

แนวคิดทางธรณีวิทยาสำหรับการสร้าง แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

J.P. Brandenburg
ผู้แปล: อตะม เชีย

แนวคิดทางธรณีวิทยาสำหรับการ
สร้างแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล
ดาด

The Groundwater Project

J.P. Brandenburg

*Senior Geologist
Haley & Aldrich, Incorporated
Ann Arbor, Michigan, United States*

ผู้แปล: อะตอม เขียว

ผู้ประสานงานโครงการ EGIS Thailand,
กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

แนวคิดทางธรณีวิทยาสำหรับการสร้างแบบจำลองการ
ไหลของน้ำบาดาล

*The Groundwater Project
Guelph, Ontario, Canada*

สงวนลิขสิทธิ์ทั้งหมด หนังสือเล่มนี้ได้รับการคุ้มครองตามกฎหมายลิขสิทธิ์ ห้ามทำซ้ำหรือเผยแพร่ส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้ในรูปแบบใด ๆ หรือโดยวิธีใด ๆ โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากผู้เขียน (สำหรับการขออนุญาตสามารถติดต่อได้ที่: permissions@gw-project.org) การเผยแพร่และการทำซ้ำเพื่อการพาณิชย์ไม่สามารถทำได้

ผลงานของ GW Project สามารถใช้และแชร์ลิงก์ gw-project.org เพื่อดาวน์โหลดผลงานของ GW Project และไม่อนุญาตให้ทำเอกสารของ GW Project ที่มีอยู่บนเว็บไซต์อื่นหรือส่งสำเนาของเอกสารโดยตรงไปยังผู้อื่นได้.

สงวนลิขสิทธิ์ © 2020 J.P. Brandenburg (ผู้เขียน)

เผยแพร่และตีพิมพ์โดย Groundwater Project, Guelph, Ontario, Canada, 2020.

Brandenburg, J.P.

Geologic Frameworks for Groundwater Flow Models / J.P. Brandenburg - Guelph, Ontario, Canada, 2020.

25 pages

ISBN: 978-1-77470-150-8

ลงทะเบียนเพื่อรับข่าวสารของ Groundwater Project เพื่อติดตามข้อมูลเกี่ยวกับการเปิดตัวหนังสือใหม่ และกิจกรรมการมีส่วนร่วมกับ Groundwater Project การสมัครรับข้อมูลช่วยให้เราสร้างชุมชนน้ำบาดาลระดับโลก [ลงทะเบียน](#)



บรรณาธิการ: John Cherry and Eileen Poeter

คณะกรรมการ: John Cherry, Paul Hsieh, Ineke Kalwij, Stephen Moran, Everton de Oliveira และ Eileen Poeter

คณะกรรมการบริหาร: John Cherry, Allan Freeze, Paul Hsieh, Ineke Kalwij, Douglas Mackay, Stephen Moran, Everton de Oliveira, Beth Parker, Eileen Poeter, Ying Fan, Warren Wood, และ Yan Zheng.

ภาพปก: J.P. Brandenburg, 2020

แปลโดย: Atom Chia

สารบัญ

สารบัญ.....	IV
คำนำ THE GROUNDWATER PROJECT.....	VI
คำนำ.....	VII
ส่วนนำ.....	VIII
กิตติกรรมประกาศ	IX
1 ภาพรวม	1
2 บทนำ	2
3 จุดประสงค์	3
3.1 แบบจำลองเชิงโมโนโทคน์.....	3
3.2 สภาพทางธรณีวิทยา.....	3
3.3 ธรณีวิทยาโครงสร้าง	3
3.4 การลำดับชั้นหิน	4
4 การสร้างกรอบการดำเนินการ	5
4.1 แผนที่และภาพตัดขวาง.....	5
4.2 ชั้นพื้นผิว.....	5
4.3 การสร้างกริด.....	9
5 การคำนวณคุณสมบัติต่าง ๆ.....	11
5.1 ความหนารวม	11
5.2 ความหนาสุทธิ	12
5.3 อัตราส่วนความหนาสุทธิต่อความหนารวม	13
5.4 คุณสมบัติ.....	14
6 แบบจำลอง.....	16
7 การสร้างแบบจำลองสถิตจากการทำแผนที่ชุดหิน	17
8 การสร้างแบบจำลองสถิตจากข้อมูลที่ปรับสเกล.....	18
9 การสร้างแบบจำลองสถิตจากข้อมูลลักษณะหิน.....	20
10 สรุป	21
11 อ้างอิง.....	22
12 แบบฝึกหัด.....	23
แบบฝึกหัดที่ 1	23
แบบฝึกหัดที่ 2	23
แบบฝึกหัดที่ 3	23
13 กล่องที่ 1 การสร้างกริดที่มีความหนาแน่นต่ำ	23
14 เฉลยแบบฝึกหัด.....	26

	แบบฝึกหัดที่ 1- เฉลย	26
	แบบฝึกหัดที่ 2- เฉลย	26
	แบบฝึกหัดที่ 3- เฉลย	26
15	เกี่ยวกับผู้เขียน	27
16	เกี่ยวกับผู้แปล	28

คำนำ The Groundwater Project

สหประชาชาติด้านน้ำ (United Nations Water Members and Partners) ได้กำหนดหัวข้อประจำปีล่วงหน้าสำหรับวันน้ำโลกที่จะจัดขึ้นในวันที่ 22 มีนาคม 2022 เป็นหัวข้อว่า "น้ำบาดาล: ทำให้สิ่งที่มองไม่เห็นปรากฏขึ้น" หัวข้อนี้เหมาะสมอย่างยิ่งกับการเปิดตัวหนังสือชุดโครงการน้ำบาดาล (GW-Project) ครั้งแรกในปี 2020 ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มการรับรู้และทำให้ผู้คนเข้าใจความสำคัญของน้ำบาดาลมากยิ่งขึ้น

โครงการ GW-Project เป็นองค์กรไม่แสวงหาผลกำไรที่จดทะเบียนในประเทศแคนาดาเมื่อปี 2019 มุ่งมั่นที่จะมีส่วนร่วมในการพัฒนาด้านการศึกษาและนำเสนอแนวทางใหม่ในการสร้างและเผยแพร่ความรู้เพื่อเพิ่มความเข้าใจและแก้ไขปัญหาโครงการนี้ดำเนินกิจกรรมผ่านเว็บไซต์ <https://gw-project.org> ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มระดับโลกสำหรับการเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับน้ำบาดาล และก่อตั้งบนหลักการว่า:

"ความรู้ควรจะเป็นสิ่งที่ไม่มีค่าใช้จ่าย และความรู้ที่ดีที่สุดควรเป็นความรู้ที่เข้าถึงได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย"

ภารกิจของโครงการ GW-Project คือการจัดข้อมูลการศึกษาที่เข้าถึงง่าย น่าสนใจ มีคุณภาพสูง และให้บริการฟรีออนไลน์และได้แปลเป็นภาษาอื่น ๆ เป็นจำนวนมาก เพื่อรองรับทุกคนที่ต้องการเรียนรู้เกี่ยวกับน้ำบาดาลและเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างน้ำบาดาลกับระบบนิเวศและมนุษยชาติ

โครงการนี้เป็นความพยายามทางการศึกษาระดับโลกรูปแบบใหม่ ขับเคลื่อนด้วยอาสาสมัครจากผู้เชี่ยวชาญหลากหลายสาขา รวมถึงนักวิชาการ ที่ปรึกษา และคนเกษียณอายุ ปัจจุบัน GW-Project มีอาสาสมัครจำนวนมากกว่า 100 คน และองค์กรมากกว่า 200 แห่ง ใน 14 ประเทศ และ 6 ทวีป โดยจำนวนผู้เข้าร่วมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

โครงการ GW-Project พยายามอย่างต่อเนื่องและขยายกิจกรรมต่อไปโดยการเผยแพร่หนังสือออนไลน์มากกว่า 100 เล่มในปีต่อ ๆ มา โดยเริ่มจากภาษาอังกฤษ แล้วจึงแปลเป็นภาษาอื่น ๆ อีกทั้ง สามารถดาวน์โหลดได้ทุกที่ที่มีอินเทอร์เน็ต นอกจากการเผยแพร่หนังสือแล้ว การตีพิมพ์ของ GW-Project ยังรวมถึงการสนับสนุนอื่น ๆ เช่น วิดีโอ บรรยาย การสาธิตในห้องปฏิบัติการ และเครื่องมือการเรียนรู้ นอกจากนี้ยังมีการจัดหาซอฟต์แวร์สาธารณะสำหรับการประยุกต์ใช้น้ำบาดาลต่างๆ เพื่อสนับสนุนกระบวนการเรียนรู้

โครงการ GW-Project จะมี การตีพิมพ์ฉบับแก้ไขของหนังสือเป็นระยะ ๆ ผู้ใช้งานสามารถเสนอแนะการแก้ไขต่าง ๆ ได้

เราขอขอบคุณที่ คุณ เป็นส่วนหนึ่งของชุมชน GW-Project หวังว่าจะได้รับฟังความคิดเห็นเกี่ยวกับประสบการณ์ของคุณในการใช้หนังสือที่เกี่ยวข้อง เรายินดีรับฟังข้อเสนอแนะและยินดีต้อนรับอาสาสมัครทุกท่าน

คณะกรรมการบริหาร The GW-Project

พฤศจิกายน 2020

คำนำ

การประยุกต์ใช้อุทกธรณีวิทยาต้องอาศัยการใช้แบบจำลองโมทัศน์มาใช้เพื่อแสดงการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งถือเป็นวิธีการสำคัญในการแก้ปัญหาการพัฒนา น้ำบาดาลและการวิเคราะห์การปนเปื้อนของน้ำบาดาล กระบวนการทำความเข้าใจอุทกธรณีวิทยา เริ่มต้นจากการทำความเข้าใจลักษณะทางธรณีวิทยา และใช้ข้อมูลทางธรณีวิทยานั้นประมาณค่าการนำทางชลศาสตร์และค่าความพรุน ในทางกลับกัน การกระจายตัวของค่าการนำทางชลศาสตร์และค่าความพรุนที่ได้จากข้อมูลทางธรณีวิทยา จะถูกนำมาสร้างเป็นตัวแทนทางอุทกธรณีวิทยาของระบบน้ำบาดาล ก่อนทศวรรษ 1970 การแปลงข้อมูลนี้ทำโดยใช้การวาดลงในกระดาษ แต่ปัจจุบันสามารถทำได้ง่ายยิ่งขึ้นด้วยซอฟต์แวร์ที่มีอยู่ทั่วไป อย่างไรก็ตาม เพื่อใช้ซอฟต์แวร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องเข้าใจกระบวนการแปลงข้อมูล หนังสือ "แนวคิดทางธรณีวิทยาสำหรับการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล" โดย J.P. Brandenburg เป็นบทนำสู่กระบวนการแปลงข้อมูลที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม แต่ยังมีล้าหลังในอุตสาหกรรมอุทกธรณีวิทยา

นักอุทกธรณีวิทยาทราบเป็นอย่างดีว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์สามมิติมีความสำคัญ แต่กระบวนการแปลงจากข้อมูลทางธรณีวิทยาไปสู่แบบจำลองอุทกธรณีวิทยายังต้องมีการทำความเข้าใจอย่างชัดเจนยิ่งขึ้น กระบวนการแปลงนี้เรียกว่า การสร้างแบบจำลองสถิติ ซึ่งเป็นขั้นตอนเริ่มต้นก่อนการสร้างแบบจำลองพลวัต การสร้างแบบจำลองพลวัตหมายถึงการสร้างแบบจำลองการไหลและการเคลื่อนที่ (กล่าวคือ ชั้น หิน อู๋ ม น้ำ ที่ ไม่ ส า ม า ร ท เ ค ลี อ น ที่ ไ ต่ จี ง เ ป็ น แ บ บ จ ำ ล อ ง ส ตี ตี แต่ของเหลวภายในตัวกลางเคลื่อนที่จึงเป็นแบบจำลองพลวัต)

J.P. Brandenburg, ผู้เขียนหนังสือเล่มนี้ มีคุณสมบัติเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับงานนี้ เนื่องจากมีความเชี่ยวชาญธรณีวิทยาและการไหลของของไหล อีกทั้งยังมีประสบการณ์ด้านการดำเนินการแปลงข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองเชิงสถิติและพลวัตที่ซับซ้อนในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม โดยมุ่งเน้นการแปลงข้อมูลสำหรับแบบจำลองน้ำบาดาลสามมิติที่มีความซับซ้อน

John Cherry, The Groundwater Project Leader

Guelph, Ontario, Canada, November 2020

ส่วนนำ

นักพัฒนาจำลองน้ำบาดาลควรมีความคุ้นเคยและสามารถเข้าถึงวิธีการอย่างเป็นระบบในการแปลงข้อมูลธรณีวิทยาชั้นใต้ดินเป็นค่าตัวเลข เพื่อให้นักอุทกธรณีวิทยาคนอื่น ๆ สามารถเข้าใจกระบวนการนี้ได้ดีขึ้น หนังสือเล่มนี้นำเสนอเทคนิคในการสร้างโครงสร้างทางธรณีวิทยาพื้นฐานสำหรับแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล โดยจะยกตัวอย่างสถานที่สมมติที่มีภาพประกอบของน้ำบาดาล เริ่มต้นด้วยการอธิบายเกี่ยวกับการรวบรวมข้อมูลและการตีความทางธรณีวิทยา จากนั้นจะลงลึกไปยังขั้นตอนที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สมจริง ผู้อ่านจะได้เรียนรู้ว่าวิธีการและการคำนวณหลากหลายชนิดที่สามารถนำไปใช้ได้อย่างง่ายดายด้วยเครื่องมือต่าง ๆ เช่น การวาดด้วยกระดาษ และแหล่งข้อมูลอื่น ๆ ที่มีอยู่ในหนังสือเล่มนี้

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณบุคคลต่อไปนี้สำหรับการให้คำแนะนำและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อหนังสือเล่มนี้:

- ❖ John G. Solum, Shell International Exploration and Production.
- ❖ Steve Naruk, Adjunct Professor, Department of Earth and Atmospheric Sciences, University of Houston; and,
- ❖ Murray Einarson, Technical Expert, Haley & Aldrich, Inc.

ขอขอบคุณ Eileen Poeter จาก Colorado School of Mines เมือง Golden รัฐโคโลราโด สหรัฐอเมริกา สำหรับข้อเสนอแนะ การแก้ไขต้นฉบับ การจัดหน้า และการผลิตหนังสือเล่มนี้

ขอขอบคุณ Amanda Sills สำหรับการตรวจทาน และ Elhana Dyck จาก Groundwater Project เมือง Guelph รัฐออนแทรีโอ ประเทศแคนาดา สำหรับการแก้ไขต้นฉบับ

รูปปกหนังสือถูกสร้างขึ้นโดยใช้ซอฟต์แวร์ Visual MODFLOW Flex จาก Waterloo Hydrogeologic

1 ภาพรวม

ก่อนที่จะจำลองการไหลของน้ำบาดาล จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองธรณีวิทยาใต้ผิวดินเป็นพื้นฐาน อุตสาหกรรมปิโตรเลียมมีวิธีการสร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยาที่ละเอียดกว่า ดังนั้น Ground Water Project จึงจัดทำหนังสือเล่มนี้ขึ้นเพื่อทบทวนกระบวนการพื้นฐานในการสร้างแบบจำลองใต้ผิวดิน พร้อมทั้งเทคนิคและกระบวนการต่าง ๆ จากมุมมองของทั้งน้ำบาดาลและปิโตรเลียม อุตสาหกรรมปิโตรเลียมให้ความสำคัญกับการจำลองปริมาตร การไหล และการสกัดของไหลใต้ผิวดิน เทคนิคในหนังสือเล่มนี้เน้นแนวคิด “ความหนาสุทธิ” ซึ่งหมายถึงความหนาของชั้นหินที่เป็น Coarser-grained รองรับการไหลของของไหล เปรียบเทียบกับ “ความหนารวม” ที่คือความหนาตลอดแนวตั้งทั้งหมดระหว่างชั้น แนวคิดนี้ไม่เพียงแต่สำคัญต่อการผลิตปิโตรเลียม แต่ยังเกี่ยวข้องกับการจำลองการไหลของน้ำบาดาลด้วย แนวทางดังกล่าวมีประโยชน์สำหรับผู้สนใจในการจัดการทรัพยากรน้ำและการประเมินปริมาณการกักเก็บในชั้นหินอุ้มน้ำให้แม่นยำขึ้น

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้จำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนจำเป็นต้องมีการกำหนดขอบเขตทางธรณีวิทยาที่ละเอียด ในการประยุกต์ใช้นี้ จำเป็นต้องทราบลักษณะวัสดุธรณีวิทยาที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากสารปนเปื้อนมักเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ที่มีการนำไหลศาสตร์สูง นอกจากนี้ กระบวนการส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนขึ้นอยู่กับ การแลกเปลี่ยนของเหลวที่มีองค์ประกอบทางเคมีและค่าการนำไหลศาสตร์ที่แตกต่างกัน

เทคนิคนี้ใช้ได้เฉพาะกับชั้นหินอุ้มน้ำประเภทหินตะกอนเนื้อประสม (Clastic aquifers) ซึ่งประกอบด้วยหินตะกอนที่เกิดจากการผุพังทางกายภาพ โดยทั่วไปมีส่วนผสมของกรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว ชั้นหินอุ้มน้ำเหล่านี้เป็นตะกอนร่วน (Unconsolidated sediment) คือ เม็ดตะกอนจับตัวกันเป็นก้อนหลวมโดยไม่มีวัสดุเชื่อมประสาน หรือชั้นหินอุ้มน้ำเหล่านี้เป็นตะกอนไม่ร่วน (Consolidated sediment) คือ เม็ดตะกอนจับตัวกันแน่นและมีวัสดุเชื่อมประสาน อย่างไรก็ตาม เทคนิคนี้ไม่สามารถใช้กับชั้นหินที่มีรอยแตก (Fractured bedrock) หินปูนแบบคาสต์ หรือชั้นหินอุ้มน้ำอื่น ๆ ที่มีความพรุนทุติยภูมิ (Secondary porosity) ซึ่งเป็นเส้นทางหลักของการไหลได้

หนังสือเล่มนี้ใช้ซอฟต์แวร์ [Visual MODFLOW FLEX](#) จาก Waterloo Hydrogeologic ซึ่งช่วยในการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล รวมถึงการใช้เครื่องมือที่แพร่หลายที่สุดสำหรับการจำลองการไหลของน้ำบาดาล นั่นคือ [MODFLOW code](#) ของ USGS ข้อดีอีกประการหนึ่งคือซอฟต์แวร์นี้มีจุดเริ่มต้นร่วมกับ Petrel® ของ Schlumberger ซึ่งเป็นมาตรฐานในอุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซสำหรับการสร้างแบบจำลองธรณีวิทยาใต้ผิวดิน นอกจากนี้ หนังสือเล่มนี้ยังใช้ซอฟต์แวร์สร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยา [RockWorks](#) ซึ่งช่วยสร้างการกระจายตัวของวัสดุทางธรณีวิทยาที่สามารถระบุคุณสมบัติทางชลศาสตร์ได้ และสามารถแปลงข้อมูลเหล่านี้เป็นค่าต่าง ๆ สำหรับตารางกริดในการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาล

2 บทนำ

นักอุทกธรณีวิทยาจะร่วมมือกับนักธรณีวิทยาและวิศวกรในการพัฒนากรอบการทำงานพื้นฐานสำหรับกำหนดคุณสมบัติของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล กระบวนการแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การสร้างแบบจำลองสถิต (Static modeling): กำหนดคุณสมบัติทางธรณีวิทยาที่ไม่เปลี่ยนแปลง และการสร้างแบบจำลองการไหลของของไหลแบบพลวัต (Dynamic fluid flow): จำลองการไหลและปรับคุณสมบัติทางศาสตร์เมื่อการเปลี่ยนแปลงในระบบส่งผลต่อคุณสมบัติเหล่านั้น

ตัวอย่างที่ชัดเจนคือ เมื่อความดันลดลงระหว่างการสกัดของไหล ทำให้วัสดุทางธรณีวิทยาอัดตัวแน่นขึ้น ส่งผลให้ค่าการนำพลศาสตร์และความพรุนลดลง (คุณสมบัติแบบพลวัต, Dynamic properties) แต่ปริมาณของหินทรายเทียบกับหินดินดานในแอ่งกักเก็บยังคงไม่เปลี่ยนแปลง (คุณสมบัติแบบสถิต, Static property) แบบจำลองแบบคงที่ ถูกสร้างขึ้นโดยใช้เครื่องมือทางเรขาคณิตเพื่อกำหนดโครงสร้างและใส่ค่าคุณสมบัติทางศาสตร์ลงในเครื่องมือจำลองการไหล ส่วนแบบจำลองแบบพลวัตสร้างขึ้นโดยใช้เครื่องมือจำลองการไหล (สำหรับน้ำบาดาลมักใช้ MODFLOW) และนำข้อมูลจากภาคสนามมาเชื่อมโยงเพื่อปรับค่าคุณสมบัติทางศาสตร์ การกระทำนี้ช่วยให้โปรแกรมจำลองสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการไหลตามความเค้นได้อย่างถูกต้องมากขึ้น

ที่อนึ่ง การสร้างแบบจำลองแบบสถิตจะพัฒนาโดยนักธรณีวิทยา ก่อนแล้วจึงส่งต่อให้นักวิศวกรวิเคราะห์แบบจำลองพลวัต แต่กระบวนการนี้มีข้อจำกัด เพราะการปรับเทียบแบบจำลองพลวัตจำเป็นต้องให้ข้อมูลลึกเกี่ยวกับธรณีวิทยา ซึ่งจำเป็นต่อการจำกัดพารามิเตอร์สำคัญ ปัจจุบัน ผู้สร้างแบบจำลองต้องมีทักษะด้านคณิตศาสตร์ วิศวกรรม และธรณีวิทยาผสมผสานกัน หรือทำงานร่วมกับทีมผู้เชี่ยวชาญจากหลายสาขาเพื่อพัฒนาแบบจำลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลมักเน้นข้อมูลและการวิเคราะห์ทางภูมิศาสตร์ โดยให้ความสำคัญกับรายละเอียดบนแผนที่และการปรับชั้นหินอุ้มน้ำในแง่ต่อการวิเคราะห์ วิธีนี้เหมาะกับการสร้างแบบจำลองในระดับภูมิภาคหรือลุ่มน้ำ โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตาม เครื่องมือเหล่านี้อาจมีข้อจำกัดเมื่อใช้กับแบบจำลองพื้นที่ขนาดเล็ก (น้อยกว่า 1,000 ตารางเมตร)

หนังสือเล่มนี้เน้นการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลในพื้นที่ปนเปื้อน ด้วยแนวคิดที่ใช้ในแบบจำลองสถิตของแหล่งน้ำมัน โดยไม่เจาะจงใช้ซอฟต์แวร์ใดเป็นพิเศษ เพราะงานส่วนใหญ่สามารถทำได้ด้วยการวาดลงในกระดาษ หรือใช้ซอฟต์แวร์สร้างเส้นชั้นความสูงก็เพียงพอต่อการสร้างแบบจำลอง

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองคงที่ที่นำเสนอเป็นชุดขั้นตอนสำหรับพื้นที่ปนเปื้อนสมมติ (พื้นที่ทดสอบ) เริ่มจากการฝึกกระบวนการคิดเพื่อสร้างแบบจำลองมโนทัศน์ (Conceptual model) แล้วใช้เทคนิคเปลี่ยนแบบจำลองมโนทัศน์ให้เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์สามมิติ (3D Numerical model) สุดท้ายประยุกต์ใช้กรอบการทำงานเพื่อสร้างแบบจำลองการไหล

3 จุดประสงค์

ก่อนเริ่มการจำลองใด ๆ ควรกำหนดเป้าหมายของโครงการให้ชัดเจน การประเมินการไหลและการเคลื่อนที่ของสารสามารถทำได้โดยใช้แบบจำลองเชิงวิเคราะห์ซึ่งมักจะใช้ตารางสเปรดชีตในการคำนวณ

ควรเริ่มด้วยการวาดแบบจำลองบนกระดาษเพื่อวิเคราะห์ประเด็นคำถามก่อนการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ หากไม่มีวิธีอื่น การคำนวณอย่างละเอียดก็จะช่วยให้ประเมินแบบจำลองได้ดีขึ้น

3.1 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์

โครงการสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่สำหรับพื้นที่น้ำบาดาลจำเป็นต้องจัดทำแบบจำลองมโนทัศน์ตามข้อกำหนดของรัฐบาล แบบจำลองมโนทัศน์จะระบุรายละเอียดพื้นฐานของชั้นหินอุ้มน้ำที่ปนเปื้อน เช่น รูปทรงเรขาคณิต ความลึก ความหนา ค่าการนำซลศาสตร์ ระดับน้ำที่สังเกต และปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของน้ำ เช่น แหล่งน้ำผิวดินและบ่อสูบน้ำ สำหรับพื้นที่ปนเปื้อนเล็ก รายละเอียดจากแบบจำลองมโนทัศน์มักเพียงพอต่อข้อกำหนด แต่ไม่เพียงพอสำหรับการสร้างแบบจำลองที่คาดการณ์พฤติกรรมของระบบอุทกวิทยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจำเป็นต่อการออกแบบฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อนจากนี้ แบบจำลองมโนทัศน์ที่อธิบายชั้นหินหนาและมีคุณสมบัติเป็นเนื้อเดียวกัน จะช่วยให้ได้ข้อมูลการศึกษาที่ละเอียดขึ้น และสามารถปรับปรุงแบบจำลองได้ดียิ่งขึ้น

3.2 สภาพทางธรณีวิทยา

การศึกษาและเข้าใจลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการจำลองใต้ผิวดิน การสำรวจข้อมูลจากบ่อบาดาล การทำการสำรวจทางธรณีเทคนิค และการศึกษารายงานจากโครงการน้ำบาดาลอื่น ๆ ในพื้นที่ จะช่วยให้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติใต้ผิวดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

ถึงแม้ว่าการระบุข้อมูลธรณีวิทยาจะสำคัญ แต่ก็ไม่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์แหล่งปนเปื้อนที่หลากหลาย บางกรณีอาจไม่สามารถระบุรอยเลื่อนได้ และมักถูกสมมติว่าชั้นหินเป็นพื้นผิวราบเรียบ อย่างไรก็ตาม ในบางพื้นที่ภูมิประเทศอาจซับซ้อน จึงควรวิเคราะห์ธรณีโครงสร้างควบคู่ไปด้วย ชั้นหินฐาน (Bedrock) มีบทบาทสำคัญในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ระเหยชนิดที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ (DNAPL) เนื่องจาก DNAPL มักจมลงในพื้นที่ที่มีความซึมผ่านของหินต่ำ และการไหลของ DNAPL มักขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ

รอยเลื่อนพบได้ทั่วโลก เช่น

ในพื้นที่ชายฝั่งอ่าวเท็กซัสซึ่งได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนรูปของพื้นผิวที่เกี่ยวข้องกับรอยเลื่อนคิบคลาน แม้อเมริกาเหนือจะมีการธรณีแปรสัณฐานไม่รุนแรง แต่ในพื้นที่ปนเปื้อนบ่อยครั้งพบรอยเลื่อนขนาดเล็ก สังเกตจากจุดที่มีความลาดชันทางชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) สูง สำหรับหนังสือเล่มนี้จะยกตัวอย่างรอยเลื่อนปกติที่มีขนาดเล็กเป็นกรณีศึกษา

3.4 การลำดับชั้นหิน

ความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลในแหล่งปนเปื้อนมักเป็นอุปสรรคในการกำหนดชั้นหิน อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีการเก็บข้อมูลชั้นหินมากขึ้น เพราะข้อมูลเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญในการฟื้นฟูแหล่งปนเปื้อน กระบวนการฟื้นฟูที่เกี่ยวข้องกับการสูบน้ำและการเติมน้ำใต้ดินอาจถูกจำกัดด้วยชั้นหินที่มีการไหลต่ำ ชั้นดินละเอียดที่มีดินเหนียวและสารอินทรีย์สูงสามารถกักเก็บและดักจับสารปนเปื้อนได้ แต่เมื่อมีการฟื้นฟูชั้นหินที่อุ้มน้ำและซึมผ่านง่าย สารปนเปื้อนที่สะสมอาจกลับเข้าสู่ น้ำบาดาล ทำให้ความเข้มข้นของสารเพิ่มขึ้น ชั้นดินลักษณะนี้มักถูกมองข้ามเมื่อใช้เครื่องมือเก่าๆ เช่น การเจาะด้วยสว่านหรือเจาะแบบหมุน แต่ด้วยเครื่องมือปัจจุบัน เช่น การบันทึกข้อมูลหลุมเจาะด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic borehole logging) และเครื่องมือตรวจวัดแบบกดตรง (High-resolution direct push sensing tools) เราสามารถสร้างบันทึกที่มีรายละเอียดมากขึ้นได้ ทั้งนี้ ยังคงต้องใช้หลักการลำดับชั้นหินเพื่อกำหนดรายละเอียดระหว่างหลุมเจาะอย่างไร ข้อมูลและวิธีการประเมินชั้นหินจากการศึกษาโดย Schultz และคณะ (2017) ให้รายละเอียดที่เป็นประโยชน์ในการทำประเมินดังกล่าว

สำหรับแหล่งกักเก็บน้ำมันและก๊าซ

การจำแนกลักษณะส่วนใหญ่ทำโดยพิจารณาและเปรียบเทียบสภาพแวดล้อมการสะสมตัวของตะกอน (เช่น Shepherd, 2009) รวมไปถึงการเปรียบเทียบความเป็นเนื้อเดียวกันของการสะสมตัวโดยลม (เนินทราย) ที่เป็นแหล่งกักเก็บที่ดีกว่าการสะสมของตะกอนที่เกิดจากกระแสน้ำลึก อย่างไรก็ตามประเด็นนี้ควรค่าแก่การมีตำราเฉพาะของตัวเอง และจะไม่ลงรายละเอียดในหนังสือเล่มนี้ ยกเว้นเพื่อโครงการด้านสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ แหล่งน้ำบาดาลที่ปนเปื้อนมักมีขอบเขตจำกัดหรือขาดงบประมาณในการเก็บข้อมูลที่จำเป็น จึงทำให้การวิเคราะห์ชั้นธรณีวิทยาในลักษณะดังกล่าวเป็นไปได้ยาก

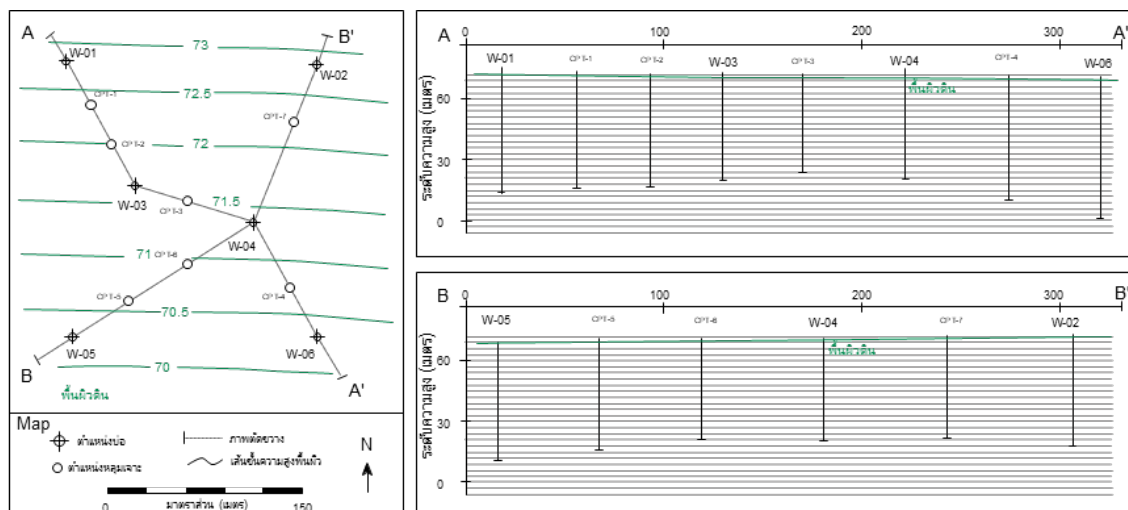
4 การสร้างกรอบการดำเนินการ

กรอบเรขาคณิตเป็นพื้นฐานของการจำลองแบบสถิต ซึ่งช่วยกำหนดตำแหน่งแหล่งปนเปื้อนในสามมิติโดยเทียบกับบ่อจริงในพื้นที่

4.1 แผนที่และภาพตัดขวาง

แผนที่และภาพตัดขวางเป็นส่วนสำคัญทั้งหมดสำหรับการสร้างแบบจำลองสถิต ด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ การทำแบบจำลองนี้เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อม 3 มิติแบบเสมือนจริงที่ช่วยให้เกิดความเข้าใจเชิงพื้นที่ได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม แผนที่และภาพตัดขวางยังคงเป็นพื้นฐานสำหรับการตีความ 3 มิติในหลาย ๆ ด้าน สำหรับตัวอย่างนี้ แผนที่แบบดั้งเดิมและภาพตัดขวางถูกใช้สำหรับการตีความ

พื้นที่ทดสอบมีขนาดประมาณ 9 เฮกตาร์ ได้รับการสำรวจลักษณะชั้นดินโดยการเจาะสำรวจจำนวน 14 หลุม หลุมเจาะเหล่านี้จัดเรียงเป็นแนวตัดขวาง 2 แนวที่เกือบตั้งฉากกัน แต่ละหลุมเจาะผ่านชั้นตะกอนร่วนลงไปจนถึงชั้นบนของหินฐาน โดยพื้นที่มีระดับผิวดินประมาณ 70-73 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล และมีความลาดเอียงไปทางทิศใต้ ชั้นหินฐานพบที่ระดับความลึกตั้งแต่ 40 ถึง 70 เมตรจากผิวดิน รายละเอียดทางเรขาคณิตที่ใช้ในการสร้างกรอบการตีความแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงภาพตัดขวางทั้งสองแนวประกอบกับแผนที่ โดยทั้งหมดแสดงตามมาตราส่วนที่กำหนด



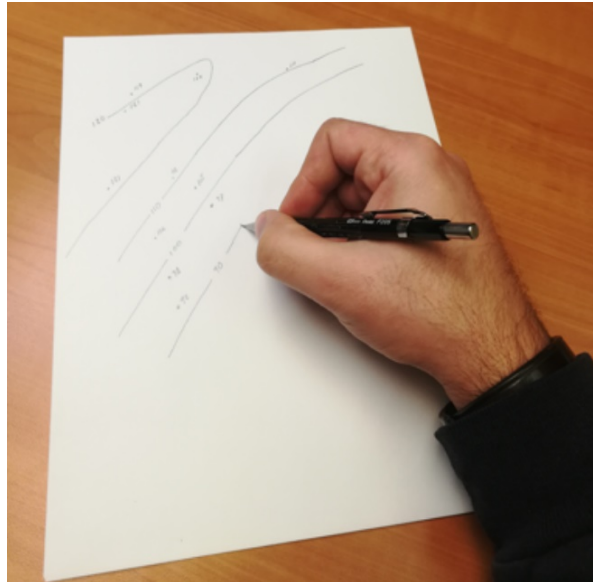
รูปที่ 1 - แสดงกรอบการดำเนินการในการตีความ (Interpretation framework) (Brandenburg, 2020)

4.2 ชั้นพื้นผิว

การตีความทางธรณีวิทยาเกี่ยวข้องกับการแบ่งชั้นใต้ผิวดินออกเป็นชั้น ๆ โดยผู้เชี่ยวชาญแต่ละสาขามองหาลักษณะที่แตกต่างกัน: นักลำดับชั้นหิน (Stratigraphers) มุ่งเน้นการหาขอบเขตที่แสดงถึงธรณีกาลโดยเฉพาะ นักธรณีวิทยาโครงสร้าง (Structural geologists) พยายามระบุพื้นผิวที่เคยเป็นแนวราบในอดีต นักธรณีฟิสิกส์ (Geophysicists) มองหาชั้นหินที่มีคุณสมบัติทางเสียงแตกต่างกัน ไม่ว่าจะใช้หลักการใด การสร้างพื้นผิวสามมิติเป็นสิ่งสำคัญในการจำลองธรณีวิทยาใต้ผิวดิน

วิธีที่เชื่อถือได้ที่สุดคือการสร้างเส้นชั้นความสูงจากข้อมูล เพื่อกำหนดพื้นผิวทางธรณีวิทยาที่สนใจ ผลที่ได้คือแผนที่เส้นชั้นความสูงโครงสร้าง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแผนที่ภูมิประเทศ

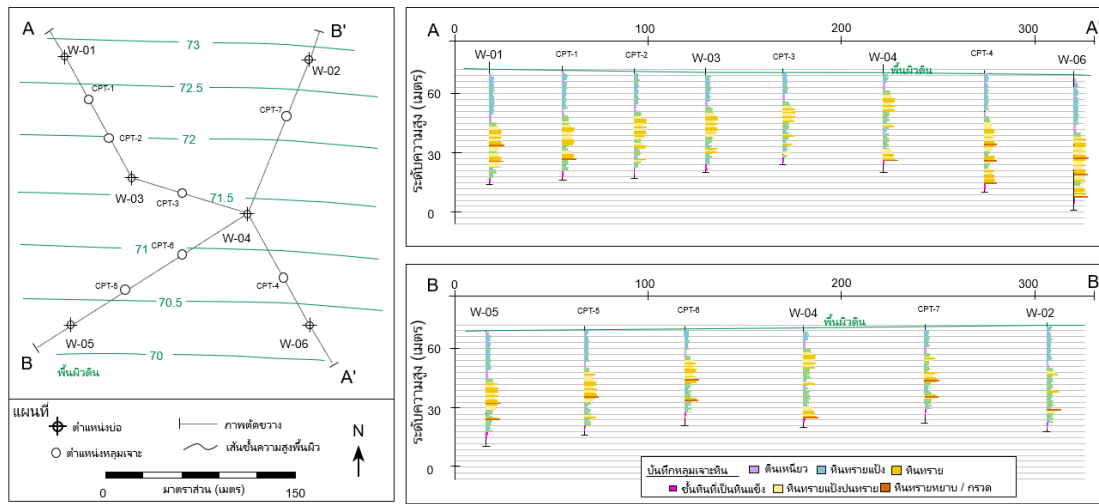
การวาดเส้นชั้นความสูงด้วยมือ (แสดงในรูปที่ 2) มีข้อดีในการรวมความเข้าใจของมนุษย์เกี่ยวกับลักษณะทางธรณีวิทยาทั่วไป ซึ่งแตกต่างจากซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่อาจไม่สามารถตีความพื้นที่ที่ข้อมูลน้อยได้ ด้วยเหตุนี้ แผนที่เส้นชั้นความสูงที่วาดด้วยมือจึงมีประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพของเส้นชั้นความสูงที่สร้างขึ้นโดยซอฟต์แวร์ โดยเฉพาะกับพื้นผิวที่ไม่ต่อเนื่องเนื่องจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน



รูปที่ 2 - แสดงการวาดเส้นชั้นความสูงโครงสร้างด้วยมือ ซึ่งเป็นวิธีการที่เชื่อถือสำหรับการตีความทางธรณีวิทยา (Brandenburg, 2020)

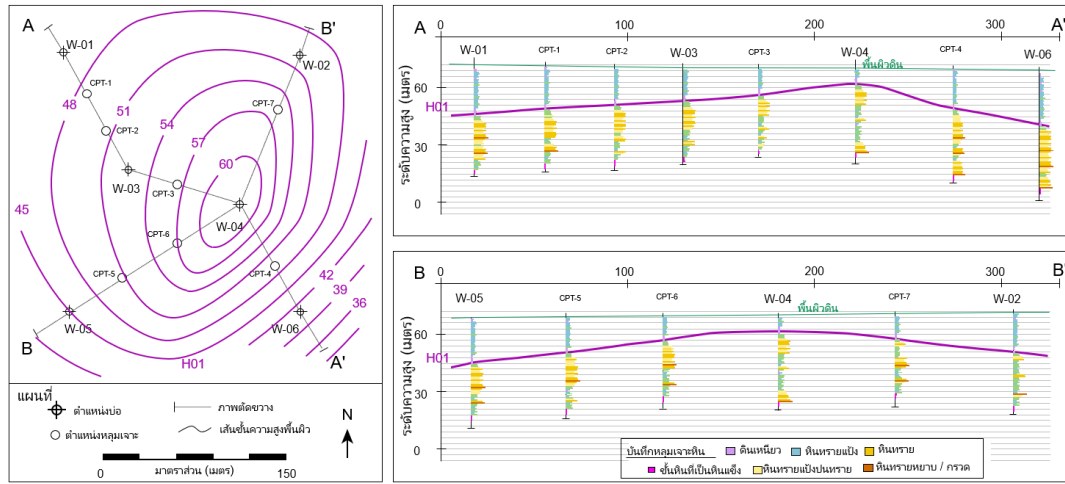
ในพื้นที่ทดสอบนี้ มีการจัดทำบันทึกลำดับชั้นหินอย่างละเอียดสำหรับแต่ละหลุมเจาะ โดยใช้ข้อมูลจากสองแหล่ง ได้แก่ ตัวอย่างหินที่เก็บระหว่างการเจาะ และข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดในหลุมเจาะ (แสดงในรูปที่ 3) การบันทึกลำดับชั้นหินในกรณีนี้ใช้ผลจากการทดสอบการเจาะหยั่งธรณีด้วยหัวกรวย (Cone Penetrometer Test, CPT) ซึ่งเป็นวิธีวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของตะกอนร่วนระหว่างการเจาะ CPT เป็นวิธีที่นิยมใช้ในด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากให้ข้อมูลเป็นช่วง แทนที่จะเป็นเส้นโค้งต่อเนื่อง

สำหรับพื้นที่ทดสอบนี้ การบันทึกลำดับชั้นหินแบบแบ่งช่วงสามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างหินฐานและคุณสมบัติของตะกอนได้ทั้งหมด 6 ประเภท ได้แก่ ดินเหนียว ทรายแป้ง ทราย และกรวด



รูปที่ 3 - แสดงบันทึกข้อมูลหลุมเจาะหิน (lithological logs) แบบแยกส่วนที่พื้นที่ทดสอบ และเส้นชั้นความสูงแสดงระดับความสูงของพื้นผิวดินเหนือระดับน้ำทะเล (Brandenburg, 2020)

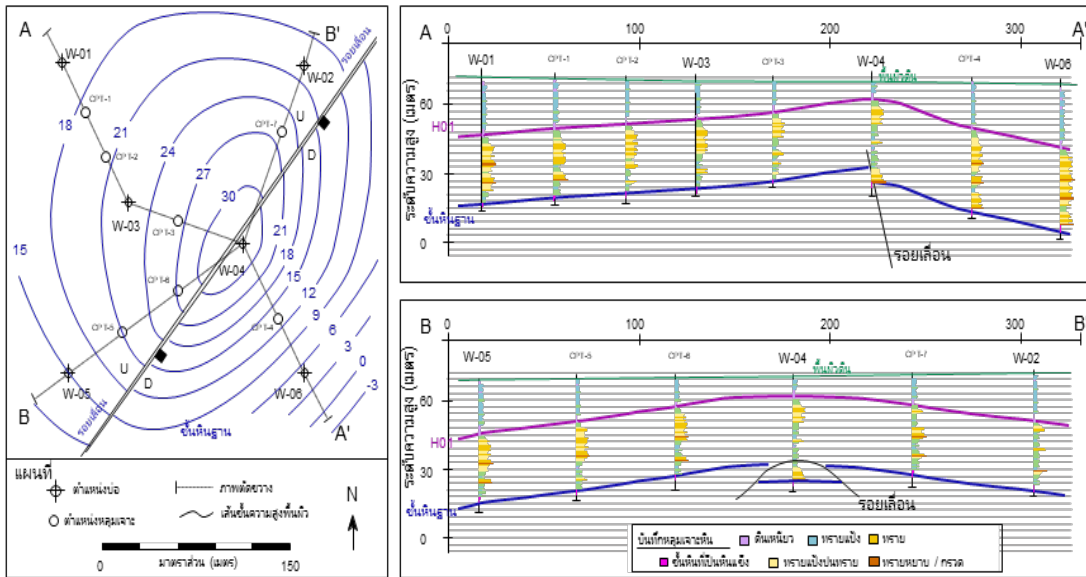
การวิเคราะห์บันทึกหลุมเจาะพบว่าลำดับตะกอนในแนวตั้ง จากล่างขึ้นบน (Fining upward) มีพื้นผิวสำคัญ 2 ส่วน คือ : ส่วนบนสุดของหินฐาน และชั้นดินเหนียวที่แผ่ขยายเป็นแนวราบ ซึ่งเป็นชั้นกั้นระหว่างชั้นตะกอนหยาบด้านล่างกับชั้นทรายแป้งและดินเหนียวที่ตื้นกว่า จากสภาพะน้ำบาดาลที่มีแรงดันเล็กน้อยระหว่างการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์พบว่าชั้นดินเหนียวนี้ทำหน้าที่เป็นชั้นหินดานน้ำรั่ว (Leaky aquitard) ชั้นนี้ถูกทำแผนที่เป็นขอบเขตชั้นหิน H01 (ดูรูปที่ 4) ซึ่งแสดงเป็นรอยคดโค้งรูปประทุน (Anticline) ที่มีความสมมาตรค่อนข้างสูง



รูปที่ 4 - แสดงชั้นหินตามลำดับชั้น H01 และเส้นชั้นความสูงแสดงระดับความสูงของชั้นหิน H01 เหนือระดับน้ำทะเล (Brandenburg, 2020)

ในพื้นที่นี้ ชั้นหินฐานถูกตัดด้วยรอยเลื่อนปกติที่วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ (NE-SW) ซึ่งพบจากการพบชั้นตะกอนหยาบที่ฐานของหลุมเจาะ W-04 แต่ไม่พบในหลุมเจาะอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบความหนาของชั้นหินระหว่างชั้น H01 กับชั้นหินฐาน พบว่าความหนามากกว่าในหลุม W-04, CPT-7 และ W-02 เมื่อเทียบกับหลุม CPT-6, CPT-5 และ W-05 สิ่งนี้บ่งชี้ว่าเป็น "รอยเลื่อนขณะตกตะกอน (Growth fault)" ซึ่งน่าจะไม่ใช่ขยายขึ้นไปถึงระดับชั้น H01 ผลจากการวิเคราะห์นี้จึงจำเป็นต้องแสดงการเยื้องของผิวชั้นหินฐานบนแผนที่เส้นชั้นความสูง ตามที่แสดงในรูปที่ 5

ผารอยเลื่อน (Fault scarp) ขนาดเล็กในลักษณะนี้พบได้ทั่วไป โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการเคลื่อนตัวทางธรณีแปรสัณฐานอย่างต่อเนื่อง เช่น ในพื้นที่ตะวันตกของสหรัฐอเมริกา การแปลความหมายรอยเลื่อนในหลุมเจาะเป็นหัวข้อที่น่าสนใจ แต่ไม่อยู่ในขอบเขตของหนังสือเล่มนี้ สำหรับพื้นที่ทดสอบ รอยเลื่อนมีความสำคัญเพราะทำให้ชั้นทรายที่ทรุดตัวลงมีความหนาและหยาบกว่า หากลักษณะนี้มีความสำคัญต่อโครงการ (เช่น การปนเปื้อนของ DNAPL) สามารถใช้วิธีทางธรณีฟิสิกส์ที่วัดต่อความลึกของรอยต่อระหว่างตะกอนและหินฐานมาศึกษาเพิ่มเติมได้



รูปที่ 5 - แสดงพื้นที่ผิวที่มีโครงสร้างที่กำหนดส่วนบนของชั้นหินฐาน (top of bedrock) เส้นชั้นความสูงแสดงระดับความสูงของส่วนบนของหินฐานเหนือระดับน้ำทะเลโดยเส้นชั้นความสูงจะไม่ต่อเนื่องกันบริเวณรอยเลื่อน (Brandenburg, 2020, gw-project.org)

ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม แบบจำลองสถิติจะเน้นไปที่ส่วนของแหล่งกักเก็บที่มีของไหลเคลื่อนที่ได้ดี สำหรับพื้นที่ทดสอบนี้ ชั้นหินทรายที่อยู่ระหว่างด้านบนของชั้นหินฐานและชั้น H01 ถือเป็นส่วนที่สำคัญในการประเมินน้ำมันและก๊าซ ปริมาตรของหินกักเก็บระหว่างพื้นผิวเหล่านี้เรียกว่าแหล่งกักเก็บปิโตรเลียม แต่ในกรณีของโครงการน้ำบาดาล บางพื้นที่ลักษณะของวัสดุที่เป็นเนื้อละเอียดมีความสำคัญ เพราะอธิบายถึงความสามารถในการกักเก็บหรือปล่อยน้ำ รวมทั้งคุณสมบัติทางเคมีและความสามารถในการแพร่ของสารได้ด้วย

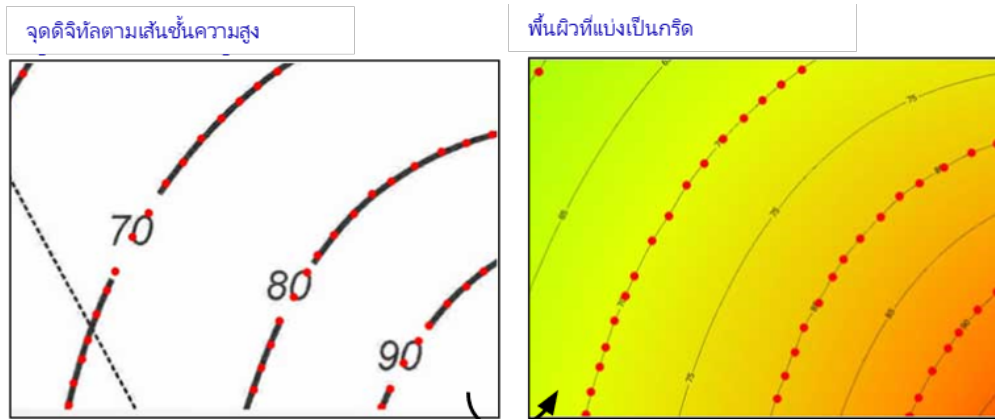
4.3 การสร้างกริด

พื้นผิวตามภาคตัดขวางจะถูกขยายออกโดยใช้เทคนิคการประมาณค่าช่วง (Interpolation) เพื่อสร้างมุมมองแปลนสองมิติของระดับความสูง วิธีนี้ช่วยกำหนดระดับความสูงของพื้นผิวที่สนใจในแต่ละจุดกริดอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ซึ่งจำเป็นสำหรับการจำลองสามมิติ วิธีที่ง่ายที่สุดในการสร้างกริดคือการใช้จุดสังเกต เช่น ระดับความสูงของชั้นหินจากบ่อบาดาลต่างๆ นำเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างกริดในซอฟต์แวร์ เช่น EVS หรือ Surfer ซอฟต์แวร์เหล่านี้ออกแบบมาเพื่อแสดงผลข้อมูล แต่ก็สามารถใช้สร้างพื้นผิวกริดสำหรับแบบจำลองได้เช่นกัน

คุณภาพของข้อมูลที่ป้อนเข้าไปมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการสร้างกริด ข้อมูลที่ดีที่สุดควรมีลักษณะดังนี้: จุดข้อมูลมีระยะห่างเท่ากันครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดที่จะสร้างกริดผ่านการตรวจสอบความถูกต้องแล้ว เมื่อมีชุดข้อมูลที่เหมาะสม อัลกอริทึมส่วนใหญ่มักสร้างพื้นผิวกริดได้คล้ายคลึงกัน

ในทางตรงกันข้าม การใช้ข้อมูลที่มีน้อย กระจายไม่สม่ำเสมอ หรือมีความไม่สอดคล้องในข้อมูลเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการสร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยา ผลลัพธ์จากอัลกอริทึมต่างๆ อาจแตกต่างกันมากเมื่อรับมือกับข้อมูลที่ไม่สอดคล้องหรือมีความผิดปกติ ข้อบกพร่องที่พบบ่อยในการสร้างกริดได้แก่การเกิดรูปแบบคล้ายเบ้าวงกลม (bull's eye) รอบจุดข้อมูลเดี่ยว และพื้นผิวที่ขยายออกไปไกลเกินขอบเขตของข้อมูลเดิมอย่างมีนัยสำคัญ (ดูตัวอย่างกล่องที่ 1 ↓)

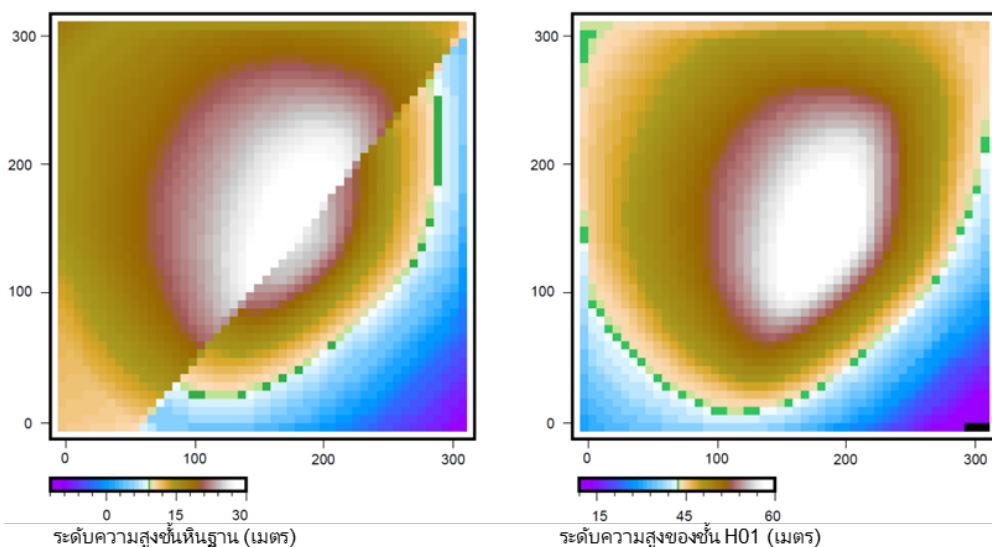
เมื่อข้อมูลมีน้อยหรือกระจายไม่สม่ำเสมอ จำเป็นต้องใช้วิธีที่เป็นระบบและอิงตามหลักธรณีวิทยา เพื่อช่วยให้ อัลกอริทึมเติมข้อมูลในพื้นที่ว่างระหว่างจุดสังเกต นอกจากนี้ยังมีซอฟต์แวร์ที่ใช้สร้างแบบจำลองทางธรณีวิทยา 3 มิติในลักษณะนี้ เช่น [Visual MODFLOW Flex](#) และ [RockWorks](#) สำหรับพื้นที่ทดสอบนี้ วิธีที่ง่ายที่สุดคือการแปลงเส้นชั้นความสูงที่วาดด้วยมือให้เป็นดิจิทัลเพื่อสร้างจุดข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับอัลกอริทึมการสร้างกริด โดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้ซอฟต์แวร์พิเศษ (แสดงในรูปที่ 6)



รูปที่ 6 - แสดงการสร้างกริด ในที่นี้ เส้นชั้นความสูงที่วาดด้วยมือจะถูกแปลงเป็นดิจิทัลเพื่อให้ข้อมูลแก่อัลกอริทึมการสร้างกริด (Brandenburg, 2020)

ในแบบจำลองพื้นที่ทดสอบ (Test Site model)

ข้อมูลที่ได้จากการวาดเส้นชั้นความสูงด้วยมือจะถูกแปลงเป็นดิจิทัลและแปลงเป็นกริดด้วยการแบ่งจุดกริดขนาด 50x50 โดยแต่ละเซลล์กริดมีขนาดประมาณ 15 เมตร x 15 เมตร กริดขนาด '50x50' นี้ถูกใช้สำหรับการคำนวณตลอดทั้งส่วนที่เหลือของหนังสือเล่มนี้



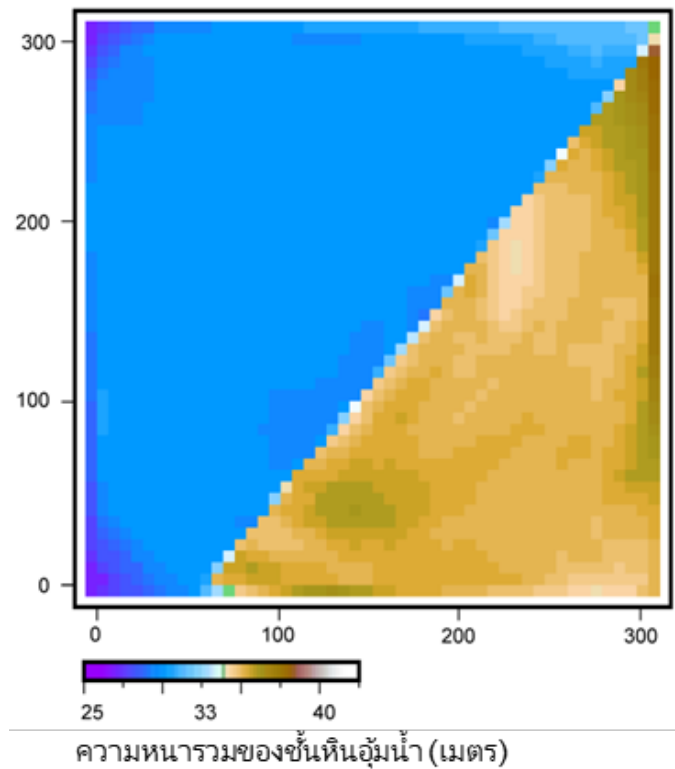
รูปที่ 7 - แสดงพื้นที่ที่ถูกแปลงเป็นกริดสำหรับชั้นหินฐานด้านบน (ซ้าย) และ H01 (ขวา) แสดงค่าที่ได้จากการประมาณค่าช่วง (interpolated value) ของระดับความสูงของพื้นผิว และพล็อตด้วย Open-Source Generic Mapping Tools ([GMT](#))

5 การคำนวณคุณสมบัติต่าง ๆ

เมื่อกรอบสามมิติถูกกำหนดและแปลงเป็นกริดแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการเติมค่าคุณสมบัติทางศาสตร์ที่จำเป็นสำหรับการจำลองลงในกริด

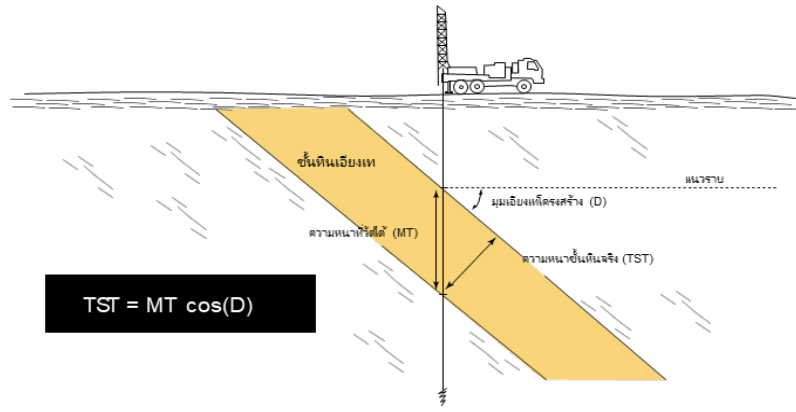
5.1 ความหนาแน่น

คุณสมบัติที่ง่ายที่สุดคือความหนาแน่นของแหล่งกักเก็บหรือชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งเป็นระยะทางในแนวตั้งระหว่างพื้นผิวขอบเขต (รูปที่ 8)



รูปที่ 8 – แสดงความหนาแน่นของชั้นหินอุ้มน้ำบนกริด ซึ่งคำนวณจากผลต่างระหว่างกริดของ HO1 และพื้นผิวชั้นหินฐาน (Brandenburg, 2020)

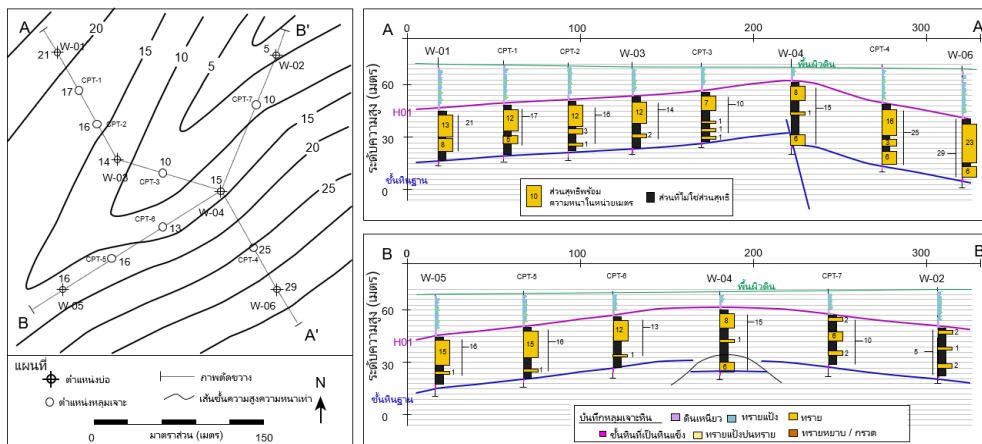
สำหรับชั้นหินที่เอียงหรือรอยคดโค้ง (dipping or folded strata) อาจจำเป็นต้องใช้การแก้ไขมุมเอียงด้วยตรีโกณมิติ (trigonometric dip correction) (รูปที่ 9) ในตัวอย่างของพื้นที่ทดสอบ (Test Site) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางธรณีวิทยามีค่อนข้างน้อย ดังนั้นจึงไม่มีการใช้การแก้ไขมุมเอียง



รูปที่ 9 - แสดงการคำนวณความหนาตามแนวชั้นหินจริง (true stratigraphic thickness) จากข้อมูลการวัดในหลุมเจาะสำหรับชั้นหินที่เอียง (dipping stratum) (Brandenburg, 2020)

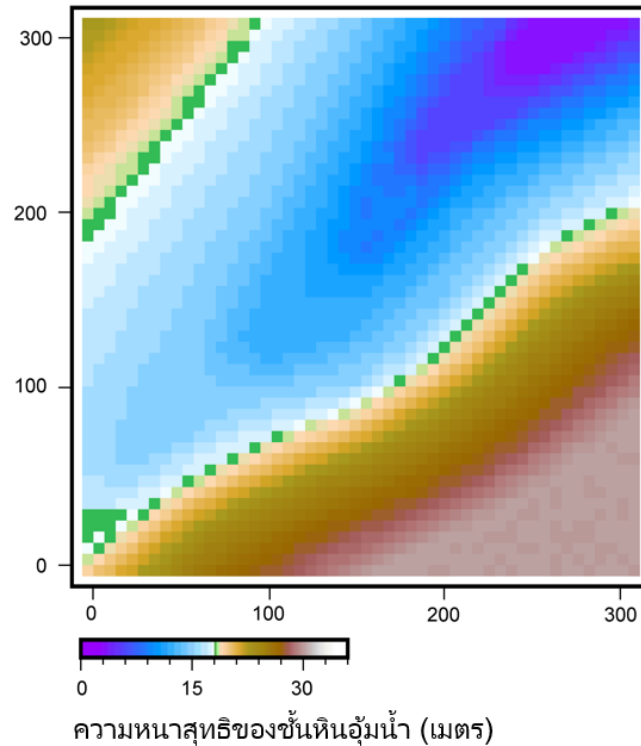
5.2 ความหนาสุทธิ

ดินเหนียวและหินดินดานมักมีช่องว่างขนาดใหญ่แต่ไม่เชื่อมต่อกัน จึงไม่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำใต้ดิน ข้อมูลนี้สำคัญต่อการประเมินพื้นที่น้ำบาดาลปนเปื้อน (Payne et al., 2008) ส่วนที่น้ำสามารถไหลได้ในแหล่งกักเก็บหรือชั้นหินอุ้มน้ำเรียกว่า ส่วนสุทธิ (net section) การกำหนดส่วนนี้ทำโดยการเลือกค่าจุดตัดของความหยาบ จากนั้นจะบันทึกแบ่งออกเป็นสองส่วน: ส่วนสุทธิ (ตะกอนหยาบ) และส่วนที่ไม่ใช่ส่วนสุทธิ (ตะกอนละเอียด) ความหนาของส่วนสุทธิจะถูกบันทึกสำหรับแต่ละบันทึก แล้วนำข้อมูลนี้มาใช้สร้างเส้นชั้นความหนา ดังรูปที่ 10 แผนที่ความหนาเท่า (Isopach map) ซึ่งเส้นชั้นความสูงที่แสดงเส้นชั้นความหนาของชั้นหินสม่ำเสมอ ไม่ใช่ระดับความสูงคงที่



รูปที่ 10 - แสดงการหาค่าความหนาสุทธิ โดยใช้ข้อมูลจากบันทึกหลุมเจาะแบบแบ่งช่วง (blocked logs) และแผนที่ความหนาเท่า (Brandenburg, 2020)

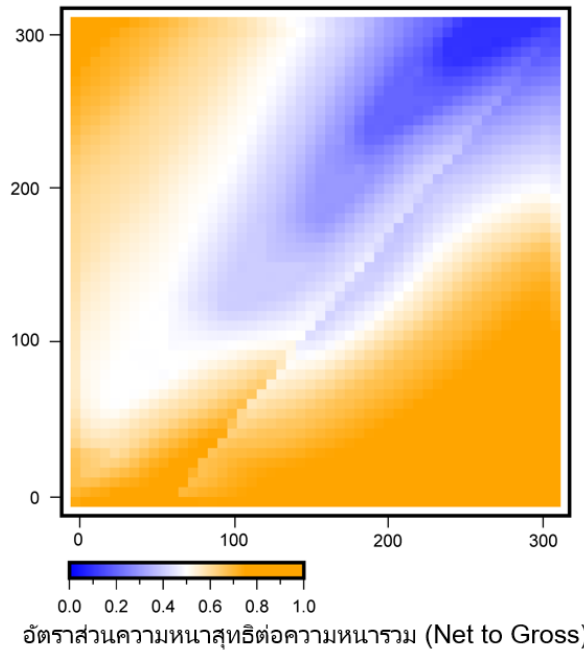
เส้นชั้นความหนา (thickness contours) ถูกแปลงเป็นกริดโดยใช้กระบวนการเดียวกันกับการสร้างชั้นหิน (horizons) ในขั้นตอนก่อนหน้า (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 - แสดงแผนที่ความหนาสุทธิ (Net Thickness) บนกริด
(Brandenburg, 2020, gw-project.org)

5.3 อัตราส่วนความหนาสุทธิต่อความหนารวม

เมื่อมีการทำแผนที่และสร้างกริดสำหรับความหนาสุทธิ (Net thickness) และความหนารวม (Gross thickness) แล้ว สามารถทำได้โดยหารค่าความหนาสุทธิด้วยค่าความหนารวม จะได้อัตราส่วนความหนาสุทธิต่อความหนารวม ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หรือ Net to gross (แสดงในรูปที่ 12) ไม่ว่าจะ เป็นตะกอนชนิดใด ชั้นที่มีค่า Net to gross สูง มักแสดงถึงค่าความซึมผ่านของหิน (Permeability) และการเชื่อมต่อระหว่างช่องที่ดี ขณะที่ชั้นที่มีค่า Net to gross ต่ำ แม้อาจแสดงค่าความซึมผ่านของหินดีในบางจุด แต่มีแนวโน้มที่จะประกอบด้วยช่องแยกที่ไม่เชื่อมต่อกัน



รูปที่ 12 - อัตราส่วนความหนาสุทธิต่อความหนารวม (Net to Gross Ratio) บนกริด (Brandenburg, 2020)

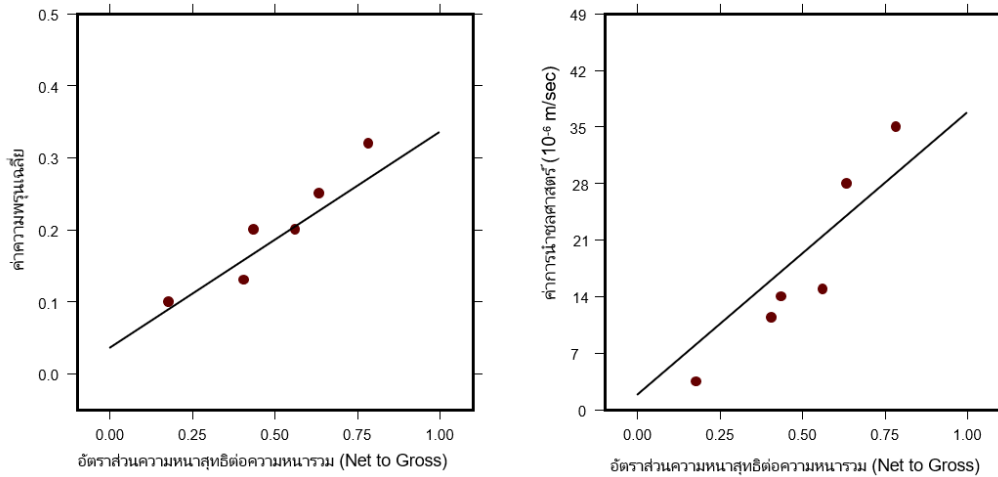
5.4 คุณสมบัติ

ในการประเมินแหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ ค้นพบว่าอัตราส่วนความหนาสุทธิต่อความหนารวม (net to gross thickness ratio) ในแหล่งกักเก็บประเภทหินตะกอนเนื้อประสมมีความสอดคล้องกับคุณสมบัติของแหล่งกักเก็บโดยรวม

ในแหล่งน้ำมัน เราสามารถทำแผนที่แสดงค่าความพรุน (Porosity) และค่าความซึมผ่านของหิน (Permeability) โดยตรงจากค่า net to gross ratio ด้วยการใช้ฟังก์ชันการประมาณค่าภายในช่วง (Interpolation function) เฉพาะเจาะจงสำหรับแต่ละแหล่งน้ำมัน

สำหรับพื้นที่ทดสอบนี้ การประมาณค่าความพรุนและค่าการนำไหลศาสตร์ทำได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน net to gross กับค่าความพรุนและค่าการนำไหลศาสตร์ที่วัดได้จากบ่อสังเกตการณ์ ซึ่งแสดงไว้ใน

รูปที่ 13



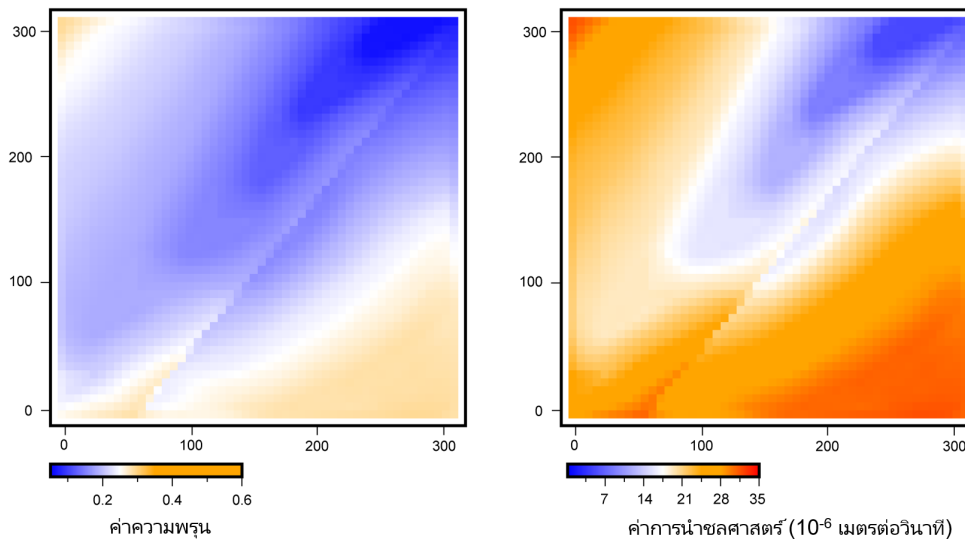
รูปที่ 13 - แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน Net to Gross ของแต่ละหลุมเจาะ กับการวัดค่าความพรุนและค่าการนำชลศาสตร์ที่ทำในหลุมเจาะ (Brandenburg, 2020)

สมการสำหรับรูปที่ 13 คือ (สมการที่ 1 และ 2)

$$\text{ค่าความพรุน} = \phi = 0.3 \left[\frac{N}{G} \right] + 0.035 \tag{1}$$

$$\text{ค่าการนำชลศาสตร์} = K = (35 \times 10^{-6}) \left[\frac{N}{G} \right] + (1.8 \times 10^{-6}) \tag{2}$$

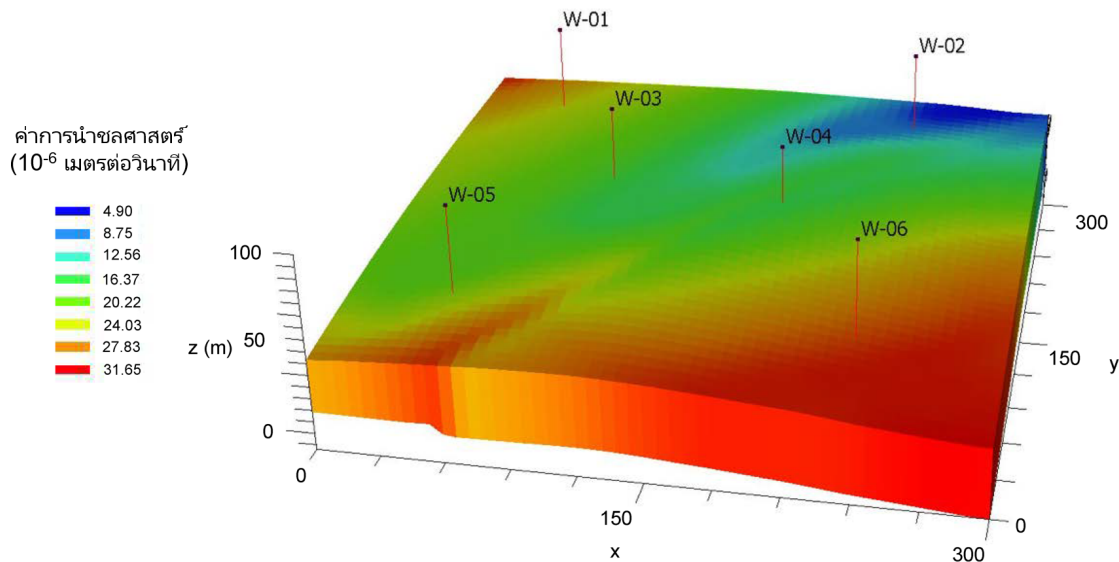
เมื่อทราบความสัมพันธ์ของชั้นอุ้มน้ำแล้ว เราสามารถคำนวณคุณสมบัติของชั้นอุ้มน้ำได้สำหรับแต่ละจุดบนกริด โดยใช้ค่า net to gross ของจุดนั้น เพื่อสร้างคุณสมบัติของชั้นอุ้มน้ำในแต่ละเซลล์ของกริดขนาด 50x50 (แสดงในรูปที่ 14)



รูปที่ 14 - แสดงค่าความพรุนและการนำชลศาสตร์ ที่คำนวณจากสมการที่ 1 และ 2 บนกริด (Brandenburg,2020)

6 แบบจำลอง

แบบจำลองที่แสดงในรูปที่ 15 ใช้ Visual Modflow FLEX โดยได้ใช้ค่าความพรุนและค่าการนำชลศาสตร์จากความสัมพันธ์ในส่วนก่อนหน้า



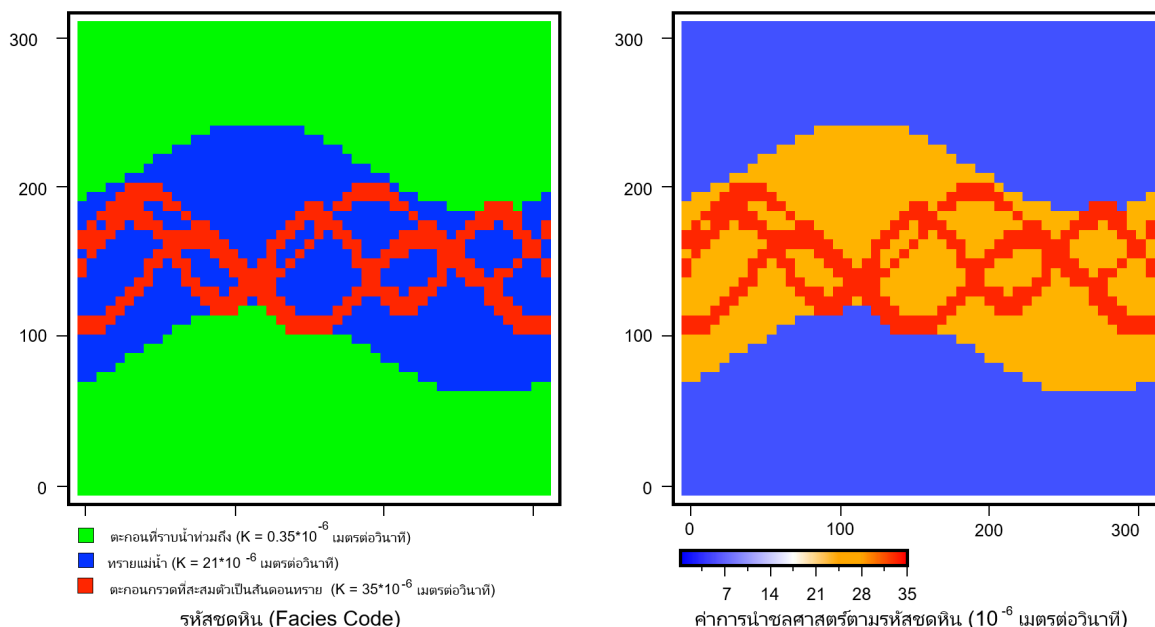
รูปที่ 15 - แสดงการนำชลศาสตร์นำไปใช้กับกริดแบบจำลองสามมิติใน Visual MODFLOW FLEX (Brandenburg, 2020)

ณ จุดนี้ แบบจำลองพร้อมสำหรับการจำลองสถานการณ์พลวัตแล้ว (Dynamic simulation) แต่แบบจำลองที่นำเสนอมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงหลักการในการกำหนดขอบเขตได้ผิวดินจากข้อมูลหลุมเจาะเท่านั้น แบบจำลองนี้แสดงพื้นที่เป็นชั้นเดียว แต่ในความเป็นจริง แบบจำลองน้ำบาดาลทั่วไปจะมีหลายชั้น เพื่อแสดงระบบน้ำบาดาลที่ซับซ้อน ได้แก่ การสะสมตัวของชั้นหินอุ้มน้ำหลายชั้น เครื่องมือทางวิศวกรรมที่ใช้ภายในระบบน้ำบาดาล ชั้นหินที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน สิ่งเหล่านี้สำคัญโดยเฉพาะเมื่อจำเป็นต้องจำลองการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อนหรือการฟื้นฟูพื้นที่ปนเปื้อน

สำหรับแบบจำลองหลายชั้น เราสามารถสร้างชั้นหินทางธรณีวิทยาได้โดยใช้วิธีเดียวกับที่อธิบายในหนังสือ และยังสามารถใช้วิธีทางธรณีสถิติ (Geostatistical methods) ได้อีกด้วย อาทิ ซอฟต์แวร์ประมวลผลก่อนสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลส่วนใหญ่สามารถประมาณค่าคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ค่าการนำชลศาสตร์ระหว่างจุดตรวจวัด โดยใช้อัลกอริทึมทางธรณีสถิติ เช่น วิธีคริกิง (Kriging)

7 การสร้างแบบจำลองสถิติจากการทำแผนที่ชุดหิน

วิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันในการจำลองสถิติของแหล่งปิโตรเลียมคือการทำแผนที่ธรณีวิทยาแบบชุดหิน (Facies mapping) เมื่อพิจารณาในระบบแม่น้ำ: ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง (Floodplain sediments) มักจะมีโคลนเนื้อละเอียดที่จัดเรียงตัวเป็นชั้นอยู่มาก ส่งผลให้มีความนำคลศาสตร์ต่ำ และมีอัตราส่วนระหว่างค่าการนำคลศาสตร์ในแนวตั้งต่อแนวราบน้อยกว่าหนึ่ง ในทางตรงกันข้าม ตะกอนกรวดที่สะสมตัวเป็นสันดอนทราย (Gravel point bar deposit) จะมีความนำคลศาสตร์สูง โดยอัตราส่วนค่าการนำคลศาสตร์แนวตั้งเมื่อเทียบแนวราบใกล้เคียงหนึ่ง ในการทำแผนที่ชุดหินแต่ละเซลล์ในตารางกริดจะกำหนดด้วยรหัสชุดหิน (Facies code) ซึ่งจะ สอดคล้องกับชุดค่าพารามิเตอร์ทางคลศาสตร์ (ดังแสดงในรูปที่ 16)

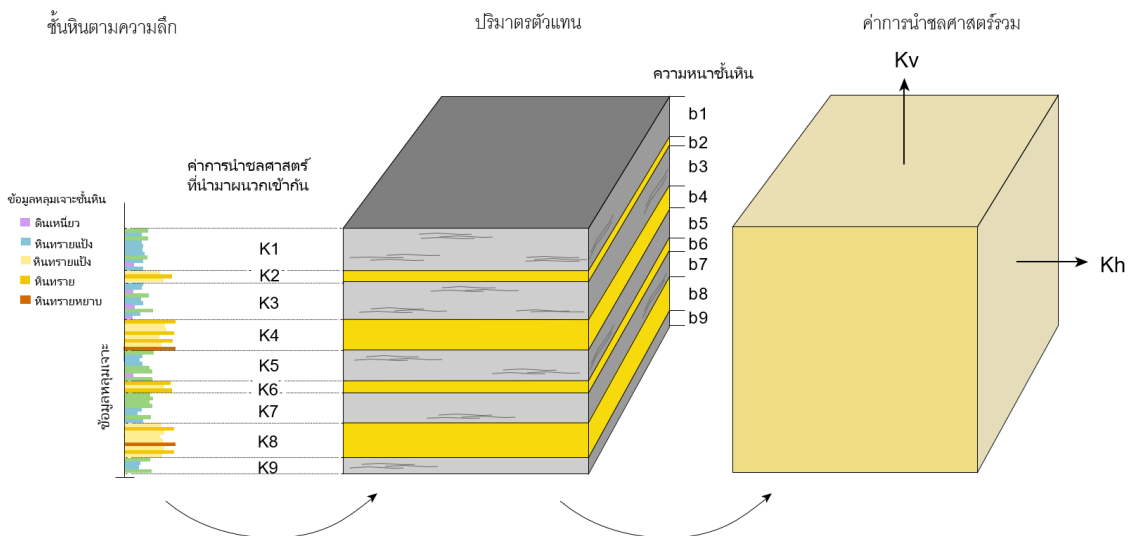


รูปที่ 16 - แสดงคุณสมบัติการนำคลศาสตร์ ที่ได้จากการทำแผนที่ชุดหิน (Facies mapping) (Brandenburg, 2020)

เราจะทราบชนิดของชุดหินเฉพาะในตำแหน่งที่มีหลุมเจาะเท่านั้น ส่วนพื้นที่อื่น ๆ จำเป็นต้องกำหนดด้วยกระบวนการบางอย่าง ในกรณีที่ดีที่สุด การกำหนดเหล่านี้อาจต้องใช้ประสบการณ์ของผู้สร้างแบบจำลอง อย่างไรก็ตาม สามารถสร้างแผนที่ชุดหินได้หลายรูปแบบที่แตกต่างกัน แต่มีความถูกต้องใกล้เคียงกัน แนวคิดนี้เป็นรากฐานสำหรับแบบจำลองทางธรณีสถิติขั้นสูง ซึ่งสามารถจัดการกับทั้งข้อจำกัดทางสถิติและหลักการทางธรณีวิทยาได้ แบบจำลองบางชนิดมีความซับซ้อนมาก โดยเฉพาะเมื่อหินโผล่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีรายละเอียดทางธรณีวิทยามากกว่าความละเอียดของกริดในแบบจำลองการไหล เมื่อใช้ข้อมูลรายละเอียดเหล่านี้เป็นพื้นฐานสำหรับแบบจำลองการไหล จำเป็นต้องใช้เทคนิคการปรับสเกล (Upscaling) เพื่อให้คุณสมบัติการไหลในระดับละเอียดยังคงถูกรักษาไว้ แม้จะย้ายไปใช้กริดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

8 การสร้างแบบจำลองสถิติจากข้อมูลที่ปรับสเกล

การป้อนข้อมูลลงในแบบจำลองโดยใช้คุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่ผ่านการปรับสเกลจากข้อมูลละเอียดที่สุดที่มีอยู่เมื่อเก็บแท่งตัวอย่างหิน จากหลุมเจาะ สามารถส่งตัวอย่างดินหรือหินที่คงสภาพ (undisturbed samples) ไปทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อวัดค่าความพรุนและค่าการนำชลศาสตร์ การทดสอบนี้ช่วยให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะหิน (lithology) และคุณสมบัติทางชลศาสตร์ในระดับละเอียด ขั้นตอนถัดไป เราจะสร้างปริมาตรตัวแทน (Representative volume) โดยจัดเรียงชั้นให้สอดคล้องกับชนิดของชั้นหินหลักในแท่งตัวอย่าง แต่ละชั้นจะได้รับค่าการนำชลศาสตร์ที่นำมาผนวกเข้ากัน (Blended hydraulic conductivity) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยทางสถิติของการทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับชั้นหินนั้น ๆ ชั้นเหล่านี้จะถูกแปลงเป็นค่าการนำชลศาสตร์รวม (Bulk hydraulic conductivity) ในแนวตั้ง (K_v) และแนวราบ (K_h) ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 - แสดงการปรับสเกลจากการนำชลศาสตร์แบบแยกตามความลึก (depth discrete) ไปสู่การนำชลศาสตร์รวม (bulk hydraulic conductivity) (Brandenburg, 2020)

การนำชลศาสตร์ในแนวราบรวม (Bulk horizontal hydraulic conductivity) ถูกคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิต (arithmetic mean) ของชั้นหินที่ผนวกเข้ากัน ดังแสดงในสมการที่ 3 สำหรับตัวอย่างในรูปที่ 17

$$Kh = \frac{K_1b_1 + K_2b_2 + K_3b_3 + K_4b_4 + K_5b_5 + K_6b_6 + K_7b_7 + K_8b_8 + K_9b_9}{b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5 + b_6 + b_7 + b_8 + b_9} \quad (3)$$

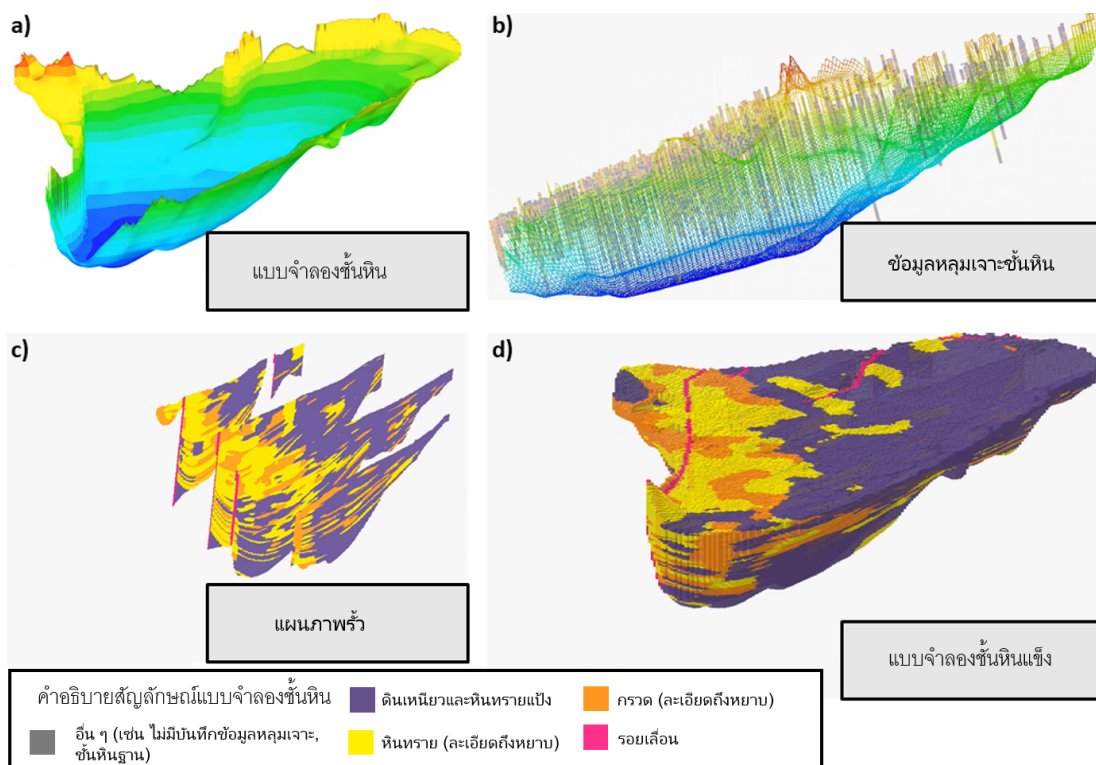
ความพรุนรวม (Bulk porosity) ถูกคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิต (arithmetic mean) ส่วนการนำ
 ชลศาสตร์ในแนวตั้งรวม (Bulk vertical hydraulic conductivity) ถูกคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยฮาร์มอนิก
 (harmonic mean) ของชั้นหินที่ผนวกเข้ากัน ดังแสดงในสมการที่ 4 สำหรับตัวอย่างในรูปที่ 17

$$Kv = \frac{b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5 + b_6 + b_7 + b_8 + b_9}{\frac{b_1}{K_1} + \frac{b_2}{K_2} + \frac{b_3}{K_3} + \frac{b_4}{K_4} + \frac{b_5}{K_5} + \frac{b_6}{K_6} + \frac{b_7}{K_7} + \frac{b_8}{K_8} + \frac{b_9}{K_9}} \quad (4)$$

โดยทั่วไป เมื่อพิจารณาค่าการนำชลศาสตร์ (K) ในชั้นหินต่าง ๆ จะพบว่าค่าเฉลี่ยฮาร์มอนิก (Harmonic mean) เป็นตัวแทนที่ดีสำหรับค่าการนำชลศาสตร์ในชั้นหินที่อยู่แนวตั้งฉากกับทิศทางการไหล ขณะที่ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) เป็นตัวแทนที่ดีสำหรับค่าการนำชลศาสตร์ในชั้นหินที่ขนานไปกับทิศทางการไหล แม้วิธีนี้จะให้ค่าที่แม่นยำสำหรับปริมาตรที่อยู่รอบหลุมเจาะโดยตรง แต่การขยายผลผลลัพธ์ไปยังส่วนที่เหลือของปริมาตรในแบบจำลองทั้งหมดยังจำเป็นต้องใช้เทคนิคการปรับสเกลร่วมกับการใช้แบบจำลองสโตแคสติก (Stochastic modeling methods)

9 การสร้างแบบจำลองสถิติจากข้อมูลลักษณะหิน

เมื่อมีข้อมูลทางธรณีวิทยาที่เพียงพอสำหรับการกำหนดกรอบแบบจำลองน้ำบาดาลสามารถใช้ซอฟต์แวร์จำลอง เช่น [RockWorks](#) เพื่อสร้างตารางกริดแสดงประเภทของหินทั่วทั้งพื้นที่แบบจำลอง พร้อมกำหนดคุณสมบัติทางศาสตร์ให้แก่ละชั้นหิน (รูปที่ 18) แอนิเมชันของแบบจำลองนี้แสดงในวิดีโอดังกล่าว ซึ่งเป็นแอนิเมชันความยาว 35 วินาที (~80 เมกะไบต์) แสดงการหมุนแอ่งน้ำบาดาลในรูปแบบสามมิติพร้อมองค์ประกอบต่อไปนี้: ชั้นผิวหน้าหินฐาน, บันทึกของชั้นหิน ที่ใช้วิเคราะห์การกระจายตัวของชั้นหิน แผนภาพรั้ว (Fence Diagrams) ตามหน้าตัดขวางบางส่วนแบบจำลอง ที่ถูกแบ่งชั้นตามลำดับจากทิศตะวันตกไปตะวันออกและทิศใต้ไปเหนือโดยใช้สีกำหนดคุณลักษณะต่าง ๆ ดังนี้: หินเนื้อละเอียดแสดงเป็นสีม่วง หินเนื้อปานกลางแสดงเป็นสีเหลือง หินเนื้อหยาบแสดงเป็นสีส้ม รอยเลื่อน แสดงเป็นสีแดง



รูปที่ 18 - แบบจำลองลักษณะหิน a) การกำหนดพื้นผิวหินฐาน; การกำหนดประเภทลักษณะหินในแต่ละหลุมเจาะ; c) แผนภาพรั้วบางส่วนหลังจากลักษณะหินได้รับการประมาณค่าในช่วงและนอกช่วงระหว่างบ่อ; และ d) แบบจำลองลักษณะหินเชิงภาพประกอบจัดทำโดย RockWare (2020)

10สรุป

ในหนังสือเล่มนี้

แนวคิดการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลถูกนำเสนอผ่านลำดับขั้นตอนการทำงานที่เริ่มจากแบบจำลองสถิติและพัฒนาไปจนถึงแบบจำลองพลวัต เนื่องจากแต่ละโครงการน้ำบาดาลมีลักษณะเฉพาะตัว

จึงควรมองว่าลำดับขั้นตอนเหล่านี้เป็นโครงสร้างองค์กรที่แนะนำมากกว่าที่จะเป็นขั้นตอนปฏิบัติอย่างเคร่งครัด

ในพื้นที่ศึกษามักมีข้อมูลไม่เพียงพอ

ทำให้การสร้างแนวคิดเบื้องต้นของแบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาและการลำดับชั้นหิน

เป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญที่สุดในกระบวนการ การใช้ลำดับขั้นตอนการทำงานนี้มีข้อดีในการจัดเตรียมกระบวนการ

เพื่อหาการแก้ไขแนวคิดและข้อจำกัดด้านข้อมูล จะส่งผลต่อทุกระดับของโครงการที่ดำเนินการเสร็จสิ้น

แม้ว่าเทคนิคบางส่วนที่อธิบายในที่นี้จะใช้ได้เฉพาะกับชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนเนื้อประสมเท่านั้น

แต่วิธีการสร้างกรอบแบบจำลองสามมิติจากแผนที่ ภาพตัดขวาง

และพื้นที่ที่มีเส้นชั้นความสูงสามารถนำไปใช้ได้ทั่วไป นอกจากนี้

แบบจำลองขั้นสูงทั้งทางสถิติและทางธรณีวิทยาที่กล่าวถึงยังต้องอาศัยกรอบสามมิติที่แม่นยำ

การร่างกรอบสามมิติบนกระดาษยังเป็นวิธีที่ดีสำหรับการวิเคราะห์

เพื่อกำหนดสมมติฐานให้ชัดเจนและส่งเสริมการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ

การเริ่มต้นโครงการแบบจำลองด้วยแนวทางนี้ถือเป็นแนวปฏิบัติที่ดีที่สุด

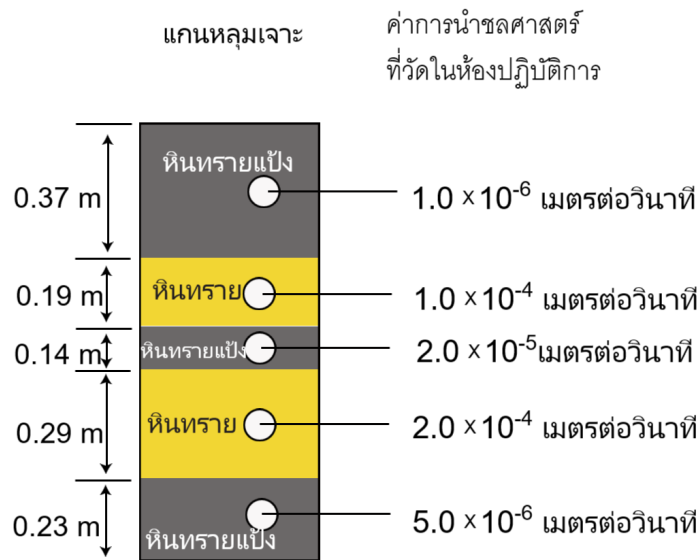
11อ้างอิง

- Brandenburg, J.P., 2020, Original figures.
- Payne, F., J. Quinnan, and S. Potter, 2008, Remediation Hydraulics, 1st Edition. Chemical Rubber Company (CRC) Press.
- RockWare, 2020, <https://ww.rockware.com/product/rockworks/>.
- Schultz, M., R. Cramer, C. Plank, H. Levine, K. Ehman, 2017, Best practices for environmental site management: A practical guide for applying environmental sequence stratigraphy to improve conceptual site models. Technical Report. https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=536250&Lab=NRMRL.
- Shepherd, M., 2009, Oil field production geology, AAPG Memoir 91, The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, 350p.

12 แบบฝึกหัด

หนึ่งในวิธีการวิเคราะห์แกนหลุมเจาะ คือการวัดคุณสมบัติชลศาสตร์ของตัวอย่างขนาดเล็กที่เรียกว่า " แกน หลุม เจาะ ตัวอย่าง " ซึ่ง มี ขนาด เป็น เซนติเมตร ตัวอย่างเหล่านี้ถูกนำออกมาจากแกนหินขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการ ก่อนที่จะนำผลลัพธ์ไปใช้ในการจำลองการไหล จำเป็นต้องคำนวณคุณสมบัติโดยรวมก่อน

ในกรณีนี้เป็นแกนหลุมเจาะที่เก็บมาจากชั้นตะกอนทรายและทรายแป้ง โดยแกนหลุมเจาะยาว 1.22 เมตร และวางในแนวตั้ง ซึ่งได้คำนวณค่าการนำชลศาสตร์สำหรับแกนตัวอย่าง 5 ชั้น



แบบฝึกหัดที่ 1

ถ้าการไหลของน้ำใต้ดินมีการผ่านชั้นหินทรายเท่านั้นที่มีนัยสำคัญ Net/Gross ของแกนหลุมเจาะนี้คือเท่าใด

[คลิกที่นี่เพื่อดูเฉลยของแบบฝึกหัดที่ 1](#) ↴

แบบฝึกหัดที่ 2

ความนำชลศาสตร์ในแนวตั้งและแนวนอนโดยรวมที่คำนวณได้ของปริมาตรตัวแทนคือเท่าใด

[คลิกที่นี่เพื่อดูเฉลยของแบบฝึกหัดที่ 2](#) ↴

แบบฝึกหัดที่ 3

สิ่งที่ควรทราบก่อนใช้คุณสมบัติทางชลพลศาสตร์โดยรวมที่คำนวณได้สำหรับแบบจำลองการไหล

[คลิกที่นี่เพื่อดูเฉลยของแบบฝึกหัดที่ 3](#) ↴

13 กล้องที่ 1 การสร้างกริดที่มีความหนาแน่นต่ำ

เมื่อมีข้อมูลจากหลุมเจาะเพียงพอ

อัลกอริทึมในการสร้างตารางพื้นผิวทางธรณีวิทยาสามารถสร้างพื้นผิวที่สอดคล้องกันได้อย่างแม่นยำ

แต่หากข้อมูลมีน้อย พื้นผิวที่ได้จะมีความแตกต่างกัน สำหรับพื้นที่ทดสอบ การสร้างตารางพื้นผิว H01 โดยใช้ข้อมูลระดับความสูงจากหลุมเจาะ 14 หลุม จะแสดงผลด้วยวิธีการหลากหลายชนิด ดังรูป 1-1

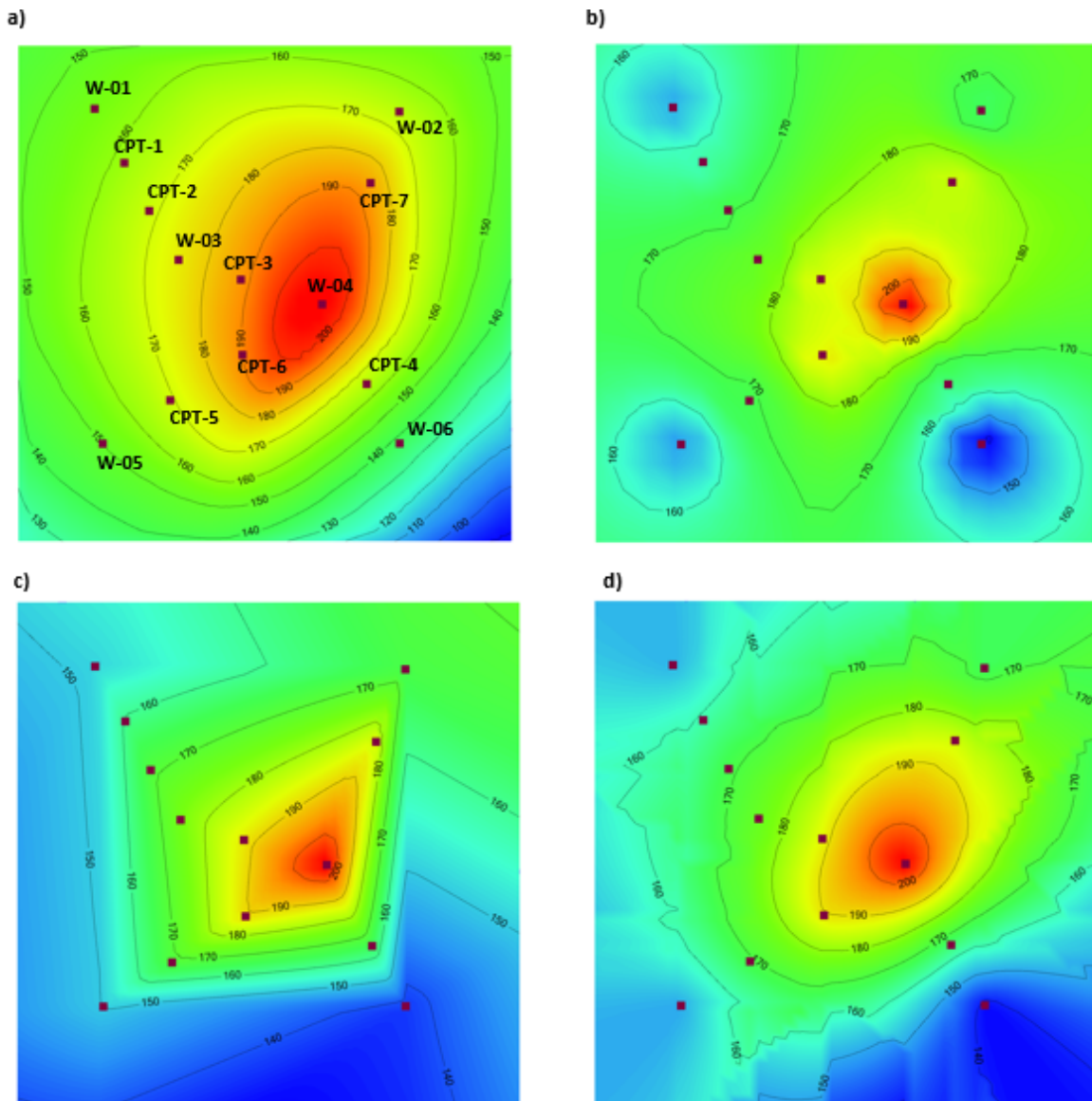


Figure Box 1-1 - การสร้างกริดข้อมูลของพื้นผิว H01 โดยใช้เฉพาะข้อมูลระดับความสูงที่วัดจากหลุมเจาะ 14 หลุม โดยใช้: a) เส้นชั้นความสูงที่วาดด้วยมือซึ่งแสดงถึงลักษณะจริงทางธรณีวิทยา; b) อัลกอริทึม Inverse distance; c) อัลกอริทึม Natural neighbors; และ d) อัลกอริทึม Kriging (Brandenburg, 2020, gw-project.org)

ภาพเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นด้วยอัลกอริทึมการสร้างตารางที่มีอยู่ใน Visual MODFLOW FLEX (Waterloo Hydrogeologic, 2020) โดยใช้พารามิเตอร์เริ่มต้นเป็นหลัก พารามิเตอร์เหล่านี้สามารถปรับแต่งได้เพื่อสร้างพื้นผิวที่ใกล้เคียงกับที่คาดการณ์ไว้สำหรับ H01 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับวิธีการ Kriging ที่ออกแบบมาสำหรับชุดข้อมูลทางธรณีวิทยาที่ไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าจะใช้อัลกอริทึมใดที่เลือกใช้ จำเป็นต้องมีความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับธรณีวิทยาที่ก่อนเสมอ

ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการสร้างตารางจะต่ำที่สุดบริเวณขอบนอกของตาราง อัลกอริทึมเหล่านี้จะประมาณค่าภายในช่วง (interpolation) พื้นที่ที่กำหนดโดยจุดข้อมูล และประมาณค่าภายนอกช่วง (Extrapolation) อย่างไรก็ตาม การประมาณค่าภายนอกช่วงมีความไม่แน่นอน ซึ่งอาจนำไปสู่ข้อผิดพลาดในการสร้างตารางเมื่อขอบเขตอยู่ห่างจากจุดข้อมูล ดังนั้น การทำความเข้าใจข้อจำกัดเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้สามารถปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลองและลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีข้อมูลน้อย

[ย้อนกลับไปที่กล่องที่ 1](#) ↗

14 เจลยแบบฝีกัด

แบบฝีกัดที่ 1- เจลย

ถ้าการไหลของน้ำใต้ดินมีการผ่านชั้นหินทรายเท่านั้นที่มีนัยสำคัญ Net/Gross ของแกนหลุมเจาะนี้คือเท่าใด

$$\text{Net/Gross} = \frac{0.19 + 0.29}{0.37 + 0.19 + 0.14 + 0.29 + 0.23} = 0.39$$

[ย้อนกลับไปแบบฝีกัดที่ 1 ↑](#)

แบบฝีกัดที่ 2- เจลย

ความนำชลศาสตร์ในแนวตั้งและแนวนอนโดยรวมที่คำนวณได้ของปริมาตรตัวแทนคือเท่าใด

$$Kv = \frac{0.37 + 0.19 + 0.14 + 0.29 + 0.23}{\frac{0.37}{1.0 \times 10^{-6}} + \frac{0.19}{1.0 \times 10^{-4}} + \frac{0.14}{2.0 \times 10^{-5}} + \frac{0.29}{2.0 \times 10^{-4}} + \frac{0.23}{5.0 \times 10^{-6}}}$$

$$\text{ความนำชลศาสตร์ในแนวตั้ง} = Kv = 2.9 \times 10^{-6} \frac{m}{s}$$

$$Kh = \frac{(1.0 \times 10^{-6} * 0.37) + (1.0 \times 10^{-4} * 0.19) + (2.0 \times 10^{-5} * 0.14) + (2.0 \times 10^{-4} * 0.29) + (5.0 \times 10^{-6} * 0.23)}{0.37 + 0.19 + 0.14 + 0.29 + 0.23}$$

$$\text{ความนำชลศาสตร์ในแนวนอน} = Kh = 6.7 \times 10^{-5} \frac{m}{s}$$

[ย้อนกลับไปแบบฝีกัดที่ 2 ↑](#)

แบบฝีกัดที่ 3- เจลย

สิ่งที่ควรทราบก่อนใช้คุณสมบัติทางชลพลศาสตร์โดยรวมที่คำนวณได้สำหรับแบบจำลองการไหล

ส่วนของแบบจำลองเทียบกับมาตราส่วนของแกนหลุมเจาะเป็นอย่างไร: แกนหลุมเจาะนี้อาจเป็นตัวแทนที่น่าเชื่อถือสำหรับหน่วยการไหลที่มีความหนาเล็กน้อย แต่สำหรับหน่วยที่มีความหนามากกว่า 10 เมตร อาจไม่เหมาะสม

ชั้นหินทางธรณีวิทยามีความราบเรียบหรือมีมุมเอียงที่วัดได้หรือไม่ หากมีมุมเอียง อาจจำเป็นต้องปรับแก้มุมเอียงตามที่อธิบายในหัวข้อที่ 5

นอกจากนี้ ควรคำนึงไว้เสมอว่าลักษณะทางธรณีวิทยาอาจมีความแปรปรวนทั้งในแนวราบและแนวตั้งเท่า ๆ กัน ดังนั้น จำเป็นต้องมีแกนหินเพิ่มเติมเพื่อใช้วิธีการนี้

[ย้อนกลับไปแบบฝีกัดที่ 3 ↑](#)

15เกี่ยวกับผู้เขียน



Dr. JP Brandenburg เป็นนักธรณีวิทยาที่บริษัท Haley & Aldrich ทำงานด้านการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลสำหรับโครงการด้านสิ่งแวดล้อม มี อ ง แ ร้ แ ล ะ ะ ท ร ี พ ย า ก ร น ้ า เขาเริ่มต้นอาชีพด้วยการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ในสาขาพลศาสตร์โลก โดยศึกษาการพาความร้อนแบบหนืดในเนื้อโลกที่มหาวิทยาลัยมิชิแกน จากนั้นได้เข้าร่วมกับองค์การวิจัยของ Royal Dutch Shell

และพัฒนาวิธีการสร้างแบบจำลองโครงสร้างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดินในแหล่งกักเก็บไฮโดรคาร์บอน หลังจากทำงานกับหน่วยสำรวจและผลิตปิโตรเลียมของ Royal Dutch Shell เขาได้เปลี่ยนมาเข้าทำงานในอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อม นอกจากการสร้างแบบจำลองเชิงประยุกต์แล้ว เขายังพัฒนาวิธีการใหม่ ๆ เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางธรณีวิทยาใต้ผิวดิน อีกทั้งยังมีผลงานตีพิมพ์จำนวนมากในสาขาพลศาสตร์โลก ธรณีวิทยาปิโตรเลียม ธรณีวิทยาโครงสร้าง และการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์

16เกี่ยวกับผู้แปล



อะตอม เชื้อ ปัจจุบันเป็นผู้ประสานงานบริษัท EGIS Thailand ดำเนินการโครงการปรับปรุงระบบชลประทานเจ้าพระยาฝั่งตะวันออกตอนล่าง - โครงการเสริมสร้างความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งได้ปฏิบัติงานที่กรมชลประทานในการช่วยเหลือและสนับสนุนการดำเนินงานทั้งในด้านสิ่งแวดล้อม ด้านสังคม และด้านวิศวกรรม เขามีความคุ้นเคยกับอุทกธรณีวิทยาในระดับปริญญาตรี

โดยที่เขาจัดทำโครงการการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลในแอ่งน้ำเจ้าพระยาตอนล่างโดยใช้การเรย์นัวร์ของเครื่อง

ลงทะเบียนเพื่อรับข่าวสารของ Groundwater Project เพื่อติดตามข้อมูลเกี่ยวกับการเปิดตัวหนังสือใหม่ และกิจกรรมการมีส่วนร่วมกับ Groundwater Project การสมัครรับข้อมูลช่วยให้เราสร้างชุมชนน้ำบาดาลระดับโลก [ลงทะเบียน](#).



การปรับปรุงจากเวอร์ชันจากต้นฉบับ

การเปลี่ยนแปลงทั่วไป:

ตัวอักษรตัวหนาในสมการถูกลบออก ยกเว้นคำตอบสุดท้ายในการแก้ไขปัญห

ลิงก์ภายนอกที่เป็นตัวอักษรสีน้ำเงินในเนื้อหาของหนังสือถูกเปลี่ยนเป็นตัวอักษรสีดำ

สัญลักษณ์ลิงก์ภายนอกถูกเพิ่มหลังลิงก์ในที่ที่ขาดหายไป

สัญลักษณ์ลิงก์ภายในถูกเพิ่มหลังลิงก์ในที่ที่ขาดหายไป

บีคมารีกลอมถูกลบออกจากช่องกรนำทาง

การเปลี่ยนแปลงเฉพาะ:

หน้า iii: เพิ่มข้อมูลการอ้างอิงและ DOI ของหนังสือ

หน้า 9: "20 by 20" ถูกเปลี่ยนเป็น "50 by 50"

หน้า 9: "20x20" ถูกเปลี่ยนเป็น "50x50"

หน้า 9: เพิ่มเครื่องหมายยัติภังค์ในคำอธิบายภาพประกอบรูปที่ 7 ระหว่างคำว่า "Open" และ "Source"

หน้า 13: "20x20" ถูกเปลี่ยนเป็น "50x50"

หน้า 16: ตัวส่วนของสมการที่ 4 ได้รับการแก้ไขจาก b8/K5 เป็น b8/K8 และเพิ่มพจน์ b9/K9

หน้า 18: ลบการขึ้นบรรทัดใหม่ที่ผิดพลาดจากการอ้างอิง