

การศึกษาเชิงตัวเลขของน้ำรั่วซึมกรณีการดาดคลองส่งน้ำบางส่วน Numerical Study on Water Leakage from Partially Lined Canal

เอกวิทย์ จรประดิษฐ์
Eakawit Jornpradit

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน นนทบุรี ประเทศไทย 11120
Office of Research and Development, Royal Irrigation Department, Nonthaburi, Thailand, 11120
E-mail: eakawit36@gmail.com

บทคัดย่อ

การปรับปรุงคลองส่งน้ำชลประทาน ประเภทหนึ่งคือการใช้คอนกรีตดาดผิวสัมผัสระหว่างผิวเนื้อดินของคลองส่งน้ำกับน้ำที่ไหล โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือป้องกันหรือลดการสูญเสียปริมาณน้ำที่ต้องการส่งน้ำจากแหล่งน้ำต้นทุนสู่จุดจ่ายน้ำปลายทางจากการรั่วซึม งานวิจัยบางงานมีประเด็นโต้แย้งและมีข้อร้องเรียนจากผู้ที่อยู่ในพื้นที่ที่คลองส่งน้ำตัดผ่านแต่ไม่ได้รับการจ่ายน้ำว่า บางพื้นที่อาจไม่ได้รับการสนับสนุนจากน้ำชลประทานเนื่องจากการดาดคลอง การศึกษานี้จึงศึกษาในเชิงตัวเลขว่า ในสถานภาพตามสมมุติฐานในการออกแบบแล้ว คลองที่ไม่ดาด หรือคลองที่ดาดคอนกรีตเพียงบางส่วน จะมีข้อแตกต่างเชิงปริมาณของน้ำที่สูญเสียจากการรั่วซึมมีนัยสำคัญต่อปริมาณน้ำที่ส่งเพียงใด การศึกษานี้ได้จำลองน้ำรั่วซึมในเชิงตัวเลขด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของไหลพลวัตเชิงตัวเลขสองมิติ โดยทำการศึกษาในสามกรณีคือ กรณีแรกไม่มีการดาด กรณีที่สองดาดเฉพาะก้นคลอง และกรณีที่สามดาดเฉพาะลาดตลิ่งข้างคลอง ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตความสามารถซึมของดินเหนียวปนทรายที่บดอัดแน่นตามมาตรฐานทั่วไปในการก่อสร้างคลองส่งน้ำ ผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนร้อยละของปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อปริมาณน้ำที่ส่งผ่านคลองส่งน้ำ (ขนาดก้นคลองกว้าง 2 เมตร ความลึกจากกระดับผิวน้ำถึงก้นคลอง 1 เมตร ลาดตลิ่ง 1:1.5 ลาดท้องคลอง 1:10,000) เป็นร้อยละ 0.0000013, 0.0000012, และ 0.0000011 ในกรณีไม่มีการดาด ดาดเฉพาะก้นคลอง และ ดาดเฉพาะลาดตลิ่งข้างคลอง ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการสูญเสียจากการดาดคลองทั้งสามเงื่อนไขไม่มีนัยสำคัญในความแตกต่างเชิงปริมาณเมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ส่งกับปริมาณน้ำที่สูญเสีย

คำสำคัญ : ดาดคลอง น้ำรั่วซึม ความสามารถซึม ของไหลพลวัต ระบบนิเวศ

Abstract

A kind of improving irrigation canal is the use of concrete lining on the contact surface between the surface of the soil and the water in canal. The main purpose is to prevent or reduce the loss of water delivering from a source of water to the destination. Recently, some research work has the contested issue. In addition, there are some complaints from people who live in the areas where the canal cuts through but they do not receive the water and they assume that due to the irrigation canal linings. Therefore, this study aims to investigate by the numerical method that how significant differ in leakage quantity according to the assumptions in the design and conditions such as the concrete lined canal, partially lined canal, and unlined between the water loss and the water delivering. This study simulates the water leaks in numerical mathematical modeling on the computational fluid dynamics in two-dimensional technique. On the cases of simulation, there are three cases of canal lining. The first case is on none lining condition. The second case is on concrete lining only on the bottom of canal. And the third case is lining only on the slope beside the canal banks. The scope of the study is subject to the range of porous on the sandy clay soil which compacted by general standards in the criteria of the canal construction. The result found that the percent of the amount of water lost to the amount of water that delivering through the canal, with 2 meters of bottom width 2 meters depth from surface to the bottom of the canal 1: 1.5 ratio of side slope on banks 1:10,000 ratio of the longitudinal slope on bed, are 0.0000013, 0.0000012 and 0.0000011, in the cases of none lining condition, concrete lining only on the bottom of canal, and lining only on the slope beside the canal banks respectively. It can be concluded that the water leakage from the canal linings in three conditions are not very significant differ in volume compared to the water delivering with the water losses.

Keyword: lined canal, leakage, permeability, fluid dynamic, ecosystem

คำนำ

การปรับปรุงคลองส่งน้ำชลประทาน โดยการใช้คอนกรีตตาดผิวสัมผัสระหว่างผิวน้ำกับผิวดินของคลองส่งน้ำกับน้ำที่ไหล โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือการป้องกันหรือลดการสูญเสียปริมาณน้ำที่ต้องการส่งน้ำจากแหล่งน้ำต้นทุนสู่จุดจ่ายน้ำปลายทางจากการรั่วซึม (USBR., 1978) จุดประสงค์รองลงมา เช่น ป้องกันการกัดเซาะของกระแสน้ำในคลอง ป้องกันรูปทรงของหน้าตัดคลองส่งน้ำให้เป็นไปตามขนาดและมิติตามที่ผู้ออกแบบได้ออกแบบไว้ รักษาสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Roughness Coefficient) ให้เป็นไปตามการออกแบบ ป้องกันการเกิดวัชพืชหรือพืชน้ำเจริญเติบโตที่ริมตลิ่งคลอง เป็นต้น ปรากฏว่างานวิจัยบางงานมีข้อโต้แย้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานวิจัยที่ได้นำเอาปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศมาศึกษา (Yu. M. Kosichenko, 1992) และประกอบกับมีข้อร้องเรียนจากผู้ที่อยู่ในพื้นที่ที่คลองส่งน้ำตัดผ่าน แต่ไม่ได้รับการจ่ายน้ำให้ว่า สิ่งแวดล้อมบางพื้นที่อาจไม่ได้รับการสนับสนุนจากน้ำชลประทานเนื่องจากการตาดคลอง การศึกษาจึงได้นำประเด็นข้อสมมุติฐานว่าหากคลองส่งน้ำไม่มีการตาด หรือมีการตาดเป็นบางส่วนมาศึกษาในเชิงตัวเลข ในสถานภาพตามสมมุติฐานโดยทั่วไปที่ใช้ในการออกแบบแล้ว คลองที่ไม่ตาด หรือคลองที่ตาดคอนกรีตเพียงบางส่วน จะมีข้อแตกต่างเชิงปริมาณของน้ำที่สูญเสียจากการรั่วซึมอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณน้ำที่ส่งเพียงใด การศึกษามีวิธีการโดยจำลองน้ำรั่วซึมในเชิงตัวเลขด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของไหลพลวัตเชิงตัวเลขสองมิติ ในการศึกษาให้ใช้หลักการคำนวณของไหลพลวัต (Computational Fluid Dynamic: CFD) ซึ่งเป็นการคำนวณวิเคราะห์การไหลเชิงตัวเลข (Numerical Analysis) ระดับหน่วยมิติขนาดเล็ก (Finite) ที่มีความสัมพันธ์ทั้งเชิงระยะชัด (∂x , ∂y , ∂z) และเชิงเวลา (∂t) โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือค่าความเร็วการไหลทั้งสามมิติ (∂u , ∂v , ∂w) โดยอาศัยกฎเกณฑ์อันเป็นเงื่อนไขบังคับสามกฎ คือ กฎการอนุรักษ์มวล กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม และ กฎการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งมีสมการพื้นฐาน ดังนี้

กฎการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass) กฎการอนุรักษ์มวล มีรูปแบบสมการพื้นฐานจาก Euler Equation (D. Christodoulou., 2007) ที่ใช้เป็นเงื่อนไขบังคับใช้แก่สมการหาตัวที่ไม่รู้ค่าต่างๆ ร่วมกับ กฎการอนุรักษ์พลังงาน และ กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม ดังนี้

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \left[\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right] = 0 \dots\dots\dots(1)$$

หรือ สมการอย่างง่าย กรณีของไหลเป็น Incompressible Property หรือ (ρ) ความหนาแน่นคงที่ คือ

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots(2)$$

กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม (Conservation of Momentum) กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม มีรูปแบบ

สมการพื้นฐานจาก Cauchy momentum equation (Acheson, D. J., 1990) ที่ใช้เป็นเงื่อนไขบังคับใช้แก้สมการหาตัวที่ไม่รู้ค่าต่าง ๆ ร่วมกับกฎการอนุรักษ์พลังงาน และ กฎการอนุรักษ์มวล โดยที่โมเมนตัมเกิดจากการเปลี่ยนไปของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ที่มีความเร็ว ($\vec{V}$) ในทิศทางสามมิติ โดยมี Del หรือ Nabla operator ($\vec{\nabla}$) แสดงหนึ่งหน่วย gradient vector ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนืดพลวัต หรือ Dynamic viscosity (μ) ส่วนค่า λ เป็นค่าคงที่มีค่า $2/3$ ของ μ และประกอบกับแรงกระทำเพิ่มเติม (ρf_n) ในแต่ละแนวแกนร่วมด้วย มีรูปสมการพื้นฐาน ดังนี้

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \vec{\nabla} \cdot \vec{V} + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right] + \rho f_z \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \vec{\nabla} \cdot \vec{V} + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right] + \rho f_y \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \vec{\nabla} \cdot \vec{V} + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right] + \rho f_x \dots\dots\dots(5)$$

กฎการอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy) กฎการอนุรักษ์พลังงาน มีรูปแบบสมการพื้นฐานจาก Navier-Stokes Equations (U. Ghia, K.N. Ghia, and C.T. Shin., 1982) เป็นสมการพื้นฐานที่ใช้อธิบายถึงพลังงานที่กระทำต่อวัตถุประเภทของไหลได้ หรือวัตถุที่เปลี่ยนรูปได้อย่างต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากผลของการกระทำของพลังงานต่อวัตถุในกรอบหนึ่งหน่วยที่เราสนใจ พลังงานดังกล่าวนี้ครอบคลุมถึงพลังงานสเปิร์มได้แก่ พลังงานศักย์ของแรงโน้มถ่วง พลังงานศักย์ของความดัน พลังงานจลน์ และพลังงานความร้อน ซึ่งมีรูปทั่วไปของสมการ กฎการอนุรักษ์พลังงาน ที่ใช้เป็นเงื่อนไขบังคับใช้แก้สมการหาตัวที่ไม่รู้ค่าต่าง ๆ ร่วมกับ กฎการอนุรักษ์มวล และ กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม โดยที่มีค่าพลังงานศักย์เดิม (e) ค่าแรงเฉือนในแนวระนาบ τ_{mn} , Thermal Conductivity (k) และค่าอัตราการไหลเฉลี่ยในระนาบตั้งฉากกับทิศทางเส้นการไหล ($\bar{Q}$) มีรูปสมการพื้นฐาน ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(e + \frac{v^2}{2g} \right) \right] + \vec{\nabla} \cdot \left[\rho \left(e + \frac{v^2}{2g} \right) \right] &= \rho \bar{Q} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \\ &\quad - \frac{\partial(up)}{\partial x} - \frac{\partial(vp)}{\partial y} - \frac{\partial(wp)}{\partial z} + \\ &\quad + \frac{\partial(u(\tau_{xz} \cdot \tau_{xy}))}{\partial x} + \frac{\partial(v(\tau_{yx} \cdot \tau_{yz}))}{\partial y} + \frac{\partial(w(\tau_{zx} \cdot \tau_{zy}))}{\partial z} + \\ &\quad + p \vec{f} \cdot \vec{V} \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

ในการศึกษาได้กำหนดการศึกษาในสามกรณีคือ กรณีแรกไม่มีการดาด กรณีที่สองดาดเฉพาะ ก้นคลอง และกรณีที่สาม ดาดเฉพาะลาดตลิ่งข้างคลอง ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตความสามารถซึมของ ดินเหนียวปนทรายที่บดอัดแน่นตามมาตรฐานทั่วไปในการก่อสร้างคลองส่งน้ำ

สมมุติฐานและขอบเขตการศึกษา

สมมุติฐานในการศึกษา ได้ตั้งไว้ 5 ประการ ดังนี้คือ 1) คุณสมบัติของดินที่นำมาคำนวณในเชิง ตัวเลข ได้ใช้คุณสมบัติในการซึมได้ของน้ำ ตามคุณสมบัติ มีขอบเขตจำกัดที่ค่าการซึมได้เริ่มต้นมากที่สุด ตั้งแต่ค่า 5.0 ลูยอง จนถึงภาวะอิ่มตัว หรือมีค่าเข้าใกล้ค่าเป็นศูนย์ 2) เมื่อดินมีสมมุติฐานเป็นดินเนื้อ เดียวกัน มีความหนาแน่นเสมอกันตลอดหน้าตัด มีขอบเขตจำกัดที่มีการกำหนดใช้ค่าเดียวกัน ซึ่ง เป็นดินในเชิงอุดมคติ 3) เมื่อดินในภาวะเริ่มต้นการคำนวณ มีสมมุติให้ไม่มีความชื้นในเม็ดดิน 4) แบบ จำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณมีสมมุติฐานว่า ผลการคำนวณเป็นผลลัพธ์ในเชิงอุดมคติ ที่ใช้อนุมาน เทียบเคียงความน่าจะเป็นไปได้ในเชิงทฤษฎีเท่านั้น ดังนั้นแบบจำลองจึงไม่มีขั้นตอนการปรับเทียบ (Calibration) กับพฤติกรรมจริงที่ซับซ้อนในสนาม 5) ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เป็นค่าที่สมมุติขึ้นเท่านั้น โดยมีหลักการสมมุติฐานในการใช้ค่าพารามิเตอร์ว่า เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในสภาวะปกติ ให้มากที่สุดโดยใช้วิจารณ์ญาณของผู้วิจัยเท่านั้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์ได้ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำการจำลองน้ำรั่วซึมในเชิง ตัวเลขด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของไหลพลวัตเชิงตัวเลขสองมิติ โดยทำการศึกษาในสามกรณี คือ กรณีแรกไม่มีการดาด กรณีที่สองดาดเฉพาะก้นคลอง และกรณีที่สาม ดาดเฉพาะลาดตลิ่งข้างคลอง ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตความสามารถซึมของดินเหนียวปนทรายที่บดอัดแน่นตามมาตรฐานทั่วไปในการ ก่อสร้างคลองส่งน้ำ ซึ่งใช้อุปกรณ์ คือ 1) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อ Sketchup Professional สำหรับ สร้างรูปร่าง หรือรูปทรงทางกายภาพ เพื่อกำหนด Boundary Condition 2) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ชื่อ XFlow สำหรับจำลองน้ำรั่วซึมในเชิงตัวเลขด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของไหลพลวัตเชิงตัวเลข สองมิติ หรือ 2D-Computational Fluid Dynamic และ 3) โปรแกรม Microsoft Excel สำหรับนำ ข้อมูลที่คำนวณได้ นำมาคำนวณต่อในด้านอัตราการรั่วซึมต่อระยะเวลา และปริมาณการรั่วซึมสะสม ต่อระยะเวลา พร้อมสร้างกราฟ

ส่วนวิธีการแบ่งออกเป็นสามขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนแรกเป็นวิธีการจัดเตรียมข้อมูลนำเข้า (Input) ขั้นตอนที่สองคือวิธีการคำนวณ (Processes) เริ่มต้นด้วยการกำหนด Initial condition ที่สำคัญคือ ให้ปริมาณน้ำถูกควบคุมด้วยระดับเต็มคลองตลอดเวลา ส่วนการซึมได้ของน้ำให้ดินฐานราก ที่รองรับคลองส่งน้ำกำหนดให้มีค่าความซึมได้ที่ค่า 5.0 ลูยอง (Lugeon หรือ 1×10^{-7} เมตร/นาที่) กำหนดดินมีความชื้น (Moisture Content) เป็นศูนย์ และเริ่มมีความชื้นเพิ่มขึ้นจากการรั่วซึมนับตั้งแต่

Unsteady State of flow จนเข้าสู่ Steady State of flow และขั้นตอนสุดท้าย คือ การนำผลลัพธ์ (Output) มาแปลผล และสรุปผล

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยคือผลจากการทดลองคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในเงื่อนไขสถานการณ์ สมมุติทั้งสามกรณี คือ กรณีแรกไม่มีการตาด กรณีที่สองตาดเฉพาะก้นคลอง และกรณีที่สาม ตาดเฉพาะลาดตลิ่งข้างคลอง ได้ผลลัพธ์เป็นภาพความชื้นและแรงดันเท่า ดังแสดงไว้ใน ภาพที่ 1

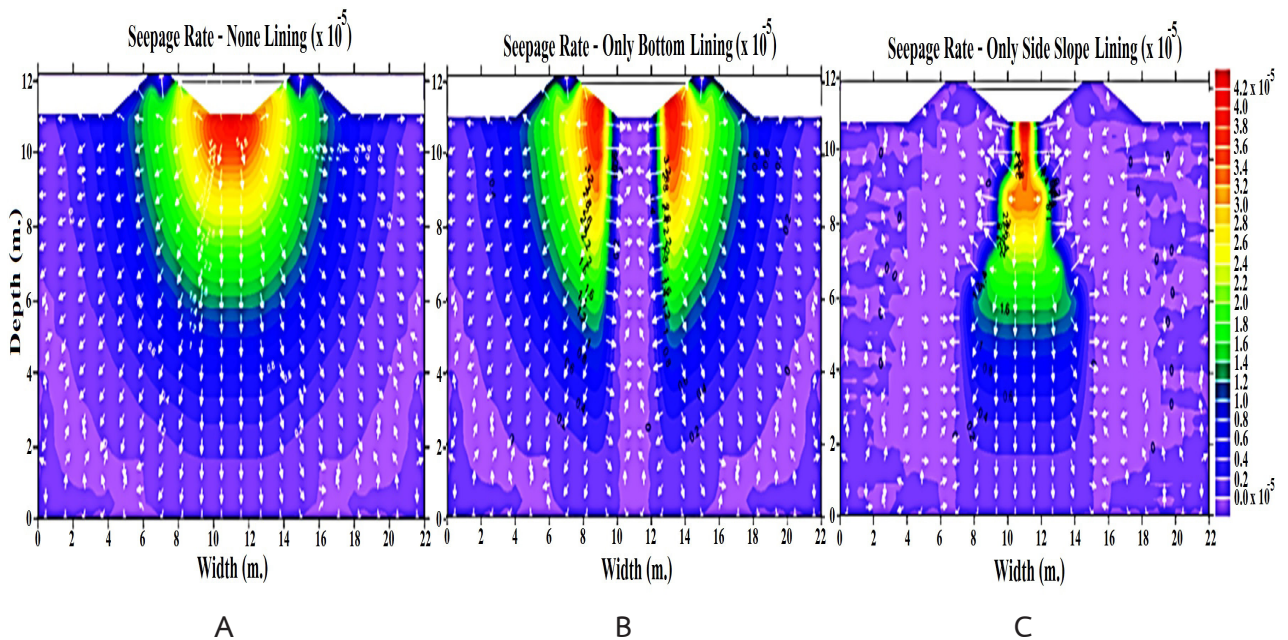


Figure 1 The contour line of the moisture and pore pressure which starting from unsteady state of seepage flow to steady state of seepage flow on the case of (A) no lining canal condition, (B) solely lined canal on the bottom, and (C) solely lined canal on the both banks

เมื่อนำค่าอัตราการไหลซึมของน้ำผ่านท้องคลอง และค่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านท้องคลองสะสม นำมาวิเคราะห์สร้างกราฟต่อระยะเวลาที่ทดลอง พบว่า ค่าอัตราการไหลซึมของน้ำผ่านท้องคลองมีค่าที่ลดลง หรือดินเข้าสู่การอิ่มตัว ซึ่งสอดคล้องกับ ค่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านท้องคลองสะสม พบว่ามีค่าเข้าสู่ค่าคงที่ แสดงดัง ภาพที่ 2

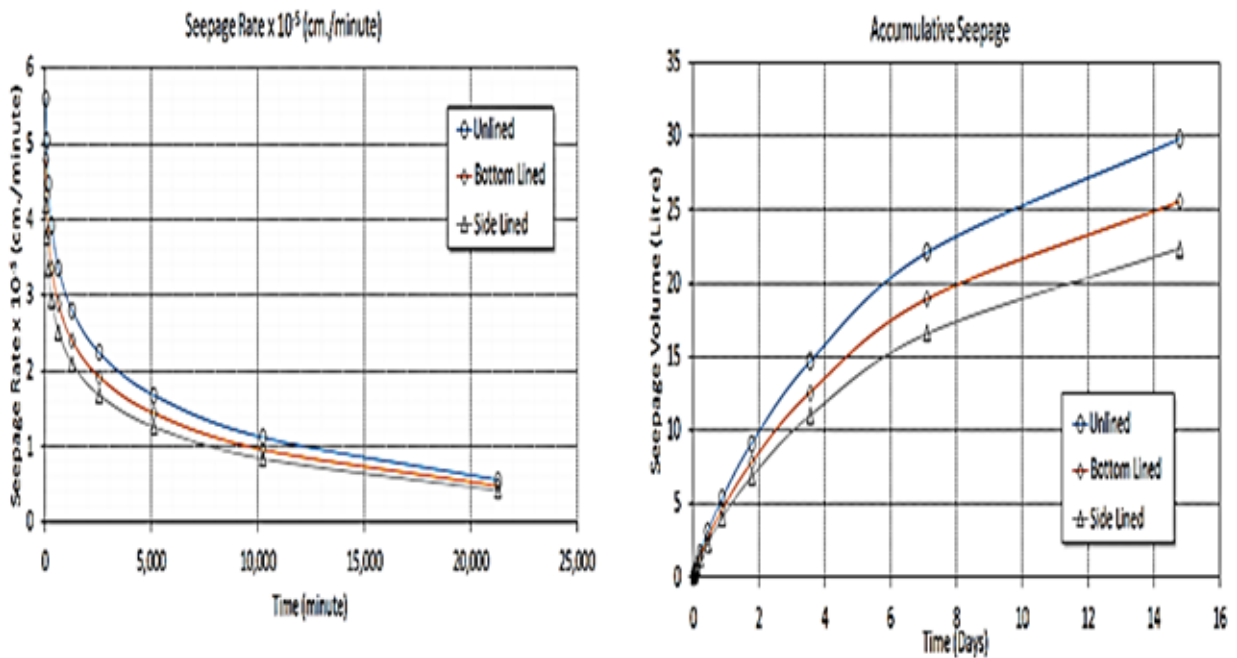


Figure 2 The graph shown the seepage rate (D) and the accumulative seepage volume (E) which starting from unsteady state of seepage flow to steady state of seepage flow of all three cases

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยโดยการจำลองเชิงตัวเลขตามสมมติฐานความเป็นไปได้ของเงื่อนไขการไหลรั่วซึมของน้ำจากคลองส่งน้ำชลประทานสู่เนื้อดินที่ไม่มี ความชื้น จนถึงสภาวะที่เนื้อดินมีความชื้นที่อิ่มตัว และชนิดของดินสมมติฐานให้เป็นดินประเภทดินเหนียวปนทราย ที่มีค่าการซึมอยู่ระหว่าง 1 ถึง 5 ลูยอง จึงนำค่าสูงมาใช้คือ 5 ลูยอง สามารถสรุปทั้งสามกรณีได้เป็น 3 ประเด็น คือ

ประเด็นที่หนึ่ง อัตราการรั่วซึมในระยะแรกจะมีค่ามากที่สุดที่ประมาณ 5 ลูยอง ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไปเนื้อดินได้รับการรั่วซึมน้ำจากคลองส่งน้ำมากขึ้น อัตราการรั่วซึมในระยะต่อมาจะลดลงแบบทวีคูณ จนเข้าสู่สภาวะคงที่ ค่าที่ทดลองคำนวณได้ลดลงถึง 0.5 ลูยองในระยะเวลา 15 วัน

ประเด็นที่สอง ปริมาณการรั่วซึมสะสมในระยะแรกจะมีค่ามากที่สุดที่เพิ่มขึ้นอย่างทวีคูณ หรือเพิ่มขึ้นรวดเร็ว ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไปเนื้อดินได้รับการรั่วซึมน้ำจากคลองส่งน้ำมากขึ้น ปริมาณการรั่วซึมสะสมในระยะต่อมาจะเพิ่มขึ้นที่ลดลงแบบทวีคูณ จนเข้าสู่สภาวะคงที่ ค่าที่ทดลองคำนวณได้ค่าปริมาณการรั่วซึมสะสมอยู่ในช่วงระหว่าง 20 ถึง 30 ลิตรต่อขนาดความยาวคลองส่งน้ำยาว 1 เมตร ในระยะเวลา 15 วัน

ประเด็นที่สาม สัดส่วนที่อัตราการไหลของปริมาณน้ำของคลองส่งน้ำสามารถลำเลียงผ่านได้ ต่ออัตราของน้ำในคลองมีการรั่วซึมออกจากหน้าตัดคลอง เมื่อคำนวณความสามารถในการลำเลียงน้ำในคลองในสภาวะ Uniform flow และมีปริมาณเต็มลำคลอง โดยใช้สมการ Manning (Manning R.,

1891) ซึ่งมีสมการ ดังนี้

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}}\sqrt{S}}{n} \dots\dots\dots(7)$$

โดยที่ A = 3.5 sq.m. ซึ่งหมายถึงพื้นที่หน้าตัดคลองสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีขนาดกันคลองกว้าง 2 เมตร ขนาดความลึกน้ำ 1 เมตร มีลาดตลิ่ง y:x = 1:1.5

$R^{2/3} = 0.730522$ m. ซึ่งหมายถึงสัดส่วนของพื้นที่หน้าตัดคลองสี่เหลี่ยมคางหมู ต่อ ความยาวเส้นขอบที่เนื้อดินสัมผัสกับเนื้อน้ำ ยกกำลัง 2/3

$\sqrt{S} = 0.01$ dimensionless. ซึ่งหมายถึงค่าลาดตามแนวยาวคลองส่งน้ำ ยกกำลัง 1/2 ได้มาจากสมมติฐานว่าลาดตามแนวยาวคลองฯที่ใช้ออกแบบมีขอบเขตอยู่ระหว่าง 1:1,000 ถึง 1:10,000 ค่าที่เลือกใช้นี้เป็นค่าที่ลาดตามแนวยาวคลองฯที่ใช้ออกแบบ 1:10,000 หมายความว่า เป็นลาดที่ทำให้ค่าอัตราปริมาณน้ำไหลผ่านคลองฯน้อยที่สุดที่ใช้ออกแบบ หากใช้ค่าลาดชันที่จะทำให้ได้ค่าอัตราปริมาณน้ำไหลผ่านคลองฯที่มากกว่านี้ ยิ่งจะทำให้การเปรียบเทียบสัดส่วนในผลสรุปยิ่งน้อยลงไป จึงเลือกใช้ค่าดังกล่าวนี้

$n = 0.015$ ซึ่งหมายถึงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning ที่ใช้กับคลองลาดทั่วไป ผลจากการคำนวณพบว่า ค่า Q หรือค่าอัตราปริมาณน้ำไหลผ่านคลองฯมีค่า 1.70455 ลูกบาศก์เมตร/วินาที หรือ 1,704.55 ลิตร/วินาที หากคิดเป็นช่วง 15 วันเพื่อเปรียบเทียบกับอัตราการรั่วซึมของน้ำลงสู่เนื้อดิน พบว่าคลองฯสามารถลำเลียงน้ำได้ 2,209 ล้านลิตรได้ในระยะเวลา 15 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการรั่วซึมของน้ำลงสู่เนื้อดิน ทั้งสามกรณี ซึ่งมีค่า 24.6, 25.8, และ 29.8 ลิตร/15 วัน จะมีสัดส่วนที่น้อยมากอย่างมีนัยสำคัญ คือค่า 0.0000011 0.0000012 และ 0.0000013 ตามลำดับของคลองฯลาดเฉพาะด้านข้างริมตลิ่ง ดาดเฉพาะกันคลอง และไม่มีการดาดคอนกรีต

วิจารณ์ผลและสรุปประเด็นสำคัญ

ข้อวิจารณ์ผลจากการศึกษา มีความเห็นว่า หากมีการปรับปรุงคลองส่งน้ำชลประทาน โดยได้นำวัสดุก่อสร้างคลองชนิดดินเหนียวปนทราย ซึ่งเป็นข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบทั่วไป ที่มีค่าการรั่วซึมอยู่ในเกณฑ์ปกติตามธรรมชาติของดินเมื่อบดอัดแน่นแล้ว อัตราการรั่วซึมของน้ำลงสู่เนื้อดินระหว่าง การดาดคอนกรีต กับ ไม่มีการดาดคอนกรีต หรือการดาดคอนกรีตเพียงส่วนด้านข้างริมตลิ่ง หรือดาดเฉพาะกันคลอง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบอัตราการรั่วซึมลงสู่เนื้อดินต่ออัตราการลำเลียงน้ำผ่านคลองฯได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นประเด็นสำคัญ กรณีการไม่ดาดคลองด้วยเหตุผลเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นให้สิ่งแวดล้อมจากน้ำในคลองส่งน้ำรั่วซึมระหว่างทางการลำเลียงน้ำนั้น จะเป็นไปได้เล็กน้อยมาก การดาดคอนกรีตคลองส่งน้ำจะเป็นเหตุผลประกอบอื่นมากกว่าป้องกันการสูญเสีย

ระหว่างการลำเลียงน้ำ เช่น ป้องกันการกัดเซาะของกระแสน้ำในคลอง ป้องกันรูปทรงของหน้าตัดคลอง
ส่งน้ำให้เป็นไปตามขนาดและมิติตามที่ผู้ออกแบบได้ออกแบบไว้ รักษาสัมประสิทธิ์ความขรุขระ
(Roughness Coefficient) ให้เป็นไปตามการออกแบบ ป้องกันการเกิดวัชพืชหรือพืชน้ำเจริญเติบโต
ที่ริมตลิ่งคลอง เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

หากมีการพิจารณาไม่ดาดคอนกรีต หรือดาดคอนกรีตเพียงบางส่วน ด้วยเหตุผลเพื่อเอื้อ
อำนวยต่อระบบนิเวศ มีข้อเสนอแนะให้พิจารณาก่อสร้างจุดเปิดปิดจ่ายน้ำไปสู่แหล่งที่ต้องการรักษาระบบ
นิเวศโดยตรง เนื่องจากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ปริมาณน้ำที่จะช่วยเหลือโดยเพิ่มความชุ่มชื้นให้สิ่ง
แวดล้อมด้วยการปล่อยให้รั่วซึมผ่านคลองส่งน้ำระหว่างการลำเลียงน้ำนั้น มีค่าน้อยมาก

เอกสารอ้างอิง

- D. Christodoulou. (2007). The Euler Equations of Compressible Fluid Flow. Bulletin (New Series) of the American Mathematical Society. Volume 44. Number 4. pp. 581–602.
- Manning R. (1891). On the flow of water in open channels and pipes. Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland, 20, 161-207
- U. Ghia, K.N. Ghia, and C.T. Shin. (1982). High-Re solutions for incompressible flow using the Navier-Stokes equations and a multigrid method. Journal of Computational Physics. 48 pp. 387-411.
- USBR. (1978). Design of Small Canal Structure. United State Department of Interior Bureau of Reclamation. Denver. Colorado.
- Yu. M. Kosichenko. (1992). Hydraulic effectiveness and ecological reliability of lined canals. Ecology And Hydraulic Engineering Hydro technical Construction. Volume 26. Issue 12. pp 773-780.