Physical model of the subsurface dam

Puttipat Kotcharat[1] and Sunisa Smittakorn[2*]

[1, 2] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Patum Thani, THAILAND

[*]Corresponding author

[1]*putti6622@gmail.com and* [2]*ssunisa@engr.tu.ac.th*

บทคัดย่อ

แหล่งน้ำจืดที่สำคัญในพื้นที่ค่อนข้างแห้งแล้ง พื้นที่ชายฝั่งทะเลและเกาะ คือ น้ำใต้ดิน การสูบน้ำใต้ดินมากเกินไปในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล ทำให้เกิดการรุกล้ำของน้ำเค็ม แนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้หลายวิธี เช่น การเปลี่ยนแปลงอัตราการสูบน้ำให้เหมาะสม, การเติมน้ำใต้ดิน, การถมทะเล หรือการสร้างเขื่อนใต้ดิน เขื่อนใต้ดินเป็นโครงสร้างที่สร้างขึ้น เพื่อป้องกันน้ำเค็มที่รุกล้ำเข้ามาในแผ่นดิน นอกจากนั้นตัวเขื่อนยังสามารถทำหน้าที่เก็บกักน้ำในฤดูน้ำมาก และนำน้ำนั้นกลับมาใช้ในยามขาดแคลน ลักษณะของเขื่อนใต้ดินโดยทั่วไปจะมีฐานของเขื่อนตั้งอยู่บนชั้นหินแข็ง ลักษณะแบบนี้ส่งผลให้ระดับเก็บกักน้ำสูงสุดจะเท่ากับความสูงของเขื่อน ถ้าการเติมน้ำมีไม่จำกัด **ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการนำเสนอรูปแบบใหม่ของเขื่อนใต้ดิน** โดยเสนอให้สร้างเขื่อนใต้ดินที่ยื่นลงไปในใต้ดิน คล้ายกับกำแพงล่าง ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะไม่มีการจำกัดระดับสูงสุดของน้ำใต้ดิน ในการทดลองด้วยแบบจำลองทางกายภาพ 2 มิติ เพื่อทดสอบเขื่อนใต้ดินทั้งสองลักษณะ เมื่อมีอัตราการเติมน้ำใต้ดินคงที่ ผลการศึกษา พบว่า ในกรณีของเขื่อนใต้ดินแบบกำแพงล่าง การป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็มเป็นหน้าที่ของน้ำที่เติมเข้ามาในระบบ แทนที่จะใช้ตัวเขื่อนเป็นหลักในการป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็ม ส่วนเขื่อนใต้ดินแบบปัจจุบันสามารถป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็มได้เป็นอย่างดี ถึงแม้ว่าจะไม่มีการเติมน้ำใต้ดิน

คำสำคัญ: เขื่อนใต้ดิน, การรุกล้ำของน้ำเค็ม

Abstract

Groundwater is always an important source of freshwater in the semi-arid area, the coastal area and on the island. For the coastal area, excess groundwater pumping can lead to the seawater intrusion.Several approaches can be applied to battle such an undesirable consequence such as the optimization or modification of the pumping

rate, the aquifer storage and recovery (ASR), the land reclamation and the underground dam. While the underground dam is a barrier which could physically protect the seawater intrusion, it can also be used to store groundwater during the flood which can be later pumped during the dry season. Normally, the base of the subsurface dam is keyed into the impermeable layer. One disadvantage of this classic structure is the height of the dam is also the maximum groundwater level if there is an unlimited recharged rate. Therefore, a new type of subsurface dam is proposed. Instead of building the dam from the ground up, it will be hanged from the ground, similar to the cut-off wall resulting in no upper limit to the groundwater level. A 2D physical model was tested against this proposed model. Both conventional and cut-off subsurface dams were experimented under a constant recharge rate. The result showed that in case of the cut-off subsurface dam, the groundwater recharge is the main component to push the seawater backward instead of using the dam as a physical protection against the seawater. The traditional subsurface dam, however, can efficiently protect the seawater intrusion even without the groundwater recharge.

Keywords: Subsurface dam, Seawater intrusion

บทนำ

การหาแหล่งน้ำจืดสำหรับการอุปโภคและบริโภค เป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ริมชายฝั่งทะเล หรือเกาะ โดยเฉพาะพื้นที่ที่เป็นแหล่งท่องเที่ยว การสร้างอ่างเก็บน้ำบนเกาะที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวอาจไม่คุ้มค้ากับการลงทุน เนื่องจากที่ดินมีราคาสูง ดังนั้นน้ำใต้ดินจึงกลายเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญแทน แต่ผลกระทบอย่างหนึ่งของการสูบน้ำใต้ดินมากเกินไป นอกเหนือจากทำให้แผ่นดินทรุด คือการรุกล้ำของน้ำเค็ม ซึ่งส่งผลกระทบต่อชั้นน้ำใต้ดินทั้งหมด การแก้ปัญหาการรุกล้ำน้ำเค็มสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการสูบน้ำ (Mantoglou and Papantoniou, 2008), (Mayer et. al., 2002) การเติมน้ำใต้ดิน (Aquifer Recharge and Recovery) (Misut and Voss, 2007) หรือการสร้างเขื่อนใต้ดิน (Anwar, 1983) เป็นต้น การปรับเปลี่ยนปริมาณการสูบน้ำที่เหมาะสมเป็นวิธีการบริหารจัดการแหล่งน้ำ โดยที่ไม่ต้องลงทุนทางด้านโครงสร้าง แต่ต้องจัดการเพื่อตอบสนองความต้องการใช้น้ำ

การเติมน้ำใต้ดินนั้น โดยทั่วไปสามารถทำได้ทั้งในกรณีที่มีเขื่อนใต้ดินและไม่มีเขื่อนใต้ดิน การเติมน้ำใต้ดินเป็นวิธีบริหารจัดการน้ำอีกอย่างหนึ่ง คือ เมื่อมีน้ำมากเกินความจำเป็น จะนำน้ำเหล่านั้นมาเก็บกักในใต้ดิน และสามารถนำมาใช้ได้ในยามขาดแคลน ในกรณีที่ไม่มีเขื่อนใต้ดิน ระยะการรุกล้ำของน้ำเค็มจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำจืดในชั้นน้ำใต้ดิน โดยน้ำจืดจะผลักแนวน้ำเค็มให้ห่างออกไป ส่วนในกรณีที่มีเขื่อนใต้ดิน เขื่อนจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างกั้นน้ำเค็มได้ เช่น เมื่อปี 1978 ที่เกาะมิยาโกะ จิมา (Miyako-jima) ประเทศญี่ปุ่น มีการสร้างกำแพงใต้ดิน สูง 16.5 เมตร กว้าง 5 เมตร ความยาว 500 เมตร เพื่อป้องกันน้ำเค็มและเป็นที่เก็บกักของน้ำใต้ดิน (Sugio et. al., 1987) และ ในปี

1995 เมือง Longkou ประเทศจีน ได้สร้างเขื่อนใต้ดิน ความยาว 5,996 เมตร ความสูงเฉลี่ย 26.65 เมตร ทำหน้าที่ป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็มและมีความจุเก็บกักน้ำ 5,359*104 ลูกบาศก์เมตร (Wu et. al., 2008)

การสร้างเขื่อนใต้ดินนั้น นอกเหนือจากเป็นโครงสร้างที่กั้นน้ำเค็มได้แล้ว เขื่อนใต้ดินยังทำหน้าที่เช่นเดียวกับเขื่อนผิวดินอีกด้วย กล่าวคือ เพื่อการเก็บกักน้ำไว้อ่างเก็บน้ำใต้ดิน จุดเด่นของเขื่อนใต้ดินที่แตกต่างจากเขื่อนผิวดิน คือ การเก็บน้ำไว้ใต้ดิน ทำให้ไม่จำเป็นต้องเวนคืนที่ดิน, ตัดป่าไม้ หรืออพยพผู้คน และสัตว์ป่า การสร้างตัวเขื่อนสามารถสร้างได้ในชั้นน้ำใต้ดินขนาดเล็ก ความปลอดภัยและความแข็งแรงของตัวเขื่อนมีสูง เนื่องจากมีชั้นดินรอบข้างช่วยรับแรงด้านข้างของเขื่อน จึงยากที่จะเกิดการพังของเขื่อน การเก็บน้ำไว้ใต้ดินยังตัดปัญหาการระเหยของน้ำอีกด้วย

โดยทั่วไปเขื่อนใต้ดินมี 2 แบบ แบบแรกเรียกว่า เขื่อนทราย (Sand storage dam) เป็นการสร้างทางกั้นน้ำในลำน้ำที่มีน้ำไหลเฉพาะในฤดูน้ำ ส่วนในหน้าแล้งจะไม่มีน้ำ น้ำในแม่น้ำจะพัดตะกอนทรายมาตกหน้าเขื่อน ซึ่งจะใช้เป็นที่เก็บกักน้ำในฤดูแล้งได้ เขื่อนใต้ดินอีกแบบหนึ่ง คือ การสร้างกำแพงในใต้ดิน โดยฐานของกำแพงจะฝังอยู่ในชั้นทึบน้ำ (Onder and Yilmaz, 2005)

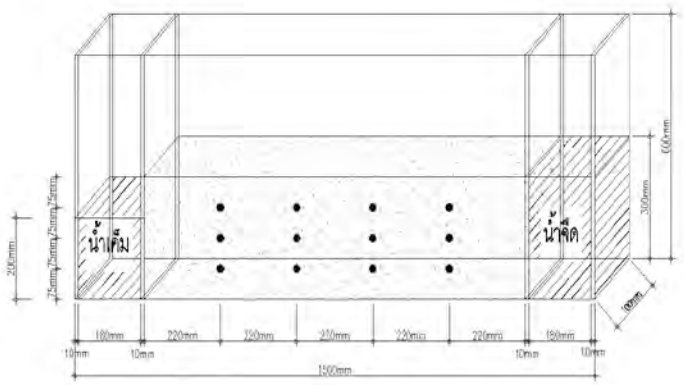
การสร้างเขื่อนใต้ดินไม่ใช่เป็นเรื่องใหม่ แต่สร้างมาตั้งแต่สมัยยุคโรมัน และในแถบอาฟริกาเหนือ (Hanson and Nilsson, 1986) ในประเทศอินเดียมีการสร้างเขื่อนใต้ดินโดยเอกชนในปี 1962 – 1964 มีความยาว 130 เมตร ความลึกเฉลี่ย 5 เมตร และในประเทศเอธิโอเปียมีการสร้างเขื่อนใต้ดินในปี 1981 (Hanson and Nilsson, 1986) ในระหว่างทศวรรษที่ 1990 ในประเทศบราซิล มีการสร้างเขื่อนใต้ดินขนาดเล็ก 500 แห่ง และมีเขื่อนมากกว่า 400 แห่งในประเทศเคนย่าในช่วงปี 1995 (Foster and Tuinhof, 2004) สำหรับในประเทศไทยมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างเขื่อนใต้ดินในจังหวัดภูเก็ต (RID, 1997) และมีโครงการสร้างเขื่อนใต้ดินที่เกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550)

โดยทั่วไปเขื่อนใต้ดินจะสร้างโดยให้ฐานเขื่อนฝังอยู่ในชั้นทึบน้ำ โดยตัวเขื่อนทำหน้าที่กั้นน้ำเค็มและเก็บกักน้ำใต้ดินไว้ ข้อดีของเขื่อนใต้ดินแบบนี้ คือ โครงสร้างเขื่อนจะกั้นน้ำเค็มได้ แต่ข้อเสีย คือ ถ้าชั้นทึบน้ำอยู่ลึกมากจะส่งผลต่อค่าก่อสร้างที่สูงขึ้น นอกจากนั้นแล้วตำแหน่งของเขื่อนจะต้องอยู่หลังจากแนวน้ำเค็มที่รุกล้ำเข้ามาในแผ่นดิน ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการศึกษาเขื่อนใต้ดินลักษณะที่ยื่นลงมาจากพื้นดิน หรือที่เรียกว่า Cutoff wall

วิธีการศึกษา

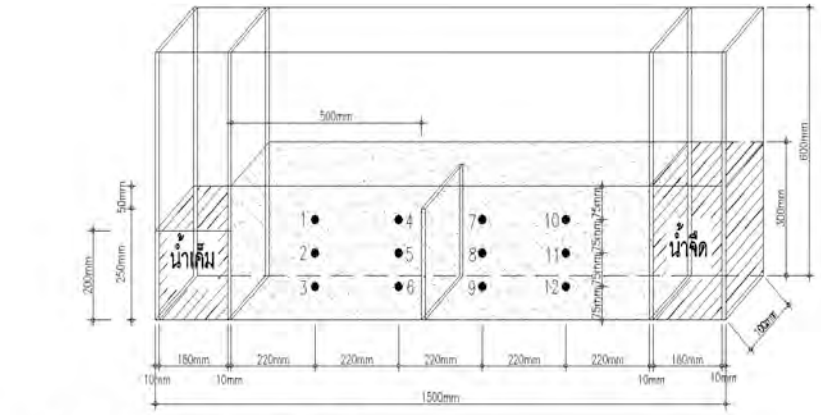
การศึกษาครั้งนี้จะเป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ด้วยการสร้างแบบจำลอง 2 มิติ แบบจำลองเป็นกระจกใสความยาว 1.50 เมตร กว้าง 0.10 เมตร สูง 0.60 เมตร ทางด้านซ้ายและทางด้านขวาของแบบจำลองแบ่งเป็นช่องขนาด 0.18 เมตร ด้วยแผ่นอะคลิลิคใสเจาะรู สำหรับใส่น้ำจืดและน้ำเค็ม โดยให้ความสูงของน้ำจืดและน้ำเค็มคงที่เท่ากับ 0.30 เมตรและ 0.20 เมตร ตามลำดับ น้ำเค็มใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตำแหน่งที่วัดค่าความเค็มของน้ำใต้ดินทั้งหมด 12 จุด กรณีศึกษาแต่ละกรณีในการทดลองทั้งหมดทำเพียงครั้งเดียว

แต่การเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินเพื่อวัดค่าความเค็มทำการเก็บตัวอย่างน้ำแต่ละจุด 3 ครั้ง และนำมาหาค่าความเค็มเฉลี่ย ทรายเป็นตัวแทนของชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 (ขนาดช่องเปิด 1.19 มิลลิเมตร) แบบจำลอง 2 มิติแสดงในรูปที่ 1

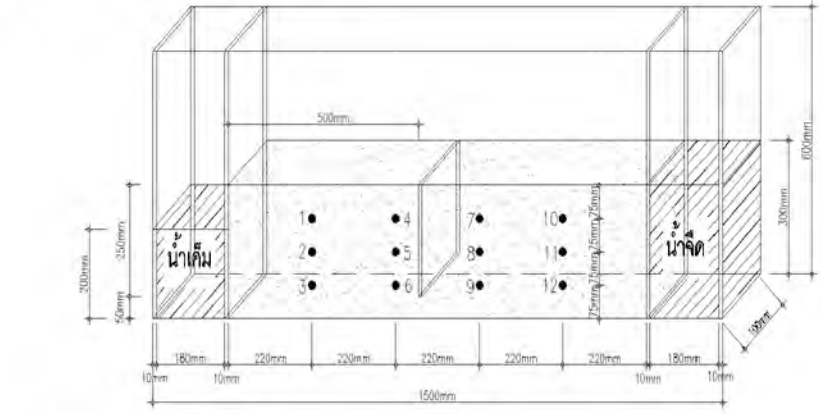


รูปที่ 1 แบบจำลอง 2 มิติ

ในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการเปรียบเทียบลักษณะของเขื่อนใต้ดินที่แตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือ เขื่อนใต้ดินที่วางอยู่บนชั้นทึบน้ำ และเขื่อนใต้ดินที่สร้างจากพื้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 2 การศึกษาเริ่มจากใส่ทรายแห้งความสูง 0.30 เมตร ลงในแบบจำลอง โดยมีแหล่งน้ำจืดและน้ำเค็มอยู่ทางขวาและทางซ้ายของแบบจำลอง ระหว่างแหล่งน้ำและทราย มีแผ่นอะลิคลิคใสเจาะรูกั้น และตะแกรงเบอร์ 100 หรือขนาดช่องเปิด 0.149 มิลลิเมตรและแผ่น Geotextile กั้นระหว่างทรายและน้ำอีก เพื่อป้องกันไม่ให้ทรายไหลเข้ามาในบริเวณแหล่งน้ำ ก่อนทำการทดลองจะใช้แผ่นอะคลิลิคทึบกั้นระหว่างน้ำเค็มและทราย และระหว่างแหล่งน้ำจืดและทราย เมื่อปล่อยน้ำจืดให้ไหลเข้ามาในทราย **ด้วยการดึงแผ่นอะคลิลิคทึบออก** จนกระทั่งทรายอิ่มตัว หลังจากนั้นจึงนำแผ่นอะคลิลิคทึบกั้นน้ำเค็มออก เพื่อให้น้ำเค็มเข้าสู่ระบบ ความสูงของน้ำเค็มคงที่ที่ 0.20 เมตร โดยการทดลองจะแบ่งเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ไม่มีเขื่อนกั้น กรณีที่มีเขื่อนที่วางบนชั้นทึบน้ำ และกรณีสุดท้ายเป็นเขื่อนที่สร้างจากพื้นดิน สำหรับในกรณีที่มีเขื่อนใต้ดิน จะมีการเติมน้ำเข้าในระบบ จำลองให้เป็นฝน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแนวการปนเปื้อนของน้ำเค็มในชั้นน้ำใต้ดิน การเก็บตัวอย่างน้ำนั้น จะเก็บตามจุดที่กำหนดไว้จำนวน 12 จุด ด้วยการใช้ปิเปต เพื่อหาค่าความเค็มด้วยเครื่อง Reflecto-salinometer ทุก 15 นาที จนกระทั่งเวลา 105 นาที ส่วนกรณีที่มีเขื่อนใต้ดิน เมื่อชั้นน้ำใต้ดินอิ่มตัว จากนั้นจึงใส่เขื่อน **ใต้ดินทำจากแผ่นอะคลิลิคใส** ขนาดกว้าง 0.10 เมตร สูง 0.25 เมตร ห่างจากแหล่งน้ำเค็มเท่ากับ 0.50 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2



(ก) เขื่อนใต้ดินวางอยู่บนชั้นทึบน้ำ



(ข) เขื่อนใต้ดินสร้างจากพื้นดิน

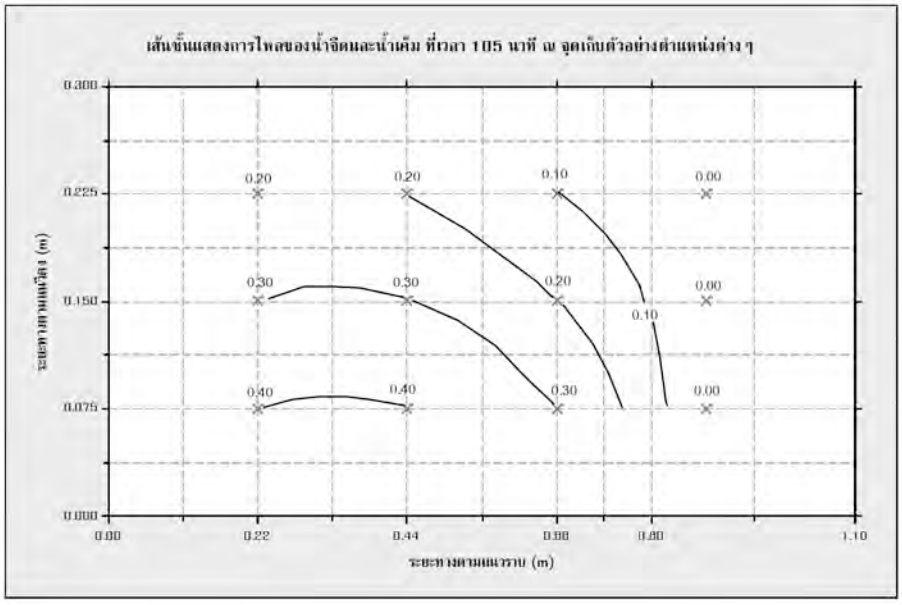
รูปที่ 2 เขื่อนใต้ดิน (ก) เขื่อนใต้ดินวางอยู่บนชั้นทึบน้ำ (ข) เขื่อนใต้ดินสร้างจากพื้นดิน

หลังจากนั้นจะทำการนำแผ่นกั้นด้านน้ำเค็มออก ปล่อยให้น้ำเค็มไหลเข้าสู่ระบบ ความสูงของน้ำเค็มคงที่เช่นเดียวกันทั้งสามกรณี การเก็บตัวอย่างน้ำตามจุดที่กำหนดทุก 15 นาที จนกระทั่งเวลา 120 นาที เริ่มเติมน้ำเข้าสู่ระบบจากด้านบนเฉพาะด้านน้ำจืด ปริมาณน้ำที่เติมเท่ากับ 1,500 มิลลิลิตร หลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่างน้ำทุก 15 นาที จนกระทั่งเวลา 165 นาที ทำการทดลองเช่นเดียวกันสำหรับเขื่อนทั้งสองกรณี

ผลการศึกษา

1 กรณีที่ไม่มีเขื่อนใต้ดิน

เมื่อปล่อยให้น้ำเค็มไหลเข้าสู่ระบบและเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ พบว่า น้ำเค็มเริ่มแพร่เข้าไปในน้ำจืด เส้นชั้นแสดงความเค็มของน้ำใต้ดินที่เวลา 105 นาที แสดงในรูปที่ 3

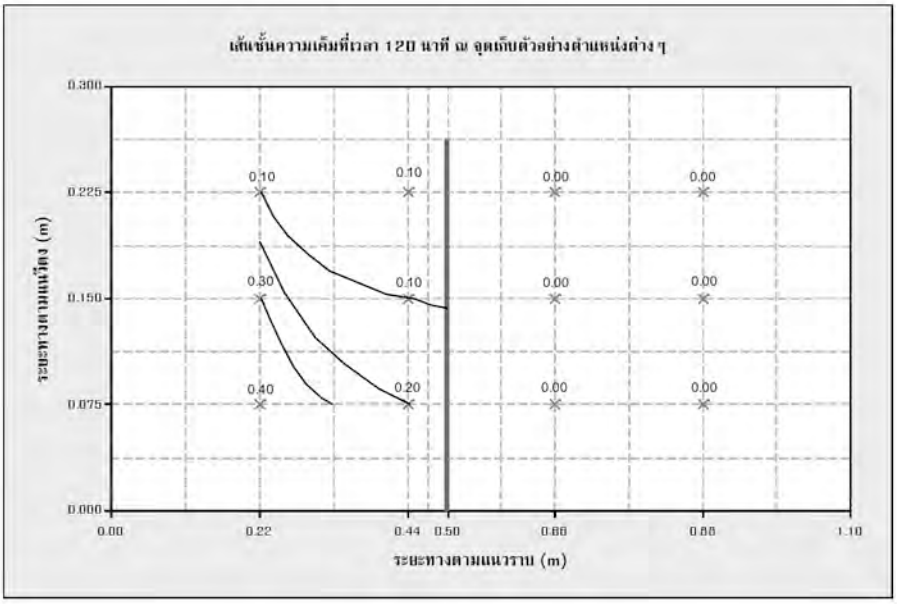


รูปที่ 3 เส้นชั้นแสดงความเค็มของน้ำใต้ดินที่เวลา 105 นาที

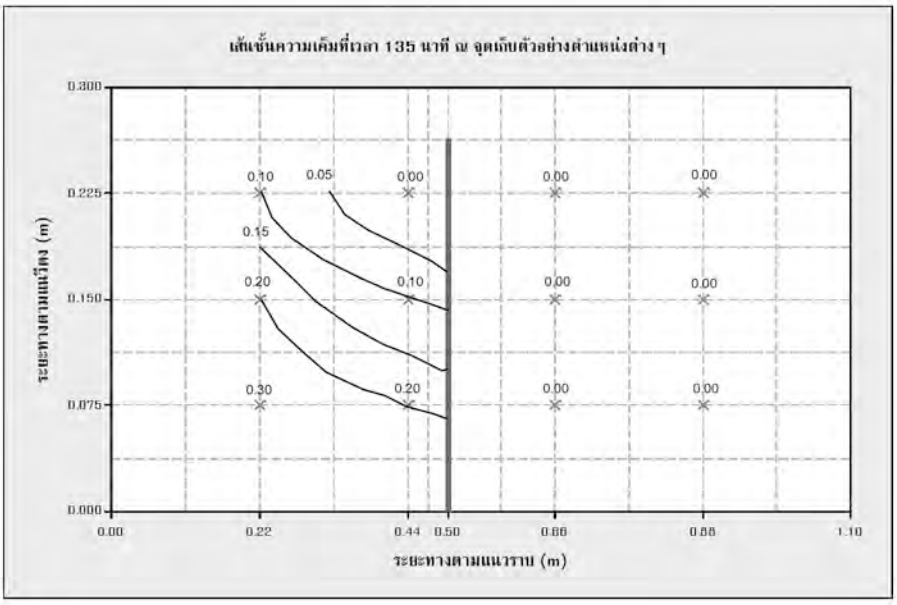
จากรูปที่ 3 เป็นการแสดงเส้นชั้นความเค็มในรูปของความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ หน่วยของมิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์มีค่าสูงทางด้านซ้ายของแบบจำลอง และค่าความเข้มข้นค่อยๆ ลดลงเมื่อเข้าใกล้ทางขวาของแบบจำลอง ระยะการปนเปื้อนของน้ำเค็มประมาณ 0.80 เมตร จากแหล่งน้ำเค็ม ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินเคลื่อนที่จากทางขวาไปทางซ้าย ซึ่งควบคุมจากความแตกต่างระหว่างความสูงของน้ำจืดและน้ำเค็ม ค่า Hydraulic gradient เท่ากับ 0.09

2 เขื่อนใต้ดินวางอยู่บนชั้นทึบน้ำ

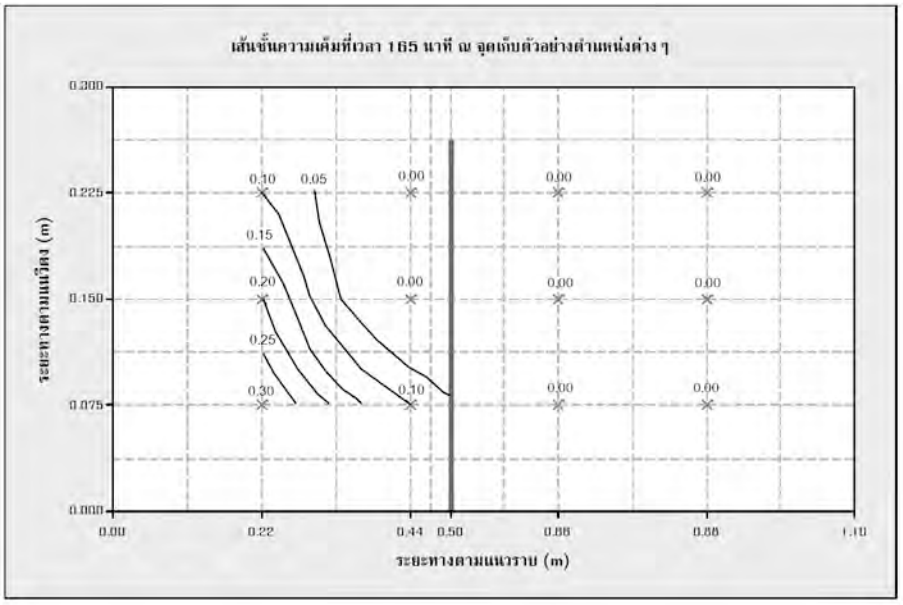
กรณีเขื่อนใต้ดินวางอยู่บนชั้นทึบน้ำ เมื่อสร้างเขื่อนใต้ดินและปล่อยให้น้ำเค็มไหลเข้าสู่ระบบแล้ว นำค่าความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์มาเขียนเส้นชั้นความเค็มที่เวลา 120 นาที ดังแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นว่า เขื่อนใต้ดินทำหน้าที่ป้องกันน้ำเค็มไม่ให้เคลื่อนที่รุกล้ำเข้าไปในชั้นน้ำใต้ดิน ระยะความเค็มที่ปนเปื้อนในชั้นน้ำใต้ดินที่มากที่สุดจะเท่ากับตำแหน่งที่ตั้งของเขื่อนใต้ดิน คือประมาณเท่ากับ 0.50 เมตร จากแหล่งน้ำเค็ม เมื่อเติมน้ำจืดเข้าสู่ระบบ และวัดค่าความเค็มทุก 15 นาที จนถึงเวลา 165 นาที เส้นชันความเค็มหลังจากที่เติมน้ำจืดเข้าสู่ระบบแสดงในรูปที่ 5 – 6



รูปที่ 4 เส้นชั้นความเค็มที่เวลา 120 นาที



รูปที่ 5 เส้นชั้นความเค็มที่เวลา 135 นาที

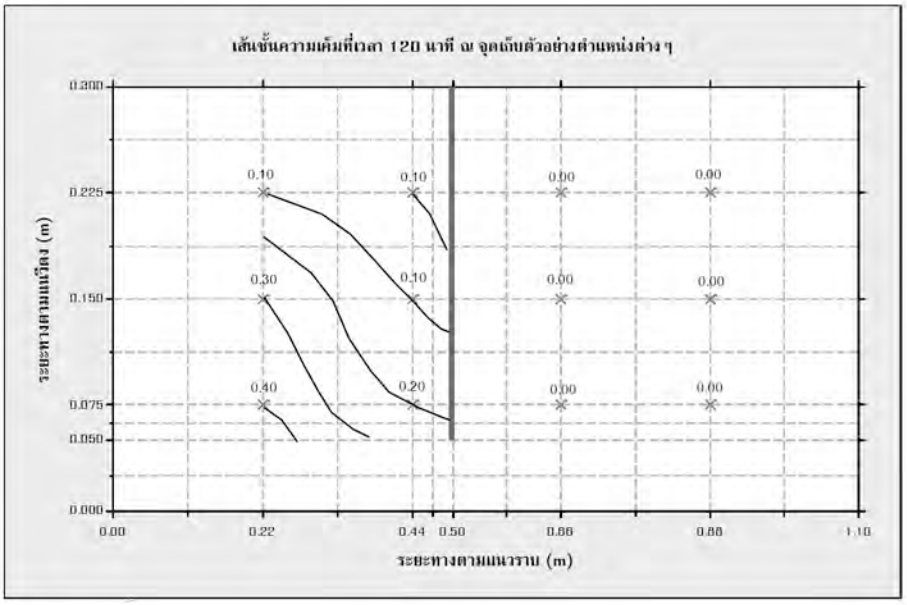


รูปที่ 6 เส้นชั้นความเค็มที่เวลา 165 นาที

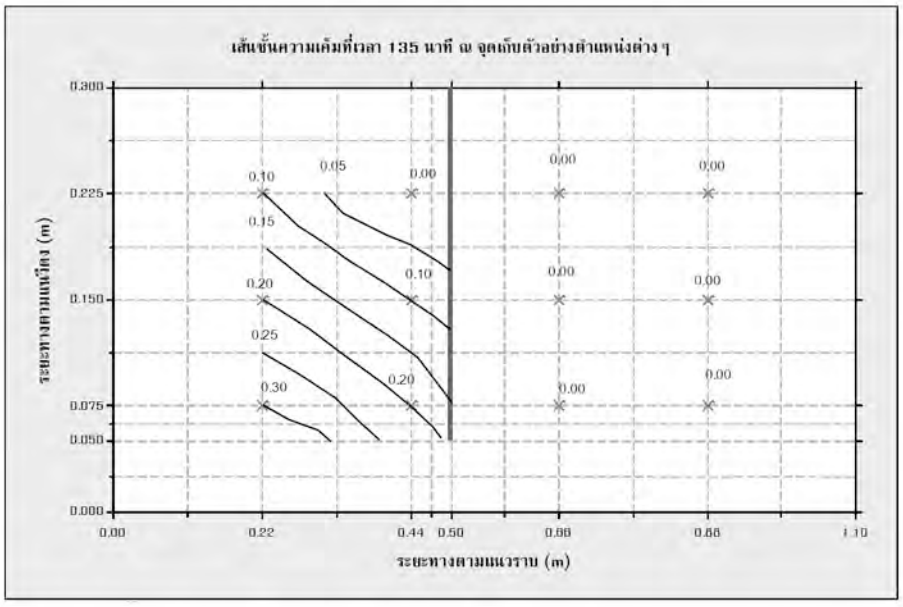
รูปที่ 5 แสดงเส้นชั้นความเค็มหลังจากที่มีการเติมน้ำเข้าสู่ระบบประมาณ 15 นาที จะเห็นได้ว่า ค่าความเข้นข้นของโซเดียมคลอไรด์สูงสุดมีค่าลดลงเป็น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบกับเวลาที่ 120 นาที ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเวลาผ่านไปที่ 165 นาที พบว่า แนวการปนเปื้อนของน้ำเค็มถูกผลักให้ออกห่างจากเขื่อนใต้ดิน แต่ค่าความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์สูงสุดยังคงเท่ากับ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนั้นแล้วแนวชั้นความเค็มได้ลดต่ำลง เนื่องจากถูกน้ำที่เติมเข้ามาในระบบผลักดันแนวน้ำเค็มให้ถอยต่ำลงไป ดังแสดงในรูปที่ 6

3 เขื่อนใต้ดินสร้างจากพื้นดิน

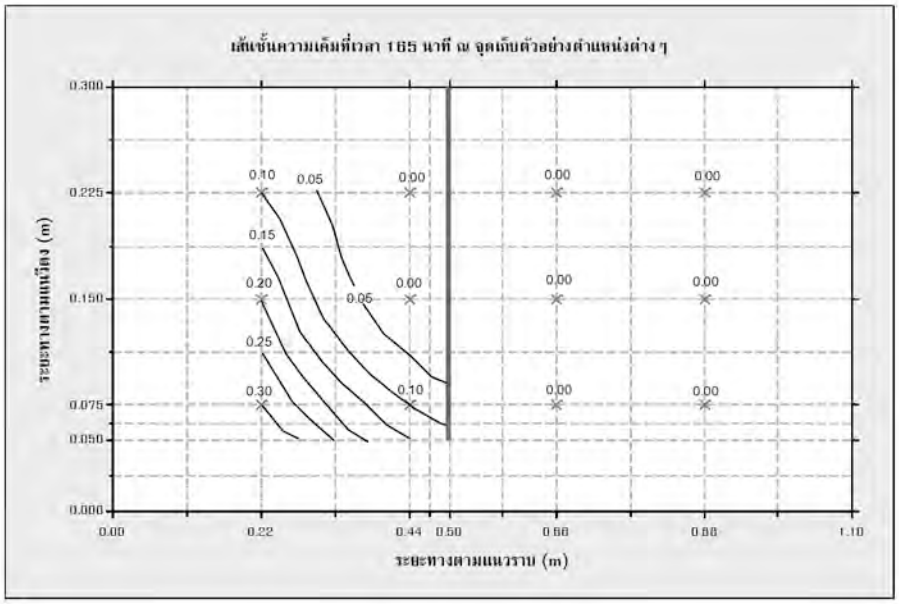
สำหรับกรณีเขื่อนใต้ดินสร้างจากพื้นดิน เช่นเดียวกับในกรณีที่เขื่อนใต้ดินวางบนชั้นทึบน้ำ รูปที่ 7 แสดงเส้นชั้นความเค็มในรูปของความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่เวลา 120 นาที หลังจากนั้นจะทำการเติมน้ำจืดเข้าสู่ระบบจากด้านบน เส้นชั้นความเค็มที่เวลา 135 นาทีและ 165 นาที แสดงในรูปที่ 8 – 9



รูปที่ 7 เส้นชั้นความเค็มที่เวลา 120 นาที



รูปที่ 8 เส้นชั้นความเค็มที่เวลา 135 นาที



รูปที่ 9 เส้นชั้นความเค็มที่เวลา 165 นาที

เมื่อเวลา 120 นาทีค่าความเข้มข้นสูงสุดของโซเดียมคลอไรด์อยู่ที่ 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ระยะการปนเปื้อนของแนวน้ำเค็มไม่ได้ถูกจำกัดโดยตำแหน่งที่ตั้งของเขื่อนใต้ดิน จากรูปที่ 7 จะเห็นว่า แนวการปนเปื้อนของน้ำเค็มมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ผ่านใต้เขื่อนใต้ดินออกไป แต่เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ไม่ได้มีการวัดค่าความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่บริเวณที่ต่ำกว่าเขื่อนใต้ดิน จึงไม่สามารถเขียนเส้นชั้นความเค็มได้ หลังจากเวลาที่ 120 นาที มีการเติมน้ำเข้าสู่ระบบจากทางด้านบนของแบบจำลองเช่นเดียวกับในกรณีที่เขื่อนวางอยู่บชั้นทึบน้ำ รูปที่ 8 และ 9 แสดงเส้นชั้นความเค็มที่เวลา 135 และ 165 นาที ตามลำดับ ที่เวลา 135 นาที พบว่า ค่าความเข้มข้นสูงสุดของโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับเมื่อเวลา 165 นาที

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการเสนอแนวความคิดสำหรับสร้างเขื่อนใต้ดินที่มีรูปแบบแตกต่างจากเขื่อนใต้ดินที่มีอยู่ในปัจจุบันที่สร้างเขื่อนให้มีฐานของเขื่อนวางอยู่บนชั้นทึบน้ำ แนวคิดที่นำเสนอ คือ เป็นการสร้างเขื่อนใต้ดินที่ยื่นจากพื้นดิน หรือที่เรียกว่า Cutoff Wall โดยการศึกษาครั้งนี้จะใช้แบบจำลองทางกายภาพแบบ 2 มิติ เพื่อทดสอบเปรียบเทียบการปนเปื้อนของน้ำเค็ม ในกรณีที่ไม่มีเขื่อนใต้ดิน กรณีที่เขื่อนที่สร้างบนชั้นทึบน้ำ และกรณีที่เขื่อนสร้างยื่นจากพื้นดิน จากการศึกษาพบว่า เมื่อไม่มีเขื่อนใต้ดิน น้ำเค็มสามารถรุกล้ำเข้ามาในแผ่นดินได้ไกลมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสามกรณีที่มีการศึกษา และเมื่อพิจารณาถึงเขื่อนใต้ดินทั้งสองแบบ เมื่อที่ไม่มีการเติมน้ำเข้าสู่ระบบ พบว่า เขื่อนใต้ดินสามารถใช้เป็นโครงสร้างที่ป้องกันน้ำเค็มไม่ให้รุกล้ำเข้าสู่แผ่นดินได้เป็นอย่างดี แต่เขื่อนใต้ดินแบบ

ที่สร้างจากพื้นดินสามารถป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็มได้ดีกว่า โดยแนวการปนเปื้อนถูกจำกัดให้อยู่ ณ ที่ตั้งของเขื่อนใต้ดิน ในขณะที่น้ำเค็มสามารถลอดใต้เขื่อนที่สร้างจากพื้นดิน ดังนั้นแนวการรุกล้ำในกรณีนี้เลยตำแหน่งที่ตั้งของเขื่อนไป แต่ระยะการปนเปื้อน รวมทั้งความเข้มข้นของน้ำเค็มจะมีค่าน้อยกว่าในกรณีที่ไม่มีการสร้างเขื่อนใต้ดินเลย

เมื่อมีการเติมน้ำเข้าสู่ระบบ เป็นการเพิ่ม Hydraulic Gradient หรือเพิ่มอัตราการไหลของน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ ช่วยในการผลักดันน้ำเค็มไม่ให้รุกล้ำเข้ามาในแผ่นดิน ดังนั้นในกรณีที่สร้างเขื่อนจากพื้นดิน น้ำใต้ดินสามารถเคลื่อนที่ผ่านด้านบนของตัวเขื่อนและไปผสมกับน้ำเค็ม ส่งผลให้ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ลดลง ตัวเขื่อนยังสามารถป้องกันน้ำเค็มไม่ให้เคลื่อนที่มาได้ ส่วนในกรณีที่เขื่อนสร้างจากพื้นดินนั้น เมื่อน้ำจืดและน้ำเค็มไหลมาปนกันจะไม่แยกชั้นกันอย่างชัดเจน ดังนั้นลักษณะการปนเปื้อนจะมีลักษณะที่เป็นช่วงน้ำกร่อย หรือที่เรียกว่า Transition Zone แล้วจึงจะเป็นแนวน้ำเค็ม โดยชั้นความเข้มข้นของน้ำเค็มมากจะอยู่ด้านล่าง และความเข้มข้นค่อยๆ **ลดลงที่ความสูงที่เพิ่มขึ้น** ดังแสดงในผลการศึกษาเส้นชั้นความเค็ม การไหลของน้ำใต้ดินเมื่อไปชนกับเขื่อนใต้ดินที่สร้างจากพื้นดิน จึงจะเคลื่อนที่ลงมาผสมกับน้ำเค็มด้านล่าง นอกจากนั้นแล้วน้ำเค็มยังสามารถลอดผ่านใต้ตัวเขื่อนเพิ่มระยะการปนเปื้อนของน้ำเค็มเข้าสู่แผ่นดินได้อีก ถึงแม้ว่าจะมีการเติมน้ำเข้าสู่ระบบจากทางด้านบนแล้วก็ตาม น้ำเค็มยังมีแนวโน้มที่จะปนเปื้อนลอดใต้เขื่อนได้

จากการศึกษาพบว่า การสร้างเขื่อนใต้ดินแบบปัจจุบันสามารถป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็มได้ดีกว่าเขื่อนใต้ดินในรูปแบบที่นำเสนอในการศึกษาครั้งนี้ โดยการสร้างเขื่อนที่นำเสนอจะมีข้อดีกว่าการสร้างเขื่อนแบบปัจจุบัน คือ ถ้าตำแหน่งที่ตั้งของเขื่อนถูกจำกัด จนทำให้ต้องสร้างเขื่อนในบริเวณที่มีการปนเปื้อนของน้ำเค็มอยู่แล้ว การสร้างเขื่อนบนชั้นทึบน้ำจะทำให้น้ำเค็มติดอยู่บริเวณด้านหลังเขื่อน แต่ถ้าสร้างเขื่อนโดยยื่นจากพื้นดิน และมีการเติมน้ำเข้าสู่ระบบมากพอ จะทำให้แนวปนเปื้อนของน้ำเค็มสามารถเคลื่อนถอยออกไปด้านหน้าเขื่อนได้ นอกจากนั้นแล้วควรมีการพิจารณาราคาค่าก่อสร้างเขื่อน, ระยะเวลาในการก่อสร้าง และเทคนิคการก่อสร้างของเขื่อนทั้งสองแบบ **เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกลักษณะของเขื่อนอีกด้วย** อย่างไรก็ดีการศึกษาการป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็มด้วยการใช้เขื่อนใต้ดินนี้ ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง คือ การสูบน้ำใต้ดิน ดังนั้นจึงควรต้องมีการศึกษาถึงผลกระทบของการสูบน้ำใต้ดิน, ปริมาณน้ำที่เติมเข้ามาในระบบ และความสูงของเขื่อนใต้ดิน ต่อความสามารถในการป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็มของเขื่อนทั้งสองลักษณะนี้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณบริษัท กู๊ดเยียร์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อสารเคมี และเครื่องมือในการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ และผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความที่กรุณาให้ความเห็นที่เป็นประโยชน์ ทำให้บทความมีความสมบูรณ์มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2550) โครงการศึกษาความเหมาะสมในการก่อสร้างระบบกักเก็บน้ำใต้ดิน เกาะสมุย จังหวัดสุราษฎ์ธานี โดย บริษัท ซันยู คอนซัลแตนท์ส (ประเทศไทย) จำกัด, บริษัท เซเว่น แอสโซซิเอต คอนซัลแตนส์ จำกัด และ บริษัท เอส เอ็น ที คอนซัลแตนท์ จำกัด

Anwar, H.O. (1983) The effect of a subsurface barrier on the conservation of freshwater in coastal aquifers, Water Research, 17 (10), 1257 – 1265.

Foster, S. and Tuinhof, A. (2004) Brazil, Kenya: Subsurface dams to augment groundwater storage in basement terrain for human subsistence. Sustainable groundwater management, Lessons from practice, Case profile collection, no. 5, The world bank. Washington, D.C. U.S.A.

Hanson, G. and Nilsson, A. (1986) Ground-water dams for rural-water supplies in developing countries, Ground Water, 24 (4), 497 – 506.

Mantoglou, A. and Papantoniou, M. (2008) Optimal design of pumping networks in coastal aquifers using sharp interface models. Journal of Hydrology, 361, 52 – 63.

Mayer, A.S., Kelley, C.T., and Miller, C.T. (2002) Optimal design for problems involving flow and transport phenomena in saturated subsurface systems. Advances in Water Resources, 25, 1233 – 1256.

Misut, P.E. and Voss, C.I. (2007) Freshwater–saltwater transition zone movement during aquifer storage and recovery cycles in Brooklyn and Queens, New York City, USA. Journal of Hydrology, Volume 337, Issues 1–2, 87 – 103.

Onder, H. and Yilmaz, M. (2005) Underground dams: A tool of sustainable development and management of groundwater resources, European Water, 11/12, 35 – 45.

Wu, J., Meng, F., Wang, X. and Wang, D. (2008) The development and control of the seawater intrusion in the eastern coastal of Laizhou Bay, China. Environmental Geology, 54, 1763 – 1770.

The Royal irrigation department (1997) Underground dam scheme, The potential water resources development study of Phuket water resources supply project, The Royal irrigation department, Bangkok, Thailand.

Sugio, S., Nakada, K. and Urish, D.W. (1987) Subsurface seawater intrusion barrier analysis. Journal of Hydraulic Engineering, 113 (6), 767 – 779.

World Commission on Dams (2000), Dams and Development, A New Framework for Decision Making: The Report of the World Commission on Dams, Earthscan Publication, London, England, http://www.dams.org/report