

# แนวทางการหาคัดกษภาพน้ำบาดาลและ การวางแผนฟื้นฟูการปนเปื้อนในน้ำบาดาล

---

โดย

รศ.ดร.สุจิตต์ คุณธนกุลวงศ์



หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# แนวทางการหาศักยภาพน้ำบาดาล

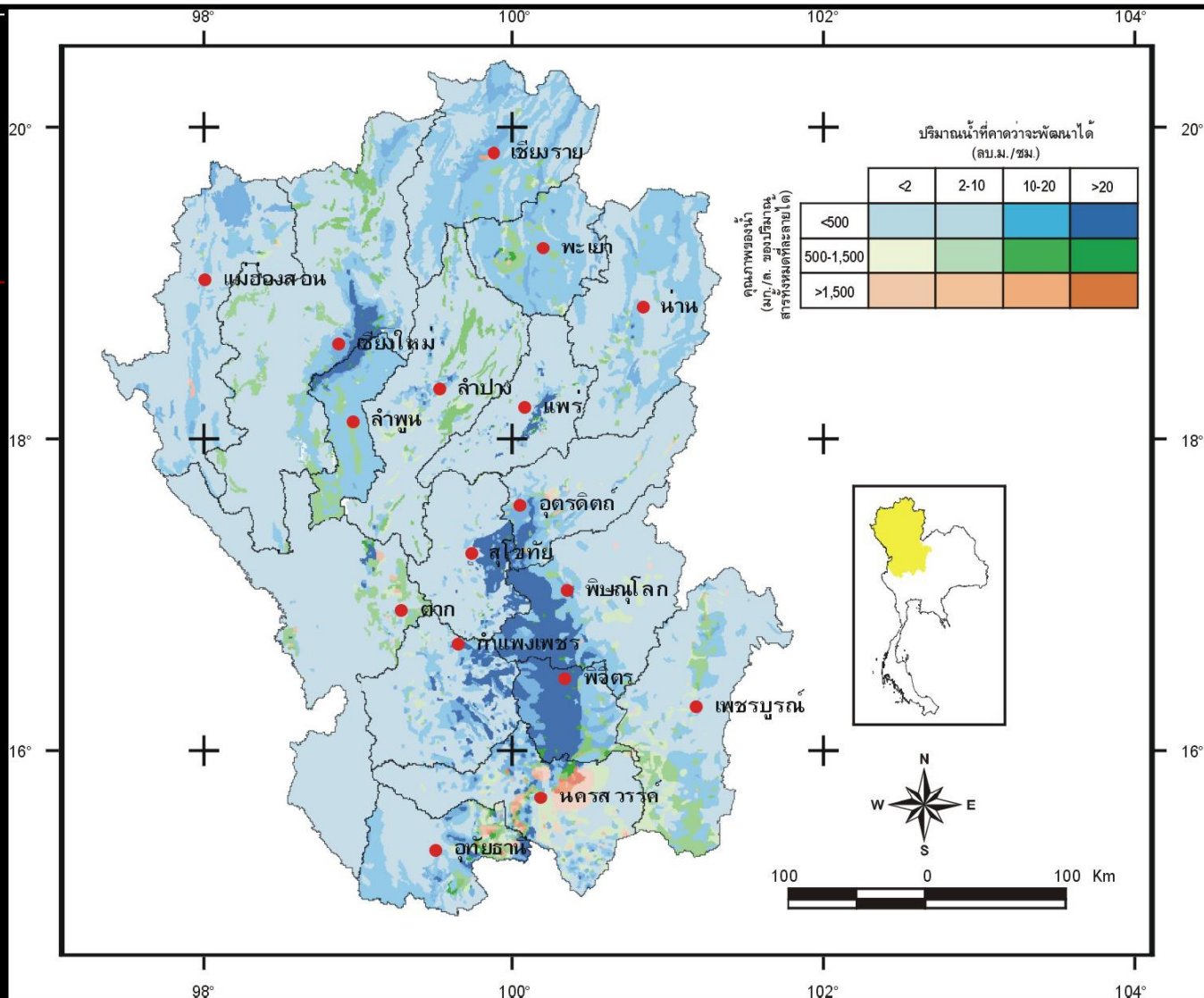
---

- ทำเพื่ออะไร
- ทำด้วยวิธีอะไร
- ข้อจำกัด
- แนวทางต่อไป

# การศึกษาที่ผ่านมา

---

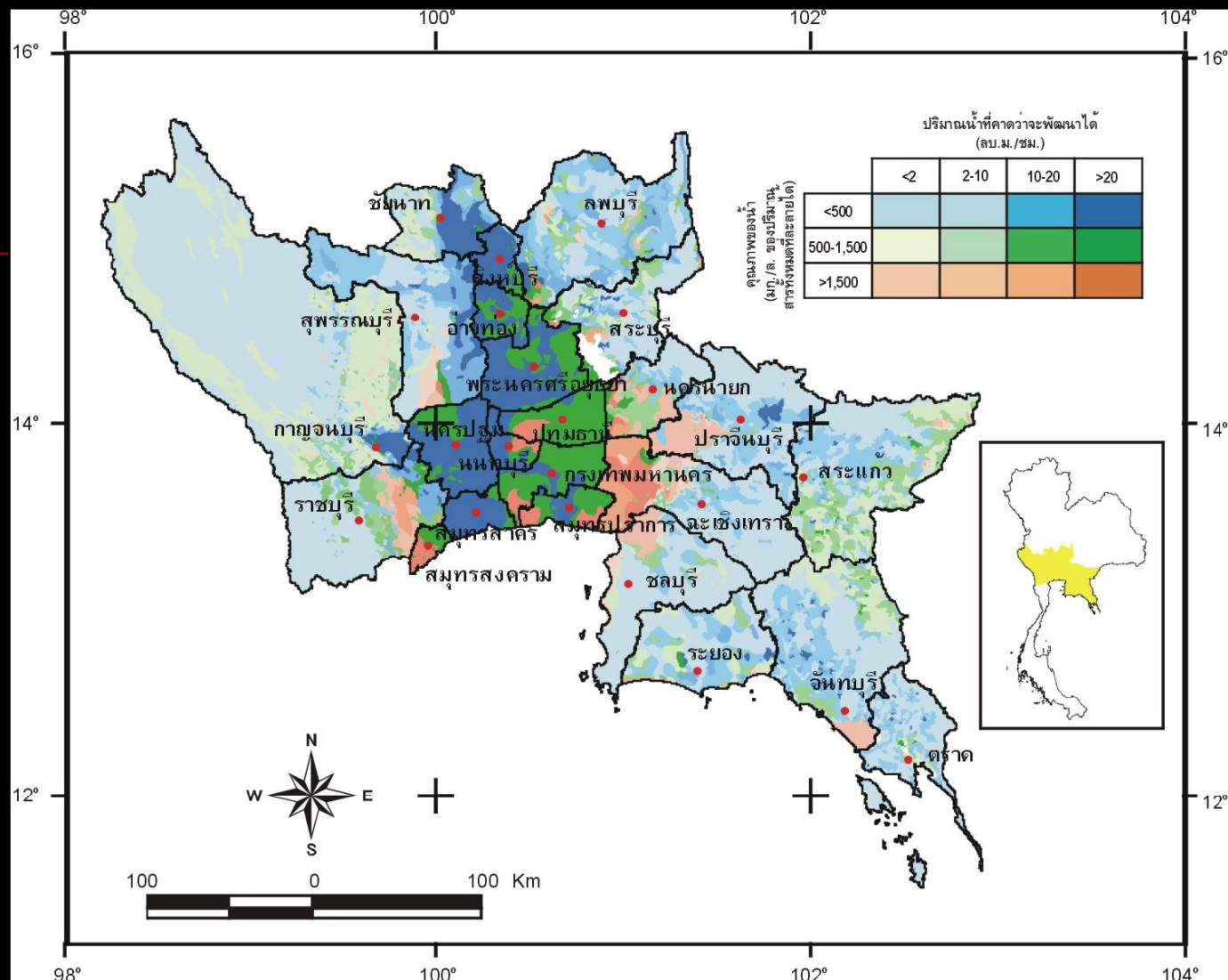
การศึกษาศักยภาพน้ำบาดาลที่ผ่านมาโดยส่วนใหญ่มักจัดทำเป็นแผนที่อุทกธรณีวิทยา (hydrogeological maps) แสดงสภาพแหล่งน้ำบาดาลในชั้นหินอุ้มน้ำชุดต่างๆ ในลักษณะเฉพาะพื้นที่ ภูมิภาค และภาพรวมทั้งประเทศ (วิจิต ศิริโกคากิจ, 2543) โดยวี รามณรงค์ และสมชัย วงศ์สวัสดิ์ (2541) ศึกษาศักยภาพน้ำบาดาลในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศและประเมินศักยภาพน้ำบาดาลในเชิงปริมาณของแอ่งน้ำบาดาลในหินร่วนที่กระจายอยู่ทั่วประเทศจำนวน 12 แอ่ง



แผนที่ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ภาคเหนือ

(กรมทรัพยากรธรณี, 2542)





แผนที่ศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออก  
(กรมทรัพยากรธรณี, 2542)

แอ่งน้ำบาดาล	ภูมิภาค	ปริมาณน้ำที่กักเก็บ (ล้าน ลบ.ม./ปี)	ปริมาณน้ำที่พัฒนา (ล้าน ลบ.ม./ปี)
1 แอ่งเชียงใหม่-ลำพูน	เหนือ	485	97
2 แอ่งลำปาง	เหนือ	295	59
3 แอ่งเชียงราย-พะเยา	เหนือ	212	42
4 แอ่งแพร่	เหนือ	160	32
5 แอ่งน่าน	เหนือ	200	40
6 แอ่งเจ้าพระยาตอนบน	กลาง	6,400	1,280
7 แอ่งเจ้าพระยาตอนล่าง	กลาง	6,470	1,294
8 แอ่งสุราษฎร์ธานี-ท่าฉาง	ใต้	320	64
9 แอ่งนครศรีธรรมราช	ใต้	420	84
10 แอ่งระโนด-สงขลา	ใต้	400	80
11 แอ่งหาดใหญ่	ใต้	175	35
12 แอ่งปัตตานี	ใต้	340	68
รวม		15,877	3,175

ที่มา: วจี รามณรงค์ และสมชัย วงศ์สวัสดิ์ (2541)

# โครงการศึกษาที่ผ่านมา

- 1.โครงการศึกษาความสมดุลโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แอ่ง  
หาดใหญ่จังหวัดสงขลา, ปีดำเนินการ 2545, กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- 2.โครงการการศึกษาศักยภาพและความต้องการใช้น้ำใต้ดินเพื่อการ  
จัดการน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง  
ปีดำเนินการ 2545, รศ.ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์และคณะ
- 3.โครงการจัดทำแผนรวมการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่ม  
น้ำบางปะกง-ปราจีนบุรี, ปีดำเนินการ 2546, กรมทรัพยากรน้ำ

# การศึกษาที่ผ่านมา

---

- 4.โครงการศึกษาประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้, ปีดำเนินการ 2547, กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- 5.โครงการศึกษาวิจัยประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5 จังหวัด, ปีดำเนินการ 2547, กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
- 6.โครงการศึกษาวิจัยและประเมินศักยภาพน้ำบาดาลเพื่อสนับสนุนโครงการส่วนพระองค์ 5 พื้นที่, ปีดำเนินการ 2547, กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

# การศึกษาที่ผ่านมา

---

- 7.โครงการติดตามข้อมูลน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง และพัฒนาระบบเชื่อมโยงข้อมูลของแบบจำลองน้ำบาดาล, ปีดำเนินการ 2548, รศ.ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์และคณะ
- 8.โครงการประเมินผลโครงการเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์, ปีดำเนินการ 2548, คณะสำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (กปร.)
- 9.โครงการศึกษาการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินบริเวณภาคกลางตอนบน, ปีดำเนินการ 2548, กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

# นิยามศักยภาพน้ำบาดาล

---

ในการศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่พิจารณาศักยภาพน้ำบาดาลโดยอาศัยปริมาณการใช้น้ำสูงสุดที่ยอมรับได้ โดยกำหนดเงื่อนไขผลกระทบที่จะเกิดขึ้น ซึ่งจะกำหนดระดับของผลกระทบที่ยอมรับได้ โดยมีการประเมินผลกระทบเหล่านั้นอย่างชัดเจนว่ามีผลกระทบในระยะสั้นหรือระยะยาว ผลกระทบบางอย่างสามารถฟื้นฟูและปรับปรุงให้กลับสู่สภาวะที่เหมาะสมได้ และผลกระทบบางอย่างก็ยากยิ่งจะฟื้นฟูแก้ไข (Foster, 2000)

# ศักยภาพน้ำบาดาล

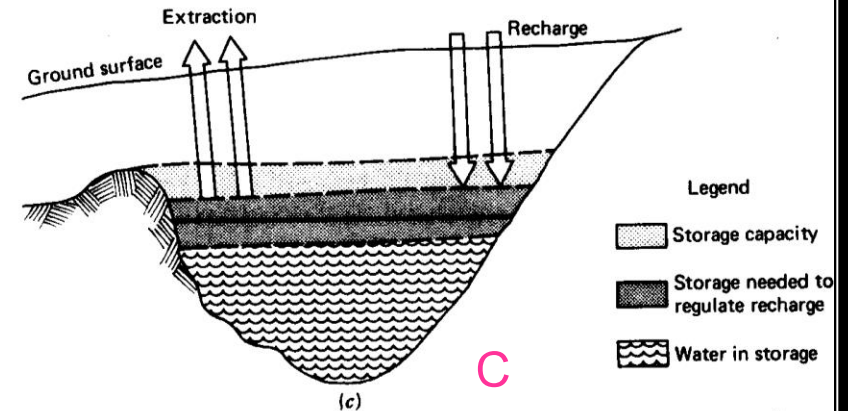
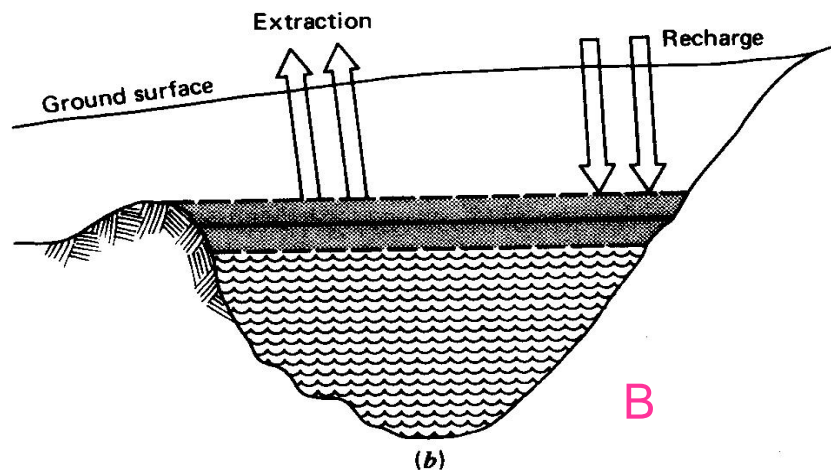
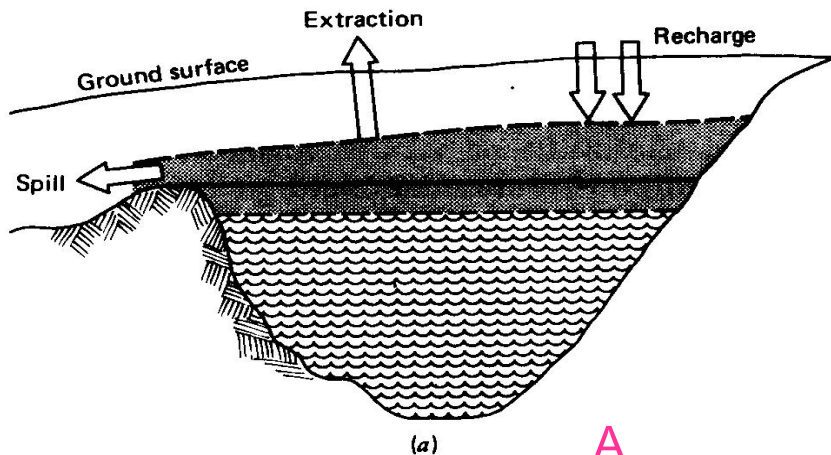


Fig. 9.4 Schematic diagram showing storage relations in a groundwater basin for three stages of development. (a) Less than perennial yield. (b) Minimum perennial yield. (c) Increased perennial yield (after Peters<sup>39</sup>).

# แนวทางการหาคักยภาพน้ำบาดาล

---

1. คำนวณจากสมดุลน้ำ (Water Budget)
2. คำนวณจากการคืนตัวของระดับน้ำในชั้นน้ำ
3. การประเมินศักยภาพโดยใช้แบบจำลองน้ำบาดาล  
โดยกำหนดระดับน้ำควบคุม



# 1. คำนวณจากสมดุลน้ำ (Water Budget)

---

ปริมาณน้ำไหลเข้า – ปริมาณน้ำไหลออก = ปริมาณเก็บกักน้ำ

## 2.คำนวณจากการคืนตัวของระดับน้ำ

---

คำนวณศักยภาพน้ำบาดาลเบื้องต้นจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลในรอบปี พื้นที่ของแหล่งน้ำบาดาล และปริมาณน้ำจำเพาะ (Specific yield) ในกรณีของชั้นน้ำบาดาลไม่มีแรงดัน (Unconfined) ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกักน้ำ (storage coefficient) แทนปริมาณน้ำจำเพาะ แสดงดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{ศักยภาพน้ำบาดาล} &= \text{การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ (5 ม.)} \\ &\times \text{พื้นที่ของชั้นน้ำ} \\ &\times \text{สัมประสิทธิ์ของการเก็บกักน้ำ} \end{aligned}$$

# ตัวอย่างการคำนวณในพื้นที่ภาคกลางตอนบน

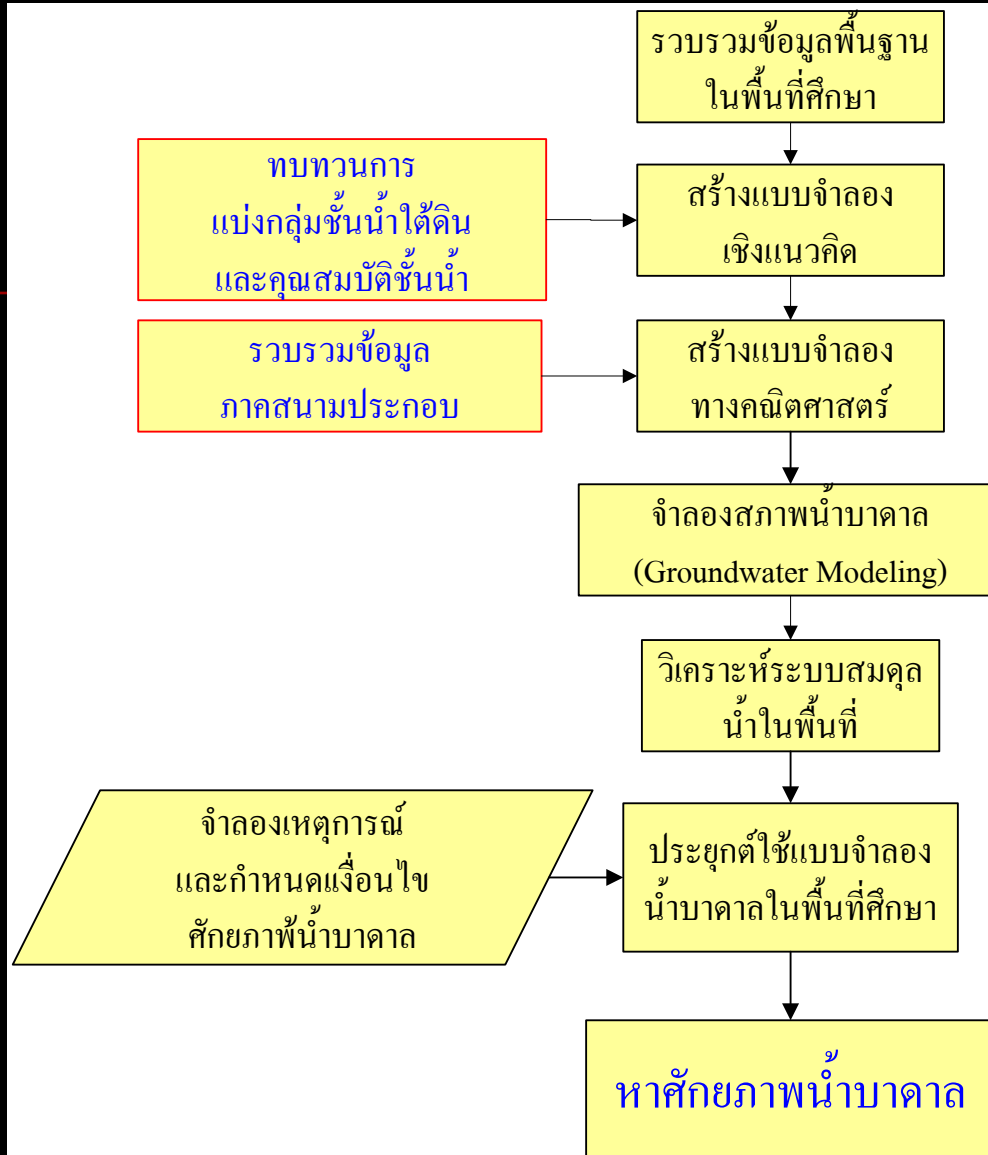
ชั้นหินอุ้มน้ำ	พื้นที่ (ตร.กม.)	สัมประสิทธิ์ การเก็บกักน้ำ*	ศักยภาพน้ำบาดาล (ล้านลบ.ม./ปี)
ตะกอนน้ำพา ปัจจุบัน (Qfd)	5,671	0.0043	122
ตะกอนตะพักระดับ ต่ำ (Qlt)	12,682	0.032	2,029
ตะกอนตะพัก ระดับสูง (Qht)	2,668	0.0305	407
รวม	21,021		2,558

\* ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2548

### 3.การประเมินศักยภาพโดยใช้แบบจำลองน้ำบาดาล

---

ใช้แบบจำลองหาศักยภาพน้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่ โดยการ  
จำลองหาปริมาณการสูบน้ำมากที่สุดใในแอ่งน้ำบาดาล ที่ไม่  
ทำให้ระดับน้ำของชั้นน้ำบาดาลส่วนบนที่ติดกับผิวดินมีระดับ  
น้ำลดต่ำลงกว่าระดับที่กำหนดไว้(15 เมตรจากผิวดิน)



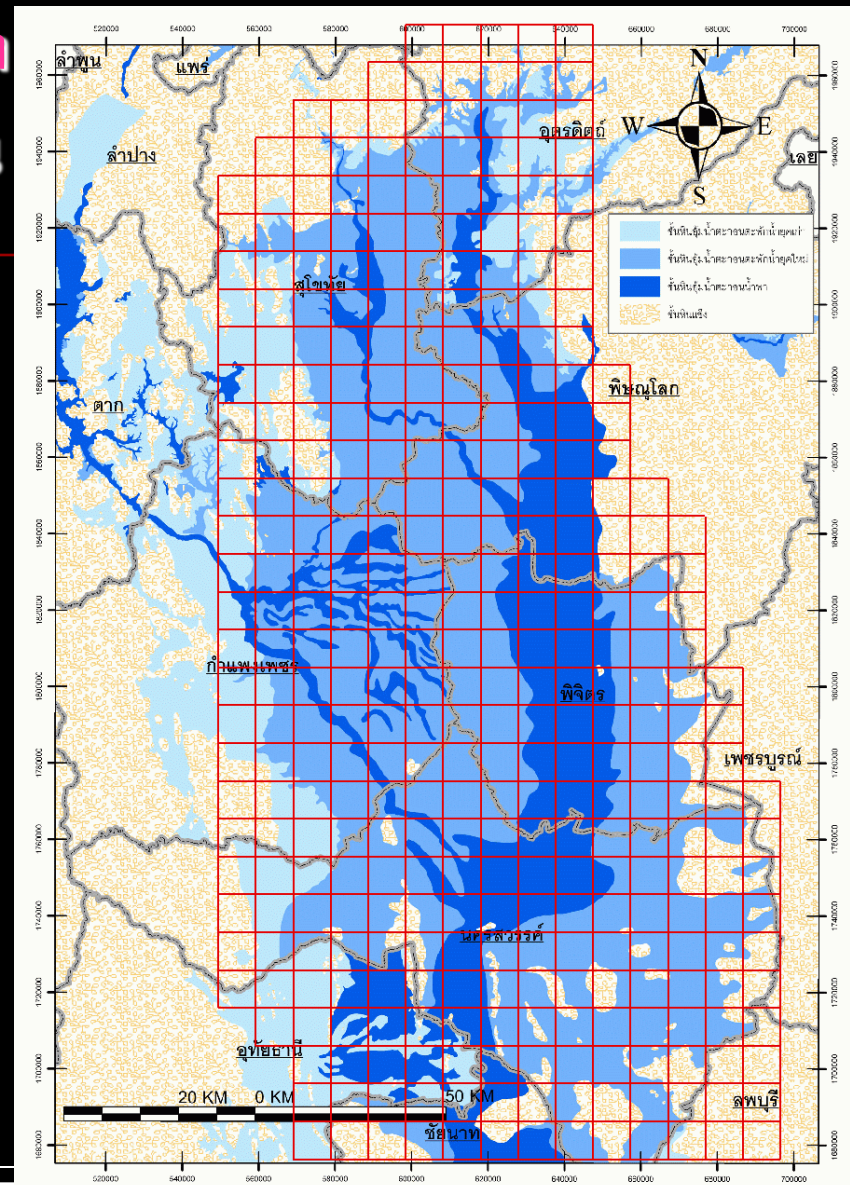
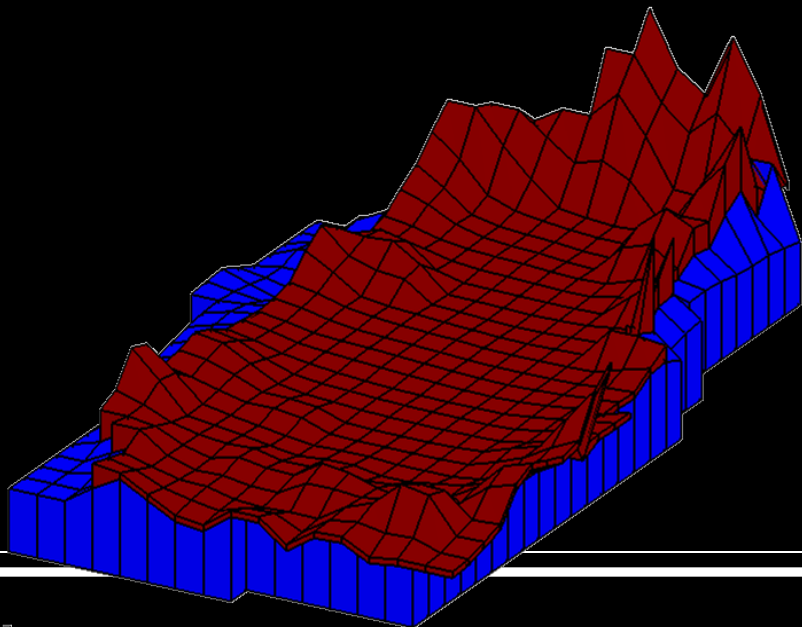
ขั้นตอนการหาศักยภาพน้ำบาดาลโดยแบบจำลองน้ำบาดาล

# ตัวอย่างการคำนวณด้วยแบบจำลอง น้ำบาดาลในพื้นที่ภาคกลางตอนบน

แบบจำลอง 2 ชั้นน้ำ

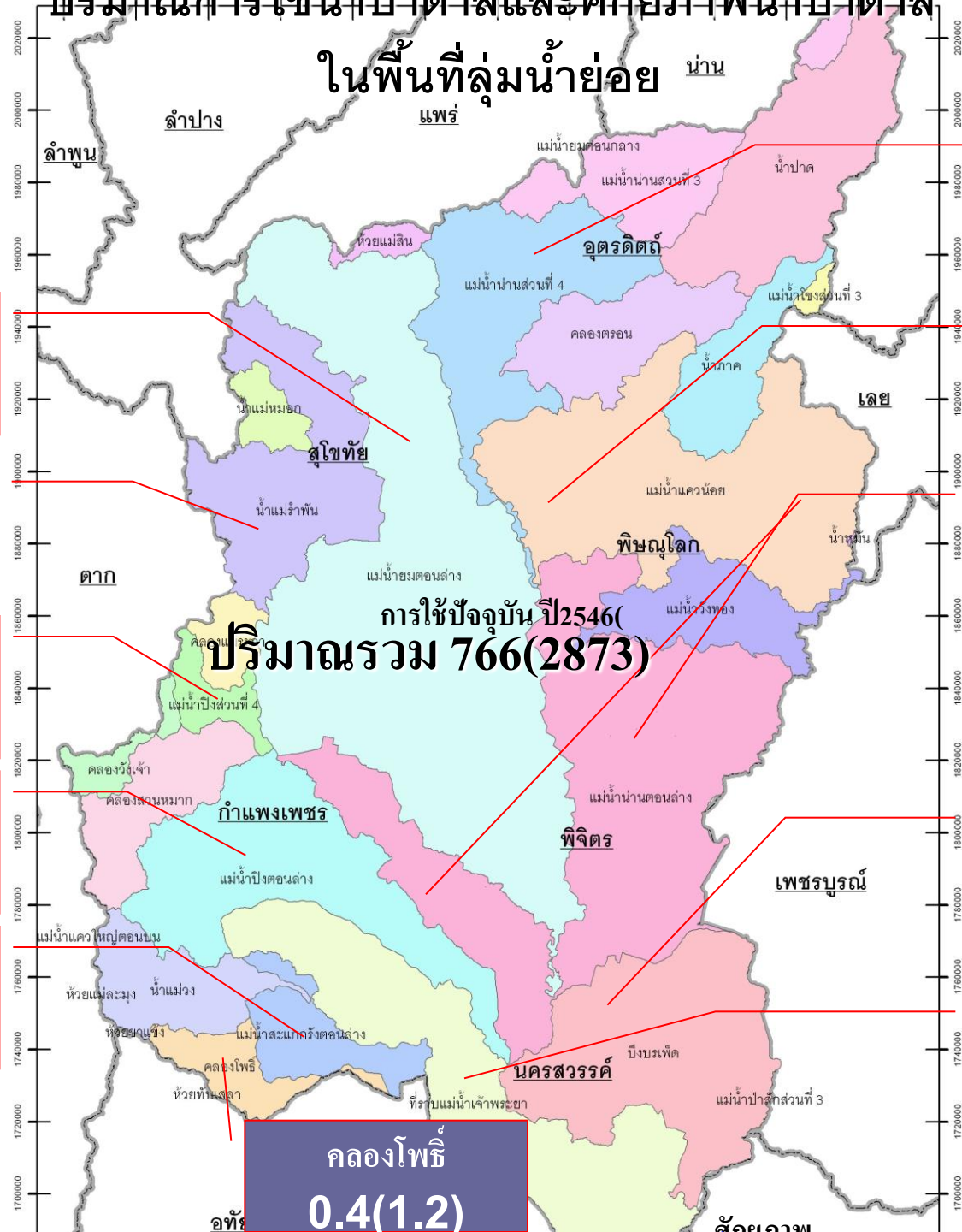
ชั้นบน หนา 40-100 เมตร

ชั้นล่าง หนา 100-300 เมตร





# ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย



แม่น้ำยมตอนล่าง  
138(454)

น้ำแม่รำพัน  
2.5(6.3)

แม่น้ำปิงส่วนที่ 4  
0.8(4.0)

แม่น้ำปิงตอนล่าง  
115(407)

สะแกกรังตอนล่าง  
3.5(13.7)

คลองโพธิ์  
0.4(1.2)

แม่น้ำน่านส่วนที่  
21(39)

แม่น้ำแควน้อย  
6.3(18.2)

แม่น้ำน่านตอนล่าง  
ส่วนตะวันออก  
309 (1377)  
ส่วนตะวันตก  
94.3(309)

บึงบอระเพ็ด  
13.6(44.5)

ที่ราบลุ่มเจ้าพระยา  
52(197)

# ตัวอย่างผลการศึกษาศักยภาพโดย แบบจำลองน้ำบาดาล

---

เมื่อพิจารณาระดับน้ำลดลงที่ยอมรับได้ โดยระดับที่ลดลงได้ไวสูงสุดในแต่ละพื้นที่ไว้ที่ 15 เมตร และมีปริมาณการใช้น้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่ ที่แตกต่างกันตามความเป็นจริง พบว่ามีศักยภาพเท่ากับ 2,873 ล้าน ลบ.ม./ปี



# ตารางเปรียบเทียบแนวทางการหาคักยภาพ

แนวทางที่	ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1	เป็นระบบและได้ภาพรวม	หาค่าได้ยาก
2	คำนวณง่ายได้ผลลัพธ์เร็ว	ไม่สามารถระบุ ศักยภาพเชิงพื้นที่และ เชิงเวลาได้
3	-สามารถระบุศักยภาพในเชิง พื้นที่และเชิงเวลาได้  -สามารถหาคักยภาพตาม ข้อกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ	ต้องใช้ข้อมูลเป็น จำนวนมากและใช้ เวลาในการคำนวณ มากกว่า

# แนวทางการหาคักยภาพ

---

ในอนาคตจะพิจารณาคุณภาพน้ำบาดาล  
ประกอบกับการประเมินศักยภาพ

# การวางแผนฟื้นฟูการปนเปื้อนในน้ำบาดาล

---

- ชนิดของการปนเปื้อน
- วิธีการแก้ไข
- การวางแผนด้านการปนเปื้อน

# **Groundwater Contamination: Detection, Remediation, and Planning**

---

Assoc. Prof. Dr. Sucharit Kunthanakulwong

Dr. Aksara Putthividhya

Water Resources System Research Unit

Chulalongkorn University

# Presentation Overview

---

- Types and Sources of Groundwater Contamination
- Groundwater Contamination Remediation Technologies
- (Draft) Planning for Groundwater Contamination
  - Communities
  - Government Authority

# Significance of Groundwater Quality

---

- People in Thailand use water in their daily life as water supply and farms (irrigation water)
- It is critical that the groundwater be unpolluted and relatively free of undesirable contaminants
- Groundwater contaminants can be:
  - manufactured chemical, or
  - microbial contamination
- Contamination can also occur from naturally occurring mineral and metallic deposits in rock and soil such as salinity and natural occurring heavy metals

# California's Phase Out of MTBE because of GW Contamination

---

- MTBE used in gasoline since late 1970s
- Water resources contamination concerns
  - Detection of MTBE in water wells
  - Prediction that contamination would spread and cleanup costs dramatically increase
- Potential health concerns
- Studies order by CA legislature to determine:
  - Cost to eliminate MTBE (Methyl-tert-butyl ether)
  - Assess risk to people and the environment of continued use

# Anticipated Impacts of MTBE Removal

---

- Demand for ethanol will increase
  - Bangkok alone will require significant quantities of ethanol
    - 560-580 million gallons in 2003
    - 760-990 million gallons in 2004
  - Current US ethanol production capacity approximately 3 billions gallons per year



# Elements Necessary for a Successful MTBE Phase Out

---

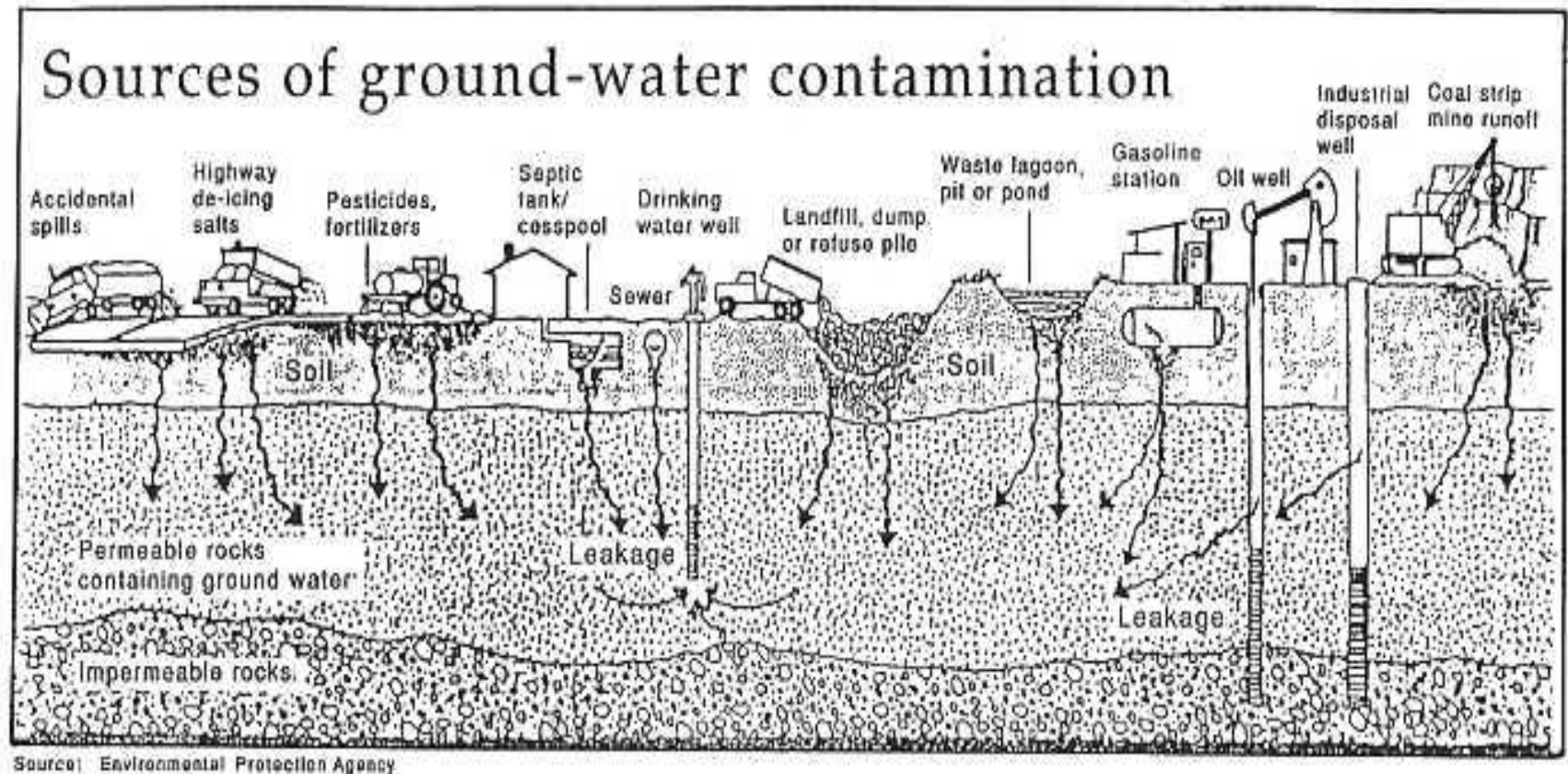
- Ethanol supplies must be adequate
- Ethanol logistics must be in place
- Refinery modifications must be complete
- Gasoline supply (imports???) must be available
- Import infrastructure must be sufficient to accommodate anticipated increase in imports
- Successful means that transition to ethanol occurs without disruption to the market and minimal impact on consumers and the economy of the country

# Introduction

---

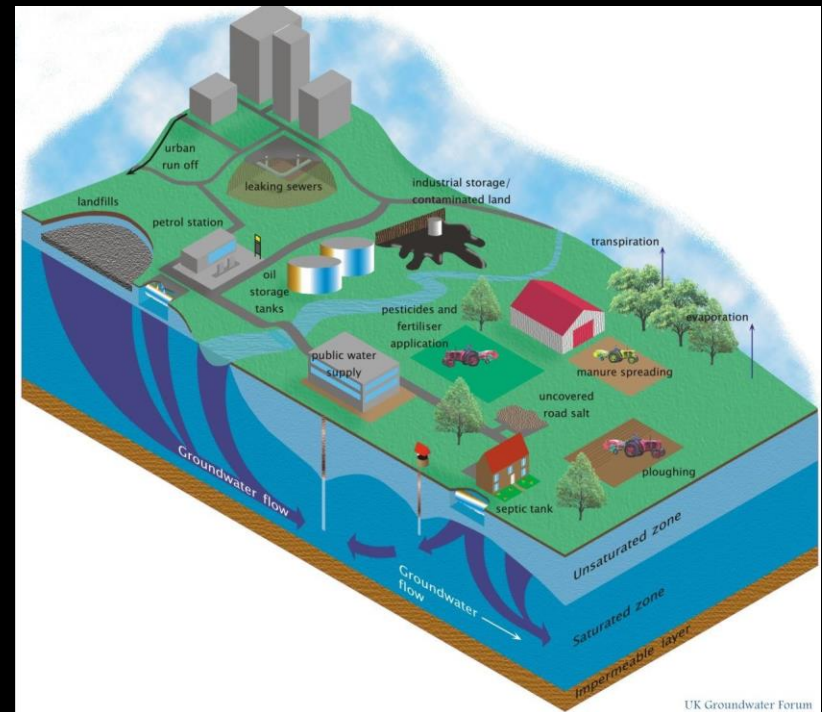
- Groundwater contamination is “*the degradation of the natural quality of groundwater as a result of human activities (mainly) and nature (rarely)*”.
- Examples:
  - Landfills
  - Industries
  - Domestic activities
  - Sewage pipelines

# Potential Sources of Groundwater Contamination



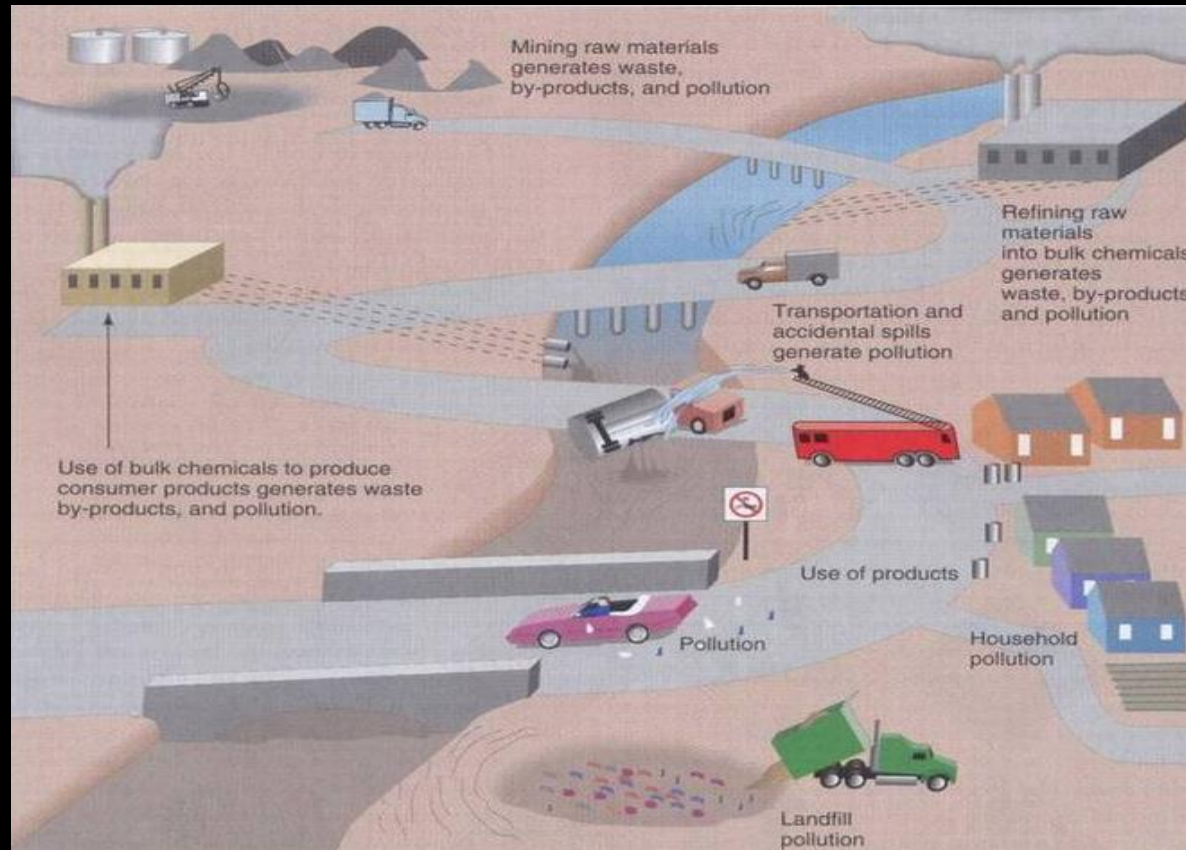
# Contamination Caused by Human Activities

- Leaking underground storage tanks
- Overturned tanker trucks or derailed trains
- Improperly managed manufacturing operations
- Illegal dumping
- Broken or leaking pipelines and sewers
- Feedlot and agricultural operations
- Defective septic systems
- Wells without proper seals

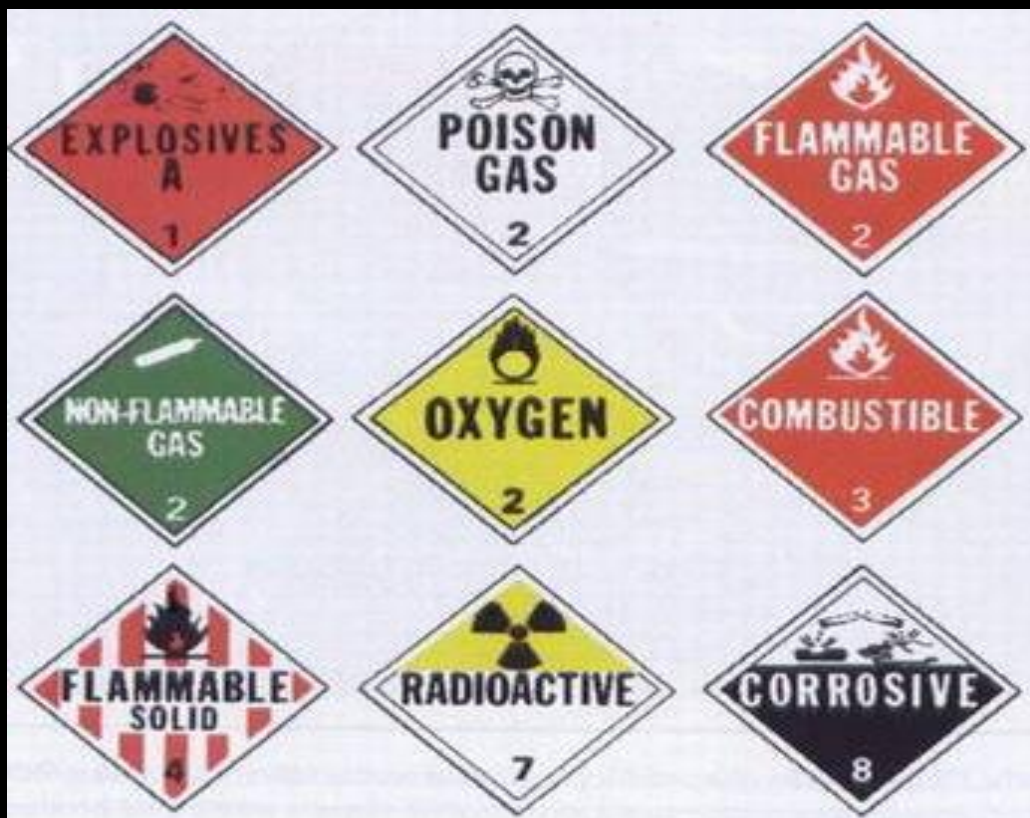




# Contamination vs. Product Life Cycle

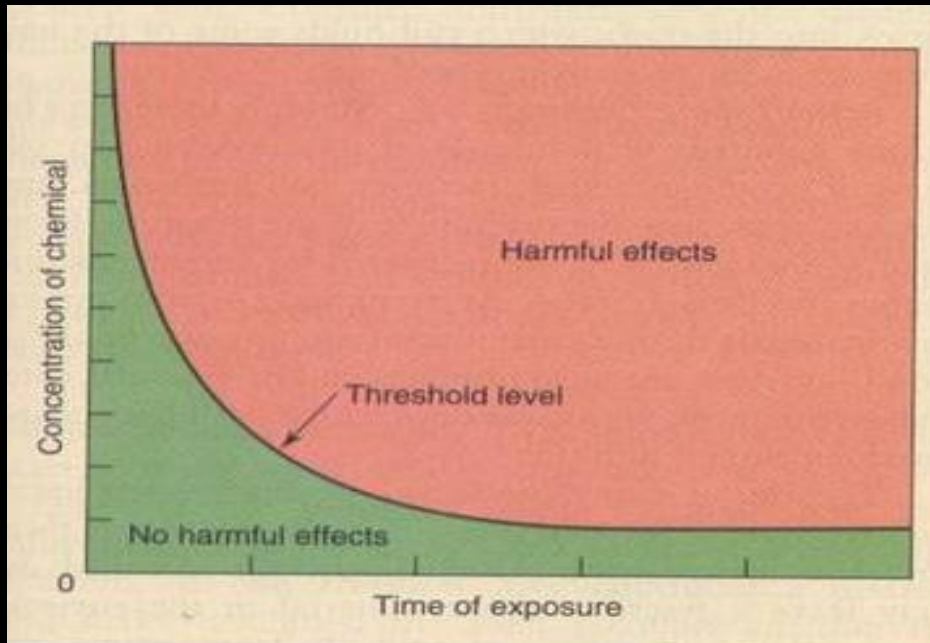


# The Nature of Chemical Hazard



- Ignitability
- Corrosivity
- Reactivity
- Toxicity

# Dose Response and Threshold



- **Dose** (concentration) and **exposure** (duration)
- **Threshold level**: the level below which no ill effects observed

# Types of Groundwater Contamination

---

## 1. **Point-Source Pollution**

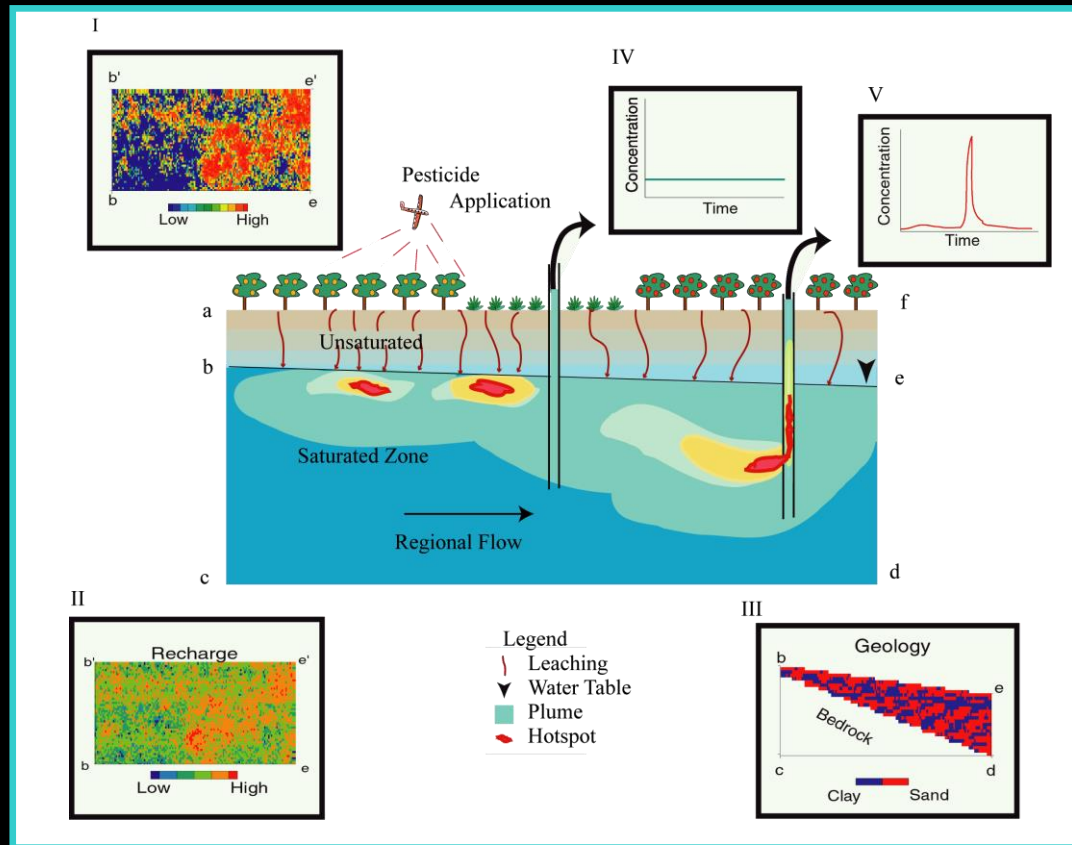
- Contamination originating from a single tank, disposal site, or facility.
- Examples: industrial waste disposal sites, accidental spills, leaking gasoline storage tanks, and dumps or landfills.

## 2. **Nonpoint-Source Pollution**

- Contamination that are spread out across wide areas.
- Examples: chemicals used in agriculture such as fertilizers, pesticides, herbicides, and runoff from urban areas.



# Nonpoint Source Contamination Scenario – Agrochemical Application



# Nonpoint Source Contamination – Nitrates and Pesticides

---



# Examples of Environmental Contaminants

---

- Volatile Organic Compounds (VOCs)
  - Petroleum-based hydrocarbons
  - Chlorinated solvents
- Heavy Metals (from mining industries)
- Radioactive Waste
- Tritium
- Pesticides
- Other contaminants

# Volatile Organic Compounds (VOCs)

---

- By far the most pervasive VOCs are trichloroethylene (TCE) and perchloroethylene (PCE) solvents used primarily as degreasers.
- Carbon tetrachloride  $\text{CCl}_4$  is also a significant contaminant frequently found in subsurface soil and groundwater.
- VOC contamination by soil and groundwater is found at most sites in USA and Europe.




# Petroleum-Based Fuels

---

- One of the best known classes of groundwater contaminants includes petroleum-based fuels such as gasoline and diesel.
- In the US alone, there have been over 400,000 confirmed releases of petroleum-based fuels from leaking underground storage tanks.

# Characteristics of Petroleum-Based Fuels

- Gasoline commonly found in groundwater:
    - a mixture of various hydrocarbons (chemicals made up of carbon and hydrogen atoms),
    - Evaporates easily,
    - Dissolves to some extent in water, and
    - **Toxic!!!**
  - It is less dense than water, and so it tends to flow on top of the water table.
- 
- Benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene are common components of gasoline and also are considered to cause cancer in humans

# Chlorinated Solvents

---

- Another common class of groundwater contaminants includes chemicals known as chlorinated solvents.
- One example of a chlorinated solvent is dry-cleaning fluid, also known as perchloroethene (PCE).
- These chemicals are similar to petroleum hydrocarbons in that they are made up of carbon and hydrogen atoms, but the molecules also have chlorine atoms in their structure.



# Chlorinated Solvents

---

- The chlorine present in chlorinated solvents makes this class of compounds more toxic than fuels.
- Unlike petroleum-based fuels, solvents are usually heavier than water, and thus tend to sink to the bottoms of aquifers.
- This makes solvent-contaminated aquifer much more difficult to clean up than those contaminated by fuels.



# Heavy Metals

---

- Heavy metals such as mercury, lead, cadmium, chromium, and arsenic are contaminating the soil and groundwater at many sites.
- Mercury contamination is a particular problem in the US, while arsenic is discovered in India and Bangladesh
- Recently, lead contamination has been discovered in China.

# Radioactive Waste

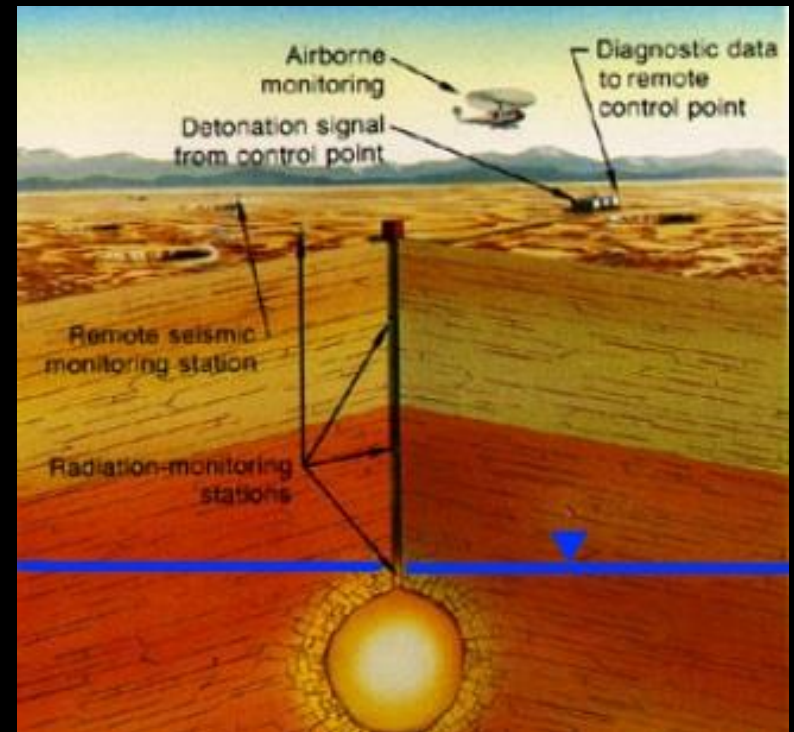
---

- Uranium, plutonium, radioactive strontium, thorium, and transuranics (heavier than uranium such as neptunium and americium), are contaminants discovered in groundwater and soil.
- For example, in Ohio (USA) low enriched uranium was reconstituted into uranium metal ingots, has extensive uranium contamination of soil.
- Not yet discovered in Thailand



# Tritium ( $^3\text{H}$ )

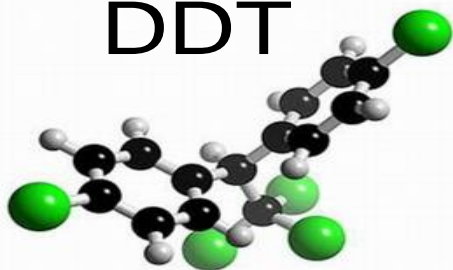
- Tritium is found in groundwater at many sites in the US.
- Because of the central role in the functioning of nuclear weapons and because it has a relatively short half-life of 12.3 years and had to be replaced often.
- Huge quantities of tritium were generated and disposed of these days.



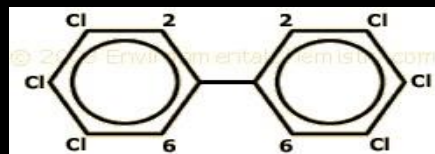
# Examples of GW Contaminants



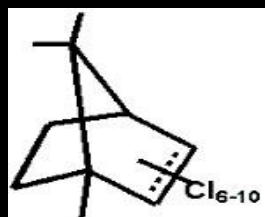
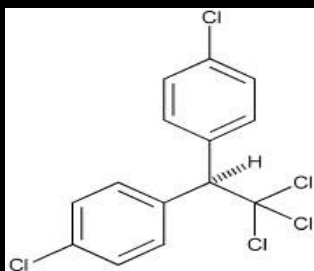
DDT



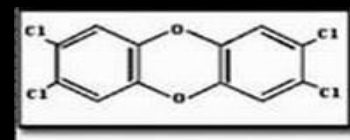
PCBs



toxaphene



dibenzo-p-dioxins.



# Other Contaminants

---

- Arsenic
- Polychlorinated biphenyls (PCBs)
- Cyanide
- Dioxin
- Mixed waste (both chemical and radioactive)
- Etc.

# Persistent Organic Pollutants (POPs)

Chemical Substance	Designed Use	Major Concerns
Aldrin	Pesticide to control soil insects and to protect wooden structures from termites	Toxic to humans, may be carcinogenic
Chlordane	Broad-spectrum insecticide to protect crops	Biomagnification in food webs
DDT	Widely used insecticide, malaria control	Biomagnification in food webs
Dieldrin	Termite control, crop-pest control	Toxic, biomagnification in food webs, high persistence
Endrin	Insecticide and rodenticide	Toxic, especially in aquatic systems
Heptachlor	General insecticide	Toxic, carcinogenic
Hexachlorobenzene	Fungicide	Toxic, carcinogenic
Mirex	Insecticide against ants	High toxicity to aquatic animals, carcinogenic
Toxaphene	General insecticide	High toxicity to aquatic animals, carcinogenic
PCBs	Variety of industrial uses, especially in transformers and capacitors	Toxic, teratogenic, carcinogenic
Dioxins	No known use; by-products of incineration and paper bleaching	Toxic, carcinogenic, reproductive system effects
Furans	No known use; by-products of incineration, PCB production	Toxic, especially in aquatic systems

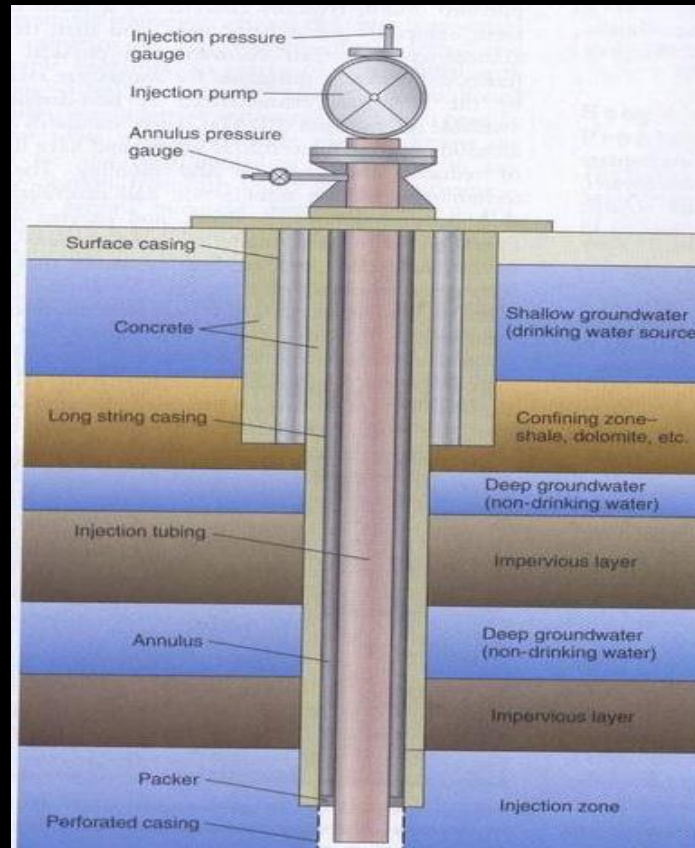
# Typical Source of Contamination

---

- Deep Well Injection
- Surface Impoundment
- Landfill
  - Solid waste (non-hazardous) landfill
  - Hazardous waste landfill
- Midnight dumping\*\*\*



# Deep Well Injection





# Surface Impoundment

---



- Widely used
- Low cost
- Could cause groundwater contamination via inadequate/bad seals, linings, and overflow of hazardous material

# Landfill

---



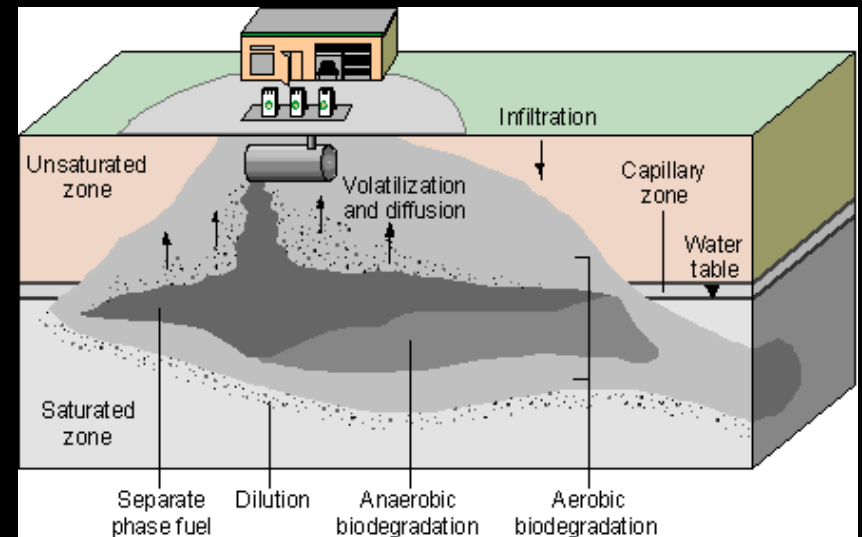
# Midnight Dumping

---



# Process of Groundwater Contamination

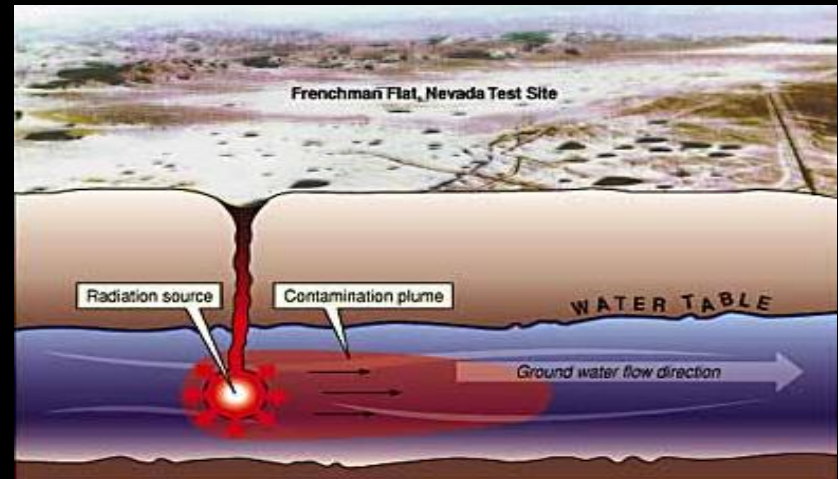
- Groundwater typically polluted when rainfall soaks into the ground
- Infiltrated water comes in contact with buried waste or other source of contamination
- Water picks up chemicals and carries them into groundwater
- Sometimes the volume of a spill or leak is large enough that the chemical itself can reach groundwater without the help of infiltrating water.





# Plume of Contaminated Groundwater

- Groundwater tends to move very slowly and with little turbulence, dilution, or mixing.
- Therefore, once contaminants reach groundwater, they tend to form a concentrated plume that flows along with groundwater.
- Despite the slow movement of contamination through an aquifer, groundwater pollution often goes undetected for years, and as a result can spread over a large area.
- Once chlorinated solvent plume in Arizona, USA, is 0.8 km wide and several kilometers long!



# Contaminant Plume Life Cycle

---

## ■ ขยายตัว (Expanding):

- มีสารปนเปื้อนในลักษณะ residual phase ทำให้เกิด plume ของน้ำบาดาลปนเปื้อน.
- ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนสูงเกินกว่าขีดความสามารถในการย่อยสลายโดยกระบวนการธรรมชาติ

## ■ สมดุล (Stable):

- ขนาดของ plume ไม่เพิ่มขึ้น.
- อัตราการย่อยสลายโดยกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น การดูดซับ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ เท่ากับอัตราการละลายของสารปนเปื้อนในน้ำบาดาล

## ■ หดตัว (Shrinking):

- ไม่พบสารปนเปื้อนในลักษณะ residual phase
- อัตราการย่อยสลายโดยกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น การดูดซับ การย่อยสลายโดย จุลินทรีย์ มากกว่าอัตราการละลายของสารปนเปื้อนในน้ำบาดาล

## ■ ตายตัว (Exhausted):

- ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา.
- สารปนเปื้อนมีความเข้มข้นลดลงมาก เป็นระยะสุดท้ายของการปนเปื้อน

# Steps to Cleanup GW Contamination

---

- Decision analysis based on hydrogeological and human health risk assessment framework
  - Geological Uncertainty Model
  - Parameter Uncertainty Model
  - Risk assessment
    - Toxicity Assessment
    - Exposure Assessment
    - Economical Disastrous Assessment
- Site characterization
- Remediation Alternatives
- Monitoring System

# Risk Assessment Framework

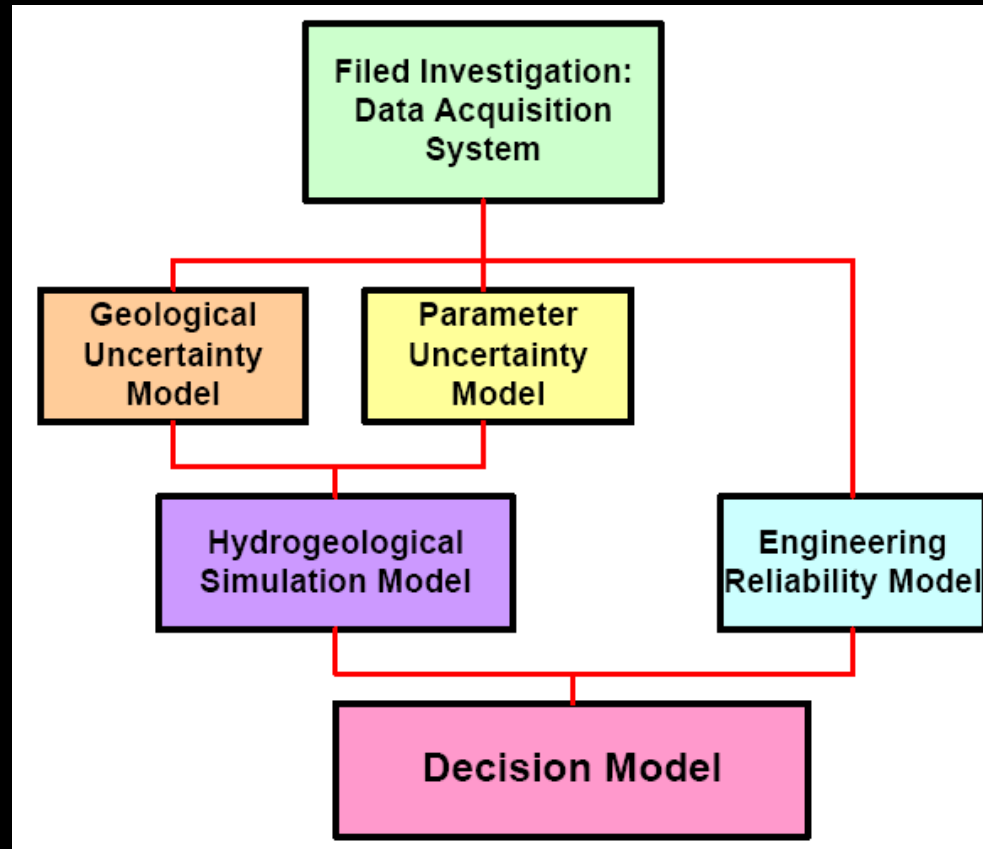
---



- The four-part process to estimate the chance that contact with chemicals/contaminants from a contaminated site will harm people now or in the future.
- Additionally, this response plan can be used as a decision support system whether to “do something” or “do nothing” at the site



# Components of a Hydrogeological Design Framework

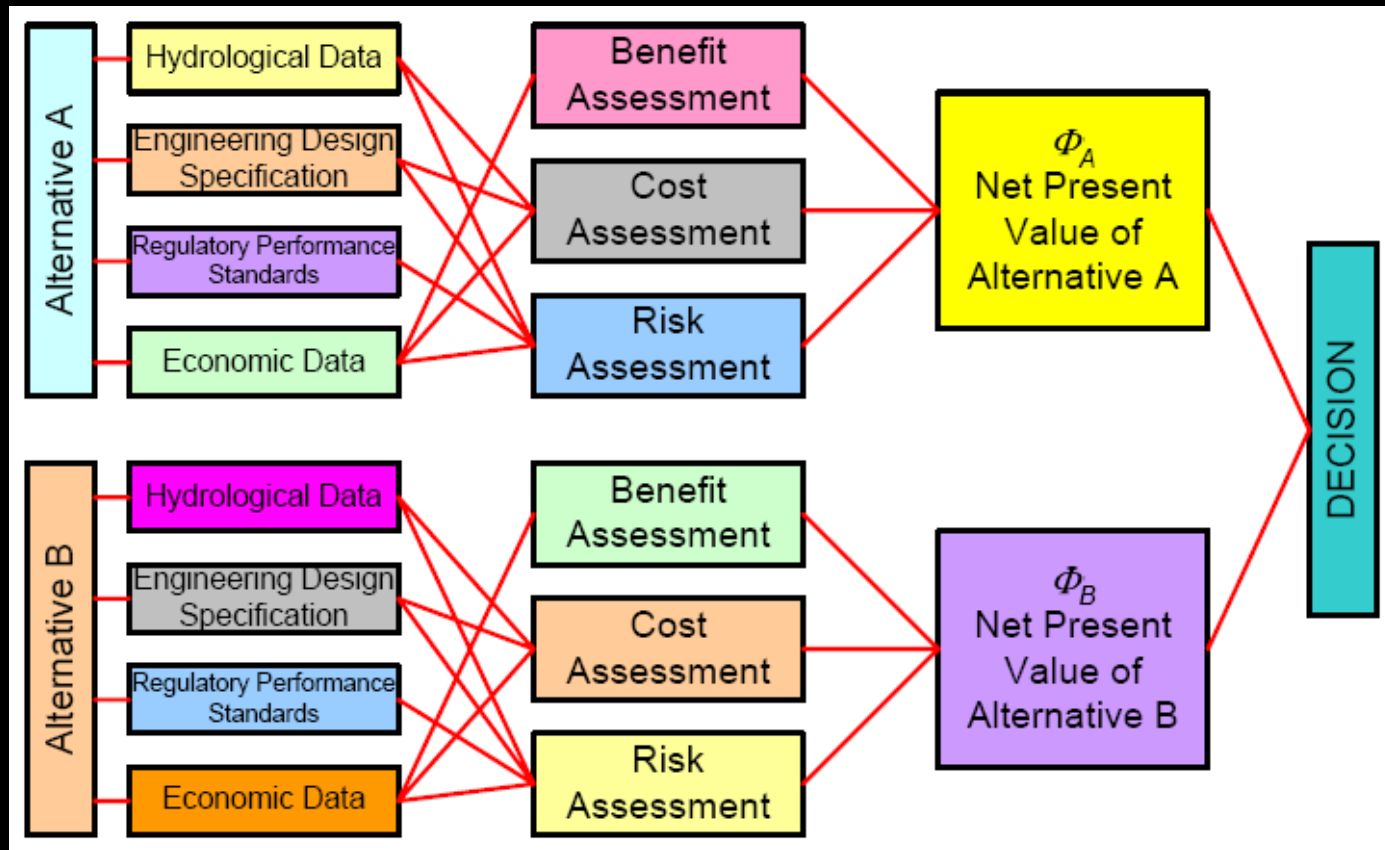


# Decision Analysis Framework

---

- Risk-based design philosophy to determine which alternative remediation design should be used.
- Risk reflect uncertainty in site characteristics and remediation design.
- Each design alternative has associated with a probability that it will not meet its performance objectives.
- The probability of failure coupled with the failure consequences constitutes the risk associated with each alternative.
- Uncertainty can be reduced by the collection of more data.
- Data worth is assessed by comparing the cost of site characterization against the expected value of the risk reduction the data can provide.

# Application of a Decision Model to Groundwater Problem Design Alternative



# Subsurface Remediation – Prioritization and Evaluation

---

- Many possible alternative methods
- Different organizations and government agencies have different perspectives on environmental problems
- US DOD (Department of Defense) might select energetic and chemical warfare agents as important contaminants
- US DOE (Department of Energy) might select radionuclides and mixed (radioactive and hazardous) wastes as their most significant contaminants
- US EPA might select petroleum hydrocarbons, chlorinated solvents and metals as being the most important point source and nitrates and pesticides as the most important nonpoint contaminants

# Site Characterization

---

- Regardless of what remediation technology selected, site characterization is **mandatory**
- Will help answer the following questions:
  - Where is it? (both macro and micro scale distributions, depending on objectives)
  - What is it? (not only the contaminant of interest but also associated contaminants)
  - How much is there?
  - How will it react in the contaminated hydrogeologic environment?

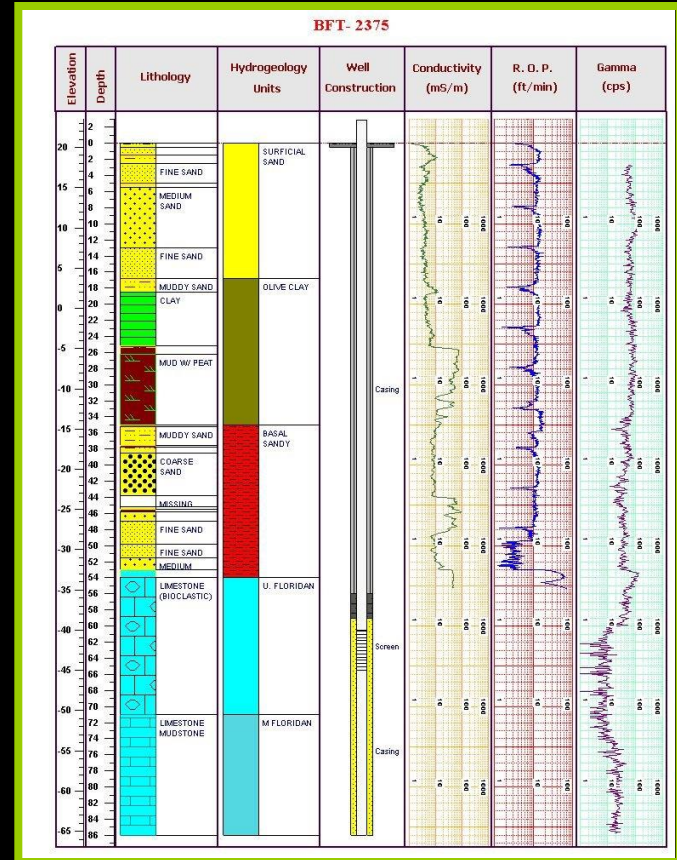
# Site Characterization

---



- One could not possibly expect the site characterization process to be a one-time activity, it should rather be an iterative process.
- Site detailed information should change during each step in the site characterization process.
- Techniques used should optimize data collection strategies and ensure that the collected data is of adequate quality

# Site Characterization



# Determination of the Degree of Contamination

---

- The next step should be to delineate the spatial extent of groundwater contamination in the area
- First indication should be focused at the water supply in the area by measuring contaminant concentration by drilling wells
- Collect soil samples and sediments for hydrogeological and chemical information of subsurface soil
- Estimation of contaminated area



# The Cleanup Process

---

- Several steps normally are take to cleanup a site once contamination.
- In the risk assessment phase, scientists evaluate if site contaminants might harm human health or the environment.
- If the risks are high, then all the various ways the site might be cleaned up are evaluated during the feasibility study.
- Usually, the most protective, lowest cost, and most feasible cleanup alternative is chosen as the preferred cleanup method.
- The operations and maintenance phase then follows.
- Periodically the remedial action is evaluated to see if it is meeting expectations.

# Methods of Cleanup

---

- Various ways to respond to site contamination can be grouped into the following categories:
  - Containing the contaminants to prevent them from migrating from their source;
  - Removing the contaminants from the aquifer;
  - Remediating the aquifer by either immobilizing or detoxifying the contaminants while they are still in the aquifer;
  - Treating the groundwater at its point of use; and
  - Abandoning the use of the aquifer and finding an alternative source of water

# Remediation Technologies

---

Can be classified into 3 major categories

1. Containment
2. Enhanced extraction (Removal)
3. *In situ* contaminant destruction

# Containment

---

- Several ways are available to contain groundwater contamination such as:
  - Physically: using an underground barrier of clay, cement, or steel
  - Hydraulically: by pumping wells to keep contaminants from moving past the wells;
  - Chemically: by using a reactive substance to either immobilize or detoxify the contaminant (zero-valent iron can be used to turn chlorinated solvents into harmless carbon dioxide and water).

# Treatment

---

- Depending on the complexity of the aquifer and the types of contamination, some groundwater cannot be restored to a safe drinking quality.
- Under these circumstances, the only way to regain use of the aquifer is to treat the water at its point of use.
- For large water providers, this may mean installing costly treatment units consisting of special filters or evaporative towers called air strippers.
- Domestic well owner may need to install an expensive whole-house carbon filter or a reverse osmosis filter, depending on the type of contaminant.

# Remediation Techniques

---

- Pump-And-Treat
- Enhanced Bioremediation
- In-situ Chemical Oxidation
- In-situ Metals Stabilization
- Ozone Treatment
- Accelerated Surfactant Technology
- Permeable reactive barrier (PRB)
- Air Sparging (for VOCs)

# Summary of Remediation Alternatives

Technique	Concept and Bench Studies	Controlled Field Experiments	Large Scale Site Trials	Accepted Use
<b>Containment</b>				
Sheet piles				
Chemical Treatments				
Pump-And-Treat				
Surfactant modified				
<b>Enhanced Extraction</b>				
<b>Organic Chemicals</b>				
Hot water or steam flushing				
Surfactant solubilization and mobilization				
Solvent mobilization				
<b>Metals</b>				
Electro-migration				
Altering chemical conditions				
<b>Chemical Independent</b>				
Pneumatic fracturing				
Hydrofracturing				
<b>In Situ Contaminant Destruction</b>				
<b>BTEX Oxidation</b>				
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>				
Air Sparging				
Bioventing				
NO <sub>3</sub>				
<b>Dechlorination</b>				
Bioremediation (Methanotrophs)				
Reductive				
Metal catalyzed				



# Field-Scale Remediation Technologies for Organic Hydrocarbons

---

- Petroleum hydrocarbons, gasoline, diesel, motor oil, BTEX, MTBE, TBA, and other compounds.
  - Treat with enhanced aerobic bioremediation, chemical oxidation (ozone), or hydrogen peroxide.
- Chlorinated Solvents such as PCE, TCE, DCE.
  - Treat with enhanced aerobic and anaerobic bioremediation

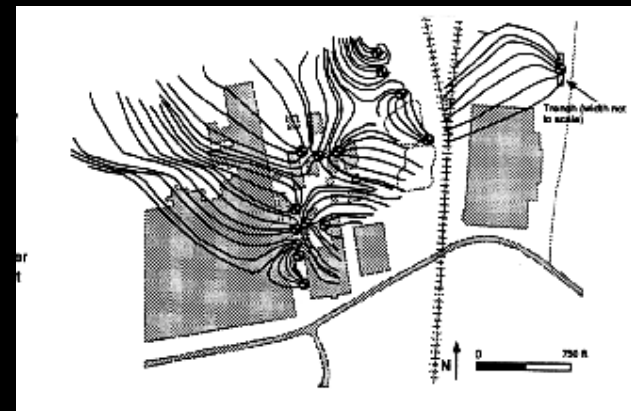
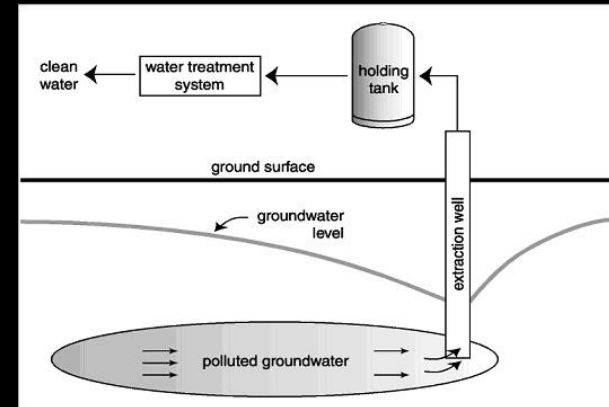
# Removal by Pump-and-Treat

---

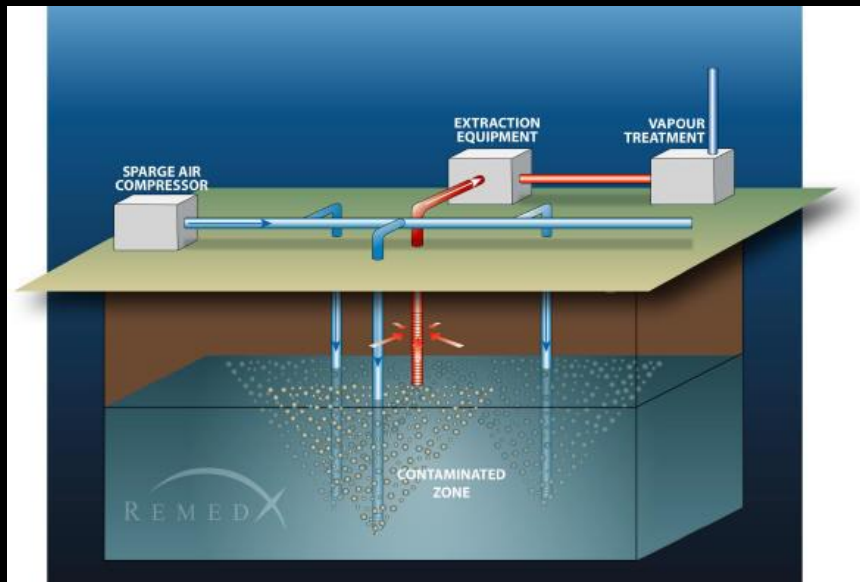
- The most common way of removing a full range of contaminants (including metals, VOC, and pesticides) from an aquifer is by capturing the pollution with groundwater extraction wells.
- After the contaminant has been removed from the aquifer, the contaminated water is treated above ground, and the resulting clean water is discharged back into the ground or to a river.
- Pump-and-treat can take a long time, but can be successful at removing the majority of contamination from an aquifer.

# Pump-And-Treat

- Pump-And-Treat is an accepted technology and the foundation of the innovative technologies
- Effective for extracting dissolved plume from a source of contamination
- Can prevent the migration of contaminants in the dissolved phase plume from moving beyond property lines while extracting a minimum amount of water
- Requires years of operation due to physical and chemical heterogeneity, which means a lot of money
- Excess pumping may result in the contamination of pristine groundwater



# Removal by Air Sparging



- Another way of removing VOCs from groundwater is by using a process known as air sparging.
- Small-diameter wells are used to pump air into the aquifer.
- As the air moves through the aquifer, it evaporates the volatile chemicals.
- The contaminated air that rises to the top of the aquifer is then collected using vapor extracting wells.

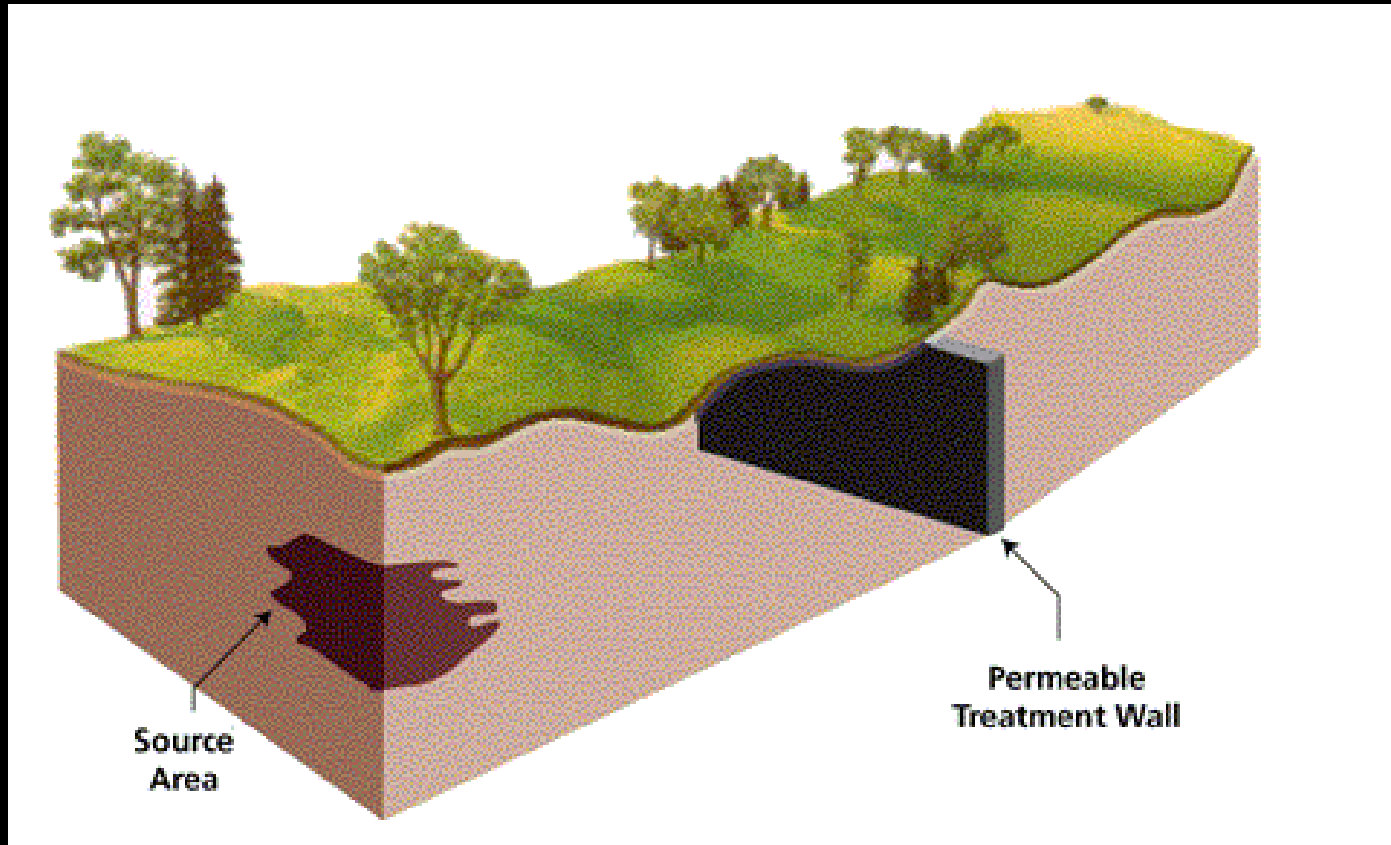
# Remediation with Surfactants

---

- Some of the newest cleanup technologies use surfactants (similar to dishwashing detergent), oxidizing solutions (such as potassium permanganate), steam, or hot water to remove contaminants from aquifers.
- These technologies have been researched for a number of years, and are just now coming into some field applications.
- These and other innovative technologies are most often used to increase the effectiveness of pump-and-treat cleanup.

# Permeable Reactive Barrier

---



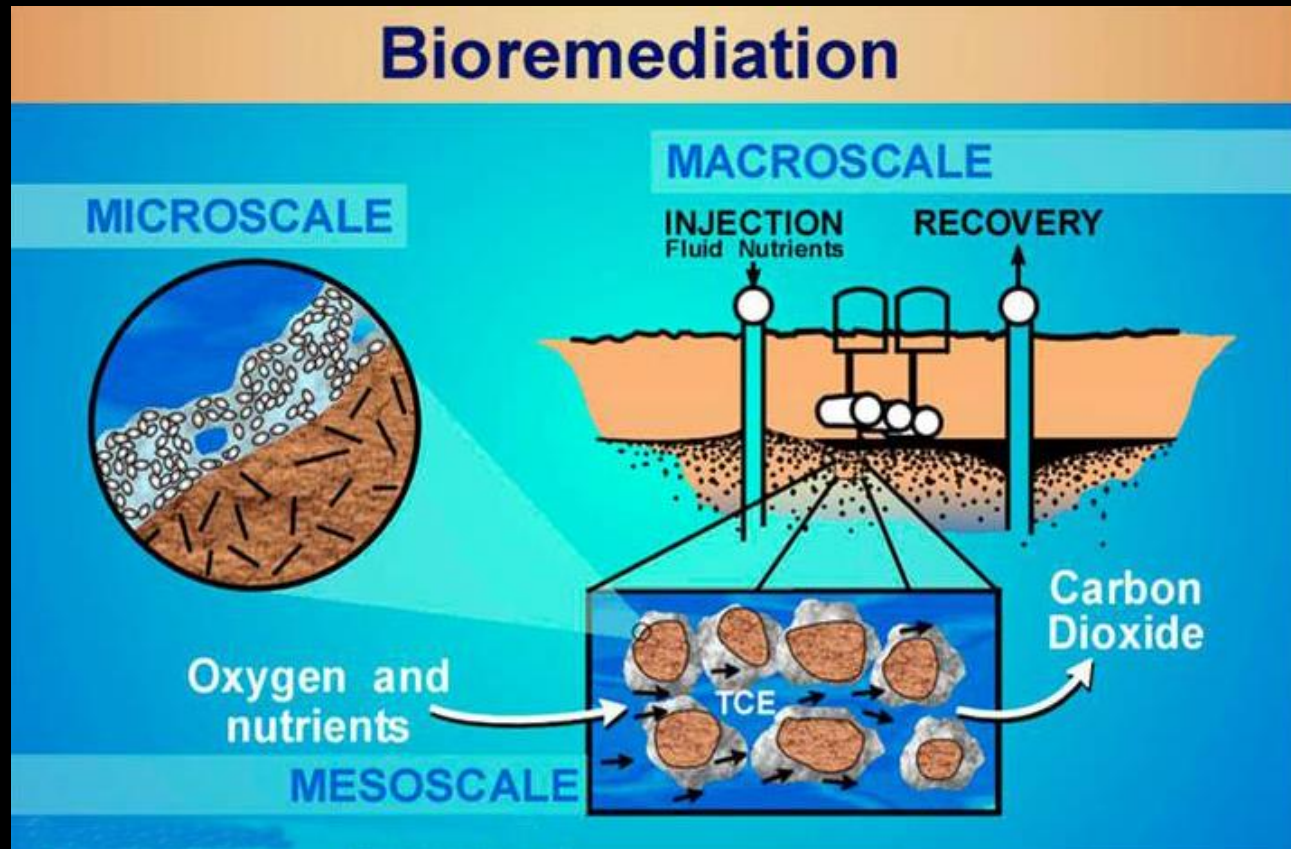
# Bioremediation

---

- Bioremediation is a treatment process that uses naturally occurring microorganisms to break down some forms of contamination into less toxic or non-toxic substances.
- By adding nutrients or oxygen, this process can be enhanced and used to effectively cleanup a contaminated aquifer.
- Because bioremediation relies mostly on nature, involves minimal construction or disturbance, and is comparatively inexpensive, it has become an increasingly popular cleanup option in the US.



# Schematic Diagram of Bioremediation



# Biodegradable Contaminants

Petroleum	Pseudomonas, Proteus, Bacillus, Penicillium, Cunninghamella
VOCs	Pseudomonas, Dehalococcoides, Ralstonia
Aromatic Rings (i.e., BTEX)	Pseudomonas, Achromobacter, Arthrobacter, Penicillium, Aspergillus, Fusarium, Phanerocheate
Cadmium	Staphylococcus, Bacillus, Pseudomonas, Citrobacter, Klebsiella, Rhodococcus
Sulfur	Thiobacillus
Chromium	Alcaligenes, Pseudomonas
Copper	Escherichia, Pseudomonas

# Advantages

---

- ก่อให้เกิดสารตกค้างน้อยกว่า
- ลดความเสี่ยงอันอาจเกิดจากการผสมกันของสารปนเปื้อน
- ลดความเสี่ยงจากการสัมผัสสารอันตรายเหล่านี้ หากต้องมีการนำสารปนเปื้อนจากใต้ดินสู่ผิวดิน
- สามารถใช้ร่วมกับเทคนิคบำบัดอื่นได้ดีเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงขึ้น
- ไม่จำเป็นต้องขุด เจาะ หรือสูบน้ำขึ้นสู่ผิวดิน
- ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำกว่า
- ไม่ต้องปิด site ในระหว่างการดำเนินงาน

# Disadvantages

---

- เป็นเทคนิคที่ใช้เวลา ขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์
- ต้องมีระบบการติดตามและเฝ้าระวัง
- ต้องการข้อมูล (ธรณีวิทยา อุทกวิทยาน้ำบาดาล เป็นต้น) ของ site งานมากพอควร
- ต้องใช้จุลินทรีย์จำนวนมาก
- ข้อมูลการปนเปื้อนอาจมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเคลื่อนตัวของน้ำบาดาลและสารปนเปื้อน

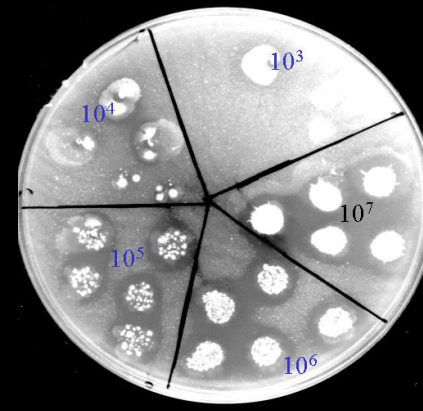
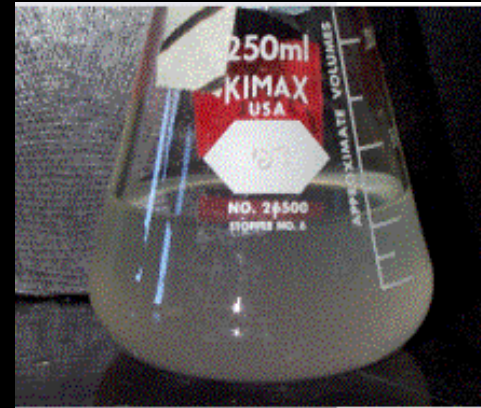
# Biodegradation Indicators

---

- มีการใช้ electron acceptors โดยจุลินทรีย์เพื่อสร้างพลังงาน
  - ความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย (DO) ในเตรต และซัลเฟอร์ ลดต่ำลงเทียบกับความเข้มข้นของ background
- ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนลดลง
- เกิดการสร้างผลิตภัณฑ์ย่อยได้ต่างๆ เช่น ferrous iron, methane, และอื่นๆ (*cis*-DCE, VC, ethene)
- วัดได้จาก Redox conditions ที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ

# Isolation of Microorganisms

- ตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์นำมาจากแหล่งน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อนด้วย BTEX
- เชื้อถูกกระตุ้นโดยใช้ BTEX เป็นแหล่งคาร์บอน และออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน
- เชื้อจุลินทรีย์ถูกคัดแยกบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งที่ประกอบด้วย BTEX ความเข้มข้นสูงกว่าสภาพละลายได้





# Historical GW Sites Treated with Bioremediation Technique

Site	Contaminants	Date
Galloway, NJ	Gasoline	1987
Bemidji, MN	Crude Oil	1983
Pensacola, FL	Creosote	1981
Laurel Bay, NC	MTBE	1997
Picatinny, NJ	TCE	1986
Pinal Creek, AZ	Mine Drainage	1984
Upper Arkansas River	Mine Drainage	1986
Cape Cod, MA	Sewage Effluent	1979
Norman, OK	Landfill Leachate	1995
Amargosa Desert, NV	Radioactive Waste	1976



# Monitoring Systems

## Objective

- to detect the contaminant plumes before reaching the regulatory compliance boundary in order to prevent severe risk to both society and groundwater quality
- Enable cost-effective counter measure in case of a failure



# Planning for the Responsible Authorities

---

In the case of Emergency

- Investigation and evaluation of degree of contamination
- What / where are the contaminants
- Risk characterization

Long-Term

- Enforce chemical inventory (at least annually)
- Required new environmental law and regulations

# Step 1 – Data Collection and Evaluation

---

- Need to find out what has happened at and around the site and where chemicals may have been left.
- Samples of soil, water, air, fish, agricultural products must be collected.
- Find out what contaminants are there and how much.
- Define a clear prohibited area to prevent further exposure
- Evacuate people in the area if necessary
- Communities can help with this process by providing some information regarding illegal (midnight) dumping or the history of the site.

## Step 2 – Exposure Assessment

---

- The data collected from the first step must be used to find out how much of each chemical people may be exposed to.
- People must come in contact with the chemicals to be at risk.
- The amount of exposure depends a lot on:
  - How much of each chemical is there
  - Who might be exposed
  - How they are exposed (drinking, playing with polluted water, eat polluted fish, etc.)
- The expected outcome is the highest exposure anyone is likely to receive from the site.

## Step 3 – Toxicity Assessment

---

- This step involves how we learn about illness or other health effects may be caused by exposure to contaminants.
- It also provides the information on what dose harmful health effects will occur.
- The dose makes the poison → dose rises the risk of harm rises.
- The higher the dose, the more likely a chemical will cause harm.

## Step 4 – Risk Characterization

---

- Risk characterization reveals whether the groundwater contamination are posing the risks and what the health risks are.
- It also provides the information on how certain we are about the case by taking in consideration to protect the public exposure.

# Advantages of the Emergency Plan

---

- Become aware and acquainted with contaminants in the community
- Make better informed decisions about what contaminants are hazardous
- Determine if there is any contamination near their houses
- Increase public awareness



# Example of Planning for the Communities

---

## Questions for Communities:

- If there were a cloud of poisonous water coming at you or your home right now, would you know how to protect yourself and your property?
- Have the necessary steps been taken by government to plan and protect you and your family in such event?

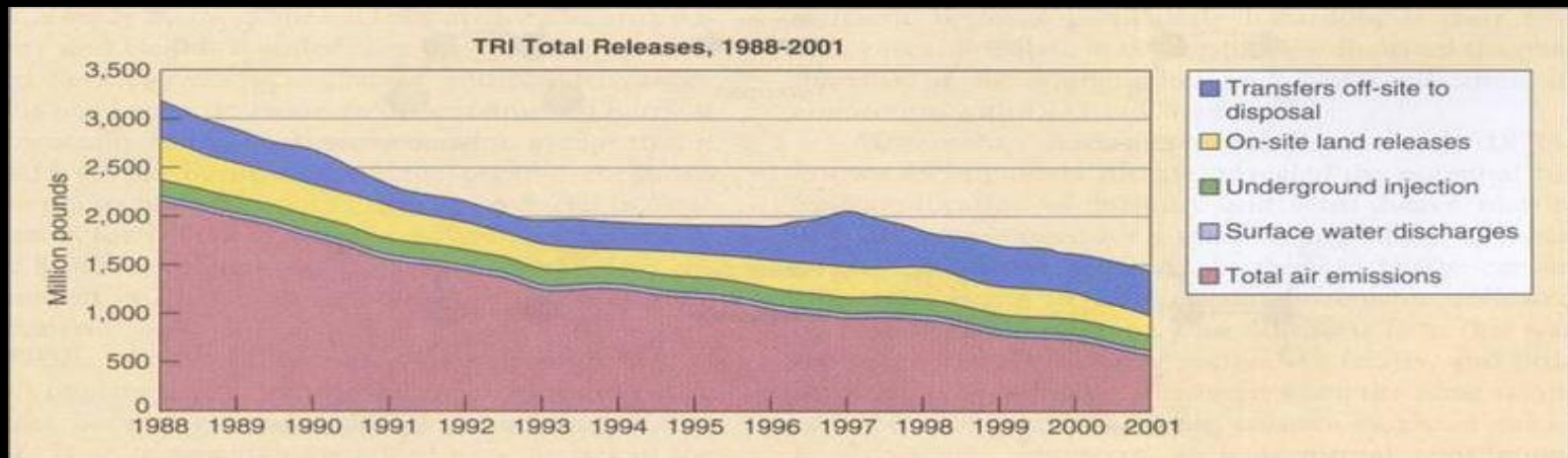
# Emergency Planning for Groundwater Contamination – Chemical Inventory

---

- Requires facilities that store/use hazardous materials to frequently do chemical inventory
- Facilities must report annually to the authority of reportable hazardous substances on their premises.
- Facilities must report accidental releases of hazardous substances to the authority

# Toxic Release Inventory (TRI)

- EPCRA (Emergency Planning and Community Right-to-Know Act), 1986 – requires the report of **locations** and **quantities** of stored toxic chemicals and **releases** to environment, excluding small businesses and household hazardous waste (HHW)



# Example of Reportable Quantities of Hazardous Substances

Type of Substance	Must Do Inventory if:
Hazardous substance	$\geq 50$ gallons liquid $\geq 500$ lb solid $\geq 200$ ft <sup>3</sup> gas
Explosive or poisonous substance	$\geq 5$ gallons liquid $\geq 10$ lb solid $\geq 20$ ft <sup>3</sup> gas

# **Emergency Planning for Groundwater Contamination – Spill Reporting and Response**

---

- The authority must be prepared in the event of a spill or release of hazardous substance that may be harmful to groundwater
- When a spill occurs, it is critical to take immediate action to stabilize the situation and prevent further release
- Cleanup is required accordance to state and federal regulations

# Emergency Planning for Groundwater Contamination – Spill Reporting and Response

---

- Implement the site's spill prevention and countermeasure plan
- This plan requires the authority to be prepared to have adsorbent spill pads and other materials readily available
- Activate alarms and warn people in the vicinity
- Take immediate action to contain the contaminants
- Immediately notify the State Emergency Response System
- Immediately notify the National Response Center
- Cleanup (cleanup is always required regardless of whether the release is a reportable quantity)

# Reportable Quantity

---

- Any quantity of liquid that contacts waters of the state
- Any quantity of oil have one barrel (42 gallons) that spills on the surface of the land
- $\geq 1$  lb (0.454 kg) of pesticide residue



# Cleanups

---

- There are many ways the environment can become contaminated.
- Examples include a leak from
  - An underground storage tank
  - A spill of toxic substances from trucks
  - Inadequate industrial processing techniques that contaminate soil or groundwater
  - Midnight dumping

# Cleanup Sites in the US

---

Fall under 5 broad categories:

1. Enforcement sites are those in which government requires the responsible party to cleanup a contaminated site
2. Orphan sites are contaminated properties where the responsible party is either unwilling or unable to cleanup the site or where no responsible party is identified. → often very complex cleanup projects
3. National priorities list (NPL) sites are the nation's worst sites and are being cleaned up under the federal Superfund Program with oversight from EPA and DEQ (Department of Environmental Quality)
4. Voluntary cleanup sites are those in which a property owner enters into a cleanup voluntarily and asks DEQ to oversee the process
5. Illegal drug lab cleanups deal with contamination and hazardous waste found at drug labs seized by local or state law enforcement

# Example of Orphan Site in the US

---



Kentucky, USA

# Example of Orphan Site in the US

---



Love Canal, New York, USA

# Cleanup Processes

---

- Site screening and assessment
- Simple site cleanup process
- Complex site cleanup process
- Underground storage tank cleanup process



# Site Screening and Assessment

---

- Discovery, initial screening and ranking of sites
- Assignment to an appropriate cleanup process based on the following factors
  - type of contaminants (i.e., petroleum vs. hazardous substances)
  - Soil or groundwater are affected
  - Threat to public health and the environment

# Simple Site Cleanup Process

---

- Simple sites are characterized by contamination limited to soil ONLY, with relatively few chemicals involved and an easily defined area of contamination
- Projects that meet established simple site criteria may be cleaned up using the soil cleanup tables that set a pre-approved cleanup level based on risk to human health

# Complex Site Cleanup Process

---

- Projects with multiple contaminants, groundwater or surface water contamination, or widespread contamination follow the complex site cleanup process.
- Complex cleanups involve a remedial investigation/feasibility study (RI/FS) and a formal remedy selection process.



# Underground Storage Tank (UST) Cleanup Process

---

- Cleanup of UST falls into its own separate category because of the widespread use of UST and the usually well-defined characteristics of petroleum.



# US Cleanup Law and Regulation

---

- Several federal laws focus on either preventing or remediating groundwater contamination, often caused by industrial, commercial, or petroleum pollutants.
- While these federal laws have provided an overall framework for these activities, the regulatory implementation of these laws is usually carried out by states in cooperation with local governments.
- Often, federal laws are adopted by the states largely unchanged.

# US Cleanup Law and Regulation

---

- The two major federal laws that focus on remediating groundwater contamination:
  - Resource Conservation and Recovery Act (RCRA)
  - Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability (CERCLA) → known as “Superfund”
- RCRA regulates storage, transportation, treatment, and disposal of solid and hazardous wastes, and emphasizes prevention of releases through management standards in addition to other waste management activities.
- CERCLA regulates the cleanup of abandoned waste sites or operating facilities that have contaminated soil or groundwater.
- CERCLA was amended in 1986 to include provisions authoring **to sue violators of the law.**

# สรุปสาระสำคัญ และ ข้อเสนอแนะ

- น้ำบาดาลของประเทศไทยมีศักยภาพเชิงปริมาณสูง สามารถพัฒนาเป็นแหล่งน้ำหลักและสำรองของประเทศได้
- ปัญหาการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในประเทศไทยเป็นปัญหาสำคัญ แต่ยังไม่ได้รับการพัฒนาและให้ความสำคัญจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและจากผู้บริโภคอย่างจริงจัง เนื่องมาจากการขาดแคลนบุคลากรที่มีความรู้และงบประมาณ
- การประเมินศักยภาพของทรัพยากรน้ำบาดาลในปัจจุบันนั้น **ไม่ได้** รวมศักยภาพเชิงคุณภาพ จึงควรนำเข้ามาพิจารณา เพื่อให้เกิดการจัดการทรัพยากรน้ำเชิงบูรณาการอย่างสมบูรณ์
- ข้อเสนอแนะคือการพัฒนา Water Vulnerability Index (WVI) ขึ้น เพื่อเป็นดัชนีบ่งชี้ศักยภาพของแหล่งน้ำในประเทศไทยทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเชิงบูรณาการอย่างสมบูรณ์

# References

---

- A.T. Corey, Groundwater Pollution, Special Lecture Note at AIT, 2000.
- Chaiyuth S., et. al., 2005, The Assessment of Pasak Jolasid Dam Project (Effectiveness of Surface Water Management and Impact on Groundwater), Draft Final Report funded by Thai Research Fund (in Thai).
- David K. Todd, Groundwater Hydrology, Wiley 1980.
- Hopkins, J.D., and P.L. McCarty, Environmental Science and Technology, 1995.
- McCarty, P.L., M.N. Goltz, G.D. Hopkins, M.E. Dolan, J.P. Allan, B.T. Kawakami, and T.J. Carrothers, Environmental Science and Technology 1998.
- Patrick A. Domenico, Franklin W. Schwartz, Physical and Chemical Hydrogeology, Wiley 1998.

# References

---

- Rittmann, B.E., and P.L. McCarty, Environmental Biotechnology, McGraw-Hill 2001.
- Sucharit K., et. al., 2002, Groundwater Potential and Demand Study for Groundwater Management in the Northern Part of Lower Central Plain, Final Report, funded by Thai Research Fund (in Thai).
- Sucharit K., et. al., 2005, Groundwater Data Monitoring in the North of Lower Central Plain and the Development of Groundwater Data Linkage System, Final Report, funded by Thai Research Fund (in Thai).
- Sucharit K., et. al., 2005, The Project of Conjunctive Use of Groundwater and Surface water in Upper Central Plain of Thailand, Progress Report, funded by Department of Groundwater Resource (in Thai).

# References

---

- US EPA, Engineered Approach to In Situ Bioremediation of Chlorinated Solvents: Fundamentals and Field Applications.