

แบบจำลอง 2 มิติ แสดงการรुक้ำของน้ำทะเลและการฟื้นฟูโดยเทคนิคบ่อน้ำซึม

นายพงศ์ธัชชัย ปณชัยบูรณ์พิภพ

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

2D MODEL DEMONSTRATING SALTWATER INTRUSION
AND REMEDIATION BY AN INFILTRATION POND TECHNIQUE

MR. PONGTACHCHAI PANACHAIBOONPIPOP

A REPORT IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF THE BACHELOR OF SCIENCE
DEPARTMENT OF GEOLOGY, CHULALONGKORN UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2013

วันที่ส่ง/...../.....

วันที่อนุมัติ/...../.....

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ ชาติพันธ์รัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

แบบจำลอง 2 มิติ แสดงการรुकูล้ำของน้ำทะเลและการฟื้นฟูโดยเทคนิคบ่อน้ำซึม

พงศ์รัชชัย ปณชัยบูรณ์พิภพ * และ ศรีเลิศ โชติพันธ์รัตน์

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์: 6681 - 8125715, อีเมลล์: pongtachchai@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีความต้องการใช้น้ำจืดมากขึ้น จึงได้นำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้สูงขึ้น เนื่องจากน้ำบาดาลมีปริมาณมาก และสะอาด อย่างไรก็ตามปัญหาหนึ่งที่เกิดคือการรुकูล้ำของน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเล ซึ่งทำให้น้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้เปลี่ยนสภาพเป็นน้ำกร่อยและน้ำเค็มในที่สุด การแก้ปัญหาดังกล่าวมีหลายวิธี เช่น การอัดน้ำจืดบริเวณชายฝั่ง การสูบน้ำทะเลออกก่อนเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล และการสร้างผนังกันน้ำทะเล ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายสูง ตลอดจนต้องใช้เทคนิคขั้นสูงในการดำเนินการ โครงการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ เพื่อศึกษาการรुकูล้ำของน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาลไว้แรงดัน และจำลองการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีบ่อน้ำซึม เนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายน้อยและง่ายต่อการนำมาแก้ไขปัญหา

การทดลองใช้แบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ โดยใช้แผ่นอะคริลิกใสมีขนาดภายในยาว 100 ซม. สูง 50 ซม. และกว้าง 4 ซม. จำลองภาพตัดขวางของชั้นน้ำบาดาลแบบไว้แรงดัน โดยใช้ทรายละเอียดขนาด 0.60-0.85 มม. เป็นตัวแทนของทรายชายฝั่ง ใช้น้ำกลั่นและน้ำเกลือเป็นตัวแทนของน้ำบาดาลและน้ำทะเล ตามลำดับ ในการดำเนินการทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้ 1) เริ่มการทดลองโดยควบคุมให้เกิดการไหลของน้ำในชั้นทรายในสภาวะสมดุลอุทกสถิตของน้ำทะเลและน้ำจืด 2) ภายหลังจากสภาวะสมดุลอุทกสถิตได้ดำเนินการสูบน้ำออกด้วยอัตราการสูบ $0.225 \text{ cm}^3/\text{s}$ และ 3) ดำเนินการจำลองการแก้ไขปัญหการรुकูล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลไว้แรงดันด้วยวิธีบ่อน้ำซึมด้วยอัตราการเติม $0.100 \text{ cm}^3/\text{s}$ ภายหลังจากแต่ละขั้นตอนจะดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 50 ตัวอย่าง และนำตัวอย่างน้ำที่เก็บมาตรวจวัดค่าความเค็มโดยใช้เครื่องวัดความเค็ม (Salinity refractometer) และถ่ายภาพสีเพื่อใช้ในการแปลแนวการรुकูล้ำของน้ำทะเลโดยใช้โปรแกรม Tracker 4.84 เพื่อประเมินแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืด ผลการทดลองพบว่าในสภาวะสมดุลอุทกสถิตแนวรอยต่อดังกล่าวสอดคล้องกับสมการของ Glover และการสูบน้ำออกจากชั้นน้ำจะพบแนวการรुकูล้ำของน้ำทะเลสูงขึ้นอย่างชัดเจน และในที่สุดท้ายที่มีการแก้ไขปัญหาการรुकูล้ำของน้ำทะเลโดยบ่อน้ำซึมพบว่าแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดมีระดับลดต่ำลง โดยเฉพาะบริเวณบ่อน้ำซึมและบริเวณหลังจากบ่อน้ำซึม และพบว่าพื้นที่การรुकูล้ำของน้ำทะเลลดลง 56 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การรुकูล้ำของน้ำทะเล, ชั้นน้ำบาดาลไว้แรงดัน, บ่อน้ำซึม, แบบจำลอง 2 มิติ

2D MODEL DEMONSTRATING SALTWATER INTRUSION AND REMEDIATION BY AN INFILTRATION POND TECHNIQUE

Pongtachchai Panachaiboonpipop * and Srilert Chotpantararat

Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University;

Tel: 6681 - 8125715, E-mail: pongtachchai@gmail.com

Abstract

Recently, water demand is continuously increasing due to growth of population and economic development. So, groundwater is highly pumped to use because it reserves a high storage and is clean enough to drink. However, saltwater intrusion is one major problem of coastal groundwater aquifer, causing groundwater to be more salinity. There are many remediation techniques to solve this problem such as freshwater injection, saltwater extraction and subsurface barrier, which are costly and need sophisticated techniques. This project conducted 2D physical model to investigate the saltwater intrusion in an unconfined sandy aquifer and simulate an infiltration pond technique to mitigate saltwater intrusion due to a low cost and easy to implement remediation method.

The 2D physical model is made of acrylic sheets with 100 cm long, 50 cm high and wide and 4 cm thick to represent a cross section of an unconfined aquifer in the coastal area. Clean sorted sand (0.60-0.85 mm in diameter) is used to represent aquifer media in the unconfined aquifer. Freshwater and saltwater are used to represent groundwater and seawater, respectively. The experiment is divided into three parts in following procedures: 1) groundwater flow in the model was set under a hydrostatic equilibrium condition between saltwater and freshwater, 2) after the equilibrium condition, water was pumped by a groundwater well with pumping rate $0.225 \text{ cm}^3/\text{s}$ and 3) an infiltration pond technique with infiltration rate $0.100 \text{ cm}^3/\text{s}$ were carried out. Each step is employed to collect water samples from 50 sampling points in order to measure salinity of water by using a salinity refractometer and the digital pictures were taken to determine the interface between of saltwater and freshwater by using a Tracker 4.84. The results shows that interface under the hydrostatic equilibrium condition is corresponding to the Glover equation. Moreover, in step 2, sharp interface is obviously induced after pumping from the groundwater well. Finally, the infiltration pond technique shows that interface is retreated, especially in areas landward of the pond and the area affected from saltwater intrusion is decreased of 56 percent.

Keywords : Saltwater intrusion, Unconfined aquifer, Infiltration pond, 2D model

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้ความรู้ คำแนะนำ คำติชม รวมทั้งให้โอกาสในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้สั่งสอนอบรมความรู้ ตลอดจนคำแนะนำ คำปรึกษา

ขอขอบพระคุณนางสาวพจิราภรณ์ เวียงจันดา ที่ให้คำปรึกษา และแนะนำ เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลอง และการทดลอง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ GEO'54 ทุกคน ที่ให้กำลังใจทำให้มีผลต่อการทำวิจัยครั้งนี้ โดยเฉพาะนายณัฐพล รำพึงกิจ ที่ให้และคอยช่วยเหลือในการทำการงานวิจัยครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	1
สารบัญรูป	3
สารบัญตาราง	5
บทที่ 1 บทนำ	6
1.1 ที่มาและความสำคัญ	6
1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	10
1.4 สมมติฐาน	10
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	10
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	11
บทที่ 2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	12
2.1 รวบรวมเอกสารข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
2.2 การออกแบบการทดลอง	12
2.3 วิธีการการทดลอง	14
2.4 อภิปรายและสรุปผล	16
บทที่ 3 ผลลัพธ์และการแปลความหมาย	18
3.1 ค่าตัวแปรต่างๆในการทดลอง	18
3.2 ผลจากการทดลอง	20
บทที่ 4 อภิปรายผล	29
4.1 เปรียบเทียบแนวรอยต่อของน้ำทะเลและน้ำจืดในวิธีการทดลองต่างๆ	29
4.2 จำลองการแก้ไขปัญหการรुकล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดันโดยวิธีบ่อน้ำซึม	30

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	33
5.1 สรุปผลงานวิจัย	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	36
ภาคผนวก ก	37
ภาคผนวก ข	39
ภาคผนวก ค	42

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงสภาวะสมดุลอุทกสถิตระหว่างน้ำจืดกับน้ำทะเล ในหลอดรูปตัวยู	7
รูปที่ 1.2 แสดงสภาวะสมดุลอุทกสถิตระหว่างน้ำจืดกับน้ำทะเล ในชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดันบริเวณชายฝั่ง	8
รูปที่ 1.3 แสดงสภาวะสมดุลอุทกสถิตระหว่างน้ำจืดกับน้ำทะเล เมื่อมีการไหลของน้ำบาดาล	8
รูปที่ 2.1 แบบร่าง แบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ	13
รูปที่ 2.2 แบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ	14
รูปที่ 2.3 การทำ Dry sieve (ซ้าย) และทรายขาวขนาด 0.6 - 0.85 มม. (ขวา)	15
รูปที่ 2.4 จุดเก็บตัวอย่าง โดยใช้เข็มฉีดยา	15
รูปที่ 2.5 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์แสดงการจำลองในแบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ	16
รูปที่ 2.6 การทดลองการรูก้ำของน้ำทะเลในแบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ	16
รูปที่ 2.7 แผนผังแสดงระเบียบวิธีวิจัย	17
รูปที่ 3.1 ค่าตัวแปรในแบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ	19
รูปที่ 3.2 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากสมการของ Glover ในสภาวะสมดุลอุทกสถิต (แสดงโดยเส้นสีเหลือง)	20
รูปที่ 3.3 ค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบตำแหน่งสูงสุดที่มีค่าความเค็มเท่ากับน้ำทะเล ในสภาวะสมดุลอุทกสถิต (แสดงโดยจุดสีแดง)	22
รูปที่ 3.4 ค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบตำแหน่งสูงสุดที่มีค่าความเค็มเท่ากับน้ำทะเล เมื่อทำการสูบน้ำ (แสดงโดยจุดสีแดง)	23
รูปที่ 3.5 ค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบตำแหน่งสูงสุดที่มีค่าความเค็มเท่ากับน้ำทะเล เมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึม (แสดงโดยจุดสีแดง)	24
รูปที่ 3.6 การใช้งานโปรแกรม Tracker 4.84	25
รูปที่ 3.7 ภาพสีย้อมของน้ำทะเลแสดงแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืด ในสภาวะสมดุลอุทกสถิต	26
รูปที่ 3.8 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปลภาพสีย้อมของน้ำทะเล ในสภาวะสมดุลอุทกสถิต (แสดงโดยเส้นสีฟ้า)	26

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.9 ภาพสีย้อมของน้ำทะเลแสดงแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการสูบน้ำ	27
รูปที่ 3.10 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปลภาพสีย้อมของน้ำทะเล เมื่อทำการสูบน้ำ(แสดงโดยเส้นสีฟ้า)	27
รูปที่ 3.11 ภาพสีย้อมของน้ำทะเลแสดงแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืด เมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึม	28
รูปที่ 3.12 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปลภาพสีย้อมของน้ำทะเล เมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึม (แสดงโดยเส้นสีฟ้า)	28
รูปที่ 4.1 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดในสภาวะสมดุลทุกสภาวะ สมการของ Glover (แสดงโดยเส้นสีเหลือง) ค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบตำแหน่งสูงสุดที่มีค่าความเค็มเท่ากับน้ำทะเล (แสดงโดยจุดสีแดง) แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปลภาพสีย้อมของน้ำทะเล (แสดงโดยเส้นสีฟ้า)	29
รูปที่ 4.2 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการสูบน้ำ ค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบตำแหน่งสูงสุดที่มีค่าความเค็มเท่ากับน้ำทะเล (แสดงโดยจุดสีแดง) แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปลภาพสีย้อมของน้ำทะเล (แสดงโดยเส้นสีฟ้า)	30
รูปที่ 4.3 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึม ค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบตำแหน่งสูงสุดที่มีค่าความเค็มเท่ากับน้ำทะเล (แสดงโดยจุดสีแดง) แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปลภาพสีย้อมของน้ำทะเล (แสดงโดยเส้นสีฟ้า)	31
รูปที่ 4.4 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปลภาพสีย้อมของน้ำทะเล ในสภาวะสมดุลทุกสภาวะ(แสดงโดยเส้นสีฟ้า) เมื่อทำการสูบน้ำ(แสดงโดยเส้นสีส้ม) และเมื่อทำการเติมน้ำ(แสดงโดยเส้นสีน้ำเงิน) และการแบ่งช่วงการเปลี่ยนแปลงเป็น 3 ช่วงตามสี แดง เขียว และน้ำเงิน	32

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าพิกัดจุดตรวจสอบความเค็ม (หน่วยเซนติเมตร)	21
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบในสภาวะสมดุลทุกสถิติ (เปอร์เซ็นต์ความเค็ม)	22
ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบเมื่อทำการสูบน้ำ (เปอร์เซ็นต์ความเค็ม)	23
ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบเมื่อทำเติมน้ำในบ่อน้ำซึม (เปอร์เซ็นต์ความเค็ม)	24

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โลกมีปริมาณน้ำจืดประมาณ 3% ซึ่งน้ำจืดเหล่านี้เป็นน้ำแข็ง 68.7% น้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล 30.1%, น้ำในอากาศ 0.9% และน้ำบนผิวดิน 0.3% พบว่าปริมาณน้ำผิวดินนั้นมีปริมาณน้อยมากและอาจไม่เพียงพอต่อการอุปโภคและบริโภคจึงได้นำน้ำบาดาลมาใช้ในปริมาณที่สูงขึ้น เพราะน้ำบาดาลเป็นน้ำที่มีปริมาณมาก สะอาด ปราศจากสารแขวนลอย สารอินทรีย์เคมีและเชื้อโรค ไม่มีกลิ่น นอกจากนี้ยากต่อการถูกปนเปื้อน

การรุกรานของน้ำทะเล คือ การแพร่กระจายของน้ำทะเลเข้าไปในชั้นน้ำบาดาลบริเวณชายฝั่งทะเล และทำให้น้ำบาดาลเปลี่ยนสภาพเป็นน้ำกร่อยและน้ำเค็มในที่สุด เมื่อมีการสูบน้ำบาดาลมาใช้มากขึ้นจะทำให้ น้ำทะเลที่แพร่เข้ามาในชั้นน้ำบาดาลมีปริมาณมากขึ้นและระดับความสูงของน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาลสูงขึ้นด้วย ทำให้ในเวลาต่อมาไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเพาะปลูกและการอุปโภคบริโภคเนื่องจากมีสภาพเป็น น้ำกร่อย (Todd และ Mays, 2005)

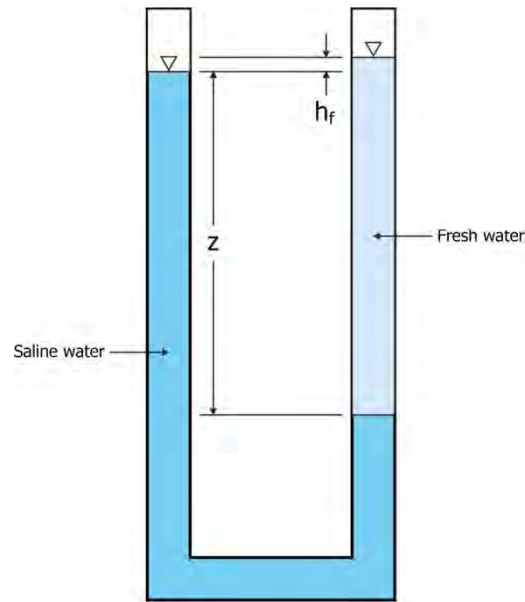
ปัญหาการรุกรานของน้ำทะเลในปัจจุบันมีโอกาสขยายความรุนแรงมากขึ้น เพราะการนำน้ำบาดาลขึ้นมา ใช้มากขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของประชากร อุตสาหกรรม การท่องเที่ยวในพื้นที่ชายฝั่งทะเล การแก้ไขปัญหา ดังกล่าวจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้มีน้ำเพียงพอต่อการอุปโภคและบริโภค การแก้ปัญหาที่มีหลายวิธี ได้แก่ การอัด น้ำจืดบริเวณชายฝั่ง การสูบน้ำทะเลออกก่อนเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล และการสร้างผนังกั้นน้ำทะเล การเติมน้ำจืด บริเวณชายฝั่งทั่วไปจะสร้างเป็นบิมน้ำแล้วอัดน้ำจืดลงไปชั้นน้ำบาดาลซึ่งเสียค่าใช้จ่ายสูงและจำเป็นต้องใช้ เทคนิคขั้นสูงในการดำเนินการ (Todd และ Mays, 2005) โดยสามารถใช้การเติมน้ำจืดในบ่อน้ำซึมได้ ซึ่งเสีย ค่าใช้จ่ายน้อยและง่ายต่อการนำมาแก้ไขปัญหาจริงได้

1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.2.1 ทฤษฎี

1. ความสัมพันธ์ Ghyben-Herzberg

แสดงความสัมพันธ์ของสถานะสมดุลอุทกสถิต (Hydrostatic balance) ระหว่างน้ำจืดกับน้ำทะเล ใน หลอดรูปตัวยู ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงสถานะสมดุลอุทกสถิตระหว่างน้ำจืดกับน้ำทะเล ในหลอดรูปตัวยู

ได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 1.1

$$\rho_s g z = \rho_f g (z + h_f) \quad \dots\dots(1.1)$$

โดย ρ_s คือ ความหนาแน่นของน้ำทะเล (g/cm^3)

ρ_f คือ ความหนาแน่นของน้ำจืด (g/cm^3)

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

z, h_f คือ ค่าความสูง (m) แสดงดังรูปที่ 1.1

สามารถหาค่า z ได้จาก

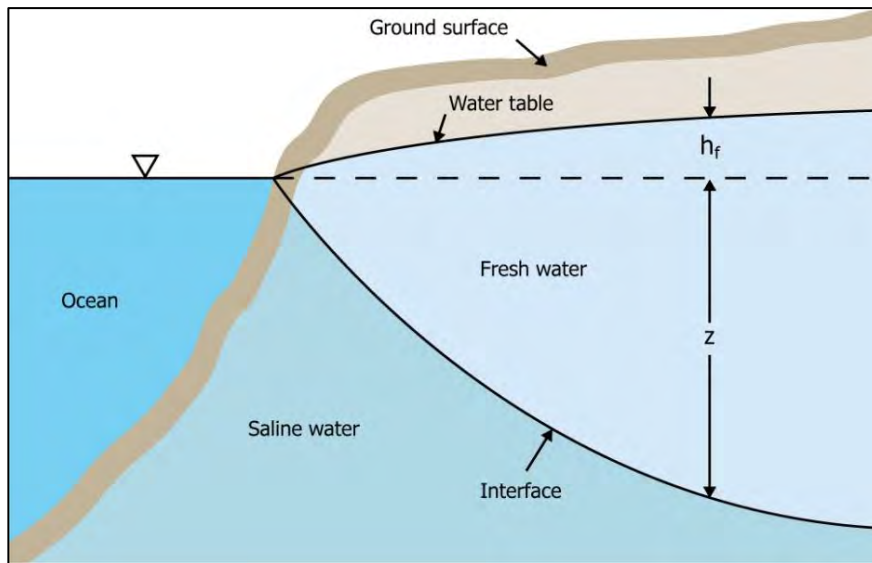
$$z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \quad \dots\dots(1.2)$$

โดยทั่วไปน้ำทะเลจะมี $\rho_s = 1.025 \text{ g/cm}^3$ และน้ำจืดจะมี $\rho_f = 1.000 \text{ g/cm}^3$

ตามสมการที่ 1.2 จะได้ว่าเท่ากับ

$$z = 40h_f \quad \dots\dots(1.3)$$

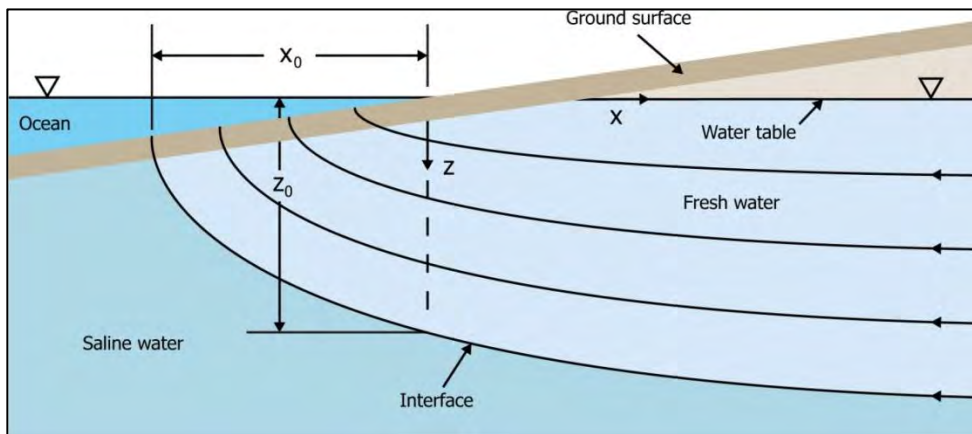
เมื่อแปลงสมดุลของน้ำในหลอดรูปตัวยู ให้เป็นสภาพชายฝั่ง h_f จะเท่ากับระดับความสูงของระดับน้ำบาดาลที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเล และ z คือความลึกของรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากระดับน้ำทะเล ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงสภาวะสมดุลอุทกสถิตระหว่างน้ำจืดกับน้ำทะเล ในชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดันบริเวณชายฝั่ง

2. สมการ Glover

สมการอธิบายแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากระดับน้ำทะเลโดยประยุกต์มาจากความสัมพันธ์ของ Ghyben-Herzberg ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงสภาวะสมดุลอุทกสถิตระหว่างน้ำจืดกับน้ำทะเล เมื่อมีการไหลของน้ำบาดาล

ได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 1.4

$$z^2 = \frac{2\rho qx}{\Delta\rho K} + \left(\frac{\rho q}{\Delta\rho K}\right)^2 \dots\dots(1.4)$$

โดย $\Delta\rho$ คือ ความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำทะเลและน้ำจืด(g/cm^3)

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำจืด (g/cm^3)

q คือ ปริมาณการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง (cm^3/s)

K คือ ค่าการนำชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity) (cm/s)

z คือ ความสูง (m) แสดงดังรูปที่ 1.3

x คือ ระยะทาง (m) แสดงดังรูปที่ 1.3

และหาค่าระดับน้ำบาดาลได้ตามสมการที่ 1.5

$$H_f = \left(\frac{2\Delta\rho qx}{(\rho + \Delta\rho)K} \right)^{1/2} \quad \text{.....(1.5)}$$

ระยะทาง x_0 คือระยะทางจากส่วนได้น้ำถึงบริเวณที่มีน้ำบาดาลไหลเข้าสู่หน้าทะเล เมื่อ $z = 0$

$$x_0 = \frac{\rho q}{2\Delta\rho K} \quad \text{.....(1.6)}$$

ความลึกของรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดที่แนวชายฝั่ง

$$z_0 = \frac{\rho q}{\Delta\rho K} \quad \text{.....(1.7)}$$

1.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Aharmouc และ Larabi (2001) ใช้วิธีการเชิงตัวเลขในการหารอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเลเมื่อมีการสูบน้ำจืดขึ้นมาในชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดันและชั้นน้ำบาดาลมีแรงดันด้วยวิธีการ Galerkin finite element technique เมื่อมีการสูบน้ำจืดขึ้นมาจะสูงขึ้น และทำให้เกิด Saltwater dome ขึ้น โดยจากวิธีการเชิงตัวเลขนี้ทำให้คำนวณอัตราการสูบน้ำวิกฤตได้

Weingchauda และ Fuenkajorn (2010) ทำการศึกษาการรุกรานของน้ำทะเลและวิธีการควบคุมโดยใช้แบบจำลองเชิงกายภาพ โดยใช้วิธีควบคุม 3 วิธี ได้แก่ การสร้างแนวบ่ออัดน้ำจืด การสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง และการสร้างแนวทึบน้ำใต้ดิน โดยเปรียบเทียบการทดลองกับการคำนวณจาก ความสัมพันธ์ของ Ghyben-Herzberg พบว่ามีความสอดคล้องกัน โดยเมื่อมีอัตราการเติมน้ำจืดและการสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่งมากขึ้น จะทำให้แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเล และน้ำจืดเคลื่อนตัวออกไปยังชายฝั่ง และประสิทธิภาพของแนวทึบ

น้ำใต้ดินขึ้นอยู่กับความลึกของแนวที่บ่อน้ำใต้ดินที่อยู่ใต้ระดับน้ำเค็ม ความลึกของแนวที่บ่อน้ำใต้ดินที่ระดับเท่ากันกับระดับของน้ำทะเลจะส่งผลให้แนวที่บ่อน้ำใต้ดินมีประสิทธิภาพสูงสุด

Chang และ Clement (2012) ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง Groundwater flux และ Areal recharge flux จากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ ต่อการรुकูล้ำของน้ำทะเลใช้วิธีการทดลองในแบบจำลองทางกายภาพ และวิธีการเชิงเลขจากโปรแกรม SEAWAT มาเปรียบเทียบกัน พบว่าถ้าปริมาณน้ำจืดที่เข้ามาเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำทะเลจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าปริมาณน้ำจืดที่เข้ามาลดลง ปริมาณน้ำทะเลจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

1.2.3 นิยามศัพท์

1. น้ำบาดาล คือ น้ำที่อยู่ในเขตอิ่มน้ำ (saturated zone) โดยน้ำจะแทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของหินหรือตะกอน ใต้ระดับน้ำบาดาล (water table)
2. น้ำทะเลคือ น้ำจากทะเลหรือมหาสมุทร
3. ชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดัน (unconfined aquifer) คือ ชั้นน้ำที่ไม่ได้อยู่ภายใต้ความกดดัน และมีระดับน้ำบาดาลในบ่อบาดาลเท่ากับระดับน้ำบาดาลในชั้นน้ำบาดาล
4. วิธีบ่อน้ำซึม (Infiltration pond) คือ การเติมน้ำจืดในบ่อน้ำที่น้ำจืดสามารถซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการรुकูล้ำของน้ำทะเล เข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดันโดยแบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ
2. จำลองการแก้ไขปัญหการรुकูล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดันโดยใช้วิธีบ่อน้ำซึม ในแบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ

1.4 สมมติฐาน

แบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ สามารถอธิบายการรुकูล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดัน และจำลองการแก้ไขปัญหการรुकูล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดันโดยวิธีบ่อน้ำซึมได้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. การทดลองใช้แบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ ในการศึกษาภาพตัดขวางของชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดันและน้ำทะเล
2. การทดลองภายใต้อุณหภูมิคงที่
3. ระดับน้ำบาดาลและระดับน้ำทะเลคงที่
4. ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลองเป็นตัวแทนของทรายบริเวณชายฝั่งซึ่งเป็นเนื้อเดียวกัน
5. น้ำกลั่นและน้ำเกลือเป็นตัวแทนของน้ำบาดาลและน้ำทะเลตามลำดับ

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. แบบจำลองทางกายภาพ สามารถไปประยุกต์ใช้ในการอธิบายการรुकูล้ำของน้ำทะเล และวางแผนการจัดการน้ำบาดาลบริเวณชายฝั่งได้
2. อธิบายการแก้ปัญหาการรुकูล้ำของน้ำทะเลด้วยวิธีป้อนน้ำซึม

บทที่ 2

วิธีการดำเนินงานวิจัย (Methodology)

2.1 รวบรวมเอกสารข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เคยมีผู้ทำการศึกษามาแล้ว เกี่ยวกับการรुक้าของน้ำทะเลและการแก้ปัญหา
2. ศึกษาการออกแบบแบบจำลองและการทำการทดลอง

2.2 การออกแบบการทดลอง

แบบจำลองมีขนาดภายในคือ ยาว 100 ซม. สูง 50 ซม. และกว้าง 4 ซม. ดังรูปที่ 2.1

2.2.1 วัสดุ

1. แผ่นอะคริลิกใส ขนาด 0.8 ซม.

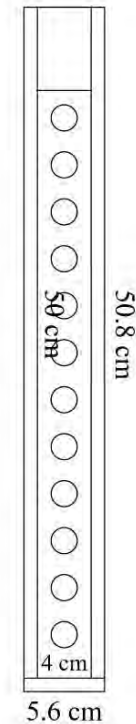
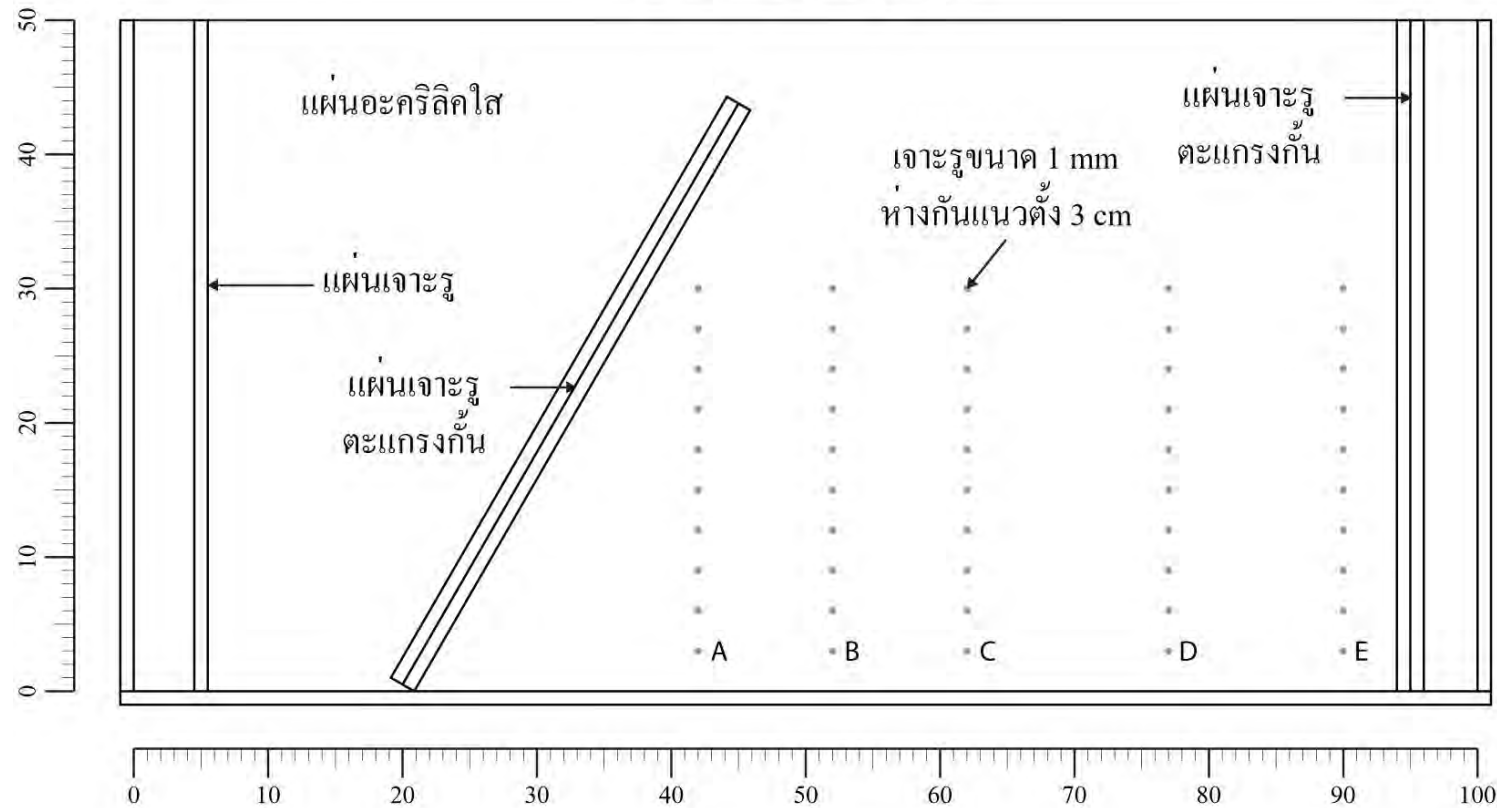
100 x 50 ซม.	2	แผ่น
50 x 4 ซม.	5	แผ่น
50.8 x 5.6 ซม.	2	แผ่น
101.6 x 5.6 ซม.	1	แผ่น
2. ตะแกรงเบอร์ 40 (0.422 มม.) 4 x 100 ซม.
3. กาวซิลิโคน 1 หลอด

2.2.2 การประกอบ

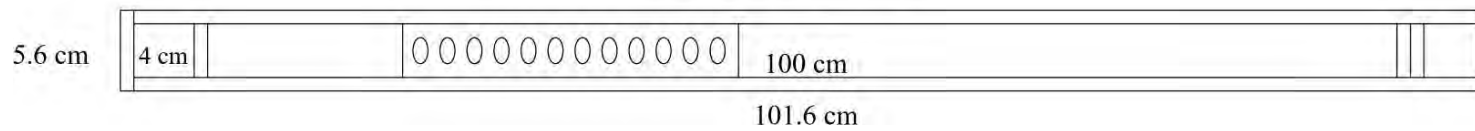
1. เจาะรูแผ่นอะคริลิกใส (100 x 50 ซม) ขนาด 1 มม. ตำแหน่งดังรูปที่ 2.1 จำนวน 1 แผ่น
2. เจาะรูแผ่นอะคริลิกใส (50 x 4 ซม.) ขนาด 2 ซม. จำนวน 5 แผ่น แล้วนำมาประกอบกับตะแกรง จำนวน 2 คู่
3. ประกอบแผ่นอะคริลิกใสเป็นกล่อง โดยใช้กาวซิลิโคน
4. ใช้น้ำยียึดและทากาวซิลิโคนบริเวณรอยต่อของแผ่นอะคริลิกใส เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของแบบจำลอง ดังรูปที่ 2.2

FRONT VIEW

SIDE VIEW



TOP VIEW



รูปที่ 2.1 แบบร่าง แบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ



รูปที่ 2.2 แบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เข็มฉีดยาเบอร์ 21X1.5	50	เข็ม
2. กระบอกยาฉีดยาขนาด 3 ml	50	กระบอก
3. สายยาง	4	เส้น
4. ก้านลูกโป่ง	1	ก้าน
5. เกลือ	1	กิโลกรัม
6. ทรายขาวละเอียด	15	กิโลกรัม
7. กาวซิลิโคน	1	หลอด
8. เครื่องวัดความเค็ม	1	เครื่อง
9. ตะแกรงเบอร์ 40 (0.422 มม.)	4 x 50	ชม.
10. สีผสมอาหาร	1	ขวด
11. กล้องถ่ายรูป	1	กล้อง

2.3.2 เตรียมการทดลอง

1. กรองทรายขาวละเอียด ให้ได้ทรายขนาด 0.6 - 0.85 มม. โดยใช้วิธีการ Dry sieve จากตะแกรงเบอร์ 20 และ เบอร์ 35 ดังรูปที่ 2.3
2. นำเข็มฉีดยาใส่เข้าไปในรูเจาะ ยึดด้วยกาวซิลิโคน และต่อเข็มฉีดยากับกระบอกฉีดยา ดังรูปที่ 2.4
3. นำทรายที่กรองแล้วใส่ลงไปแบบจำลอง 2 มิติ

4. ผสมน้ำเกลือจากน้ำกลั่นและเกลือให้มีความเข้มข้น 3% (มวลของเกลือต่อมวลทั้งหมด) โดยผสมเกลือ 3.02 กรัม ต่อน้ำจืด 100 cm³ ที่อุณหภูมิ 25 °C และใส่น้ำสีผสมอาหารให้เห็นสีชัดเจน
5. สร้างบ่อสูบน้ำโดยใช้ก้านลูกโป่ง
6. สร้างบ่อน้ำซึมโดยใช้ตะแกรงเบอร์ 40



รูปที่ 2.3 การทำ Dry sieve (ซ้่าย) และทรายขนาด 0.6 - 0.85 มม. (ขวา)

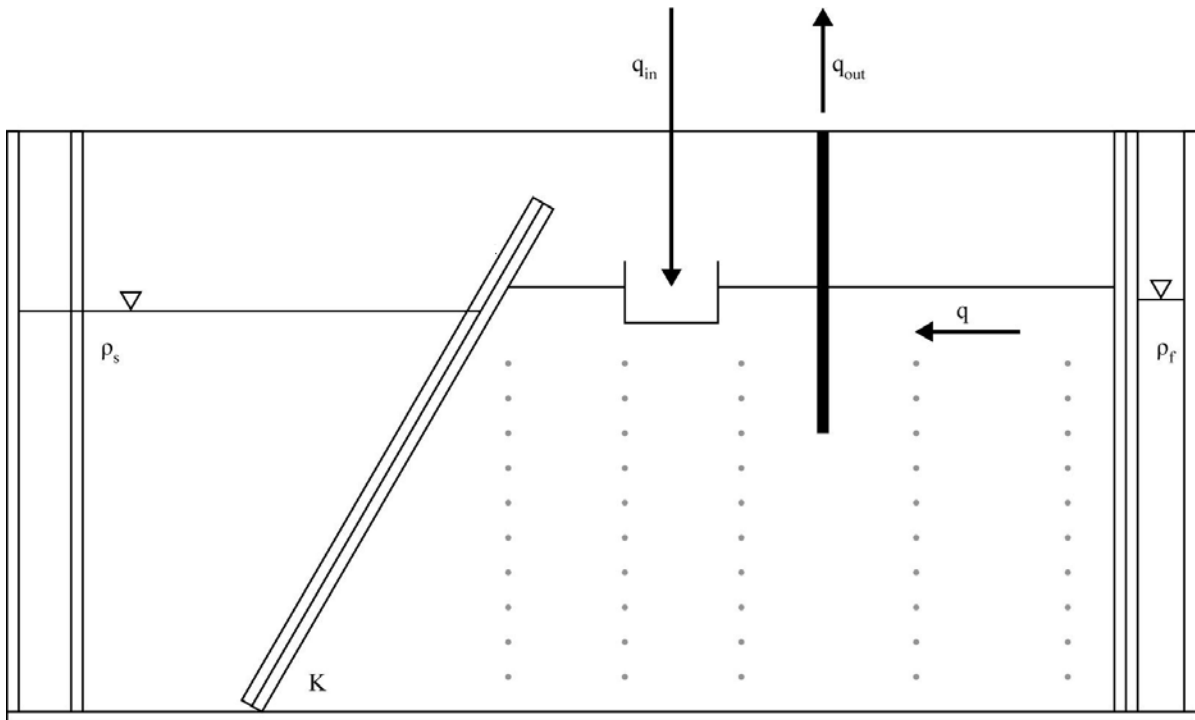


รูปที่ 2.4 จุดเก็บตัวอย่าง โดยใช้เข็มฉีดยา

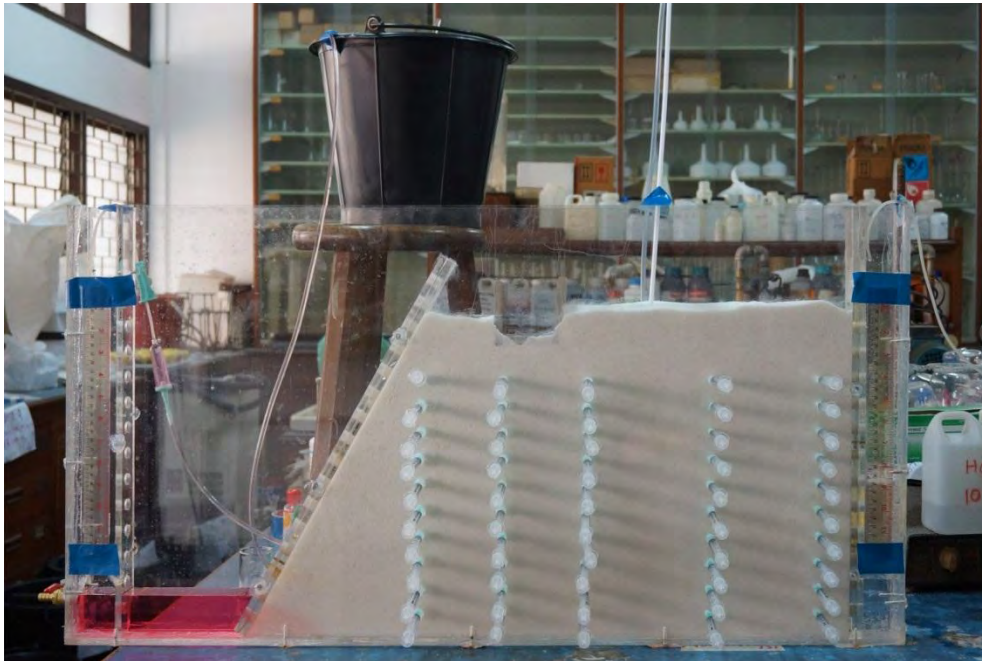
2.3.3 วิธีการทดลอง

1. ใส่น้ำกลั่น และน้ำเกลือในแบบจำลอง และรักษาระดับความสูงของน้ำให้คงที่
2. ตรวจสอบความเค็มของที่จุดต่างๆ โดยเครื่องวัดความเค็ม และถ่ายรูป
3. ทำการสูบน้ำออกจากบ่อ และรักษาระดับความสูงของน้ำกลั่นและน้ำเกลือให้คงที่
4. ตรวจสอบความเค็มของที่จุดต่างๆ โดยเครื่องวัดความเค็ม และถ่ายรูป
5. ทำการเติมน้ำบริเวณบ่อน้ำซึม และรักษาระดับความสูงของน้ำกลั่นและน้ำเกลือให้คงที่
6. ตรวจสอบความเค็มของที่จุดต่างๆ โดยเครื่องวัดความเค็ม และถ่ายรูป

ดังรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์แสดงการจำลองในแบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ

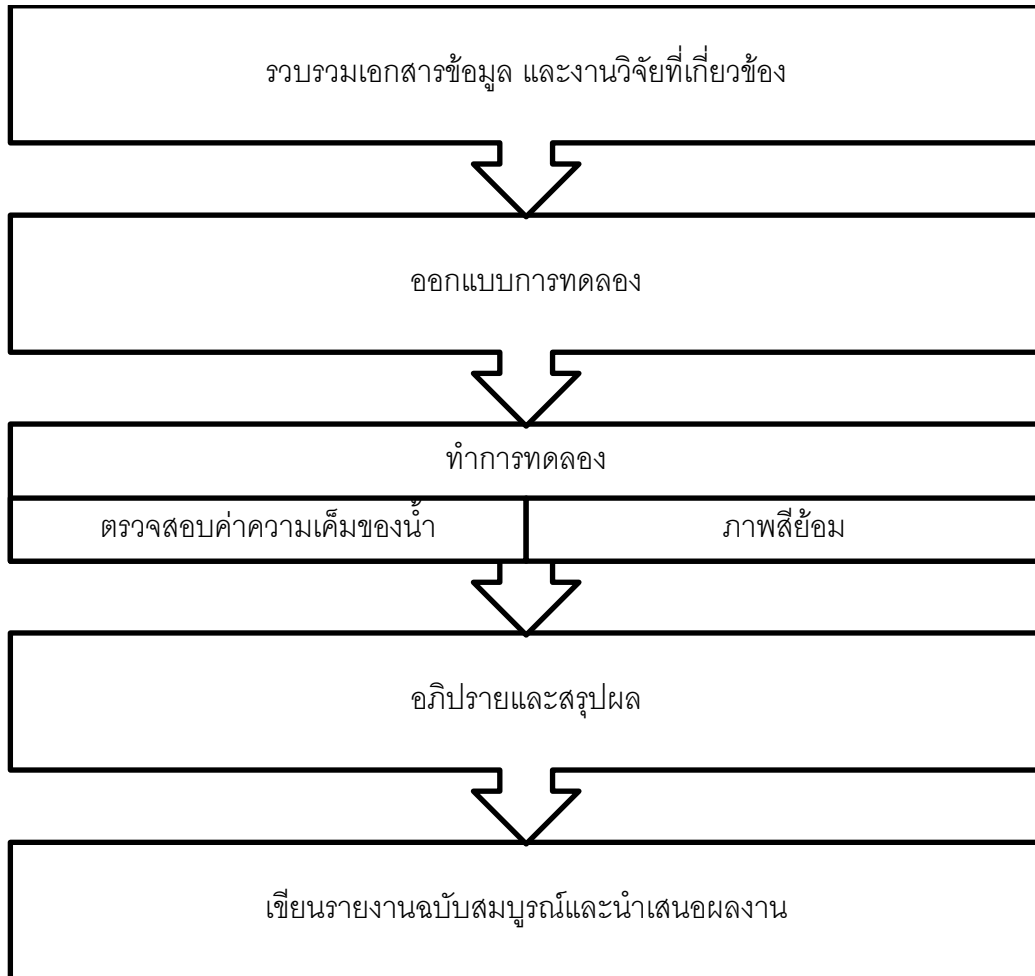


รูปที่ 2.6 การทดลองการรुकัก้าของน้ำทะเลในแบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ

2.4 อภิปรายและสรุปผล

นำผลที่ได้จากการคำนวณสมการ Glover และผลจากการทดลองในแบบจำลอง 2 มิติมาเปรียบเทียบกัน และอธิบายแนวรอยต่อของน้ำทะเลและน้ำจืดในสภาวะต่างๆ เพื่อจำลองการแก้ปัญหาโดยวิธีบ่อน้ำซึม

แผนผังสรุปขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 2.7 แผนผังแสดงระเบียบวิธีวิจัย

บทที่ 3

ผลการศึกษาและการแปลความหมาย (Results and Interpretation)

3.1 ค่าตัวแปรต่างๆในการทดลอง

3.1.1 ค่าคงที่ในการทดลอง

1. ค่าสภาพการนำชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity)

จากสมการของ Alyamani และ Sen (1993) แสดงตามสมการที่ 3.1

$$K = 1300[I_0 + 0.025(d_{50} - d_{10})]^2 \quad \dots\dots(3.1)$$

โดย K คือ ค่าสภาพการนำชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity) (m/day)

I_0 คือ จุดตัดแกน X ซึ่งแสดงขนาดเส้นค่าศูนย์กลางของตะกอน
จากเส้นตรง d_{50} ถึง d_{10} (mm)

d_{10} คือ ขนาดเส้นค่าศูนย์กลางของตะกอนที่เปอร์เซ็นต์ที่ 10 (mm)

d_{50} คือ ขนาดเส้นค่าศูนย์กลางของตะกอนที่เปอร์เซ็นต์ที่ 50 (mm)

จากการทดลองทรายที่นำมาใช้มีค่าดังนี้

$$I_0 = 0.6 \text{ mm}$$

$$d_{10} = 0.625 \text{ mm}$$

$$d_{50} = 0.725 \text{ mm}$$

จากสมการที่ 3.1 ได้ค่า $K = 471.9 \text{ m/day} = 0.546 \text{ cm/s}$

2. ค่าความหนาแน่นของน้ำบาดาลและน้ำเกลือ

การทดลองทำที่อุณหภูมิ 25°C

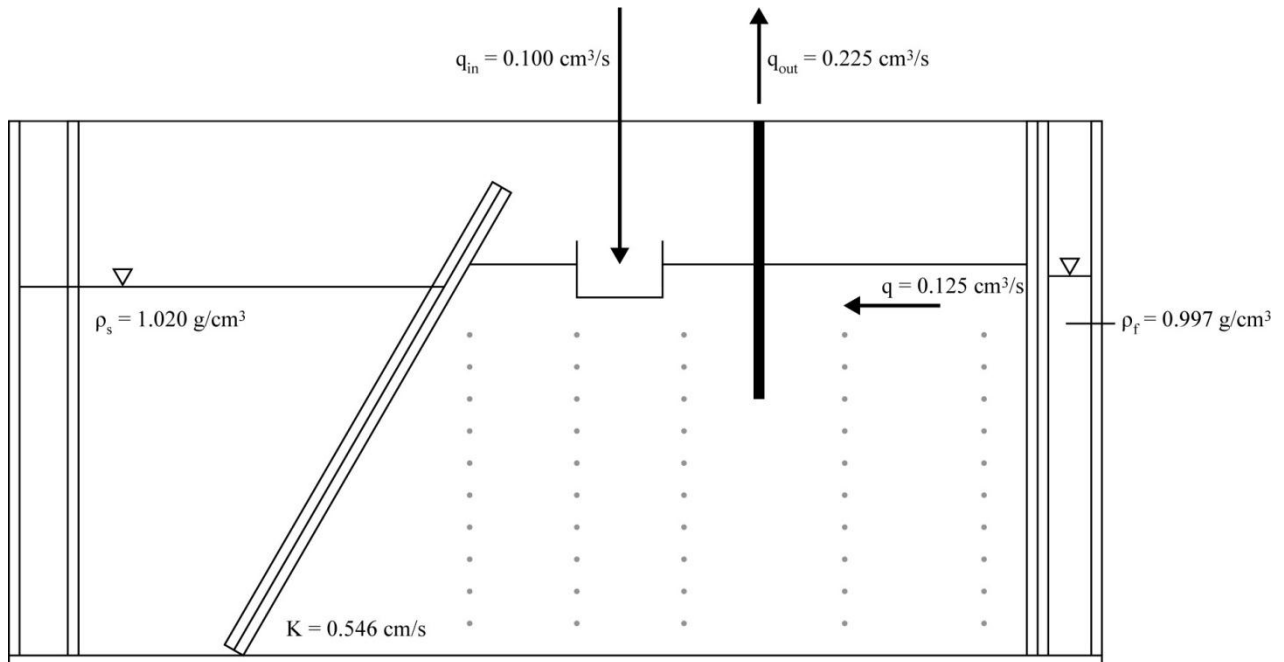
$$\text{น้ำจืดมีความหนาแน่น } \rho_f = 977.075 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{น้ำเกลือความเข้มข้น 3\% (30g/L) มีความหนาแน่น } \rho_s = 1019.597 \text{ kg/m}^3$$

3.1.2 ค่าจากการทดลอง

ในการทดลองได้ทำการวัดค่าปริมาณน้ำในระหว่างการทดลอง ได้ค่าดังนี้

3. ค่าปริมาณการไหลของน้ำบาดาลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง $q = 0.125 \text{ cm}^3/\text{s}$
4. ค่าปริมาณน้ำของการสูบน้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง $q_{out} = 0.225 \text{ cm}^3/\text{s}$
5. ค่าปริมาณน้ำของการเติมน้ำในบ่อน้ำซึมต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง $q_{in} = 0.100 \text{ cm}^3/\text{s}$



รูปที่ 3.1 ค่าตัวแปรในแบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ

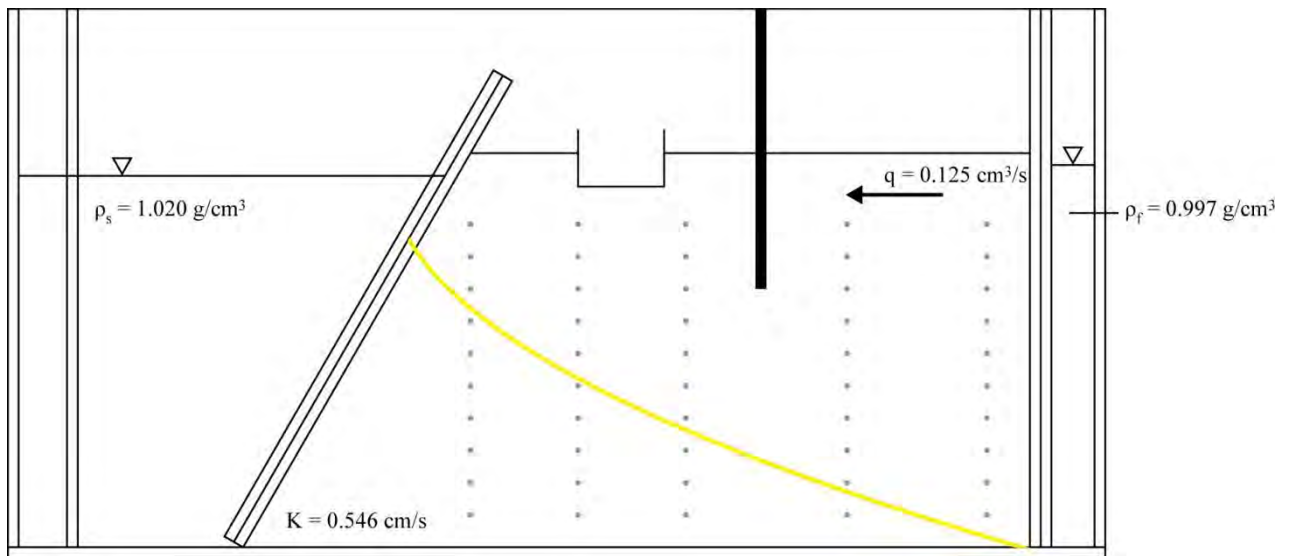
3.2 ผลจากการทดลอง

3.2.1 การคำนวณแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากทฤษฎี

จากสมการของ Glover ดังแสดงในสมการที่ 1.4

$$Z^2 = \frac{2\rho qx}{\Delta\rho K} + \left(\frac{\rho q}{\Delta\rho K}\right)^2$$

สามารถสร้างแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากสมการของ Glover

ในสถานะสมดุลอุทกสถิต (แสดงโดยเส้นสีเหลือง)

3.2.2 จากการทดลองตรวจสอบค่าความเค็มของน้ำ

การตรวจสอบความเค็มของน้ำใช้เครื่องวัดความเค็ม(Salinity refractometer) ตรวจสอบความเค็มเป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์ความเค็ม ที่ตำแหน่งต่างๆที่เจาะรูไว้ดังรูปที่ 2.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพิกัดจุดตรวจสอบความเค็ม (หน่วยเซนติเมตร)

	A		B		C		D		E	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	42	30	52	30	62	30	77	30	90	30
2	42	27	52	27	62	27	77	27	90	27
3	42	24	52	24	62	24	77	24	90	24
4	42	21	52	21	62	21	77	21	90	21
5	42	18	52	18	62	18	77	18	90	18
6	42	15	52	15	62	15	77	15	90	15
7	42	12	52	12	62	12	77	12	90	12
8	42	9	52	9	62	9	77	9	90	9
9	42	6	52	6	62	6	77	6	90	6
10	42	3	52	3	62	3	77	3	90	3

หมายเหตุ มีค่าพิกัดดังนี้ตาราง(จุดกำเนิดอยู่ที่ขอบซ้ายล่างของแบบจำลอง)

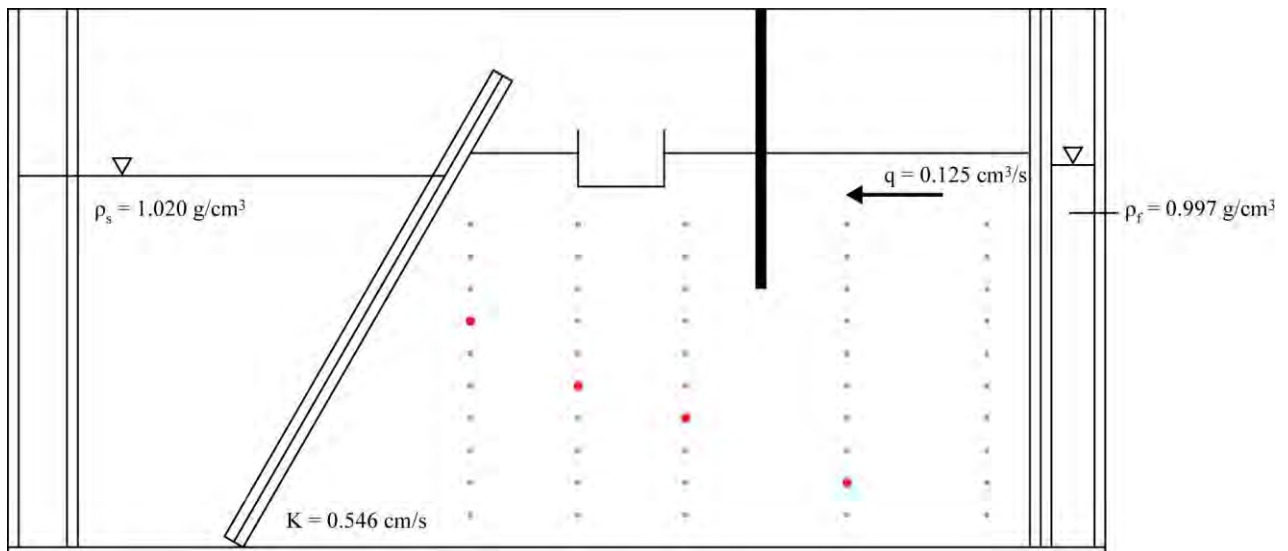
1. แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดในสภาวะสมดุลอุทกสถิต

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบในสภาวะสมดุลอุทกสถิต (เปอร์เซ็นต์ความเค็ม)

	A	B	C	D	E
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	1.4	0	0	0	0
4	3	0	0	0	0
5	3	2	0	0	0
6	3	3	0.8	0	0
7	3	3	3	0	0
8	3	3	3	0	0
9	3	3	3	3	0
10	3	3	3	3	0

หมายเหตุ ค่าความเค็มของน้ำทะเลเท่ากับ 3%

แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดในสภาวะสมดุลอุทกสถิต แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบตำแหน่งสูงสุดที่มีค่าความเค็มเท่ากับน้ำทะเลในสภาวะสมดุลอุทกสถิต (แสดงโดยจุดสีแดง)

2. แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการสูบน้ำ

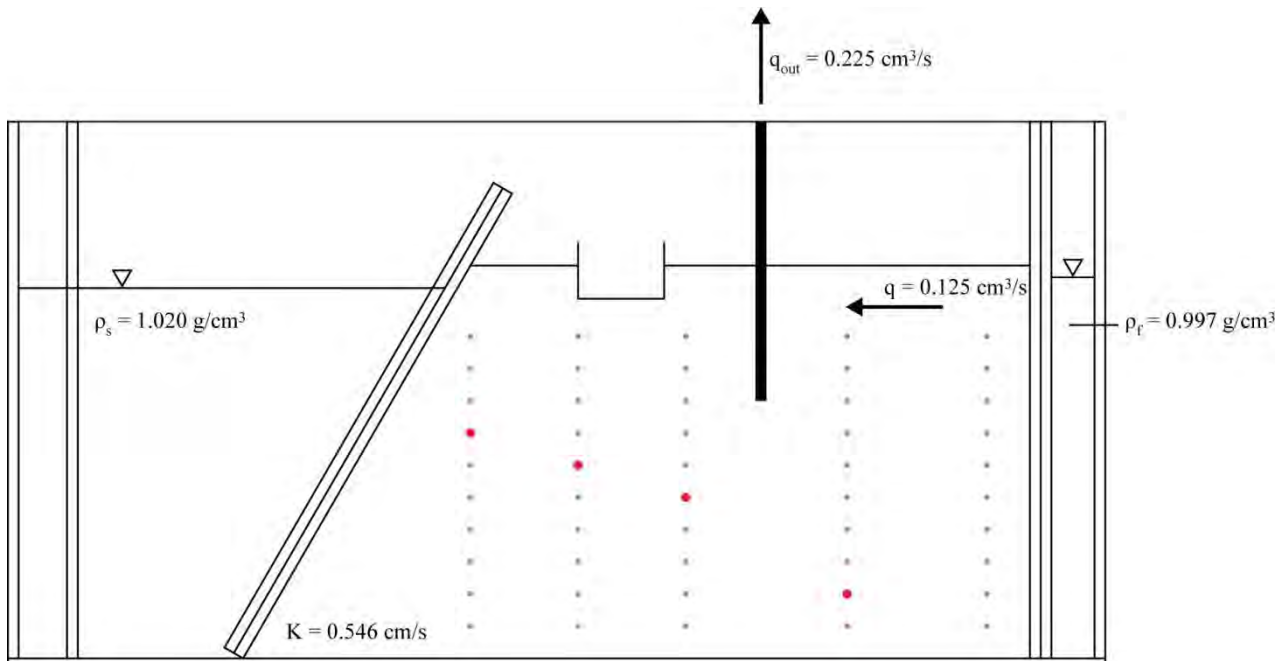
ปริมาณน้ำของการสูบน้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง $q_{in} = 0.225 \text{ cm}^3/\text{s}$

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบเมื่อทำการสูบน้ำ (เปอร์เซ็นต์ความเค็ม)

	A	B	C	D	E
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	2.6	0	0	0	0
4	3	0.4	0.4	0	0
5	3	3	2.2	0	0
6	3	3	3	0	0
7	3	3	3	0	0
8	3	3	3	2	0
9	3	3	3	3	0
10	3	3	3	3	0

หมายเหตุ ค่าความเค็มของน้ำทะเลเท่ากับ 3%

แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการสูบน้ำ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบตำแหน่งสูงสุดที่มีค่าความเค็มเท่ากับน้ำทะเลเมื่อทำการสูบน้ำ (แสดงโดยจุดสีแดง)

3. แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึม

ปริมาณน้ำของการสูบน้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง $q_{in} = 0.225 \text{ cm}^3/\text{s}$

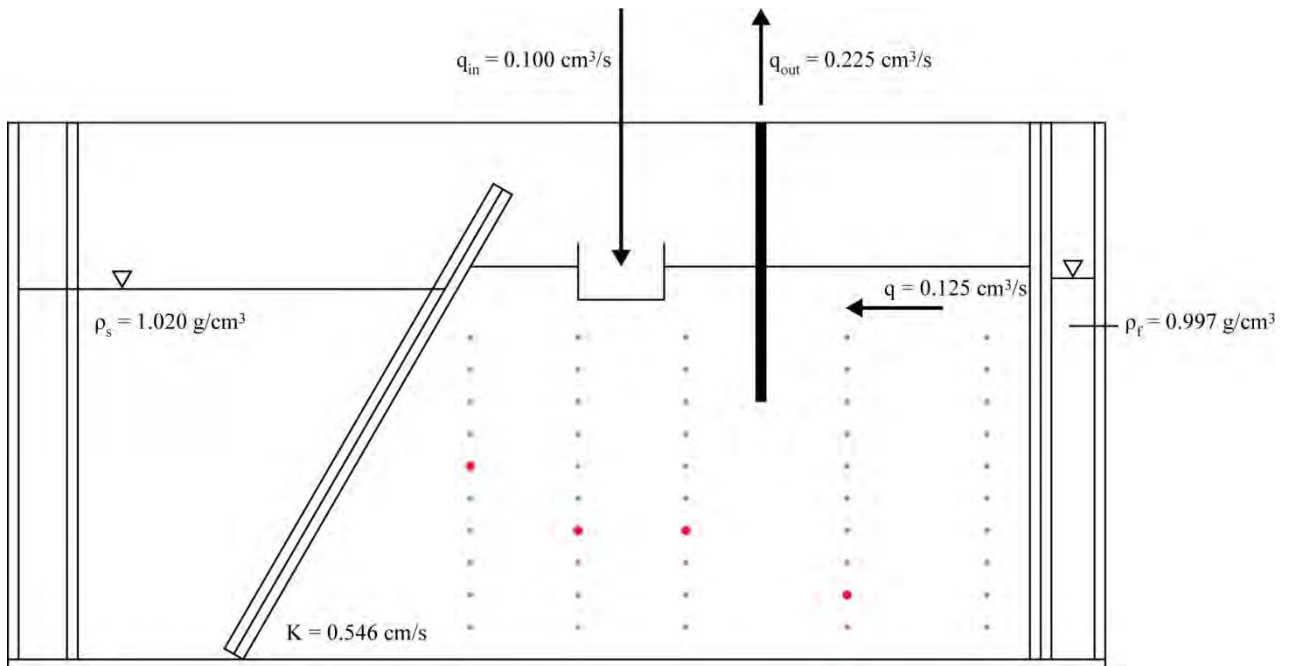
ปริมาณน้ำของการเติมน้ำในบ่อน้ำซึมต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง $q_{out} = 0.100 \text{ cm}^3/\text{s}$

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบเมื่อทำเติมน้ำในบ่อน้ำซึม (เปอร์เซ็นต์ความเค็ม)

	A	B	C	D	E
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	2	0	0	0	0
4	2.6	0	0	0	0
5	3	2.2	0.4	0	0
6	3	2.6	2.4	0	0
7	3	3	3	0	0
8	3	3	3	0	0
9	3	3	3	3	0
10	3	3	3	3	0

หมายเหตุ ค่าความเค็มของน้ำทะเลเท่ากับ 3%

แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึม แสดงดังรูปที่ 3.5

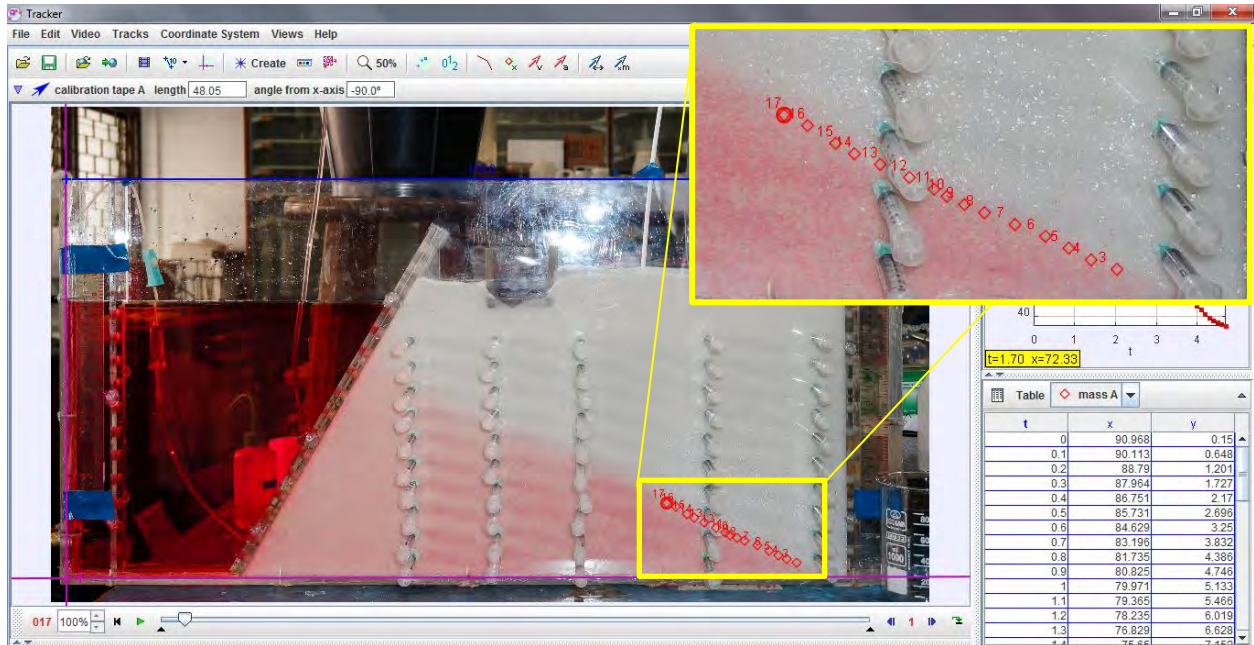


รูปที่ 3.5 ค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบตำแหน่งสูงสุดที่มีค่าความเค็มเท่ากับน้ำทะเล

เมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึม (แสดงโดยจุดสีแดง)

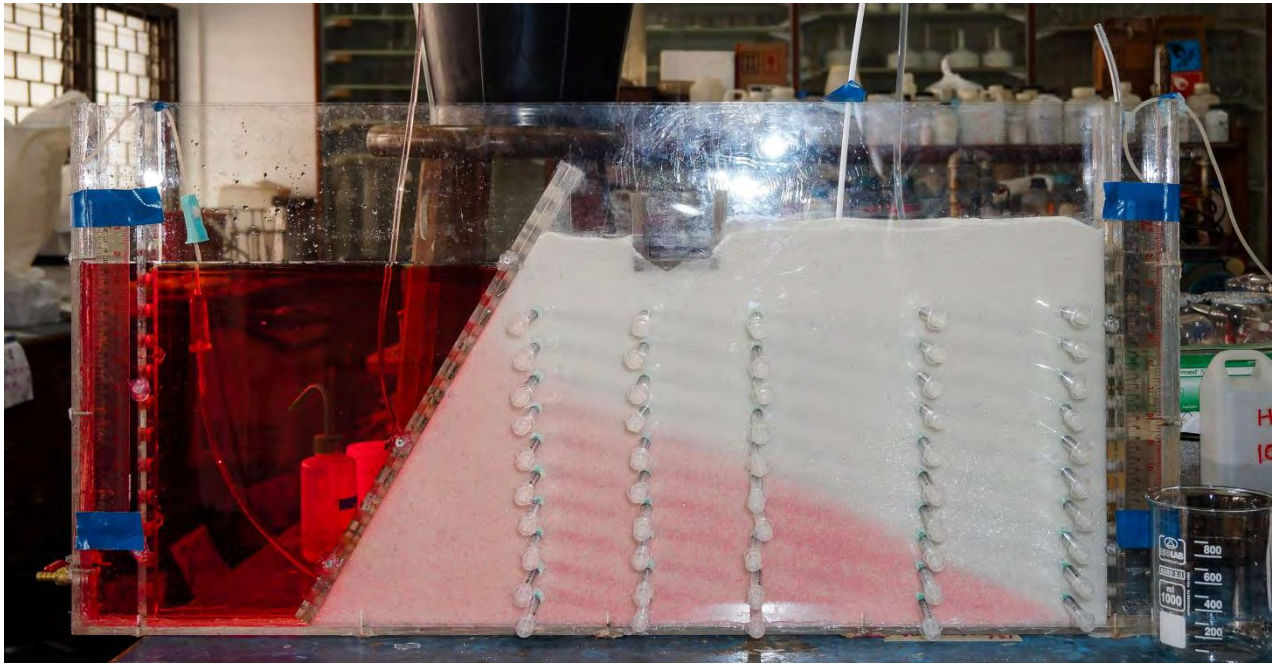
3.2.3 การแปลจากภาพสีย้อมของน้ำทะเล

การแปลความโดยใช้ภาพถ่ายแล้วใช้ โปรแกรม Tracker 4.84 ในการหาตำแหน่งที่สีย้อมเข้มข้นชัดเจนซึ่งแสดงแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืด

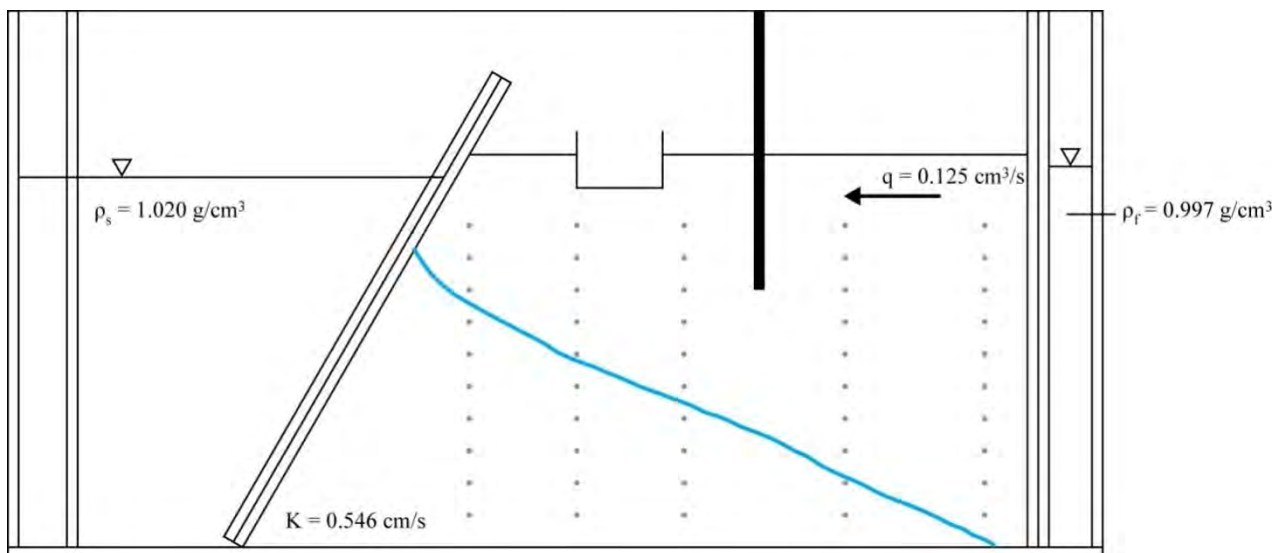


รูปที่ 3.6 การใช้งานโปรแกรม Tracker 4.84

1. แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดในสภาวะสมดุลอุทกสถิต แสดงดังรูปที่ 3.7 และ 3.8

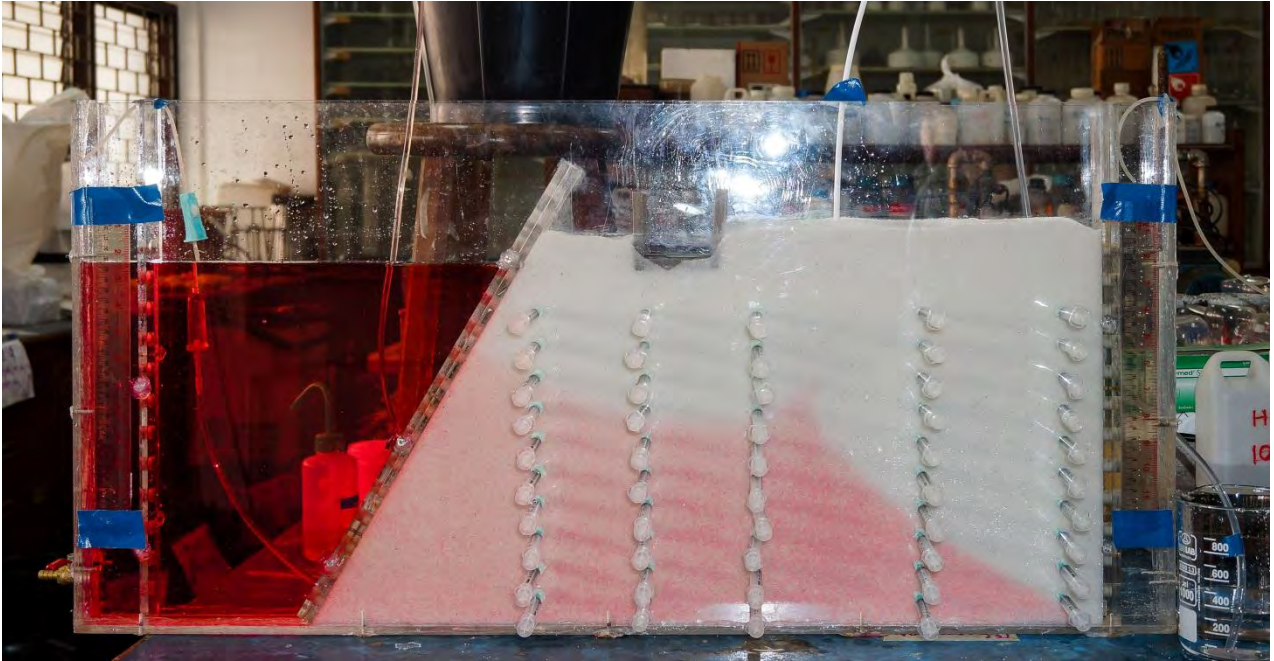


รูปที่ 3.7 ภาพสีย้อมของน้ำทะเลแสดงแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดในสภาวะสมดุลอุทกสถิต

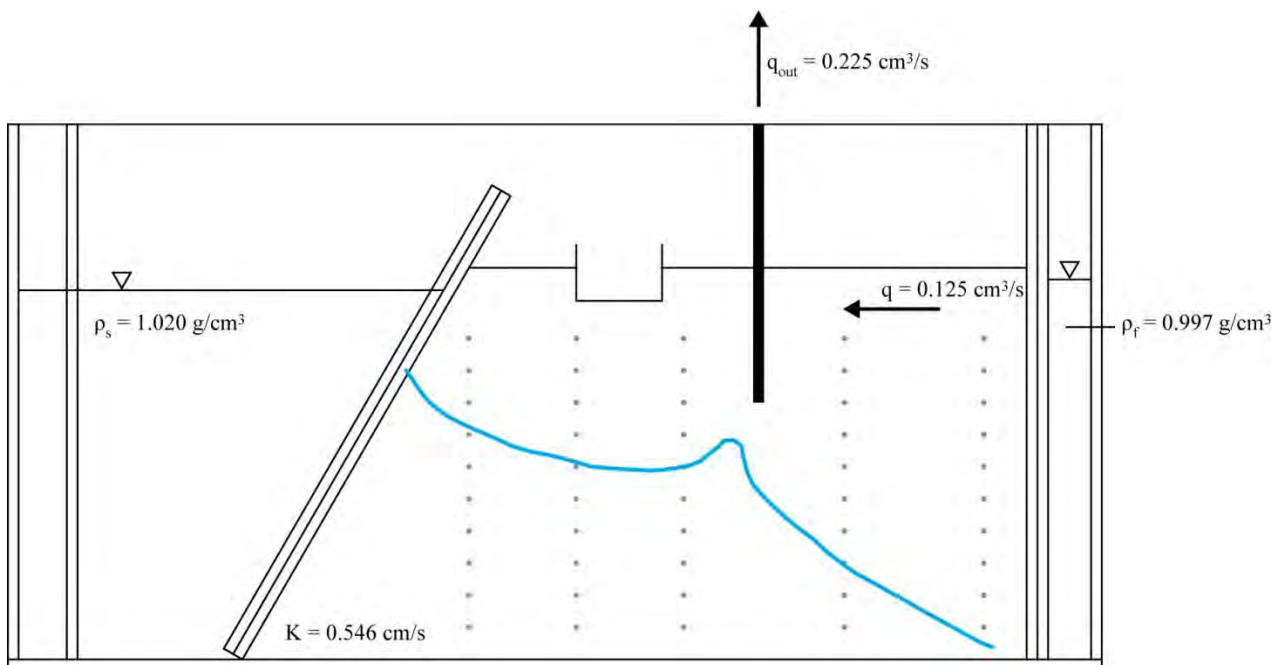


รูปที่ 3.8 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปรสภาพสีย้อมของน้ำทะเล
ในสภาวะสมดุลอุทกสถิต (แสดงโดยเส้นสีฟ้า)

2. แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการสูบน้ำ แสดงดังรูปที่ 3.9 และ 3.10
ปริมาณน้ำของการสูบน้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง $q_{in} = 0.225 \text{ cm}^3/\text{s}$



รูปที่ 3.9 ภาพสีย้อมของน้ำทะเลแสดงแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการสูบน้ำ

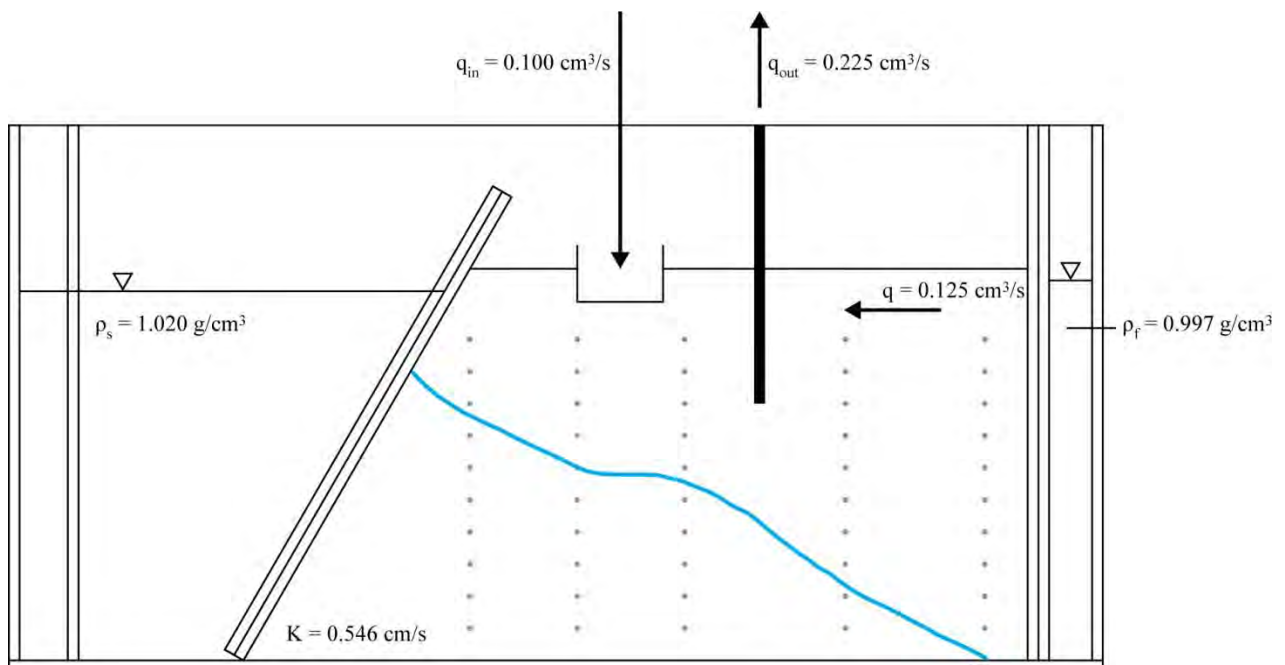


รูปที่ 3.10 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปลภาพสีย้อมของน้ำทะเล
เมื่อทำการสูบน้ำ(แสดงโดยเส้นสีฟ้า)

3. แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำเติมน้ำในบ่อน้ำซึม แสดงดังรูปที่ 3.11 และ 3.12
 ปริมาณน้ำของการสูบน้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง $q_{in} = 0.225 \text{ cm}^3/\text{s}$
 ปริมาณน้ำของการเติมน้ำในบ่อน้ำซึมต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง $q_{out} = 0.100 \text{ cm}^3/\text{s}$



รูปที่ 3.11 ภาพสัณยัคมของน้ำทะเลแสดงแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึม



รูปที่ 3.12 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปลภาพสัณยัคมของน้ำทะเลเมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึม (แสดงโดยเส้นสีฟ้า)

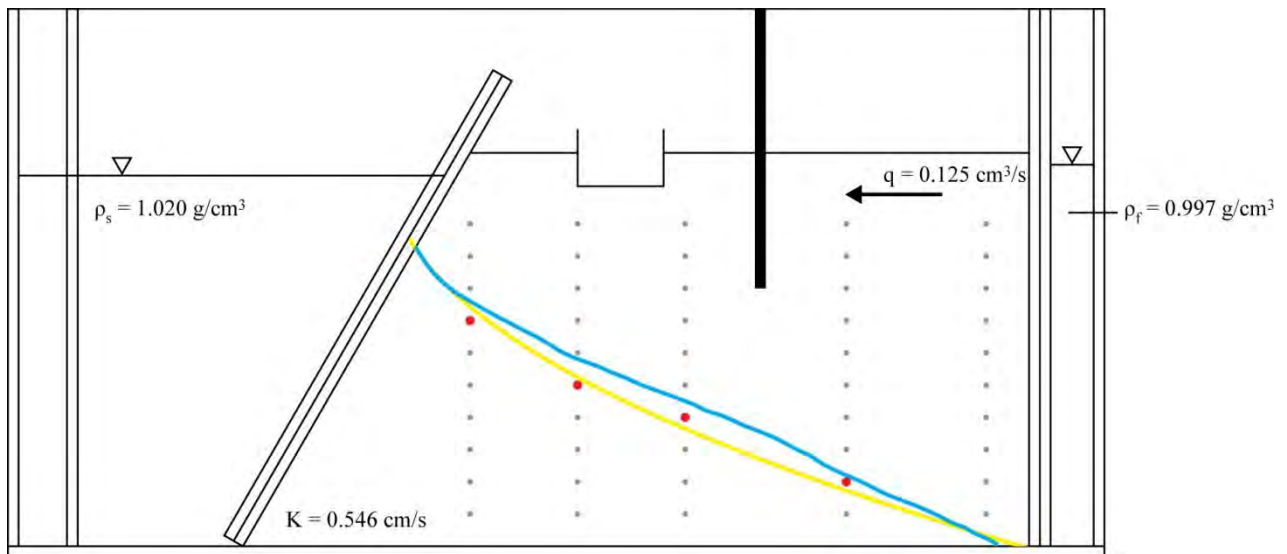
บทที่ 4

อภิปรายผล (Discussions)

4.1 เปรียบเทียบแนวรอยต่อของน้ำทะเลและน้ำจืดในวิธีการทดลองต่างๆ

4.1.1 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดในสภาวะสมดุลอุทกสถิต

เมื่อเปรียบเทียบแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดในสภาวะสมดุลอุทกสถิตจากการคำนวณจากสมการ Glover และการทดลองพบว่าแนวรอยต่อใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.1 กล่าวคือสมการ Glover เมื่อเปรียบเทียบกับ ค่าความเค็มมีค่า $R^2=0.99$ และมีค่า $R^2=0.98$ เมื่อเปรียบเทียบกับ การแปลงภาพสี่ขั้ว โดยการแปลงแนวรอยต่อจากการแปลงภาพสี่ขั้วจะอยู่สูงกว่า เนื่องจากตำแหน่งจุดตรวจสอบค่าความเค็มมีความละเอียดที่น้อยกว่า (ตำแหน่งตรวจสอบค่าความเค็มมีจำนวนน้อย)



รูปที่ 4.1 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดในสภาวะสมดุลอุทกสถิต

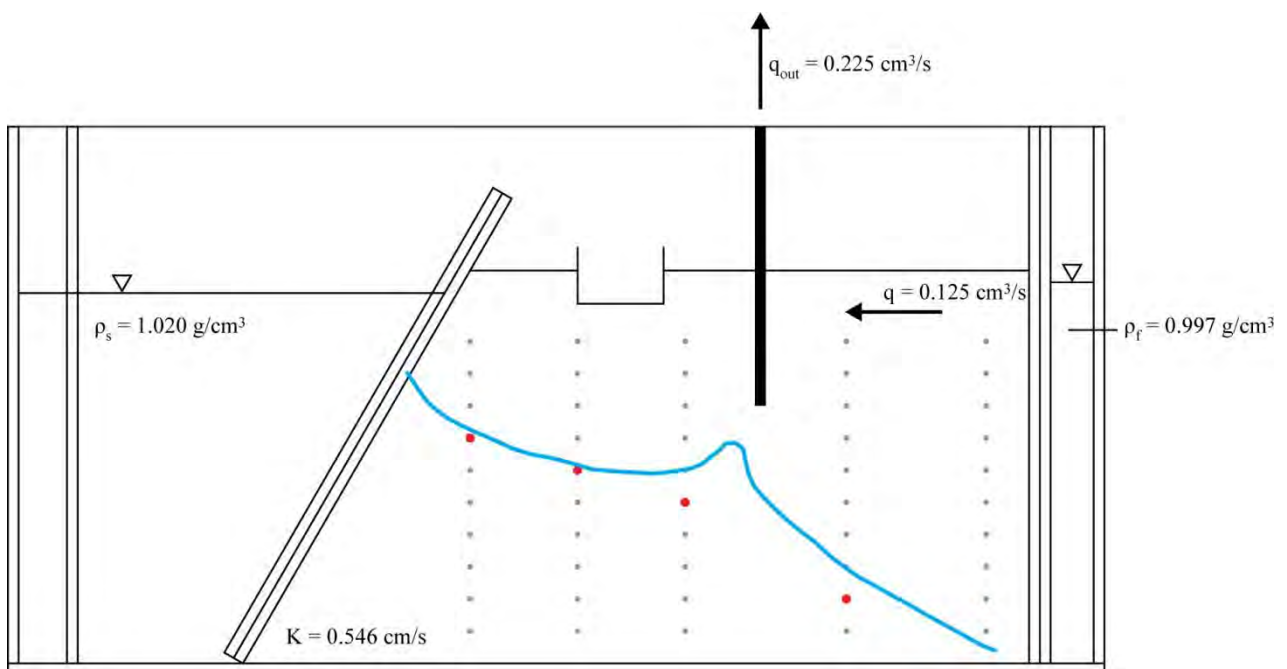
สมการของ Glover (แสดงโดยเส้นสีเหลือง)

ค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบตำแหน่งสูงสุดที่มีค่าความเค็มเท่ากับน้ำทะเล (แสดงโดยจุดสีแดง)

แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปลงภาพสี่ขั้วของน้ำทะเล (แสดงโดยเส้นสีฟ้า)

4.1.2 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการสูบน้ำ

เมื่อเปรียบเทียบแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการสูบน้ำจากการทดลองพบว่า มีแนวรอยต่อต่ำลงเล็กน้อยบริเวณใกล้ชายฝั่ง และสูงขึ้นในบริเวณถัดออกมา โดยบริเวณที่สูงที่สุดอยู่ใกล้กับบ่อสูบน้ำ เนื่องจากการสูบน้ำทำให้ระดับน้ำบาดาลต่ำลงเป็นรูปกรวยเรียกว่า Cone of depression เมื่อระดับน้ำบาดาลต่ำลง ส่งผลให้แรงดันของน้ำบาดาลจะลดลง ทำให้น้ำทะเลดันขึ้นมาได้สูงขึ้น ตามความสัมพันธ์ Ghyben-Herzberg โดยการแปลแนวรอยต่อจากการแปลภาพสีย่อมจะอยู่สูงกว่า เนื่องจากตำแหน่งจุดตรวจสอบค่าความเค็มมีความละเอียดที่น้อยกว่า(ตำแหน่งตรวจสอบค่าความเค็มน้อย)



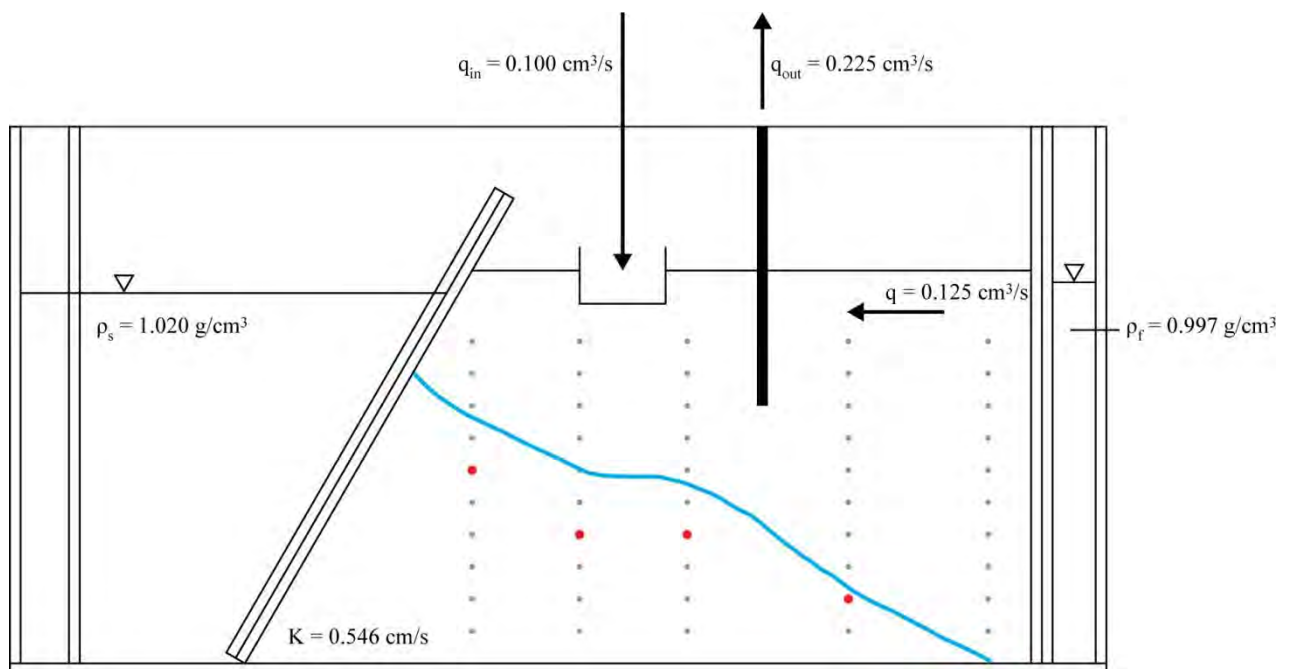
รูปที่ 4.2 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการสูบน้ำ

ค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบตำแหน่งสูงสุดที่มีค่าความเค็มเท่ากับน้ำทะเล (แสดงโดยจุดสีแดง)

แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปลภาพสีย่อมของน้ำทะเล (แสดงโดยเส้นสีฟ้า)

4.1.3 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึม

เมื่อเปรียบเทียบแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึมจากการทดลอง พบว่ามีแนวรอยต่อต่ำลง โดยเฉพาะบริเวณใกล้กับบ่อสูบน้ำ เนื่องจากการเติมน้ำจะเพิ่มระดับน้ำบาดาล ส่งผลให้มีแรงดันของน้ำบาดาลมากขึ้น จึงไปดันน้ำทะเลให้อยู่ต่ำลงไป ตามความสัมพันธ์ Ghyben-Herzberg โดยการแปลแนวรอยต่อจากการแปลภาพสีย้อมจะอยู่สูงกว่าเนื่องจากตำแหน่งจุดตรวจสอบค่าความเค็มมีความละเอียดที่น้อยกว่า(ตำแหน่งตรวจสอบค่าความเค็มน้อย)



รูปที่ 4.3 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดเมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึม

ค่าความเค็มที่จุดตรวจสอบตำแหน่งสูงสุดที่มีค่าความเค็มเท่ากับน้ำทะเล (แสดงโดยจุดสีแดง)

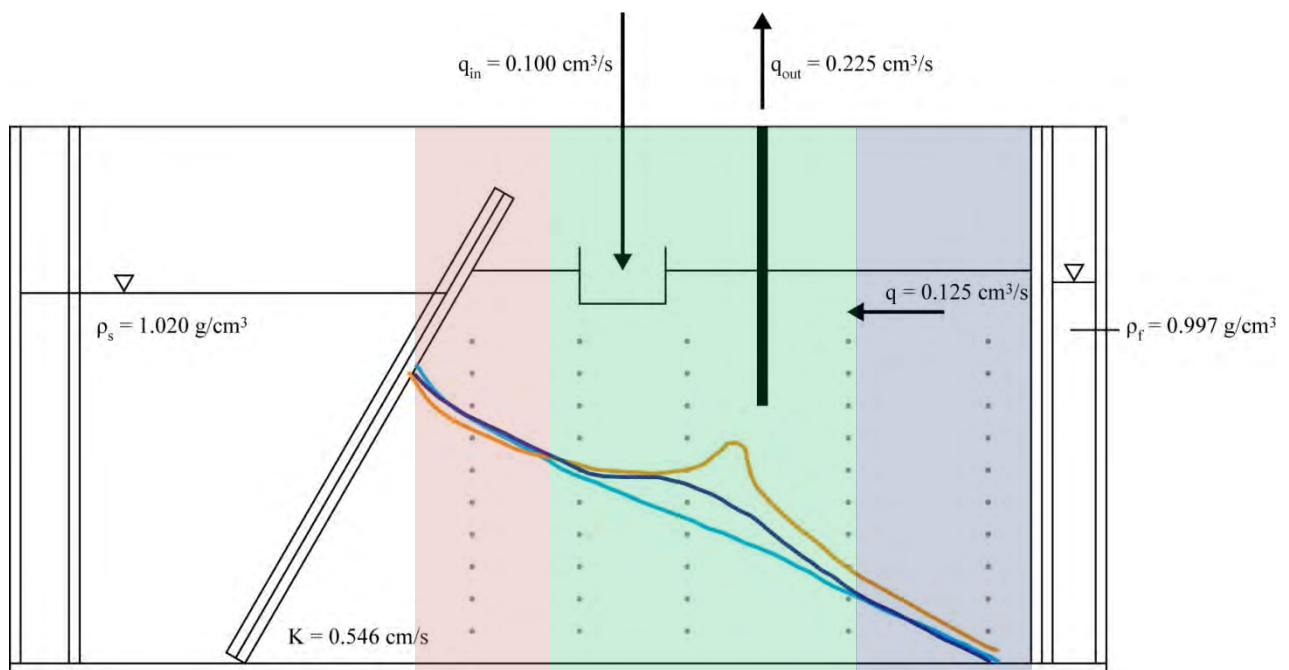
แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปลภาพสีย้อมของน้ำทะเล (แสดงโดยเส้นสีฟ้า)

4.2 การจำลองการแก้ไขปัญหาการรुकูล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดันโดยวิธีบ่อน้ำซึม

การตรวจสอบค่าความเค็มและการแปรสภาพสีย้อมของน้ำทะเลทำให้ทราบว่า การแก้ไขปัญหาด้วยวิธีบ่อน้ำซึมจะส่งผลแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดมีการเปลี่ยนแปลงโดยแบ่งเป็น 3 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 4.4

1. ช่วงก่อนหน้าบ่อน้ำซึม: เมื่อทำการสูบน้ำแนวรอยต่อจะต่ำลง และเมื่อทำการเติมน้ำแนวรอยต่อจะกลับเข้าสู่สภาวะสมดุลอุทกสถิต
2. ช่วงบริเวณบ่อน้ำซึมจนถึงหลังบ่อสูบลึกน้อย: เมื่อทำการสูบน้ำแนวรอยต่อจะสูงขึ้นมาก และเมื่อทำการเติมน้ำแนวรอยต่อจะต่ำลงมาก
3. ช่วงบริเวณห่างจากบ่อสูบลึกออกไป: เมื่อทำการสูบน้ำแนวรอยต่อจะสูง และเมื่อทำการเติมน้ำแนวรอยต่อจะกลับเข้าสู่สภาวะสมดุลอุทกสถิต

เนื่องจากการเติมน้ำในบ่อน้ำซึมจะเป็นการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลแทนที่น้ำที่สูบลึกออกไป และเป็นการเติมเฉพาะบริเวณ ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาการรुकูล้ำของน้ำทะเลเฉพาะจุดได้ และจากการแปรสภาพสีย้อมของน้ำทะเลเมื่อคิดพื้นที่ (หน้าตัด 2 มิติ) จะพบว่า การแก้ไขปัญหาโดยวิธีบ่อน้ำซึมทำให้พื้นที่น้ำทะเลรुकูล้ำลดลง 56 %



รูปที่ 4.4 แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดจากการแปรสภาพสีย้อมของน้ำทะเล

ในสภาวะสมดุลอุทกสถิต (แสดงโดยเส้นสีฟ้า) เมื่อทำการสูบน้ำ (แสดงโดยเส้นสีส้ม)

และเมื่อทำการเติมน้ำ (แสดงโดยเส้นสีน้ำเงิน)

และการแบ่งช่วงการเปลี่ยนแปลงเป็น 3 ช่วงตามสี แดง เขียว และน้ำเงิน

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ (Conclusion and recommendations)

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการทดลองในแบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ โดยใช้การตรวจสอบค่าความเค็มและการแปลภาพสีย้อมของน้ำทะเลเพื่อหาแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำบาดาล สามารถอธิบายการรुक้าของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดัน ซึ่งเป็นไปตามสมการของ Glover โดยการแปลแนวรอยต่อจากการแปลภาพสีย้อมจะอยู่สูงกว่าเนื่องจากตำแหน่งจุดตรวจสอบค่าความเค็มมีความละเอียดที่น้อยกว่าเนื่องจาก จุดตรวจสอบค่าความเค็มให้ความละเอียดที่น้อยกว่า

การจำลองการแก้ไขปัญหาการรुक้าของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลไร้แรงดันโดยวิธีบ่อน้ำซึม ในทดลองพบว่าเป็นการแก้ไขปัญหาการรुक้าของน้ำทะเลที่ส่งผลต่อบริเวณบ่อน้ำซึมและบริเวณหลังจากบ่อน้ำซึม ซึ่งทำให้แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำบาดาลลดลง เนื่องจากการเติมน้ำจะเพิ่มระดับน้ำบาดาล ส่งผลให้มีแรงดันของน้ำบาดาลมากขึ้น จึงไปดันน้ำทะเลให้อยู่ต่ำลงไป ตามความสัมพันธ์ Ghyben-Herzberg

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ออกแบบแบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติใหม่

- ออกแบบแบบจำลองให้มีขนาดเล็กลง เนื่องจากทำการทดลองยากจากน้ำหนักที่มากของแบบจำลอง และมีปัญหาเรื่องความแข็งแรงของวัสดุ

- มีจำนวนจุดตรวจวัดความเค็มมากขึ้น เพื่อให้สามารถสร้างแนวรอยต่อให้มีความละเอียดมากขึ้น

- ไม่จำเป็นต้องมีการทำชายฝั่งแนวเฉียง เพื่อลดขนาดแบบจำลอง

5.2.2 การเตรียมการทดลอง

- ใช้ขนาดทรายที่มีช่วงแคบลง และขนาดเล็กลง เพื่อให้ทรายมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น และค่าสภาพการนำชลศาสตร์ต่ำลง เพื่อให้สามารถลดค่าปริมาณไหลของน้ำบาดาล แต่ทำให้แนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำจืดอยู่ตำแหน่งเดิมตามสมการของ Glover

5.2.3 วิธีการทดลอง

- มีการทดลองหลายครั้งและเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ ในการทดลอง เช่น ปริมาณน้ำของการสูบน้ำ และ ปริมาณน้ำของการเติมน้ำในบ่อน้ำซึม
- เพิ่มบ่อสูบน้ำหลายบ่อ เพื่อจำลองการแก้ไขปัญหาการรुकข์ของน้ำทะเลด้วยวิธีบ่อน้ำซึมในกรณีต่างๆ

เอกสารอ้างอิง (References)

- Aharmouch A. and Larabi. A. (2001) Numerical modeling of saltwater interface upconing in coastal aquifers. First international conference on saltwater intrusion and coastal aquifers-monitoring, modeling, and management. Essaouira, Morocco, April 23-25, 2001
- Alyamani, M.S. and Sen, Z. (1993) Determination of Hydraulic Conductivity from Grain-Size Distribution Curves. *Ground Water*, 31 : 551-555.
- Chang S. W. and Clement T. P. (2012) Experimental and numerical investigation of saltwater intrusion dynamics in flux controlled groundwater systems. *Water Resource Research* 48, W09527
- Chang S. W. and Clement T. P. (2013) Laboratory and numerical investigation of transport processes occurring above and within a saltwater wedge. *Journal of Contaminant Hydrology* V.147: 14-24
- Fitts C.R. (2002) *Groundwater Science*. Academic, San Diego: 450p.
- Todd, D. K. and Mays, L. W. (2005) *Groundwater Hydrology* 3rd Edition. John Wiley and Sons, Inc. : 636p.
- Weingchanda, P. and Fuenkajorn, K. (2010) Laboratory simulations of seawater intrusion and controlling methods. The EIT-JSCE Joint Symposium on Engineering for Geo-Hazards: Earthquakes and Landslides-for surface and subsurface Structure, Imperial Queen's Park Hotel, Bangkok, Thailand, 6-8 September 2010: 1-8.

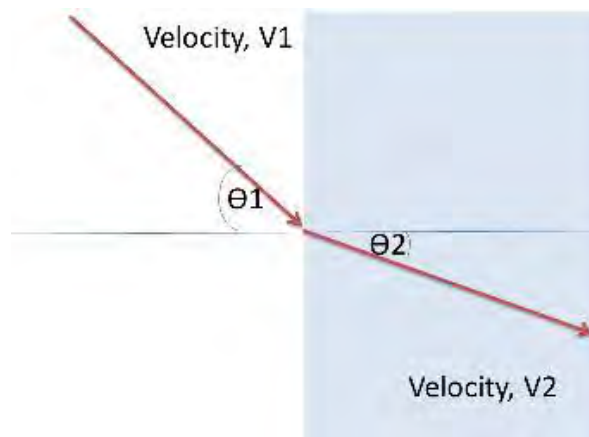
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เครื่องวัดความเค็ม (Salinity refractometer)

เครื่องวัดความเค็ม (Salinity refractometer) เป็นเครื่องมือวัดปริมาณเกลือมีหน่วยเป็นความเข้มข้น หรือ เปอร์เซ็นต์ (มวลของเกลือ/มวลทั้งหมด)

ในการทดลองนี้ ได้ใช้เครื่องวัดความเค็ม รุ่น RHS-28/ATS ซึ่งเป็นแบบ Hand held refractometer มีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา และใช้งานง่าย หลักการทำงานเป็นการวัดดัชนีหักเหของแสง (Refractive index) เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งสู่อีกตัวกลางหนึ่ง ทำให้มุม และความเร็ว (Velocity) ของแสงแตกต่างกันดังรูปที่ 6.1 โดยสารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันเมื่อแสงส่องผ่านจะเกิดการหักเห และให้ค่าดัชนีหักเหของแสงต่างกัน ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงนำมาประยุกต์ใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายได้ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2013)



รูปที่ ก.1 การหักเหของแสงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างกัน

ที่มา www.foodnetworksolution.com



รูปที่ ก.2 เครื่องวัดความเค็ม(Salinity refractometier) รุ่น RHS-28/ATS

(www.amazon.com)

วิธีการวัดค่าความเค็ม

- 1.ทำการตั้งค่าเริ่มต้นของเครื่อง(Calibration) โดยการหยดน้ำจืด 2-3 หยดบนแผ่นปริซึม ปิดด้วยแผ่นปิดทิ้งไว้ 30 วินาที แล้วส่องมองผ่านช่องในที่มีแสง จะมองเห็นเป็นแถบสี เลื่อนแนวรอยต่อให้เป็นค่า 0
- 2.หยดสารละลายที่ต้องการทราบค่าความเค็ม 2-3 หยด บนแผ่นปริซึม ปิดด้วยแผ่นปิด แล้วส่องมองผ่านช่องในที่มีแสง จะมองเห็นเป็นแถบสี อ่านค่าตัวเลขตามสเกลที่เครื่องกำหนดไว้ เป็นเปอร์เซ็นต์ของความเค็ม

ภาคผนวก ข


การใช้งานโปรแกรม Tracker 4.84

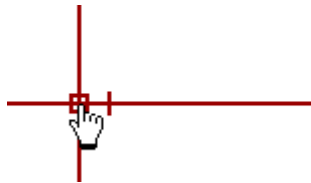
โปรแกรม Tracker คือโปรแกรมฟรีแวร์ใช้สำหรับวิเคราะห์ภาพวิดีโอ ในงานด้านฟิสิกส์ โดยนำมาประยุกต์ใช้งานการหาแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำบาดาลดังนี้ (www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker)

1. แปลภาพถ่ายให้เป็นภาพวิดีโออย่างน้อย 100 เฟรม
2. นำวิดีโอเข้าโปรแกรม Tracker 4.84

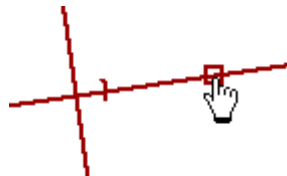
คลิก File -> Open file -> เลือกไฟล์วิดีโอที่ต้องการ

3. กำหนดตำแหน่งจุดกำเนิด

- 1) คลิกปุ่ม  แล้วทำการกำหนดตำแหน่งจุดกำเนิดลงบนวิดีโอ
- 2) สามารถปรับตำแหน่งได้ใหม่โดยการคลิกค้างที่จุดกำเนิดและเลื่อน



- 3) สามารถปรับองศาของแกนได้โดยการคลิกค้างที่แกนและเลื่อน



4. กำหนดขนาดอ้างอิงของภาพ

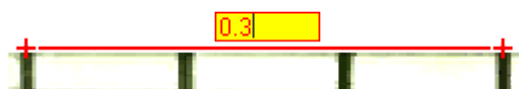
- 1) คลิกปุ่ม  และเลือกคำสั่ง Calibration Stick จะปรากฏเส้นขึ้นมา




- 2) คลิกค้างและเลื่อนตำแหน่งปลายทั้งสองด้านของเส้นไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

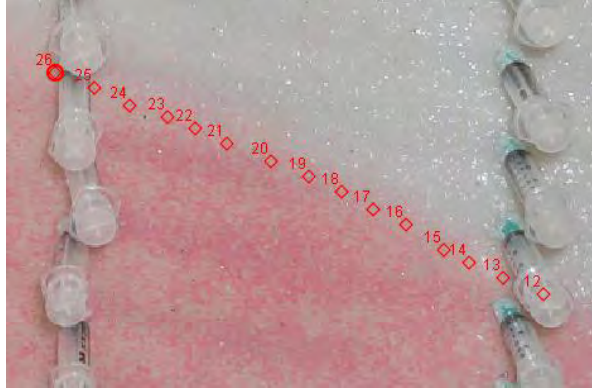


- 3) คลิกตัวเลขเพื่อกำหนดค่าความยาว



5. สร้างจุดพิกัดเพื่อเก็บค่าพิกัดรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำบาดาล

- 1) คลิกปุ่ม  และเลือกคำสั่ง Point mass
- 2) กด Shift แล้วคลิกที่วิดีโอเพื่อหาค่าพิกัดรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำบาดาล

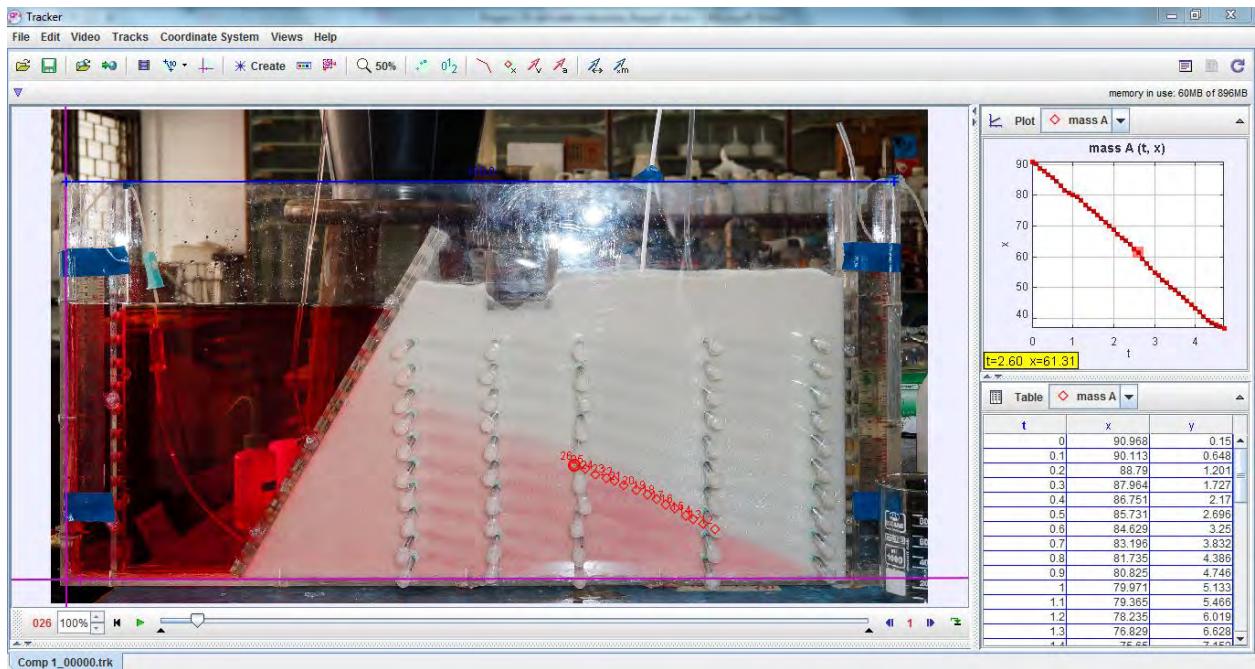


- 3) ทำข้อที่ 2 ไปเรื่อยๆ จนได้เป็นแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำบาดาล

6. นำข้อมูลจาก Tracker 4.84 ไปใช้งานต่อไป

คัดลอกข้อมูลจากตารางทางด้านขวาล่างของโปรแกรม

t	x	y
0	90.968	0.15
0.1	90.113	0.648
0.2	88.79	1.201
0.3	87.964	1.727
0.4	86.751	2.17
0.5	85.731	2.696
0.6	84.629	3.25
0.7	83.196	3.832
0.8	81.735	4.386
0.9	80.825	4.746
1	79.971	5.133
1.1	79.365	5.466
1.2	78.235	6.019
1.3	76.829	6.628
1.4	75.65	7.159



รูปที่ ข.1 การใช้โปรแกรม Tracker 4.84 ในการหาแนวรอยต่อระหว่างน้ำทะเลและน้ำบาดาล

เส้นสีชมพู แสดงแกน X และ แกน Y

เส้นสีน้ำเงิน แสดง Calibration Stick

จุดสีแดง แสดง Point mass

3. การคำนวณพื้นที่น้ำทะเลรุก陸้าที่ลดลงจากวิธีบ่อน้ำซึม

การคำนวณพื้นที่น้ำทะเลรุก陸้าที่ลดลง มีแนวความคิดว่าการสูบน้ำทำให้พื้นที่น้ำทะเลรุก陸้าเพิ่มขึ้น 100% เมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึมจะทำให้พื้นที่ทะเลรุก陸้าลดลง โดยคำนวณเฉพาะบริเวณบ่อน้ำซึมและบริเวณหลังจากบ่อน้ำซึม เป็นตามสมการที่ ค.1

$$\frac{A_{pump} - A_{pond}}{A_{pump} - A_{balance}} \dots\dots(ค.1)$$

โดย	$A_{balance}$	คือ พื้นที่น้ำทะเลรุก陸้าในสภาวะสมดุลทุกสถิติ
	A_{pump}	คือ พื้นที่น้ำทะเลรุก陸้าจากการสูบน้ำ
	A_{pond}	คือ พื้นที่น้ำทะเลรุก陸้าเมื่อทำการเติมน้ำในบ่อน้ำซึม