



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

.....
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

.....
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง อิทธิพลของความเข้มฝนต่อการคาดการณ์การปนเปื้อนและแพร่กระจายของสารมลพิษ
ในน้ำใต้ดิน โดยใช้แบบจำลอง Visual MODFLOW Premium 2009

Influence of Rainfall Intensity on the Prediction of Pollutant Contamination and
Dispersion in Groundwater using Visual MODFLOW Premium 2009

นามผู้วิจัย นายบรรจบ กิตติกาศ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สัญญา สิริวิทยาปกรณ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....
(อาจารย์สุชาติ เหลืองประเสริฐ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา.....
(รองศาสตราจารย์ชาติ เลียมไชยศรี, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

สืบสิงห์ มทวียาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

อิทธิพลของความเข้มฝนต่อการคาดการณ์การปนเปื้อนและแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดิน
โดยใช้แบบจำลอง Visual MODFLOW Premium 2009

Influence of Rainfall Intensity on the Prediction of Pollutant Contamination and Dispersion in
Groundwater using Visual MODFLOW Premium 2009

โดย

นายบรรจบ กิตติกาศ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2555

บรรจบ กิตติาศ 2555: อิทธิพลของความเข้มข้นต่อการคาดการณ์การปนเปื้อนและ
แพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดิน โดยใช้แบบจำลอง Visual MODFLOW Premium
2009 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สัญญา สิริวิทยาปกรณ์, Ph.D. 91 หน้า

ปริมาณน้ำฝนจะแปรผันตรงต่ออัตราการเติมน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการศึกษา
แบบจำลองการไหล และการแพร่กระจายของสารมลพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ บริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ด้วย
โปรแกรมสำเร็จรูป Visual MODFLOW Premium 2009 ทั้งในสถานะคงที่และสถานะที่มีการ
เปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยนำเข้าสู่ข้อมูลอัตราการเติมน้ำใต้ดินซึ่งแปรผันตามข้อมูลปริมาณฝนต่างกัน
3 สถานะ ที่ระยะเวลา 1 ปี และ 10 ปี พร้อมทั้งจำลองสถานการณ์การปนเปื้อนจากพื้นที่แหล่งกำเนิด
ขนาด 0.5, 5 และ 9 ตารางกิโลเมตร ของสารมลพิษสมมติ 3 กลุ่มที่ค้ำเนื่องถึงคุณสมบัติการเคลื่อนที่
หรือละลายไปกับน้ำ คุณสมบัติการดูดซับ และคุณสมบัติการเกิดปฏิกิริยาที่ต่างกันเพื่อศึกษาขนาด
พื้นที่ปนเปื้อน และปริมาณมวลสาร พร้อมทั้งเปรียบเทียบร้อยละความแตกต่างกับสถานะควบคุม

ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นไม่มีอิทธิพลต่อการไหลของน้ำใต้ดินในทุกกรณีศึกษา และ
จากอิทธิพลของความเข้มข้นต่อการศึกษาแบบจำลองน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ศึกษา ในกรณีที่เลวร้าย
ที่สุด พบว่ากรณีศึกษาพฤติกรรมของสารมลพิษที่เคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำโดยที่ไม่มีการดูดติด
ผิวและการย่อยสลาย จะเป็นกรณีการศึกษาในสถานะคงที่ ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิด
ขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร กรณีศึกษาพฤติกรรมของสารมลพิษที่เคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำโดยมี
การดูดติดผิวแต่ไม่มีการย่อยสลาย จะเป็นกรณีการศึกษาในสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ที่ระยะเวลา
1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร และกรณีศึกษาพฤติกรรมของสารมลพิษที่
เคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำโดยที่มีการดูดติดผิวและมีการย่อยสลายจะเป็นไปได้ในทุกกรณีของ
การศึกษา

Bunjob Kitikard 2012: Influence of Rainfall Intensity on the Prediction of Pollutant Contamination and Dispersion in Groundwater using Visual MODFLOW Premium 2009. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Sanya Sirivithayapakorn, Ph.D. 91 pages.

Rainfall pattern is direct variation with recharge rate to the groundwater aquifer that is an important factor for groundwater flow model and dispersion of pollutant in groundwater. The Study area is in Map Ta Phut Municipality, Muang District, Rayong Province. This research study used the mathematical models is Visual MODFLOW Premium 2009 software, both in the steady and transient state with input recharge rate, which varies according to 3 different rainfall patterns in 1 to 10 year and with simulation of the contamination size of source area about 0.5, 5 and 9 square kilometers. Three groups of pollutants were considered in the simulations, taking into account the properties of advective – dispersive transport, the sorption process and different of reaction property for studied the contaminant area and mass together with compare the percentage different with control state.

The results showed that the rainfall intensity did not affect the groundwater flow in all cases of study. The influence of rainfall intensity on groundwater model in study area found that in the worst case, when consider the plume area, the result showed that the behavior of advective – dispersive transport, no sorption and reaction is in the steady state, time period of 10 years and from 0.5 square kilometers. A case study of advective – dispersive transport, sorption and no reaction is in the transient state, time period of 1 year and from 9 square kilometers. And a case study of a advective – dispersive transport, sorption and reaction are possible in all cases of study.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงยิ่งจาก อาจารย์ ดร. พัทธพร อิทธิสุนันท์ ประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว ผู้ทรงคุณวุฒิจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สัณญา สิริวิทยาปกรณ์ ประธาน กรรมการผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. สุชาติ เหลืองประเสริฐ กรรมการควบคุม วิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาช่วยเหลือในการวางแผนและสร้างแนวทางในการวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จ สมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณกรรองจิต และเด็กชายกิตติกันต์ กิติกาสร วมทั้งเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมา จนวิทยานิพนธ์ เล่มนี้ประสบผลสำเร็จ

บรรจบ กิติกาสร

กุมภาพันธ์ 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	23
ผลการทดลองและวิจารณ์	35
สรุปและข้อเสนอแนะ	66
สรุป	66
ข้อเสนอแนะ	67
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	68
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก ข้อมูลปริมาณน้ำฝนของสถานีอุตุนิคมวิทยาจังหวัดระยอง	72
ภาคผนวก ข รายงานชั้นดินหินจากหลุมเจาะน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่ศึกษา	76
ภาคผนวก ค ข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินสำหรับอุปโภค-บริโภคบริเวณพื้นที่ศึกษา	81
ภาคผนวก ง รายละเอียดข้อมูลนำเข้าการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์น้ำใต้ดิน	83
ภาคผนวก จ รายละเอียดเครื่องมือย่อยการศึกษาแบบจำลองการแพร่กระจายของสาร	85
ภาคผนวก ฉ ผลการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดิน	88
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	91

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อมูลอัตราการเติมน้ำ (Recharge rate)	30
2	สรุปการเปรียบเทียบร้อยละความแตกต่าง (Percent difference) กับสภาวะควบคุม	64
ตารางผนวกที่		
ก1	ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดระยอง	73
ข1	ข้อมูลชั้นดินหินจากหลุมเจาะน้ำใต้ดินบริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง	77
ค1	ข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินสำหรับอุปโภค-บริโภคบริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง	82
ง1	ข้อมูลนำเข้าการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์น้ำใต้ดิน	84
จ1	รายละเอียดเครื่องมือย่อยการศึกษาแบบจำลองการแพร่กระจายของสาร	86
ฉ1	สรุปผลการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดิน	89

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ทิศทาง และรูปแบบการไหลของน้ำใต้ดิน	4
2 ผลของกลไกการเปลี่ยนแปลงและการเคลื่อนตัวที่มีต่อรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับเวลา (ก) ปนเปื้อนในคราวเดียว (ข) ปนเปื้อนแบบต่อเนื่อง	7
3 แหล่งกำเนิดการปนเปื้อนของสารมลพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน	10
4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับการเติมน้ำใต้ดินรายปี	14
5 ลักษณะของกริดที่สมมติในการคำนวณ VCONT แบบ Single geohydrologic unit	15
6 ขอบเขตและลักษณะของพื้นที่ศึกษา	16
7 รูปแบบข้อมูลปริมาณน้ำฝน (ก) ระยะเวลา 1 ปี (ข) ระยะเวลา 10 ปี	18
8 อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย บริเวณพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดระยอง	19
9 ตำแหน่งที่ตั้งบ่อน้ำใต้ดินสำหรับอุปโภคและบริโภคบริเวณพื้นที่ศึกษา	21
10 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลบริเวณพื้นที่ศึกษา	21
11 ข้อมูลเชิงรูปภาพ (Graphical data) ของพื้นที่ศึกษา	25
12 การออกแบบกริด (Grids design) ของพื้นที่ศึกษา	26
13 ขอบเขตระดับน้ำคงที่ (Constant head) ของพื้นที่ศึกษา	27
14 สภาพนำทางชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity) ของพื้นที่ศึกษา	28
15 พื้นที่แหล่งกำเนิดสารมลพิษของพื้นที่ศึกษา	32
16 แผนผังการจำลองการไหลน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของสารมลพิษ	33
17 ผลจำลองการไหลของน้ำใต้ดินบริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด ที่ระยะเวลา 1 ปี	36
18 ผลจำลองการไหลของน้ำใต้ดินบริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด ที่ระยะเวลา 10 ปี	37
19 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร	40
20 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport and Sorption process ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
21 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport, Sorption and reaction process ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร	42
22 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport ที่ระยะเวลา 10 ปี พื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร	43
23 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport and Sorption process ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร	44
24 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport, Sorption and reaction process ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร	45
25 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร	48
26 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport and Sorption process ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร	49
27 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport, Sorption and reaction process ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร	50
28 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport ที่ระยะเวลา 10 ปี พื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร	51
29 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport and Sorption process ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
30 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport, Sorption and reaction process ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร	53
31 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร	56
32 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport and Sorption process ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร	57
33 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport, Sorption and reaction process ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร	58
34 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport ที่ระยะเวลา 10 ปี พื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร	59
35 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport and Sorption process ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร	60
36 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport, Sorption and reaction process ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร	61
37 เปรียบเทียบร้อยละความแตกต่างของ (ก) ขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (ข) ปริมาณมวลสารระหว่าง Steady state Accumulate Rainfall กับ Control state	65

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	สารมลพิษกลุ่มที่ค้ำึงคุณสมบัติการเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ
A	=	พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล
A^*	=	อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลสารภายในปริมาตรควบคุม
B	=	สารมลพิษกลุ่มที่ค้ำึงคุณสมบัติการเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำและ คุณสมบัติการดูดซับ
B^*	=	อัตราที่มวลสารไหลเข้า
$c(x,t)$	=	ค่าความเข้มข้นของมวลสาร
$c_R(x,t)$	=	ความเข้มข้นของมวลสารในน้ำที่เติมเข้า
C	=	สารมลพิษกลุ่มที่ค้ำึงคุณสมบัติการเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ คุณสมบัติการดูดซับและการเกิดปฏิกิริยา
C	=	ความเข้มข้นสารปนเปื้อนละลายในน้ำใต้ดิน
C_s	=	ความเข้มข้นที่เข้าไปในขอบเขตพื้นที่ (Sources) หรือไหลออกจากขอบเขต พื้นที่ (Sinks)
C^*	=	อัตราที่มวลสารไหลออก
D_{ij}	=	การแพร่กระจาย (Hydrodynamic dispersion coefficient)
D^*	=	อัตราที่มวลสารเกิดขึ้นหรือถูกเติมเข้า
E_n	=	ผลการศึกษาในกรณีสถานะที่ n
E^*	=	อัตราที่มวลสารสลายตัวหรือถูกแยกออก
Gr	=	ชั้นหินแกรนิต
h	=	ระดับน้ำ (Head)
K	=	ความนำทางชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity)
K_d	=	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Distribution coefficient)
K_x	=	ความนำทางชลศาสตร์ในแนวแกน x
K_y	=	ความนำทางชลศาสตร์ในแนวแกน y
K_z	=	ความนำทางชลศาสตร์ในแนวแกน z
l	=	ระยะทางการไหล
L	=	ความยาวของพื้นที่
m	=	เมตร

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

M	= ปริมาณมวลสาร
p	= ความพรุนต่อเนื่องของชั้นน้ำ (Effective porosity)
$P.c$	= อัตราการระบายออกของมวลสารต่อหน่วยปริมาตร
$P(x,t)$	= อัตราการสูบน้ำต่อหน่วยปริมาตรของชั้นน้ำ
q	= อัตราไหลต่อพื้นที่หน้าตัด
$q_{c,total}$	= อัตราการเคลื่อนที่ของสารผ่านหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดชั้นวัสดุตัวกลาง
q_s	= ปริมาณฟลักซ์ของน้ำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดชั้นน้ำที่ไหลเข้า (+) และไหลออก (-)
Q	= อัตราไหล
Q_{cl}	= ชั้นตะกอนที่ราบเชิงเขา
Q_{cp}	= ชั้นตะกอนน้ำพา
$R.c_R$	= อัตราการอัดมวลสารเข้าต่อหน่วยปริมาตร
$R(x,t)$	= อัตราการการเติมน้ำที่ตำแหน่ง x ต่อหน่วยปริมาตร
sq.km.	= ตารางกิโลเมตร
SAR	= การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสถานะคงที่ที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสม
S_s	= ค่าการกักเก็บเฉพาะ (Specific storage)
T	= เวลา
TAR	= การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย
TIN	= เส้นชั้นความสูงจากโครงข่ายสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า (Triangulated Irregular Network)
TMR	= การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน
v_j	= ความเร็วที่เป็นเส้นตรงของน้ำในช่องว่าง
$VK_{i,j,k}$	= Vertical hydraulic conductivity of cell i,j,k
W	= การเติมน้ำ (+) หรือสูบน้ำออก (-)
x_i	= ระยะทางของแต่ละทิศทาง
$\Delta v_{i,j,k_i}$	= The saturated thickness of cell i,j,k

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$\theta\rho\Gamma$	= อัตราที่มวลสารเกิดขึ้นจากกระบวนการนี้ต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุตัวกลาง
f	= อัตราที่มวลสารออกจากรู้นี้ต่อหน่วยปริมาตรวัสดุตัวกลาง
Γ	= อัตราที่มวลสารเกิดขึ้นต่อหน่วยมวลของน้ำภายในหนึ่งหน่วยปริมาตรวัสดุตัวกลาง
$\sum_{k=1}^N R_k$	= เทอมของปฏิกิริยาเคมี (Chemical reaction term)

อิทธิพลของความเข้มข้นต่อการคาดการณ์การปนเปื้อนและแพร่กระจายของสารมลพิษ ในน้ำใต้ดิน โดยใช้แบบจำลอง Visual MODFLOW Premium 2009

Influence of Rainfall Intensity on the Prediction of Pollutant Contamination and Dispersion in Groundwater using Visual MODFLOW Premium 2009

คำนำ

ปัญหาการปนเปื้อนของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มเพิ่มปริมาณที่สูงขึ้น ซึ่งจากรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม และรายงานสถานการณ์ปริมาณสารมลพิษที่เกิดขึ้นในแต่ละปีที่ผ่านมาพบว่า มีปัญหามลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมไปถึงปัญหาการปนเปื้อนสารมลพิษในน้ำใต้ดิน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553) ซึ่งอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น กรณีรั่วไหลของน้ำชะขยะบริเวณหลุมฝังกลบ การรั่วไหลบริเวณที่มีการฝังถังสารเคมีหรือน้ำมันใต้ดิน และจากการประกอบการอุตสาหกรรม (Fetter, 1999) อันเป็นสาเหตุให้มีการติดตาม ตรวจสอบ และเฝ้าระวังปัญหา

ด้วยเหตุนี้การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาศึกษาภาพ และสถานภาพด้านสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำใต้ดินจึงมากขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งแบบจำลอง Visual MODFLOW ก็เป็นแบบจำลองหนึ่ง ที่สร้างขึ้นภายใต้กฎเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์ และผ่านการทดสอบแล้วว่ามีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับสูง (วิจิตร, 2549) ซึ่งในการสร้างแบบจำลองนั้นจะต้องมีการนำเข้าข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆที่มีค่าแตกต่างกันไปตามแต่ละลักษณะของพื้นที่ศึกษา อัตราการเติมน้ำใต้ดิน (Recharge rate) ก็เป็นพารามิเตอร์สำคัญ ที่แปรผันโดยตรงตามปริมาณน้ำฝน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) โดยสามารถจำแนกเป็นข้อมูลปริมาณฝนสะสม ปริมาณฝนรวมเฉลี่ย และปริมาณฝนตามช่วงเวลา ทั้งนี้ตามสภาวะและช่วงเวลาของแบบจำลองที่ทำการศึกษา (Mary *et al.*, 1991)

การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของการนำเข้าข้อมูลความเข้มข้นต่อสถานการณ์การปนเปื้อนของสารมลพิษสมมติที่ต่างกัน ทั้งนี้เป็นการเพิ่มความถูกต้องแม่นยำสำหรับการสร้างแบบจำลองบริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด และพื้นที่ลักษณะใกล้เคียงเพื่อเป็นแนวทางการศึกษาต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นต่อการคาดการณ์การปนเปื้อน และการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาที่กำหนด

ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษابริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง
2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ Visual MODFLOW Premium 2009
3. จำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสภาวะคงที่ (Steady State) และเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient State) ที่ระยะเวลา 1 ปี และ 10 ปี
4. ขนาดพื้นที่การแพร่กระจาย และปริมาณมวลสารมลพิษสมมติที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ (Advective – dispersive transport) คุณสมบัติการดูดซับ (Sorption Process) และการเกิดปฏิกิริยา (Reaction) ต่างกัน 3 กลุ่มจากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5, 5 และ 9 ตารางกิโลเมตร

การตรวจเอกสาร

การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นต่อการคาดการณ์การปนเปื้อนและแพร่กระจายของสารมลพิษ เป็นการเพิ่มความถูกต้องแม่นยำสำหรับการสร้างแบบจำลองบริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด หรือพื้นที่ลักษณะใกล้เคียง และสามารถเป็นแนวทางการศึกษาต่อไป

1. น้ำฝน

น้ำฝนเป็นส่วนที่สำคัญมากต่อน้ำในลำธาร น้ำใต้ดิน การคายระเหย การนำพาตะกอนและอุทกภัย จึงเป็นข้อมูลที่พิจารณาเป็นอันดับแรกของความสำคัญทั้งหลาย แต่ต้องตระหนักเสมอว่า การที่จะนำข้อมูลน้ำฝนมาประยุกต์ใช้นั้นจะต้องทำการรวบรวมให้ถูกต้องเพื่อประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ และการประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ซึ่งประกอบด้วย ความเข้ม (Intensity) ข้อมูลปริมาณ (Depth) ระยะเวลาตก (Duration) ความถี่ในการตก (Frequency) และการกระจาย (Area distribution)

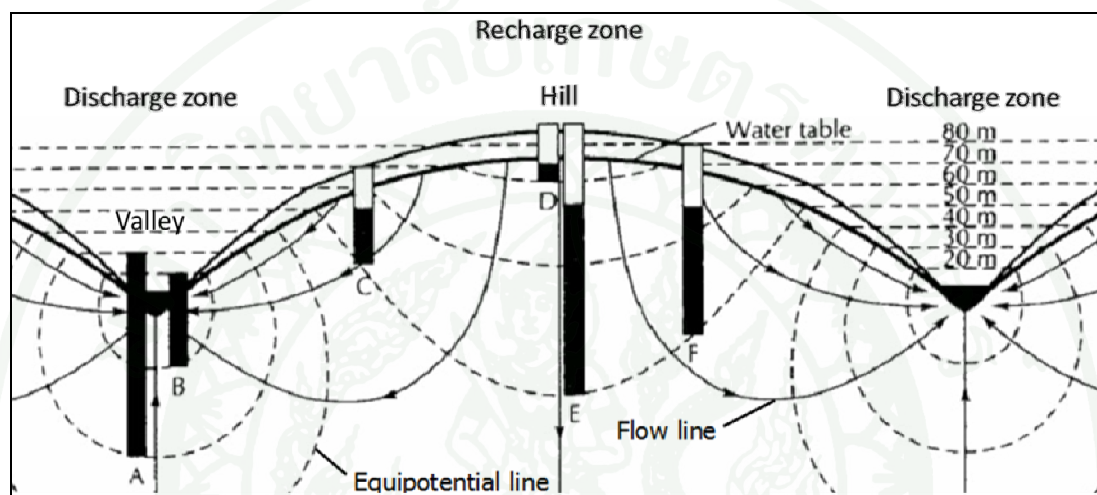
2. น้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรอุทกวิทยา (Hydrologic cycle) เป็นน้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer) ที่มีความเชื่อมต่อกับน้ำผิวดินซึ่งอาจจะเป็นแม่น้ำหรือแหล่งน้ำอื่นๆ โดยแหล่งน้ำผิวดินอาจจะทำหน้าที่เติมน้ำ (Recharge) หรือเป็นที่จ่ายน้ำ (Discharge) ของระบบน้ำใต้ดินก็ได้ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับของแหล่งน้ำนั้นเทียบกับระดับของน้ำใต้ดิน (Water table) ลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำในแต่ละพื้นที่อาจจะเป็นวัสดุที่มีลักษณะต่าง ๆ กันและสามารถกักเก็บน้ำได้ในปริมาณที่แตกต่างกันไป

2.1 รูปแบบ และทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน

รูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นหินอุ้มน้ำไม่มีแรงดัน (Unconfined aquifer) หรือน้ำใต้ดินระดับดินมีลักษณะคือ พื้นที่รับน้ำเป็นพื้นที่ที่อยู่ในระดับสูง ส่วนพื้นที่จ่ายน้ำเป็นพื้นที่ที่อยู่ในระดับต่ำกว่า พื้นที่รับน้ำมักมีเขตสัมผัสอากาศหนากว่าพื้นที่จ่ายน้ำ เส้นระดับน้ำใต้ดิน (Water table contour) จะมีลักษณะโค้งคว่ำ ส่วนพื้นที่จ่ายน้ำจะมีลักษณะโค้งหงาย และทิศทางการไหล

ของน้ำใต้ดินจะเคลื่อนที่จากพื้นที่รับน้ำ (Recharge zone) ไปยังพื้นที่จ่ายน้ำ (Discharge zone) ซึ่งในชั้นหินอุ้มน้ำที่มีคุณสมบัติเหมือนเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous aquifer) ทิศทางการไหลในบริเวณพื้นที่รับน้ำมีทิศทางไหลลง ส่วนบริเวณพื้นที่จ่ายน้ำมีทิศทางการไหลขึ้น โดยบริเวณกึ่งกลางหรือจุดสูงสุดของเส้นระดับน้ำใต้ดิน คือ สันปันน้ำใต้ดิน (Groundwater divide) ซึ่งเป็นบริเวณที่แบ่งแยกแอ่งน้ำใต้ดินทั้งสองออกจากกัน แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ทิศทาง และรูปแบบการไหลของน้ำใต้ดิน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Fetter (1994)

2.2 สมการการไหลน้ำใต้ดิน

จากกฎของดาร์ซี (Darcy's law) สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการไหลผ่านชั้นวัสดุตัวกลางในสามมิติได้ (วินัย, 2553) ซึ่งอัตราการไหลต่อพื้นที่หน้าตัด จะแปรผันตามระดับน้ำและแปรผกผันกับระยะทาง (พรรณนิภา, 2551) สามารถเขียนสมการอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$q = \frac{Q}{A} = -K \frac{dh}{dl} = -K \frac{\Delta h}{\Delta l} \quad \dots (1)$$

โดย q คือ อัตราการไหลต่อพื้นที่หน้าตัด, LT^{-1}

Q คือ อัตราการไหล, L^3T^{-1}

- A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล, L^2
 K คือ ความนำทางชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity), LT^{-1}
 h คือ ระดับน้ำ (Head), L
 l คือ ระยะทางการไหล, L

จากสมการสามารถหาค่าอัตราการไหลเฉพาะในทิศทาง x , y และ z ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} q_x &= -K_x \frac{\partial h}{\partial l} \\ q_y &= -K_y \frac{\partial h}{\partial l} \\ q_z &= -K_z \frac{\partial h}{\partial l} \end{aligned} \quad \dots (2)$$

สมการ (1) และสมการ (2) ยังคงเป็นจริงในกรณีที่วัสดุตัวกลางมีค่าความนำทางชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity), K เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง (x, y, z) แต่ยังคงเท่ากันในทุกทิศทาง (Inhomogeneous isotropic media) นั่นคือ $K = K(x, y, z)$ ซึ่งในกรณีที่วัสดุตัวกลางมีค่าความนำทางชลศาสตร์ไม่เท่ากัน (Anisotropic media) ค่าอัตราการไหลเฉพาะจะคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} q_x &= -K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} = -K_{xy} \frac{\partial h}{\partial y} = -K_{xz} \frac{\partial h}{\partial z} \\ q_y &= -K_{yx} \frac{\partial h}{\partial x} = -K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} = -K_{yz} \frac{\partial h}{\partial z} \\ q_z &= -K_{zx} \frac{\partial h}{\partial x} = -K_{zy} \frac{\partial h}{\partial y} = -K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \end{aligned} \quad \dots (3)$$

ในกระบวนการไหลของน้ำใต้ดิน ไม่ได้ขึ้นอยู่กับชั้นหินอุ้มน้ำและชั้นหินฐาน แต่คำนึงถึงค่าระดับน้ำ (Head) ในรูปแบบสามมิติ ความนำทางชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity) และคุณสมบัติการเก็บกักน้ำ เพื่อช่วยทำให้มองเห็นองค์ประกอบการไหลตามแนวตั้งและแนวนอน ทั้งนี้สามารถแสดงรูปแบบการไหลในรูปแบบสองมิติ และสามมิติ โดยแสดงดังสมการที่ 4 (Mary *et al.*, 1991) ซึ่งเป็นสมการหลักของแบบจำลองการไหลน้ำใต้ดิน MODFLOW

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) \pm W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad \dots (4)$$

โดย W คือ การเติมน้ำ (+) หรือสูบน้ำออก (-), T^{-1}
 S_s คือ ค่าการกักเก็บเฉพาะ (Specific storage), L^{-1}

2.3 สมการการเคลื่อนที่มวลสาร

Freeze and Cherry (1979) กล่าวว่า การเคลื่อนที่และการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินเกิดขึ้นได้ด้วยกลไกหรือกระบวนการต่างๆ ประกอบด้วย

2.3.1 กระบวนการทางกายภาพ

ก. การพา (Advection) เป็นกระบวนการพามวลสารไปพร้อมกับการเคลื่อนที่มวลน้ำอันเนื่องมาจากความแตกต่างของระดับน้ำโดยผ่านไปตามรูพรุนของชั้นหินที่มวลน้ำมีการไหลผ่านซึ่งชั้นหินให้น้ำที่มีค่าการซึมผ่านได้สูง เช่น ทราย หรือกรวด จะมีการเคลื่อนที่แบบนี้เป็นการเคลื่อนที่หลัก

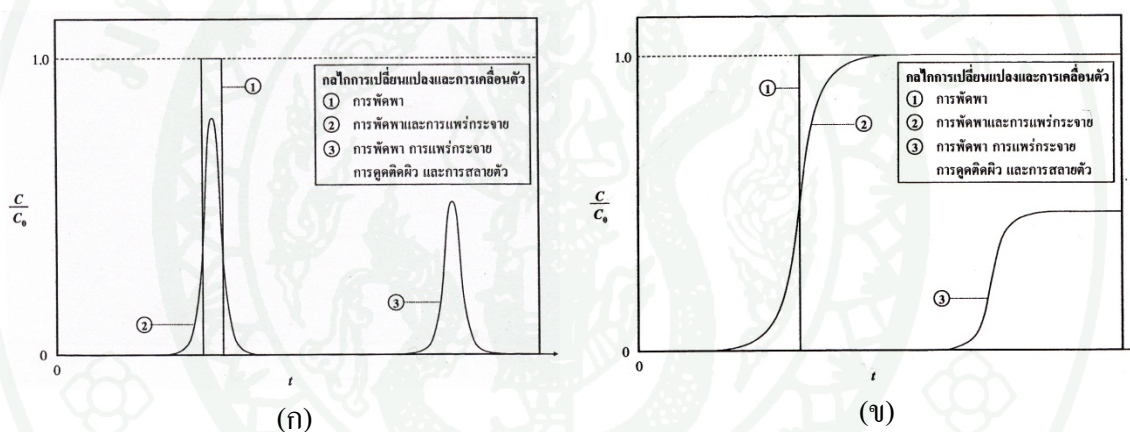
ข. การแพร่กระจาย (Dispersion) เป็นกระบวนการที่มวลสารค่อยๆ แพร่กระจายไปในมวลน้ำโดยจะมีการแพร่ไปในทิศทางเดียวกันและในแนวขวางของทิศทางการไหล ซึ่งเป็นผลจากความเร็วการไหลของน้ำและการแพร่ (Diffusion) จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารปนเปื้อนต่ำ

ค. การดูดติดผิว (Sorption) มี 2 แบบ คือการดูดซับ (Adsorption) คือ กระบวนการที่มวลสารถูกหน่วงเหนี่ยวให้เคลื่อนที่ช้าลง หรือลดความเข้มข้นลงด้วยการยึดติดของโมเลกุล หรือพันธะทางเคมี กับผิวอนุภาคของชั้นหินในน้ำ และการคาย (Desorption) คือการเพิ่มขึ้นของมวลสารในน้ำเนื่องจากการสลายตัวจากสถานะที่เป็นของแข็ง ทั้งนี้ระดับของการดูดติดผิวจะเป็นผลโดยตรงมาจากกระบวนการธรณีเคมี (Geochemical process) ต่างๆ เช่น ค่าความเป็นกรด – ด่าง อุณหภูมิ สารประกอบอื่นๆ และองค์ประกอบของชั้นหินอุ้มน้ำ (Spitz and Marenco, 1996)

2.3.2 กระบวนการทางเคมี เป็นกระบวนการทำปฏิกิริยาของสารเคมีต่างๆในชั้นน้ำใต้ดิน เช่น ปฏิกิริยาการสลายตัว การตกตะกอนของสาร และการละลาย เป็นต้น

2.3.3 กระบวนการทางชีวภาพ เช่น การย่อยสลายโดยจุลชีพ

สัญญา (2553) กล่าวว่า สำหรับการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียว สามารถที่จะสรุปเปรียบเทียบผลของกลไกต่างๆที่มีต่อการเคลื่อนตัวของสารละลาย ประกอบด้วย การพัดพา การแพร่กระจาย การดูดซับ และการปฏิกิริยาการสลายตัวในกรณีที่มีการปนเปื้อนในคราวเดียว แสดงผลเปรียบเทียบดังภาพที่ 2 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเกิดกลไกการดูดซับตัวสารจะมีการเคลื่อนตัวได้ช้าลง ส่วนการเกิดปฏิกิริยานั้นจะทำให้สารมีปริมาณที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป



ภาพที่ 2 ผลของกลไกการเปลี่ยนแปลงและการเคลื่อนตัวที่มีต่อรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นกับเวลา (ก) ปนเปื้อนในคราวเดียว (ข) ปนเปื้อนแบบต่อเนื่อง

ที่มา: สัญญา (2553)

ซึ่งจากสมการสมดุลของมวลสารชนิดหนึ่งๆที่เคลื่อนที่ในชั้นหินอุ้มน้ำดังนี้

$$A^* = (B^* - C^*) + (D^* - E^*) \quad \dots (5)$$

โดย A^* คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลสารภายในปริมาตรควบคุม, $ML^{-3} T^{-1}$
 B^* คือ อัตราที่มวลสารไหลเข้า, $ML^{-3} T^{-1}$
 C^* คือ อัตราที่มวลสารไหลออก, $ML^{-3} T^{-1}$
 D^* คือ อัตราที่มวลสารเกิดขึ้นหรือถูกเติมเข้า, $ML^{-3} T^{-1}$
 E^* คือ อัตราที่มวลสารสลายตัวหรือถูกแยกออก, $ML^{-3} T^{-1}$

วินัย (2553) กล่าวว่า จากสมการสมดุลของมวลมีองค์ประกอบที่ต้องพิจารณาดังนี้

1) อัตราที่มวลสารไหลผ่านเข้า – ออกต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุตัวกลางสามารถคำนวณจาก $-\nabla \cdot q_{c,total}$ โดยที่ $q_{c,total}$ เป็นอัตราการเคลื่อนที่ของสารผ่านหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดชั้นวัสดุตัวกลาง ซึ่งรวมถึงกระบวนการที่สารมลพิษที่ละลายอยู่ในน้ำไหลไปพร้อมกับน้ำในความเร็วเท่ากับความเร็วเฉลี่ยของการไหลของน้ำได้ดิน (Advection) กระบวนการแพร่กระจายของสารมลพิษเนื่องจากความแตกต่างของค่าความเร็วการไหลในช่องว่างของวัสดุตัวกลาง (Dispersion) และกระบวนการที่โมเลกุลของสารละลายจากปริมาณที่มีความเข้มข้นสูงกว่าแพร่ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า

2) มวลสารอาจถูกอัดเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำโดยเป็นสารที่ละลายอยู่ในน้ำที่เดิมลงชั้นหินอุ้มน้ำ ถ้าให้ $R(x,t)$ เป็นอัตราการการเติมน้ำที่ตำแหน่ง x ต่อหน่วยปริมาตร และ $c_R(x,t)$ เป็นความเข้มข้นของมวลสารในน้ำที่เดิมเข้าที่ตำแหน่งนี้ อัตราการอัดมวลสารเข้าต่อหน่วยปริมาตรจะเท่ากับ $R \cdot c_R$

3) มวลสารอาจจะระบายออกจากชั้นหินอุ้มน้ำพร้อมกับน้ำที่ถูกสูบออก ถ้าให้ $P(x,t)$ เป็นอัตราการสูบน้ำต่อหน่วยปริมาตรของชั้นน้ำ และ $c(x,t)$ เป็นค่าความเข้มข้นของมวลสาร อัตราการระบายออกของมวลสารต่อหน่วยปริมาตรเนื่องจากการสูบน้ำได้ดินออกจะเท่ากับ $P \cdot c$

4) มวลสารอาจออกจากรากน้ำผ่านเข้าสู่เนื้อวัสดุตัวกลาง เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีหรือฟิสิกส์ เช่น กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) กระบวนการดูดซับ (Adsorption) เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะให้ f เป็นอัตราที่มวลสารออกจากรากต่อหน่วยปริมาตรวัสดุตัวกลางเนื่องจากกลไกดังกล่าว

5) มวลสารอาจเกิดขึ้นหรือสลายตัวไปโดยปฏิกิริยา (Reaction) ทางเคมีหรือชีวเคมีที่เกิดขึ้นภายในน้ำ ถ้าให้ Γ เป็นอัตราที่มวลสารเกิดขึ้นต่อหน่วยมวลของน้ำภายในหนึ่งหน่วยปริมาตรวัสดุตัวกลาง จะได้ $\theta\rho\Gamma$ เป็นอัตราที่มวลสารเกิดขึ้นจากกระบวนการนี้ต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุตัวกลาง นั่นคือ Source และ Sink ของสารมลพิษในน้ำที่ไหลในชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งเกิดจากกระบวนการหลายรูปแบบ เช่น ปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารประกอบต่างๆที่ละลายในน้ำ การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี (Radioactive decay) และการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) เป็นต้น

เมื่อรวมองค์ประกอบสามารถเขียนสมการสมดุลของมวลสารภายในหนึ่งหน่วยปริมาตรของชั้นวัสดุตัวกลางดังนี้

$$\frac{\partial \theta c}{\partial t} = -\nabla \cdot q_{c, total} - f + \theta\rho\Gamma - Pc + Rc_R \quad \dots (6)$$

จากสมการ (6) ที่เป็นสมการพื้นฐานสามารถเขียนในรูปสมการ Partial differential (Governing equations) อธิบายการเคลื่อนที่สามมิติของสารปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน ซึ่งใช้ในแบบจำลอง MT3D (a modular 3 – dimensional transport model) เพื่อศึกษาการปนเปื้อน และการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดิน โดยเป็นแบบจำลองที่ใช้ร่วมกับแบบจำลอง MODFLOW แสดงดังนี้

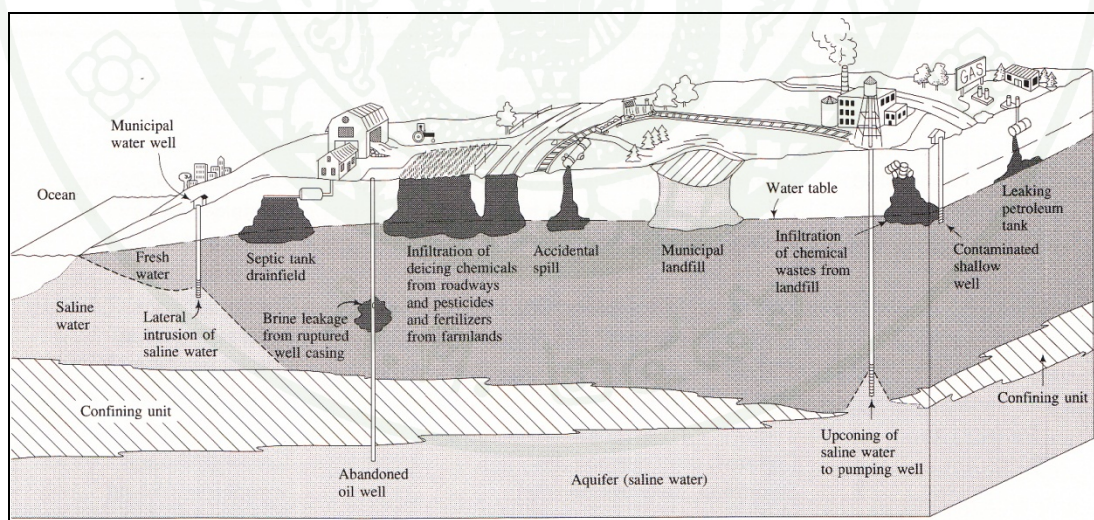
$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (v_j C) + \frac{q_s}{p} C_s + \sum_{k=1}^N R_k \quad \dots (7)$$

โดย	C	คือ ความเข้มข้นสารปนเปื้อนละลายในน้ำใต้ดิน, ML^{-3}
	x_i	คือ ระยะทางของแต่ละทิศทาง, L
	D_{ij}	คือ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Hydrodynamic dispersion coefficient), $L^2 T^{-1}$
	v_j	คือ ความเร็วที่เป็นเส้นตรงของน้ำในช่องว่าง, LT^{-1}
	q_s	คือ ปริมาณฟลักซ์ของน้ำต่อหนึ่งหน่วยชั้นน้ำที่ไหลเข้า (+) และไหลออก (-), T^{-1}

- C_s คือ ความเข้มข้นที่เข้าไปในขอบเขตพื้นที่ (Sources) หรือไหลออกจากขอบเขตพื้นที่ (Sinks), ML^{-3}
- p คือ ความพรุนต่อเนื่องของชั้นน้ำ (Effective porosity)
- $\sum_{k=1}^N R_k$ คือ เทอมของปฏิกิริยาเคมี (Chemical reaction term), $ML^{-3}T^{-1}$

2.4 แหล่งกำเนิดการปนเปื้อนของสารมลพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน

Fetter (1999) อ้างอิงจากรายงานของ Protecting the Nation's Groundwater from Contamination พบว่าแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนของสารมลพิษในแหล่งน้ำใต้ดินที่แตกต่างกันมากกว่า 30 แหล่ง (แสดงดังภาพที่ 3) โดยสามารถจำแนกออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ แหล่งกำเนิดจากการปล่อยสาร แหล่งกำเนิดจากการเก็บสารในระหว่างการขนส่ง แหล่งกำเนิดจากการปล่อยสารที่เป็นผลมาจากกิจกรรมอื่น แหล่งกำเนิดที่ปนเปื้อนเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำ แหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากแหล่งกักเก็บ บำบัด และย่อยสลาย ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของกรณีการศึกษาครั้งนี้ เช่น การรั่วไหลของน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบ (Landfills) ของเสียจากพื้นที่ทำเหมืองแร่ (Mine waste) และการรั่วไหลของสารจากถังกักเก็บใต้ดินบริเวณพื้นที่อุตสาหกรรม



ภาพที่ 3 แหล่งกำเนิดการปนเปื้อนของสารมลพิษในแหล่งน้ำใต้ดิน

ที่มา: Fetter (1999)

2.5 ศักยภาพน้ำใต้ดินบริเวณจังหวัดระยอง

ข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี (2550) แสดงว่า บริเวณจังหวัดระยองมีสภาพแหล่งน้ำใต้ดินที่แตกต่างกันทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ ซึ่งสามารถจำแนกแหล่งน้ำใต้ดินออกเป็น 2 ประเภท คือ แหล่งน้ำใต้ดินในชั้นหินร่วน และแหล่งน้ำใต้ดินในชั้นหินแข็ง ดังนี้

2.5.1 แหล่งน้ำใต้ดินในชั้นหินร่วน

น้ำใต้ดินที่กักเก็บอยู่ในหินร่วนทั้งหมดจะแตกต่างกันออกไปทั้งปริมาณและคุณภาพ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตะกอน ลักษณะการเกิดและลักษณะโครงสร้างของพื้นที่บริเวณที่ตะกอนสะสมตัว สามารถจำแนกแหล่งน้ำใต้ดินในหินร่วนได้ดังนี้

ก. แหล่งน้ำใต้ดินในตะกอนน้ำพา (Alluvial Deposits)

กรวดทรายของตะกอนน้ำพายุคปัจจุบันที่เกิดขึ้นในภูมิภาคนี้ส่วนใหญ่มีความหนาไม่มาก มีความหนาเฉลี่ย 5-20 เมตร เพราะเป็นทางน้ำขนาดเล็กและมีความยาวสั้นๆ ทั้งนี้พบบริเวณสองข้างฝั่งแม่น้ำหรือทางน้ำเท่านั้น ตะกอนสะสมที่เกิดขึ้นประกอบด้วยทรายละเอียดและดินเหนียว ส่วนตะกอนสะสมบริเวณพื้นที่ที่เป็นหินแกรนิตจะมีตะกอนกรวดและทรายหยาบผสมดินเหนียว ซึ่งที่ราบตะกอนน้ำพาของแม่น้ำระยอง ตั้งแต่อำเภอบ้านค่ายถึงอำเภอเมืองระยอง ตะกอนส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรวดทรายและดินเหนียว โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากหินแกรนิต มีความกว้างเฉลี่ย 1-2 เมตร ความหนาเฉลี่ย 10-15 เมตร ปริมาณน้ำอยู่ในเกณฑ์ 2-7 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ข. แหล่งน้ำใต้ดินในตะกอนตะกัณน้ำ (Terrace Deposits)

การสะสมตัวของตะกอนชุดนี้ประกอบด้วย ตะกอนธารน้ำเก่า ตะกอนน้ำพา รูปพัด และตะกอนจากการทับถมร่องน้ำ ทำให้มีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำไม่ดีและครอบคลุมพื้นที่แคบๆ เท่านั้น ซึ่งที่ราบบริเวณบ้านคลองเรียน ตั้งแต่อำเภอเมืองต่อกับอำเภอแกลง จังหวัดระยอง เป็นตะกอนที่สะสมตัวจากหุบเขา ประกอบด้วย กรวด ทราย เศษหิน และดินเหนียว มีการคัดขนาดดีพอใช้ ความหนาประมาณ 10-14 เมตร ปริมาณน้ำใต้ดินอยู่ในเกณฑ์ 1-40 ลูกบาศก์เมตร

ต่อชั่วโมง และที่ราบแก่ง บริเวณอำเภอแก่ง จังหวัดระยอง เป็นตะกอนจากตะกั่วกลุ่มน้ำ ประกอบด้วย กรวด ทราย และดินเหนียว มีความหนาประมาณ 30-60 เมตร มีปริมาณน้ำใต้ดินอยู่ในเกณฑ์ 5-20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ค. แหล่งน้ำใต้ดินในชั้นทรายชายหาด (Beach Sand Deposits)

ในพื้นที่ริมฝั่งทะเล ตั้งแต่จังหวัดชลบุรีถึงอำเภอแก่ง จังหวัดระยอง เป็นแหล่งน้ำใต้ดินระดับตื้นกักเก็บอยู่ในชั้นทรายชายหาด แหล่งน้ำใต้ดินประเภทนี้ได้รับน้ำจากน้ำฝนโดยตรง เนื่องจากชั้นทรายหาดโผล่อยู่บนผิวดิน ไม่มีดินเหนียวหรือหินเนื้อแน่นปิดทับหรือปกคลุม มีความหนาของชั้นน้ำไม่มาก ประมาณ 1-3 เมตร และมีปริมาณน้ำประมาณ 1-5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2.5.2 แหล่งน้ำใต้ดินในชั้นหินร่วน

แหล่งน้ำใต้ดินในชั้นหินแข็งจัดว่าเป็นชั้นน้ำใต้ดินที่สำคัญของภูมิภาคนี้ เนื่องจากแหล่งน้ำใต้ดินของภาคตะวันออกส่วนใหญ่เกิดในพื้นที่ปกคลุมด้วยหินแข็ง ประมาณร้อยละ 80 ของพื้นที่ทั้งหมด ทั้งนี้ ปริมาณและคุณภาพน้ำต่างแตกต่างกันตามชนิดหินแข็ง โดยแหล่งน้ำใต้ดินดังกล่าวในภูมิภาคนี้ประกอบดังนี้

ก. หินปูน ตั้งแต่ด้านตะวันออกของอำเภอวังจันทร์ จังหวัดระยอง อำเภอวังเย็น จังหวัดสระแก้ว แหล่งน้ำใต้ดินในชั้นหินปูนเป็นแหล่งน้ำใต้ดินที่ดีที่สุด มีปริมาณน้ำใต้ดินอยู่ในเกณฑ์ 20-50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ข. หินภูเขาไฟ ได้แก่ หินแอนดีไซต์และหินไรโอไลต์ ในบริเวณจังหวัดปราจีนบุรี และหินชีสต์และหินไนส์ ในบริเวณอำเภอนันทนิกม จังหวัดชลบุรี แหล่งน้ำใต้ดินนี้มีคุณสมบัติการกักเก็บน้ำรองลงมาจากชั้นหินปูน มีปริมาณน้ำใต้ดินอยู่ในเกณฑ์ 10-40 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

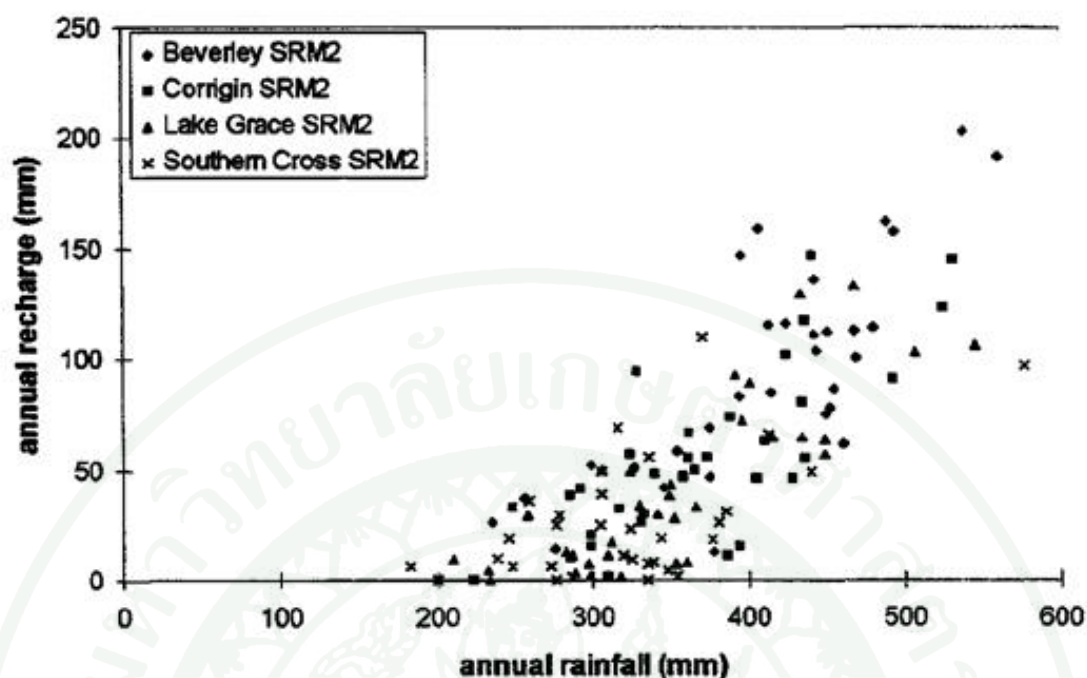
ค. หินชั้นกึ่งหินแปร และหินแกรนิต เป็นแหล่งน้ำใต้ดินที่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของภูมิภาคนี้ มีปริมาณน้ำเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ 1-5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีปริมาณน้ำ

ประมาณ 30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากเป็นแหล่งน้ำใต้ดินในชั้นหินทรายและหินดินดานกึ่งหินชนวน และในพื้นที่อำเภออำเภอศรีมหาโพธิ์และอำเภอบึงบูรพ์บางแห่ง ได้ปริมาณน้ำประมาณ 10-30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากเป็นแหล่งน้ำใต้ดินในชั้นหินภูเขาไฟ หินปูน หินดินดาน หินทรายและหินแปร

ทั้งนี้จากข้อมูลศักยภาพน้ำใต้ดินจังหวัดระยองดังกล่าวมีส่วนที่เกี่ยวข้องสำหรับการดำเนินการเตรียมข้อมูลในการสร้างแบบจำลองบริเวณพื้นที่ศึกษา เช่น ข้อมูลความหนาขอบเขต และประเภทของดินในแต่ละชั้นน้ำซึ่งจะแปรผันต่อค่าความนำทางชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity) เป็นต้น

3. ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนกับน้ำใต้ดิน

จากวัฏจักรของน้ำ (Hydrological cycle) พบว่า การหมุนเวียนของน้ำที่มีอยู่ภายในโลก ซึ่งมีการเคลื่อนที่หมุนเวียนไม่สูญหายไป แต่จะเปลี่ยนรูปไปอยู่ในสถานะต่างๆ น้ำในบรรยากาศที่อยู่ในรูปของไอน้ำ เมฆหรือหมอก รวมเรียกว่า ความชื้นในบรรยากาศ เมื่อเมฆหรือความชื้นในบรรยากาศเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ เรียกว่า หยดน้ำฟ้า ซึ่งหมายรวมถึงน้ำฝน ที่ตกลงจากชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นผิวโลก ซึ่งอาจตกลงสู่ภาคพื้นทวีปหรือภาคพื้นสมุทร น้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นดินและถูกกักเก็บไว้บนผิวดิน เรียกว่า น้ำผิวดิน ซึ่งหมายถึง น้ำที่ท้องน้ำมีชั้นดินหรือชั้นหินรองรับ ได้แก่ แม่น้ำ ลำธาร ห้วย หนอง คลอง บึง เป็นต้น ส่วนน้ำที่ซึมลงใต้ดินและถูกกักเก็บไว้ในชั้นดินหรือชั้นหิน เรียกว่า น้ำใต้ดินหรือน้ำใต้ดิน ซึ่งสอดคล้องกับการงานวิจัยของ Lewis (1998) ที่ทำการวิเคราะห์แบบจำลองของการเติมน้ำใต้ดินบริเวณประเทศออสเตรเลีย ตะวันตกด้วยแบบจำลอง WATBAL โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปี (Annual Rainfall) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2503 ถึง 2535 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติมน้ำใต้ดินเฉลี่ย (Average recharge rate) เป็นร้อยละ 2 - 13 ของปริมาณน้ำฝนรายปีแสดงดังภาพที่ 4



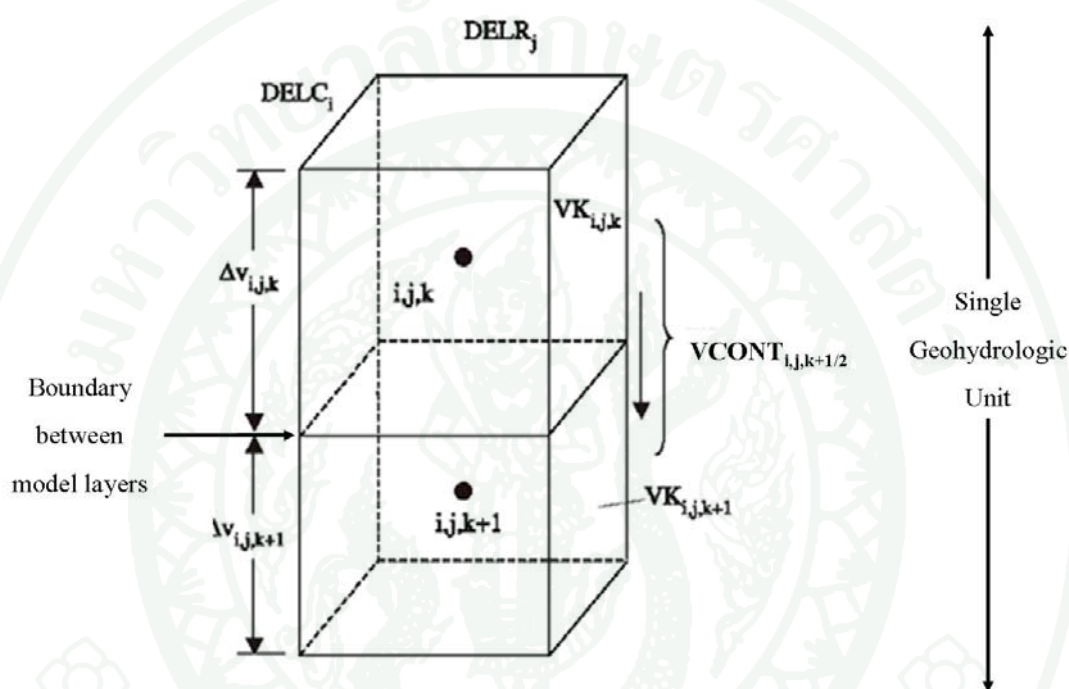
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับการเติมน้ำใต้ดินรายปี

ที่มา: Lewis (1998)

4. แบบจำลองน้ำใต้ดินกลุ่ม MODFLOW (MODFLOW groundwater models)

Mary *et al.* (1991) สรุปว่า แบบจำลองในกลุ่ม MODFLOW (Modular – Dimension Finite Difference Groundwater Flow Model) เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่จำลองการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินแบบสามมิติ ผ่านตัวกลางที่เป็นวัสดุพรุนโดยใช้วิธี Finite difference method ซึ่งการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีนี้จะแบ่งพื้นที่ออกเป็นรูปสี่เหลี่ยม หรือกริด (Grid) การแบ่งพื้นที่สี่เหลี่ยมโดยเส้นกริด อาจแตกต่างกันได้ขึ้นอยู่กับจำนวนความหนาแน่นของข้อมูล ความกว้างของกริดที่อยู่ติดกันไม่ควรต่างกันเกิน 1.5 เท่า ของกริดข้างเคียง เพื่อให้ผลคำนวณไม่เกิดความผิดพลาดมากเกินไป โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นแนวดิ่ง (Column) และแนวนอน (Row) ส่วนในแนวดิ่งจะเป็นจำนวนชั้นของแบบจำลอง (Model layer) การแก้สมการอาศัยสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) และกฎของดาร์ซี (Darcy's law) ซึ่งสามารถสร้างสมการในรูปของ Matrix และแก้สมการเป็นระบบโดยใช้วิธีทาง Numerical techniques

สำหรับแบบจำลอง MODFLOW ที่มีชั้นของแบบจำลองมากกว่า 1 ชั้น ต้องคำนวณการแพร่กระจายในแนวดิ่ง (Vertical transmission) หรือการรั่วซึม (Leakage term) ที่รู้จักกันว่า VCONT สำหรับ Node ในแต่ละกริด ยกเว้นในส่วน of ชั้นล่างสุด เนื่องจากเป็นชั้นไม่ซึมน้ำและมีค่า VCONT เป็นศูนย์ ซึ่ง VCONT มีหน้าที่หาค่าความซึมน้ำในแนวดิ่งระหว่างชั้นและความหนาของชั้น แสดงดังภาพที่ 5 และสมการที่ 8



ภาพที่ 5 ลักษณะของกริดที่สมมติในการคำนวณ VCONT แบบ Single geohydrologic unit

ที่มา: ดัดแปลงจาก Harbaugh *et al.* (2005)

$$VCONT_{i,j,k+1/2} = \frac{DELR_j DELC_i}{\frac{(\frac{1}{2})\Delta v_{i,j,k}}{VK_{i,j,k}} + \frac{(\frac{1}{2})\Delta v_{i,j,k+1}}{VK_{i,j,k+1}}} \quad \dots (8)$$

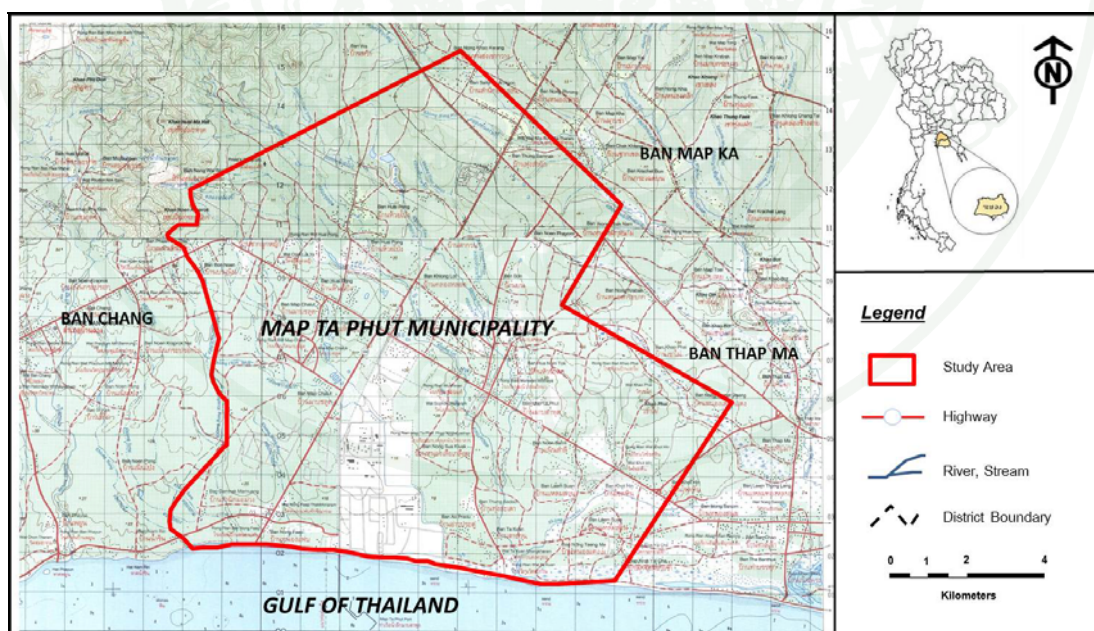
โดย $VK_{i,j,k}$ คือ Vertical hydraulic conductivity of cell i,j,k
 $\Delta v_{i,j,k}$ คือ The saturated thickness of cell i,j,k

5. ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

เทศบาลเมืองมาบตาพุด ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองระยอง และพื้นที่บางส่วนของกิ่งอำเภอนิคมพัฒนา ครอบคลุมพื้นที่ 5 ตำบล ได้แก่ ตำบลมาบตาพุด ตำบลห้วยโป่ง ตำบลมาบข่าบางส่วน ตำบลทับมาบางส่วน ตำบลเนินพระบางส่วน และมีเกาะ 1 เกาะ คือ เกาะเสม็ด

5.1 ลักษณะภูมิประเทศ

จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศไทย มาตรฐาน 1:50,000 ลำดับชุด L7018 ราว 5234 III และ 5234 IV พบว่ามีขนาดของพื้นที่ศึกษารวมทั้งสิ้น 165.6 ตารางกิโลเมตร โดยเป็นพื้นที่บกที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 144.6 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 87.3 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนที่เหลือเป็นทะเลประมาณ 21 ตารางกิโลเมตร มีอาณาเขตทิศเหนือติดกับ ตำบลมาบข่า อำเภอเมืองระยอง และกิ่งอำเภอนิคมพัฒนา ทิศใต้ติดกับทะเลอ่าวไทย ทิศตะวันออกติดกับ ตำบลเนินพระ และตำบลทับมา ทิศตะวันตกติดกับ อำเภอบ้านฉาง มีค่าระดับความสูง (Ground surface elevation) ในช่วง 1.0 – 70.0 เมตรระดับน้ำทะเลปานกลาง แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ขอบเขตและลักษณะของพื้นที่ศึกษา

5.2 สภาพภูมิอากาศ

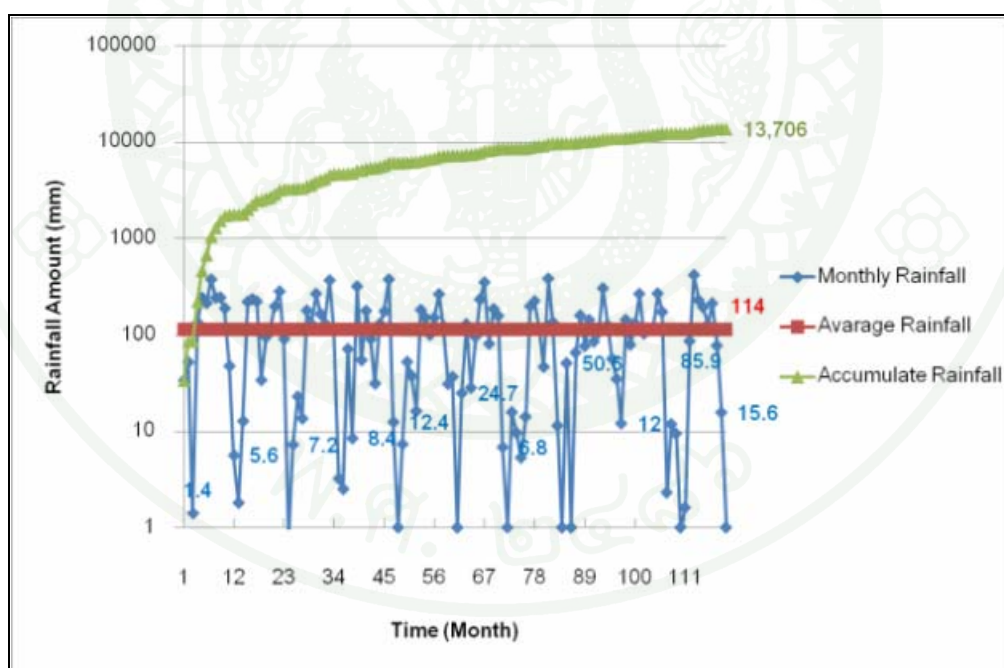
รวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาบริเวณพื้นที่จังหวัดระยองในช่วงเวลา 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2522 จนถึงปี พ.ศ. 2551 โดยรวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดระยอง (รหัสสถานี 478201) ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณและการกระจายฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 ปริมาณและการกระจายฝน จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยในรอบ 30 ปี (พ.ศ. 2522 – พ.ศ. 2551) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดระยอง (รายละเอียดดังภาคผนวก ก) พบว่ามีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยประมาณ 1,376 มิลลิเมตร (มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ 0.22) และมีความผันแปรของปริมาณฝนอยู่ระหว่าง 876 ถึง 2,025 มิลลิเมตรซึ่งสามารถกล่าวได้ว่ามีปริมาณฝนเฉลี่ยแต่ละปีสูง ทั้งนี้สามารถจำแนกเป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน (Monthly Rainfall) ปริมาณฝนเฉลี่ย (Average Rainfall) และปริมาณฝนสะสม (Accumulate Rainfall) ของแต่ละช่วงเวลาในรอบ 10 ปี (พ.ศ. 2542 – พ.ศ. 2551) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษารูปแบบจำลองต่อไป แสดงดังภาพที่ 7

5.2.2 อุณหภูมิ บริเวณพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 ถึง พ.ศ. 2551 พบว่า มีความผันแปรของอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 27.9 ถึง 30.4 องศาเซลเซียส และมีสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนประมาณ 0.02 แสดงดังภาพที่ 8

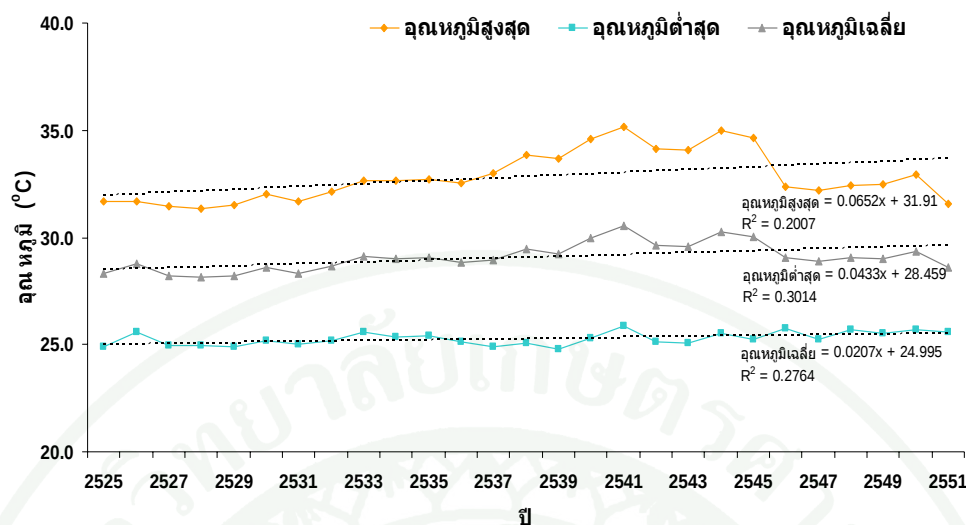


(ก)



(ข)

ภาพที่ 7 รูปแบบข้อมูลปริมาณน้ำฝน (ก) ระยะเวลา 1 ปี (ข) ระยะเวลา 10 ปี



ภาพที่ 8 อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย บริเวณพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดระยอง

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2551)

5.2.3 ความชื้นสัมพัทธ์ บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดระยองมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 77.2 โดยมีความแปรผันไม่มากในแต่ละช่วงเดือนของปี ทั้งนี้ในช่วงเดือนธันวาคมเป็นช่วงเวลาที่มียค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุด และมีค่าสูงในช่วงฤดูฝน

5.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา

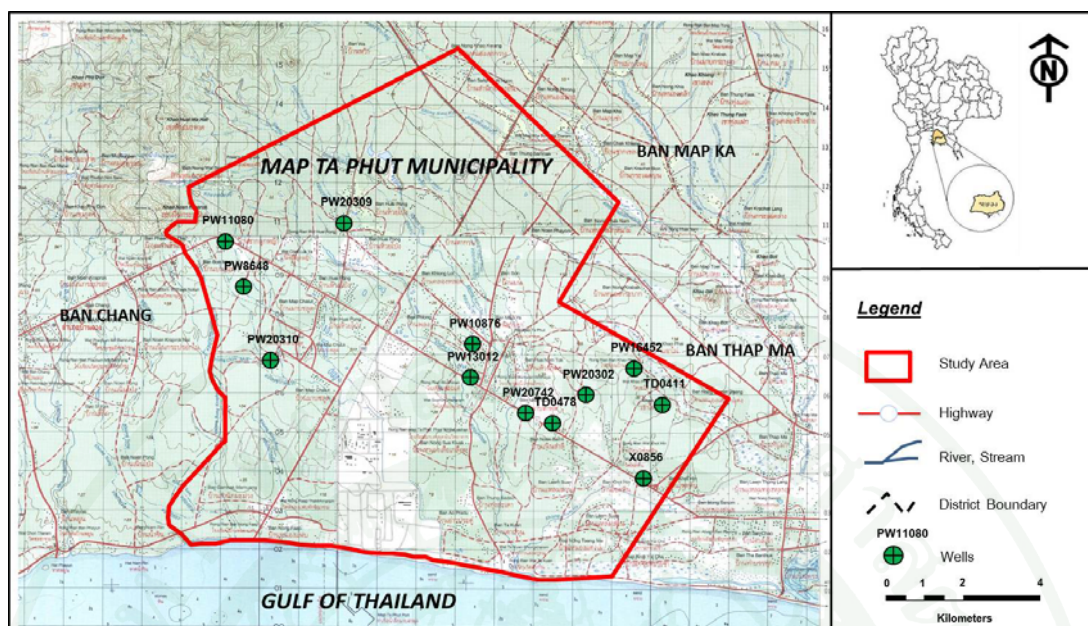
กรมทรัพยากรธรณี (2550) รายงานว่า ลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณภาคตะวันออก ประกอบด้วยกลุ่มหินราชบุรีเป็นส่วนใหญ่ พบแนวหินอัคนีถูกดันขึ้นมาเป็นเทือกเขาต่างๆ และมีอายุประมาณ 220 – 245 ล้านปี ประกอบด้วยหินและตะกอนยุคต่างๆ ซึ่งบริเวณพื้นที่ศึกษาจะเป็นส่วนของตะกอนยุคควอเตอร์เทอร์นารี (Quaternary: Q) เป็นส่วนใหญ่ โดยประกอบด้วยตะกอนปัจจุบันที่ยังไม่แข็งตัวได้แก่ ทราย (Sand) กรวด (Gravel) ทรายแป้ง (Silt) และดินเหนียว (Clay) มักพบชั้นตะกอนเหล่านี้บริเวณที่ราบลุ่มของแอ่งสะสมตะกอนต่างๆ จากลักษณะธรณีสัณฐานทำให้สามารถแบ่งตะกอนยุคนี้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นชั้นตะกอนที่สะสมบริเวณเชิงเขา (Colluvial Deposits : Qt) เป็นชั้นตะกอนที่เกิดจากการทับถมของดินและหินที่เคลื่อนที่ลงมาจากภูเขา มักพบบริเวณขอบแอ่งสะสมตะกอนที่ติดกับภูเขา กลุ่มที่สอง ได้แก่ ชั้นตะกอนที่สะสมตัวตามที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง (Alluvial Deposits)

5.4 ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา

การศึกษาของกรมทรัพยากรธรณี (2550) พบว่าข้อมูลชั้นดินจากหลุมเจาะน้ำใต้ดิน บริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุดประกอบด้วยดินทราย ดินเหนียว กรวด และหินแกรนิต เป็นส่วนใหญ่ (แสดงดังภาคผนวก ข) และกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551) รายงานว่า การวิเคราะห์ข้อมูลชั้นดินและชั้นหินจากข้อมูลการเจาะสำรวจจำนวน 18 หลุม บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด และข้อมูลชั้นดินและชั้นหินจากหลุมเจาะบ่อน้ำใต้ดินกรมทรัพยากรธรณี พบว่าการเรียงตัวของชั้นตะกอนประกอบด้วยทรายขนาดเล็กลงถึงปนกลางเป็นส่วนใหญ่ ดินเหนียวปนทรายแป้งแทรกสลับกัน พื้นที่ศึกษาประกอบด้วยชั้นตะกอนที่ราบเชิงเขา (Qcl) ทางตอนเหนือ และมีชั้นตะกอนน้ำพา (Qcp) อยู่ทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา ความหนาของชั้นตะกอนเฉลี่ยประมาณ 30-50 เมตรจากผิวดินมีหินแกรนิต (Gr) รองรับอยู่ด้านล่าง มีความลาดเอียงจากทางทิศเหนือไปทางทิศใต้ มีลำรางธรรมชาติไหลผ่าน พื้นที่ศึกษาลงสู่อ่าวไทยในทางทิศใต้ ทิศทางการไหลหลักของน้ำใต้ดินไหลจากทิศเหนือไปสู่ทิศใต้

5.5 ข้อมูลน้ำใต้ดิน

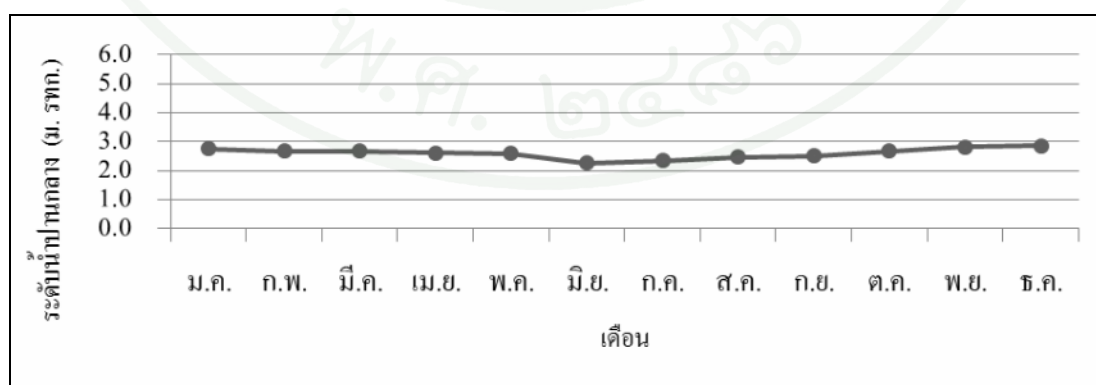
ข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินสำหรับอุปโภคและบริโภคจากการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2545) บริเวณพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ 4 ตำบล ได้แก่ มาบตาพุด ห้วยโป่ง เนินพระ และทับมา รวมทั้งหมดจำนวน 13 บ่อ (แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ค) พบว่ามีความสูงปากบ่อ (Ground surface elevation) อยู่ในช่วง 10 – 70 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีระดับน้ำใต้ดินในช่วง 4 – 68 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และความลึกของบ่อจากผิวดินในช่วง 18 – 62 เมตร แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ตำแหน่งที่ตั้งบ่อน้ำใต้ดินสำหรับอุปโภคและบริโภคบริเวณพื้นที่ศึกษา

5.6 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล

จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลรายชั่วโมงจากสถานีวัดระดับน้ำระยอง อำเภอมือง จังหวัดระยอง ของกรมการขนส่งทางน้ำและพาณิชยนาวี (2553) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 - 2552 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแต่ละเดือนเฉลี่ยมีความแตกต่างกันน้อย โดยมีระดับน้ำปานกลางอยู่ในช่วง 2.35 – 2.85 เมตร ระดับน้ำทะเลปานกลาง แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลบริเวณพื้นที่ศึกษา

6. การทบทวนวรรณกรรม หรือผลงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551) ได้ศึกษาการจำลองการไหลและการแพร่กระจายมลสารในแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี โดยจำลองสถานการณ์ด้วยแบบจำลอง Visual Bluebird และ Visual MODFLOW ในสถานะคงที่ (Steady state) จำลองชั้นตะกอนอุ้มน้ำในแบบชั้นเดียว (Single layer aquifer) ซึ่งอัตราการเติมน้ำใต้ดิน (Recharge rate) ประเมินจากปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย การใช้ที่ดิน และลักษณะภูมิประเทศ พร้อมทั้งศึกษาลักษณะการแพร่กระจายมลสารประเภทโลหะหนักและสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยพิจารณาการเกิด Sorption Process ในชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดกำหนด Sorption Process ในลักษณะ Linear Isotherm โดยค่า Distribution coefficient (K_d) สำหรับ Tetrachloroethylene เท่ากับ 4.3×10^{-6} ลิตรต่อมิลลิกรัม Arsenic เท่ากับ 3.9×10^{-5} ลิตรต่อมิลลิกรัม Lead เท่ากับ 1.9×10^{-4} ลิตรต่อมิลลิกรัม และ Mercury เท่ากับ 5.2×10^{-6} ลิตรต่อมิลลิกรัม พบว่า ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินลงสู่ทิศใต้ และมีการแพร่กระจายของมลสารทั้ง 4 ชนิดจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่จำกัดอย่างช้าๆ

Laura and Donald (2006) ใช้แบบจำลอง MODFLOW ร่วมกับ MT3D จำลองการปนเปื้อนของสารมลพิษที่แทรกอยู่ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน (Hypothetic zone) บริเวณเขื่อนและแม่น้ำที่มีลักษณะคดเคี้ยว โดยแบบจำลอง MT3D จะจำลองทั้งการเคลื่อนที่ด้วยกระบวนการพัดพา (Advective) และการเข้าออกของสารละลาย (Sink and source) ซึ่งกำหนดว่าบริเวณดังกล่าวนั้นมีสารเคมีรั่วไหลจากแม่น้ำลงยังใต้ดินประมาณร้อยละ 10 ของน้ำผิวดิน ที่ระยะเวลา 10 วัน ผลการจำลองพบว่าการเคลื่อนที่มีกระบวนการหลักคือการพัดพา

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ ต้องมี Hardware ขั้นต่ำเพื่อใช้ในการประมวลผลดังนี้
 - 1.1 Pentium II, 300 MHz
 - 1.2 64 MB of RAM (128 MB recommend)
 - 1.3 CD ROM drive
 - 1.4 Free disk space 100 MB
 - 1.5 Window 98/2000/XP/NT 4.0
2. โปรแกรม Visual MODFLOW Premium 2009.1 (Schlumberger Water Services)
3. โปรแกรม ArcView GIS (Environmental Systems Research Institute, ESRI)

วิธีการ

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

รวบรวมเอกสาร และรายงานที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลพื้นที่บริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ซึ่งมีหน่วยงานต่างๆทั้งภาครัฐและเอกชนได้ดำเนินการไปแล้วในอดีต หรืออยู่ในระหว่างดำเนินการศึกษาในปัจจุบัน โดยข้อมูลที่รวบรวมประกอบดังนี้

1.1 ลักษณะภูมิประเทศ รวบรวมจากแผนที่ภูมิประเทศไทย มาตรฐาน 1 : 50,000 ลำดับ ชุด L7018 ระวัง 5234 III และ 5234 IV

1.2 ลักษณะอุทกธรณีวิทยา และบ่อน้ำใต้ดิน รวบรวมจากรายงานการสำรวจและแผนที่อุทกธรณีวิทยา กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

1.3 ข้อมูลจากโครงการประเมินศักยภาพด้านคุณภาพน้ำใต้ดิน วางระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนรายละเอียดการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

2. ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์น้ำใต้ดิน (Numerical groundwater model)

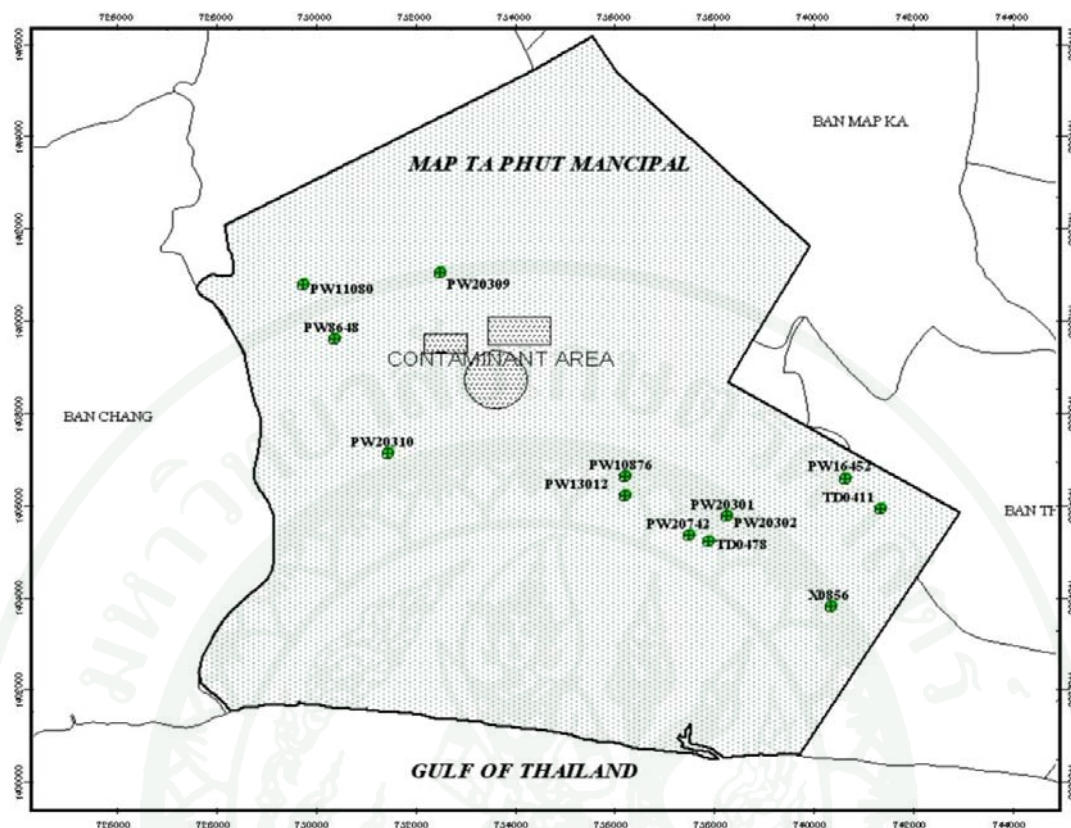
ประมวลข้อมูลบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้งหมดด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม Visual MODFLOW Premium 2009.1 เพื่อศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater flow direction) ความเร็วการไหล (Velocity vectors) ขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (Plume area) และปริมาณมวลสาร (Mass) ซึ่งประกอบด้วย การจำลองการไหลน้ำใต้ดิน และการจำลองการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดิน (แสดงรายละเอียดข้อมูลนำเข้าดังภาคผนวก ง)

2.1 การจำลองการไหลน้ำใต้ดิน (Groundwater flow model)

จำลองการไหลของน้ำใต้ดินตามรูปแบบของการนำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนใช้ MODFLOW – 2005 เป็นเครื่องมือ (Numeric engines) โดยศึกษาที่ระยะเวลา 1 ปี (พ.ศ. 2542) และ 10 ปี (พ.ศ. 2542 – 2551) ซึ่งจำลองการไหลในสถานะคงที่ (Steady state) และสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient state) ทั้งนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 กรณีศึกษา ประกอบด้วย การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสถานะคงที่ที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสม (Steady state Accumulate Rainfall, SAR) และการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (Transient state Average Rainfall, TAR) และที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน (Transient state Monthly Rainfall, TMR) โดยมีขั้นตอนและตัวแปรในการศึกษาดังนี้

2.1.1 การนำเข้าข้อมูลเชิงรูปภาพ (Graphical data)

จะนำเข้าข้อมูลแผนที่ซึ่งสร้างโดยโปรแกรม ArcView GIS ที่แสดงขอบเขตของพื้นที่ศึกษา ตำแหน่งบ่อน้ำใต้ดิน และพื้นที่ปนเปื้อนสมมติ (Contaminant area) โดยมีการอ้างอิงกับตำแหน่งพิกัดจริงของโลก (Georeference point) ด้วยระบบพิกัด World co – ordinates และ Model co – ordinates แสดงดังภาพที่ 11

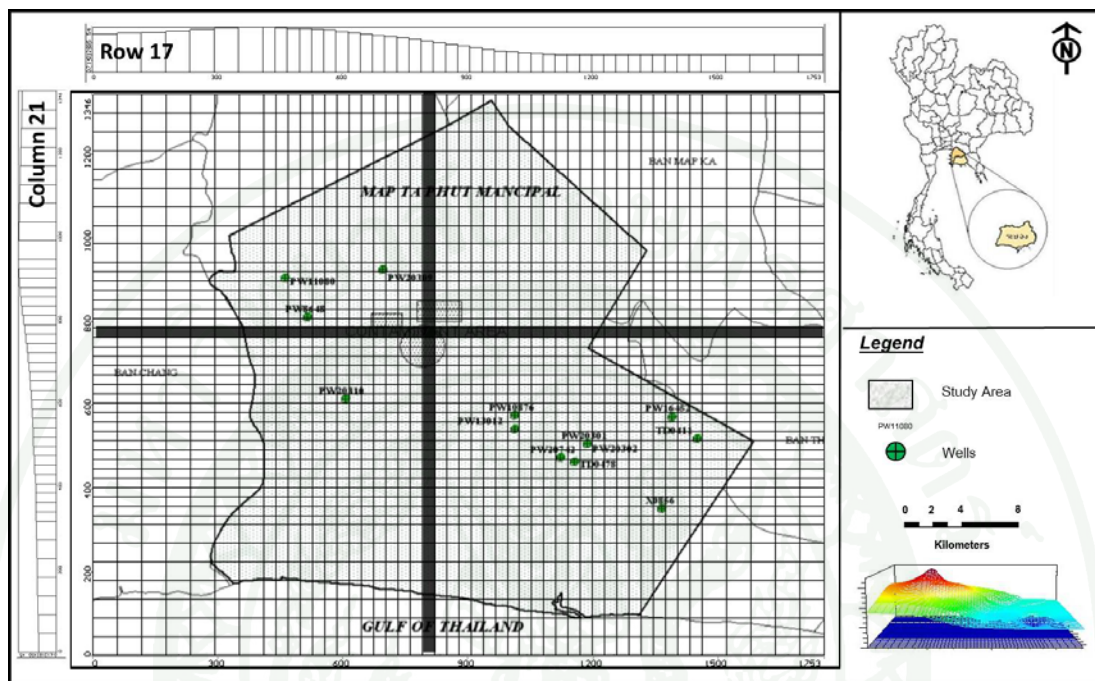


ภาพที่ 11 ข้อมูลเชิงรูปภาพ (Graphical data) ของพื้นที่ศึกษา

2.1.2 การออกแบบกริด (Grids design)

ออกแบบเป็นระบบ 3 มิติ โดยแบ่งกริดตามแนวแกน X, Y และ Z (Grid cell) ให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา การกำหนดขอบเขตของแบบจำลองเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้า ตามแนวแกน X (แนวตะวันตก – ตะวันออก) จากพิกัด World co – ordinates 724000 ถึง 746000 เมตรตะวันออก พิกัด Model co – ordinates 0 ถึง 1753 มีความยาว 22.0 กิโลเมตร และตามแนวแกน Y (แนวเหนือ – ใต้) จากพิกัด World co – ordinates 1400000 ถึง 1416000 เมตรเหนือ พิกัด Model co – ordinates 0 ถึง 1346 มีความกว้าง 16.0 กิโลเมตร โดยจะแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นตารางซึ่งขนาดของตารางในพื้นที่ศึกษามีขนาดเท่ากับ 20 × 20 ตารางเมตร ส่วนขนาดตารางนอกพื้นที่ศึกษามีขนาดไม่คงที่ โดยมีขนาดตั้งแต่ 20 × 35 ตารางเมตร จนถึงขนาด 60 × 35 ตารางเมตร ซึ่งการจำลองชั้นน้ำใต้ดินของพื้นที่ศึกษาจะจำลองชั้นตะกอนอุ้มน้ำในแบบชั้นเดียว (Single layer aquifer) พร้อมทั้งนำเข้าข้อมูลระดับด้านบน (Top) คือค่าระดับความสูงพื้นผิว (Ground surface elevation) และกำหนดระดับด้านล่าง (Bottom) คือค่าระดับหินแข็ง (Base elevation) ให้กับแบบจำลอง ดังนั้นจำนวนกริดเซลล์ที่มี

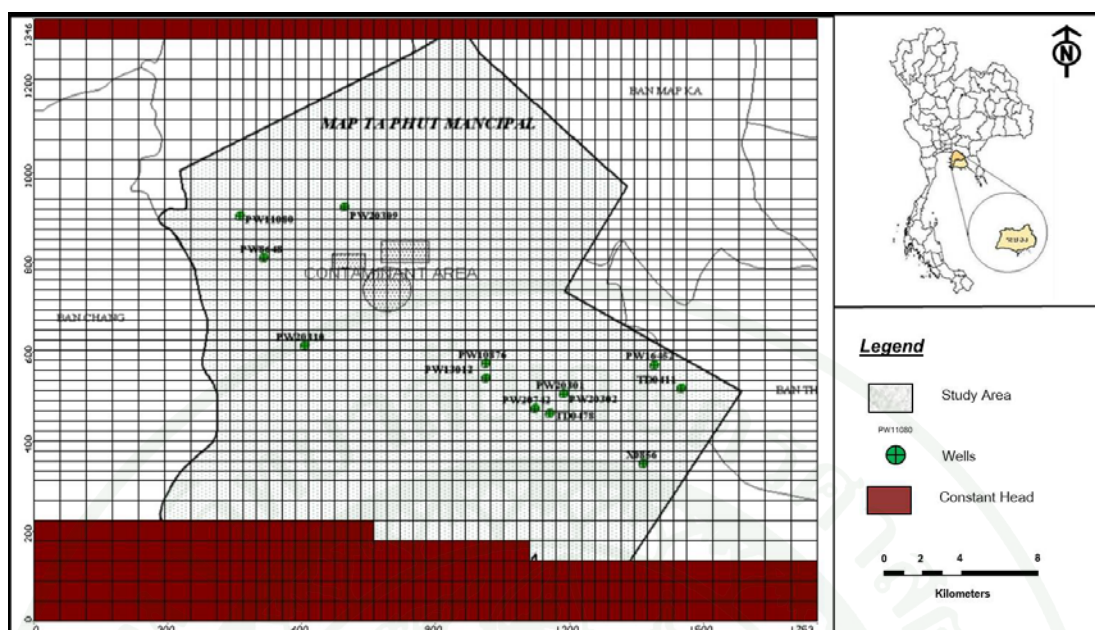
อยู่จากการออกแบบทั้งหมดเท่ากับ 2,112 กริดเซล (44 แถว $\times$ 48 สดมภ์ $\times$ 1 ชั้น) แสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การออกแบบกริด (Grids design) ของพื้นที่ศึกษา

2.1.3 ขอบเขตของแบบจำลอง (Boundary conditions)

จะพิจารณาขอบเขตของแบบจำลองจากข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา และบ่อน้ำใต้ดินของพื้นที่ศึกษา ซึ่งจากการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2545) พบว่ามีระดับน้ำใต้ดินเทียบกับระดับของน้ำทะเลปานกลาง (Head) อยู่ในช่วง 4 – 68 เมตร และจากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบถึงขอบเขตของแบบจำลองและขอบเขตของระดับน้ำคงที่ (Constant head) โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตระดับน้ำคงที่บริเวณตอนบนของพื้นที่ศึกษา (แถวที่ 44) มีค่าอยู่ในช่วง 70 ถึง 35 เมตร มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำคงที่แบบลาดเชิงเส้น (Linear gradient) และกำหนดขอบเขตของระดับน้ำคงที่บริเวณทะเลอ่าวไทยตอนล่างของพื้นที่ให้มีระดับน้ำคงที่เท่ากับระดับน้ำทะเลปานกลาง แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ขอบเขตระดับน้ำคงที่ (Constant head) ของพื้นที่ศึกษา

2.1.4 ชนิดของชั้นน้ำ (Aquifer type)

จะกำหนดในแต่ละชั้นน้ำทั้งหมดของแบบจำลอง ซึ่งในกรณีศึกษาครั้งนี้ชั้นตะกอนอุ้มน้ำมีลักษณะวัสดุเป็นเนื้อเดียว (Homogeneity material) และเป็นชั้นตะกอนอุ้มน้ำในแบบชั้นเดียว (Single layer aquifer) (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) ดังนั้นจึงกำหนดให้เป็นชั้นน้ำไร้แรงดัน (Unconfined aquifer) ซึ่งพิจารณาการไหลเฉพาะในชั้นตะกอนร่วนเท่านั้น

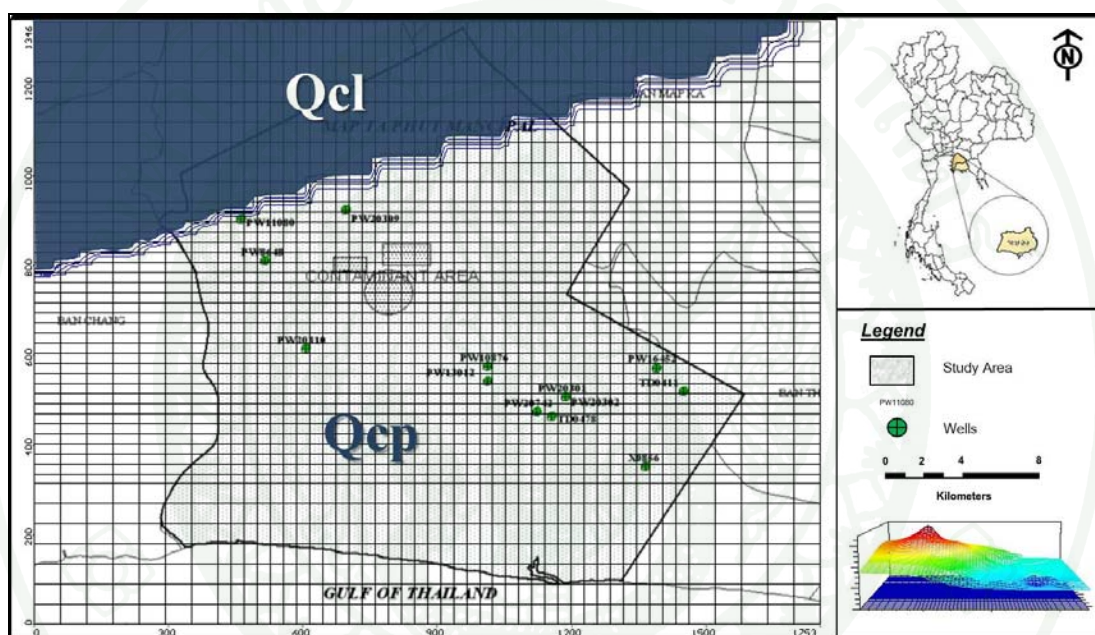
2.1.5 ความพรุน (Porosity)

กำหนดให้ความพรุนมีค่าเท่ากับ 0.32 เนื่องจากความพรุนของชั้นหินตะกอนร่วนและหินแกรนิตผุ (Weathering granite) มีค่าอยู่ในช่วง 0.25 – 0.40 (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

2.1.6 สภาพนำทางชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity)

การประเมินค่าตัวแปรสภาพนำทางชลศาสตร์ จะพิจารณาจากลักษณะของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา และวิเคราะห์จากช่วงค่าที่ได้จากเอกสารผลการศึกษาในอดีตของ

Spitz และ Moreno (1996) โดยค่าสภาพนำทางชลศาสตร์ในแนวราบ (K_x) สำหรับหินแกรนิต (Gr) มีค่าอยู่ในช่วง 0.29 – 1.40 เมตรต่อวัน ชั้นตะกอนน้ำพา (Q_{cp}) และชั้นตะกอนที่ราบเชิงเขา (Q_{cl}) มีค่าอยู่ในช่วง 8 – 200 เมตรต่อวัน และจากการศึกษาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551) บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดพบชั้นตะกอนที่ราบเชิงเขา (Q_{cl}) อยู่ทางตอนเหนือประกอบด้วยดินเหนียวปนทรายแป้งแทรกสลับกัน และชั้นตะกอนน้ำพา (Q_{cp}) อยู่ทางตอนใต้ประกอบด้วยชั้นทรายขนาดเล็กจนถึงขนาดกลางโดยมีค่าสภาพนำทางชลศาสตร์เท่ากับ 16.01 และ 191.80 เมตรต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งกำหนดค่าสภาพนำทางชลศาสตร์ของพื้นที่ศึกษา แสดงดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 สภาพนำทางชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity) ของพื้นที่ศึกษา

2.1.7 อัตราการเติมน้ำ (Recharge rate)

ข้อมูลอัตราการเติมน้ำเป็นตัวแปรต้นของการศึกษานี้ ซึ่งการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดินส่วนใหญ่เป็นการเติมน้ำจากปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ผ่านชั้นดินบนลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน อัตราการเติมน้ำใต้ดินจึงอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลการคายระเหยของพืช ข้อมูลคุณสมบัติดิน ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อมูลลักษณะทางธรณีสัณฐาน โดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551) รายงานว่าบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดซึ่งอยู่ในขอบเขตของพื้นที่ศึกษา มีค่าอัตราการเติมน้ำใต้ดินสุทธิเท่ากับร้อยละ 6 ของปริมาณน้ำฝน ซึ่งในการศึกษานี้ได้นำเข้าข้อมูลอัตราการเติมน้ำใต้ดินที่แปรผันตามข้อมูลปริมาณน้ำฝนในรอบ 10 ปี (พ.ศ. 2542 – พ.ศ. 2551) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดระยอง ที่ระยะเวลา 1 ปี และ 10 ปี คิดเป็นช่วงการเปลี่ยนแปลงเวลา (Time steps) ของการศึกษาที่สถานะเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient state) เท่ากับ 12 และ 120 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลอัตราการเติมน้ำ (Recharge rate)

ปี	อัตราการเติมน้ำ (มิลลิเมตรต่อเดือน)													รวม (มิลลิเมตรต่อปี)
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย	
2542	0.1	0.8	13.2	14.1	13.3	2.0	5.7	6.8	11.8	16.9	5.4	0.0	7.5	90.1
2543	0.4	1.4	0.8	10.7	7.8	16.0	9.9	7.8	22.0	6.8	0.2	0.2	7.0	83.9
2544	4.3	0.5	19.1	3.3	10.7	5.4	1.9	7.8	10.5	22.5	0.7	0.0	7.2	86.5
2545	0.4	3.1	2.2	1.0	10.9	9.1	6.0	9.0	15.8	7.4	1.8	2.2	5.7	69.0
2546	0.0	1.5	7.7	1.7	5.7	14.0	21.0	4.8	11.1	9.4	0.4	0.0	6.4	77.3
2547	0.9	0.6	0.3	0.8	11.8	13.4	6.9	2.8	22.9	8.1	0.7	0.0	5.8	69.3
2548	3.0	0.0	3.9	9.5	4.6	8.5	5.1	6.3	18.2	7.6	3.4	2.1	6.0	72.2
2549	0.7	8.6	4.7	7.9	15.9	6.2	6.9	7.0	16.1	10.3	0.1	0.7	7.1	85.3
2550	0.6	0.0	0.1	5.2	25.0	13.7	11.6	7.7	12.7	4.6	0.9	0.0	6.8	82.0
2551	0.2	3.5	2.6	6.2	6.9	8.7	14.1	7.4	10.9	10.0	2.0	0.0	6.1	72.6
รวมทั้งหมด													6.6	788.1

2.2 การจำลองการแพร่กระจายของสารมลพิษ (Contaminant transport model)

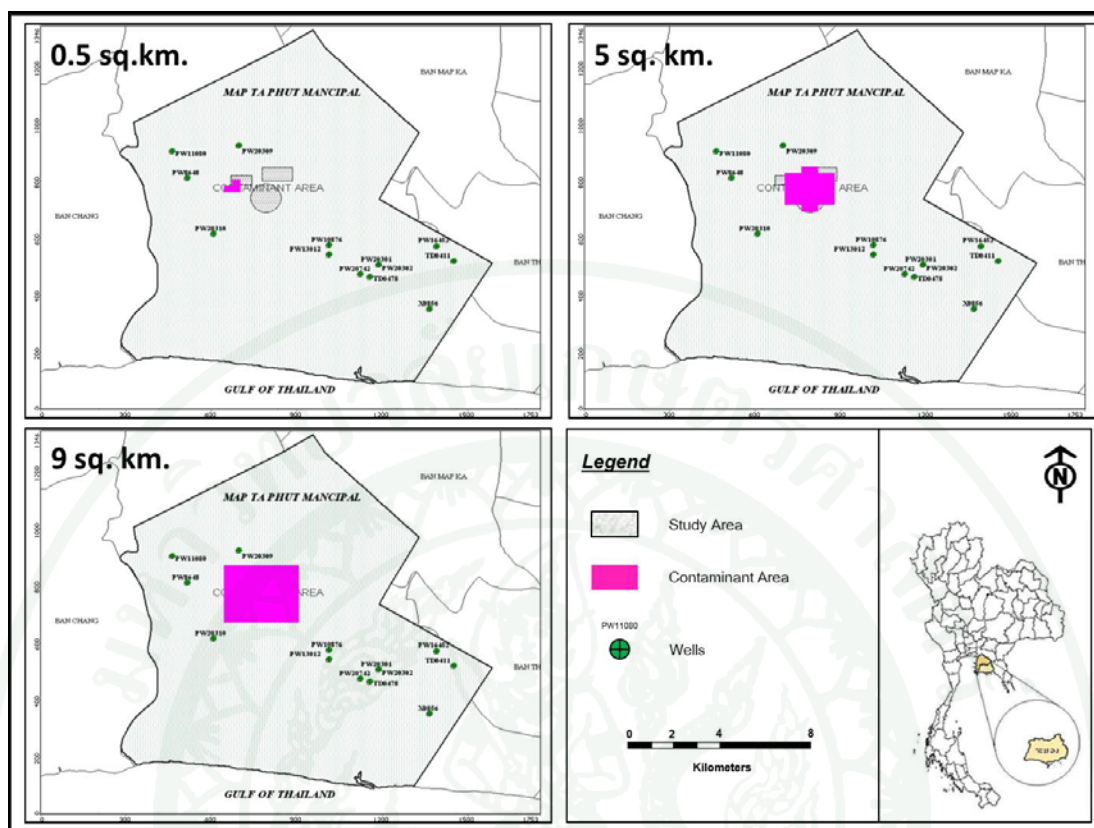
จำลองการแพร่กระจายของสารมลพิษในชั้นน้ำใต้ดินโดยใช้ MT3DMS เป็นเครื่องมือ (Numeric engines) เนื่องจากมีความเหมาะสมกับคุณสมบัติที่คำนึงถึงของสารมลพิษสมมติ (แสดงดังภาพผนวก จ) เพื่อศึกษาขอบเขตและลักษณะการแพร่กระจายของสารมลพิษ (Contaminant plume) ในชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของชั้นหินอุ้มน้ำ ความพรุน สภาพนำทางชลศาสตร์ ค่าการแพร่กระจายของชั้นหินอุ้มน้ำ คุณสมบัติที่คำนึงถึงและสถานการณ์การปนเปื้อนของสารมลพิษ เป็นต้น ซึ่งในการศึกษามีการกำหนดขอบเขตและสถานการณ์การจำลอง ดังนี้

2.2.1 คุณสมบัติที่คำนึงถึงของสารมลพิษ

โดยจำลองกรณีการปนเปื้อนของสารมลพิษสมมติที่คำนึงถึงคุณสมบัติของสารต่างกัน 3 กลุ่ม ได้แก่ สารมลพิษกลุ่ม A คือสารกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติการเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ (Advective – dispersive transport) สารมลพิษกลุ่ม B คือสารกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติการเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำและคุณสมบัติการดูดซับ (Advective – dispersive transport and Sorption process) ในลักษณะการดูดติดผิวเชิงเส้น (Linear isotherm) โดยกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Distribution coefficient, K_d) เท่ากับ 1×10^{-6} ลิตรต่อมิลลิกรัม และสารมลพิษกลุ่ม C คือสารกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติการเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ คุณสมบัติการดูดซับและการเกิดปฏิกิริยา (Advective – dispersive transport, Sorption and reaction process) ในลักษณะ First – order irreversible decay โดยกำหนดค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 3×10^{-2} ต่อวัน ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต (Half-life) เท่ากับ 24 วัน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

2.2.2 พื้นที่แหล่งกำเนิดสารมลพิษ

การศึกษาได้สมมติสถานการณ์จำลองการปนเปื้อนของสารมลพิษที่มีความเข้มข้นของสารเริ่มต้น (Initial concentration) เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราการปนเปื้อนเท่ากับ 10 มิลลิเมตรต่อปี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) จากพื้นที่แหล่งกำเนิดที่เป็นตัวแทนของนิคมอุตสาหกรรมที่มีขนาดพื้นที่ต่างกันคือ ขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร 5 ตารางกิโลเมตร และ 9 ตารางกิโลเมตร แสดงดังภาพที่ 15

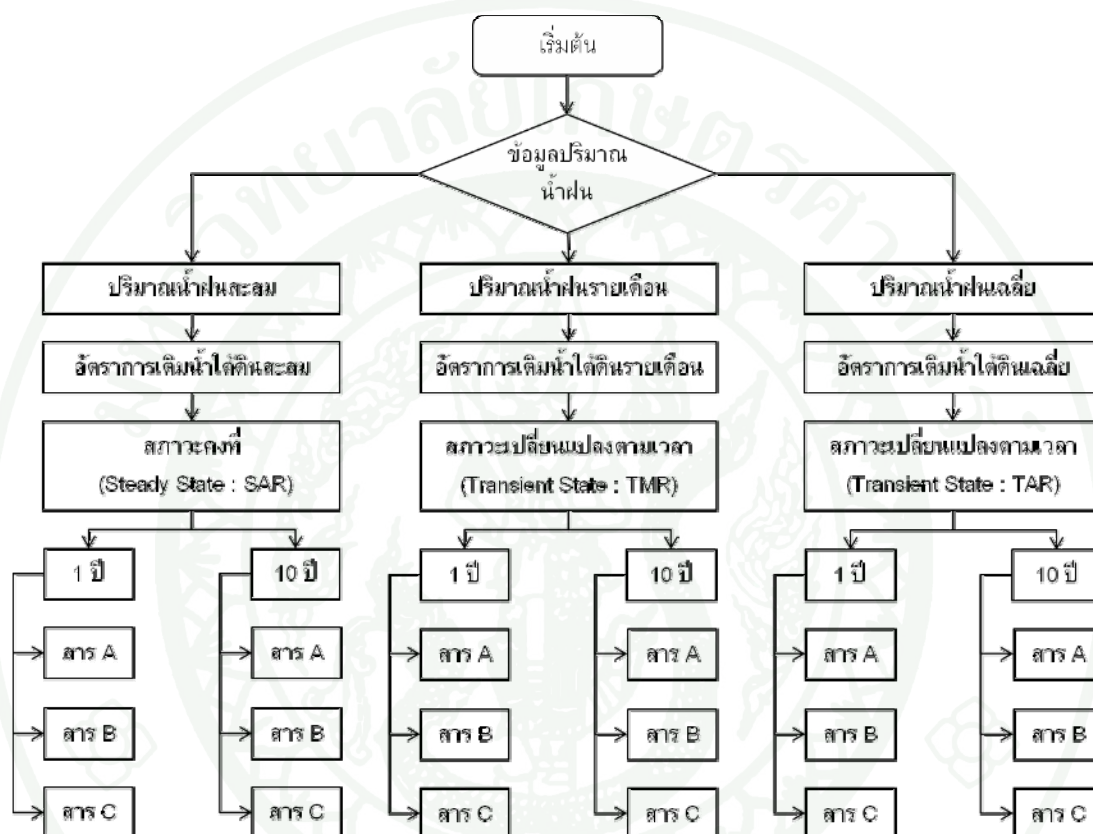


ภาพที่ 15 พื้นที่แหล่งกำเนิดสารมลพิษของพื้นที่ศึกษา

2.2.3 ค่าการแพร่กระจายของชั้นหินอุ้มน้ำ (Dispersivity)

การกำหนดค่าการแพร่กระจายในชั้นหินอุ้มน้ำ จะแปลผลองค์ประกอบทางกายภาพของชั้นดินจากข้อมูลหลุมเจาะประกอบกับการพิจารณาลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาจากข้อมูลแผนที่อุทกธรณีวิทยา เปรียบเทียบลักษณะตะกอนกับค่าอ้างอิงจากการศึกษาของ Spitz and Moreno (1996) พบว่าจากข้อมูลอุทกธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษาที่ประกอบด้วยชั้นตะกอนที่ราบเชิงเขา (Qc1) ที่มีลักษณะชั้นดินเหนียวปนทรายแป้งอยู่ทางตอนเหนือ และชั้นตะกอนน้ำพา (Qcp) ที่มีลักษณะเป็นชั้นทรายขนาดเล็กจนถึงขนาดกลางแทรกสลับกันอยู่ทางตอนใต้ เมื่อเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 10 และ 40 เมตร ตามลำดับ

ทั้งนี้แสดงแนวทางการศึกษาวิจัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการศึกษาครั้งนี้ ที่ประกอบด้วย การจำลองการไหลน้ำใต้ดิน (Groundwater flow model) และการจำลองการแพร่กระจายของสารมลพิษ (Contaminant transport model) จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5, 5 และ 9 ตารางกิโลเมตร ดังแผนผังในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แผนผังการจำลองการไหลน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของสารมลพิษ

หมายเหตุ สาร A = Advective - dispersive transport

สาร B = Advective - dispersive transport and Sorption process

สาร C = Advective - dispersive transport, Sorption and Reaction process

SAR = Steady state Accumulate Rainfall

TAR = Transient state Average Rainfall

TMR = Transient state Monthly Rainfall

2.3 การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (Spatial analysis)

เป็นวิธีการหนึ่งในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) เพื่อหาความสัมพันธ์ทางพื้นที่ (Spatial relationship) ของข้อมูลเดิมเพื่อสร้างข้อมูลใหม่ตามเงื่อนไขต่างๆ ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้โปรแกรม ArcView GIS (Environmental Systems Research Institute, ESRI) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (Plume area) และปริมาณมวลสาร (Mass) โดยนำเข้าข้อมูลในรูปแบบ Shape file ขอบเขตการแพร่กระจายของสารมลพิษ (Contaminant plume) ที่ได้จากการศึกษาแบบจำลองการไหลน้ำใต้ดินและการแพร่กระจายของสารมลพิษด้วยโปรแกรม Visual MODFLOW Premium 2009.1 ซึ่งกำหนดขอบเขตล่างการแสดงผล (Lower level) เท่ากับความเข้มข้นของมลสารที่เหลืออยู่ในชั้นน้ำใต้ดินเทียบเป็นร้อยละจากปริมาณมลสารเริ่มต้นคือ 0.001 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นสร้างเส้นชั้นความสูงจากโครงข่ายสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า (Triangulated Irregular Network, TIN) และสร้างเส้นชั้นความสูงจากข้อมูลจุดความสูง โดยผ่านการประเมินค่าด้วยรูปแบบข้อมูลเชิงตารางกริด หรือ Raster (Grid interpolation) พร้อมทั้งแบ่งช่วงพิสัยตามเส้นชั้นของความเข้มข้น (Contour) เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการหาพื้นที่ต่อไป

2.4 การศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่าง

จะดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างในรูปแบบร้อยละความแตกต่าง (Percent difference) ของขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (Plume area) และปริมาณมวลสาร (Mass) ที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ (Spatial analysis) ระหว่างสภาวะคงที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสม (Steady state Accumulate Rainfall, SAR) และสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (Transient state Average Rainfall, TAR) กับสภาวะควบคุม (Control state) คือสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน (Transient state Monthly Rainfall, TMR) ซึ่งเป็นกรณีที่มีลักษณะใกล้เคียงกับความเป็นจริงในธรรมชาติ โดยคำนวณจากสมการที่ 9

$$\%Difference = \frac{|E_1 - E_2|}{\frac{1}{2}(E_1 + E_2)} \times 100 \quad \dots (9)$$

โดย E_1 คือ ผลการศึกษาในกรณีสภาวะควบคุม

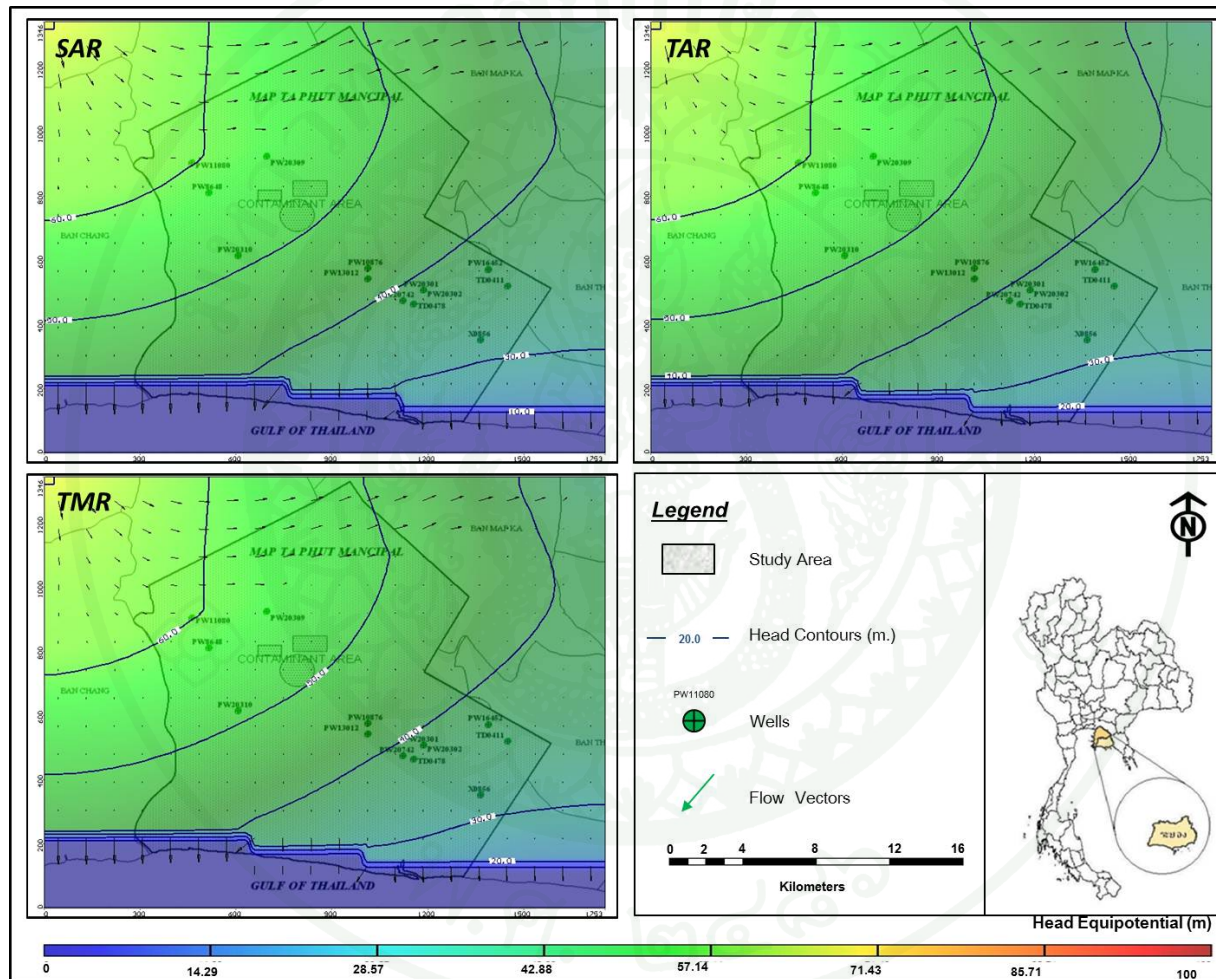
E_2 คือ ผลการศึกษาในกรณีสภาวะที่สนใจ

ผลและวิจารณ์

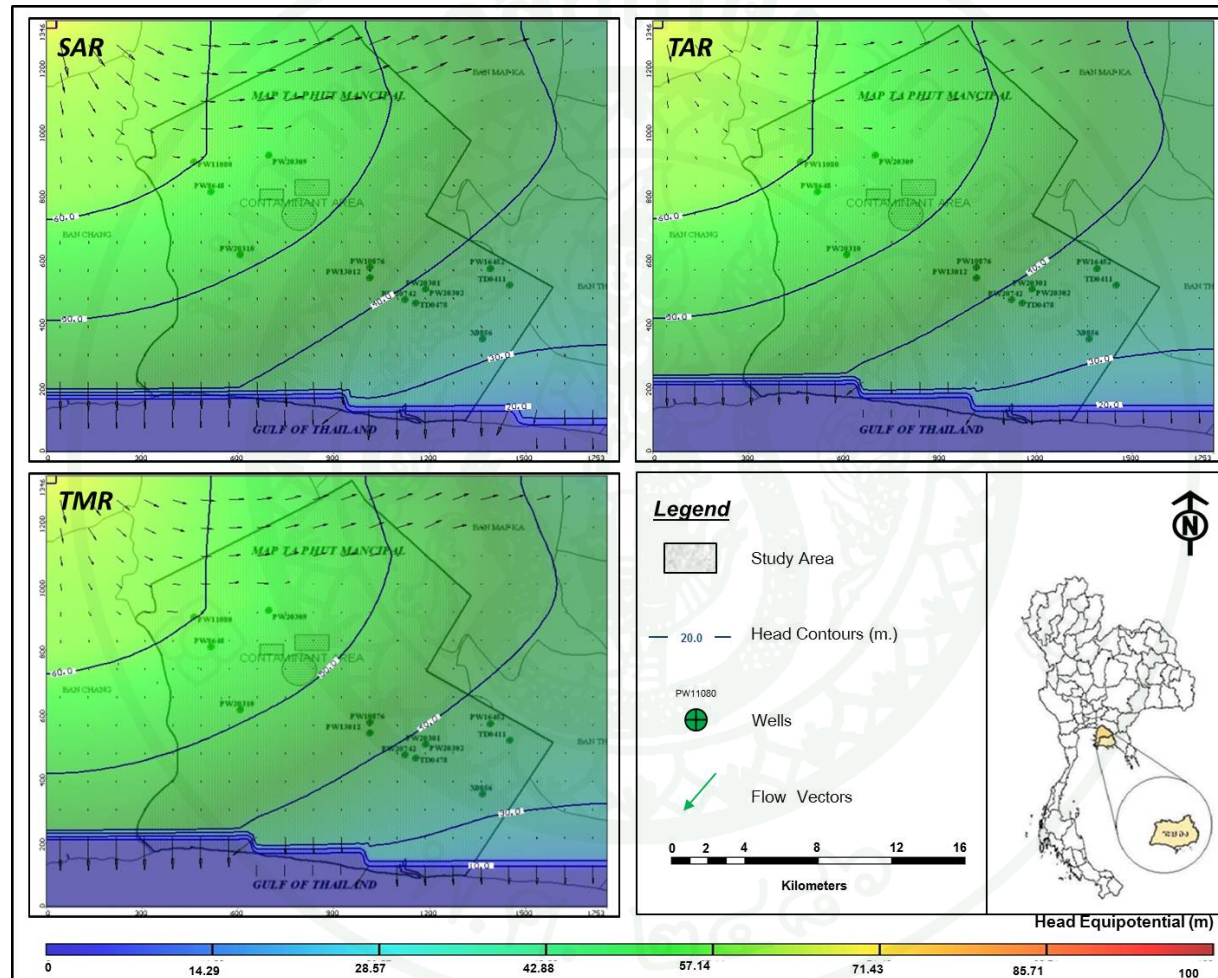
การวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นต่อการคาดการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดิน โดยจำลองการไหลของน้ำใต้ดินทั้งสภาวะคงที่ (Steady state) และสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient state) ซึ่งแปรผันตามรูปแบบของข้อมูลปริมาณน้ำฝน และจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายจากสารมลพิษสมมติ ในสถานการณ์การปนเปื้อนที่มีขนาดของพื้นที่แหล่งกำเนิดสารมลพิษ ระยะเวลา และคุณสมบัติที่คำนึงถึงต่างกัน ด้วยโปรแกรม Visual MODFLOW Premium 2009 บริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

การจำลองการไหลของน้ำใต้ดินตามรูปแบบข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยใช้ MODFLOW – 2005 เป็น Numeric engines ที่ระยะเวลา 1 ปี และ 10 ปี บริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง ที่มีชั้นน้ำใต้ดินประกอบด้วยตะกอนทรายละเอียดจนถึงหยาบปนดินเหนียว ซึ่งเป็นชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนที่ราบเชิงเขา ประกอบด้วยการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสภาวะคงที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสม (Steady state Accumulate Rainfall, SAR) สภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (Transient state Average Rainfall, TAR) และสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน (Transient state Monthly Rainfall, TMR) แสดงดังภาพที่ 17 และ ภาพที่ 18 โดยผลการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินมีลักษณะใกล้เคียงกันพบว่า ที่ระยะเวลา 1 ปี มีความเร็วการไหลของน้ำใต้ดินสูงสุดในช่วง 0.00066 - 0.00062 เมตรต่อวินาที และที่ระยะเวลา 10 ปี มีความเร็วการไหลของน้ำใต้ดินสูงสุดในช่วง 0.00046 - 0.00062 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้ทุกสภาวะแบบจำลองมีระดับน้ำใต้ดินเทียบกับระดับของน้ำทะเลปานกลาง ในช่วง 0 – 70 เมตร และมีทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินไปในทิศตะวันออกเฉียงใต้ และไหลออกสู่อ่าวไทยในทางทิศใต้ของพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้จากการพิจารณาการไหลของน้ำใต้ดิน



ภาพที่ 17 ผลจำลองการไหลของน้ำใต้ดินบริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด ที่ระยะเวลา 1 ปี



ภาพที่ 18 ผลจำลองการไหลของน้ำใต้ดินบริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด ที่ระยะเวลา 10 ปี

2. ผลการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดิน

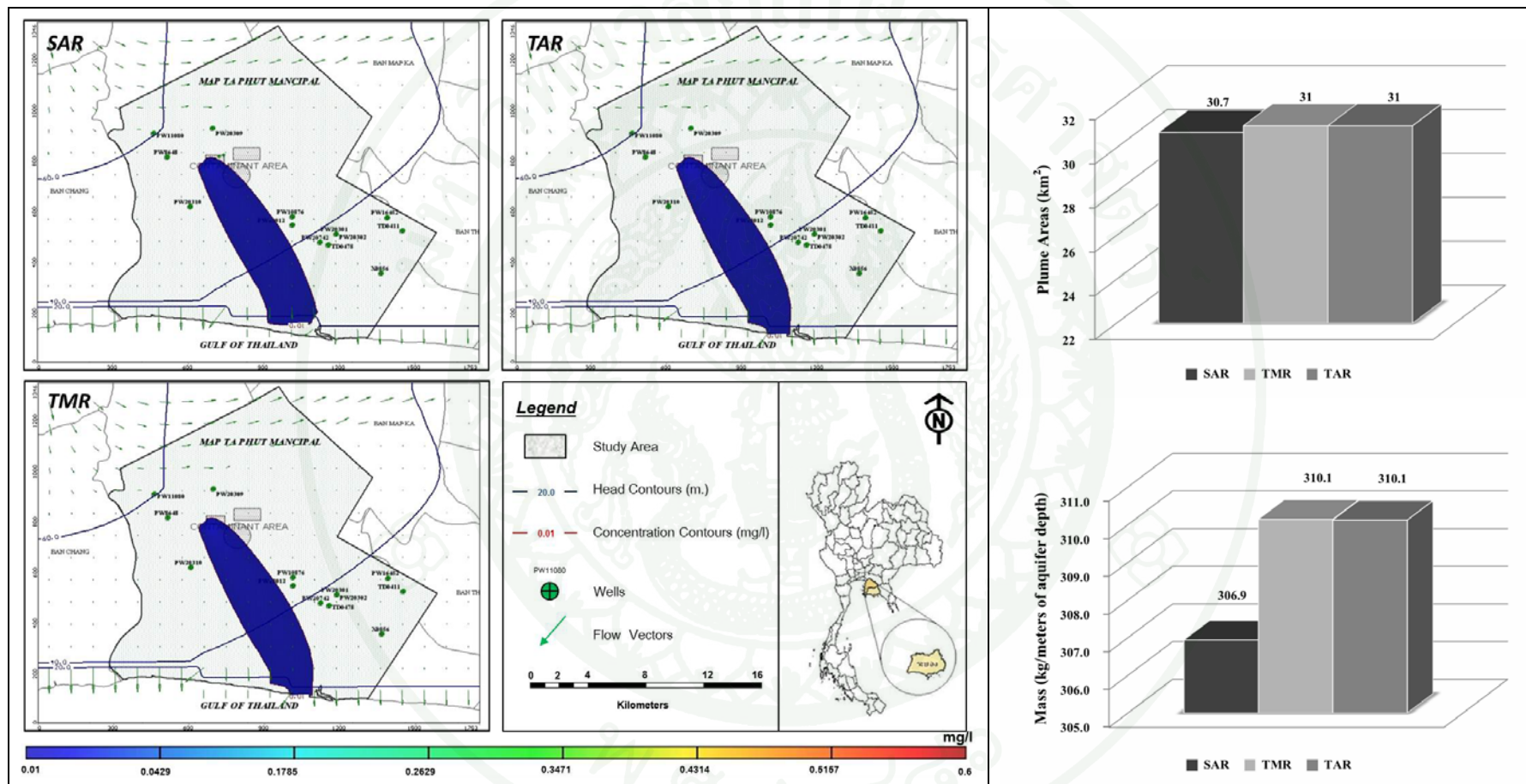
การจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดิน โดยใช้ MT3DMS เป็นเครื่องมือ (Numeric engines) ในสถานการณ์จำลองการปนเปื้อนจากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5, 5 และ 9 ตารางกิโลเมตร ของสารมลพิษสมมติที่ค้ำึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ (Advective – dispersive transport) คุณสมบัติการดูดซับ (Sorption process) และคุณสมบัติการดูดซับและการเกิดปฏิกิริยา (Sorption and reaction process) ต่างกัน 3 กลุ่ม เพื่อศึกษาขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (Plume areas) ปริมาณมวลสาร (Mass) (แสดงดังภาคผนวก ก) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 สถานการณ์จำลองการปนเปื้อนจากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร

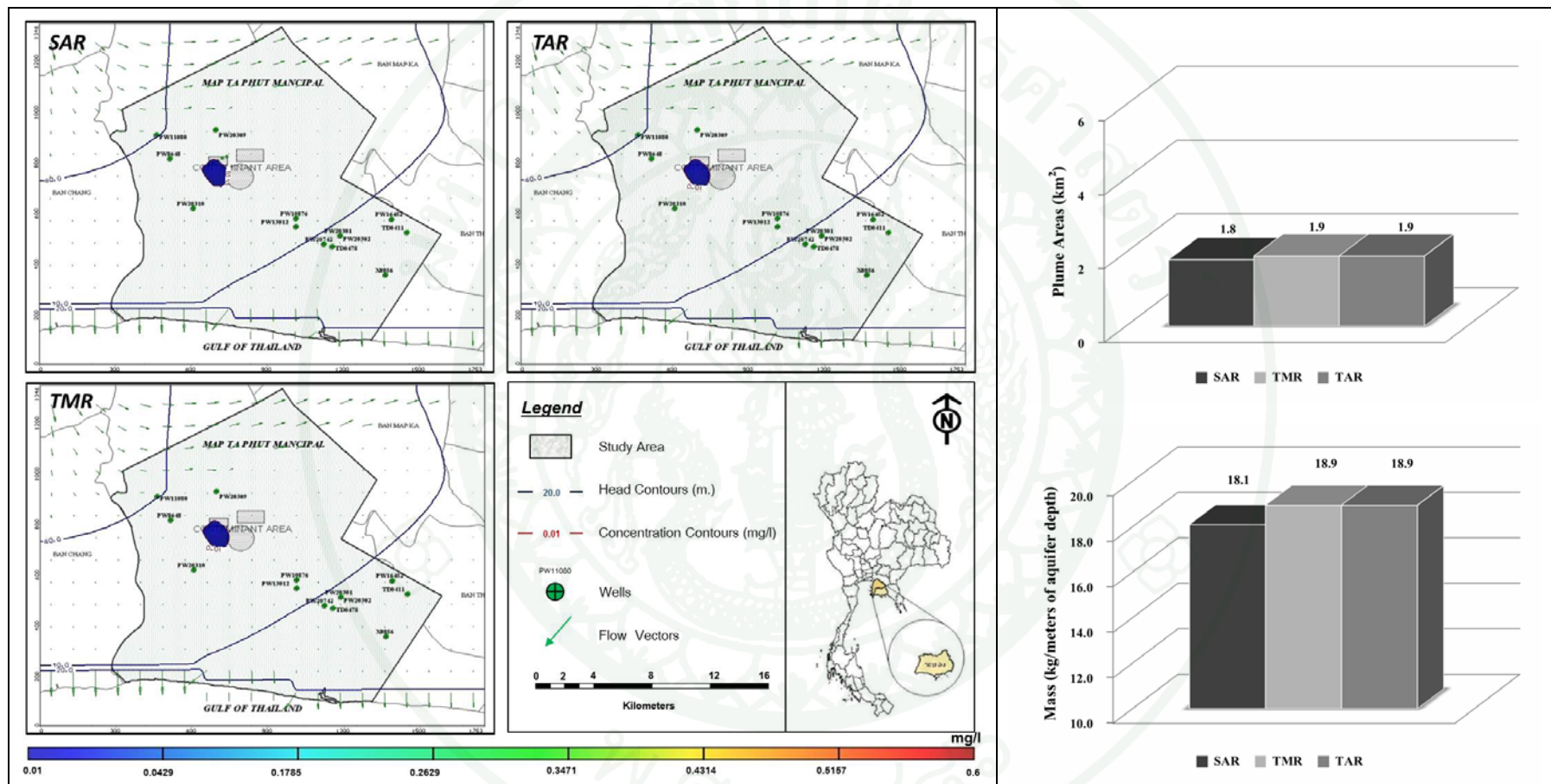
การจำลองสถานการณ์การปนเปื้อนจากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร แบ่งการจำลองจากการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสภาวะคงที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสม (Steady state Accumulate Rainfall, SAR) สภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (Transient state Average Rainfall, TAR) และสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน (Transient state Monthly Rainfall, TMR) ตามลำดับ

ผลการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษที่ระยะเวลา 1 ปี พบว่า กรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่ค้ำึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ (Advective – dispersive transport) แสดงดังภาพที่ 19 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (Plume areas) เท่ากับ 30.7, 31.0 และ 31.0 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสาร (Mass) เท่ากับ 306.9, 310.1 และ 310.1 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ กรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่ค้ำึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำและคุณสมบัติการดูดซับ (Advective – dispersive transport and Sorption process) แสดงดังภาพที่ 20 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 1.8, 1.9 และ 1.9 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสารเท่ากับ 18.1, 18.9 และ 18.9 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ และกรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่ค้ำึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ คุณสมบัติการดูดซับและการเกิดปฏิกิริยา (Advective – dispersive transport, Sorption and reaction process) แสดงดังภาพที่ 21 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 0.9, 1.1 และ 1.1 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสารเท่ากับ 9.5, 11.3 และ 11.3 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ

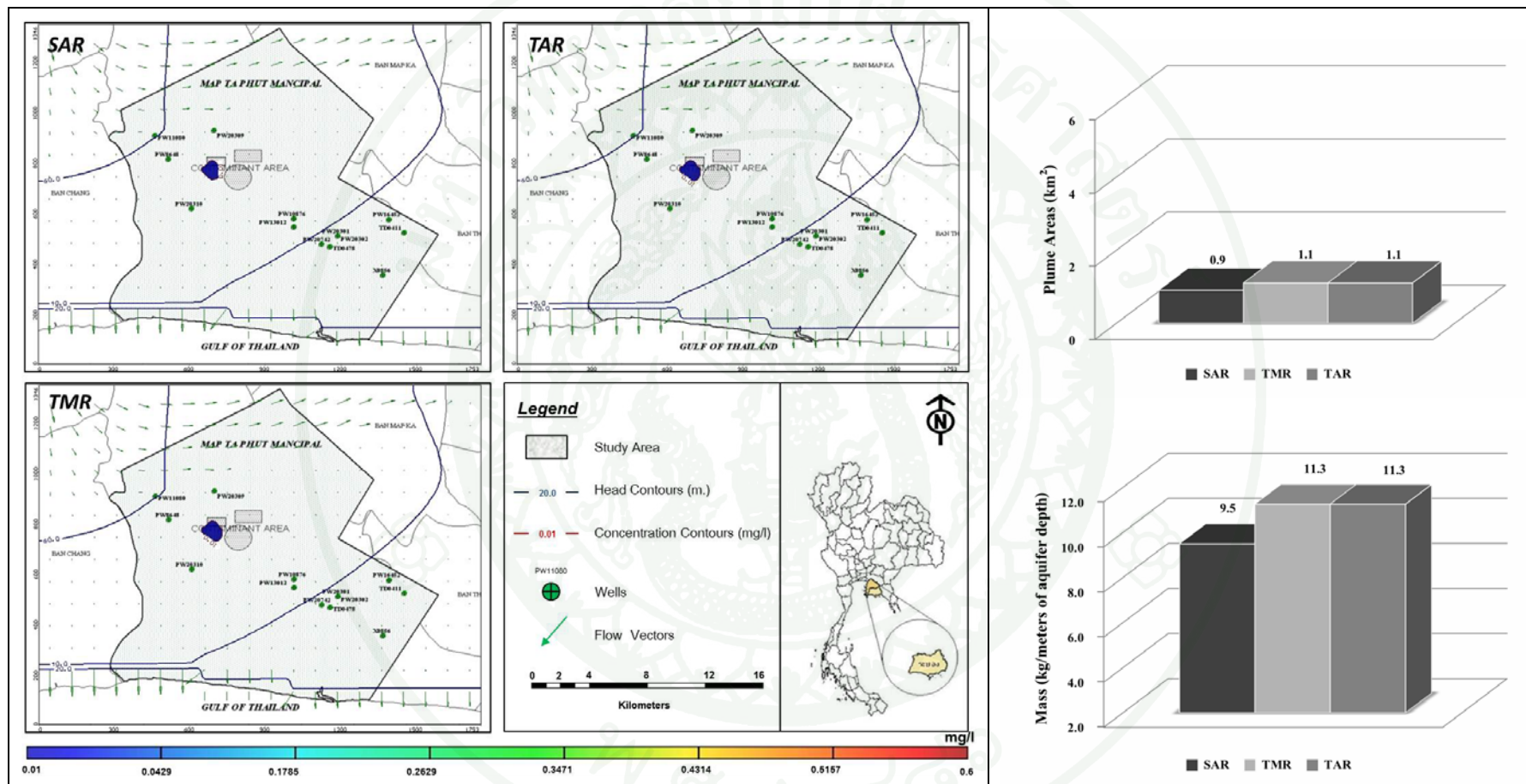
ผลการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษที่ระยะเวลา 10 ปี พบว่า
 กรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ แสดงดังภาพที่ 22 มี
 ขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 36.4, 31.7 และ 31.6 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสาร
 เท่ากับ 363.7, 317.1 และ 316 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ กรณีศึกษา
 สารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำและคุณสมบัติการดูดซับ แสดงดัง
 ภาพที่ 23 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 30.8, 30.6 และ 30.6 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณ
 มวลสารเท่ากับ 307.9, 305.6 และ 305.8 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ
 และกรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ คุณสมบัติการดูด
 ซับและการเกิดปฏิกิริยา แสดงดังภาพที่ 24 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 1.5, 1.1 และ 1.1 ตาราง
 กิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสารเท่ากับ 15.0, 11.2 และ 11.2 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนา
 ของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ



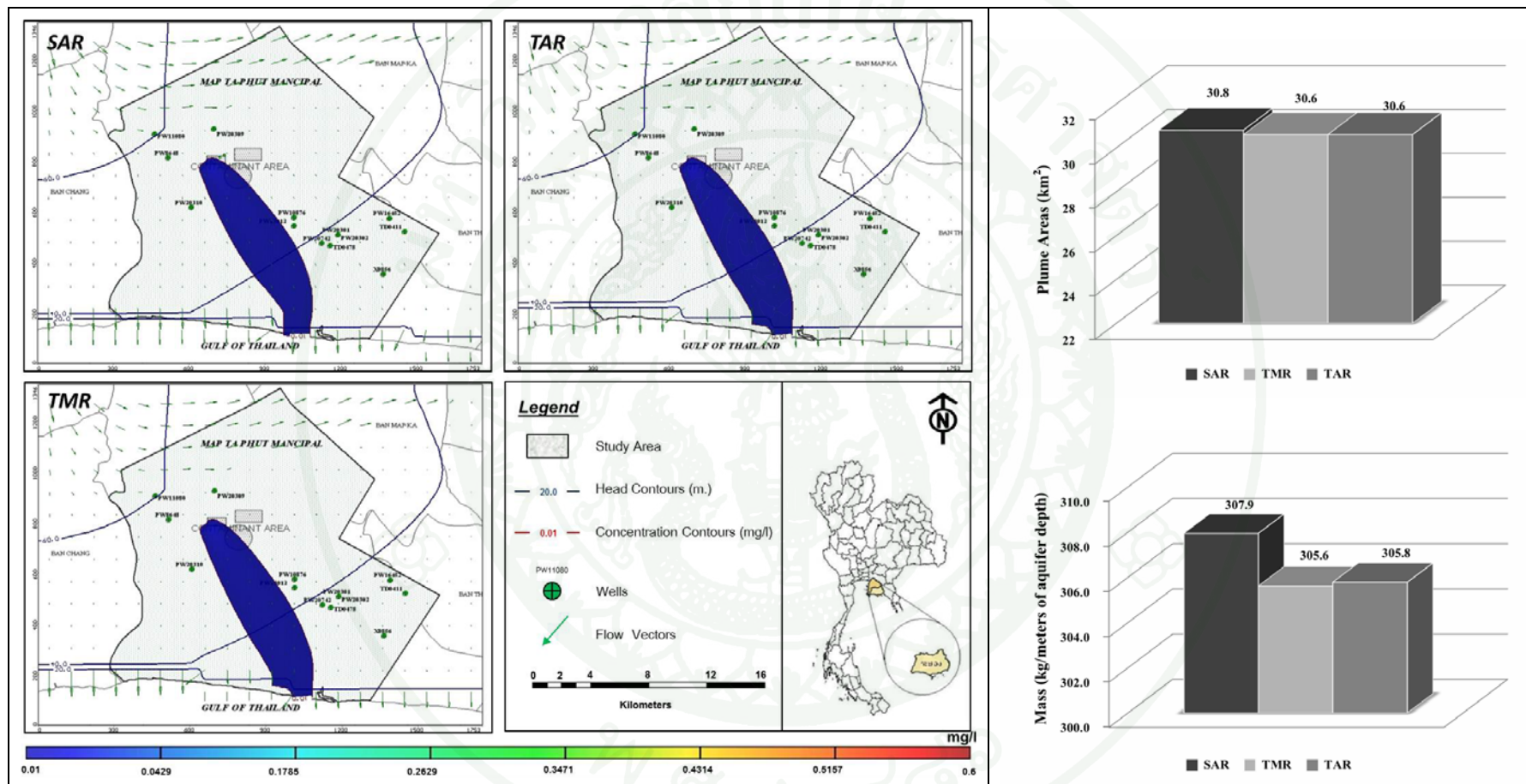
ภาพที่ 19 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร



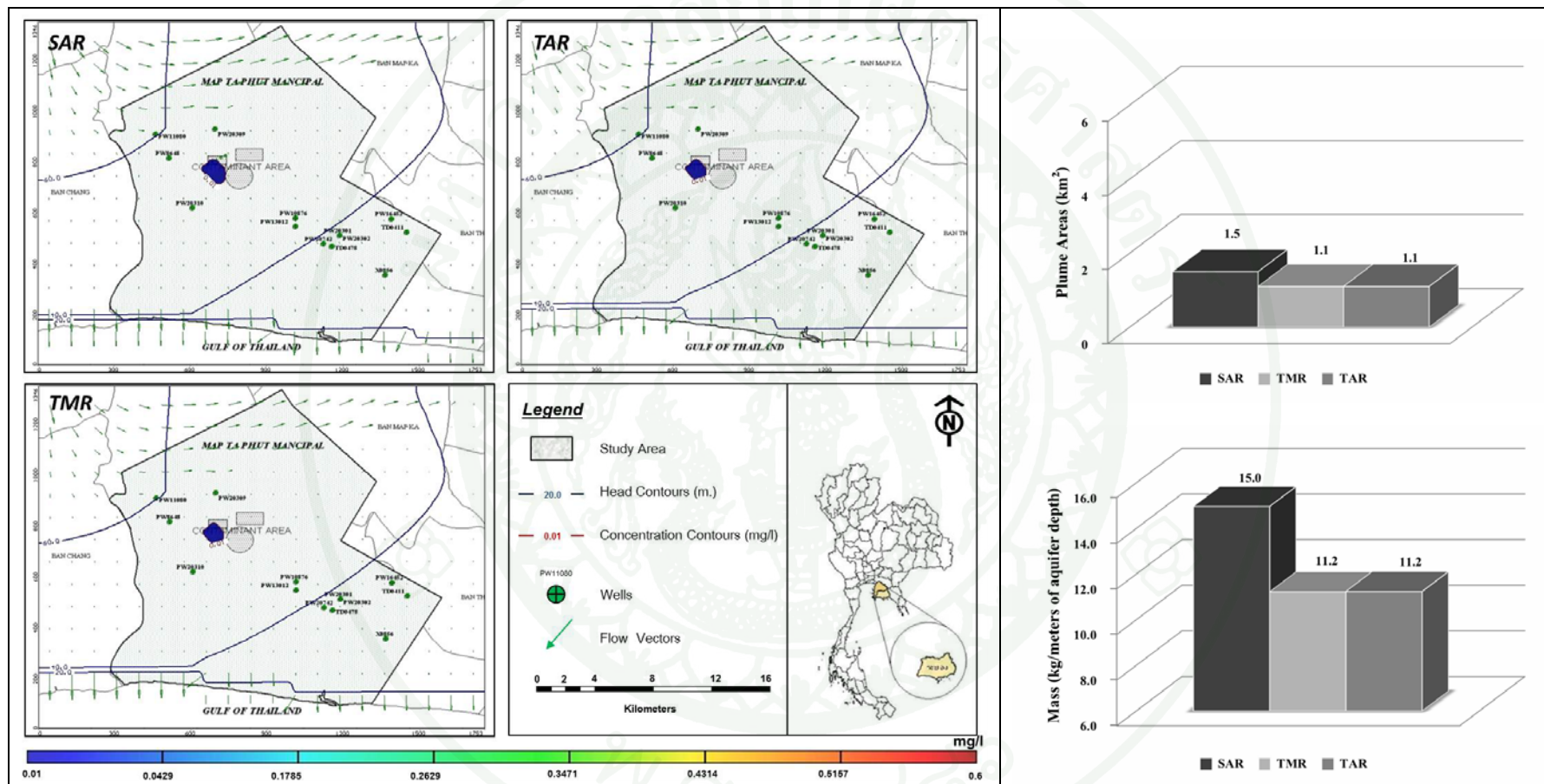
ภาพที่ 20 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport and Sorption process ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร



ภาพที่ 21 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport, Sorption and reaction process ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร



ภาพที่ 23 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport and Sorption process ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิด ขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร



ภาพที่ 24 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport, Sorption and reaction process ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร

2.2 สถานการณ์จำลองการปนเปื้อนจากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร

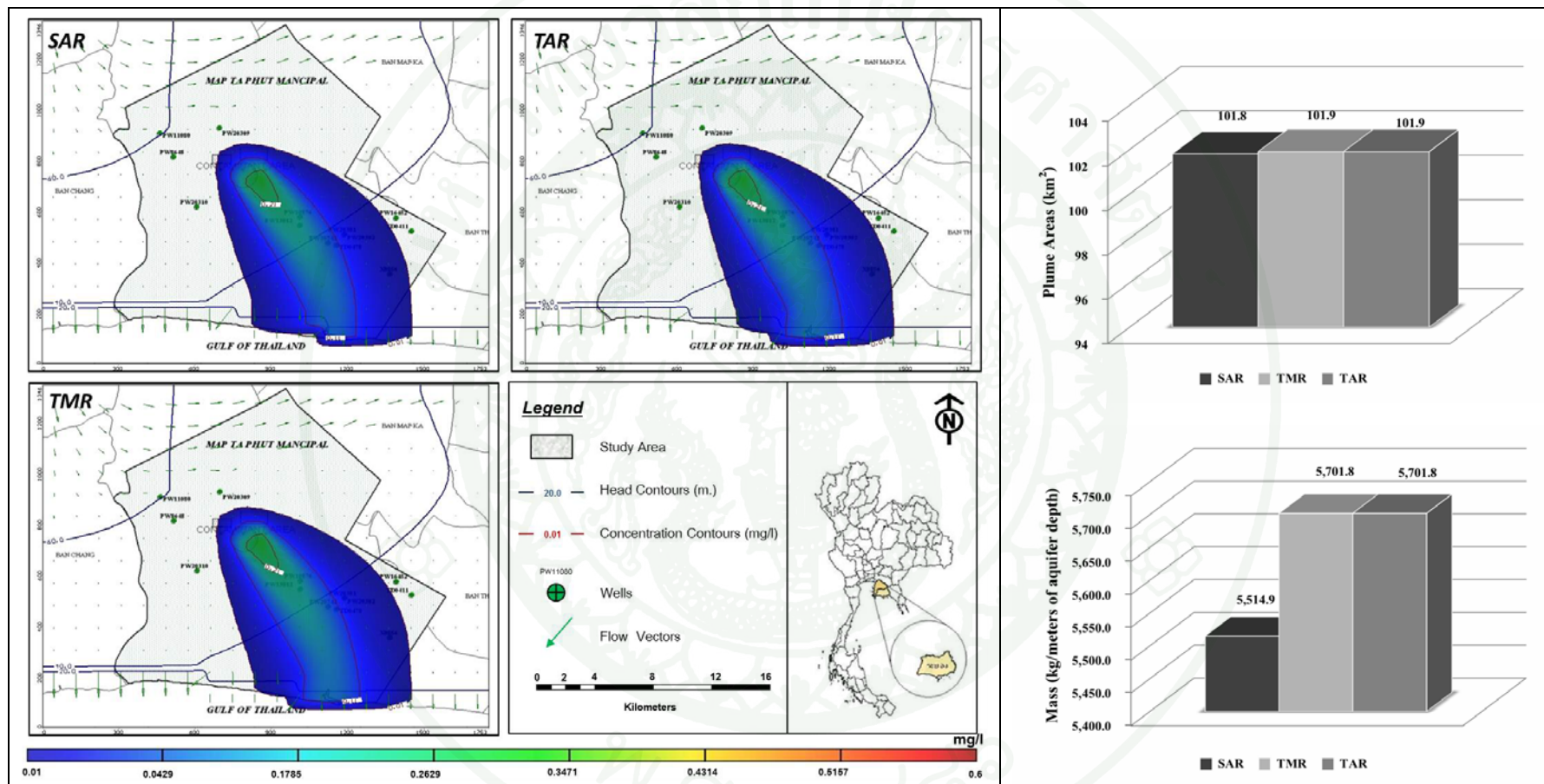
การจำลองสถานการณ์การปนเปื้อนจากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร แบ่งการจำลองจากการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสภาวะคงที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสม (Steady state Accumulate Rainfall, SAR) สภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (Transient state Average Rainfall, TAR) และสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน (Transient state Monthly Rainfall, TMR) ตามลำดับ

ผลการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษที่ระยะเวลา 1 ปี พบว่า กรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ (Advective – dispersive transport) แสดงดังภาพที่ 25 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (Plume areas) เท่ากับ 101.8, 101.9 และ 101.9 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสาร (Mass) เท่ากับ 5,514.9, 5,701.8 และ 5,701.8 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ กรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำและคุณสมบัติการดูดซับ (Advective – dispersive transport and Sorption process) แสดงดังภาพที่ 26 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 14.6, 15.2 และ 15.1 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสารเท่ากับ 350.1, 377.3 และ 377.2 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ และกรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ คุณสมบัติการดูดซับและการเกิดปฏิกิริยา (Advective – dispersive transport, Sorption and reaction process) แสดงดังภาพที่ 27 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 10.8, 12.1 และ 12.0 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสารเท่ากับ 108.5, 120.6 และ 120.4 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ

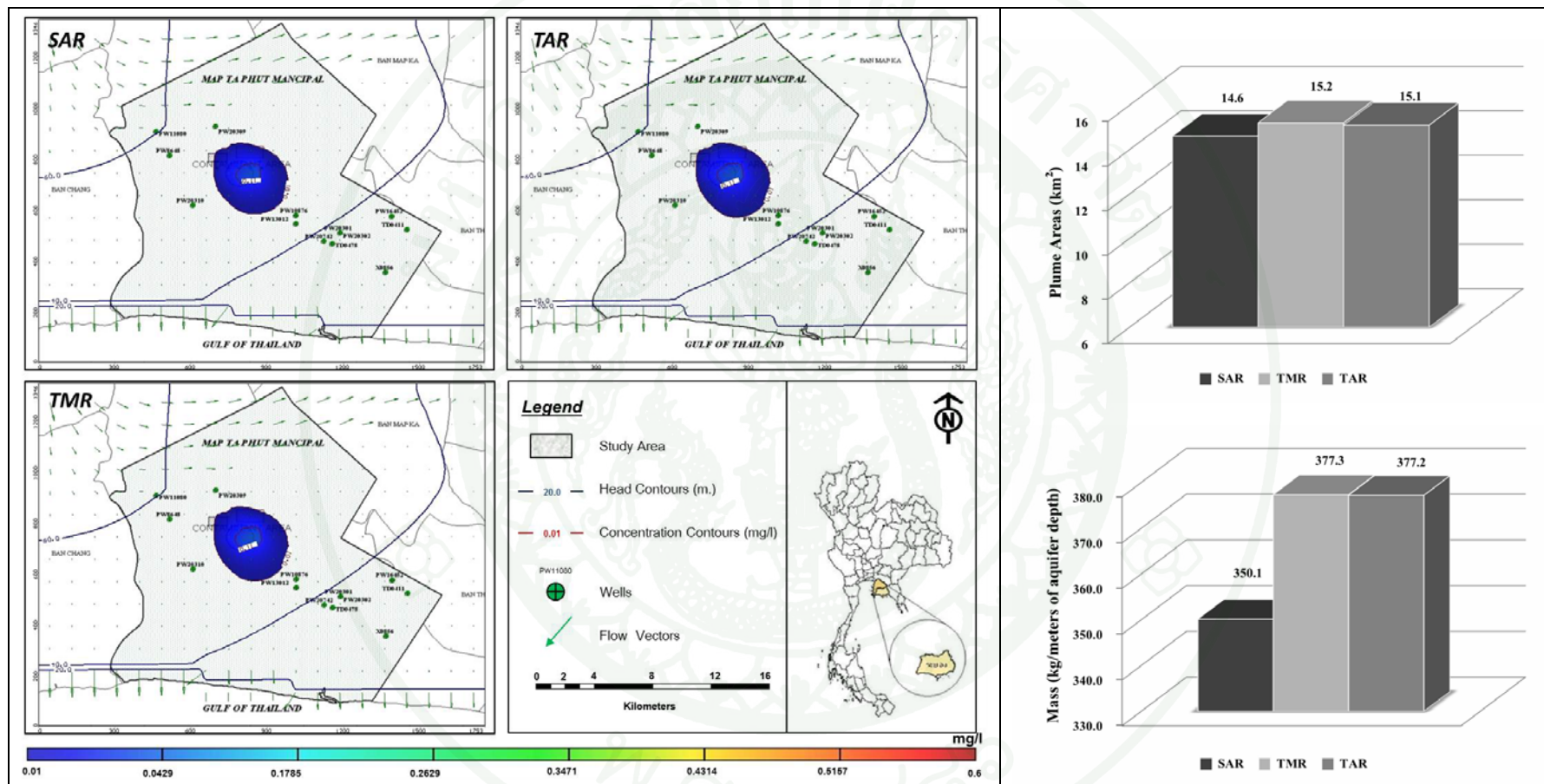
ผลการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษที่ระยะเวลา 10 ปี พบว่า กรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ แสดงดังภาพที่ 28 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 110.3, 105.2 และ 105.2 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสารเท่ากับ 6,213.8, 5,854.7 และ 5,854.5 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ กรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำและคุณสมบัติการดูดซับ แสดงดังภาพที่ 29 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 102.7, 100.5 และ 100.5 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสารเท่ากับ 5,646.6, 5,611.3 และ 5,611.3 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ และกรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไป

กับน้ำ คุณสมบัติการดูดซับและการเกิดปฏิกิริยา แสดงดังภาพที่ 30 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 21.9, 16.7 และ 16.6 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสารเท่ากับ 305.3, 166.9 และ 166.4 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ

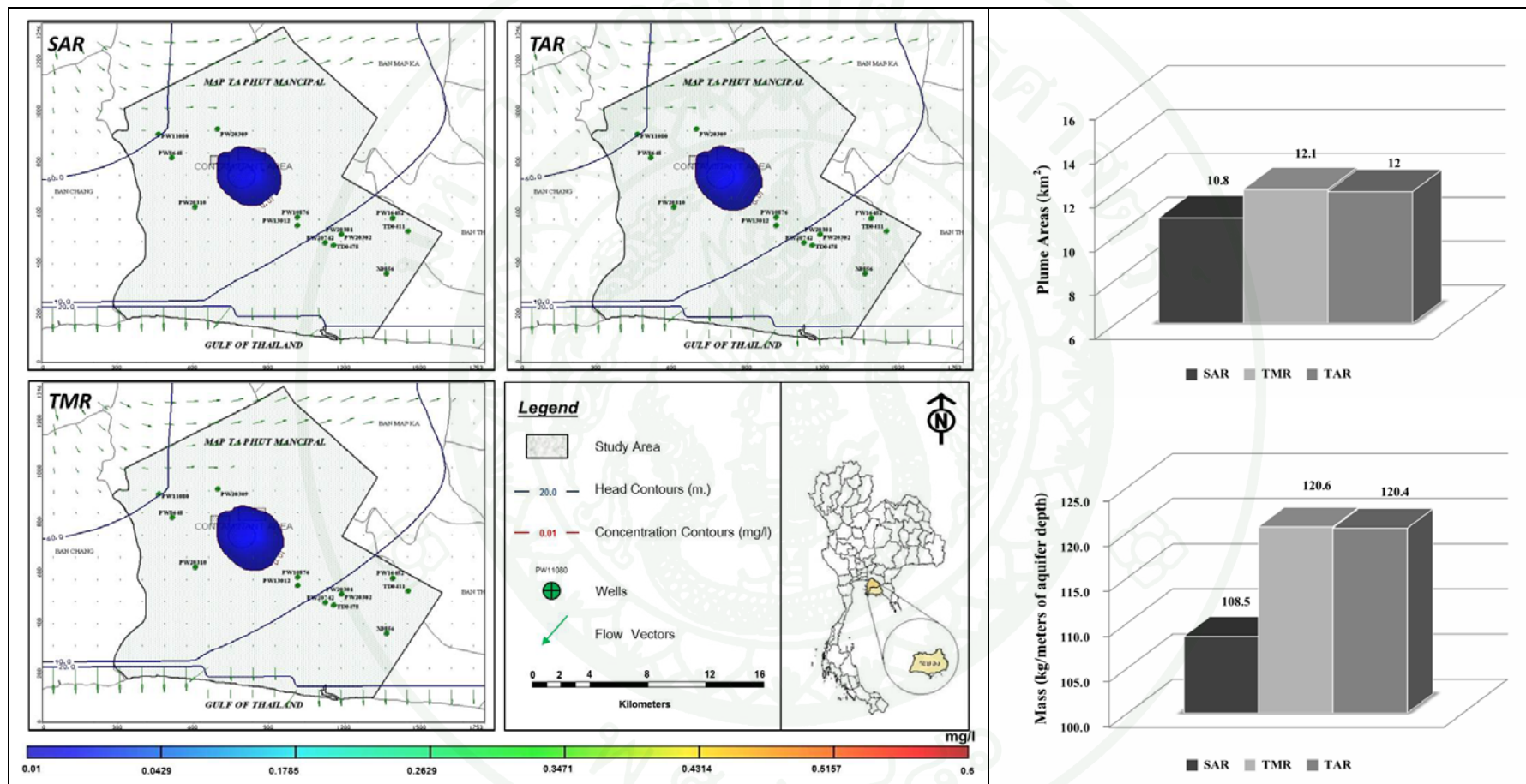




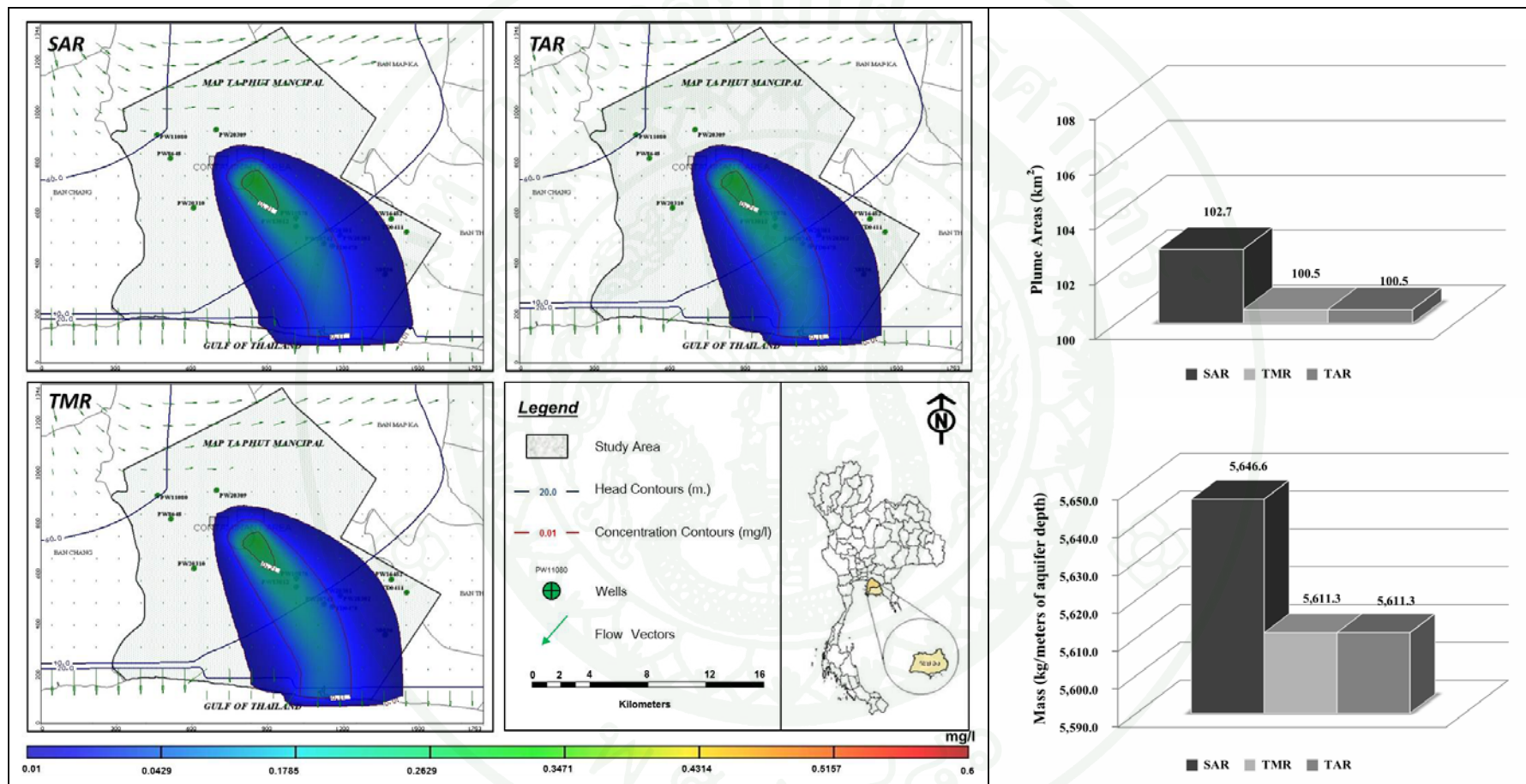
ภาพที่ 25 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร



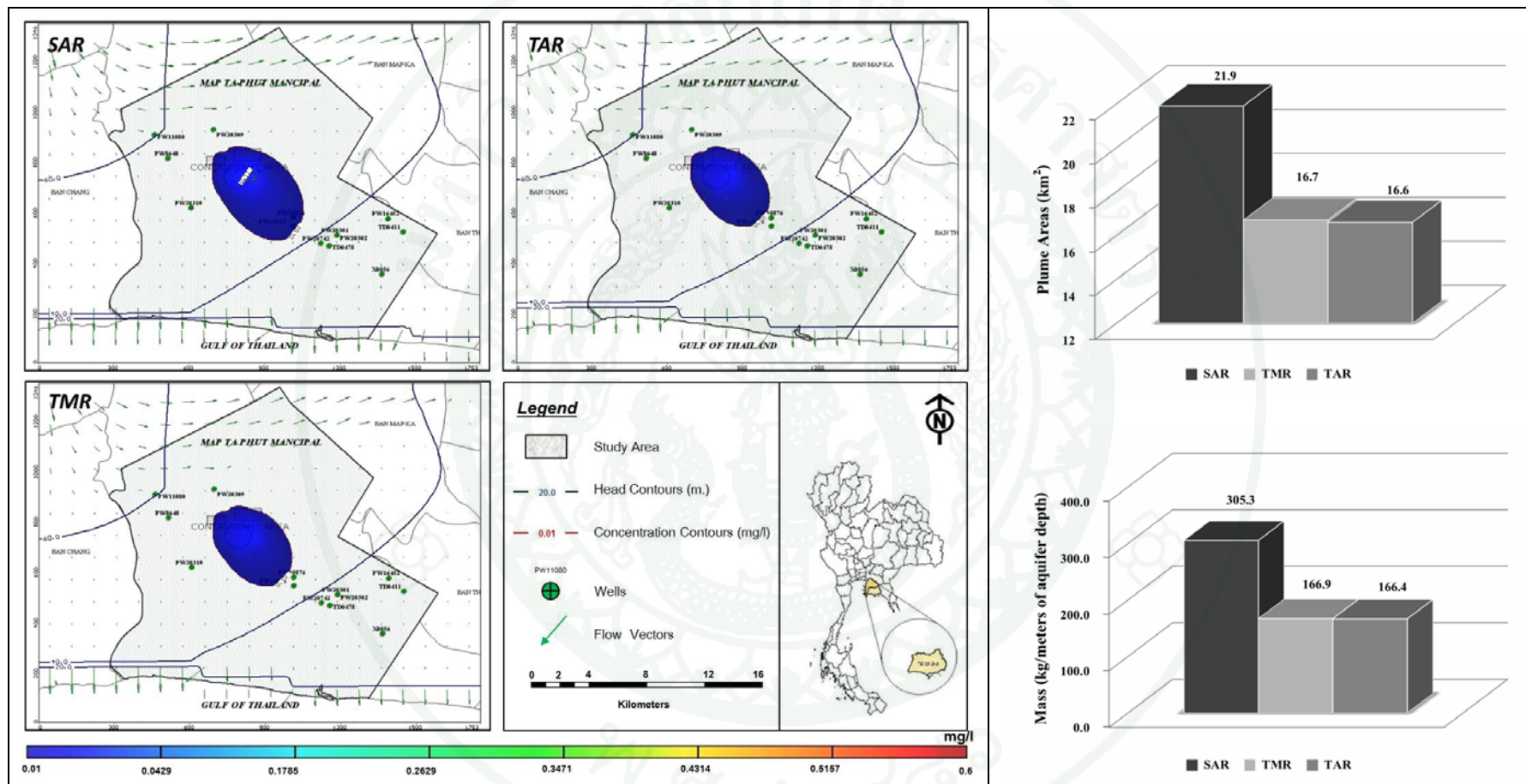
ภาพที่ 26 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport and Sorption process ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร



ภาพที่ 27 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport, Sorption and reaction process ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร



ภาพที่ 29 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport and Sorption process ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิด ขนาด 5 ตารางกิโลเมตร



ภาพที่ 30 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport, Sorption and reaction process ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร

2.3 สถานการณ์จำลองการปนเปื้อนจากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร

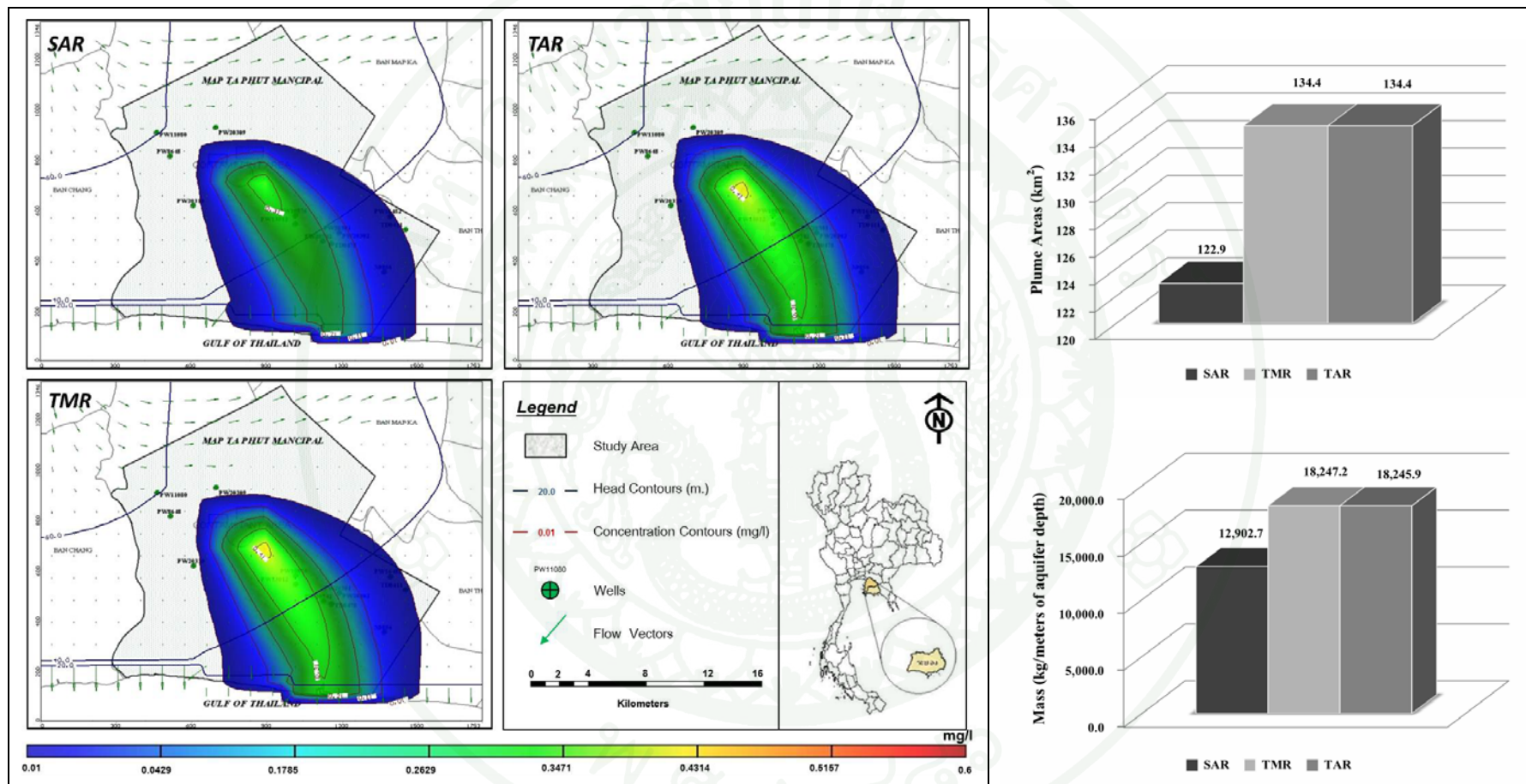
การจำลองสถานการณ์การปนเปื้อนจากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร แบ่งการจำลองจากการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสภาวะคงที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสม (Steady state Accumulate Rainfall, SAR) สภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (Transient state Average Rainfall, TAR) และสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน (Transient state Monthly Rainfall, TMR) ตามลำดับ

ผลการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษที่ระยะเวลา 1 ปี พบว่า กรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ (Advective – dispersive transport) แสดงดังภาพที่ 31 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (Plume areas) เท่ากับ 122.9, 134.4 และ 134.4 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสาร (Mass) เท่ากับ 12,902.7, 18,247.2 และ 18,245.9 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ กรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำและคุณสมบัติการดูดซับ (Advective – dispersive transport and Sorption process) แสดงดังภาพที่ 32 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 23.0, 28.4 และ 28.4 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสารเท่ากับ 937.9, 1,239.6 และ 1,232.3 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ และกรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ คุณสมบัติการดูดซับและการเกิดปฏิกิริยา (Advective – dispersive transport, Sorption and reaction process) แสดงดังภาพที่ 33 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 17.7, 23.7 และ 23.7 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสารเท่ากับ 451.6, 708.2 และ 120.4 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ

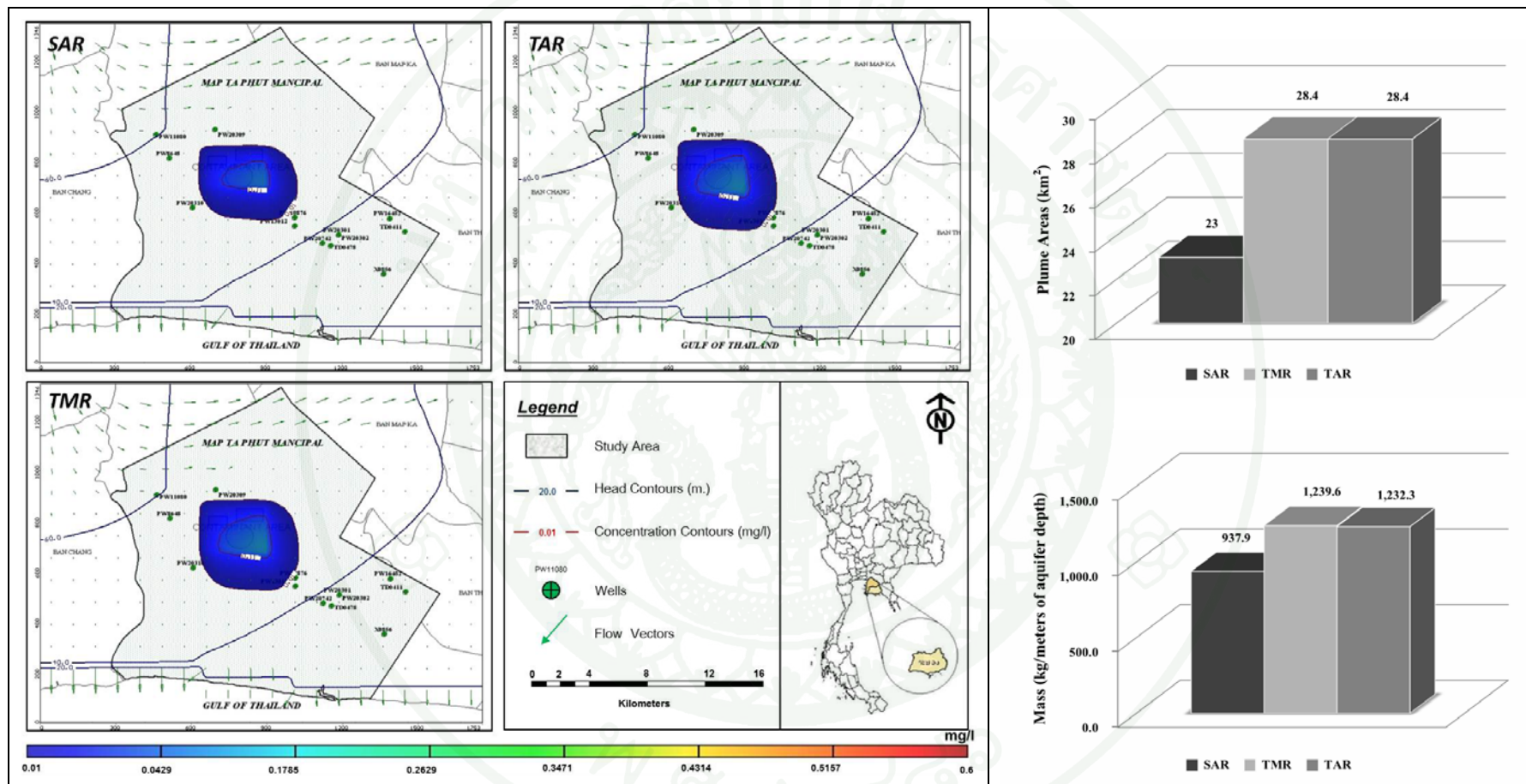
ผลการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษที่ระยะเวลา 10 ปี พบว่ากรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ แสดงดังภาพที่ 34 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 141.0, 140.9 และ 140.9 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสารเท่ากับ 18,989.6, 18,988.7 และ 18,988.7 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ กรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำและคุณสมบัติการดูดซับ แสดงดังภาพที่ 35 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 135.4, 132.1 และ 132.0 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสารเท่ากับ 17,861.6, 17,842.5 และ 17,851.0 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ และกรณีศึกษาสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลาย

ไปกับน้ำ คุณสมบัติการดูดซับและการเกิดปฏิกิริยา แสดงดังภาพที่ 36 มีขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 41.3, 32.8 และ 32.8 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ มีปริมาณมวลสารเท่ากับ 1,111.9, 894.5 และ 894.7 กิโลกรัมต่อเมตร (ความหนาของชั้นน้ำใต้ดิน) ตามลำดับ

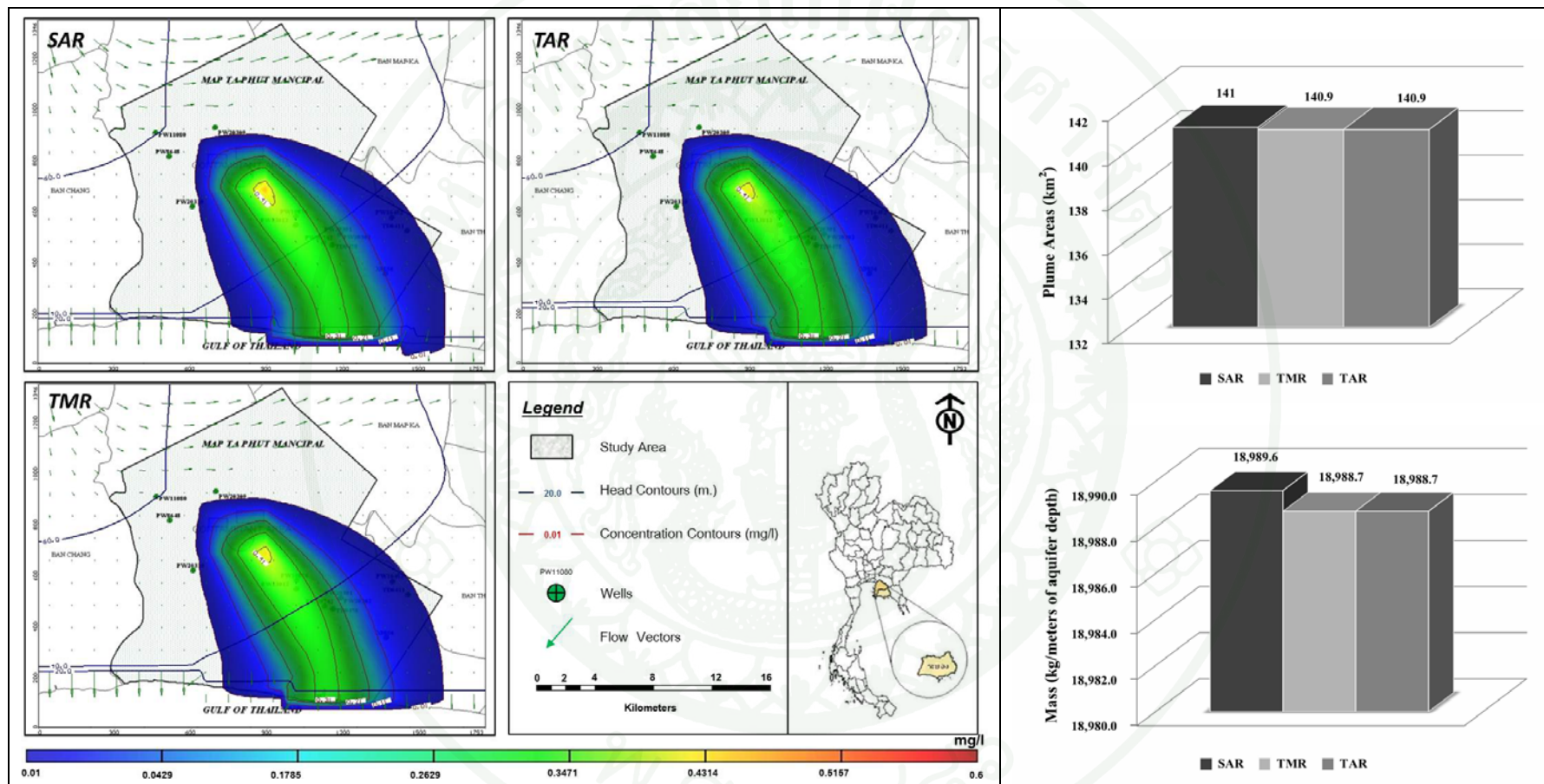




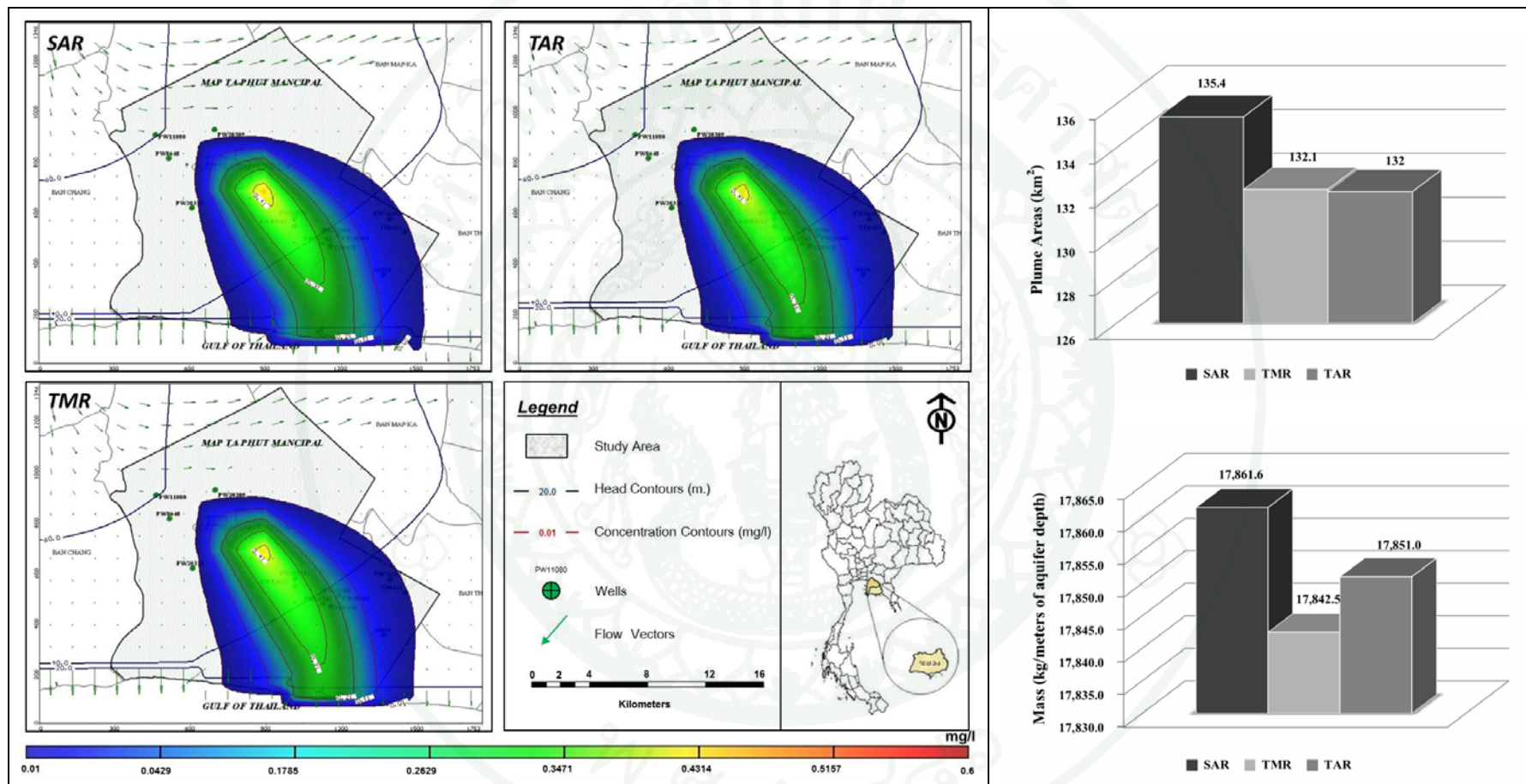
ภาพที่ 31 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport ที่ระยะเวลา 1 ปี พื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร



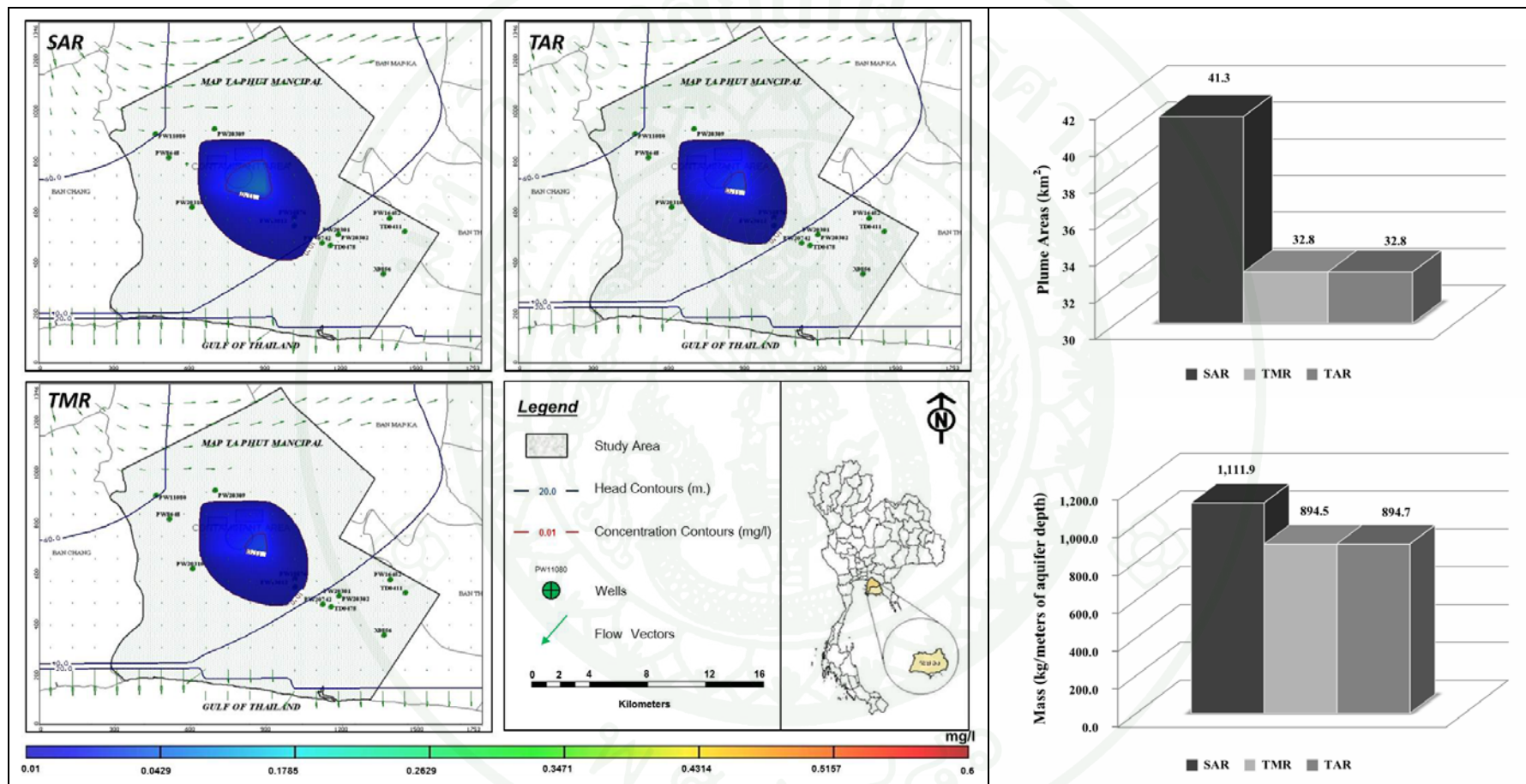
ภาพที่ 32 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport and Sorption process ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร



ภาพที่ 34 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport ที่ระยะเวลา 10 ปี พื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร



ภาพที่ 35 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport and Sorption process ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิด ขนาด 9 ตารางกิโลเมตร



ภาพที่ 36 การปนเปื้อนและการแพร่กระจายสารมลพิษกลุ่ม Advective-dispersive transport, Sorption and reaction process ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร

ทั้งนี้จากผลการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดินแสดงให้เห็นว่าขนาดของพื้นที่ปนเปื้อน และปริมาณมวลสารจากการจำลองในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient state) ที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน แตกต่างกับผลจากการจำลองในสภาวะคงที่ (Steady state) ที่มีค่าน้อยที่สุดในการศึกษาที่ระยะเวลา 1 ปีของทุกกรณี การศึกษา ดังนั้นในการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำใต้ดินบริเวณพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด หรือพื้นที่ที่มีลักษณะใกล้เคียง ถ้ามีความพร้อมสมบูรณ์ของข้อมูลควรดำเนินสร้างแบบจำลองในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลาเพื่อความถูกต้องและแม่นยำของผลที่เกิดขึ้น

3. ผลการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่าง

จากผลการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดิน จะดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างในรูปแบบร้อยละความแตกต่าง (Percent difference) ของขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (Plume area) และปริมาณมวลสาร (Mass) ระหว่างสภาวะคงที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสม (Steady state Accumulate Rainfall, SAR) และสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (Transient state Average Rainfall, TAR) กับสภาวะควบคุม (Control state) คือสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน (Transient state Monthly Rainfall, TMR) ซึ่งเป็นกรณีที่มีลักษณะใกล้เคียงกับความเป็นจริงในธรรมชาติ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2

3.1 Transient state Average Rainfall (TAR) กับ Control state (TMR)

การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (Transient state Average Rainfall, TAR) กับสภาวะควบคุม พบว่าผลการศึกษาเปรียบเทียบจากสถานการณ์ปนเปื้อนของพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5, 5 และ 9 ตารางกิโลเมตร ในทุกกรณีมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย โดยมีร้อยละความแตกต่างของขนาดพื้นที่ปนเปื้อน และปริมาณมวลสารอยู่ในช่วงเพียง 0.0 – 0.8 และ 0.0 – 0.6 ตามลำดับ

3.2 Steady state Accumulate Rainfall (SAR) กับ Control state (TMR)

การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสภาวะคงที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสม (Steady state Accumulate Rainfall, SAR) กับสภาวะควบคุม จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนทั้งในส่วนของขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (Plume area) และปริมาณมวลสาร (Mass) แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างดังภาพที่ 37 โดยพบว่า ผลการศึกษาเปรียบเทียบจากสถานการณ์การปนเปื้อนของสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ สารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำและคุณสมบัติการดูดซับ และสารมลพิษกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ คุณสมบัติการดูดซับและการเกิดปฏิกิริยา จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร ที่ระยะเวลา 1 ปี มีร้อยละความแตกต่างของขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 1.0, 5.4 และ 20.0 ตามลำดับ ร้อยละความแตกต่างของปริมาณมวลสารเท่ากับ 1.0, 4.6 และ 16.9 ตามลำดับ และที่ระยะเวลา 10 ปี มีร้อยละความแตกต่างของขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 13.8, 0.7 และ 30.8 ตามลำดับ ร้อยละความแตกต่างของปริมาณมวลสารเท่ากับ 13.7, 0.8 และ 28.6 ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างจากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 5 ตารางกิโลเมตร ที่ระยะเวลา 1 ปี มีร้อยละความแตกต่างของขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 0.1, 4.0 และ 11.4 ตามลำดับ ร้อยละความแตกต่างของปริมาณมวลสารเท่ากับ 3.3, 7.5 และ 10.6 ตามลำดับ และที่ระยะเวลา 10 ปี มีร้อยละความแตกต่างของขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 4.7, 2.2 และ 26.9 ตามลำดับ ร้อยละความแตกต่างของปริมาณมวลสารเท่ากับ 6.0, 0.6 และ 58.6 ตามลำดับ

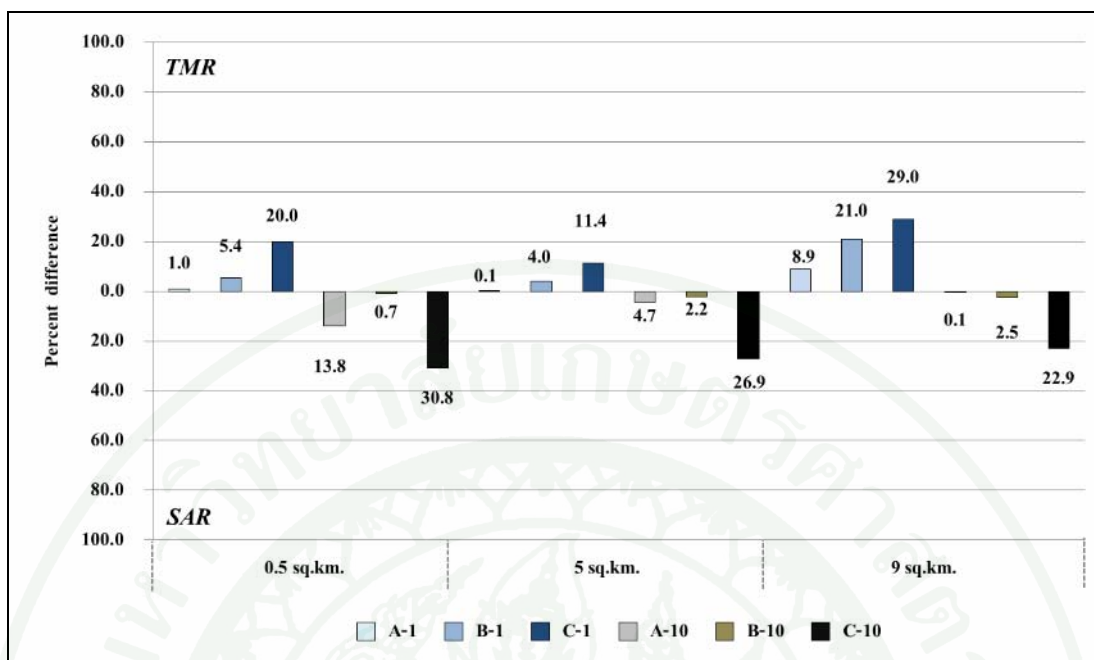
ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างจากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร ที่ระยะเวลา 1 ปี มีร้อยละความแตกต่างของขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 8.9, 21.0 และ 29.0 ตามลำดับ ร้อยละความแตกต่างของปริมาณมวลสารเท่ากับ 34.3, 36.9 และ 44.3 ตามลำดับ และที่ระยะเวลา 10 ปี มีร้อยละความแตกต่างของขนาดพื้นที่ปนเปื้อนเท่ากับ 0.1, 2.5 และ 22.9 ตามลำดับ ร้อยละความแตกต่างของปริมาณมวลสารเท่ากับ 0.0, 0.1 และ 21.7 ตามลำดับ

ทั้งนี้จากผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสภาวะคงที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสม (Steady state Accumulate Rainfall, SAR) กับสภาวะควบคุมของทุกกรณี แสดงให้เห็นว่าที่ระยะเวลาการศึกษา 1 ปี ความแตกต่างจะแปรผันตามคุณสมบัติของสารมลพิษสมมติที่

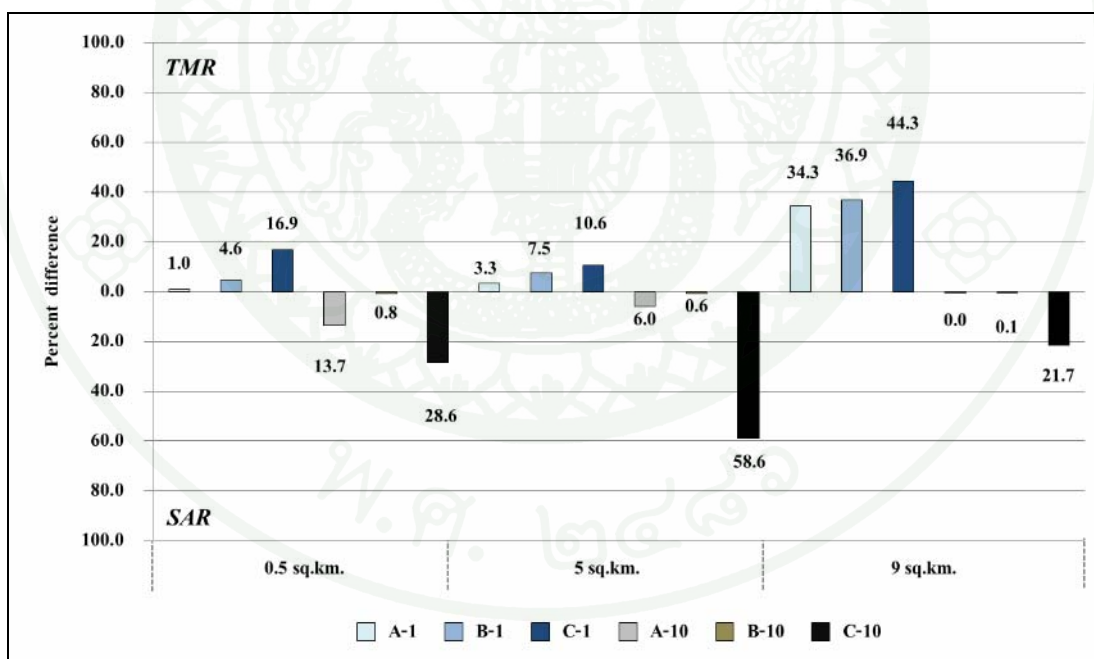
คำนึงถึง โดยเฉพาะสารมลพิษสมมติกลุ่มที่คำนึงถึงคุณสมบัติการเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ คุณสมบัติการดูดซับและการเกิดปฏิกิริยา (Advective – dispersive transport, Sorption and reaction process) จะมีความแตกต่างกันที่สุดในแต่ละกรณีการศึกษานั้นๆ

ตารางที่ 2 สรุปการเปรียบเทียบร้อยละความแตกต่าง (Percent difference) กับสภาวะควบคุม

ขนาดพื้นที่ แหล่งกำเนิด (ตร.กม.)	ระยะเวลา (ปี)	ชนิดสาร มลพิษ	ขนาดพื้นที่ปนเปื้อน		ปริมาณมลสาร	
			SAR	TAR	SAR	TAR
0.5	1	A	1.0	0.0	1.0	0.0
		B	5.4	0.0	4.6	0.0
		C	20.0	0.0	16.9	0.0
	10	A	13.8	0.3	13.7	0.3
		B	0.7	0.0	0.8	0.1
		C	30.8	0.0	28.6	0.1
5	1	A	0.1	0.0	3.3	0.0
		B	4.0	0.7	7.5	0.0
		C	11.4	0.8	10.6	0.1
	10	A	4.7	0.0	6.0	0.0
		B	2.2	0.0	0.6	0.0
		C	26.9	0.6	58.6	0.3
9	1	A	8.9	0.0	34.3	0.0
		B	21.0	0.0	36.9	0.6
		C	29.0	0.0	44.3	0.0
	10	A	0.1	0.0	0.0	0.0
		B	2.5	0.1	0.1	0.0
		C	22.9	0.0	21.7	0.0



(ก)



(ข)

ภาพที่ 37 เปรียบเทียบร้อยละความแตกต่างของ (ก) ขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (ข) ปริมาณมวลสาร ระหว่าง Steady state Accumulate Rainfall กับ Control state

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นต่อการคาดการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดิน โดยการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินตามรูปแบบข้อมูลปริมาณน้ำฝนประกอบด้วยการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในสภาวะคงที่นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสม (Steady state Accumulate Rainfall, SAR) สภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (Transient state Average Rainfall, TAR) และสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลานำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน (Transient state Monthly Rainfall, TMR) ที่ระยะเวลา 1 ปี และ 10 ปี และการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดินในสถานการณ์จำลองการปนเปื้อนจากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5, 5 และ 9 ตารางกิโลเมตร ของสารมลพิษสมมติที่คำนึงถึงคุณสมบัติเคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำ (Advective – dispersive transport) คุณสมบัติการดูดซับ (Sorption process) และคุณสมบัติการเกิดปฏิกิริยา (Reaction process) ต่างกัน 3 กลุ่ม เพื่อศึกษาเปรียบเทียบร้อยละความแตกต่าง (Percent difference) กับสภาวะควบคุมของขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (Plume areas) ปริมาณมวลสาร (Mass) สามารถสรุปได้ดังนี้

เมื่อพิจารณาการไหลของน้ำใต้ดิน พบว่ารูปแบบปริมาณน้ำฝนไม่มีอิทธิพลต่อการไหลของน้ำใต้ดินในทุกกรณีศึกษาเนื่องจากมีความเร็วการไหลของน้ำใต้ดินสูงสุดใกล้เคียงกัน และทิศทางของการไหลของน้ำใต้ดินสอดคล้องกันทั้งในการศึกษาที่สภาวะคงที่ (Steady state) และสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Transient state) ที่ระยะเวลา 1 ปี และ 10 ปี

และจากการพิจารณาการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดินทั้ง 3 กลุ่ม พบว่ารูปแบบปริมาณน้ำฝนมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของสารมลพิษที่เคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำโดยที่ไม่มีการดูดซับและการย่อยสลายที่ระยะเวลา 1 ปี เฉพาะกรณีศึกษาในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลาจากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร และที่ระยะเวลา 10 ปี เฉพาะกรณีศึกษาในสภาวะคงที่จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของสารมลพิษที่เคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำโดยมีการดูดซับแต่ไม่มีการย่อยสลายที่ระยะเวลา 1 ปี เฉพาะกรณีศึกษาในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลาจากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร และไม่มีอิทธิพลในการศึกษาที่ระยะเวลา 10 ปี และมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของสารมลพิษที่เคลื่อนที่หรือละลายไปกับ

น้ำโดยที่มีการดูดติดผิวและมีการย่อยสลายที่ระยะเวลา 1 ปี กรณีการศึกษาในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา และที่ระยะเวลา 10 ปี กรณีการศึกษาในสภาวะคงที่จากแหล่งกำเนิดทุกขนาดพื้นที่

สรุปโดยรวมจากอิทธิพลของรูปแบบปริมาณน้ำฝนต่อการศึกษาแบบจำลองน้ำใต้ดิน บริเวณพื้นที่ศึกษา ในกรณีที่เลวร้ายที่สุด (The worst case) เมื่อพิจารณาขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (Plume area) พบว่ากรณีศึกษาพฤติกรรมของสารมลพิษที่เคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำโดยที่ไม่มีการดูดติดผิวและการย่อยสลาย จะเป็นกรณีการศึกษาในสภาวะคงที่ ที่ระยะเวลา 10 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 0.5 ตารางกิโลเมตร กรณีศึกษาพฤติกรรมของสารมลพิษที่เคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำโดยที่มีการดูดติดผิวแต่ไม่มีการย่อยสลาย จะเป็นกรณีการศึกษาในสภาวะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ที่ระยะเวลา 1 ปี จากพื้นที่แหล่งกำเนิดขนาด 9 ตารางกิโลเมตร และกรณีศึกษาพฤติกรรมของสารมลพิษที่เคลื่อนที่หรือละลายไปกับน้ำโดยที่มีการดูดติดผิวและมีการย่อยสลายจะเป็นไปได้ในทุกกรณีของการศึกษา

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาแบบจำลองการไหลและการแพร่กระจายของสารมลพิษในแหล่งน้ำใต้ดินควรมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ ทฤษฎีการไหลของน้ำใต้ดิน และการนำเข้าข้อมูลพื้นฐานเพราะถ้าข้อมูลพื้นฐานผิดก็จะทำให้แบบจำลองขาดความถูกต้องแม่นยำ ทั้งนี้ควรมีการปรับแก้ค่าที่ถูกต้องและเหมาะสมกับแต่ละขอบเขตของพื้นที่ศึกษาด้วย ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างละเอียดและใช้ระยะเวลานาน อีกทั้งควรมีการศึกษาในสถานการณ์จำลองที่นำเข้าข้อมูลแบบ Extreme case เช่น กรณีเกิดแล้งจัด หรือเกิดน้ำท่วม เพื่อให้ผลจากการจำลองเกิดความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมการขนส่งทางน้ำและพาณิชยนาวี. 2553. ข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมงของสถานีตรวจวัดระดับน้ำระยอง. (ซีดีรอม). กรมเจ้าท่า, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรธรณี. 2550. ธรณีวิทยาประเทศไทย. ครั้งที่ 2. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. 2545. ข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินในจังหวัดชลบุรีและระยอง. (ซีดีรอม). กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, กรุงเทพฯ.

_____. 2551. โครงการประเมินศักยภาพด้านคุณภาพน้ำใต้ดิน วางระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนรายละเอียดการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมแผนที่ทหาร. 2534. แผนที่ภูมิประเทศ 1:50,000 ระวัง 5234 III และ 5234 IV.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2553. โครงการประยุกต์ใช้ระบบการจัดการมลพิษดินจากการประกอบการอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2551. รายงานสถิติภูมิอากาศในรอบ 30 ปี. งานบริการข้อมูลกลุ่มภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. กรุงเทพฯ.

กองน้ำใต้ดิน กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม. 2550. รายงานชั้นดินหินจากหลุมเจาะน้ำใต้ดินจังหวัดระยอง. 116.

พรรณนิภา นาคสินไพศาล. 2551. การศึกษาการปนเปื้อนสารมลพิษในน้ำใต้ดินจากนาุ้งและนาข้าว บริเวณ อ. ระโนด จ. สงขลา โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจิตร ศรีวงษ์. 2549. การตรวจติดตามและประเมินสภาพการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำใต้ดินจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วินัย เลียงเจริญสิทธิ์. 2553. การสร้างแบบจำลองสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สัญญา สิริวิทยาปกรณ. 2553. เอกสารคำสอน 210523 การจัดการสารพิษและของเสียอันตราย. ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Fetter, C.W. 1994. **Applied Hydrogeology**. 3 ed. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

_____. 1999. **Contaminant Hydrogeology**. 2 ed. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Freeze, R.A. and J.A. Cherry. 1979. **Groundwater**. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Harbaugh, A.W., 2005, **MODFLOW – 2005, The U.S. Geological Survey modular ground – water model – the Ground – the Ground – Water Flow Process**: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6 – A16, variously p.

Laura, K.Lautz and I.Siegel Donald. 2006. Modeling surface and groundwater mixing in the hyporheic zone using MODFLOW and MT3D. **Advances in Water Resources** (29): 1618-1633.

Lewis F. 1998. Modelling Direct Episodic Recharge in the Western Australian Wheatbelt. **Resource Management Technical Report**, Number 168

Mary P. Anderson. William W. Woessner. 1991. **Applied groundwater modeling : simulation of flow and advective transport**. Academic Press.

Spitz, K and F Moreno. 1996. **A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling.** John Wiley and Sons, Inc., New York.







ภาคผนวก ก

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนของสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดระยอง

ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดระยอง

ปี	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2524	0	15.8	22.4	85	219.4	218.3	34.4	114.5	190.8	142.9	210	0
2525	0	34.6	101.8	105.3	153.7	325.6	80.2	109.1	207.9	102.7	156	19
2526	0	0	140.4	0	124.1	143.4	240.1	377	304.9	226	164.2	15.1
2527	2	25.5	10.4	14.1	161.2	148.1	110.8	48.2	195.9	122.7	26.3	0
2528	3.7	38.2	75	241.4	358.9	132.9	161.1	69.2	234.2	214.5	462.3	0
2529	0	55	0	70.4	217.7	39.8	170	79.1	311.5	298.1	46	3.5
2530	0	5	38.9	29.8	143	213.4	101.1	173.4	222.1	223.4	129.4	0
2531	0	112.7	59.2	97	296.8	188	265	137.1	305.3	298.9	3.6	0
2532	87.3	107.9	51.9	8.8	41.4	66.5	131.2	60.1	212.4	367.2	10.7	0
2533	80.5	7.7	150.6	3.3	182	16.5	31.2	116.6	289.9	167.7	56.5	0.6
2534	0	46.7	35.6	56.6	95.5	129.8	108.3	40.7	259.8	195.9	0	0
2535	69.5	55.6	0	65.4	66.4	204.3	385.5	123.8	88.7	150.4	33.4	33.3
2536	59.2	42.4	124	70.9	155	131.4	63.3	134.1	309.9	278	38.7	3.1

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ปี	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2537	0	5.3	93.6	41.9	409.9	325.3	53.1	144.4	243.2	38.8	2.4	7
2538	36.6	0.9	56.1	59.9	258.6	233.9	339	235.1	499	193.5	87	1.1
2539	10.5	88.2	89.5	117.4	269.6	321.7	312.6	166	292	289.7	87.6	0.5
2540	0	43.4	49.8	55.2	89	2.4	51.6	22.8	287.1	186	104.8	0
2541	33.6	51.8	1.4	133.8	242.1	213	373.7	241.9	243.6	187.7	47.3	5.6
2542	1.8	12.7	219.8	234.4	221.6	33.8	94.2	113.3	197.3	281.6	90.4	0.8
2543	7.2	22.8	13.5	178.3	129.7	266.1	164.2	130.4	367.1	112.5	3.2	2.5
2544	71	8.4	317.6	54.5	177.6	90.3	31.1	129.5	174.8	375	12.4	0
2545	7.3	52.3	37.3	16.1	181.3	151	99.6	150.6	264	122.5	30.8	36.5
2546	0	24.7	128.7	28.1	94.8	232.7	350.1	80.3	185.2	156.7	6.8	0
2547	15.7	9.6	5.3	14.1	197.1	223.2	115.8	46.4	382.1	134.5	11.4	0
2548	50.6	0	65.3	158.6	76.1	142.4	84.9	104.6	303.3	126	56.1	34.7
2549	12	142.9	78.6	132.1	265.5	102.5	115.3	116.9	268.7	172.3	2.3	11.8

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ปี	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2550	9.4	0	1.6	85.9	416.3	227.8	192.7	128	212.2	76.9	15.6	0
2551	3.7	58.5	44	104	114.3	144.8	235.3	123.8	182.3	166.6	33.3	0



ตารางผนวกที่ ข1 ข้อมูลชั้นดินหินจากหลุมเจาะน้ำใต้ดินบริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง

ชื่อหลุมเจาะ	หมายเลข	ที่ตั้ง	ความลึกเจาะ (เมตร)	ช่วงความลึก (เมตร)		ชนิดชั้นดินหิน
DMR0067	Log No.50923	บ้านหนองบัว ม.4 บ.หนองบัว ต.เชิงเนิน อ.เมืองระยอง จ.ระยอง	30.0	0.0	1.5	ดินทราย
				1.5	7.6	ดินทราย
				7.6	12.1	ดินทราย
				12.1	18.2	ดินทราย
				18.2	22.8	กรวด
				22.8	28.9	กรวด/ดินเหนียว
				28.9	30.4	กรวด
TD0178	Log No.50938	โรงเรียนชุมชนบ้านทับมา ม.4 บ.ทับมา 0.3 ทิศใต้ กม. 4.3 บ้านฉาง-ระยอง ต.ทับมา อ.เมืองระยอง จ.ระยอง	33.0	0.0	6.0	ดินเหนียว
				6.0	15.0	ดินเหนียว
				15.0	22.5	ดินเหนียว/ดินทราย
				22.5	27.0	ดินทราย
				27.0	33.0	ดินเหนียว/ดินทราย

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ชื่อหลุมเจาะ	หมายเลข	ที่ตั้ง	ความลึกเจาะ (เมตร)	ช่วงความลึก (เมตร)		ชนิดชั้นดินหิน
TD0179	Log No.50939	บ้านขนาบ ม.1 บ.ขนาม 3 กม. ทิศเหนือ กม. 4.3 บ้าน นาง-ระยอง ต.ทับมา อ.เมืองระยอง จ.ระยอง	27.0	0.0	6.0	ดินทราย
				6.0	22.5	ดินทราย
				22.5	27.0	หินไนส์
TD0359	Log No.51012	ต.เชิงเนิน อ.เมืองระยอง จ.ระยอง	22.5	0.0	9.0	ดินทราย
				9.0	12.0	ดินเหนียว
				12.0	22.5	ดินทราย
TD0387	Log No.51040	ต.มาบตาพุด อ.เมืองระยอง จ.ระยอง	43.5	0.0	4.5	ดินทราย
				4.5	10.5	ดินเหนียว/ดินทราย
				10.5	24.0	ดินเหนียว/กรวด
				24.0	43.5	หินแกรนิต

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ชื่อหลุมเจาะ	หมายเลข	ที่ตั้ง	ความลึกเจาะ (เมตร)	ช่วงความลึก (เมตร)		ชนิดชั้นดินหิน
TD0410	Log No.51057	องค์การบริหารส่วนตำบลทับมา ม.4 บ.ทับมา ต.ทับมา อ.เมืองระยอง จ.ระยอง	66.0	0.0	6.0	ดินลูกรัง
				6.0	18.0	ดินเหนียว/ดินทราย
				18.0	21.0	ดินเหนียว
				21.0	24.0	ดินทราย
				24.0	30.0	ดินเหนียว/ดินทราย
				30.0	39.0	ดินเหนียว
				39.0	45.0	ดินทราย
TD0411	Log No.51058	ศาลากลางบ้านเขาไผ่ ม.5 บ.เขาไผ่ ต.ทับมา อ.เมืองระยอง จ.ระยอง	61.5	45.0	66.0	หินทราย
				0.0	15.0	ดินลูกรัง
				15.0	18.0	ดินทราย
				18.0	61.5	หินแกรนิต

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ชื่อหลุมเจาะ	หมายเลข	ที่ตั้ง	ความลึกเจาะ (เมตร)	ช่วงความลึก (เมตร)		ชนิดชั้นดินหิน
TD0486	Log No.51102	บ้านมาบข่า ม.5 บ.มาบข่า ต.มาบข่า อ.กิ่ง อ.นิคม พัฒนา จ.ระยอง	61.5	0.0	6.0	ดินทราย
				6.0	12.0	ดินทราย
				12.0	19.5	ดินทราย/กรวด
				19.5	61.5	หินแกรนิต
X0856	Log No.11420	วัดโขดหินคีรีราม(บ.โขดหิน) ม.6 บ.โขดหิน ต.เนิน พระ อ.เมืองระยอง จ.ระยอง	48.0	0.0	4.5	ทรายแป้ง
				4.5	6.0	ดินเหนียว
				6.0	9.1	ดินเหนียว/ดินทราย
				9.1	10.6	กรวด
				10.6	18.2	ดินเหนียว
				18.2	30.4	ดินเหนียว/กรวด
				30.4	32.0	กรวด
				32.0	38.1	ดินเหนียว/กรวด
				38.1	48.7	กรวด



ภาคผนวก ค
ข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินสำหรับอุปโภค – บริโภคบริเวณพื้นที่ศึกษา

ตารางผนวกที่ ค1 ข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินสำหรับอุปโภค – บริโภคบริเวณเทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง

รหัสบ่อ	พิกัด		ตำบล	ตำแหน่งที่ตั้ง	ความสูงปากบ่อ	ความลึกการเจาะ	ระดับความสูงของน้ำ	ระดับเขต
	UTM E	UTM N			(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)
PW10876	735428	1406857	มาบตาพุด	บ้านบน(บ.เนินพยอม)	20.00	27.40	5.00	15.00
PW13012	735410	1406466	มาบตาพุด	บ้านมาบตาพุด	20.00	15.50	1.50	18.50
PW20301	737314	1406052	มาบตาพุด	รร.มาบตาพุดพันพิทยาคาร	20.00	19.50	2.00	18.00
PW20302	737314	1406052	มาบตาพุด	รร.มาบตาพุดพันพิทยาคาร(บ่อ2)	20.00	25.00	7.00	13.00
PW11080	729464	1410673	ห้วยโป่ง	บ้านห้วยโป่ง	70.00	27.40	2.00	68.00
PW20309	732007	1410937	ห้วยโป่ง	รร.วัดห้วยโป่ง	50.00	21.00	2.50	47.50
PW20310	731033	1407307	ห้วยโป่ง	รร.วัดมาบชลุค	35.34	20.00	2.50	32.84
PW20742	736601	1405675	ห้วยโป่ง	สถานสงเคราะห์ห้วยโป่ง(ชาย)	19.60	31.00	4.50	15.10
PW8648	730054	1409601	ห้วยโป่ง	บ้านซากลูกหญ้า	51.93	19.50	4.50	47.43
TD0478	736965	1405557	เนินพระ	ศูนย์ราชการจังหวัดระยอง	20.00	61.50	7.00	13.00
X0856	739250	1404250	เนินพระ	วัดโชคหินคีรีราม(บ.โชคหิน)	10.00	48.00	6.00	4.00
PW16452	739511	1406819	ทับมา	วัดเขาไผ่	23.84	24.80	7.23	16.61
TD0411	740176	1406198	ทับมา	ศาลากลางบ้านเขาไผ่	21.58	61.50	6.00	15.58



ตารางผนวกที่ ๑1 ข้อมูลนำเข้าการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์น้ำใต้ดิน

พารามิเตอร์	หน่วย	รายละเอียด	ที่มา
ความหนาของชั้นน้ำ	เมตร	สูงสุด = 70 ต่ำสุด = 10	ดัดแปลงจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551)
ขอบเขตระดับน้ำคงที่ (Constant head)	เมตร	ตอนบน = 70 ถึง 35 ตอนล่าง = 0	ดัดแปลงจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2545)
ชนิดของชั้นน้ำ (Aquifer type)	-	ชั้นตะกอนอุ้มน้ำในแบบชั้นเดียว	
ความพรุน (Porosity)	-	0.32	
สภาพนำทางชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity)	เมตรต่อวัน	ดินเหนียวปนทรายแป้ง = 16.01 ดินทราย = 191.80	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551)
สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Distribution coefficient)	ลิตรต่อมิลลิกรัม	1.00E-06	
การแพร่กระจายของชั้นหินอุ้มน้ำ (Dispersivity)	เมตร	ชั้นตะกอนที่ราบเชิงเขา = 10 ชั้นตะกอนน้ำพา = 40	ดัดแปลงจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551)



ตารางผนวกที่ จ1 รายละเอียดเครื่องมือช่วยการศึกษาแบบจำลองการแพร่กระจายของสาร

คุณสมบัติ	รายละเอียด	เครื่องมือ (Numeric engines)					
		MT3Dv150	MT3D96	RT3Dv1.0	MT3DMS	MT3D99	RT3Dv2.5
การดูดซับ	No Sorption is simulated	√	√	√	√	√	√
	Linear Isotherm (equilibrium-controlled)	√	√	√	√	√	√
	Freundlich Isotherm (equilibrium-controlled)	√	√	√	√	√	√
	Langmuir Isotherm (equilibrium-controlled)	√	√	√	√	√	√
	First-order kinetic sorption (non-equilibrium)				√	√	
	First-order kinetic dual-domain mass transfer				√	√	
การเกิดปฏิกิริยา	No kinetic reaction	√	√	√	√	√	√
	First-order irreversible decay	√	√		√	√	
	Zeroth-order irreversible decay				√		
	Monod kinetics						
	First-order parent-daughter chain reaction						
	Instantaneous reactions among species						
	Instantaneous aerobic decay of BTEX			√			√

ตารางผนวกที่ จ1 (ต่อ)

คุณสมบัติ	รายละเอียด	เครื่องมือ (Numeric engines)					
		MT3Dv150	MT3D96	RT3Dv1.0	MT3DMS	MT3D99	RT3Dv2.5
การเกิดปฏิกิริยา	Instantaneous multi-path degradation of BTEX			✓			✓
	Kinetic limited multi-path degradation of BTEX			✓			✓
	Rate-limited sorption reactions			✓			✓
	Double-Monod degradation model			✓			✓
	Sequential decay reactions			✓			✓
	Aerobic/anaerobic model for PCE/TCE degrade			✓			✓



ภาคผนวก จ
รายละเอียดสรุปผลการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดิน

ตารางผนวกที่ ๑๑ สรุปผลการจำลองการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของสารมลพิษในน้ำใต้ดิน

ขนาดพื้นที่แหล่งกำเนิด (ตร.กม.)	ระยะเวลา (ปี)	ชนิดสารมลพิษ	ขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (ตร.กม.)			ปริมาณมวลสาร (กก./ม.)		
			TMR	SAR	TAR	TMR	SAR	TAR
0.5	1	A	31	30.7	31	310.1	306.9	310.1
		B	1.9	1.8	1.9	18.9	18.1	18.9
		C	1.1	0.9	1.1	11.3	9.5	11.3
	10	A	31.7	36.4	31.6	317.1	363.7	316.0
		B	30.6	30.8	30.6	305.6	307.9	305.8
		C	1.1	1.5	1.1	11.2	15.0	11.2
5	1	A	101.9	101.8	101.9	5,701.8	5,514.9	5,701.8
		B	15.2	14.6	15.1	377.3	350.1	377.2
		C	12.1	10.8	12	120.6	108.5	120.4
	10	A	105.2	110.3	105.2	5,854.7	6,213.8	5,854.5
		B	100.5	102.7	100.5	5,611.3	5,646.6	5,611.3
		C	16.7	21.9	16.6	166.9	305.3	166.4

ตารางผนวกที่ ๑๑ (ต่อ)

ขนาดพื้นที่แหล่งกำเนิด (ตร.กม.)	ระยะเวลา (ปี)	ชนิดสารมลพิษ	ขนาดพื้นที่ปนเปื้อน (ตร.กม.)			ปริมาณมวลสาร (กก./ม.)		
			TMR	SAR	TAR	TMR	SAR	TAR
9	1	A	134.4	122.9	134.4	18,247.2	12,902.7	18,245.9
		B	28.4	23	28.4	1,239.6	937.9	1,232.3
		C	23.7	17.7	23.7	708.2	451.6	708.1
	10	A	140.9	141	140.9	18,988.7	18,989.6	18,988.7
		B	132.1	135.4	132	17,842.5	17,861.6	17,851.0
		C	32.8	41.3	32.8	894.5	1,111.9	894.7

หมายเหตุ สาร A = Advective - dispersive transport

สาร B = Advective - dispersive transport and Sorption process

สาร C = Advective - dispersive transport, Sorption and reaction process

SAR = Steady state Accumulate Rainfall

TAR = Transient state Average Rainfall

TMR = Transient state Monthly Rainfall

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล

นายบรรจบ กิตติกาส

วัน เดือน ปี ที่เกิด

21 ตุลาคม 2529

สถานที่เกิด

อำเภอพญาไท จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

วท.บ.(วิทยาศาสตร์ทั่วไป) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

