



รหัสโครงการ SUT7-719-54-24-39

รายงานการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีป้องกันการรุกล้ำของน้ำทะเล
ในชั้นน้ำบาดาลด้วยแบบจำลองทางกายภาพ

Performance Assessment of Methods for Controlling
Seawater Intrusion in Aquifer by Using Physical Models

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รหัสโครงการ SUT7-719-54-24-39

รายงานการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีป้องกันการรุกล้ำของน้ำทะเล
ในชั้นน้ำบาดาลด้วยแบบจำลองทางกายภาพ

Performance Assessment of Methods for Controlling
Seawater Intrusion in Aquifer by Using Physical Models

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร.ปรัชญา เทพนรงค์

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติเทพ เฟื่องขจร

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 และ 2555

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2555

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2554-2555 ซึ่งงานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงได้ดีก็ด้วยความช่วยเหลือจากทีมงานหน่วยวิจัยกลศาสตร์ธรณีในการทดสอบและ นางสาวกัญญา พับโพธิ์ ในการพิมพ์รายงานการวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย

กรกฎาคม 2555



บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาการจำลองการรुकูล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลที่ไม่มีชั้นหินปิดทับและทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการแก้ไขหรือบรรเทาปัญหาการรुकูล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลที่ไม่มีชั้นหินปิดทับ โดยใช้แบบจำลองเชิงกายภาพที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ วิธีการแก้ไขที่ศึกษาประกอบด้วย การสร้างแนวบ่ออัดน้ำจืด การสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง และการสร้างแนวทึบน้ำใต้ดิน ผลที่ได้จากการทดสอบแบบสภาวะตามธรรมชาติและจากการคำนวณตามความสัมพันธ์ของ Ghyben-Herzberg มีค่าสอดคล้องกัน ผลกระทบจากการสูบน้ำจะทำให้แนวรอยต่อระหว่างชั้นน้ำบาดาลและน้ำเค็มเคลื่อนตัวไปยังบ่อสูบน้ำบาดาลทำให้เกิดความเค็มที่บ่อน้ำบาดาล แต่ทั้งนี้จะขึ้นกับอัตราการสูบน้ำ ความแตกต่างระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม และระดับน้ำเค็ม ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าเมื่อระดับความแตกต่างระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มมีค่าน้อยและมีอัตราการสูบน้ำที่สูงจะส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนน้ำเค็มที่บ่อสูบน้ำ การอัดน้ำจืดในอัตราประมาณร้อยละ 10 ของอัตราการเติมน้ำจืดจะส่งผลให้แนวรอยต่อระหว่างชั้นน้ำบาดาลและน้ำเค็มเคลื่อนตัวออกไปยังแนวชายฝั่งทะเล ส่งผลให้น้ำในบ่อสูบน้ำลดความเค็มหรือไม่มีความเค็มเลย ความมีประสิทธิภาพของแนวทึบน้ำใต้ดินขึ้นอยู่กับความลึกของแนวทึบน้ำใต้ดินที่อยู่ใต้ระดับน้ำเค็ม โดยผลจากการทดสอบพบว่าเมื่อความลึกของแนวทึบน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับเท่ากับระดับของน้ำเค็มจะส่งผลให้แนวทึบน้ำใต้ดินมีประสิทธิภาพมากที่สุด

Abstract

The objectives of this research are to simulate the seawater intrusion into unconfined aquifers and to assess the efficiency of the controlling methods by using scaled-down physical models. The controlling methods to be studied here include injection barrier, extraction wells, and subsurface barrier. Physical scaled-down model has been used to simulate salt water intrusion into unconfined aquifer near shoreline. The results indicate that under natural dynamic equilibrium between the recharge of fresh water and salt water intrusion the salinity measurements agree reasonably well with the solution given by Ghyben-Herzberg. Fresh water pumping (usage) notably move the fresh-salt water interface toward the well, depending on the pumping rates and the difference between the far-field discharge (fresh water reservoir) and salt water level (Δh). Fresh water injection near the shoreline is more favorable than salt water extraction. The fresh water injection rate of about 10% of the discharge rate at the well can effectively push the interface toward the shoreline, and keeping the pumping water free of salinity. The effectiveness of subsurface barrier technique depends heavily on the depth of the barrier below the salt water level. The optimum barrier depth of the barrier is equivalent to Δh which can effectively press the interface below the depth of the pumping well.

สารบัญ

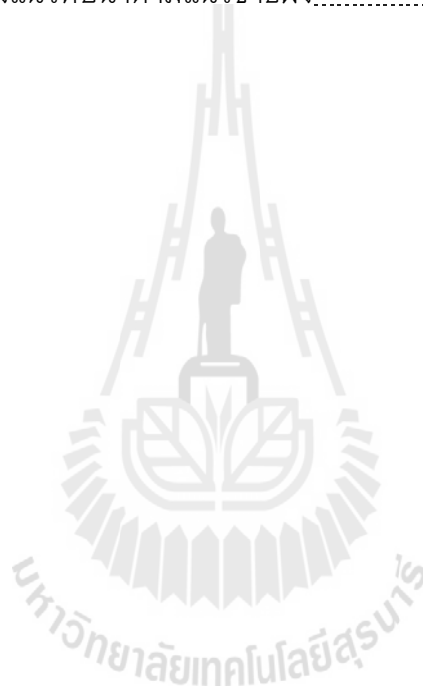
	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.6 ผลงานวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
1.7 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	11
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.1 คำจำกัดความและทฤษฎีพื้นฐาน.....	13
2.2 กรณีศึกษาที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 การออกแบบโครงทดสอบ.....	23
3.1 วัตถุประสงค์.....	23
3.2 การออกแบบโครงทดสอบ.....	23
3.3 โครงสร้างของโครงทดสอบและวัสดุในการทดสอบ.....	23
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	31
4.1 วัตถุประสงค์.....	31
4.2 วิธีการทดสอบ.....	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการทดสอบ.....	34
4.3.1 ผลการทดสอบภายใต้สภาวะธรรมชาติโดยไม่มีผลกระทบจาก การกระทำของมนุษย์.....	34
4.3.2 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำจืด.....	36
4.3.3 การจำลองการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวป้องกันน้ำจืด.....	36
4.3.4 การจำลองการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง	41
4.3.5 การจำลองการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวที่บ่อน้ำใต้ดิน.....	41
บทที่ 5 การทดสอบด้วยสีย้อม.....	49
5.1 วัตถุประสงค์.....	49
5.2 วิธีการทดสอบ.....	49
5.3 ผลการทดสอบ.....	49
5.3.1 ผลการทดสอบภายใต้สภาวะธรรมชาติโดยไม่มีผลกระทบจาก การกระทำของมนุษย์.....	49
5.3.2 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำจืด.....	49
5.3.3 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวป้องกันน้ำจืด.....	53
5.3.4 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตาม แนวชายฝั่ง.....	53
5.3.5 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวที่บ่อน้ำใต้ดิน.....	53
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	57
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	57
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
บรรณานุกรม.....	99
ประวัตินักวิจัย	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ.....	32
4.2 ผลการทดสอบโดยผันแปรอัตราการสูบน้ำจืด.....	39
4.3 ผลการทดสอบการสร้างแนวอัดน้ำจืด.....	42
4.4 ผลการทดสอบการสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง.....	44
4.5 ผลการทดสอบการสร้างแนวทึบน้ำตามแนวชายฝั่ง.....	47



สารบัญญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1	4
1.2	6
1.3	6
1.4	7
1.5	7
1.6	9
2.1	14
2.2	16
2.3	17
2.4	17
2.5	18
2.6	18
2.7	19
2.8	21
3.1	24
3.2	25
3.3	26
3.4	27
3.5	29
4.1	33
4.2	33

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ผลการทดสอบภายใต้สภาวะทางธรรมชาติ (เส้นทึบ) เปรียบเทียบกับการคำนวณจากสมการของ Ghyben–Herzberg solution (เส้นประ) ที่ $\Delta h = 10$ cm.....	35
4.4 ผลการทดสอบภายใต้สภาวะทางธรรมชาติ (เส้นทึบ) เปรียบเทียบกับการคำนวณจากสมการของ Ghyben–Herzberg solution (เส้นประ) ที่ $\Delta h = 5$ cm.....	35
4.5 รูปแบบการไหลของน้ำจืดในชั้นน้ำบาดาลที่ไม่มีชั้นหินปิดทับ.....	35
4.6 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 10$ cm, $Q_{FR} = 0.2$ cc/min.....	37
4.7 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 10$ cm, $Q_{FR} = 10$ cc/min.....	37
4.8 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 10$ cm, $Q_{FR} = 100$ cc/min.....	37
4.9 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 5$ cm, $Q_{FR} = 5$ cc/min.....	38
4.10 การทดสอบผลกระทบจากการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 5$ cm, $Q_{FR} = 30$ cc/min.....	38
4.11 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 5$ cm, $Q_{FR} = 70$ cc/min.....	38
4.12 ผลการจำลองการแก้ไขปัญหาโดยวิธีการสร้างแนวอัดน้ำจืดที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง $Q_{IN} = 7$ cc/min.....	40
4.13 ผลการจำลองการแก้ไขปัญหาโดยวิธีการสร้างแนวอัดน้ำจืดที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง $Q_{IN} = 15$ cc/min.....	40
4.14 ผลการจำลองการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการสร้างแนวอัดน้ำจืดที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง $Q_{IN} = 50$ cc/min.....	40
4.15 ผลการจำลองวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการสร้างแนวสูบน้ำเค็มที่ระดับ -10 cm, $Q_{SE} = 15$ cc/m.....	43
4.16 ผลการจำลองวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการสร้างแนวสูบน้ำเค็มที่ระดับ -10 cm, $Q_{SE} = 50$ cc/min.....	43
4.17 ผลการจำลองวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการสร้างแนวสูบน้ำเค็มที่ระดับ -10 cm, $Q_{SE} = 100$ cc/min.....	43
4.18 ผลการจำลองวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการสร้างแนวที่บ้น้ำดินที่ความลึก $D_B = -5$ cm.....	46
4.19 ผลการจำลองวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการสร้างแนวที่บ้น้ำดินที่ความลึก $D_B = -10$ cm.....	46

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 ผลการจำลองวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวที่บ้น้ำดินที่ความลึก $D_B = -15$ cm.....	46
5.1 ผลการทดสอบด้วยการใช้สีย้อมภายใต้สภาวะตามธรรมชาติที่ไม่มีการรบกวน จากมนุษย์ที่ $\Delta h = 10$ cm.....	50
5.2 ผลการทดสอบด้วยการใช้สีย้อมภายใต้สภาวะตามธรรมชาติที่ไม่มีการรบกวน จากมนุษย์ที่ $\Delta h = 5$ cm.....	51
5.3 ผลการทดสอบด้วยการใช้สีย้อมภายใต้สภาวะที่มีการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 5$ cm และ $Q_{FR} = 70$ cc/min.....	52
5.4 ผลการทดสอบวิธีการสร้างแนวบ่ออัดน้ำจืดที่ระดับน้ำทะเลปานกลางด้วยการใช้ สีย้อม โดยที่ $Q_N = 50$ cc/min.....	54
5.5 ผลการทดสอบวิธีการสร้างแนวบ่อสูบน้ำเค็มที่ระดับ 10 cm ต่ำกว่าระดับน้ำทะเล ด้วยสีย้อม โดยที่ $Q_{SE} = 50$ cc/min.....	55
5.6 ผลการทดสอบวิธีการสร้างแนวที่บ้น้ำใต้ดินที่ระดับความลึกด้วยสีย้อม 10 cm ต่ำกว่า ระดับน้ำทะเล.....	56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การรุกล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลตามแนวชายฝั่งทะเล (Seawater intrusion) เป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมประการหนึ่งสำหรับชุมชนและหน่วยงานภาคอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ตามแนวชายฝั่งที่ต้องใช้น้ำบาดาลเพื่อการอุปโภค-บริโภค การปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลที่เกิดจากความเค็มของน้ำทะเลแม้เพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์ ก็ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่อยู่บริเวณนั้น (Freeze and Cherry, 1979) สาเหตุการรุกล้ำของน้ำทะเลมีหลายประการ อาทิ การสูบน้ำบาดาลเพื่อใช้อุปโภค-บริโภคในอัตราสูง การลดปริมาณของน้ำฝน การทรุดตัวของชั้นดินที่เป็นแหล่งกักเก็บน้ำบาดาล และการเพิ่มระดับของน้ำทะเลเนื่องจากสภาวะโลกร้อน เป็นต้น ปัจจัยดังกล่าวทำให้เกิดการเสียสมดุลระหว่างแรงดันน้ำบาดาลและน้ำทะเล ความรุนแรงของปัญหาดังกล่าวอาจมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาวะทางธรณีวิทยาชายฝั่ง (ธรณีวิทยาโครงสร้างของชั้นกักเก็บน้ำบาดาล) อัตราการสูบน้ำบาดาล และสิ่งก่อสร้างที่มีอยู่ในพื้นที่นั้นๆ

การศึกษาการรุกล้ำของน้ำเค็มตามแนวชายฝั่งได้มีมากกว่า 100 ปี โดยเฉพาะเมื่อตามแนวชายฝั่งในทวีปยุโรป นักวิจัยในสมัยนั้นพบว่า ธรรมชาติของน้ำเค็มที่พบในชั้นน้ำบาดาลตามชายฝั่งจะอยู่ที่ความลึกประมาณ 40 เมตร ของความสูงของน้ำจืดเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล ในสภาวะสมดุลเช่นนี้แนวรอยต่อระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา อย่างไรก็ตามแนวรอยต่อดังกล่าวสามารถเคลื่อนตัวเข้ามาในแผ่นดินได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระบบสมดุล (การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลหรือระดับของชั้นน้ำบาดาลและน้ำทะเล) ปัจจุบันปัญหาการรุกล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลได้เกิดขึ้นเกือบทุกประเทศและทุกเมืองที่ตั้งอยู่บริเวณที่ราบที่มีชั้นดินตะกอนและชั้นหินกักเก็บน้ำบาดาลวางตัวอยู่ ปัญหานี้มีความรุนแรงเพิ่มขึ้นในปัจจุบันเนื่องจากประชากรโลกเพิ่มขึ้น การเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมที่จำเป็นต้องใช้น้ำบาดาลในการอุปโภค-บริโภค และท้ายสุดเกิดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่เป็นผลมาจากสภาวะโลกร้อน (Freeze and Cherry, 1979)

ได้มีผู้เสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างหลากหลายซึ่งแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไปตามแต่ละสภาวะพื้นที่ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของแนวทางการแก้ไขดังกล่าวยังมีได้มีการทดสอบอย่างจริงจังในภาคสนาม เนื่องจากปัจจัยทางด้านค่าใช้จ่ายและความไม่แน่ใจว่าวิธีดังกล่าวจะมีประสิทธิผลเพียงใด นอกจากนั้นแนวรอยต่อระหว่างชั้นน้ำ

บาดาลจืดและน้ำเค็มที่รุกล้ำเข้ามาที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์ของ Ghyben–Herberg (Todd and Mays, 2005) และใช้กันอย่างแพร่หลายนั้นยังมิได้มีการพิสูจน์อย่างจริงจังในห้องปฏิบัติการ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการแก้ไขหรือบรรเทาปัญหาการรุกล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลที่ไม่มีชั้นหินปิดกั้น (Unconfined aquifers) โดยใช้แบบจำลองเชิงกายภาพที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ วิธีการแก้ไขที่นำมาศึกษาประกอบด้วย (1) การเติมน้ำจืดลงไปในพื้นที่ใต้ดิน (Artificial Recharge) (2) การสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง (Extraction barrier) (3) การสร้างแนวบ่ออัดน้ำจืด (Injection barrier) และ (4) การสร้างแนวที่บ่อน้ำใต้ดิน (Subsurface barrier) ผลจากการวิจัยนอกจากจะแสดงประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการแก้ไขแล้วยังเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับการรุกล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล และสามารถพิสูจน์ความสัมพันธ์ของ Ghyben–Herberg ว่ามีความแม่นยำเพียงใด นอกจากนี้ผลงานวิจัยยังสามารถระบุผลกระทบของการสูบน้ำบาดาล การเพิ่มระดับน้ำทะเล และการลดลงของปริมาณน้ำฝน (discharge) ต่อการเคลื่อนตัวของแนวรอยต่อระหว่างชั้นน้ำบาดาลและน้ำเค็ม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) แบบจำลองเชิงกายภาพของการไหลในสองมิติ จะใช้เป็นตัวแทนภาพตัดขวางในแนวตั้งของชั้นน้ำบาดาลที่ไม่มีชั้นหินปิดกั้นและน้ำทะเล โดยแบบจำลองมีขนาด 1.6×1.6 m
- 2) ทำการทดสอบประสิทธิภาพของแนวทางการแก้ไขการรุกล้ำของน้ำทะเลทั้ง 4 วิธีที่ระบุในหัวข้อวัตถุประสงค์ที่กล่าวมาข้างต้น
- 3) สร้างสมการเชิงคณิตศาสตร์เพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์ด้านความลึกของน้ำเค็ม ความสูงของชั้นน้ำบาดาล อัตราการสูบน้ำบาดาล อัตราการสูบน้ำเค็ม ความลึกของแนวที่บ่อน้ำ และความสูงของน้ำทะเล
- 4) การทดสอบได้ดำเนินการที่อุณหภูมิต่ำ
- 5) นำทรายคัดขนาดมาใช้ในการจำลองชั้นน้ำบาดาลที่ไม่มีชั้นหินปิดกั้น และนำน้ำเกลือบริสุทธิ์มาละลายด้วยน้ำบริสุทธิ์เพื่อเป็นตัวแทนน้ำทะเลโดยให้มีความเข้มข้นที่เท่ากัน และมีการควบคุมระดับความเค็มให้สม่ำเสมอ
- 6) นำทรายแป้งมาใช้ในการจำลองแนวที่บ่อน้ำใต้ดิน
- 7) ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความเค็มในชั้นน้ำบาดาลที่มีผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นในเชิงเวลา

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

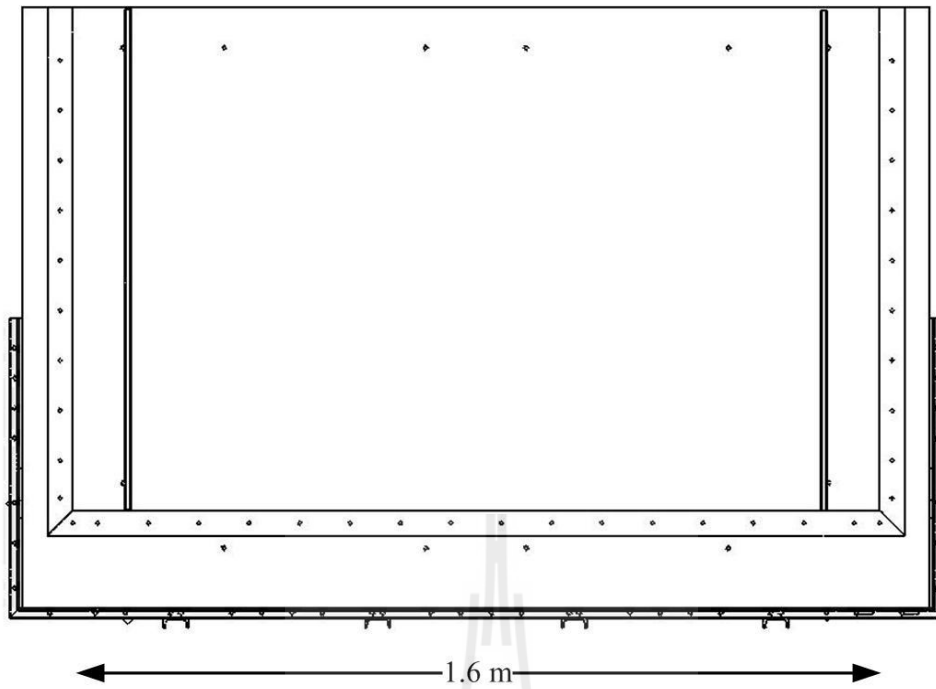
การศึกษาในโครงการวิจัยนี้จะเน้นไปที่การทดสอบด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพในห้องปฏิบัติการ โดยจะมีการจำลองในสองมิติด้วยการใช้โครงทดสอบที่มีอยู่แล้วในห้องปฏิบัติการของหน่วยวิจัยกลศาสตร์ธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อเป็นตัวแทนภาพตัดขวางในแนวตั้งของชั้นหินอุ้มน้ำและน้ำทะเล อีกทั้งยังเป็นแนวตั้งฉากกับแนวชายฝั่งทะเล ดังแสดงในรูปที่ 1.1 โดยโครงทดสอบดังกล่าวสามารถจำลองชั้นหินอุ้มน้ำย่อยส่วนตามแนวชายฝั่งโดยใช้ทรายคัดขนาดเป็นตัวแทนของชั้นหินและชั้นดิน ใช้น้ำเกลือบริสุทธิ์เป็นตัวแทนของน้ำทะเล และใช้น้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Distilled water) ในการจำลองการไหลของน้ำจืดในชั้นหิน แบบจำลองดังกล่าวสามารถจำลองการไหลและการผันแปรของน้ำจืดและการรุกล้ำของน้ำเค็มในเชิงเวลาได้ ในขณะที่ทดสอบสามารถตรวจวัดคุณสมบัติเชิงเคมีด้วยเครื่อง Refractor meter ซึ่งจะไม่มีผลกระทบต่อกรไหลของน้ำบาดาลในชั้นหินที่จุดต่างๆ ดังนั้นเพื่อศึกษาการผันแปรของค่าความเค็มในชั้นหินจึงมีการทดสอบหลายชุด โดยตัวแปรหลักที่สำคัญประกอบด้วยความลึกของระดับชั้นน้ำบาดาล ความสูงของระดับน้ำทะเล อัตราการสูบน้ำบาดาลและน้ำเค็ม อัตราการอัดน้ำจืด (หนึ่งในวิธีการแก้ไข) ความลึกของแนวที่บ่น้ำที่จำลองด้วยทรายแป้งและดิน เป็นต้น ผลที่ได้สามารถนำมาสร้างเส้นระดับของความเค็มในชั้นหินใกล้บริเวณชายฝั่งที่ตรวจวัดได้จากการจำลองระบบสมดุลของน้ำจืดและน้ำเค็มในสภาวะธรรมชาติ ซึ่งผลกระทบของการสูบน้ำบาดาล การรุกล้ำของน้ำเค็ม และประสิทธิภาพของวิธีการแก้ไขทั้ง 4 แบบ ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การค้นคว้าและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีการทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งจะรวมไปถึงทฤษฎีและกฎต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาจุดสมดุลเชิงพลศาสตร์ระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม วิธีการควบคุมหรือบรรเทาปัญหาการรุกล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล ผลกระทบของการสูบน้ำบาดาล การเพิ่มระดับน้ำทะเลและการลดลงของปริมาณน้ำฝนต่อการเคลื่อนตัวของแนวรอยต่อระหว่างชั้นน้ำบาดาลและชั้นน้ำเค็ม ผลการวิจัยที่ดำเนินมาแล้วทั้งในและต่างประเทศ ผลการทบทวนวรรณกรรมวิจัยทั้งหมดรวมทั้งรายการเอกสารอ้างอิงจะถูกสรุปไว้ในรายงานวิจัย ซึ่งแหล่งข้อมูลมาจากวารสารทางวิชาการ รายงานทางวิชาการ และรายงานการประชุมวิชาการ



รูปที่ 1.1 โครงทดสอบในห้องปฏิบัติการ



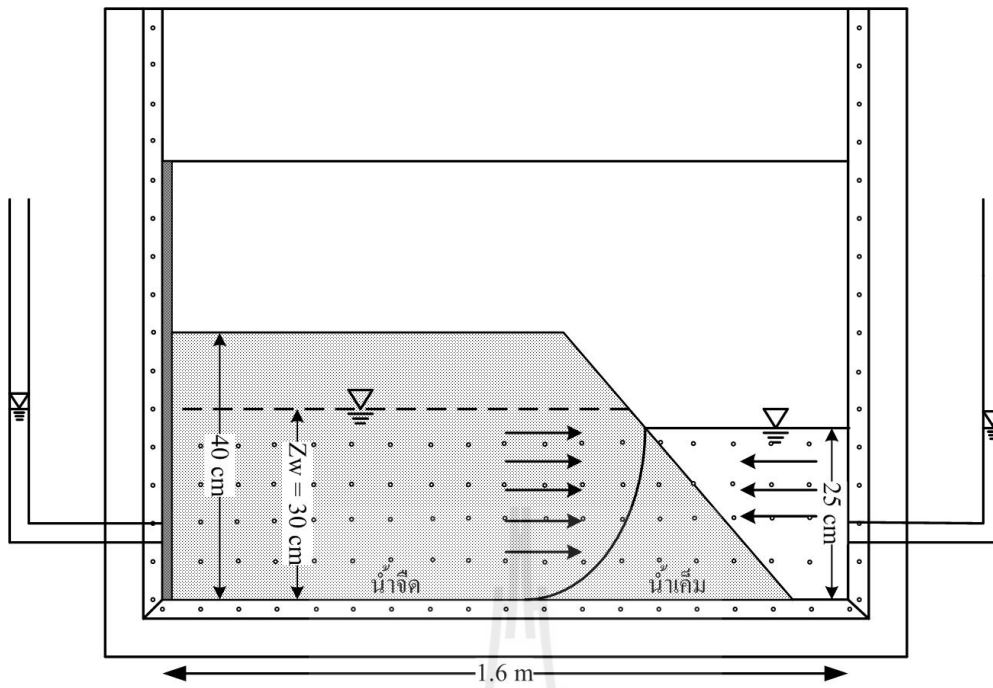
ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดรูปแบบการทดสอบ

มีการออกแบบตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้ในการทดสอบด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพของการไหลในสองมิติในห้องปฏิบัติการซึ่งจะใช้เป็นตัวแทนภาพตัดขวางในแนวตั้งของชั้นน้ำบาดาล โดยแบบจำลองมีขนาด 1.6×1.6 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งจะทำให้การทดสอบทั้งหมด 5 ชุด ประกอบด้วย การทดสอบสภาวะตามธรรมชาติที่ไม่มีผลกระทบจากมนุษย์ การทดสอบเพื่อศึกษาผลกระทบจากการสูบน้ำ การทดสอบวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง การทดสอบวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวป้องกันน้ำจืด การทดสอบวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวที่บ่อน้ำใต้ดิน ในการออกแบบการทดสอบจะมีการกำหนดความหนาของชั้นทราย ความสูงของชั้นน้ำจืด ความสูงของชั้นน้ำเค็ม หาดำแหน่งหลุมเจาะ ตำแหน่งบ่ออัดน้ำจืด ปริมาณน้ำสะอาดที่เติมลงไปชั้นน้ำ ตำแหน่งการตรวจวัดความเค็มของน้ำด้วยเครื่อง Salinity Refractometer ความหนาและความสูงของแนวที่บ่อน้ำ

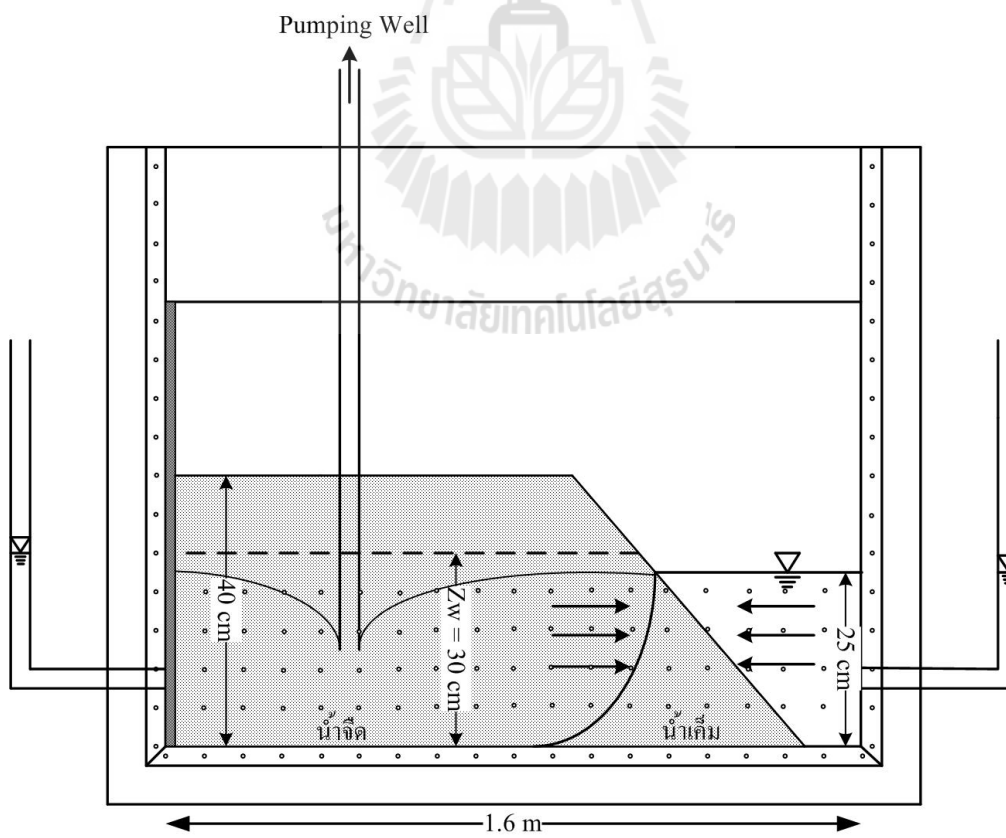
ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย 5 ชุดการทดสอบ ได้แก่

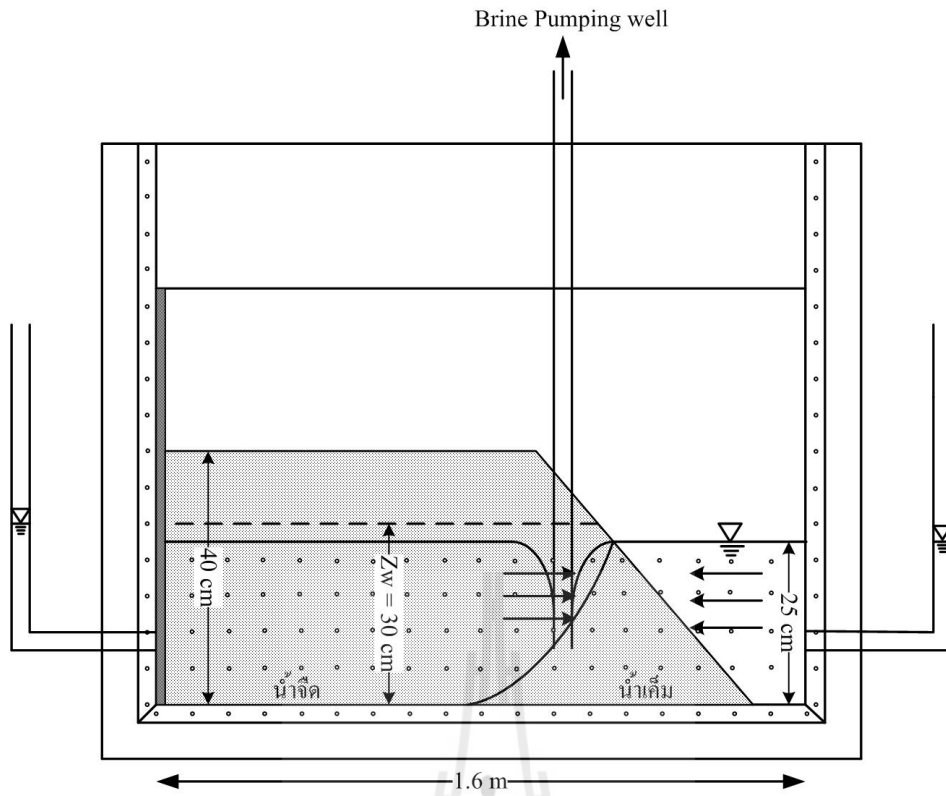
- 1) การทดสอบสภาวะตามธรรมชาติที่ไม่มีผลกระทบจากมนุษย์ เป็นการทดสอบเพื่อศึกษากระดับของชั้นน้ำใต้ดินและชั้นน้ำเค็มที่อยู่ในสภาวะตามธรรมชาติซึ่งไม่มีการรบกวนจากมนุษย์ ทั้งทางด้าน การสูบน้ำจากชั้นน้ำใต้ดินมาอุปโภค-บริโภคหรือการเติมน้ำลงไปชั้นน้ำใต้ดิน ดังแสดงในรูปที่ 1.2
- 2) การทดสอบเพื่อศึกษาผลกระทบจากการสูบน้ำจืด เป็นการทดสอบเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของระดับชั้นน้ำใต้ดินและระดับของชั้นน้ำเค็มเมื่อมีการสูบน้ำจืดขึ้นมา ว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร อัตราของการสูบน้ำที่ทำให้เกิดการรุกค้ำเข้ามาของน้ำเค็มในชั้นน้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 1.3
- 3) การทดสอบวิธีการแก้ปัญหาด้วยการสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง วิธีนี้จะป้องกันไม่ให้น้ำเค็มรุกค้ำเกินแนวป้องกันที่ออกแบบไว้ ซึ่งบ่อสูบเหล่านี้ส่วนใหญ่จะทิ้งน้ำกลับไปในทะเล ดังแสดงในรูปที่ 1.4
- 4) การทดสอบวิธีการแก้ปัญหาด้วยการสร้างแนวป้องกันน้ำจืด เพื่อสร้างแนวป้องกันการรุกค้ำของน้ำเค็ม ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องใช้น้ำจืดที่มีคุณภาพดีในปริมาณมาก น้ำที่อัดลงไปจะเพิ่มแรงดันให้กับชั้นน้ำบาดาลและขับน้ำเค็มให้ออกไปจากชั้นน้ำบาดาลตามแนวชายฝั่ง ดังแสดงในรูปที่ 1.5



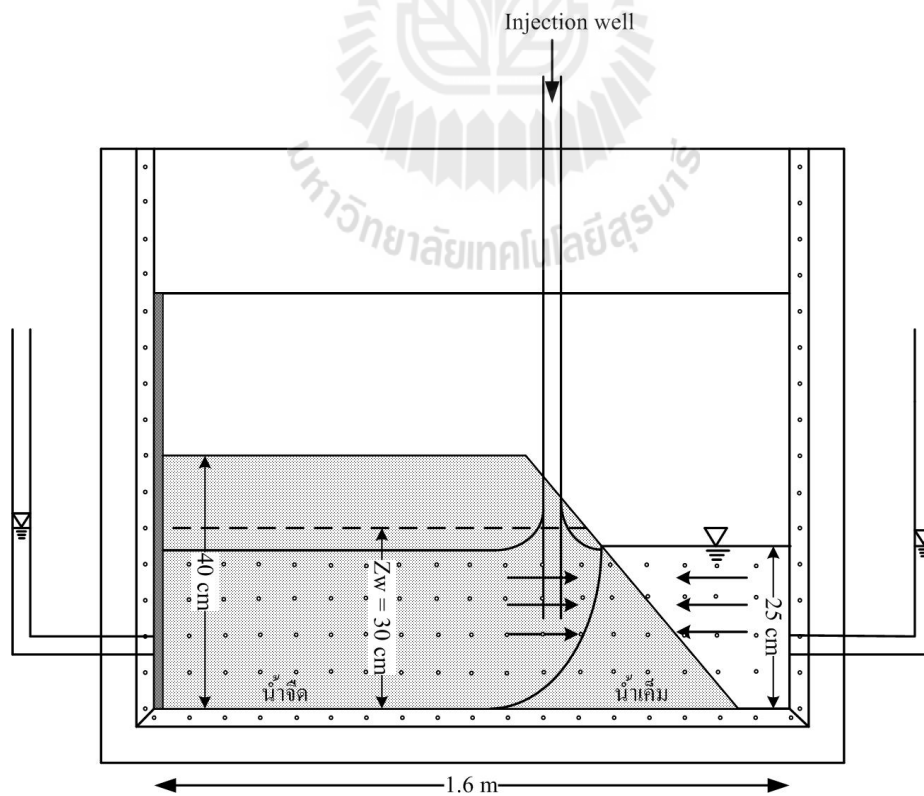
รูปที่ 1.2 การทดสอบภายใต้สภาวะตามธรรมชาติที่ไม่มีผลกระทบจากการกระทำมนุษย์



รูปที่ 1.3 การทดสอบเพื่อศึกษาผลกระทบจากการสูบน้ำจืด



รูปที่ 1.4 การทดสอบวิธีการแก้ปัญหาด้วยการสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง



รูปที่ 1.5 การทดสอบวิธีการแก้ปัญหาด้วยการสร้างแนวบ่ออัดน้ำจืด

5) การทดสอบวิธีการแก้ปัญหาด้วยการสร้างแนวทึบน้ำใต้ดินด้วยการสร้างแนวทึบน้ำใต้ดินขนานไปกับแนวชายฝั่ง ซึ่งอาจจะใช้กำแพงกันดิน ดินเหนียว ยางมะตอย ซีเมนต์ เบนโทไนต์ หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติทึบน้ำอัดลงไปในพื้นที่ลุ่มเจาะ วิธีนี้จะมีราคาสูงและอาจต้องคำนึงถึงผลกระทบที่อาจเกิดจากการกัดกร่อนเชิงเคมี ดังแสดงในรูปที่ 1.6

ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบด้วยสีย้อม

วัตถุประสงค์ในขั้นตอนนี้ คือ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงการรुक้าของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลด้วยการใช้สีย้อมละลายลงไปในน้ำเค็ม ซึ่งช่วยให้ผู้ทดสอบสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ของน้ำเค็ม เมื่อน้ำเค็มมีการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใดๆ ในแบบจำลองได้ด้วยตาเปล่า การทดสอบในขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วยการทดสอบตามสถานะตามธรรมชาติที่ไม่มีการรบกวนจากมนุษย์ การทดสอบเพื่อดูสถานะที่มีการสูบน้ำใช้ การทดสอบวิธีการแก้ไขปัญหาคือการสร้างแนวบ่ออัดน้ำจืดตามแนวชายฝั่ง การสร้างแนวบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง และการสร้างแนวทึบน้ำใต้ดิน

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

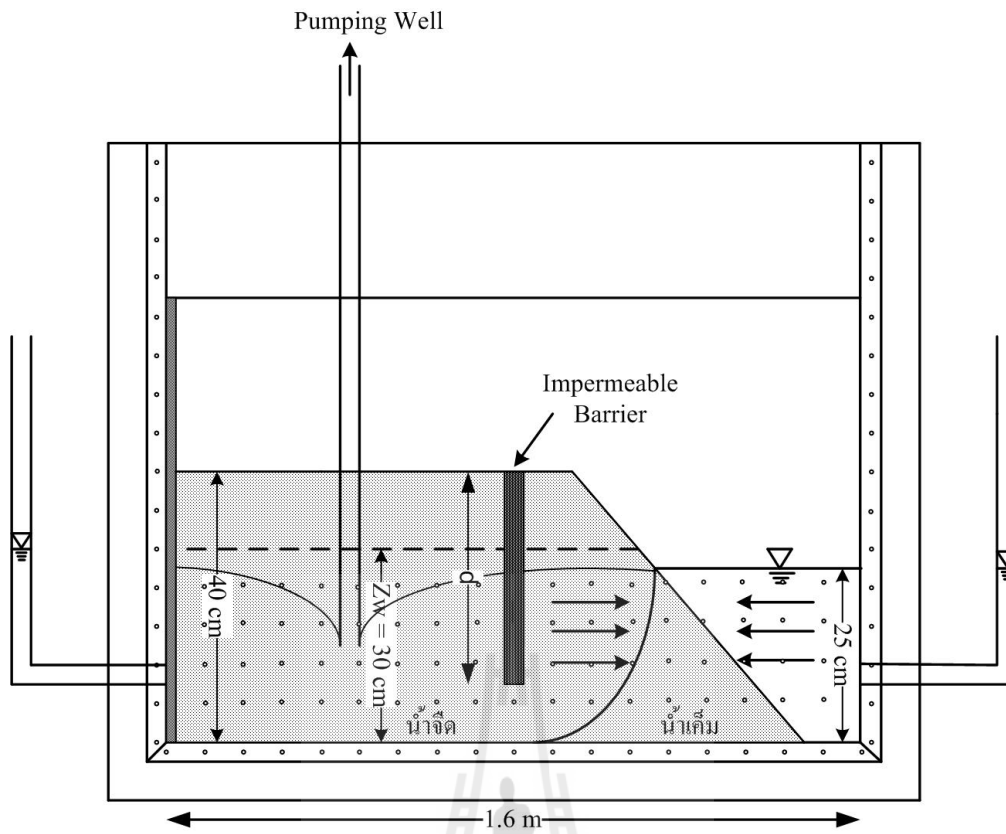
ผลที่ได้ในห้องปฏิบัติการในรูปแบบการรुक้าของน้ำเค็มจะนำมาเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์ของ Ghyben-Herzberg (Todd and Mays, 2005) และแสดงประสิทธิภาพของวิธีการควบคุมและบรรเทาการรुक้าของน้ำเค็มเข้ามายังชั้นน้ำบาดาล

ขั้นตอนที่ 6 การถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมาย

แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้ประกอบด้วย การนำเสนอบทความในการประชุมทางด้านวิชาการ การนำผลงานวิจัยขึ้นเวทีพิมพ์ในวารสาร และนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อเผยแพร่ความรู้ในวงกว้างต่อไป

ขั้นตอนที่ 7 การสรุปผลและเขียนรายงาน

แนวคิด ขั้นตอนโดยละเอียด การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการศึกษาทั้งหมด และข้อสรุปจะนำเสนอโดยละเอียดในรายงานฉบับสมบูรณ์ เพื่อที่จะส่งมอบเมื่อเสร็จโครงการ



รูปที่ 1.6 การทดสอบวิธีการแก้ปัญหาด้วยการสร้างแนวที่บดน้ำใต้ดิน

1.6 ผลงานวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะแสดงถึงความถูกต้องหรือความแม่นยำของความสัมพันธ์ของ Ghyben–Herberg และแสดงประสิทธิภาพของวิธีการแก้ไขการรุกคืบของน้ำเค็มทั้ง 3 วิธี ได้ในเชิงกายภาพอย่างแท้จริง ซึ่งเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ตามชายฝั่งที่เหมาะสมก็สามารถแก้ไขหรือบรรเทาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการรุกคืบของน้ำทะเลได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อภาครัฐ ชุมชนท้องถิ่นและภาคอุตสาหกรรมในพื้นที่นั้นๆ นอกจากนี้ของค์ความรู้นี้จะยังเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในหัวข้อที่เกี่ยวข้องในอนาคต

1) แก้ปัญหาในการดำเนินงานของหน่วยงานที่ทำการวิจัย

การศึกษาการรุกคืบของน้ำเค็มเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลที่ดำเนินการมาในอดีตส่วนใหญ่แล้วจะใช้วิธีคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขและการสังเกตการณ์การตรวจวัดในภาคสนาม ซึ่งการสังเกตการณ์นี้จะมีปัจจัยเฉพาะพื้นที่ที่ซับซ้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง การจำลองด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพในงานวิจัยนี้จะสามารถจำกัดตัวแปรและปัจจัยที่ซับซ้อนออกไปก่อนได้เพื่อให้เข้าใจถึงประสิทธิภาพการแก้ไขแต่ละวิธีดังกล่าวข้างต้น

2) เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยต่อไป

ความเข้าใจเกี่ยวกับการรุกคืบของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลและการพิสูจน์ความสัมพันธ์ของ Ghyben–Herberg นั้นเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะทำให้นักวิชาการสามารถคาดคะเนและออกแบบวิธีการแก้ไขหรือบรรเทาการรุกคืบของน้ำทะเลได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับพื้นที่ที่กำลังศึกษาอยู่

3) บริการความรู้แก่ประชาชนและหน่วยงานราชการ

การเผยแพร่ความรู้ในการประชุมวิชาการระดับชาติและการตีพิมพ์เอกสารการประชุมในหัวข้อที่เกี่ยวข้องจะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานและชุมชนในพื้นที่ อาทิ กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำบาดาล บริษัทขุดเจาะบ่อบาดาล กรมทรัพยากรธรณีและสิ่งแวดล้อม และองค์กรในท้องถิ่น (อบต. และ อบจ.) ผู้วางแผนการจัดการการใช้น้ำ ผู้อุปโภคและบริโภค และการกำหนดตำแหน่งบ่อบาดาล เป็นต้น

4) บริการความรู้แก่ภาคธุรกิจ

องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะยังเป็นประโยชน์โดยตรงต่อบริษัทขุดเจาะน้ำบาดาลเพื่อกำหนดตำแหน่ง ความลึกและอัตราการสูบน้ำของแต่ละบ่อเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการรุกคืบของน้ำเค็ม

1.7 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลการวิจัยที่เสนอมานี้จะมีประโยชน์อย่างมากและโดยตรงกับหลายหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและเอกชน หน่วยงานเหล่านี้ได้แก่

- 1) กองธรณีเทคนิค กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- 2) สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- 3) กรมทรัพยากรน้ำ
- 4) กองธรณีเทคนิค กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน
- 5) กรมโยธาธิการ และผังเมือง



บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรมวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ คำจำกัดความและทฤษฎีพื้นฐานของการรุกตัวของน้ำทะเล และกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำจำกัดความและทฤษฎีพื้นฐาน

การรุกตัวของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลตามแนวชายฝั่ง โดยทั่วไปแล้วเกิดจากชุมชนในบริเวณใกล้เคียงได้สูบน้ำบาดาลมาใช้อุปโภค-บริโภค เมื่อเกิดความไม่สมดุลของแรงดันระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม ทำให้แนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มเคลื่อนตัวเข้ามาในชั้นน้ำบาดาลซึ่งสามารถทำให้เกิดการปนเปื้อนในชั้นน้ำบาดาลได้ (Fang, 1979)

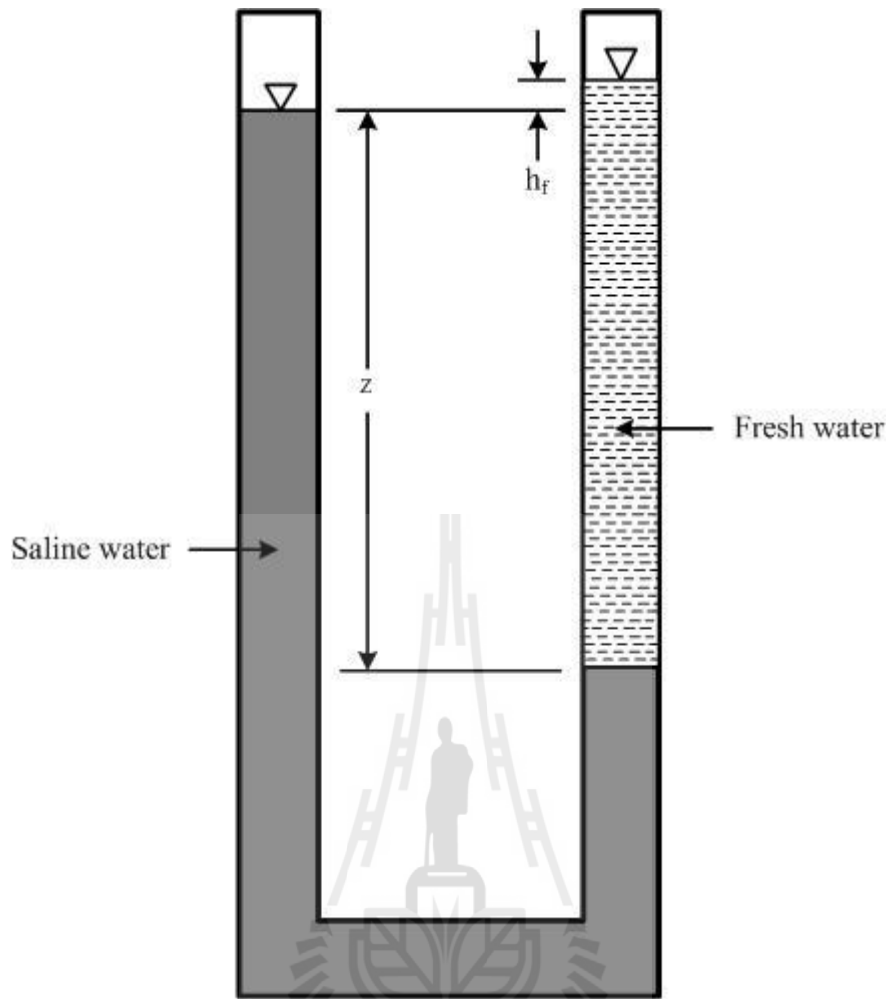
กว่า 100 ปี มาแล้วได้มีนักวิจัย 2 กลุ่ม ทำการวิจัยตามแนวชายฝั่งทวีปยุโรป ได้พบว่าการรุกตัวของน้ำทะเลเข้ามาในชั้นน้ำบาดาล ซึ่งไม่ได้เกิดใกล้พื้นผิว แต่เกิดที่ความลึกประมาณ 40 เมตร ของความสูงของน้ำจืด เมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลจะพบว่าลักษณะเช่นนี้เกิดจากการปรับตัวเข้าสู่สมดุลเชิงพลศาสตร์ (Dynamic equilibrium) ระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของ Ghyben-Herzberg (Todd and Mays, 2005) ตามสมการที่ (2.1) และแสดงให้เข้าใจได้อย่างง่ายในรูปที่ 2.1

$$\rho_s g z_s = \rho_f g (z + h_f) \quad (2.1)$$

โดยที่ ρ_s คือ ความหนาแน่นของน้ำเค็ม ρ_f คือ ความหนาแน่นของน้ำจืด g คือ ค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก z คือ ระยะสมดุลเชิงสถิตศาสตร์ระหว่างน้ำจืด (Fresh water) และน้ำเค็ม (Saline water) h_f คือ ความสูงของชั้นน้ำจืดเหนือระดับน้ำเค็ม ซึ่งค่า z และ h_f (รูปที่ 2.1) มีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.2

$$z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \quad (2.2)$$

โดยทั่วไปน้ำทะเลจะมีค่า $\rho_s = 1.025$ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ $\rho_f = 1.000$ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.2) จะได้ $z = 40h_f$



รูปที่ 2.1 จุดสมดุลเชิงสทิตศาสตร์ระหว่างน้ำจืด (Fresh water) และน้ำเค็ม (Saline water) แสดงอยู่ในรูปท่อตัว U (ดัดแปลงมาจาก Todd and Mays, 2005)

ความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้น เมื่อเทียบกับสภาวะจริงตามแนวชายฝั่งสามารถแสดงในรูปที่ 2.2 โดยที่ความสูงของชั้นน้ำบาดาลที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเล เป็นความลึกระหว่างรอยต่อของน้ำจืดที่อยู่ด้านบนและน้ำเค็มที่อยู่ด้านล่าง แต่ในความเป็นจริงจะมีการหมุนเวียนของน้ำบาดาลและน้ำเค็มที่มีจุดสมดุลเชิงพลศาสตร์ กล่าวคือ จะมีการไหลของน้ำจืดสู่ทะเลทางด้านบน และการรุกรานของน้ำทะเลทางด้านล่าง แนวรอยต่อจะมีลักษณะเป็นบริเวณแทนที่จะเป็นเส้นเด่นชัด กล่าวคือ ในบริเวณนี้ น้ำจืดจากด้านบนจะค่อยๆ มีความเค็มสูงขึ้น ในขณะที่มีระดับความลึกเพิ่มขึ้น และในบริเวณดังกล่าวจะมีการผสมกันระหว่างน้ำเค็มและน้ำจืดด้วยกลไกการไหลของน้ำและการแพร่กระจายเชิงเคมี ความกว้างของบริเวณดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับสถานที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

การรุกรานของน้ำทะเลเข้ามาในชั้นน้ำบาดาลจะสามารถเกิดได้กับชั้นน้ำบาดาลแบบปิดกั้น (Confined aquifer) และแบบไม่ปิดกั้น (Unconfined aquifer) ซึ่งระดับความลึกของการรุกรานของน้ำทะเลในชั้นน้ำที่ถูกปิดกั้นจะถูกควบคุมโดยโครงสร้างทางธรณีวิทยาตามแนวชายฝั่งในแต่ละพื้นที่ รูปที่ 2.4 ถึงรูปที่ 2.6 แสดงผลกระทบของการสูบน้ำบาดาลโดยมีการรุกรานของน้ำทะเลในชั้นน้ำที่ถูกปิดกั้น

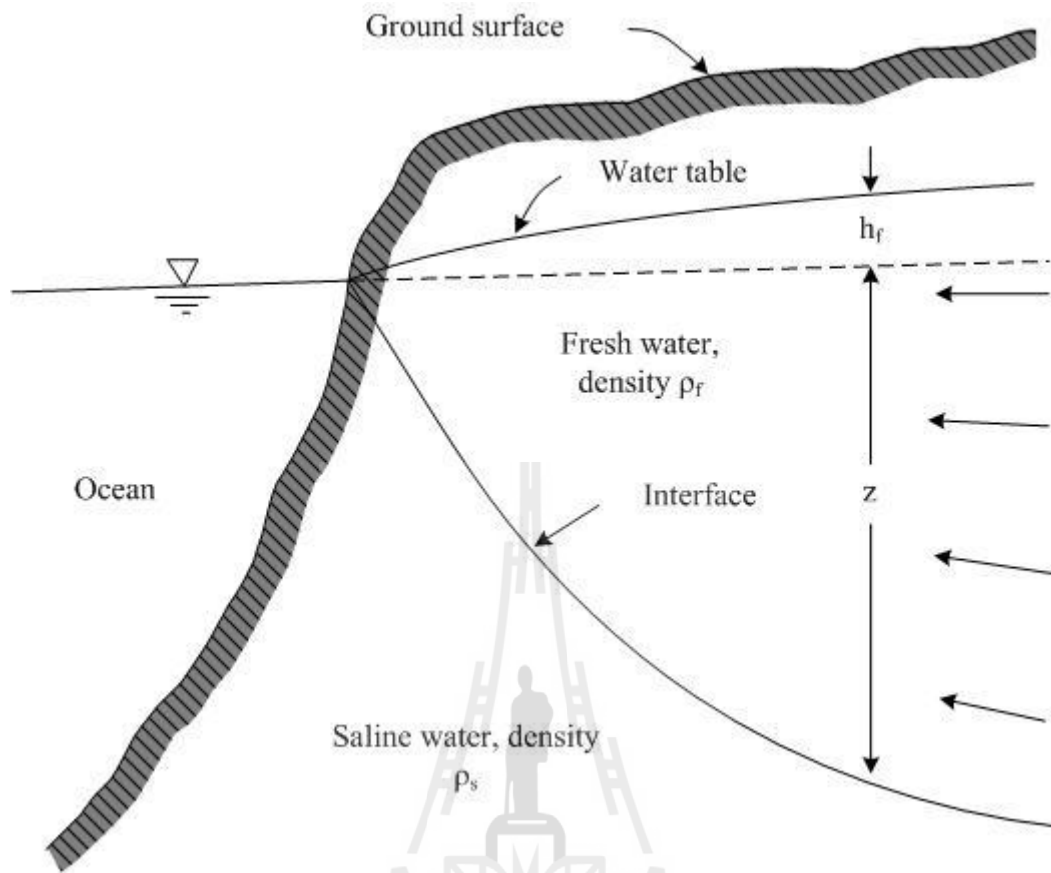
Todd and Mays (2005) ได้เสนอวิธีการแก้ไขหรือบรรเทาผลกระทบจากการรุกรานของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลไว้ 5 วิธีหลัก ซึ่งวิธีที่เหมาะสมจะขึ้นกับแหล่งที่มาของน้ำเค็ม ความรุนแรงของการรุกราน สภาพทางธรณีวิทยา อัตราการใช้ และเศรษฐกิจในพื้นที่ เนื่องจาก การปนเปื้อนของน้ำทะเลในชั้นน้ำบาดาลแม้เพียงเล็กน้อย (2-3 เปอร์เซ็นต์) จะมีผลต่อการบริโภคอย่างมาก ดังนั้นการควบคุมการรุกรานของน้ำทะเลจึงเป็นสิ่งจำเป็น อย่างไรก็ตามวิธีการแก้ไขแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ซึ่ง 5 วิธีหลักที่ได้แนะนำไว้มีดังนี้

1) Modification of pumping pattern คือการปรับเปลี่ยนรูปแบบการสูบน้ำ ซึ่งรวมไปถึงการเปลี่ยนตำแหน่งของบ่อสูบ โดยการกระจายตำแหน่งของบ่อให้ไกลจากชายฝั่งและอาจมีการลดอัตราของการสูบน้ำบาดาล

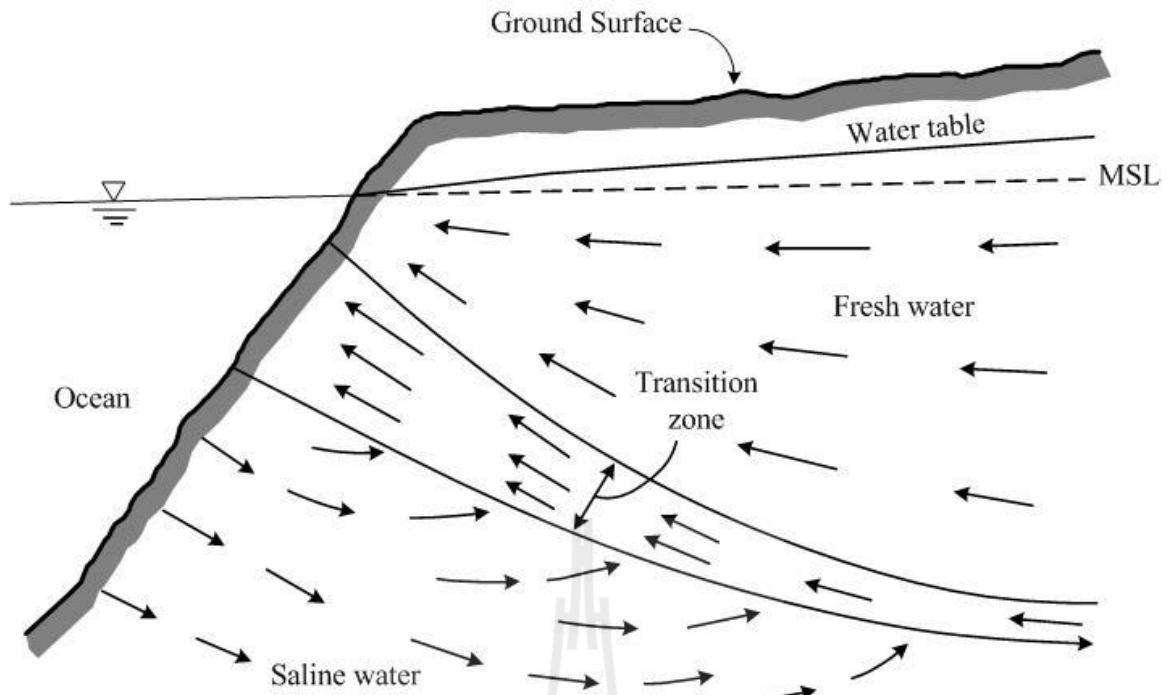
2) Artificial recharge การเติมน้ำจืดลงไปในบ่อชั้นน้ำใต้ดิน วิธีนี้คือการเพิ่มระดับความสูงของน้ำจืด ซึ่งอาจดำเนินการโดยมีแหล่งน้ำจืดที่ซึมลงจากผิวดิน สำหรับชั้นน้ำที่ไม่ปิดกั้น และใช้บ่ออัดน้ำจืดสำหรับชั้นน้ำปิดกั้น

3) Extraction Barrier การสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง วิธีนี้จะป้องกันไม่ให้น้ำเค็มรุกรานเกินแนวป้องกันที่ออกแบบไว้ ซึ่งบ่อสูบเหล่านี้ส่วนใหญ่จะทิ้งน้ำกลับไปทะเล

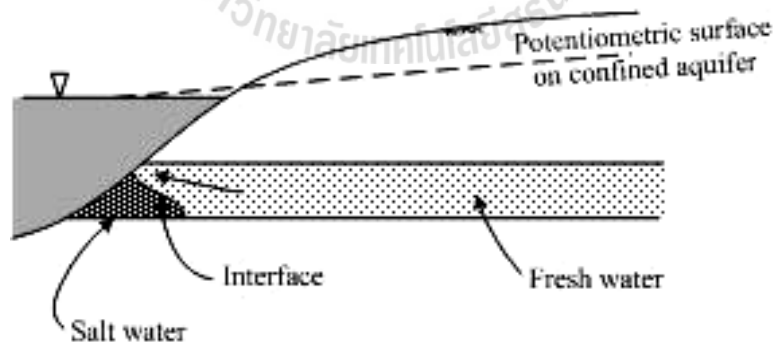
4) Injection Barrier การขุดบ่ออัดน้ำจืด เพื่อสร้างแนวป้องกันการรุกรานของน้ำเค็ม วิธีนี้จำเป็นต้องใช้น้ำจืดที่มีคุณภาพดีในปริมาณมาก น้ำที่อัดลงไปจะเพิ่มแรงดันให้กับชั้นน้ำบาดาลและขับน้ำเค็มให้ออกไปจากชั้นน้ำบาดาลตามแนวชายฝั่ง (รูปที่ 2.7)



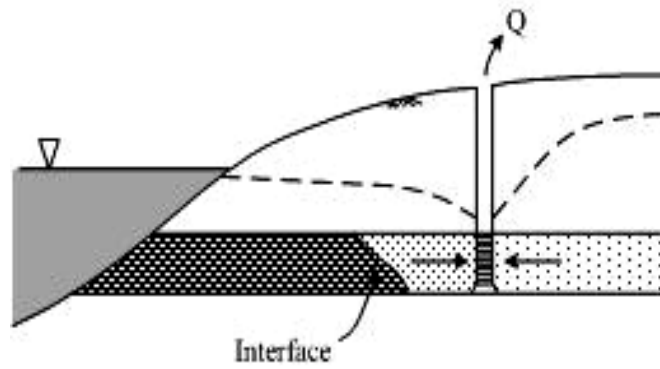
รูปที่ 2.2 ภาพวาดในจินตนาการแสดงรอยต่อ (Interface) ระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง (ดัดแปลงมาจาก Todd and Mays, 2005)



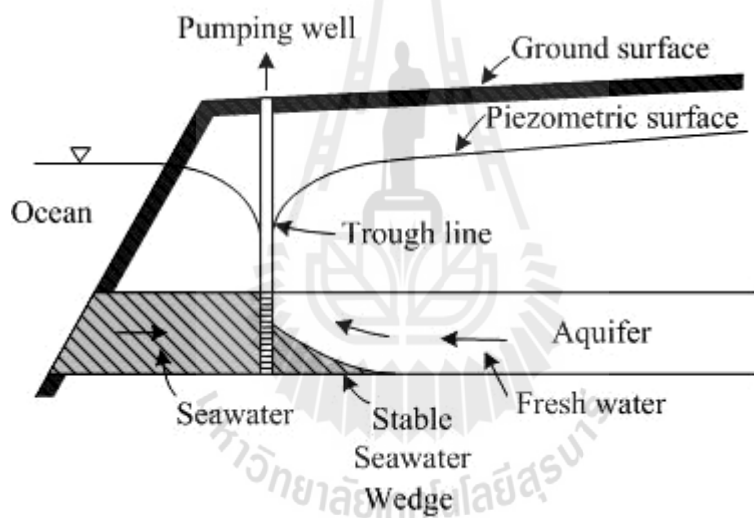
รูปที่ 2.3 ภาพตัดขวางในแนวตั้งแสดงรูปแบบของการไหลของน้ำจืดและน้ำเค็มในชั้นน้ำที่ไม่มีชั้นหินปิดทับตามแนวชายฝั่ง (ดัดแปลงมาจาก Todd and Mays, 2005)



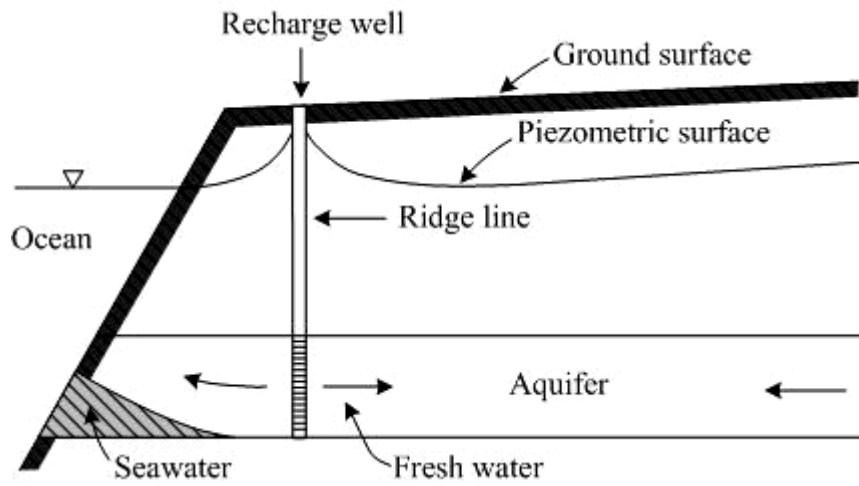
รูปที่ 2.4 ภาพแสดงแนวรอยต่อของน้ำจืดและน้ำเค็มในชั้นหินที่ถูกปิดทับภายใต้สภาวะการไหลแบบคงตัว (ดัดแปลงมาจาก Freeze and Cherry, 1979)



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงการรุกค้ำของน้ำเค็มเนื่องจากการสูบน้ำ (ดัดแปลงมาจาก Freeze and Cherry, 1979)



รูปที่ 2.6 การควบคุมการรุกค้ำของน้ำเค็มโดยการสร้างบ่อสูบน้ำเค็มให้ออกจากระบบน้ำใต้ดินตลอดแนวชายฝั่ง (ดัดแปลงมาจาก Todd and Mays, 2005)



รูปที่ 2.7 การควบคุมการรุกคืบของน้ำเค็มโดยการสร้างบ่ออัดน้ำจืดเพื่อดันน้ำเค็มให้ออกจากระบบน้ำใต้ดินตลอดแนวชายฝั่ง (ดัดแปลงมาจาก Todd and Mays, 2005)



5) Subsurface Barrier การสร้างแนวทึบน้ำใต้ดินขนานไปกับแนวชายฝั่ง ซึ่งอาจจะใช้กำแพงกันดิน ดินเหนียว ยางมะตอย ซีเมนต์ เบนโทไนต์ หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติทึบน้ำ อัดลงไปในหลุมเจาะ วิธีนี้จะมีราคาสูงและอาจต้องคำนึงถึงผลกระทบที่อาจเกิดจากการกัดกร่อนเชิงเคมี (รูปที่ 2.8)

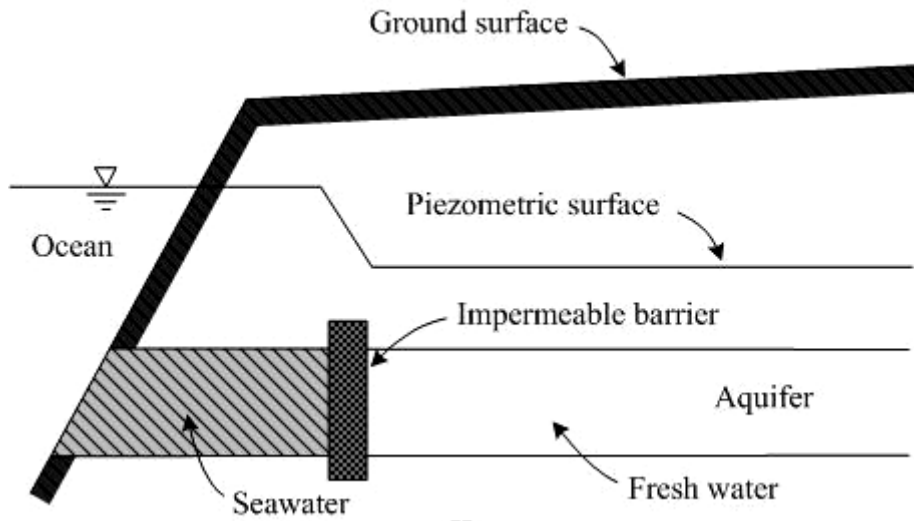
2.2 กรณีศึกษาที่เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษาของ Elhassadi (2007) ระบุว่า Derna ของประเทศลิเบียซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความขาดแคลนน้ำสำหรับใช้อุปโภค-บริโภค เมื่อมีการสูบน้ำมาใช้อย่างมากทำให้เกิดปัญหาการรุกคืบเข้ามาของน้ำเค็ม ในกรณีศึกษานี้ได้ประเมินปัญหาและวิธีที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาในพื้นที่ดังกล่าว

Narayan et al. (2007) ได้ทำการศึกษาปัญหาการรุกคืบของน้ำเค็มในพื้นที่ปากแม่น้ำ Burdekin ซึ่งเป็นพื้นที่ในเขตแห้งแล้งทางเหนือของประเทศควีนแลนด์ ส่วนใหญ่จะใช้น้ำใต้ดินสำหรับการชลประทาน การจัดการกับปัญหานี้อาจจะทำโดยการนำน้ำอัดกลับลงสู่ชั้นน้ำบาดาลเพื่อป้องกันและควบคุมการรุกคืบของน้ำเค็มและการปล่อยให้ไหลตามหน้าดินเพื่อให้บางส่วนไหลกลับไปได้ดิน ในกรณีศึกษานี้ได้อธิบายการไหลของสารละลายโดยใช้ SUTRA model เพื่อหาการขยายตัวของขอบเขตการรุกคืบของน้ำเค็มแบบ 2 มิติ

Giambastiani et al. (2007) ศึกษาพื้นที่ป่า Ravenna ในประเทศอิตาลี ซึ่งเป็นที่ราบของแม่น้ำ Po พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง ในหลายศตวรรษที่ผ่านมาพื้นที่บริเวณนี้มีการทรุดตัวของแผ่นดินจากการบดเคี้ยวพื้นที่ป่าเพื่อการทำอุตสาหกรรม ทำให้เกิดปัญหาการรุกคืบของน้ำเค็ม ปัจจุบันน้ำจืดในชั้นหินกักเก็บน้ำบาดาลนี้ประกอบด้วยน้ำที่มีความเค็มเล็กน้อย การศึกษาจะเน้นไปที่ปัญหาจากกิจกรรมทั้งในอดีตและปัจจุบันของมนุษย์ที่มีผลต่อการรุกคืบของน้ำเค็ม การศึกษาจะใช้วิธีการจำลองการไหลด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เพื่อบอกค่าความหนาแน่นของน้ำ ระดับความสูงของชั้นน้ำ และการกระจายตัวของเกลือในชั้นหินกักเก็บน้ำบาดาล

Kouzana et al. (2008) ระบุว่ากิจกรรมทางด้านเกษตรกรรม ทำให้ปริมาณการสูบน้ำใต้ดินมาใช้มีอัตราที่สูง ในพื้นที่ที่ไม่มีการควบคุมการสูบน้ำทำให้เกิดปัญหาการรุกคืบของน้ำเค็ม ที่ Korba aquifer ในพื้นที่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศตูนิเซีย เป็นภูมิภาคแบบกึ่งทะเลทราย ภูมิอากาศแบบเมอริดิเตอร์เรเนียน การศึกษาคุณสมบัติเชิงเคมีของชั้นหินกักเก็บน้ำบาดาลเพื่อหาขอบเขตการรุกคืบของชั้นหินกักเก็บน้ำบาดาล การวิเคราะห์จะใช้ความสัมพันธ์ของอัตราคลอไรด์ และ SO_4^{2-}/Cl^- และอัตราของ Mg^{2+}/Ca^{2+} ซึ่งสามารถคำนวณได้จากโปรแกรม PHREEQC 2.8 โดยจะสามารถบอกการผสมกันของน้ำจืดและน้ำเค็มได้



รูปที่ 2.8 การควบคุมการรุกตัวของน้ำเค็มโดยการสร้างแนวที่บั่นน้ำใต้ดินตลอดแนวชายฝั่ง
(ดัดแปลงมาจาก Todd and Mays, 2005)



Demirel (2003) ศึกษาพื้นที่ Mersin-Kazanli ซึ่งเป็นพื้นที่เขตอุตสาหกรรมหนาแน่น ทำให้เป็นเมืองที่มีความต้องการใช้น้ำมาก จึงมีการสูบน้ำมาใช้มาก ทำให้เกิดการรุกคืบของน้ำเค็มแทรกเข้ามาในชั้นน้ำบาดาล การตรวจสอบหาความเข้มข้นคลอไรด์ของน้ำตัวอย่างจากบางหลุมพบว่าความเข้มข้นของ Cl^- ใน aquifer เพิ่มมากกว่า 3000mg/l ในปี 1999 และหยุดการสูบน้ำจากบ่อนั้น และในปี 2001 มีการเจาะหลุมใหม่ที่ห่างจากทะเล 1 กิโลเมตร เพื่อช่วยแก้ปัญหาการรุกคืบเข้ามาของน้ำเค็ม

Milnes and Renard (2003) ศึกษาผลกระทบของสารละลายที่นำกลับมาใช้จากการชลประทานที่มีความสัมพันธ์กับการรุกคืบของน้ำเค็ม โดยฟังก์ชันที่ได้จากการ recycle เป็นฟังก์ชันแบบ exponential ซึ่งอัตราการไหลกลับแทนด้วย r และเวลาปกติแทนด้วย t ยกตัวอย่างเช่น ที่ Kiti aquifer ทางตอนใต้ของ Cyprus การจำลอง model สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ตรวจสอบปริมาณของสารละลายที่ไหลกลับไปในระบบและตรวจสอบปริมาณของสารละลายที่ไหลกลับไปทางด้านข้าง จากนั้นเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากรูปแบบอื่นๆ ในพื้นที่ที่ศึกษา ผลที่ได้จะแสดงในรูปของการจำลองการไหลด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข และจะมีความสำคัญกับการกระจายตัวของเกลือในชั้นหินกักเก็บน้ำบาดาล

Nguyen et al. (2007) ระบุว่าพื้นที่รองรับน้ำจืดมีความสำคัญมากสำหรับรูปแบบการจำลองการรุกคืบของน้ำเค็มในพื้นที่ปากแม่น้ำซึ่งเป็นบริเวณที่น้ำจืดกับน้ำเค็มมาบรรจบกัน กรณีศึกษาเน้นเรื่องการปล่อยน้ำเพื่อบรรเทาการรุกคืบของน้ำเค็มที่สามเหลี่ยมปากแม่น้ำโขง ในช่วงปี 2005-2006 โดยใช้วิธีการจำลองแบบ hydraulic model ซึ่งเป็นวิธีง่ายๆ และเหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์การรุกคืบของน้ำเค็ม ผลที่ได้ระบุว่าผลจากแบบจำลองสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลที่ได้จากการตรวจวัดในภาคสนาม

สำหรับการศึกษาในเมืองไทย อรุณ ลูกจันทร์ และคณะ (2009) ได้ศึกษาการรุกคืบของน้ำเค็มในพื้นที่จังหวัดสงขลา ซึ่งผลที่ได้สรุปว่าน้ำใต้ดินจากชั้นน้ำบาดาลใหญ่ซึ่งเป็นชั้นน้ำหลักของแอ่งหาดใหญ่ในบริเวณใกล้ทะเลสาบสงขลา มีค่าความเข้มข้นของคลอไรด์สูงกว่าระดับมาตรฐานของน้ำใต้ดิน โดยแบบจำลอง 3 มิติ ของการรุกคืบของน้ำเค็มที่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของน้ำถูกพัฒนาขึ้นสำหรับแอ่งหาดใหญ่ เพื่อศึกษาการรุกคืบของน้ำเค็มจากทะเลสาบสงขลา และอ่าวไทย และเพื่อประเมินผลกระทบจากการสูบน้ำต่อการรุกคืบของน้ำเค็ม กรณีที่มีการสูบน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา โดยใช้โปรแกรม SEAWAT-2000 ซึ่งสามารถจำลองการไหลของน้ำและการเคลื่อนที่ของคลอไรด์ด้วยการกำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำไม่คงที่ในแบบจำลอง ซึ่งผลจากแบบจำลองจะนำมาเปรียบเทียบโดยใช้แรงดันน้ำและความเข้มข้นของคลอไรด์จากบ่อสังเกตการณ์ 47 บ่อ ผลการจำลองพบว่า สำหรับแอ่งหาดใหญ่ที่มีอัตราการสูบน้ำประมาณ 25 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี เมื่อมีการเพิ่มระดับการใช้น้ำขึ้นปีละ 5% จะทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างมีนัยสำคัญโดยเฉลี่ย 2 เมตร โดยบริเวณเมืองหาดใหญ่ระดับน้ำบาดาลลดลงประมาณ 3.5-10 เมตร พื้นที่ที่มีการรุกคืบของน้ำเค็มพบว่าการขยายตัวเพิ่มขึ้นและเข้าใกล้เมืองหาดใหญ่มากขึ้น

บทที่ 3

การออกแบบโครงทดสอบ

3.1 วัตถุประสงค์

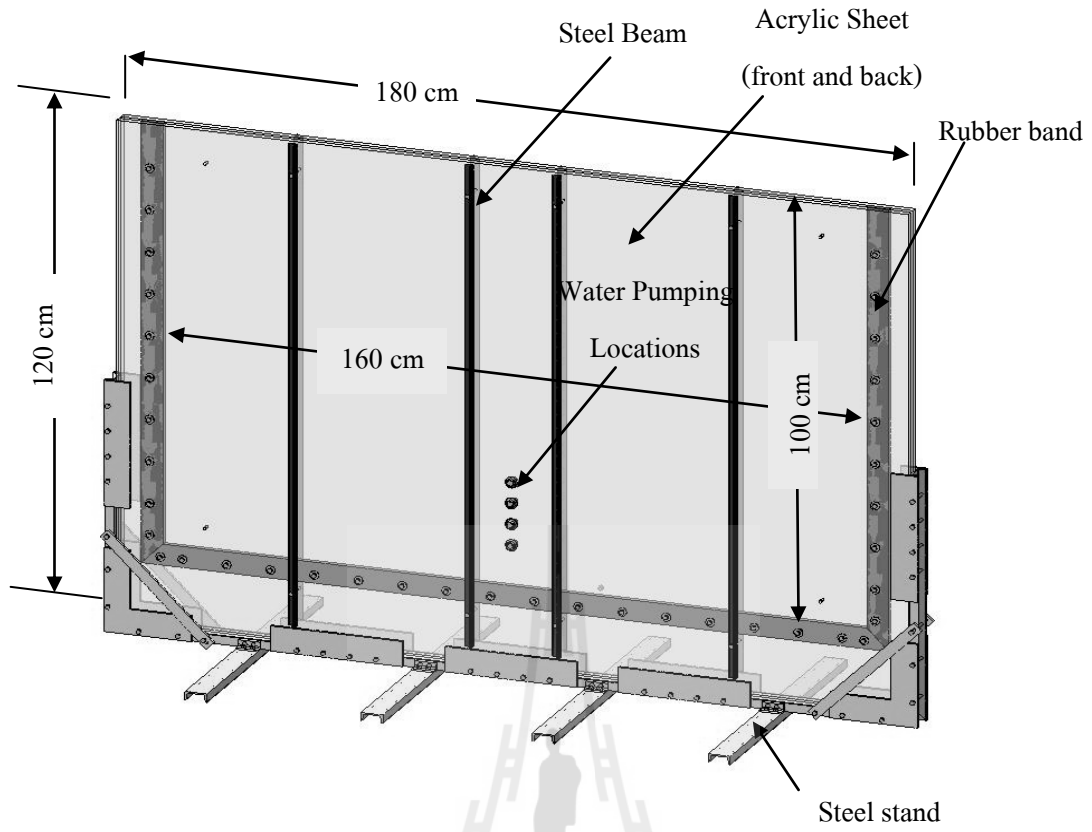
ในบทนี้ได้อธิบายถึงการออกแบบและการพัฒนาโครงทดสอบเพื่อใช้ในการจำลองการรुक้าของน้ำเค็ม ซึ่งโครงทดสอบนี้ถูกออกแบบสำหรับศึกษาการไหลของน้ำจืดและน้ำเค็มตามแนวชายฝั่งใน 2 มิติ และศึกษาวิธีการแก้ปัญหาการรुक้าของน้ำเค็ม การทดสอบทั้งหมดจะกระทำในห้องปฏิบัติการภายใต้อุณหภูมิต่ำ

3.2 การออกแบบโครงทดสอบ

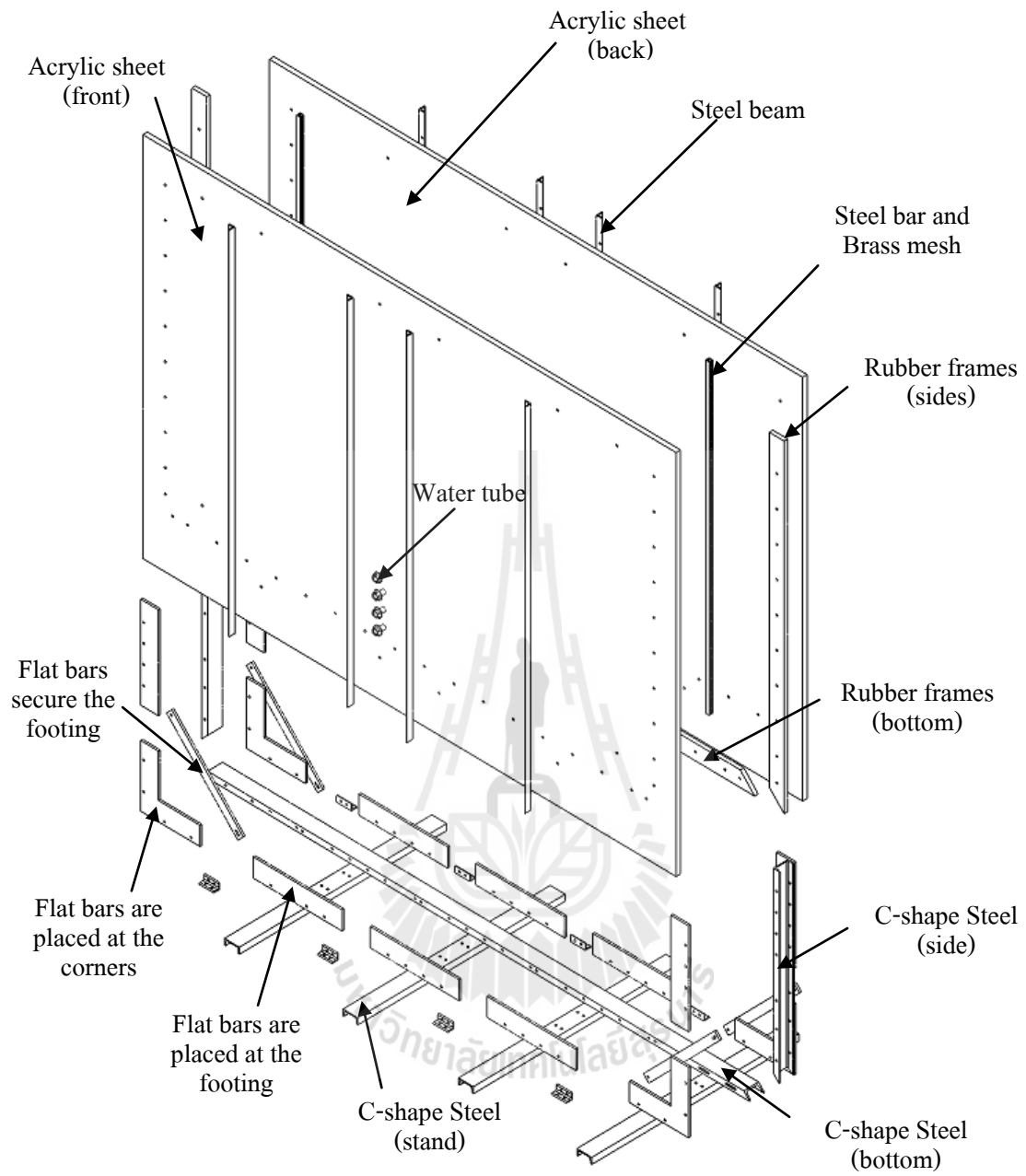
โครงที่ใช้ในการทดสอบนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวแทนภาพตัดขวางในแนวตั้งของชั้นน้ำบาดาลที่ไม่มีชั้นหินปิดทับ (Unconfined aquifer) ตามแนวชายฝั่ง และเพื่อให้สามารถสังเกตพฤติกรรมการไหลของชั้นน้ำได้ในระหว่างการทดสอบ ผู้วิจัยจึงได้ติดตั้งแผ่นอะคลิลิคใสขนาด 1.6×1.2 เมตร มีความหนา 1.5 เซนติเมตร ที่ด้านหน้าและด้านหลังของโครงทดสอบ ซึ่งโครงทดสอบนี้จะให้พื้นที่ในการสร้างแบบจำลองประมาณ 1 ตารางเมตร และมีความหนา 1.2 เซนติเมตร โดยโครงทดสอบนอกเหนือจากแผ่นอะคลิลิคแล้วจะถูกสร้างขึ้นจากเหล็กทั้งหมด บริเวณขอบด้านข้างทั้งสองข้างและด้านล่างของโครงทดสอบจะถูกอุดด้วยแผ่นยางและซิลิโคนเจลเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำในระหว่างการทดสอบ รูปที่ 3.1 ถึง 3.4 แสดงส่วนประกอบต่างๆ และขนาดของโครงทดสอบ

3.3 โครงสร้างของโครงทดสอบและวัสดุในการทดสอบ

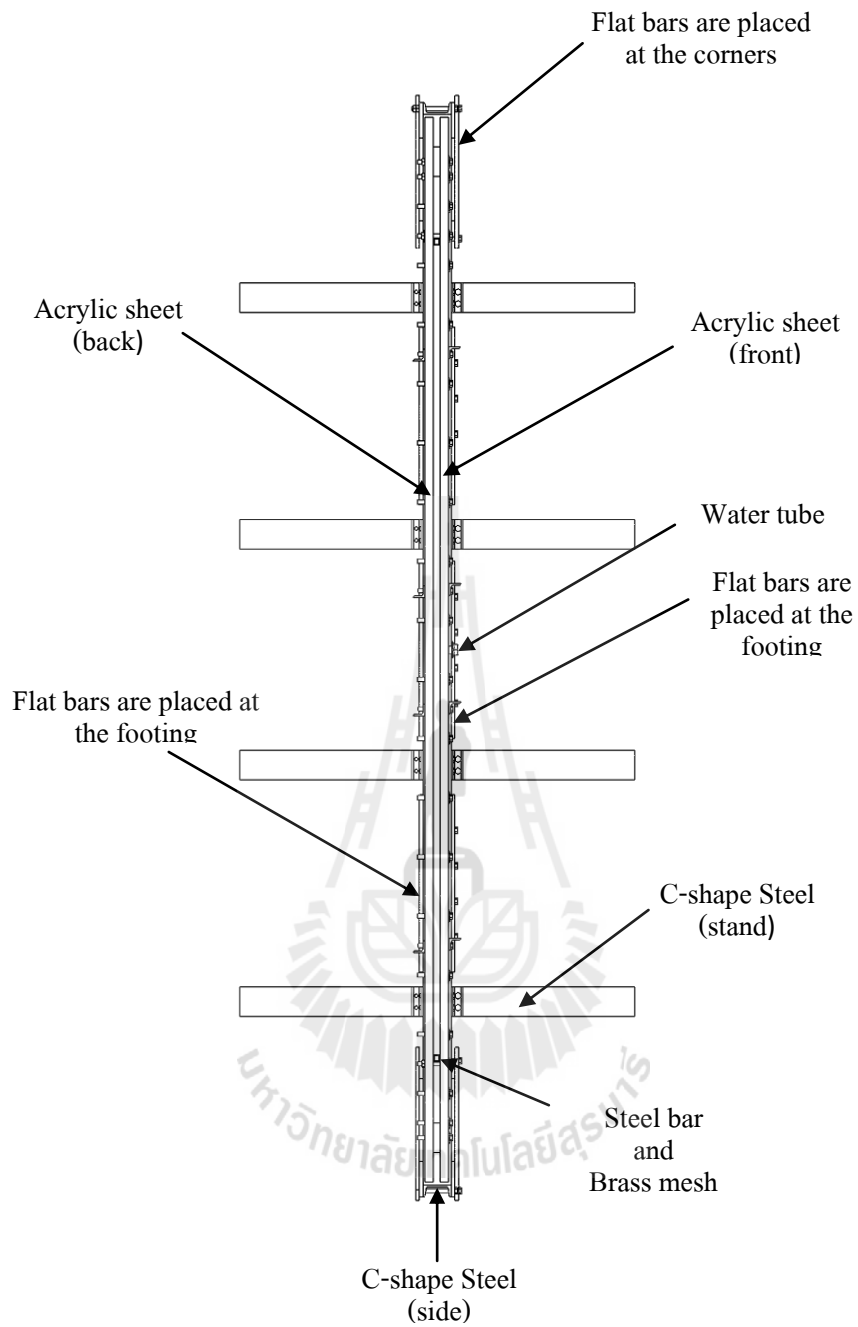
ในการจำลองสภาวะของชั้นน้ำบาดาลที่ไม่มีชั้นหินปิดทับตามแนวชายฝั่งจะเริ่มต้นด้วยการติดแผ่นยางที่มีความหนาเท่ากับ 1.2 เซนติเมตร ทางด้านขวาของแผ่นอะคลิลิคที่อยู่ด้านหลังด้วยมุม 45° เพื่อใช้จำลองแนวชายฝั่ง ซึ่งแผ่นยางจะถูกเจาะรูในแนวระนาบเพื่อให้สามารถไหลผ่านไปได้ จากนั้นประกบแผ่นอะคลิลิคด้านหน้าโดยที่บริเวณด้านข้างของโครงทดสอบจะถูกอุดด้วยแผ่นยางและซิลิโคนเจลตลอดแนวตั้งเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำ เมื่อโครงทดสอบประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้วจึงเริ่มเททรายที่มีเม็ดขนาด 0.6–0.8 เซนติเมตร ลงไปตรงช่องว่างระหว่างแผ่นอะคลิลิค โดยเทตั้งแต่ขอบทางด้านซ้ายของโครงทดสอบถึงแผ่นยางที่เอียงตัวจนกระทั่งได้ชั้นทรายที่มีความสูง 40 เซนติเมตร จากนั้นปล่อยน้ำจืดจากทางด้านบนของโครงทดสอบและรักษาระดับความสูงของน้ำจืดให้คงที่ตลอดการทดสอบ กล่าวคือ มีการควบคุมการ



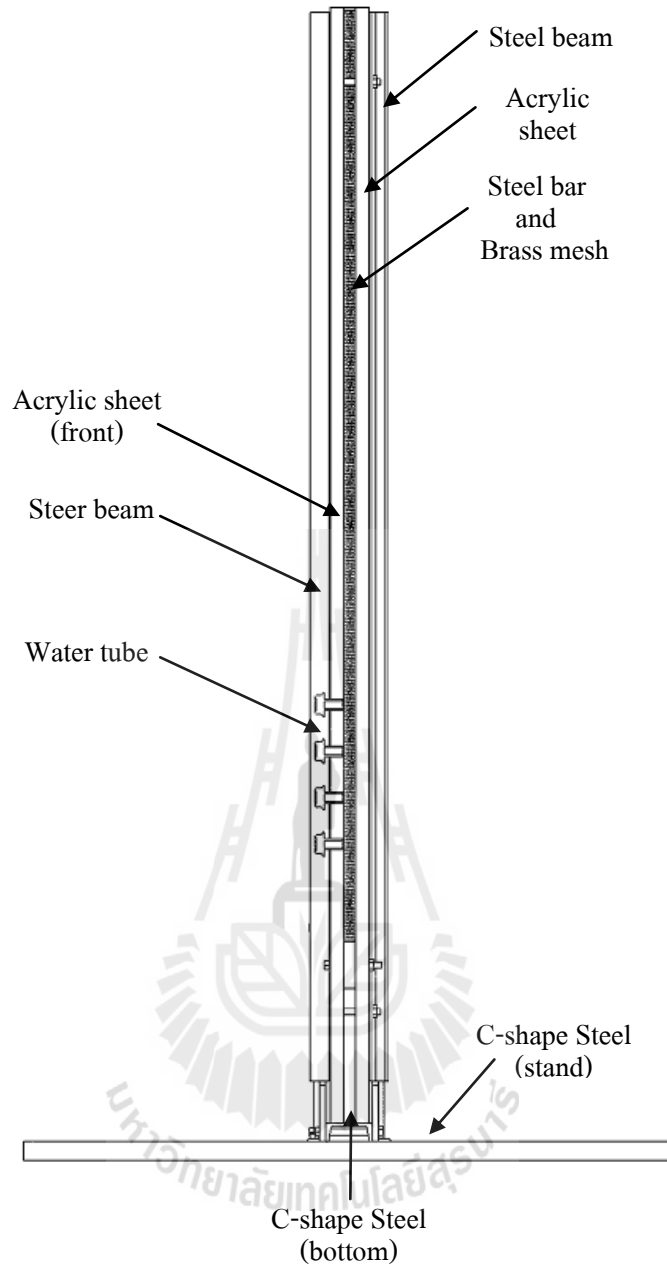
รูปที่ 3.1 แสดงภาพเพอร์สเปคทีฟของโครงทดสอบ



รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของโครงทดสอบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 3.3 รูปด้านบนของโครงทดสอบในห้องปฏิบัติการ

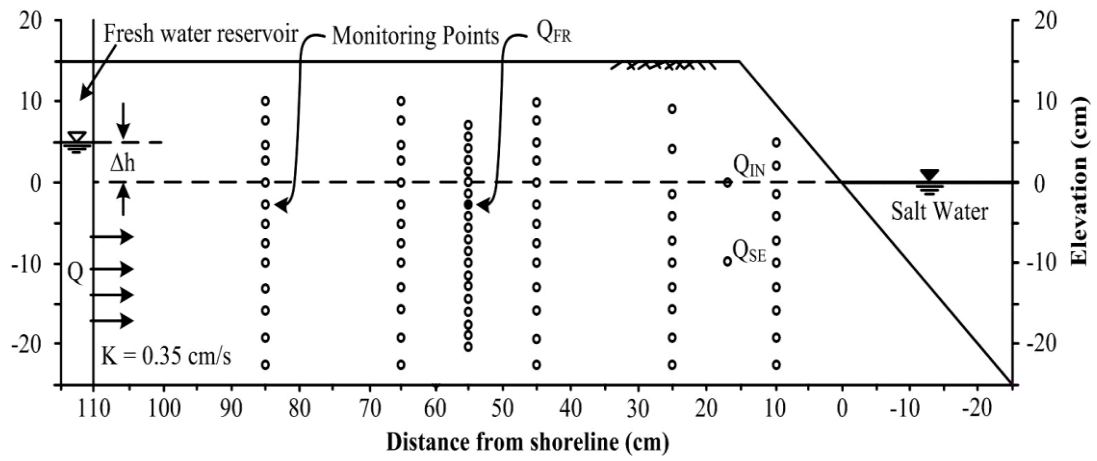


รูปที่ 3.4 รูปด้านข้างของโครงทดสอบในห้องปฏิบัติการ

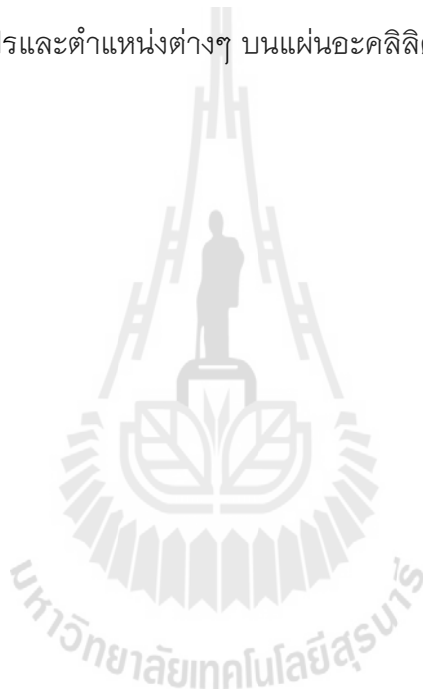
ปล่อยน้ำจากแหล่งน้ำจืดภายนอก โดยที่ระดับความสูงของน้ำจะมีการผันแปรไปในแต่ละชุดการทดสอบ (รายละเอียดของชุดการทดสอบต่างๆ แสดงในบทที่ 4) เมื่อได้น้ำจืดในระดับที่ต้องการแล้วจึงทำการดูดน้ำจืดออกอย่างรวดเร็วตรงบริเวณช่องว่างทางด้านขวาของโครงทดสอบ จากนั้นเติมน้ำเค็มอิมิตัวลงไปเพื่อเป็นตัวแทนของน้ำทะเล และรักษาระดับความสูงของน้ำเค็มให้คงที่ตลอดการทดสอบ รูปที่ 3.5 แสดงโครงทดสอบที่จัดเตรียมสำหรับการทดสอบที่กล่าวไว้ข้างต้น น้ำเค็มที่นำมาทดสอบนี้เตรียมขึ้นมาจากน้ำจืดผสมกับเกลือบริสุทธิ์

แผ่นอะคลิลิคด้านหลังถูกเจาะรูเพื่อใช้ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มของของชั้นน้ำบาดาลในระหว่างการทดสอบ ซึ่งแต่ละรูจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร โดยจะตรวจวัดในช่วงเวลาต่างๆ ที่กำหนด ในการทดสอบจะมีการผันแปรระดับน้ำจืดและน้ำเค็ม ตำแหน่งการสูบน้ำจืด อัตราการสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง อัตราการเติมน้ำจืดตามแนวชายฝั่ง และความลึกของแนวทึบน้ำใต้ดิน โดยจะใช้เครื่องมือในการตรวจวัดความเค็มของการเปลี่ยนแปลงของของไหลในโครงทดสอบภายใต้สภาวะต่างๆ ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 4

ในการจำลองนี้มีข้อจำกัด คือ จะจำลองการรुक้าของน้ำทะเลที่เข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลโดยไม่มีชั้นหินปิดทับ ในรูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งต่างๆ ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มของชั้นน้ำบาดาล โดยที่ Δh คือ ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำจืดและน้ำเค็ม Q คือ อัตราการเติมน้ำจืด Q_{FR} คือ อัตราการสูบน้ำจืด Q_{SE} คือ อัตราการสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง Q_{IN} คือ อัตราการเติมน้ำจืดตามแนวชายฝั่ง และ D_B คือ ระดับความลึกของแนวทึบน้ำใต้ดิน



รูปที่ 3.5 ตัวแปรและตำแหน่งต่างๆ บนแผนอะคลิลิคที่ใช้ในการทดสอบ



บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

4.1 วัตถุประสงค์

ในบทนี้ได้อธิบายวิธีการทดสอบและผลการทดสอบของการจำลองการรูก้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลที่ไม่มีชั้นหินปิดทับ การทดสอบจะเน้นที่ประสิทธิภาพของการควบคุมโดยใช้แบบจำลองย่อส่วน วิธีการควบคุมการทดสอบประกอบด้วย การสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง การอัดน้ำจืดแนวชายฝั่ง และการสร้างแนวที่บ่อน้ำใต้ดิน

4.2 วิธีการทดสอบ

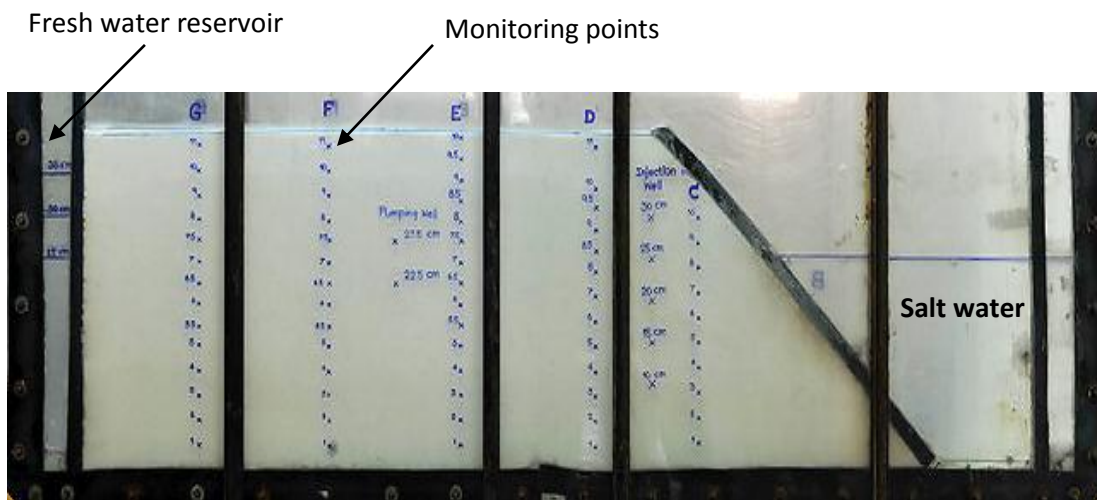
การทดสอบประกอบด้วย 5 ชุดการทดสอบ คือ 1) การทดสอบภายใต้สภาวะธรรมชาติโดยไม่มีผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์ 2) การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำจืด 3) การทดสอบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวบ่ออัดน้ำจืด 4) การทดสอบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง และ 5) การทดสอบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวที่บ่อน้ำใต้ดิน

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ ทราบัดขนาดที่มีเม็ดขนาด 0.6–0.8 มิลลิเมตร ที่นำมาจำลองเป็นชั้นน้ำบาดาลโดยไม่มีชั้นหินปิดทับ ซึ่งมีความหนา 40 เซนติเมตร และสูง 140 เซนติเมตร ทางด้านขวาของโครงทดสอบจะสร้างเป็นความลาดชันที่มีมุมเอียง 45° สำหรับจำลองแนวชายฝั่ง ซึ่งตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบได้อธิบายไว้ในตารางที่ 4.1 โดยที่ Δh คือ ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำจืดและน้ำเค็ม Q คือ อัตราการเติมน้ำจืด Q_{FR} คือ อัตราการสูบน้ำจืด Q_{SE} คือ อัตราการสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง Q_{IN} คือ อัตราการเติมน้ำจืดตามแนวชายฝั่ง และ D_B คือ ระดับความลึกของแนวที่บ่อน้ำใต้ดิน ในรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงโครงทดสอบและจุดตรวจวัดที่ตำแหน่งต่างๆ สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มของของไหล (น้ำจืดและน้ำเค็ม) ที่ไหลเวียนในโครงทดสอบภายใต้สภาวะต่างๆ ในการทดสอบจะกำหนดให้น้ำจืดอยู่ฝั่งซ้ายของโครงทดสอบ ในขณะที่น้ำเค็ม (เป็นตัวแทนของน้ำทะเล) อยู่ฝั่งขวาของโครงทดสอบ และมีระดับความสูงที่ต่ำกว่าระดับความสูงของน้ำจืด

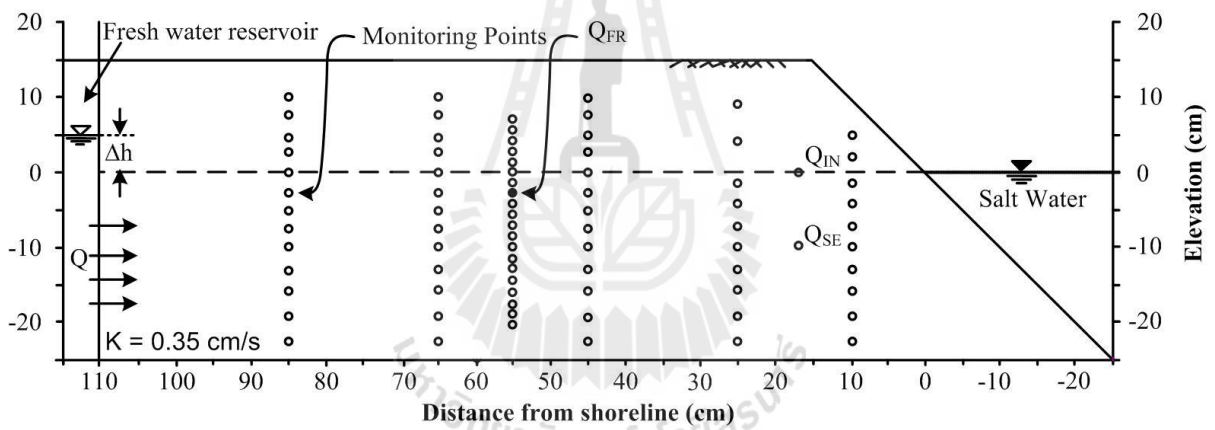
ในการทดสอบได้กำหนดระดับความแตกต่างของน้ำจืดและน้ำเค็มไว้ 2 ระดับ คือ 5 และ 10 เซนติเมตร โดยควบคุมให้ระดับของน้ำคงที่ตลอดการทดสอบ และน้ำเค็มจะถูกทำให้อิ่มตัว 100% ตลอดเวลา ซึ่งน้ำเค็มที่ใช้ในการทดสอบได้มาจากการนำน้ำจืดผสมกับเกลือบริสุทธิ์ จุดตรวจวัดที่อยู่ด้านหลังแผ่นอะคลิลิคสามารถเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละระดับความลึกและ

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ

ชุดการทดสอบ	ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ					
	Δh (cm)	Q (cc/min)	Q _{FR} (cc/min)	Q _{IN} (cc/min)	Q _{SE} (cc/min)	D _B (cm)
สภาวะตามธรรมชาติ	10	62				
	5	24				
การสูบน้ำจืด	10	62	0.2			
		85	10			
		120	100			
	5	25	5			
		50	30			
		96	70			
การอัดน้ำจืดตามแนวชายฝั่ง	5	80		7		
		80	70	15		
		57		50		
แนวการสูบน้ำเค็ม	5	75			15	
		100	70		50	
		150			100	
แนวทึบน้ำ	5	96	70			-5
						-10
						-15



รูปที่ 4.1 โครงทดสอบที่ใช้ศึกษาการรุกรานของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล



รูปที่ 4.2 ตัวแปรและตำแหน่งบนแผนอะคลิลิคที่ใช้ในการทดสอบ

ตำแหน่งต่างๆ เพื่อนำมาตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็ม นอกจากนี้ยังต้องทำการตรวจวัดค่าความเค็มในเชิงเวลาอีกด้วย โดยการทดสอบทั้งหมดจะกระทำภายใต้อุณหภูมิห้อง

4.3 ผลการทดสอบ

ค่าความซึมผ่านของทรายคัดขนาดในแบบจำลองหาได้จากการใช้กฎของดาร์ซี ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.35 cm/s

4.3.1 ผลการทดสอบภายใต้สภาวะธรรมชาติโดยไม่มีผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์

ภายใต้สภาวะตามธรรมชาติโดยไม่มีผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์ ที่ Δh เท่ากับ 10 เซนติเมตร และ Q เท่ากับ 62 cc/min พบว่าแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มเคลื่อนตัวเข้ามาที่ 25 ถึง 45 เซนติเมตร จากแนวชายฝั่ง เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ Ghyben-Herzberg ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และสำหรับ Δh เท่ากับ 5 เซนติเมตร และ Q เท่ากับ 24 cc/min พบว่าแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มเคลื่อนตัวเข้ามาที่ 60 ถึง 65 เซนติเมตร จากแนวชายฝั่ง และสอดคล้องกับการคำนวณด้วยสมการ Ghyben-Herzberg ดังแสดงในรูปที่ 4.4

การคำนวณหาแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม

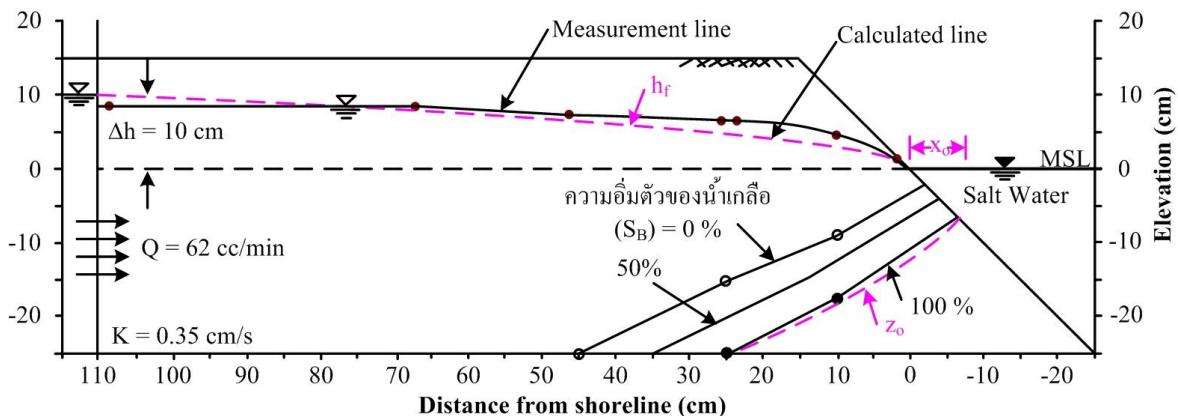
ค่าที่ได้จากความสัมพันธ์ของสมการ Ghyben - Herzberg สามารถใช้ประเมินรูปร่างของแนวรอยต่อ ซึ่งความสัมพันธ์นี้ได้รับการพัฒนาจากทฤษฎีการไหล (รูปที่ 4.5) โดยอยู่ในรูปของ (Todd and May, 2005)

$$z^2 = \frac{2\rho q x}{\Delta\rho K} + \left(\frac{\rho q}{\Delta\rho K}\right)^2 \quad (4.1)$$

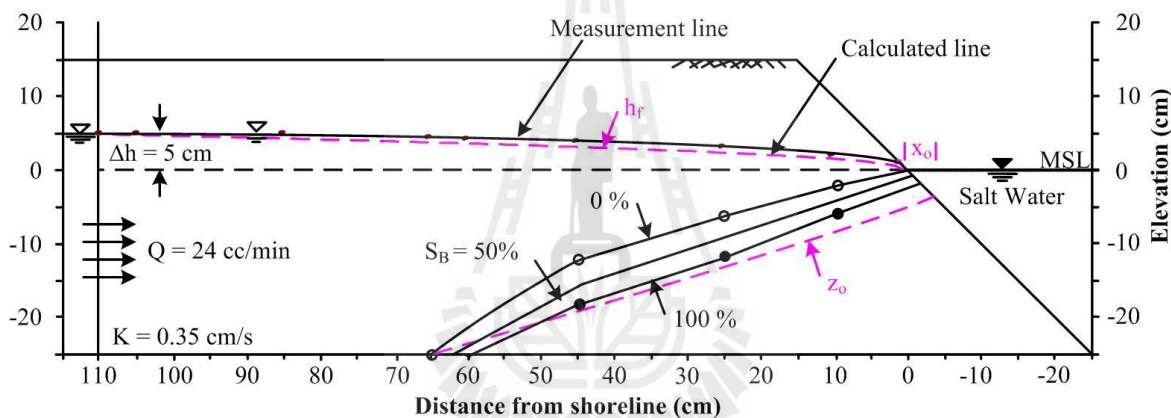
โดยที่ z และ x แสดงในรูปที่ 4.5 ในการทดสอบนี้ $\Delta\rho = \rho_s - \rho_f = 0.23 \text{ g/cm}^3$, K คือ ค่าความซึมผ่านของชั้นทรายที่ไม่มีชั้นหินปิดทับมีค่าเท่ากับ 0.35 cm/s และ q คือ ค่าการไหลของน้ำจืดต่อความยาวของแนวชายฝั่ง

ความสัมพันธ์ของรูปร่างของชั้นน้ำบาดาลคำนวณได้จากสมการที่ 4.2

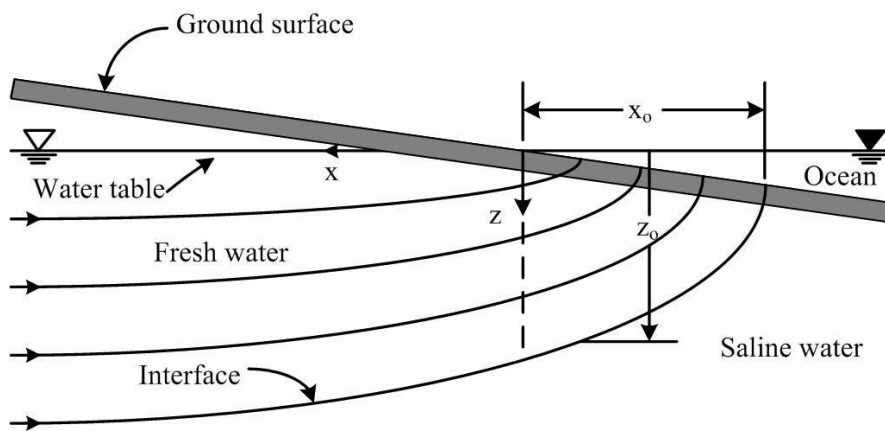
$$h_f = \left(\frac{2\Delta\rho q x}{(\rho + \Delta\rho)K}\right)^{1/2} \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบภายใต้สภาวะทางธรรมชาติ (เส้นทึบ) เปรียบเทียบกับการคำนวณจากสมการของ Ghyben-Herzberg solution (เส้นประ) ที่ $\Delta h = 10$ cm



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบภายใต้สภาวะทางธรรมชาติ (เส้นทึบ) เปรียบเทียบกับการคำนวณจากสมการของ Ghyben-Herzberg solution (เส้นประ) ที่ $\Delta h = 5$ cm



รูปที่ 4.5 รูปแบบการไหลของน้ำจืดในชั้นน้ำบาดาลที่ไม่มีชั้นหินปิดทับ (ดัดแปลงมาจาก Todd and May, 2005)

ความกว้าง (x_0) คือ ระยะห่างระหว่างบริเวณที่เป็นน้ำเต็มอิมตัวถึงจุดแรกที่น้ำจืดไหลลงสู่ทะเลที่ระดับความลึกของแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.3

$$x_0 = \frac{\rho q}{2\Delta\rho K} \quad (4.3)$$

ความลึกของแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มคำนวณได้จากสมการที่ 4.4

$$z_0 = \frac{\rho q}{\Delta\rho K} \quad (4.4)$$

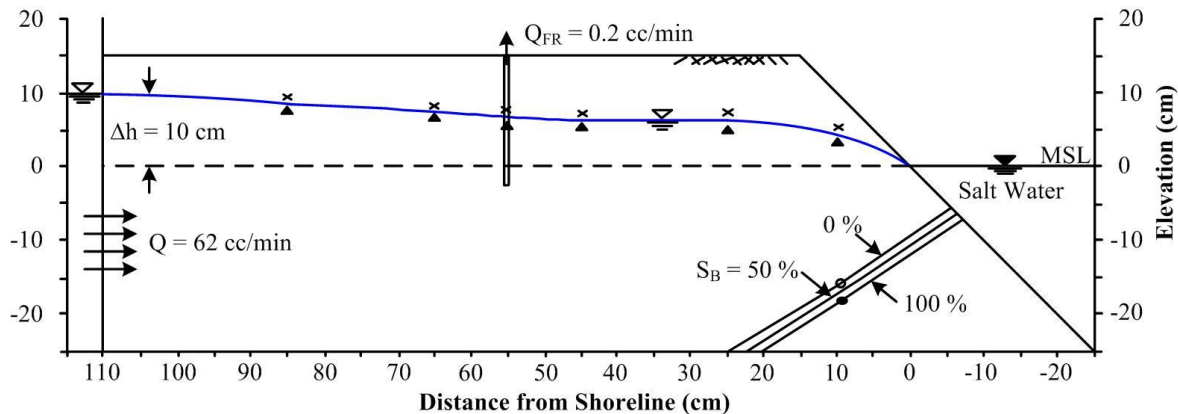
จากการคำนวณ Δh เท่ากับ 10 เซนติเมตร มีค่า x_0 เท่ากับ 5.09 เซนติเมตร และที่ Δh เท่ากับ 5 เซนติเมตร มีค่า x_0 เท่ากับ 1.94 เซนติเมตร ผลที่ได้จากการคำนวณจากความสัมพันธ์ของ Ghyben – Herzberg และผลที่ได้จากการทดสอบด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพมีค่าใกล้เคียงกันดังได้แสดงในรูปที่ 4.3 และ 4.4

4.3.2 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำจืด

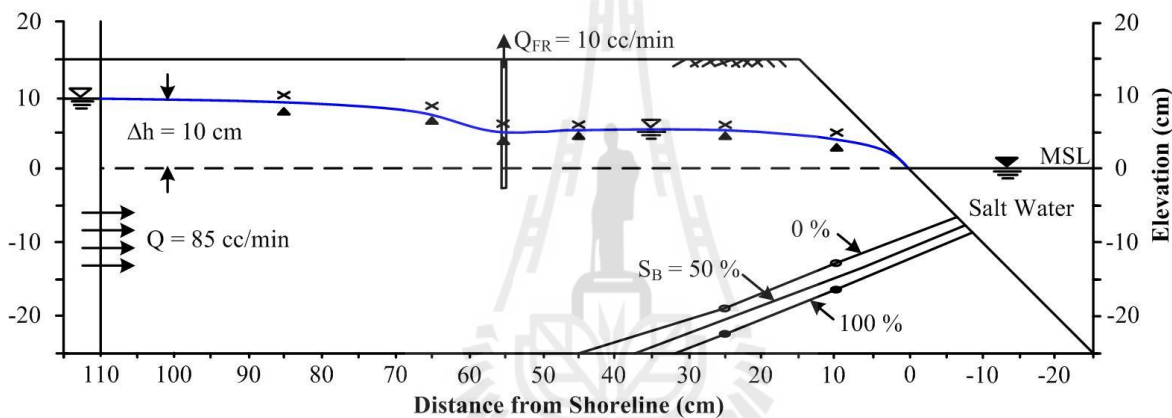
การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำจืดประกอบด้วย 6 ชุดการทดสอบ โดยมีการผันแปร Δh และ Q_{FR} สำหรับ Δh เท่ากับ 10 เซนติเมตร ที่ค่า Q_{FR} เท่ากับ 0.2, 10 และ 100 cc/min (รูปที่ 4.6 ถึง 4.8) โดยจำลองการสูบน้ำจืดที่ระดับ 2.5 เซนติเมตร ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มเคลื่อนตัวเข้ามาในชั้นน้ำบาดาลเล็กน้อย สำหรับ Δh เท่ากับ 5 เซนติเมตร ที่ค่า Q_{FR} เท่ากับ 5, 30 และ 70 cc/min พบว่าแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มเคลื่อนตัวเข้ามาที่ระยะ 95 ถึง 110 เซนติเมตร จากแนวชายฝั่ง (รูปที่ 4.9 ถึงรูปที่ 4.11) ที่ Δh เท่ากับ 5 เซนติเมตร และมีอัตราการสูบน้ำจืดสูงจึงทำให้เกิดรูปโคนที่ตำแหน่งบ่อสูบน้ำ และทำให้น้ำในบ่อสูบน้ำมีความเค็มเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และ 4.11 ในทำนองเดียวกันที่ Δh เท่ากับ 10 เซนติเมตร จะไม่มีผลกระทบต่อความเค็มของน้ำในบ่อสูบน้ำบาดาล ผลการทดสอบได้แสดงในตารางที่ 4.2

4.3.3 การจำลองการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวบ่ออัดน้ำจืด

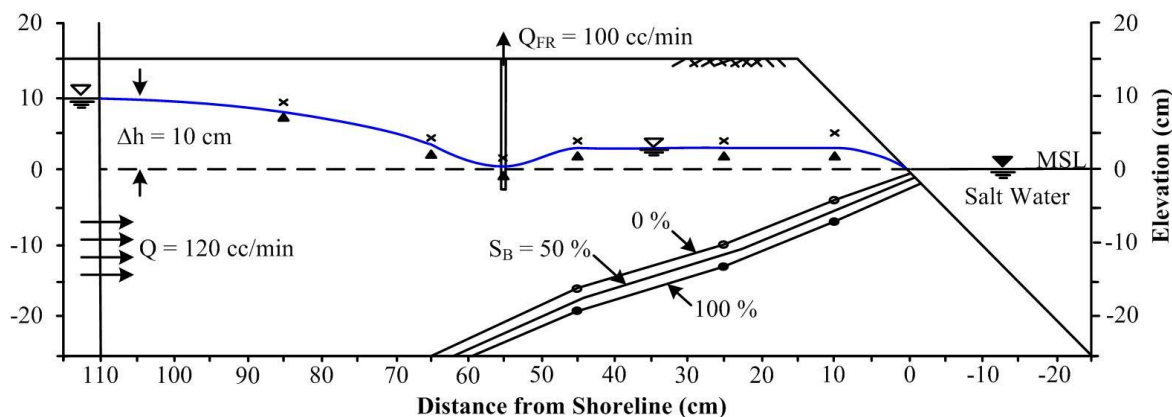
ผลการจำลองการสร้างแนวบ่ออัดน้ำจืดที่ระดับน้ำทะเลในอัตราที่แตกต่างกัน คือ $Q_{IN} = 7, 15$ และ 50 cc/min (รูปที่ 4.12 ถึง 4.14) พบว่าภายใต้สภาวะการอัดน้ำจืดที่อัตรา 50 cc/min และมีอัตราการสูบน้ำบาดาลที่ $Q_{FR} = 70$ cc/min ส่งผลให้แนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและ



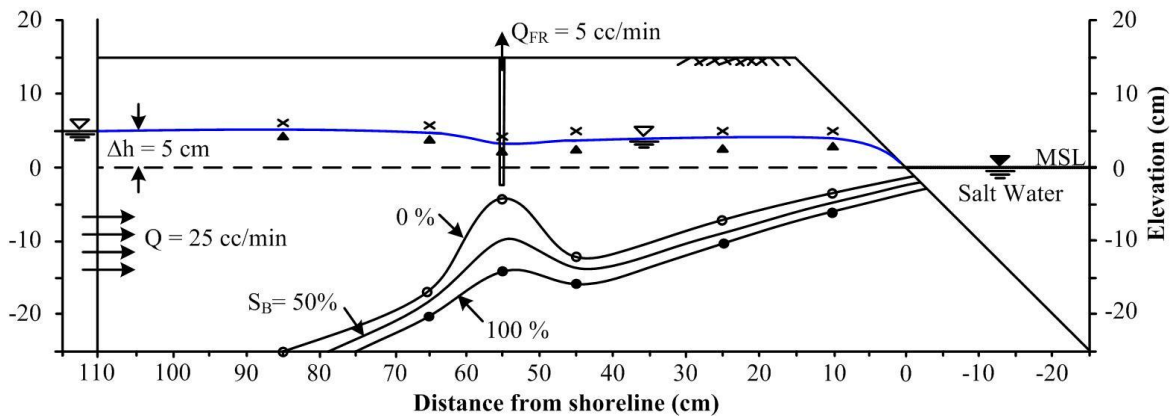
รูปที่ 4.6 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 10$ cm, $Q_{FR} = 0.2$ cc/min



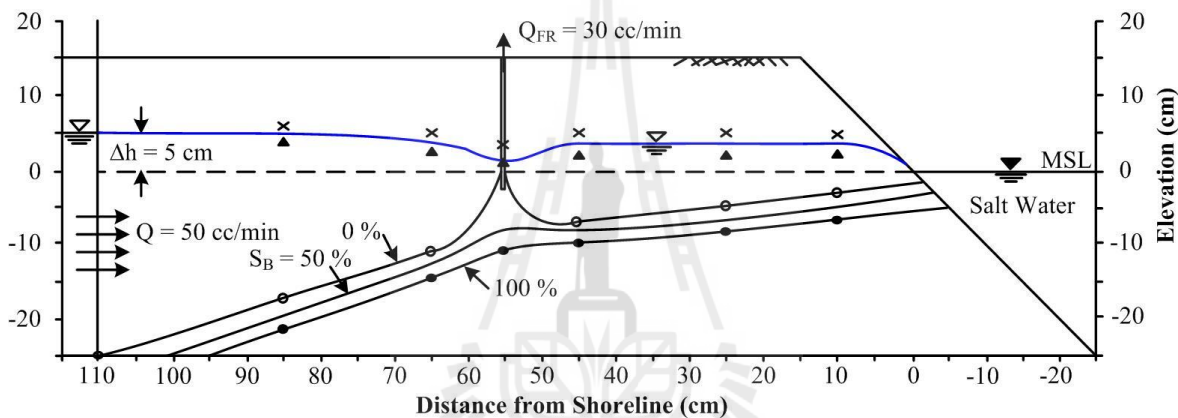
รูปที่ 4.7 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 10$ cm, $Q_{FR} = 10$ cc/min



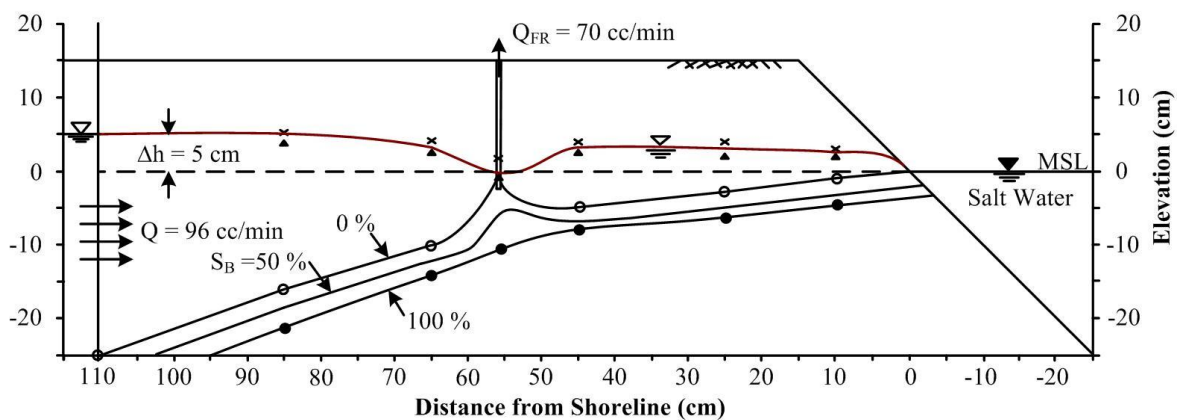
รูปที่ 4.8 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 10$ cm, $Q_{FR} = 100$ cc/min



รูปที่ 4.9 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 5$ cm, $Q_{FR} = 5$ cc/min



รูปที่ 4.10 การทดสอบผลกระทบจากการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 5$ cm, $Q_{FR} = 30$ cc/min



รูปที่ 4.11 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 5$ cm, $Q_{FR} = 70$ cc/min

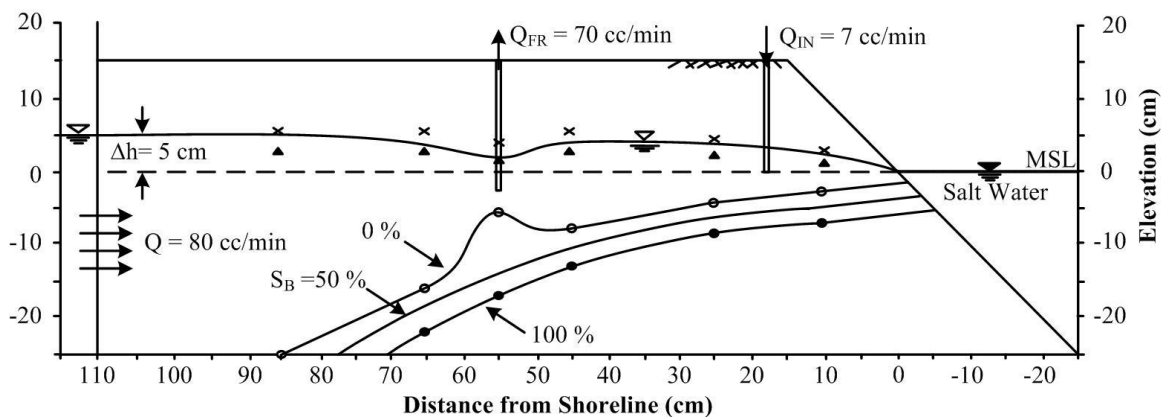
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบโดยผันแปรอัตราการสูบน้ำจืด

ชุดการทดสอบ	ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ			ผลการทดสอบ		
	Δh (cm)	Q (cc/min)	Q_{FR} (cc/min)	% ความเต็ม ของบ่อสูบ	1 *	2 *
อัตราการสูบน้ำใช้	10	62	0.2	0	<-25	<-25
		85	10	0	<-25	-22
		120	100	0	-23	-14
	5	25	5	0	-13	-11
		50	30	20	-10	-9
		96	70	45	-8	-7

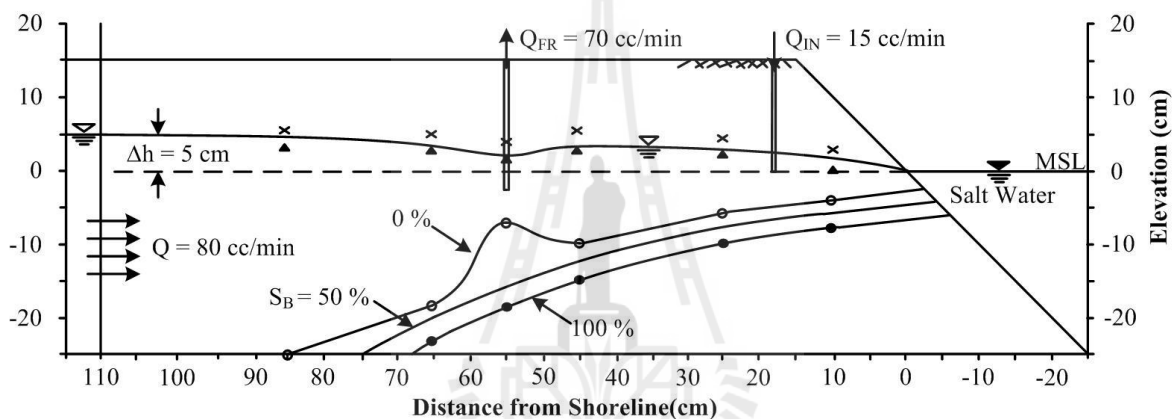
1* ระดับความสูงของรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มที่ตำแหน่งบ่อสูบ (cm)

2* ระดับความสูงของรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มที่ระยะทางครึ่งหนึ่งจากแนวชายฝั่งและตำแหน่งบ่อสูบ (cm)

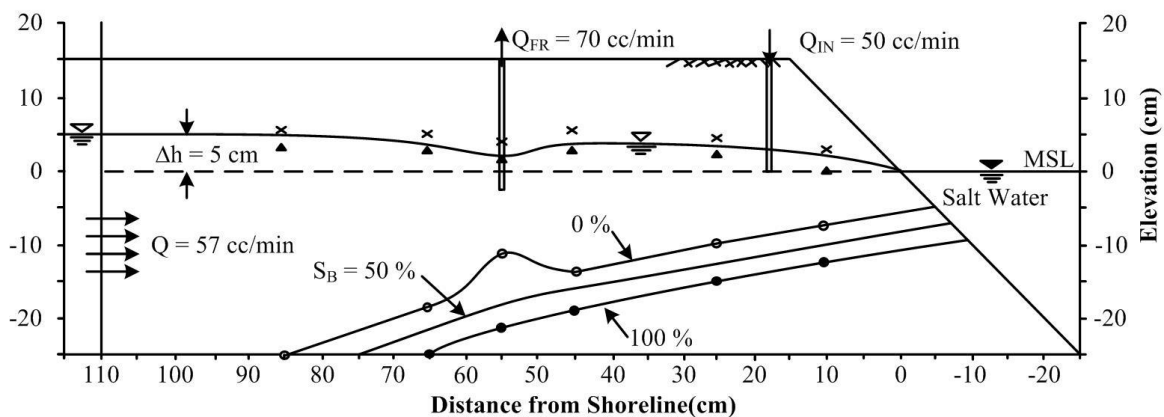




รูปที่ 4.12 ผลการจำลองการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยวิธีการสร้างแนวอัดน้ำจืดที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง
 $Q_{IN} = 7 \text{ cc/min}$



รูปที่ 4.13 ผลการจำลองการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยวิธีการสร้างแนวอัดน้ำจืดที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง
 $Q_{IN} = 15 \text{ cc/min}$



รูปที่ 4.14 ผลการจำลองการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการสร้างแนวอัดน้ำจืดที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง
 $Q_{IN} = 50 \text{ cc/min}$

น้ำเค็มเคลื่อนตัวมาที่ระยะ 65 เซนติเมตร จากแนวชายฝั่งทะเลดังแสดงในรูปที่ 4.14 และที่อัตราการอัดน้ำจืด $Q_N = 15$ cc/min โดยมีอัตราการสูบน้ำบาดาลที่ $Q_{FR} = 70$ cc/min จะทำให้แนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มเคลื่อนตัวมาที่ระยะ 68 เซนติเมตร (รูปที่ 4.13) และด้วยอัตราการอัดน้ำจืดเท่ากับ 7 cc/min โดยมีอัตราการสูบน้ำบาดาลที่ 70 cc/min จะทำให้แนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มเคลื่อนตัวมาที่ระยะ 70 เซนติเมตร จากผลการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มจะลดลงเมื่อมีอัตราการเติมน้ำจืดที่เพิ่มขึ้น ผลจากการสร้างแนวบ่ออัดน้ำจืดตามแนวชายฝั่ง ทำให้ความเค็มในบ่อสูบน้ำบาดาลมีค่าเป็น 0% (ผลการทดสอบได้แสดงในตารางที่ 4.3)

4.3.4 การจำลองการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง

การสร้างแนวบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่งจะจำลองโดยใช้วิธีการสูบน้ำเค็มที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร ต่ำกว่าระดับน้ำทะเล โดยที่บ่อสูบน้ำเค็มอยู่ห่างจากแนวชายฝั่ง 17 เซนติเมตร มีอัตราการสูบน้ำเค็มแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 15, 50 และ 100 cc/min สำหรับอัตราการสูบน้ำบาดาลจะกำหนดให้มีอัตราคงที่ที่ 70 cc/min จากการทดสอบการสูบน้ำเค็มที่อัตรา 15 cc/min พบว่าแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มเคลื่อนเข้ามามากที่ระยะ 95 ถึง 110 เซนติเมตร (รูปที่ 4.15) และพบว่าน้ำที่สูบน้ำจากบ่อบาดาลมีความเค็มเท่ากับ 20% จากการทดสอบด้วยอัตราการสูบน้ำเค็มที่ 50 cc/min พบว่าแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มเคลื่อนเข้ามามากที่ระยะ 85 ถึง 110 เซนติเมตร (รูปที่ 4.16) และวัดความเค็มในบ่อสูบน้ำบาดาลได้เท่ากับ 0% และจากการทดสอบด้วย อัตราการสูบน้ำเค็มที่ 100 cc/min พบว่าแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มเคลื่อนเข้ามามากที่ระยะ 65 ถึง 85 เซนติเมตร (รูปที่ 4.17) โดยที่ความเค็มในบ่อสูบน้ำบาดาลมีค่าเท่ากับ 0% จากผลการทดสอบทั้งหมดพบว่า กรณีที่มีการสูบน้ำเค็มในอัตราสูงกว่าอัตราการสูบน้ำจืดจะส่งผลให้การสร้างแนวบ่อสูบน้ำเค็มมีประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหารุกล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล (ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.4)

4.3.5 การจำลองการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวที่บ่อน้ำใต้ดิน

การสร้างแนวที่บ่อน้ำใต้ดินจะจำลองโดยใช้แท่งเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 6 มิลลิเมตร วางในแนวตั้งใกล้กับแนวชายฝั่ง โดยแนวที่บ่อน้ำที่จำลองขึ้นจะมี 3 ระดับความลึก คือ 5, 10 และ 15 เซนติเมตร (ต่ำกว่าระดับน้ำเค็ม) ในการทดสอบนี้จะมีการสูบน้ำจืดด้วยอัตราคงที่เท่ากับ 70 cc/min ผลที่ได้พบว่าเมื่อแนวที่บ่อน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร ต่ำกว่าระดับน้ำเค็ม ทำให้แนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มอยู่ที่ระยะ 68 ถึง 85 เซนติเมตร จาก

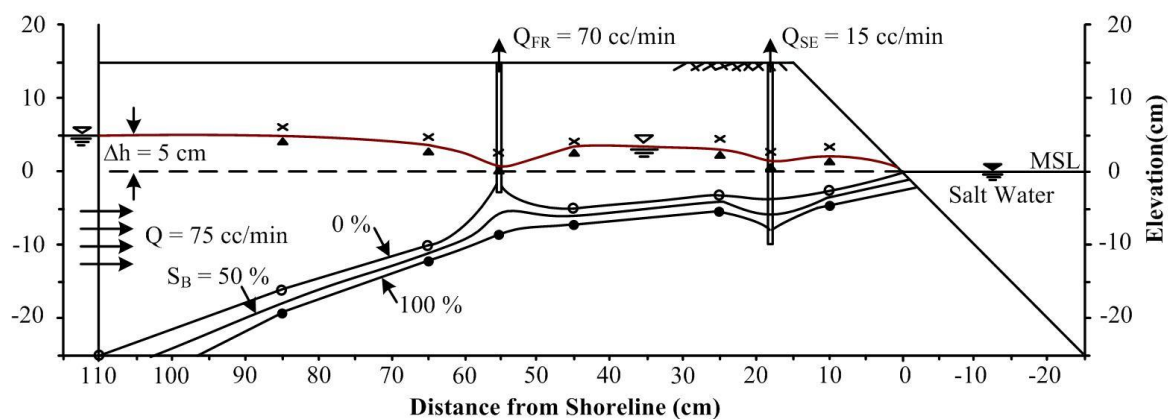
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการสร้างแนวอัดน้ำจืด

ชุดการทดสอบ	ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ				ผลการทดสอบ		
	Δh (cm)	Q (cc/min)	Q_{FR} (cc/min)	Q_{IN} (cc/min)	% ความเต็มของบ่อสูบ	1 *	2 *
การอัดน้ำจืด	5	80	70	7	0	-18	-10
		80		15		-19	-11
		57		50		-23	-15

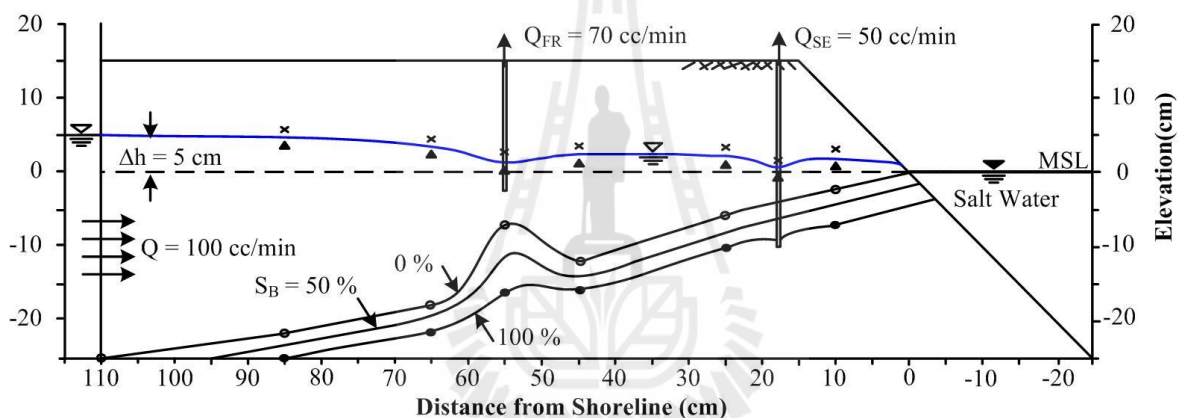
1* ระดับความสูงของรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเต็มที่ตำแหน่งบ่อสูบ (cm)

2* ระดับความสูงของรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเต็มที่ระยะทางครึ่งหนึ่งจากแนวชายฝั่งและตำแหน่งบ่อสูบ (cm)

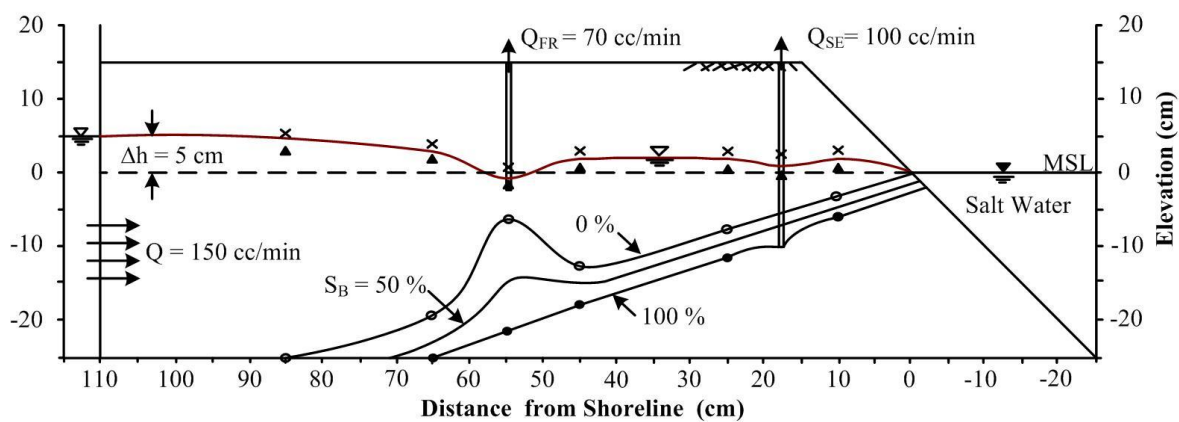




รูปที่ 4.15 ผลการจำลองวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยการสร้างแนวสูปน้ำเค็มที่ระดับ -10 cm, $Q_{SE} = 15 \text{ cc/min}$



รูปที่ 4.16 ผลการจำลองวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยการสร้างแนวสูปน้ำเค็มที่ระดับ -10 cm, $Q_{SE} = 50 \text{ cc/min}$



รูปที่ 4.17 ผลการจำลองวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยการสร้างแนวสูปน้ำเค็มที่ระดับ -10 cm, $Q_{SE} = 100 \text{ cc/min}$

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง

ชุดการ ทดสอบ	ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ				ผลการทดสอบ		
	Δh (cm)	Q (cc/min)	Q_{FR} (cc/min)	Q_{SE} (cc/min)	% ความเค็ม ของบ่อสูบ	1 *	2 *
การสร้างแนว บ่อสูบน้ำเค็ม	5	75	70	15	20	-8	-5
		100		50	0	-15	-10
		150		100	0	-22	-13

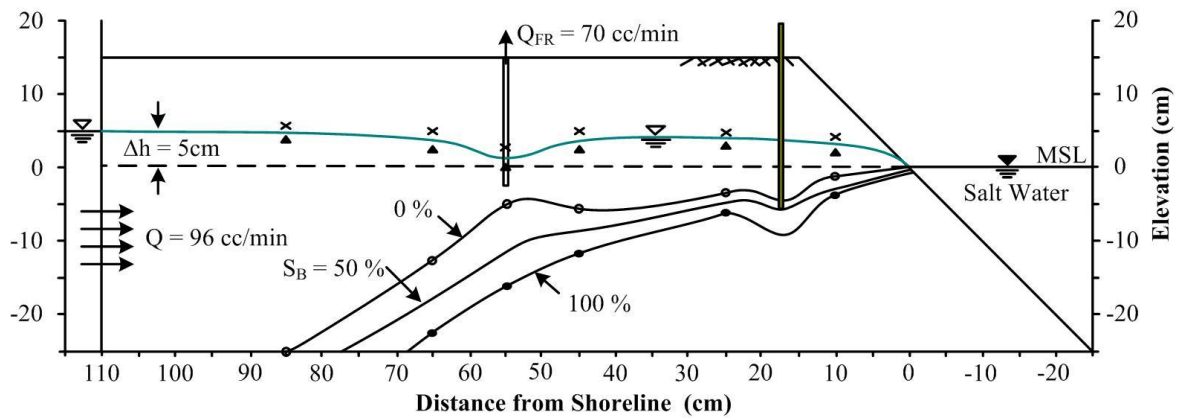
1* ระดับความสูงของรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มที่ตำแหน่งบ่อสูบ (cm)

2* ระดับความสูงของรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มที่ระยะทางครึ่งหนึ่งจากแนวชายฝั่งและตำแหน่งบ่อสูบ (cm)

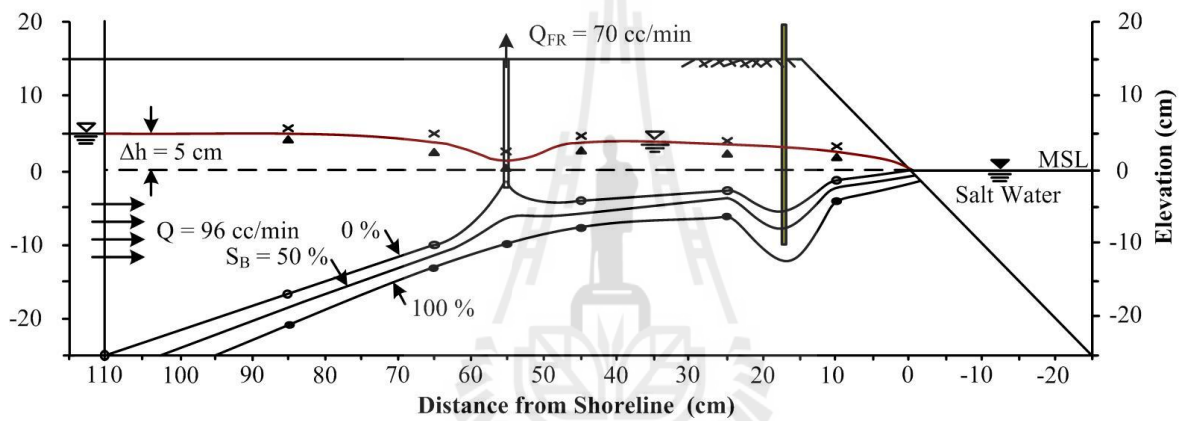


แนวชายฝั่ง และน้ำที่สูบได้จากบ่อบาดาลมีค่าความเค็มเป็น 0% ดังแสดงในรูปที่ 4.18 และเมื่อเพิ่มระดับความลึกของแนวทึบน้ำใต้ดินเป็น 10 เซนติเมตร (ต่ำกว่าระดับน้ำเค็ม) จะทำให้แนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มอยู่ที่ระยะ 95 ถึง 110 เซนติเมตร จากแนวชายฝั่ง แต่แนวทึบน้ำใต้ดินที่ระดับความลึกนี้ไม่สามารถลดการรุกคืบของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 อย่างไรก็ตามเมื่อเปลี่ยนระดับความลึกของแนวทึบน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นเท่ากับ 15 เซนติเมตร (รูปที่ 4.20) ก็ยังไม่สามารถช่วยลดความเค็มของน้ำในบ่อสูบน้ำบาดาลได้ ผลการทดสอบทั้งหมดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

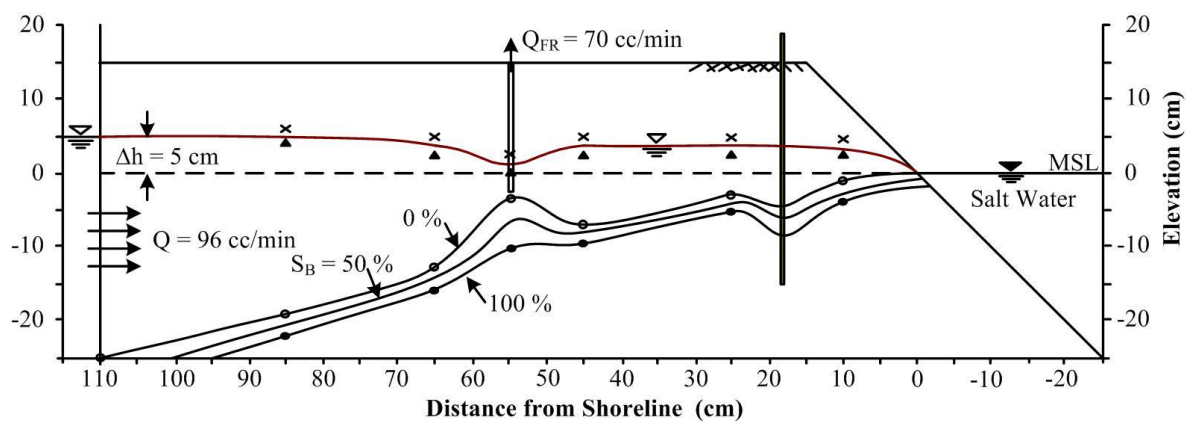




รูปที่ 4.18 ผลการจำลองวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวที่บ้น้ำดินที่ความลึก $D_B = -5$ cm



รูปที่ 4.19 ผลการจำลองวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวที่บ้น้ำดินที่ความลึก $D_B = -10$ cm



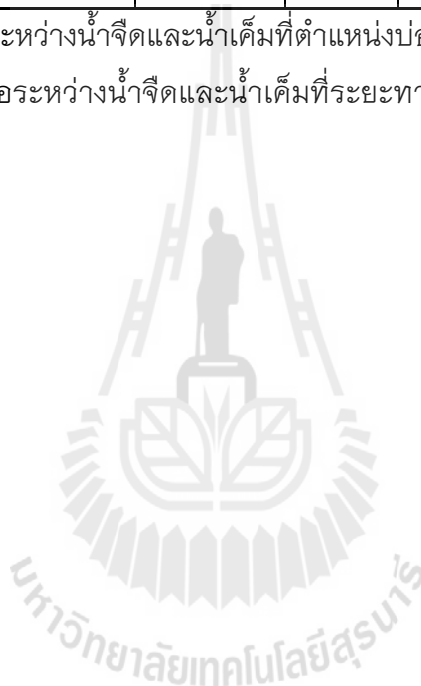
รูปที่ 4.20 ผลการจำลองวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวที่บ้น้ำดินที่ความลึก $D_B = -15$ cm

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการสร้างแนวทึบน้ำตามแนวชายฝั่ง

ชุดการทดสอบ	ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ			ผลการทดสอบ			
	Δh (cm)	Q (cc/min)	Q_{FR} (cc/min)	D_B (cm)	% ความเค็มของบ่อสูบ	1 *	2 *
การสร้างแนวทึบน้ำ	5	96	70	-5	0	-17	-9
				-10	15	-11	-7
				-15	0	-15	-8

1* ระดับความสูงของรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มที่ตำแหน่งบ่อสูบ (cm)

2* ระดับความสูงของรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มที่ระยะทางครึ่งหนึ่งจากแนวชายฝั่งและตำแหน่งบ่อสูบ (cm)



บทที่ 5

การทดสอบด้วยสีย้อม

5.1 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ในบทนี้ คือ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงการรุกรานของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ด้วยตาเปล่าโดยการใช้สีย้อม การทดสอบจะประกอบด้วย การทดสอบสถานะตามธรรมชาติที่ไม่มีการรบกวนจากมนุษย์ การทดสอบเพื่อดูสถานะที่มีการสูบน้ำใช้ การทดสอบวิธีการแก้ไขปัญหาโดยการสร้างแนวป้องกันน้ำจืดตามแนวชายฝั่ง การสร้างแนวป้องกันน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง และการสร้างแนวที่บ่อน้ำใต้ดิน

5.2 วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบนี้จะใช้สีแดงละลายในน้ำเค็มเพื่อใช้สังเกตการเคลื่อนตัวของน้ำเค็มไปยังชั้นน้ำบาดาล โดยใช้สีย้อมประมาณ 5-10 cc ซึ่งจะไม่ทำให้คุณสมบัติของน้ำเค็มเปลี่ยนแปลง

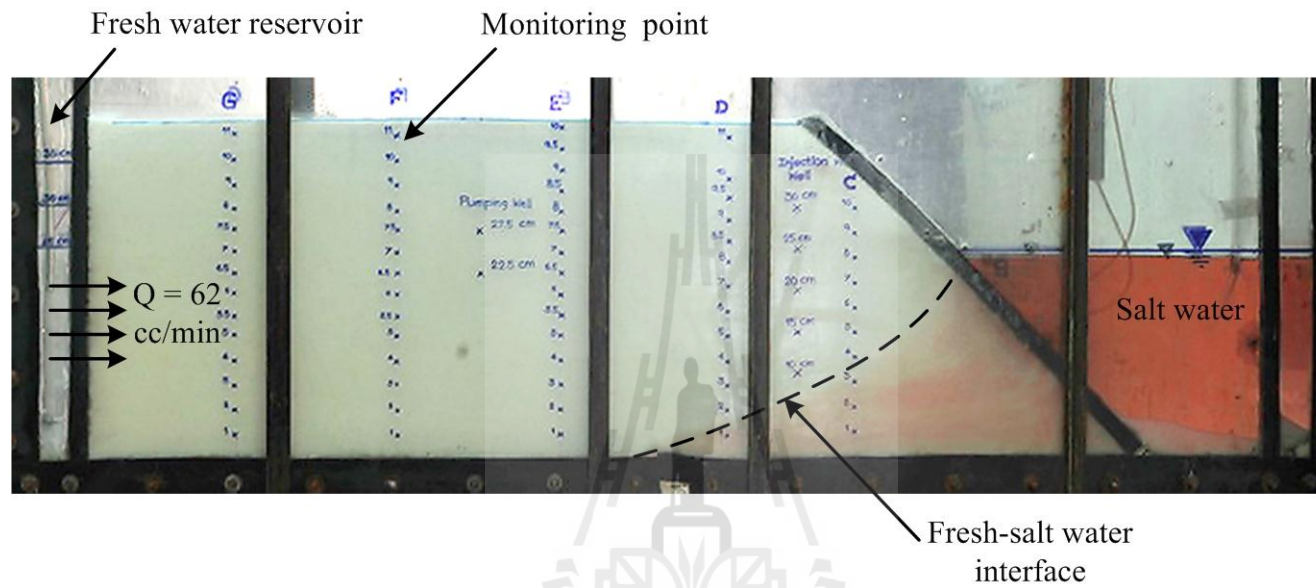
5.3 ผลการทดสอบ

5.3.1 ผลการทดสอบภายใต้สภาวะธรรมชาติโดยไม่มีผลกระทบจากการกระทำของมนุษย์

การทดสอบภายใต้สภาวะตามธรรมชาติที่ Δh เท่ากับ 10 เซนติเมตร อัตราการเติมน้ำจืดเท่ากับ 62 cc/min และ Δh เท่ากับ 5 เซนติเมตร อัตราการเติมน้ำจืดเท่ากับ 24 cc/min ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2 ในการทดสอบจะสามารถสังเกตเห็นแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มได้อย่างชัดเจน และพบว่าที่ Δh มีค่าต่ำ การรุกรานของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลจะมากกว่าที่ Δh สูง และสอดคล้องกับผลที่ได้ในบทที่ 4

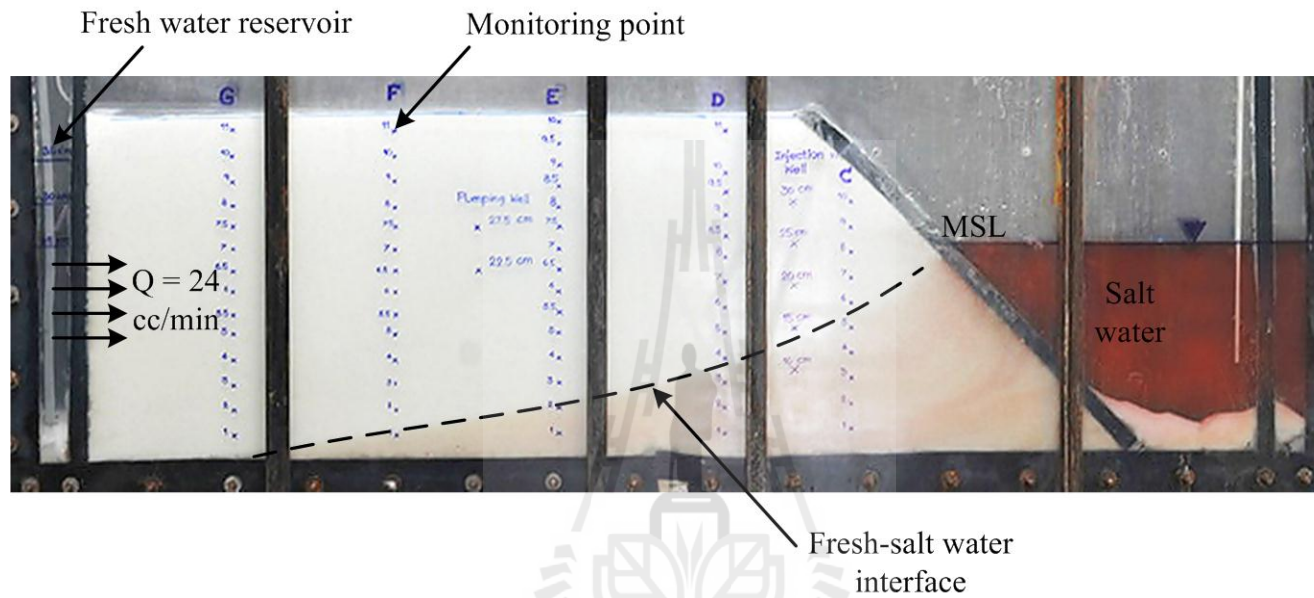
5.3.2 การจำลองผลกระทบจากการสูบน้ำจืด

การทดสอบภายใต้สภาวะที่มีการสูบน้ำบาดาลที่ Δh เท่ากับ 5 เซนติเมตร และอัตราการสูบน้ำจืดเท่ากับ 70 cc/min จากการทดสอบจะสามารถสังเกตเห็นแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มได้อย่างชัดเจน โดยเคลื่อนตัวที่ 95 ถึง 110 เซนติเมตร และเกิดโคลนขึ้นที่บริเวณบ่อสูบน้ำบาดาล ส่งผลให้บ่อสูบน้ำบาดาลมีความเค็มเพิ่มขึ้น ผลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดสอบในบทที่ 4 (รูปที่ 5.3)

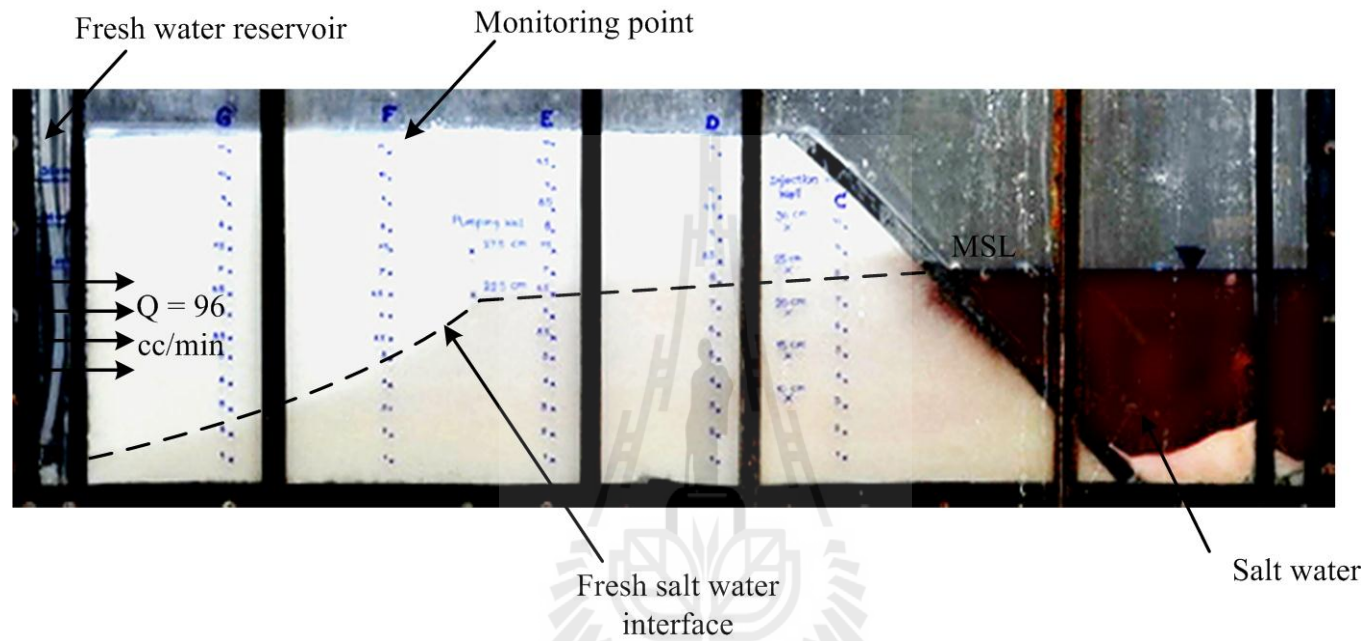


รูปที่ 5.1 ผลการทดสอบด้วยการใช้สีย้อมภายใต้สภาวะตามธรรมชาติที่ไม่มีการรบกวนจากมนุษย์ที่ $\Delta h = 10$ cm





รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบด้วยการใช้สีย้อมภายใต้สภาวะตามธรรมชาติที่ไม่มีการรบกวนจากมนุษย์ที่ $\Delta h = 5$ cm



รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบด้วยการใช้สีย้อมภายใต้สภาวะที่มีการสูบน้ำใช้ที่ $\Delta h = 5$ cm และ $Q_{FR} = 70$ cc/min

5.3.3 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวบ่ออัดน้ำจืด

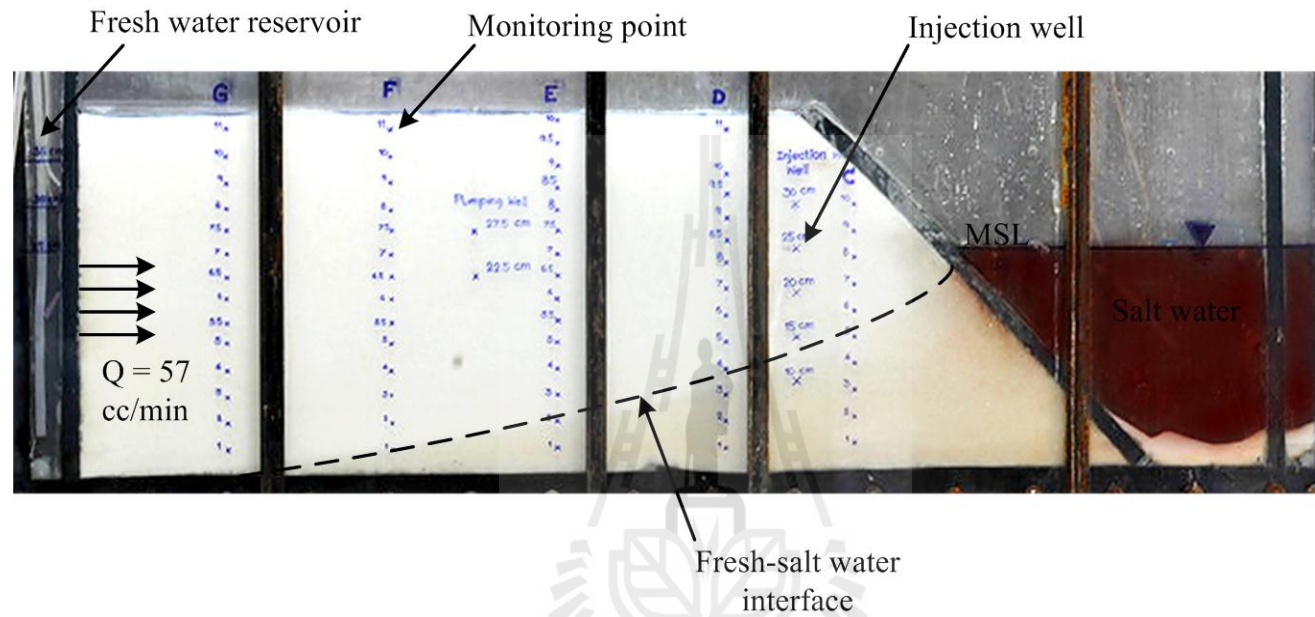
การทดสอบด้วยการสร้างแนวบ่ออัดน้ำจืดที่ Δh เท่ากับ 5 เซนติเมตร และอัตราการสูบน้ำจืดเท่ากับ 70 cc/min อัตราการอัดน้ำจืดที่ 50 cc/min และตำแหน่งการอัดน้ำจืดที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง พบว่าแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มมีระยะสั้นลงเมื่อวัดมาจากแนวชายฝั่ง และน้ำในบ่อสูบน้ำมีความเค็มเป็น 0% ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้ในบทที่ 4 (รูปที่ 5.4)

5.3.4 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง

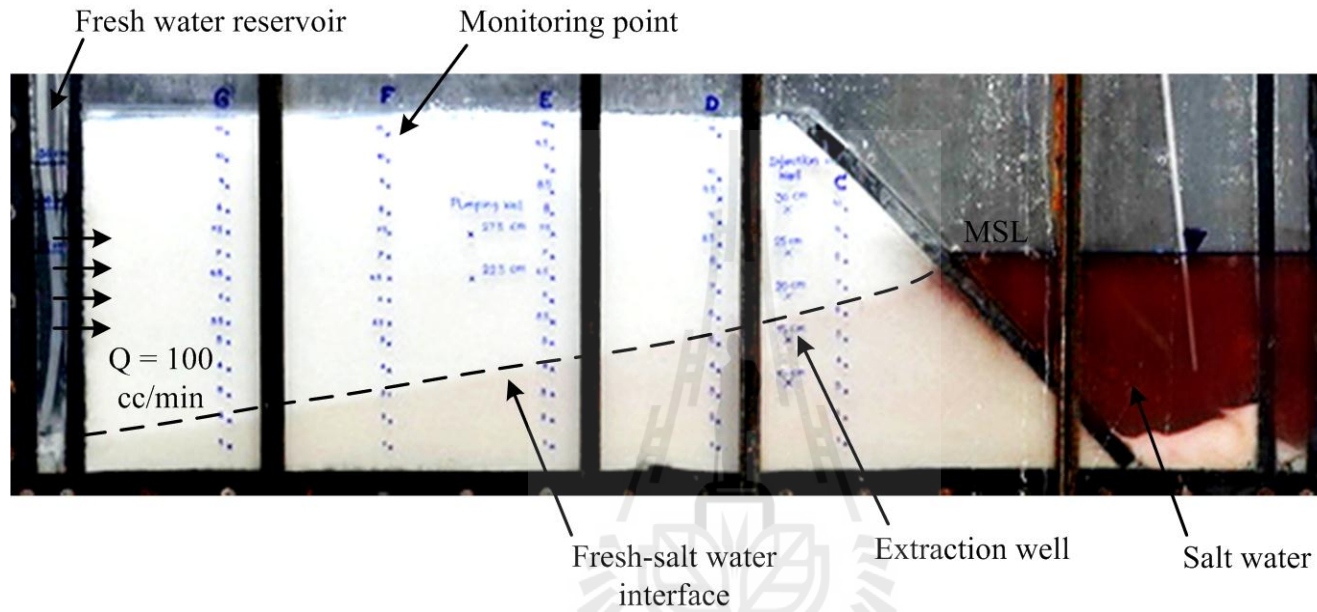
การทดสอบด้วยการสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่งที่ Δh เท่ากับ 5 เซนติเมตร และอัตราการสูบน้ำจืดเท่ากับ 70 cc/min อัตราการสูบน้ำเค็มที่ 50 cc/min และตำแหน่งบ่อสูบน้ำเค็มที่ 10 เซนติเมตร (ต่ำกว่าระดับน้ำทะเล) จะเห็นแนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มได้อย่างชัดเจนที่ระยะ 110 เซนติเมตร น้ำในบ่อสูบน้ำบาดาลไม่มีความเค็ม ซึ่งสอดคล้องกับบทที่ 4 (รูปที่ 5.5)

5.3.5 ผลการทดสอบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างแนวที่บ่อน้ำใต้ดิน

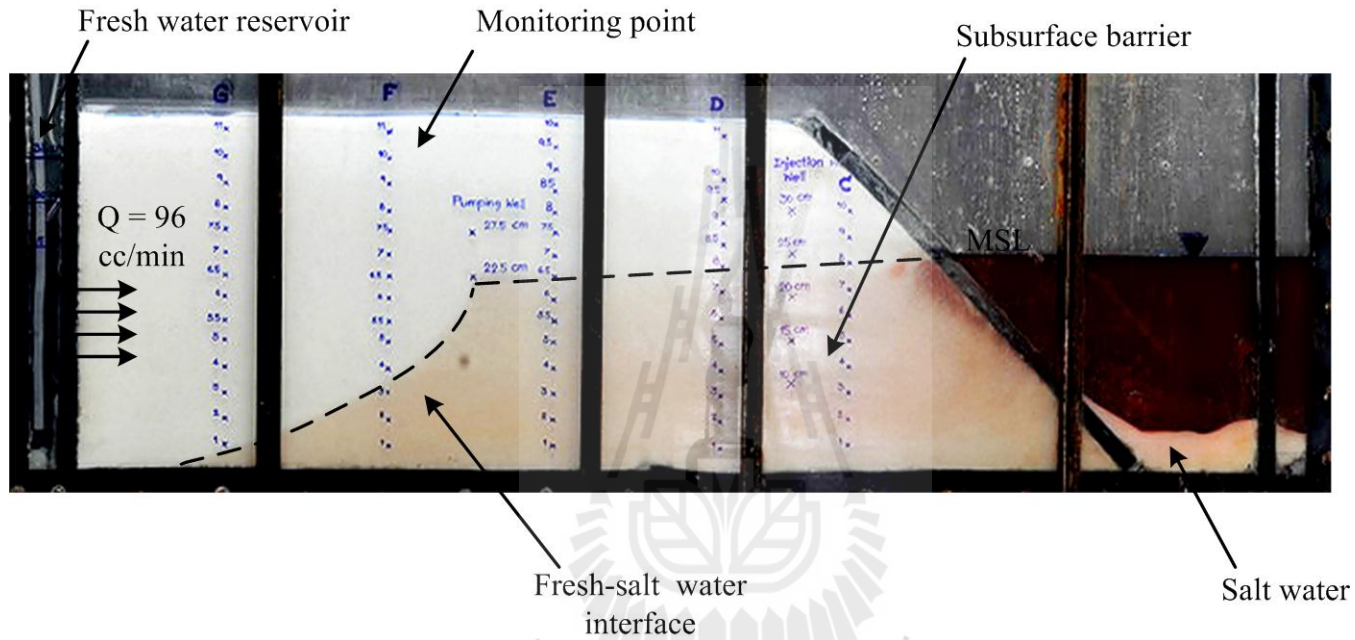
การทดสอบด้วยการสร้างแนวที่บ่อน้ำใต้ดินที่ระดับความลึกของแนวที่บ่อน้ำใต้ดินเท่ากับ 10 เซนติเมตร (ต่ำกว่าระดับน้ำทะเล) จากผลการทดสอบพบว่า แนวที่บ่อน้ำใต้ดินไม่สามารถช่วยการรูก้ำของน้ำทะเลเข้าไปยังบ่อสูบน้ำบาดาลได้ โดยที่แนวรอยต่อระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มอยู่ที่ 100 เซนติเมตร และเกิดโคลนที่บ่อสูบน้ำให้เห็นได้อย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 5.6 และผลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดสอบในบทที่ 4



รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบวิธีการสร้างแนวป้อัดน้ำจืดที่ระดับน้ำทะเลปานกลางด้วยการใช้สีย้อม โดยที่ $Q_{IN} = 50$ cc/min



รูปที่ 5.5 ผลการทดสอบวิธีการสร้างแนวปอสูบน้ำเค็มที่ระดับ 10 cm ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลด้วยสีย้อม โดยที่ $Q_{SE} = 50$ cc/min



รูปที่ 5.6 ผลการทดสอบวิธีการสร้างแนวทึบน้ำใต้ดินที่ระดับความลึกด้วยสีย้อม 10 cm ต่ำกว่าระดับน้ำทะเล

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ เพื่อจำลองการรुक้าของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยไม่มีชั้นหินปิดทับและเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการแก้ไขหรือบรรเทาปัญหาการรुक้าของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยใช้แบบจำลองย่อส่วนเชิงกายภาพที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ วิธีการแก้ไขที่นำมาศึกษาจะประกอบไปด้วย การสร้างแนวบ่ออัดน้ำจืด การสร้างบ่อสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่ง และการสร้างแนวทึบน้ำใต้ดิน ผลที่ได้จากการทดสอบการรुक้าของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลภายใต้สภาวะตามธรรมชาติและผลการคำนวณจากความสัมพันธ์ของ Ghyben-Herzberg มีค่าสอดคล้องกันเป็นอย่างดี

ผลกระทบจากการสูบน้ำบาดาลจะทำให้แนวรอยต่อระหว่างชั้นน้ำบาดาลและน้ำเค็มเคลื่อนตัวไปยังบ่อสูบน้ำบาดาล ซึ่งส่งผลให้บ่อสูบน้ำมีความเค็มเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้จะขึ้นกับอัตราการสูบน้ำ ความแตกต่างของระดับความสูงระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม และระดับความสูงของน้ำเค็ม ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่า เมื่อระดับความแตกต่างของระดับความสูงระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็มมีค่าน้อยแต่มีอัตราการสูบน้ำมาก จะส่งผลทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำเค็มที่บ่อสูบน้ำ และเมื่อมีการอัดน้ำจืดในอัตราประมาณร้อยละ 10 ของอัตราการเติมน้ำจืด จะส่งผลให้แนวรอยต่อระหว่างชั้นน้ำบาดาลและน้ำเค็มเคลื่อนตัวออกไปยังแนวชายฝั่งทะเล ทำให้น้ำในบ่อสูบน้ำมีความเค็มลดลงหรือไม่มีความเค็มเลย

วิธีการแก้ปัญหาด้วยการวางแนวสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่งจะมีประสิทธิภาพ สูงสุดเมื่อมีอัตราการสูบน้ำเค็มตามแนวชายฝั่งมาก และประสิทธิภาพของแนวทึบน้ำใต้ดินจะขึ้นกับระดับความลึกของแนวทึบน้ำที่อยู่ใต้ระดับน้ำเค็ม ซึ่งผลการทดสอบพบว่าเมื่อความลึกของแนวทึบน้ำใต้ดินที่อยู่ระดับเดียวกับระดับของน้ำเค็มจะให้ประสิทธิภาพในการสร้างแนวทึบน้ำใต้ดินเพื่อป้องกันการรुक้าของน้ำเค็มได้ดีที่สุด และจากการทดสอบยังระบุว่าความลึกของแนวทึบน้ำที่เพิ่มขึ้นไม่สามารถลดปัญหาการรुक้าของน้ำเค็มได้

ปัญหาการรुक้าของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลนั้นสามารถพบได้ทั่วไปบริเวณชุมชนตามแนวชายฝั่งทะเล ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นอาจจะไม่มากเท่ากับปัญหาสิ่งแวดล้อมอื่นๆ แต่การปล่อยให้ น้ำทะเลรุกค้ำเข้ามาโดยไม่มี การป้องกันจะทำให้เกิดชั้นน้ำบาดาลเค็มขึ้น ผลที่ตามมาคือการขาดแคลนน้ำจืดโดยเฉพาะชุมชนที่จำเป็นต้องใช้น้ำบาดาล นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดพื้นที่ดินเค็มบนผิวดินเนื่องจากการระเหยของชั้นน้ำบาดาลเค็มขึ้นไปยังผิวดินอีกด้วย ทำให้พื้นที่ทางการ

เกษตรระดับรากหญ้าเกิดความเสียหาย ดังนั้น วิธีการป้องกันหรือแก้ไขที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดี

6.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการรुक้าของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลและวิธีการแก้ไขปัญหามเบื้องต้นเท่านั้น โดยการศึกษาในห้องปฏิบัติการอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงควบคุม เช่น ความหนาของชั้นน้ำบาดาล ผลกระทบจากมุมลาดเอียงของแนวชายฝั่ง หรือการจำลองชั้นน้ำบาดาลโดยมีผลกระทบจากชั้นหินปิดทับภายใต้สภาวะที่อัตราการเติมน้ำและแรงดันต่างๆ



บรรณานุกรม

- Bereslavskii, E. N. (2002). Effect of a freshwater layer overlying salt water on the regime of replacement in confined coastal aquifers. **Journal of Water Resource**, Vol. 30 : 361–364
- Camas, B. S. and Tsai, F. T. C. (2009). Saltwater intrusion modeling in heterogeneous confined aquifers using two-relaxation-time lattice Boltzmann method. **Advances in Water Resource**, Vol. 32 : 620–631
- Capaccioni, B. and Didero, M. and Paletta, C. and Didero, L. (2004). Saline intrusion and refreshing in a multilayer coastal aquifer in the Catania Plain (Sicily, Southern Italy) : dynamic of degradation processes according to the hydrochemical characteristics of groundwater. **Journal of Hydrology**, Vol. 307 : 1–16
- Cherry, J. A. and Freeze, R.A. (1979). **Groundwater**. (pp. 375–379).USA: Prentice Hall, Inc.
- Demirel, Z. (2003). The history and evaluation of saltwater intrusion into a coastal aquifer in mersin, Turkey. **Journal of environmental management**, Vol. 70 : 275–282
- Elhassadi, A. (2007). Sea water intrusion in Derna located in the Green mountain region, Libya– a threatening recurrent phenomenon calling for desalination. **Desalination**, Vol. 220 : 189–193
- Fang, H. Y. (1997). **Introduction to Environment Geotechnology**. (pp. 448–450). USA: CRC Press LLC.
- Gemitzi, A. and Tolikas, D. (2006). HYDRA model: Simulation of salt intrusion in coastal aquifers using Visual Basic and GIS. **Journal of environmental modeling and software**, Vol. 22 : 924–936
- Giambastiani, B. M. S. and Antonellini, M. and Essink, G. H. P. O. and Stuurman, R. J. (2007). Saltwater intrusion in the unconfined coastal aquifer of Ravenna (Italy) : A numerical model. **Journal of Hydrology**, Vol. 340 : 91–104
- Jorgensen, N. O. and Andersen, M. S. and Engesgaard, P. (2007). Investigation of a dynamic seawater intrusion event using strontium isotope ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$). **Journal of hydrology**, Vol. 348 : 257–269

- Khublaryan, M. G. and Frolov, A. P. and Yushmanov, I. O. (2007). Seawater intrusion into coastal aquifers. **Journal of Water Resources**, Vol. 35 : 274–286
- Kouzana, L. and Mammou, A. B. and Felfoul, M. S. (2007). Seawater intrusion and associated processes : case of the Korba aquifer (Cap-Bon, Tunisia). **C.R. Geoscience**, Vol. 341 : 21–35
- Leboeuf, P. P. (2004). Seawater intrusion and associated processes in a small coastal complex aquifer (Castell de ferro, Spain). **Applied Geochemistry**, Vol. 19 : 1517–1527
- Li, H. and Boufadel, M. C. and Weaver, J. W. (2008). Tide-induced seawater-groundwater circulation in shallow beach aquifers. **Journal of Hydrology**, Vol. 352 : 211–224
- Lookjan, A., Chalermyanont T. and Arrykul, S. (2009), Three-dimensional density-dependent seawater intrusion modeling for the hat yai basin. The 14th National convention on civil engineering, Suranaree University of Technology. Page: 1253–1259.
- Milnes, E. and Renard, P. (2002). The problem of salt recycling and seawater intrusion in coastal irrigated plains : an example from the Kiti aquifer (Southern Cyprus). **Journal of Hydrology**, Vol. 288 : 327–343
- Narayan, K. A. and Schleeberger, C. and Bristow, K. L. (2007). Modeling seawater intrusion in the Burdekin Delta irrigation area, North Queensland, Australia. **Agricultural water management**, Vol. 89 : 217–228
- Nguyen, A. D. and Savenije, H. H. G. and Pham, D. N. and Tang, D. T. (2007). Using salt intrusion measurements to determine the freshwater discharge distribution over the branches of a multi-channel estuary : The Mekong Delta case. **Estuarine coastal and shelf science**, Vol. 77 : 433–455
- Ranjan, P. and Kazama, S. and Sawamoto, M. and Sana, A. (2008) Global scale evaluation of coastal fresh groundwater resources. **Ocean and Coastal Management**, Vol. 52 : 197–206
- Todd, D. K. and Mays, L. W. (2005). **Groundwater Hydrology**. 3rd Edition (pp. 589–606). USA: John Wiley and Sons, Inc.

ประวัตินักวิจัย

อาจารย์ ดร.ปรัชญา เทพนรงค์ เกิดเมื่อวันที่ 14 กันยายน 2521 ที่จังหวัดกาญจนบุรี จบการศึกษาปริญญาเอกจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โปรแกรมวิชาวิศวกรรมธรณี ในปี พ.ศ. 2550 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำอยู่ที่สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา มีความชำนาญทางการทดสอบด้านกลศาสตร์หินในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม การออกแบบและการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เป็นนักวิจัยประจำหน่วยวิจัยกลศาสตร์ธรณี และเป็นสมาชิกสภามัธยมศึกษาของสมาคมธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย

