้นได้เร็วที่สุด ตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มได้เคลื่อนตัวเข้าสู่ทะเลสาบตั้งแต่ปีค.ศ. 2006 และคาดการณ์ว่าในปัจจุบันนี้ยังคงมีการปนเปื้อนในทะเลสาบอยู่

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พบปัญหาและขอเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยต่อไป ดังนี้

1. ค่าระดับน้ำบาดาลในการวิเคราะห์ยิ่งมีจำนวนข้อมูลหลุมเจาะมากข้อมูลจะยิ่งแม่นยำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในโปรแกรม MODFLOW สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันโดยวัดความเข้มข้นได้ แต่เนื่องจากข้อมูลความเข้มข้นของตะกอนน้ำมันไม่เพียงพอจึงไม่สามารถทำได้
3. ข้อมูลในการวิเคราะห์ถ้าใช้ข้อมูลย้อนหลังมากความคลาดเคลื่อนก็จะมีมากเช่นกัน เนื่องจากเทคโนโลยีที่ใช้ในการวัดค่ามีการพัฒนาความแม่นยำตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ข้อมูลระดับน้ำบาดาล. 2560. [Online].Available : https://mn.water.usgs.gov/

พิณิชและอุมา. 2559. "Groundwater development. " เอกสารการสอน. กรุงเทพมหานคร.

รศ.ดร.อุมา สีบุญเรือง. 2549. "Groundwater development. " เอกสารการสอน. กรุงเทพมหานคร.

สำราญ ยอดอุปภัมภ์. 2543. "ปฐพีกลศาสตร์เบื้องต้น. " หน้า122.

Brent Eric Mason. 2014. **Groundwater and surface water interactions Down-Gradient from a Decades-Old Crude Oil Spill, Beltrami Country Minnesota.** A Thesis, The Faculty of University of Minnesota.

Song Yanxun. 2011. **Analysis of the groundwater and soil pollution by oil leakage.** College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University Xi'an China.

Waterloo Hydrogeologic Inc. 2006. **Visual MODFLOW User's Manual.** Waterloo Hydrogeologic INC, Ontario.

Wilson, B. H., J. T. Wilson, D. H. Kampbell, B. E. Bledsoe, and J. M. Armstrong, **Biotransformation of monoaromatic and chlorinated hydrocarbons at an aviation gasoline spill site**, Geomicrobio.

Wilson, J. T., D. H. Kampbell, and J. Armstrong, **Natural bioreclamation of alkylbenzenes (BTEX) from a gasoline spill in methanogenic ground water**, in Hydrocarbon Bioremediation, edited by R. E. Hinchee, B.C. Alleman, R. E. Hoeppel, and R. N. Miller, pp. 418-423, Lewis, Boca Raton, Fla., 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

รูปแปลนของทิศทางการไหลของน้ำบาดาลสำหรับแบบจำลองแบบจำลอง ARCGIS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผก. 1 หลุมเจาะสำรวจที่ใช้ในแบบจำลอง ARCGIS

หลุมเจาะ	Elev. (meter)	XcoordUTMNAD83_m	YcoordUTMNAD83_m	Depth (ft)
well 303	430.640	342766.44	5271052.84	24.87
well 307	426.214	342759.95	5271209.13	11.25
well 308	427.732	342823.71	5271128.47	17.88
well 310D	433.787	342603.63	5270954.99	34.83
well 311	433.427	342882.66	5271084.45	37.38
well 313	424.979	342787.92	5270841.44	6.59
well 315	430.593	342784.16	5271033.98	26.24
well 401	430.840	342542.55	5270674.44	24.75
well 407	432.120	341749.58	5271198.25	26.03
well 417A	423.356	342902.24	5271033.47	54.62
well 417B	423.287	342900.61	5271033.58	44.36
well 417D	423.285	342901.40	5271032.20	33.39
well 419A	433.010	342845.75	5271039.55	35.46
well 419C	423.531	342842.71	5271039.74	33.18
well 420B	423.745	342818.83	5271043.13	44.45
well 604B	430.720	342752.39	5271028.04	20.12
well 606	430.570	342688.60	5271005.76	81.97
well 607	423.470	342832.55	5271035.97	78.99
well 702A	423.430	342824.05	5271130.91	15.65
well 702B	423.536	342826.24	5271129.82	55.20
well 702C	423.280	342823.91	5271131.59	24.68
well 710	432.666	342788.14	5271105.24	33.07
well 812	432.460	342776.02	5271005.39	29.81
well 981	426.360	342831.10	5270909.81	16.28
well 9015	430.950	342789.11	5271039.13	29.23



ภาพผนวกที่ 1 เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลในปีค.ศ.2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 2 เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลในปีค.ศ.2001-2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



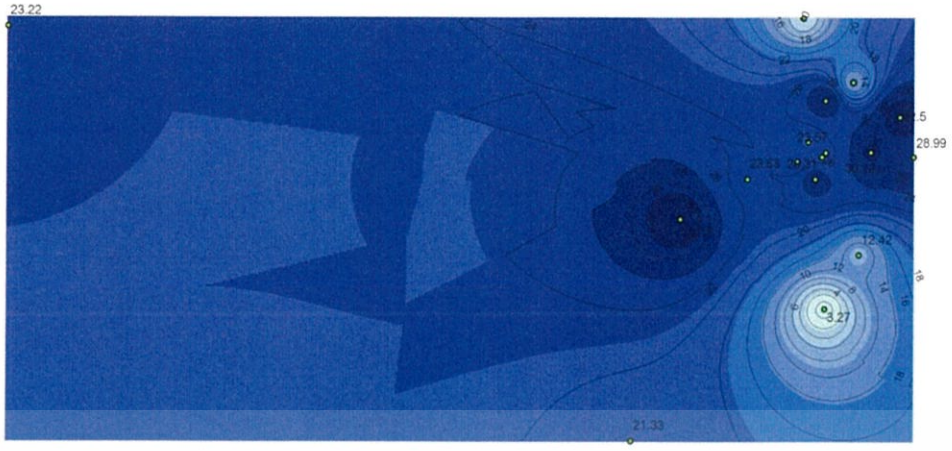
ภาพผนวกที่ 3 เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลในปีค.ศ.2004-2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 4 เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลในปีค.ศ.2007-2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 5 เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลในปีค.ศ.2010

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

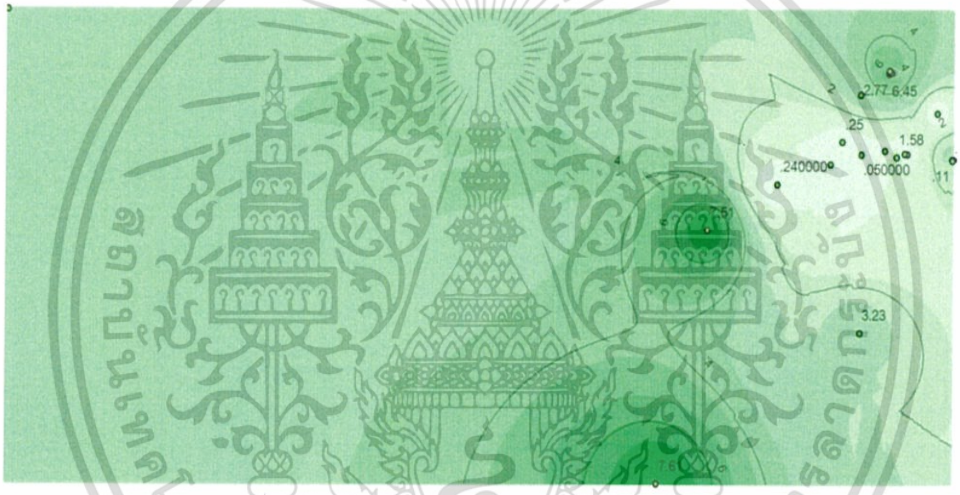


ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 6 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบาดาลปีค.ศ.2000

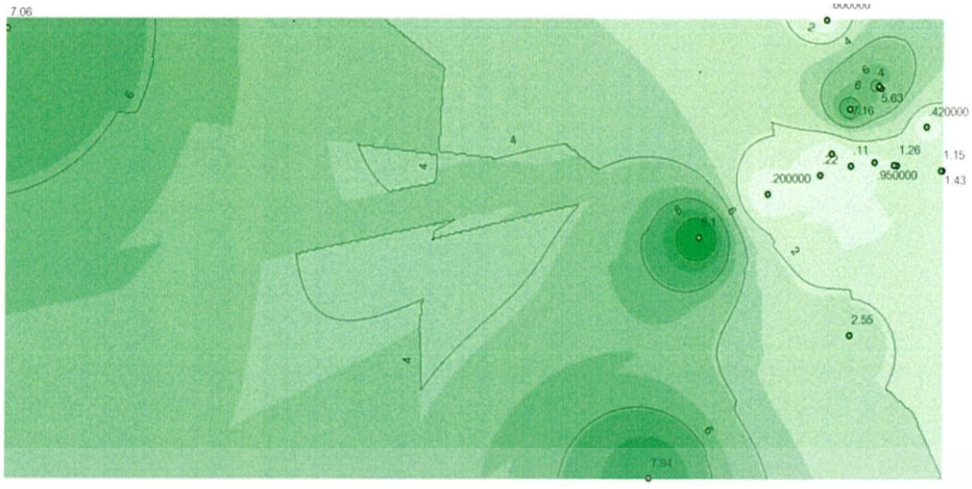


ภาพผนวกที่ 7 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบาดาลปีค.ศ.2005

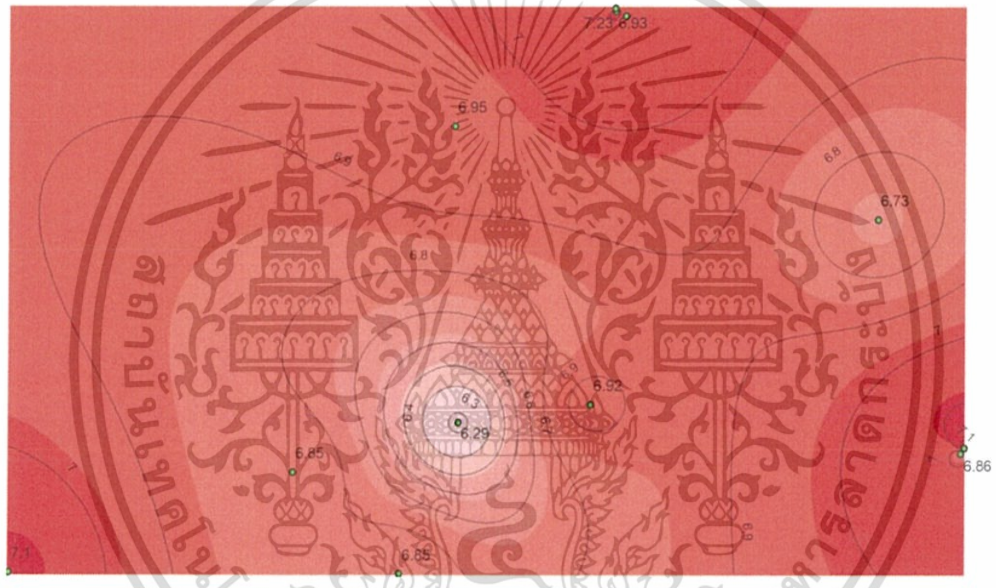


ภาพผนวกที่ 8 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบาดาลปีค.ศ.2010

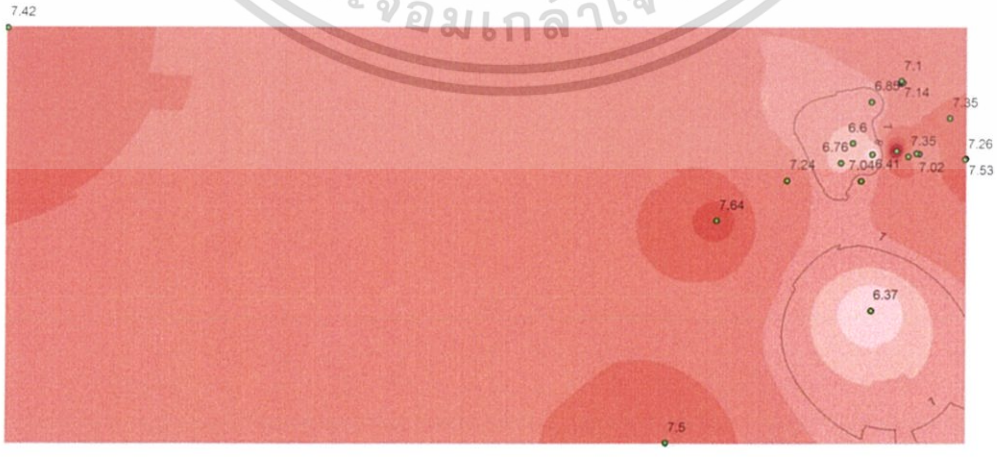
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 9 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำบาดาลปีค.ศ.2012

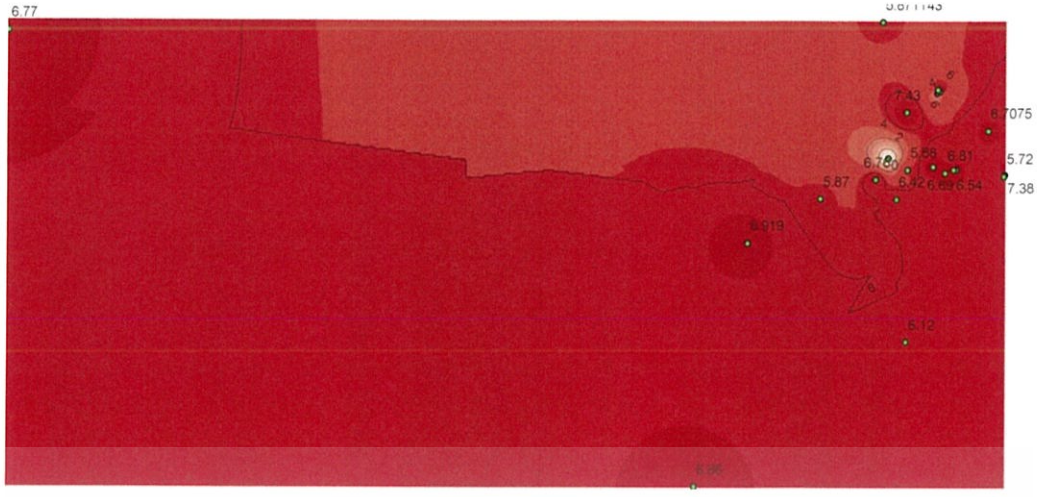


ภาพผนวกที่ 10 ความเป็นกรด-ด่างในน้ำบาดาลปีค.ศ.2000



ภาพผนวกที่ 11 ความเป็นกรด-ด่างในน้ำบาดาลปีค.ศ.2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

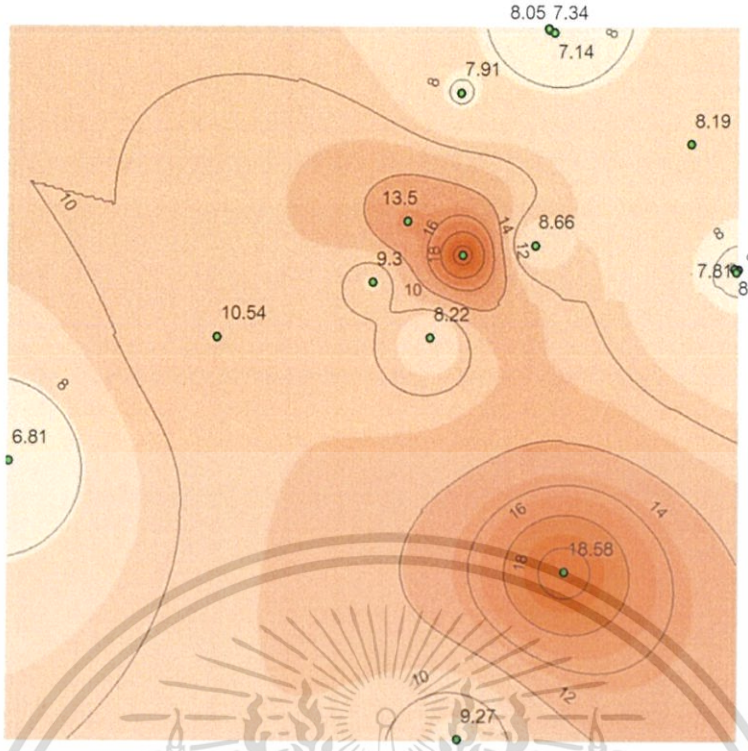


ภาพผนวกที่ 12 ความเป็นกรด-ด่างในน้ำบาดาลปีค.ศ.2010

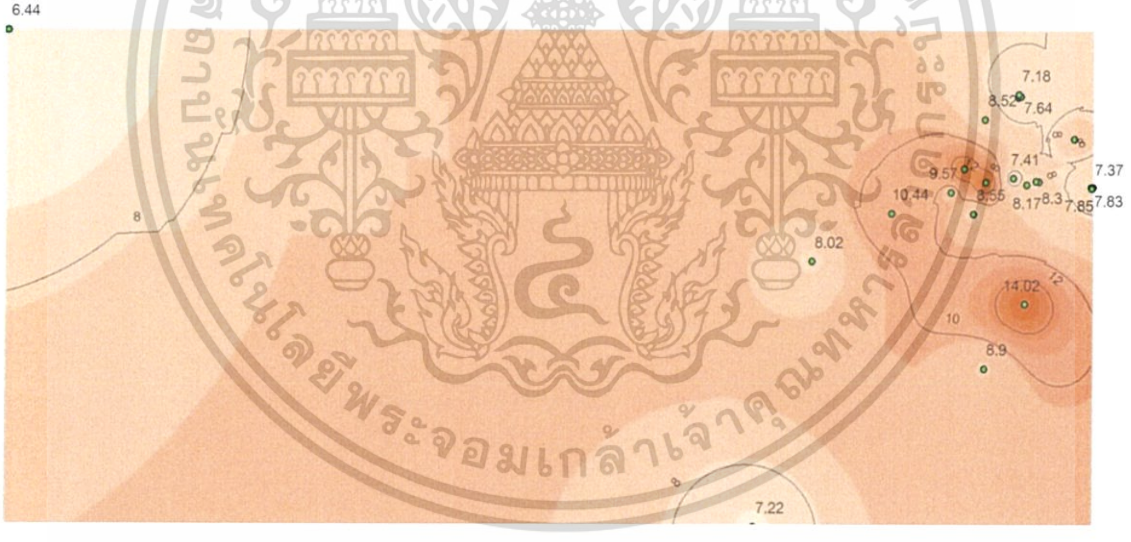


ภาพผนวกที่ 13 ความเป็นกรด-ด่างในน้ำบาดาลปีค.ศ.2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 14 อุณหภูมิในน้ำบาดาลปีค.ศ.2000



ภาพผนวกที่ 15 อุณหภูมิในน้ำบาดาลปีค.ศ.2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



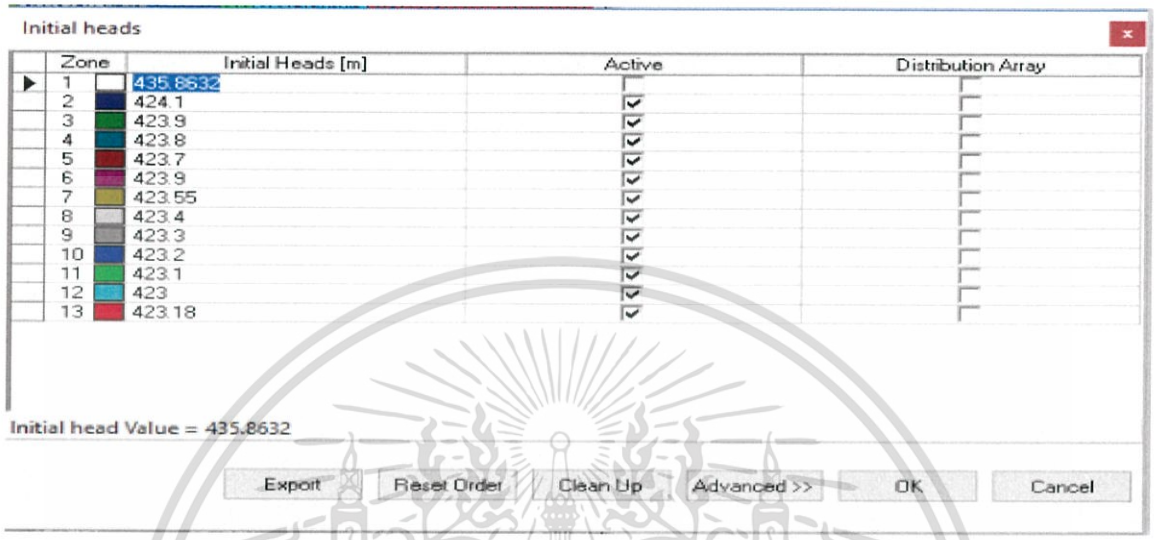
ภาพผนวกที่ 16 อุณหภูมิในน้ำบาดาลปีค.ศ.2010



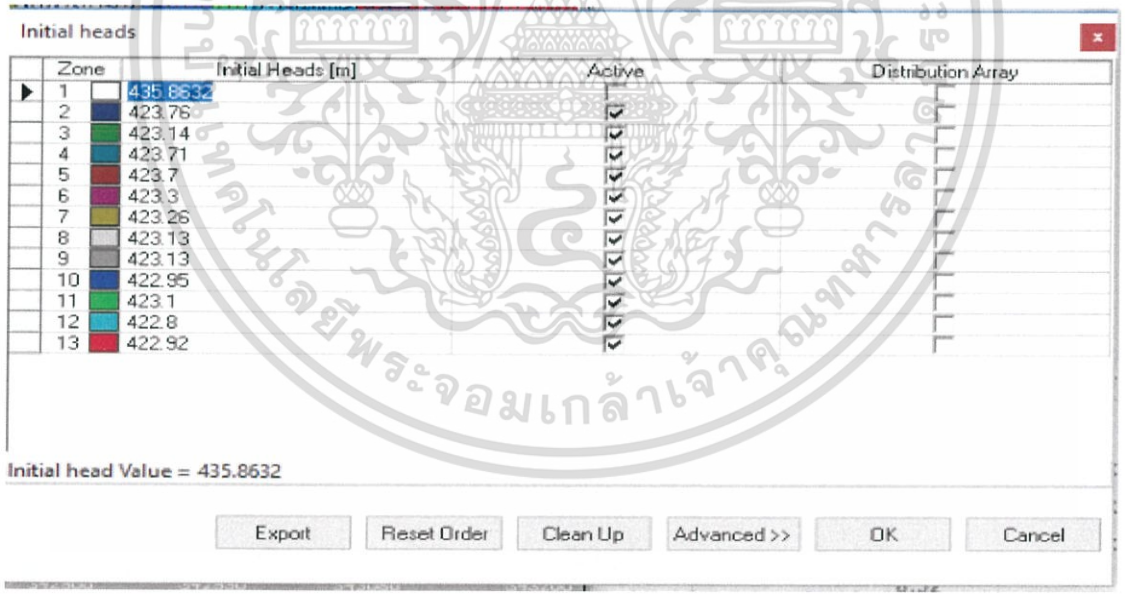
ภาพผนวกที่ 17 อุณหภูมิในน้ำบาดาลปีค.ศ.2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

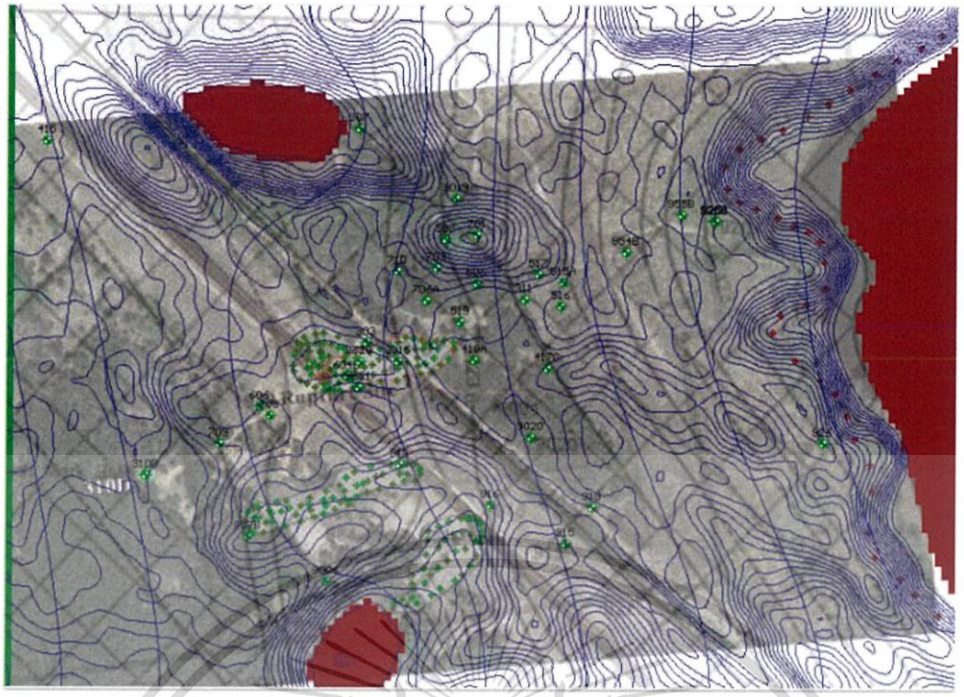
ตารางที่ ผก. 2 แสดงค่าระดับน้ำบาดาลเริ่มต้นแบบจำลองชลศาสตร์ Calibration



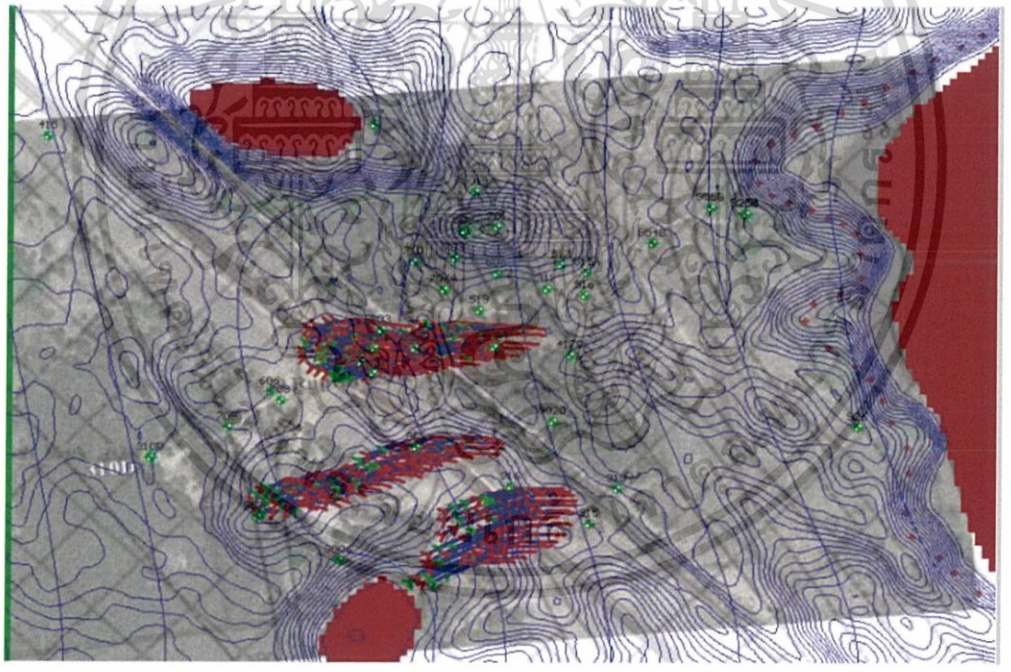
ตารางที่ ผก.3 แสดงค่าระดับน้ำบาดาลเริ่มต้นแบบจำลองชลศาสตร์ Validation



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

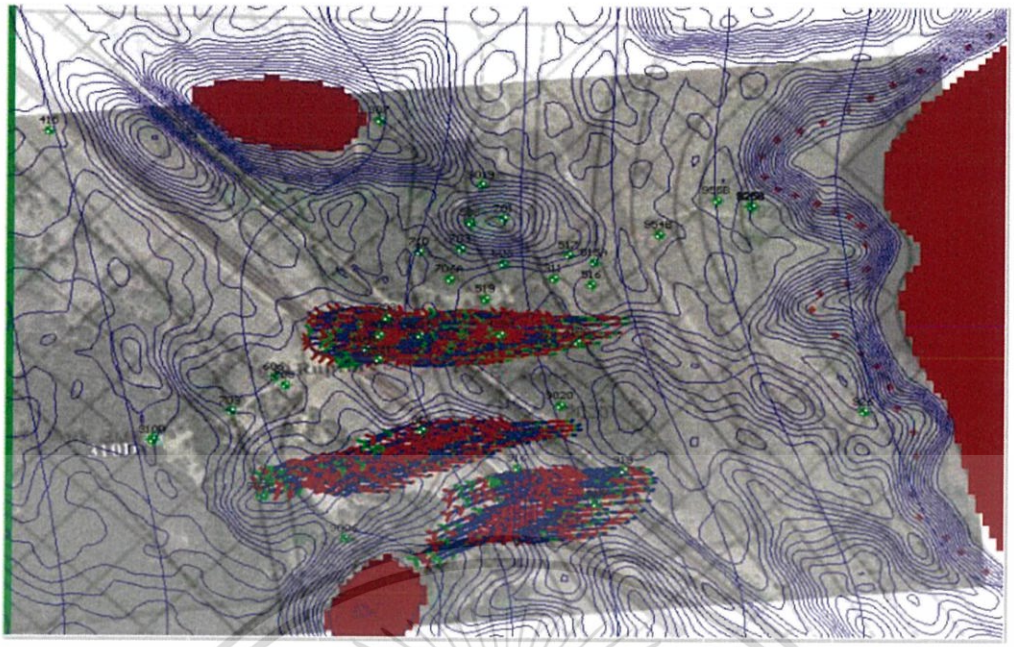


ภาพผนวกที่ 18 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มในปีค.ศ.2000

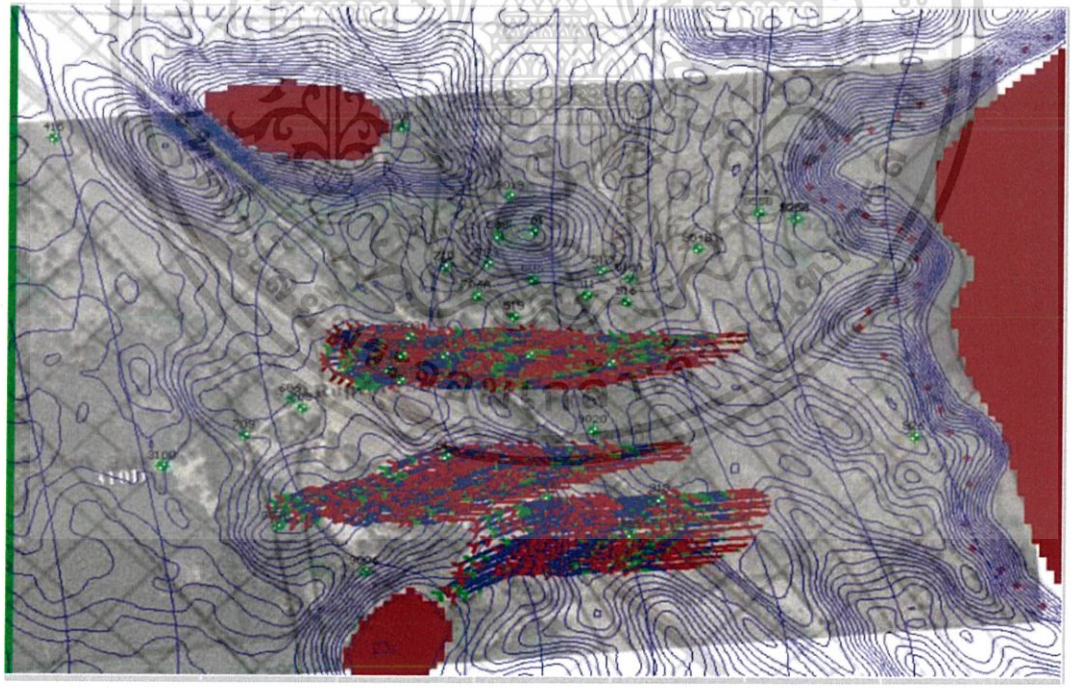


ภาพผนวกที่ 19 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มในปีค.ศ.2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

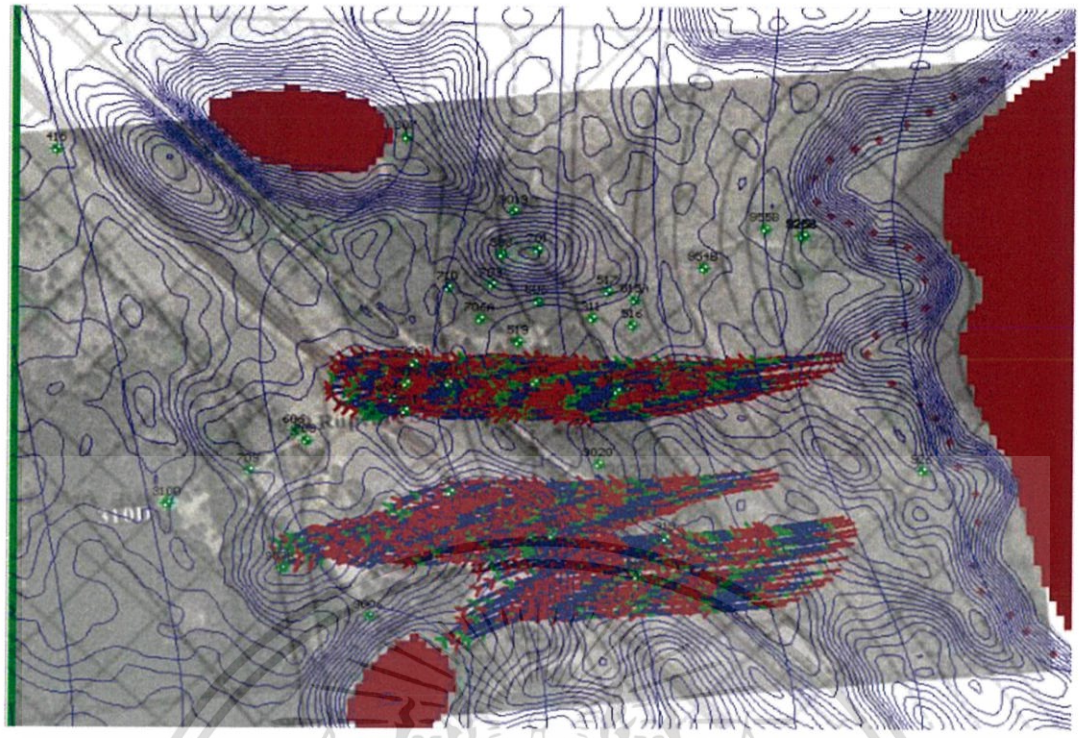


ภาพผนวกที่ 20 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มในปีค.ศ.2002

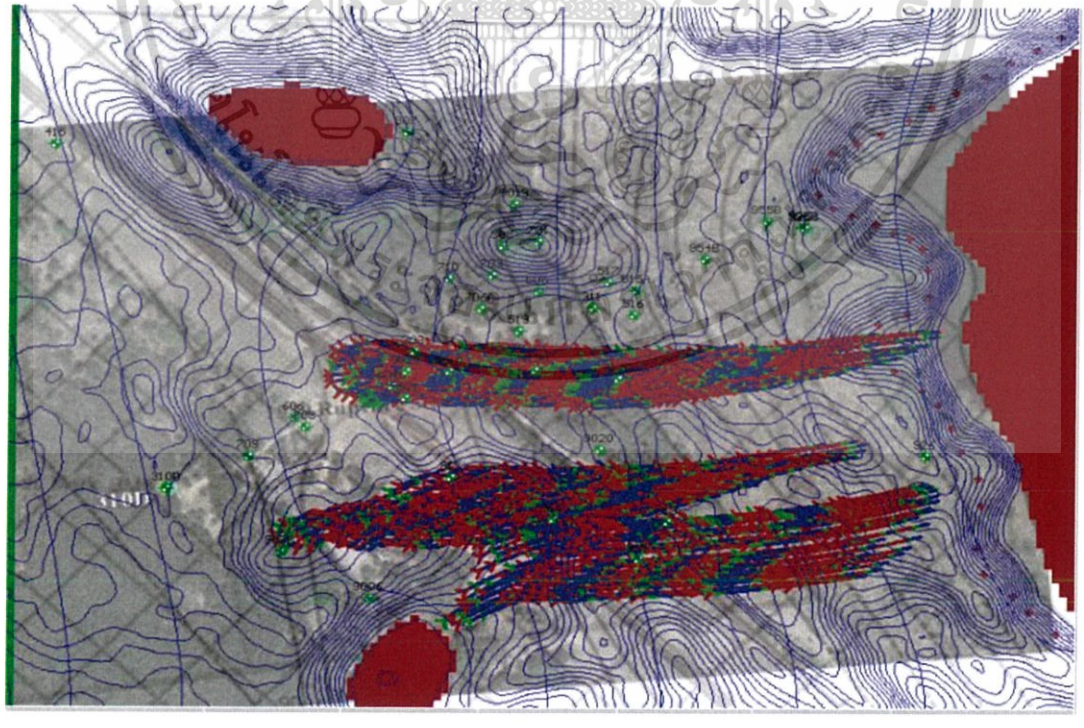


ภาพผนวกที่ 21 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มในปีค.ศ.2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

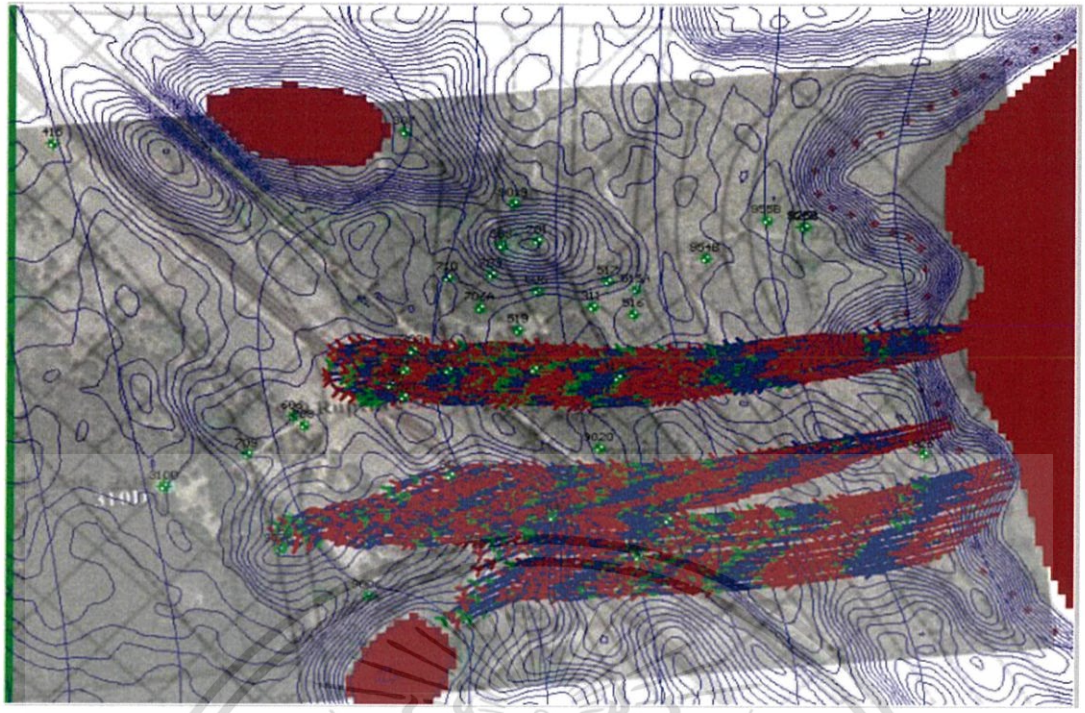


ภาพผนวกที่ 22 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มในปีค.ศ.2004

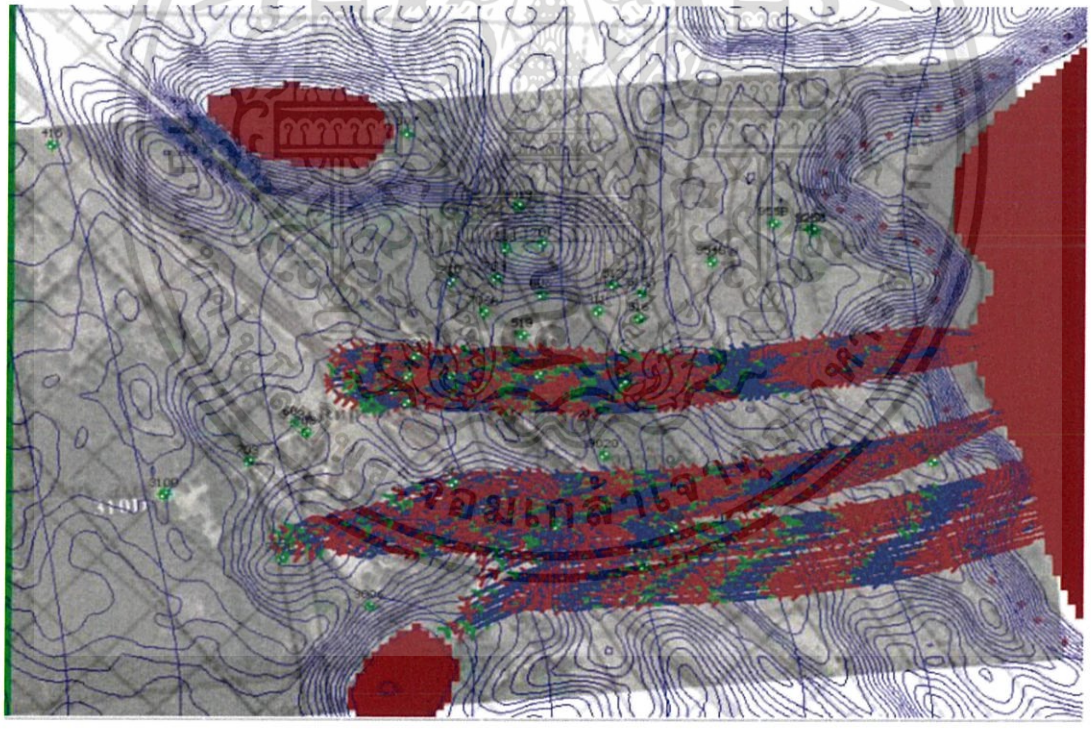


ภาพผนวกที่ 23 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มในปีค.ศ.2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 24 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มในปีค.ศ.2006



ภาพผนวกที่ 24 การเคลื่อนที่ของตะกอนน้ำมันทั้ง 3 กลุ่มในปีค.ศ.2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้