

การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กเพิ่มเติม

โดย สัจจะ เสดบุตร

1. บทนำ

เอกสารในการศึกษาเรื่องปัญหาดินเค็มในการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

(1)* อ้างว่า อ่างเก็บน้ำชลประทานขนาดเล็กที่สร้างไว้แล้วถึง 170 อ่าง เป็นอ่างที่มีน้ำเค็มประมาณ 20 % ของจำนวนอ่าง นอกจากนี้ปรากฏจากคำบอกกล่าวที่ผู้เขียนได้รับฟังจากชาวบ้านว่า อ่างเก็บน้ำบางอ่างมีความเค็มเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี จนไม่สามารถนำน้ำมาใช้ประโยชน์ได้ บทความนี้พยายามอธิบายถึงสาเหตุที่ทำให้น้ำในอ่างมีความเค็มเพิ่มขึ้นและวิธีแก้ไข ในตอนท้ายของบทความนี้ได้เสนอขั้นตอนการวิจัยที่ควรจะทำต่อไป โดยมีจุดประสงค์ดังต่อไปนี้ 1. ให้ได้ข้อมูลที่สามารถยืนยันได้ว่าอ่างเก็บน้ำเค็มขึ้นตามเวลา 2. เพื่อพิสูจน์สมมุติฐานที่เสนออยู่ในบทความนี้ และ 3. เพื่อหาวิธีแก้ไขเรื่องอ่างน้ำเค็มที่จะนำไปปฏิบัติได้ โดยเฉพาะสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ถ้าหากพบว่าอ่างน้ำเค็มจริง

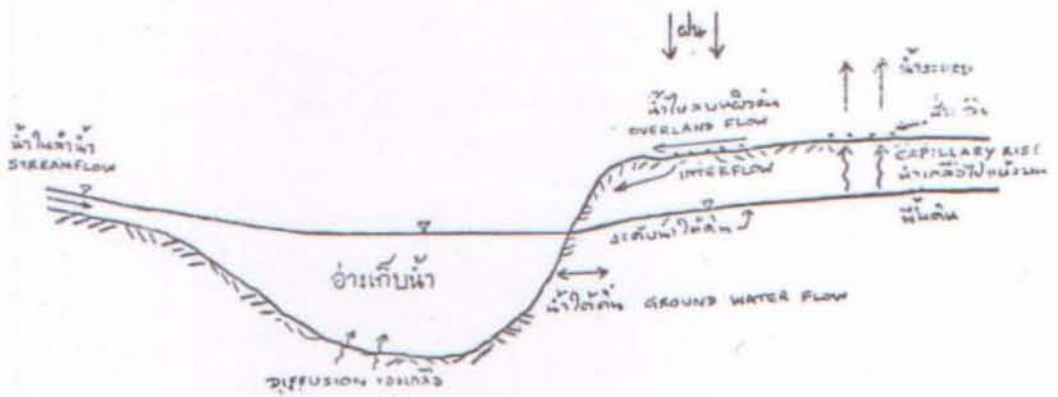
2 สาเหตุทำให้น้ำเค็ม

จากการสำรวจของกรมทรัพยากรธรณีพบว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีชั้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แทรกอยู่โดยทั่วไป จึงอาจประมาณได้ว่า ความเค็มที่กล่าวถึงกันนั้นเป็นความเค็มที่เกิดจากการที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ผสมกับน้ำในรูปของสารละลาย (Solution) การที่น้ำในอ่างเกิดเค็มขึ้นได้นั้น แสดงว่าเกลือจะต้องเข้าไปผสมกับน้ำในอ่าง สาเหตุที่เกลือไปผสมกับน้ำในอ่างได้นั้นอาจแยกได้ดังนี้

รูปที่ 1 แสดงภาพตัดของอ่างเก็บน้ำทั่วไป โดยเน้นถึงวิธีการต่างๆ ที่เกลือเข้าไปในอ่าง กล่าวคือ

2.1 น้ำที่ไหลมาในลำน้ำ (Streamflow) ถ้าอ่างน้ำมีลำน้ำที่รับน้ำจากพื้นที่รับน้ำไหลลงสู่อ่าง น้ำจำนวนหนึ่งอาจมีสารละลายเกลือปนมาด้วย นอกจากสารละลายเกลือแล้ว

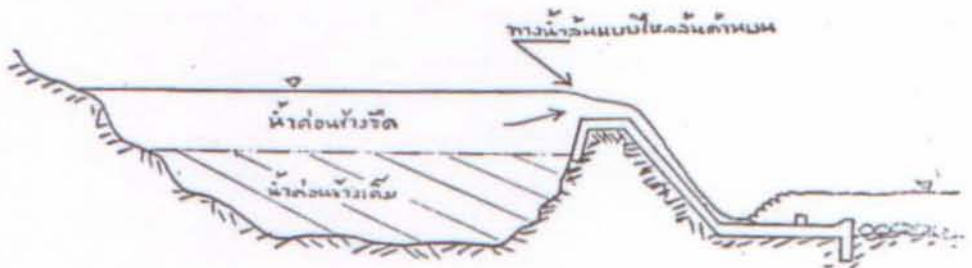
* ตัวเลขในวงเล็บแสดงหมายเลขของเอกสารอ้างอิงท้ายบทความ



รูปที่ 1 - วิธีการที่เกลือเข้าสู่อ่าง



รูปที่ 2 - สาเหตุที่ทำให้ความหนาแน่นของน้ำเปลี่ยน



รูปที่ 3 - ชั้นความหนาแน่นที่เกิดในอ่างเก็บน้ำ

ยังมีตะกอน (Sediment) ทั้งที่เป็นตะกอนแขวน (Suspended load) และตะกอนท้องน้ำ (Bed load) การที่มวลสารละลายเกลือ และตะกอนปนอยู่ด้วยกันทำให้ความหนาแน่น (density) ของน้ำในลำน้ำไม่จำเป็นต้องเท่ากับ ความหนาแน่นของน้ำในอ่าง ถ้าในลำน้ำมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำในอ่าง น้ำก็จะไหลเข้าทางด้านล่างของอ่าง (underflow) ถ้าในอ่างมีความหนาแน่นน้อยกว่าก็จะไหลอยู่ข้างบน (overflow)

2.2 น้ำที่ไหลบนผิวดิน (Overland flow หรือ Surface runoff) เมื่อฝนตกลงในบริเวณพื้นที่รับน้ำของอ่าง น้ำจำนวนหนึ่งจะไหลบนผิวดินไปลงอ่าง น้ำจำนวนหนึ่งจะละลายเกลือที่แข็งติดอยู่บนผิวดินลงไปใต้อ่างด้วย การที่เกลือแข็งติดบนผิวดินนี้ (ชาวบ้านเรียกว่า "สำเกลือ") เกิดจากการที่น้ำที่แทรกอยู่ตามผิวดินและเม็ดดินระเหยสู่บรรยากาศ น้ำใต้ดินที่ต่ำกว่าก็จะเคลื่อนขึ้นมาแทนที่ (Capillary rise) น้ำจำนวนนี้จะนำเกลือขึ้นมาด้วย และเมื่อระเหยก็จะปล่อยเกลือไว้ตามผิวดิน

2.3 การถ่ายเทของน้ำใต้ดิน (Interflow และ Groundwater flow) อ่างเก็บน้ำโดยทั่วไปที่มีอายุเกินกว่าสองสามปี การถ่ายเทของน้ำใต้ดินจะน้อย เนื่องจากการตกตะกอน (ที่ติดมากับลำน้ำ) ตะกอนเหล่านี้มักจะมีวัสดุอินทรีย์ (Organic matter) และแร่ธาตุของดินและทรายที่มีขนาดเล็กมากปนอยู่ วัสดุเหล่านี้จะเคลือบกันอ่างทำให้การไหลซึมเกิดได้น้อย ในกรณีที่เกิดการตกตะกอน (Sedimentation) ยังไม่มากพอ และถ้าระดับน้ำใต้ดินสูงกว่าระดับน้ำภายในอ่าง น้ำก็จะไหลเข้าอ่าง ซึ่งอาจนำเกลือเข้าสู่อ่างได้

2.4 การเคลื่อนที่ของสารละลายเกลือโดย Diffusive Process ถ้าพื้นดินใต้อ่างมีสารละลายเกลือซึ่งอาจเกิดจากการที่ชั้นเกลือแทรกอยู่ใต้พื้นดินและถ้าความเข้มข้น (concentration) สูงกว่าความเข้มข้นของน้ำเกลือในอ่าง เกลือก็จะเคลื่อนที่เข้าอ่างได้ กล่าวคือ เกลือในรูปของสารละลายจะเคลื่อนที่จากจุดที่มีความเข้มข้นสูงไปยังจุดที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าเสมอ (Fick's Law) (2).

เกลือที่เข้าไปในอ่างจะทำให้ในอ่างมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เกลือมิใช่สาเหตุเดียวที่ทำให้ความหนาแน่นของน้ำเปลี่ยนแปลง สาเหตุอื่นๆ กล่าวถึงไว้ในส่วนต่อไป (ส่วนที่ 3) เหตุที่ความหนาแน่นของน้ำเป็นที่น่าสนใจก็เพราะมันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด

การแบ่งชั้นของน้ำขึ้นในอ่างซึ่งมีผลอย่างมากต่อความเค็มของอ่าง การแบ่งชั้นของน้ำและผลของมันจะกล่าวถึงในส่วนที่ 4

3. สาเหตุที่ทำให้ความหนาแน่นของน้ำเปลี่ยน

สาเหตุที่ทำให้ความหนาแน่นของน้ำเปลี่ยนแสดงอยู่ในรูปที่ 2

3.1 ผลจากความดันและอุณหภูมิ (Pressure and temperature) ความดันของน้ำในอ่างที่ระดับต่างๆ ขึ้นอยู่กับความลึกที่ระดับนั้นๆ โดยอาจถือได้ว่าความดันเปลี่ยนแปลงอย่าง hydrostatic กล่าวคือ ความดันเปลี่ยนแปลงโดยตรงกับความลึก การประมาณค่าความดันอาจใช้สูตร $P = \rho gh$ โดยที่ P คือค่าความดัน ρ คือค่าน้ำหนักจำเพาะของน้ำ และ h คือค่าความลึกวัดจากผิวน้ำ ความดันน้ำที่ผิวน้ำอาจถือได้ว่าเท่ากับความดันบรรยากาศที่จุดนั้น การเปลี่ยนแปลงของความดันในแนวระดับอาจถือได้ว่าไม่มีเลย

อุณหภูมิขึ้นขึ้นกับปริมาณความร้อนเข้าออกและคุณสมบัติของน้ำในการอมความร้อน ปริมาณความร้อนที่เข้าและออกจากน้ำในอ่าง เกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่ไม่เท่ากันระหว่างน้ำในอ่างกับน้ำที่ไหลเข้าอ่าง บรรยากาศและแผ่นดิน

การประมาณค่าความหนาแน่นของน้ำที่เปลี่ยนแปลงกับความดันและอุณหภูมิอาจทำได้จากการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิและปริมาตรจำเพาะ (PvT diagram) ของน้ำ (3) โดยที่ความหนาแน่นจะมีค่าเท่ากับสัดส่วนผกผันของปริมาตรจำเพาะ ($\rho = 1/v$) ตารางนี้ได้มาจากการทดลองและการ extrapolate ผลการทดลองโดยมีทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์สนับสนุน

เนื่องจากในประเทศไทย การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไม่มากนักในแต่ละฤดู และสำหรับอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กที่ไม่ลึกมาก การเปลี่ยนแปลงของความดันมีไม่มาก ค่าความเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของน้ำกับความดันและอุณหภูมิจึงน้อยมากเมื่อเทียบกับผลจากส่วนอื่นๆ

3.2 ผลจากสสารแขวน (Substances in suspension) โดยปกติสสารเหล่านี้จะหนักกว่าน้ำ (ความถ่วงจำเพาะมากกว่าหนึ่ง) จึงทำให้ค่าความหนาแน่นของน้ำที่มีสสารแขวนอยู่ด้วยมากกว่าค่าความหนาแน่นของน้ำจืด ค่าความหนาแน่นที่เปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับจำนวน

รุตและน้ำหนักจำเพาะของรุต โดยอาจหาได้จากสูตร

$$\rho = \rho_w + \frac{\gamma_s}{g} \quad (1)$$

โดยที่ ρ คือความหนาแน่นรวม (น้ำจืด+รุต) ρ_w คือความหนาแน่นของน้ำจืด γ_s คือน้ำหนักจำเพาะของรุต และ g คือค่าความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก รุตเหล่านี้แขวนอยู่ในน้ำได้ด้วยกระแสนวน (Turbulence) ที่มีอยู่ในน้ำ ถ้าน้ำมีกระแสนวนน้อย (เกือบหยุดนิ่ง) รุตก็จะค่อยๆ ตกตะกอน เวลาของการตกตะกอนขึ้นอยู่กับขนาดของรุต รุตขนาดใหญ่อาจตกตะกอนภายใน 2,3 นาที รุตขนาดเล็กอาจใช้เวลาถึง 2,3 อาทิตย์

3.3 ผลจากสารละลาย (Substances in solution) สารที่สามารถปนอยู่ในน้ำในรูปของสารละลาย เช่น เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จะทำให้ความหนาแน่นของน้ำเปลี่ยน ค่าความหนาแน่นที่เปลี่ยนขึ้นอยู่กับน้ำหนักจำเพาะของสารและความเข้มข้นของการละลาย (Concentration) โดยทั่วไปสารเหล่านี้มักจะทำให้ความหนาแน่นของน้ำเพิ่มขึ้น ถ้าความเข้มข้นมากไปก็จะเกิดการตกผลึกของสารนั้น ค่าความหนาแน่นรวม (น้ำ+สาร) หาได้จากสูตร

$$\rho = \frac{M_w + M_s}{V_w + V_s} \quad (2)$$

และความเข้มข้น หาได้จากสูตร

$$C_w = \frac{M_w}{M_w + M_s} \quad (3)$$

$$C_s = \frac{M_s}{M_w + M_s} \quad (4)$$

โดยที่ M_w , M_s เป็นมวลของน้ำจืดและสาร; V_w , V_s เป็นปริมาตรของน้ำจืดและสาร; และ C_w , C_s เป็นความเข้มข้นของน้ำจืดและสาร

4. ชั้นความหนาแน่นและกระแสเนื่องจากความหนาแน่น (Density stratification และ Density current)

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีความหนาแน่นสูงขึ้นคือสารละลายเกลือ ซึ่งเป็นปัญหาของอ่างเก็บน้ำในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในอ่างเก็บน้ำ น้ำที่มีความหนาแน่นมากกว่า (หนักกว่า) จะจกตัวเองอยู่ในชั้นลึก น้ำที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า (เบากว่า) จะอยู่ชั้นสูงขึ้นมา ปรากฏการณ์เช่นเรียกว่า “ชั้นความหนาแน่น” (Density stratification) การที่น้ำที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากันจกตัวเองให้อยู่ในลักษณะชั้นความหนาแน่นนี้ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำ การเคลื่อนที่หรือกระแสที่เกิดจากสาเหตุเช่นนี้เรียกว่า “กระแสเนื่องจากความหนาแน่น” (Density current) ชั้นความหนาแน่นและกระแสเนื่องจากความหนาแน่นเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปในอ่างเก็บน้ำ (4)(5)

ความสัมพันธ์ของเกลือที่เข้าและออกจากอ่าง อาจเขียนได้ดังนี้

$$\left(\begin{array}{c} \text{อัตราการไหลเข้าของ} \\ \text{เกลือ} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{อัตราการไหลออกของ} \\ \text{เกลือ} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{อัตราการสะสมของ} \\ \text{เกลือในอ่าง} \end{array} \right) \quad (5)$$

ถ้าอัตราการไหลเข้ามากกว่าอัตราการไหลออก จำนวนเกลือที่สะสมก็จะมากขึ้นทุกที ทำให้น้ำในอ่างมีความเค็มเพิ่มขึ้น ถ้าอัตราการไหลเข้าน้อยกว่าอัตราการไหลออก น้ำในอ่างก็จะลดความเค็มลง รูปที่ 3 แสดงภาพตัดของอ่างเก็บน้ำและชั้นความหนาแน่น โดยทั่วไป อ่างเก็บน้ำขนาดเล็กจะมีทางน้ำล้น (Spillway) แบบไหลล้นด้านบน (Free overflow) กล่าวคือ น้ำจะล้นออกโดยการไหลข้ามสันเขื่อน เนื่องจากค่าก่อสร้างทางน้ำล้นแบบนี้มักจะถูกกว่าแบบอื่นๆ การที่น้ำไหลล้นด้านบนนี้ทำให้น้ำที่อยู่ส่วนข้างบน (ความหนาแน่นน้อย หรือความเค็มน้อย) เท่านั้นที่ถูกระบายออกจากอ่าง จากสมการ (5) จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลออกของเกลือจะน้อยกว่าอัตราการไหลเข้า จึงทำให้อัตราการสะสมของเกลือในอ่างเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำในอ่างเค็มขึ้น

ตามความเป็นจริง มีความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่มีความหนาแน่นน้อย และที่มีความหนาแน่นมาก อาจไม่สามารถระบุได้แน่ชัดดังที่แสดงในรูปที่ 3 เนื่องจากระหว่างชั้น จะมีการถ่ายเทความเค็มโดยวิธี Diffusive process ในทางปฏิบัติ ถ้านำตัวอย่างน้ำที่มีความลึกต่างๆ กันมาหาค่าความหนาแน่นแล้วนำมาพล็อตกับค่าความลึกบนกระดาษกราฟ ก็อาจกำหนดความสัมพันธ์ได้โดยถือให้ความสัมพันธ์อยู่ตรงที่มีความชัน (Slope) ของกราฟมากที่สุด

สุด ($\frac{dp}{dh}$ มากที่สุดโดยให้ h เป็นความลึกวัดจากผิวน้ำ และ ρ คือค่าความหนาแน่นของตัวอย่างน้ำ) นอกจากนั้นชั้นความหนาแน่นอาจจะมีมากกว่าสองชั้นก็ได้

5. วิธีแก้ปัญหา

วิธีแก้ปัญหาคำนวณความเค็มของน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กอาจแยกได้เป็น 2 ตอนคือ

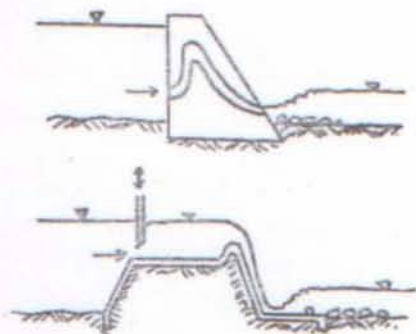
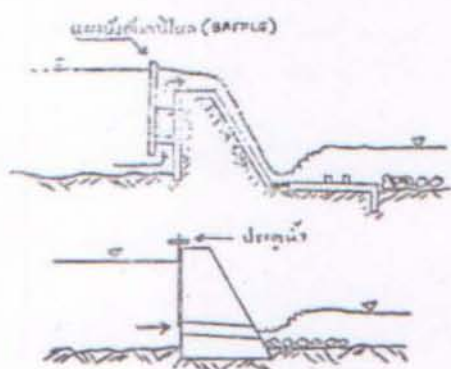
5.1 การป้องกันไม่ให้เกลือเข้าอ่าง - จากส่วนที่ 2 ของบทความซึ่งกล่าวถึงสาเหตุของการที่เกลือเข้าอ่าง การป้องกันอาจเป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้ หรือถ้าทำได้ก็อาจเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ในการวางแผนสร้างอ่างเก็บน้ำ อาจรวมขั้นตอนการสำรวจชั้นเกลือในบริเวณพื้นที่รับน้ำด้วย แต่การสำรวจดังกล่าวนี้ถ้าจะให้ได้รายละเอียดมากพอ ก็อาจต้องเสียค่าใช้จ่ายมากเกินไปกว่าค่าที่จะได้รับจากอ่างเก็บน้ำ

5.2 การระบายน้ำส่วนที่เค็มออกจากอ่าง - จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าน้ำส่วนที่เค็มจะจมอยู่ส่วนลึกของอ่าง ถ้าสามารถระบายน้ำส่วนนั้นออกไปได้ก็จะทำให้ความเค็มลดลงไปได้ รูปที่ 4 แนะนำวิธีการออกแบบทางน้ำสั้นเพื่อให้ น้ำส่วนล่างไหลออกจากอ่าง

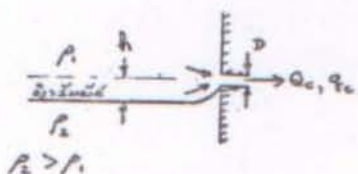
ในการคำนวณขนาดทางหรือท่อน้ำสั้น โดยปกติจะมีจุดประสงค์ให้ทางน้ำสั้นมีขนาดใหญ่พอที่จะระบายน้ำออกได้พอในเวลาที่มีฝนตกหนัก โดยไม่ทำให้ระดับน้ำในอ่างสูงกว่าระดับน้ำที่กำหนดไว้ การออกแบบก็เป็นไปตามหลักวิชาทาง hydrology กล่าวคือ เมื่อหา input hydrograph ได้ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งแล้วก็นำมาคำนวณหาขนาดของทางน้ำสั้นด้วยการทำ reservoir routing แต่ถ้าทางน้ำสั้นมีจุดประสงค์ดังกล่าวบวกกับความต้องการระบายน้ำส่วนลึกอีกด้วย ก็อาจใช้หลักการที่จะกล่าวต่อไปในการประมาณค่าอัตราการไหลมากที่สุดของน้ำส่วนลึกเมื่อรู้สภาพชั้นความหนาแน่นได้

6. การเลือกชั้นการไหล (Selective withdrawal)

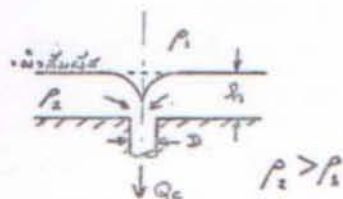
ในกรณีที่มีชั้นความหนาแน่นชัดเจนพอสมควร (Discrete layer of density stratification) การระบายน้ำออกจากชั้นความหนาแน่นหนึ่งโดยไม่ทำให้น้ำในชั้นความหนาแน่นอื่นไหลออกมาด้วย เป็นหัวข้อที่ผู้เชี่ยวชาญวิจัยไว้บ้าง ผลของการวิจัยที่อาจเป็นประโยชน์ในการออกแบบเป็นไปตามที่แสดงอยู่ในรูปที่ 5 และตารางที่ 1 ผลการวิจัยทั้งหมดที่สรุปไว้มีทำบนสมมุติฐานที่ว่า ผลจากความหนืด (Viscosity) และผลจาก Diffusion ไม่มีอิทธิพลต่อการไหล



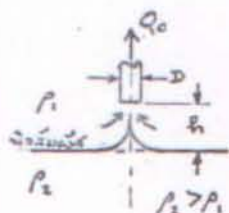
รูปที่ 4 - ตัวอย่างการออกแบบทางน้ำขึ้นเพื่อประโยชน์ด้านน้ำ



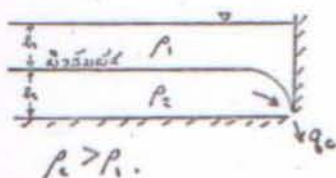
(ก) CRAYA (1949)



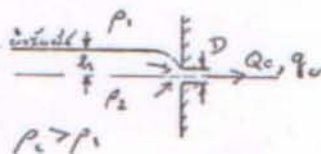
(ข) HARLEMAN, MORGAN and PURPLE (1959)



(ค) DAVIDIAN and GLOVER (1956)



(ง) HUBER (1860)



(จ) รูปกลับของ(ก)

รูปที่ 5 - สรุปผลการวิจัยเกี่ยวกับการเลือกชั้นการใน

ในการเลือกชั้นการไหล ถ้าอัตราการไหลน้อย น้ำในชั้นความหนาแน่นที่ต้อง
การระบายออก ก็จะไหลออกมาโดยไม่มีน้ำในชั้นความหนาแน่นอื่นนอกมาด้วย ถ้าอัตรา
การไหลเพิ่มขึ้นเกินกว่าค่าค่าหนึ่งก็จะทำให้น้ำในชั้นความหนาแน่นอื่นถูกระบายออกมา

ตารางที่ 1 สรุปผลการวิจัยเกี่ยวกับการเลือกชั้นการไหล

ผู้ทำการวิจัย	รูปที่	ค่า Critical densimetric Froude number, F_c
CRAYA (1949) โดยวิธี analytic และ GARIEL (1949) ทำการทดลองพบ ว่าถูกต้อง	5 (ก) และ 5 (จ)	$\frac{q_c}{h \sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho_2} h}} = 1.52 \text{ สำหรับช่องขนาดเล็ก } (< \frac{h}{8})$ $\frac{Q_c}{h^2 \sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho_2} h}} = 2.55 \text{ สำหรับรูขนาดเล็ก}$
HARLEMAN, MORGAN และ PURPLE (1959) โดย วิธี analytic และทดลอง	5 (ข)	$\frac{Q_c}{h^2 \sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho_2} h}} = 1.61 \text{ สำหรับ } 0.3 < \frac{D}{h} < 1.1$
DAVIDIAN และ GLOVER (1956) โดยการทดลอง	5 (ค)	$\frac{Q_c}{h^2 \sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho_2} h}} = 44.5 \left(\frac{D}{h} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ สำหรับ } 0.3 < \frac{D}{h} < 14$
HUBER (1960) โดยวิธี analytic	5 (ง)	$\frac{q_c}{h \sqrt{g \frac{\Delta \rho}{\rho_2} h}} = 1.66$

ด้วย ค่าอัตราการไหลค่านี้เรียกว่า “อัตราการไหลวิกฤติ” โดยใช้สัญลักษณ์ Q_c สำหรับอัตราการไหลในท่อ และ q_c สำหรับการไหลต่อความยาวของร่อง (slot) ค่า Froude number สำหรับ Q_c หรือ q_c เรียกว่าค่า Critical densimetric Froude number, F_c สัญลักษณ์ D คือค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหรือความสูงของร่อง สัญลักษณ์อื่นๆ เป็นไปตามที่เคยใช้มาแล้ว หรือตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 5 และตารางที่ 1

ผลการวิจัยเหล่านี้ถือว่า ค่าความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างชั้น $\Delta\rho (= \rho_2 - \rho_1)$ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ ρ_1 หรือ ρ_2 ดังนั้นลักษณะการไหลที่แสดงในรูปที่ 5 จึงอาจกลับหัวได้โดยสลับ ρ_1 และ ρ_2 ยกตัวอย่างเช่นการไหลในรูปที่ 5 (ก) อาจเขียนได้เป็นตามที่แสดงในรูปที่ 5 (จ) โดยที่ค่า F_c ไม่เปลี่ยนแปลง

7. งานวิจัยที่ควรทำ

งานวิจัยที่ควรทำเพื่อยืนยันปรากฏการณ์ที่อ่างเก็บน้ำขนาดเล็กเดิม และหาวิธีแก้ไขที่นำไปปฏิบัติได้อาจแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

7.1 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำขนาดเล็กที่เลือกแล้วสองสามอ่าง ตัวอย่างที่เก็บจะนำมาทดสอบเพื่อหาความหนาแน่น และความเข้มข้นของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ การเก็บตัวอย่างควรทำติดต่อกันทุก ๆ เดือนเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 3 ปี

7.2 ทำแบบจำลองเพื่อทดสอบวิธีแก้ไข โดยเน้นถึงการออกแบบที่สร้างง่าย ราคาถูก คำนวณรักษาค่า และนำไปปฏิบัติได้

7.3 หาวิธีให้ประโยชน์จากน้ำเค็ม

8. สรุป

บทความนี้เสนอคำอธิบายเกี่ยวกับการเค็มของอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยอธิบายว่า น้ำในอ่างเกิดการจัดชั้นความหนาแน่นขึ้น (Density stratification) โดยน้ำที่เค็มกว่าอยู่ชั้นล่าง น้ำจืดอยู่ชั้นบน ถ้าการระบายน้ำออกจากอ่างระบายน้ำเฉพาะน้ำส่วนบน ซึ่งเป็นลักษณะที่พบเห็นเป็นส่วนมากของฝายน้ำล้นขนาดเล็กในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ น้ำส่วนที่เหลืออยู่ในอ่างส่วนมากจะเป็นน้ำเค็ม วิธีแก้ไขอาจทำได้โดยการเลือกระบายน้ำส่วนที่เค็มกว่า ซึ่งจะอยู่ชั้นล่างของอ่างออกจากอ่าง ดังนั้นผลงานวิจัยจากต่างประเทศเกี่ยวกับการเลือกชั้นการไหล (Selective withdrawal)

จึงถูกนำมาเสนอเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและแก้ปัญหา และได้เสนอขั้นตอนการวิจัยที่ควรทำต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. สันธุเกษตร - ปัญหาดินเค็มในการพัฒนาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, เอกสารชักชวนให้ส่งเรื่องในการสมัครปัญหาดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
2. DAILY, J.W. and D.R.F. HARLEMAN - Fluid Dynamics, Addison Wesley, USA.
3. KEENAN, J.H. and F.G. KEYES - Table of Compressed Liquid Water, John Wiley & Sons 1936.
4. COKER, R.E - Streams Lakes Ponds, Chapter 5, The University of North Carolina Press, 1954.
5. WELCH, P.S. - Limnology, Chapter 4, 2nd edition McGraw-Hill, 1952.
6. HARLEMAN, D.R.F. - Stratified Flow, Chapter 26 of Handbook of Fluid Dynamics, V.L. STREETER, editor, McGraw Hill, 1961.
7. DAVIDIAN, J., and J.E. GLOVER - Development of the Non - Circulatory Waterspout, Part one of Seven Exploratory Studies in Hydraulics, H. ROUSE editor, J. of Hyd. Div ASCE V 82 No HY Aug. 1956.
8. CRAYA, A - (Title in French), La Houille Blanche, Jan - Feb 1949.
9. GARIEL, P. - (Title in French), La Houille Blanche, Jan - Feb 1949.
10. HARLEMA, D.R.F., MORGAN, R.L. and R.A. PURPLE - Selective Withdrawal from a Vertically Stratified Fluid, IAHR, Proc 8th congress, V2 Aug, 1953.