

## การคำนวณการกระจายของการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำ Computation Sediment Distribution in Reservoir Construction

สัจจะ เสถบุตร สุธิดา ที่ปรึกษพันธ์\*

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

63 หมู่ 7 ต.ต.องครักษ์ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

\*Corresponding author: E-mail: suthidat@swu.ac.th

### บทคัดย่อ

การศึกษาการกระจายของการตกตะกอนมีความจำเป็นเพื่อคาดคะเนอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ และเป็นขั้นตอนสำคัญของการศึกษาความเป็นไปได้ในการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ วิธีเอมไพริคัลสามารถใช้หาโค้งปริมาตรเก็บกักระดับ (Storage-Elevation Curve) ของอ่างเก็บน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการตกตะกอนได้ แต่ยังไม่สามารถทำนายการกระจายของการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำได้ บทความนี้จึงนำเสนอวิธีการคำนวณโดยวิธีเอมไพริคัล (Empirical Method) ซึ่งตรงกันข้ามกับวิธีอนาลิติกัล ด้วยโปรแกรมแผ่นตารางทำการ (Spreadsheet) ทั่วไป โดยใช้ข้อมูล แผนที่ชั้นความสูง 1:50,000 ตัวอย่างตะกอน และปริมาณตะกอนต่อปีที่ไหลเข้าอ่าง ซึ่งสามารถทำได้ง่ายและนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการใช้งาน การบำรุงรักษา และการจัดการน้ำเบื้องต้นในอ่างเก็บน้ำ เช่น การทำนายอายุการใช้งานของสถานีสูบน้ำ หรือการเลือกบริเวณที่ควรสร้างสถานีสูบน้ำ การเลือกร่องน้ำลึกเพื่อการคมนาคม, การประเมินอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น

**คำสำคัญ:** การตกตะกอน การกระจายการตกตะกอน การวางแผนจัดการอ่างเก็บน้ำ การศึกษาความเป็นไปได้ การขุดลอกอ่างเก็บน้ำ

### ABSTRACT

The study of sediment distribution in reservoir is an important step for the feasibility study on the construction and estimation the life of the reservoir. Storage-elevation curve of the basin changes due to sedimentation can be estimated using empirical method. Nevertheless, this method cannot be used to predict sediment distribution in reservoir. This paper presents a computation method for predicting sediment distribution in reservoir using empirical method (as oppose to analytical). Input data are 1:50,000 contour map, sediment sample and annual estimation of sediment load. The computation can be done in spreadsheet. This results provide a basic knowledge of reservoir management (planning, using, and maintenance) such as prediction of pumping stations' useful life, selection of navigation channel, and assessment of reservoir life.

**Keyword:** Sedimentation, Sediment Distribution, Reservoir Management, Feasibility Study, Reservoir Dredging

## 1. บทนำ

การศึกษาการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการก่อสร้างและคาดคะเนอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ [1-3] บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการศึกษาต่อยอดการคาดคะเนการกระจายการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำให้ครอบคลุมถึงศักยภาพการใช้งานและเพื่อการกำหนดแนวทางการบำรุงรักษาอ่างเก็บน้ำในระยะยาวได้แก่ การเลือกที่ตั้งสถานีสูบน้ำที่ยั่งยืน การใช้งานอ่างเก็บน้ำเพื่อการคมนาคม สันทนาการ รักษาสภาพแวดล้อม การขุดลอก และอื่นๆ หนึ่งการต่อยอดจากการศึกษาดังกล่าวมาข้างต้น จำเป็นต้องทราบปริมาณตะกอนและจุดที่ตะกอนตกลงบนอ่างเก็บน้ำ จึงเป็นที่มาของการนำเสนอทางเลือกหนึ่งในการคำนวณการกระจายของการตกตะกอนของบทความนี้

กลไกธรรมชาติที่มีผลโดยตรงต่อการตกตะกอนมีหลายกลไก เช่น ความเร็วการไหลของน้ำในอ่าง ความเร็วในการตกตะกอน ขนาดและน้ำหนักของเม็ดตะกอน ฯลฯ [4-6] ในปัจจุบันมีเครื่องมือในการช่วยการคำนวณหาค่าดังกล่าวนี้ เช่น โปรแกรม CFD (Computational Fluid Dynamics) หรือ การแก้สมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stoke Equations) ฯลฯ [7-8] ที่สามารถทำนายแนวโน้มการสะสมตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำได้แม่นยำ แม้ว่าเครื่องมือเหล่านี้จะมีความสะดวก ถูกต้องและแม่นยำสูง ตามหลักวิธีวิเคราะห์ (Analytical Methods) แต่ยังมีข้อจำกัดคือ หากจะตั้งคำถามถึงกลไกธรรมชาติของการตกตะกอนในอ่างทั้งหมด จะทำให้ในการคำนวณค่ามียุ่งยากซับซ้อนในการนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการคำนวณด้วยเครื่องมือดังกล่าว และแม้ว่าจะผนวกเข้าได้ก็ยังไม่สามารถแก้สมการได้ ตัวอย่างของความยุ่งยากซับซ้อน อาทิเช่น วิธี Analytical Methods ต้องการให้ระบุเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ที่ไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา แต่ในกรณีของตะกอนในอ่างเก็บน้ำ การตกตะกอนทำให้ Boundary Conditions เปลี่ยนแปลงกับเวลาตลอดเวลา และไม่สามารถกำหนดได้ล่วงหน้า (Loose Boundary Hydraulics) และยังมีความยุ่งยากอื่น ๆ เช่น การเกิดกระแสคลื่นที่เกิดจากน้ำในแหล่งน้ำ (Density Currents),

กระแสความขุ่น (Turbidity Currents), การที่เม็ดตะกอนและน้ำปฏิบัติตัวต่างกันมาก เมื่อไหลไปด้วยกันในอ่างเก็บน้ำ (Multiphase Flow) และปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในสาระของชลธีวิทยา (Limnology) จากการรวบรวมข้อมูลพบว่า ปัจจุบันความสามารถของ Analytical Methods อยู่ในขั้นกำลังพัฒนา และแม้ว่าสามารถใช้งานได้แล้วบางส่วน แต่ยังมีอุปสรรคเกี่ยวกับการเก็บรวบรวมข้อมูลอีก แต่เนื่องจากมีความจำเป็นต้องนำข้อมูลการสะสมตัวของตะกอนในอ่างเก็บน้ำไปใช้ประโยชน์ จึงทำให้ต้องใช้วิธีอื่นแทน

วิธี Empirical Method ตั้งอยู่บนสมมุติฐานว่า การตกตะกอน ทำให้พื้นที่ในแนวระดับของอ่างเก็บน้ำเปลี่ยนแปลงขึ้นกับเวลา ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตามประเภทของอ่างเก็บน้ำและความลึก โดยสามารถจำแนกประเภทอ่างเป็น 4 ประเภทตามความลาดชันของพื้นที่อ่างเก็บน้ำ คือ 1. อ่างเก็บน้ำในหุบเขา 2. อ่างเก็บน้ำในพื้นที่ภูเขา 3. อ่างเก็บน้ำดินเขาหรือพื้นที่ค่อนข้างเรียบ และ 4. ทะเลสาบ ซึ่งอ่างเก็บน้ำแต่ละประเภท มีค่าเฉพาะต่าง ๆ กัน ค่าดังกล่าวนี้ได้มาจากการทำ Curve Fitting ข้อมูลในสนาม กับสมการ Empirical รูปแบบหนึ่งที่ประกอบด้วยค่าเฉพาะดังที่กล่าวมา เมื่อนำมาผนวกกับข้อมูล Storage-Elevation Curve ของอ่างเก็บน้ำที่ศึกษา (เช่นที่ได้จากแผนที่ชั้นความสูง) และค่าคาดคะเนของปริมาณตะกอนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น 50 ปี ก็จะทำให้คำนวณ Storage-Elevation Curve ที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการตกตะกอนได้ [9] โปรแกรมเหล่านี้มีความซับซ้อนและยุ่งยากในการใช้งานค่อนข้างมาก ซึ่งหากผู้ใช้งานไม่ได้มีความรู้ความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับโปรแกรมเหล่านั้นอย่างลึกซึ้ง อาจทำให้เกิดความสับสนในการใช้งานได้ นอกจากนี้ในปัจจุบันวิธีดังกล่าวยังไม่สามารถทำนายการกระจายการตกตะกอน ที่จุดต่างๆ ของพื้นที่กั้นอ่างได้ ดังนั้นการใช้วิธี เอมไพริคัล (Empirical Method) ที่อาจถูกต้องในหลักการน้อยกว่า แต่สามารถหาข้อมูลป้อนได้ง่ายกว่าเพื่อนำไปใช้งานเบื้องต้นได้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง บทความนี้ได้นำเสนอทางเลือกที่ทำให้คาดคะเนได้ทั้ง Storage-Elevation Curve ที่เปลี่ยนไป รวมถึงการกระจายการตกตะกอน ที่จุดต่างๆ ของพื้นที่กั้นอ่างด้วย

## 2. ทฤษฎี

วิธีการคำนวณการกระจายการตกตะกอนอาศัยขอบเขตและสมมติฐาน 4 ส่วนคือ 1) คุณสมบัติของอ่าง (อุปทาน) 2) ขนาดตะกอน (อุปสงค์) 3) เกณฑ์การตกตะกอน (การพบกันของอุปทานและอุปสงค์) 4) การสะสมของตะกอน (ผลของการพบกันของอุปสงค์และอุปทาน) สามารถอธิบายได้ดังนี้

### 2.1 คุณสมบัติของอ่างเก็บน้ำ (อุปทาน)

การคำนวณตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า ทุกพื้นที่เล็กๆ บนพิภด  $x, y$  บริเวณก้นอ่างเก็บน้ำ หรือ ( $A$ ) จะมีคุณสมบัติต่างกัน โดยพื้นที่ดังกล่าวจะยินยอมให้เกิดการตกตะกอนบนพื้นที่นั้นสำหรับตะกอนบางขนาดเท่านั้น คุณสมบัตินี้เรียกว่า "Sediment Acceptance" ใช้สัญลักษณ์  $S$  ที่มีค่าขึ้นอยู่กับความลึก ( $z$ ) และระยะทางจากปากแม่น้ำ ( $L$ ) ในที่นี้ถือว่าปากแม่น้ำ เป็นจุดเข้าของตะกอน ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$S = kL + z \quad (1)$$

เมื่อ  $k$  เป็นตัวแทนความสำคัญเปรียบเทียบ ระหว่างความลึก ( $z$ ) และระยะทางจากปากแม่น้ำ ( $L$ ) ค่า  $k$  ไม่มีหน่วย มีค่าเป็นบวกเสมอ ในบทความนี้กำหนดอยู่ในช่วง  $0 < k < 1$  จากแผนที่ชั้นความสูง ของพื้นที่บริเวณอ่างจะสามารถหา  $A, L$  และ  $z$  ของทุกๆ พื้นที่ได้ หรือกล่าวได้ว่า  $A, L$  และ  $z$  แต่ละตัว เป็นฟังก์ชันของ  $x, y$  ที่สามารถหาได้จากแผนที่ชั้นความสูงในกรณีที่มีแม่น้ำหลายสายไหลลงอ่างเก็บน้ำ ที่พิภด  $x, y$  หนึ่งๆ สามารถคำนวณหาระยะทางจากปากแม่น้ำ ( $L$ ) เฉลี่ย ได้จากสมการที่ (2) โดยอาศัยหลักการที่ว่า "พิภดที่อยู่ไกลจากทางเข้าปากแม่น้ำมาก ๆ จะมีค่าระยะทางของการตกตะกอนมากกว่าจุดที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำ"

$$L = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_n} + \dots \quad (2)$$

เมื่อ  $n$  เป็นจำนวนสายของแม่น้ำ

### 2.2 คุณสมบัติของตะกอน (อุปสงค์)

สำหรับตะกอนที่ไหลมากับน้ำ ในความเป็นจริงตะกอนเหล่านี้ ประกอบด้วยเม็ดตะกอนขนาดต่างๆ ซึ่งสามารถหาได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอน ที่เรียกว่า "Sieve Analysis" และแสดงได้ด้วยด้วยตารางหรือกราฟ โดยแกนตั้งคือ % Finer ที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดตะกอน ( $D$ ) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm) สามารถเรียกกราฟนี้ว่าฟังก์ชัน  $F(D)$  ถ้ากำหนดว่า ( $\gamma$ ) Specific Weight ของตะกอน ไม่ว่าจะขนาดเท่าใดมีค่าเดียวกัน คือ  $\gamma$  และ ( $X$ ) ปริมาณตะกอนเข้าอ่างต่อปี ( $V_{annual}$ , หน่วย  $m^3/year$ ) สามารถหาได้ และไม่จำเป็นต้องเท่ากันทุกปี เราจะสามารถหาปริมาตรสัมพัทธ์ (Relative Volume,  $V_r$ ) ของตะกอนแต่ละขนาดได้จากสมการที่ (3)

$$V_r = \left(\frac{1}{\gamma}\right) \cdot \left[\frac{dF_c(D)}{dD}\right] \quad (3)$$

ในสมการนี้ เทอมในวงเล็บคือการ Differentiation ของฟังก์ชัน  $F_c(D)$  ซึ่งก็คือฟังก์ชัน  $F(D)$  ที่หักส่วนตะกอนละเอียด ที่ไหลออกจากอ่างผ่านทางน้ำล้น และคาดคะเนได้จาก Trap Efficiency ( $\eta$ ) ของอ่างเก็บน้ำ ดังนั้น ปริมาตรจริง (Actual Volume,  $V_a$ ) ของตะกอนแต่ละขนาดสามารถหาได้จากสมการที่ (4) เมื่อ  $\sum V_r$  คือผลรวมของ  $V_r$  ของตะกอนทุกขนาด

$$V_a = \left(\sum V_r\right) \cdot V_{annual} \quad (4)$$

### 2.3 เกณฑ์การตกตะกอน

การตกตะกอนจะเกิดได้ก็ต่อเมื่อ ตะกอนหยาบ (ส่วนที่ไม่สามารถไหลออกจากอ่างผ่านทางน้ำล้น และเป็นตะกอนทั้งหมด ที่ตกลงในอ่าง) เดินทางมาถึงพื้นที่เล็กๆ ที่ค่า  $S$  ในสมการ (1) เอื้ออำนวยให้ตะกอนเฉพาะขนาด ตกกลงบนพื้นที่ บทความนี้จะจึง เสนอเกณฑ์ที่จะทำให้เกิดการตกตะกอนตามที่กล่าวมา ดังนี้ "ตะกอนขนาดเล็กสุด (ใหญ่สุด) จะตกลงบนพื้นที่ ที่มีค่า Sediment Acceptance,  $S$  มากที่สุด (น้อยที่สุด) ส่วน

ตะกอนขนาดอื่นๆ จะตกลงในลักษณะที่  $S$  และ  $D$  มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงต่อกัน” ที่เขียนในสมการที่ (5)

$$D = aS + b \quad (5)$$

โดยที่ ค่า  $a$  และ  $b$  หาได้จาก  $D$  และ  $S$  ที่รู้ก่อนหน้า เถนที่ที่กล่าวมานี้ อนุมานจากข้อเท็จจริงที่พบว่า ตะกอนขนาดใหญ่ พบมากในพื้นที่ใกล้ปากแม่น้ำและตื้น ในขณะที่ตะกอนขนาดเล็กพบมากในพื้นที่ห่างไกลจากปากแม่น้ำและลึก

#### 2.4 การสะสมของตะกอน

ขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้สามารถหาความหนา ( $T$ ) ของตะกอนที่ตกสะสมลงบนพื้นที่ได้ และระดับความลึกที่เปลี่ยนไปในหนึ่งปี ( $z_1$ ) ดังสมการที่ (6)

$$T = \frac{V_a}{A} \quad (6)$$

$$z_1 = z - T \quad (7)$$

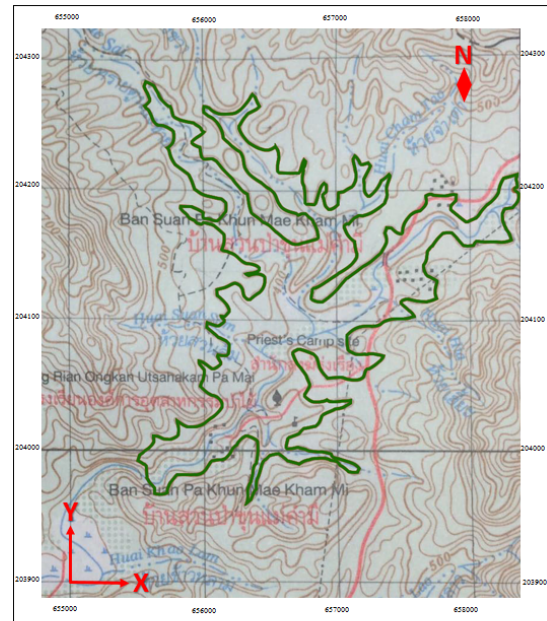
ที่กล่าวมาทั้งหมด คือขั้นตอนการคำนวณสำหรับการตกตะกอนในระยะเวลา 1 ปี สำหรับในปีต่อไป ทำได้ในลักษณะเดียวกัน โดยการคำนวณเป็นรายปี

### 3. ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลพื้นที่ที่ใช้ศึกษา คือพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำแม่คำมี ตั้งอยู่ที่หมู่ 4 บ้านห้วยโรงใน ตำบลห้วยโรง อำเภอร่องขวาง จังหวัดแพร่ มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 61.71 ตารางกิโลเมตร มีลักษณะภูมิประเทศของช่องเขาแคบสามารถกักเก็บน้ำได้มากและมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 19.64 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โครงการอ่างเก็บน้ำแม่คำมี ได้มีการศึกษาความเหมาะสมเป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยกรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ แต่การศึกษาไม่ได้ครอบคลุมถึงการคำนวณการกระจายการตกตะกอน ที่ได้นำเสนอในบทความนี้

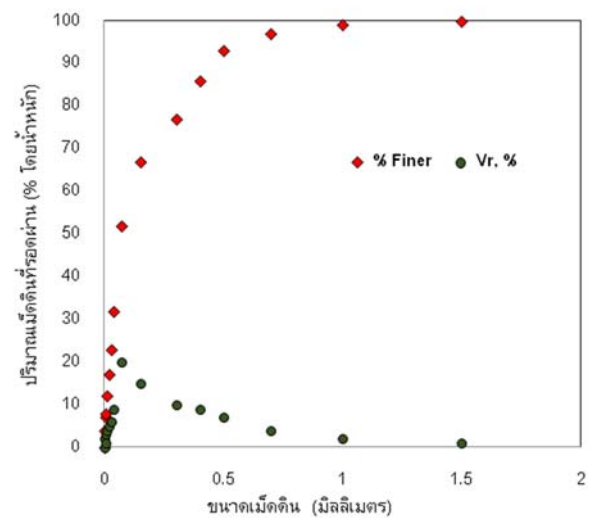
ขนาดของเม็ดตะกอนสามารถหาได้จาก โดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่ จนถึงขนาดเล็ก (Sieve

Analysis) รูปที่ 2 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดตะกอนและปริมาตรของเม็ดตะกอนบริเวณกันอ่างเก็บน้ำแม่คำมี พบว่าเม็ดตะกอนมีขนาดคละกันดี (Well Graded Soil) และปริมาตรของเม็ดตะกอนมีการกระจายตัวกันอยู่ในช่วง 0.07-0.30 มิลลิเมตร สังเกตได้ว่า เมื่อตะกอนมีขนาดใหญ่มากขึ้นเรื่อยๆ การกระจายตัวก็จะลดน้อยลง



ขอบเขตพื้นที่อ่างเก็บน้ำ

รูปที่ 1 แผนที่โครงการอ่างเก็บน้ำแม่คำมี



รูปที่ 2 การกระจายขนาดของเม็ดตะกอน ( $D$ ) และ ปริมาตรของตะกอน ( $V_r$ ) จากพื้นที่ศึกษา

#### 4. การคาดคะเนการตกตะกอน

จากแผนที่ทางภูมิศาสตร์ของอ่างเก็บน้ำมาตราส่วน 1:50,000 ค่าพิกัดสูงต่ำและพื้นที่ของอ่างเก็บน้ำสามารถหาได้ด้วยการตีเส้นตาราง (Grid line) ขนาดพื้นที่ 52,148 ตารางเมตรต่อช่อง เพื่อกำหนดจุดพิกัด  $(x, y, z)$  ค่า  $x$  เทียบจากเส้นละติจูดที่ 2043 และค่า  $x$  เทียบจากเส้นลองจิจูดที่ 655 และค่า  $Z$  คือค่าความลึกของแต่ละจุด

ระยะทางการตกตะกอน (L) ของทุกจุด  $(x, y, z)$  หาได้จากการวัดระยะทางจากทุกทางเข้าของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมายังพิกัด  $(x, y, z)$  ทุก ๆ จุดบนพื้นที่อ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะได้ค่า  $L_1, L_2,$  ถึง  $L_n$  แล้วจึงนำมาหาระยะทางทางการตกตะกอน (L) ของแต่ละจุด ตัวอย่างการคำนวณการตกตะกอนด้วยโปรแกรมแผ่นตารางทำการ (Spreadsheet) ทั่วไป แสดงในรูปที่ 3 ทำให้ทราบว่าจุดที่ลึกที่สุดและจุดมีการตกตะกอนน้อยที่สุดในพื้นที่ศึกษา ตัวอย่างการคำนวณแสดงในตารางที่ 1

สังเกตได้ว่าระดับความลึกของแต่ละสถานีสูบน้ำสามารถเปลี่ยนแปลงไปหลังการก่อสร้าง จากการวิเคราะห์การสะสมตัวของเม็ดตะกอนเมื่อมีอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำเป็นเวลา 100 ปี (รูปที่ 4) พบว่าจุดตั้งสถานีสูบน้ำจุดที่ 2 มีความเหมาะสมสำหรับสร้างสถานีสูบน้ำมากที่สุด เนื่องจากมีระดับความลึกของอ่างเก็บน้ำมากที่สุด และมีการสะสมตัวของตะกอนน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจุดตั้งสถานีสูบน้ำอื่นๆ

ในด้านการเดินเรือ ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของแผนที่แสดงร่องน้ำลึกในบริเวณอ่างเก็บน้ำ และเสนอเส้นทางที่สามารถใช้เป็นเส้นทางเดินเรือจำนวน 4 เส้นทาง ดังแสดงรูปที่ 5

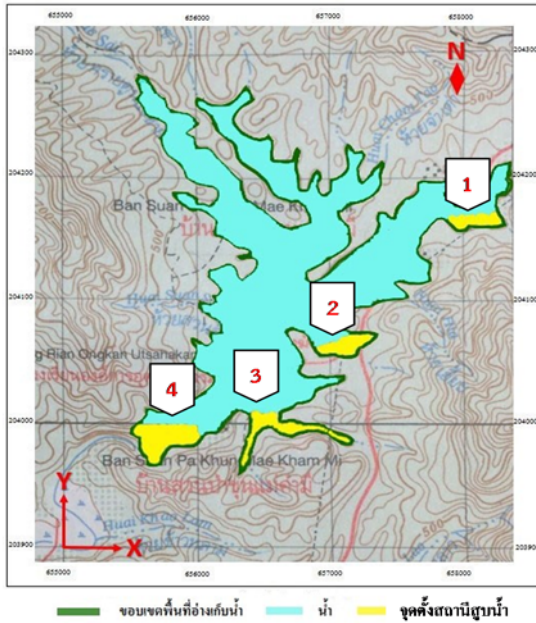
การประเมินความลึกของร่องน้ำสามารถแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของร่องน้ำลึกเปรียบเทียบกับอ่างเก็บน้ำปีที่ 1 เมื่อเวลาผ่านไปอีก 100 ปี ให้แกน X คือระยะทางตามร่องน้ำลึก ในรูปก่อนหน้า

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับความลึกในอ่างเก็บน้ำเมื่อเวลาผ่านไป

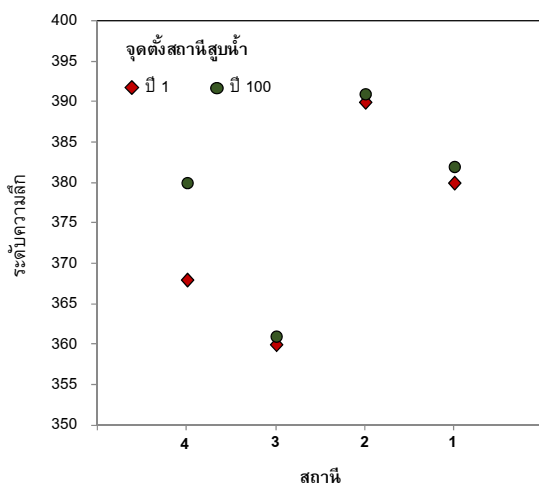
ข้อมูลกายภาพของอ่าง					คำนวณความลึกที่ลดลงเนื่องจากการตกตะกอน					
					ปีที่ 1					
นำไปสู่การวิเคราะห์ Demand					Demand	Supply	Demand = Supply			
x, m	y, m	A, m <sup>2</sup>	L, m	z, m	S = kL+Z, m	D, mm	Vr (%)	Va, m <sup>3</sup>	T, m	Z1, m
4	4	250,000	1,200	9.86	1,210	0.0020	2.0	4,667	0.019	9.85
0	0	250,000	1,100	9.20	1,109	0.1514	15.0	35,000	0.14	9.06
1	1	250,000	900	7.34	907	0.4510	9.0	21,000	0.084	7.25
9	9	250,000	888	7.04	895	0.4692	9.0	21,000	0.084	6.95
3	3	250,000	872	7.00	879	0.4926	9.0	21,000	0.084	6.91
6	6	250,000	678	6.87	685	0.7611	4.0	9,333	0.037	6.83
7	7	250,000	547	5.48	552	0.9776	4.0	9,333	0.037	5.44
2	2	250,000	499	4.28	503	1.0506	2.0	4,667	0.019	4.27
3.1	4	250,000	400	3.10	403	1.1993	2.0	4,667	0.019	3.08
4	7.6	250,000	321	2.20	323	1.3179	2.0	4,667	0.019	2.18
2.4	8	250,000	234	1.40	235	1.4482	2.0	4,667	0.019	1.38
5	5	250,000	210	1.40	212	1.4836	2.0	4,667	0.019	1.38
8	8	250,000	200	0.50	201	1.6000	1.0	2,333	0.099	0.49

ASSUME k = 1

จากทางน้ำล้น (ปลายด้านซ้ายมือ) ไปทางต้นน้ำ (ปลายด้านขวามือ) และแกน Y คือ ระดับความลึกของร่องน้ำ พบว่าแนวโน้มของการสะสมตัวของตะกอนจะมีค่อนข้างน้อย ทำให้ยังสามารถเดินเรือได้ทั้ง 2 เส้นทาง เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการใช้เส้นทางนี้สำหรับการขนส่งสินค้าทางเรือ



รูปที่ 3 จุดตั้งสถานีสูบน้ำในอ่างเก็บน้ำแม่คำมี



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงระดับความลึกของอ่างเก็บน้ำบริเวณสถานีสูบน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 100 ปี

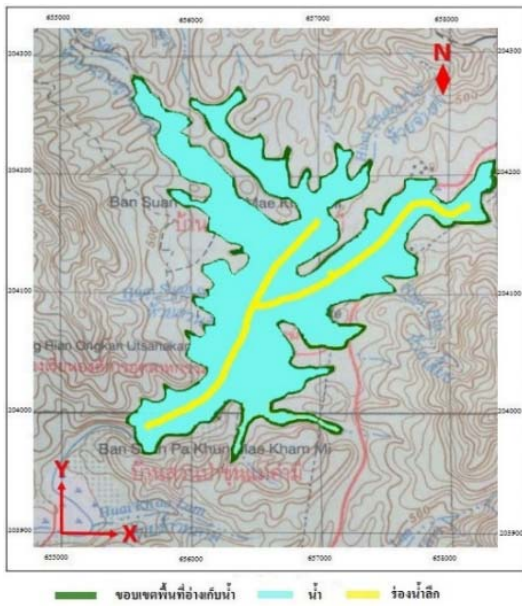
การคำนวณด้วยวิธีที่นำเสนอยังมีข้อจำกัดบางประการ ซึ่งผลที่ได้จากวิธีการคำนวณ ยังไม่ได้มีการตรวจสอบกับข้อมูลจริง เพื่อเปรียบเทียบค่า อาทิเช่น ค่าสัมประสิทธิ์  $k$  รูปแบบของฟังก์ชัน  $S$  และค่าอื่นๆ การเก็บข้อมูลจริงภาคสนาม ใช้เวลาหลายปี และมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง อาจสามารถทำได้เพียงการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ของค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญเท่านั้น ซึ่งอยู่นอกเหนือการศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้การคำนวณไม่ได้นำผลจากการอัดตัวของตะกอน (Sediment Compaction) และปรากฏการณ์ทาง ชลชีววิทยา (Limnology) ที่มีผลกระทบต่อ การตกตะกอน ได้แก่ ปฏิกริยาทาง ชีวะเคมีที่อาจเกิดขึ้น เช่น ผลของปุ๋ยที่ใช้ในบริเวณอ่างเก็บน้ำและพื้นที่รับน้ำ อย่างไรก็ตาม ผลการตกตะกอน ควรพิจารณาเป็นกรณีต่างๆที่อาจมีผลกระทบต่อ การตกตะกอน เนื่องจากเป็นลักษณะเฉพาะของอ่างเก็บน้ำแต่ละแห่ง

## 5. สรุป

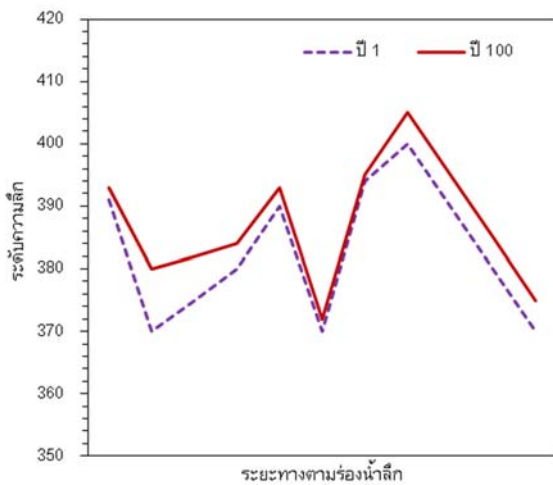
บทความนี้นำเสนอวิธีการคำนวณโดยวิธีเอ็มไพริคัล (Empirical method) ที่อาจถูกต้องในหลักการน้อยกว่า แต่สามารถป้อนข้อมูลได้ง่ายกว่า การคำนวณสามารถทำได้โดยการใช้ข้อมูลปริมาณตะกอนต่อปีที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำ การกระจายของขนาดเม็ดตะกอน ข้อมูลพิกัดและความลึกของจุดพิกัดในอ่างเก็บน้ำ ป้อนลงในโปรแกรมแผ่นตารางทำการ (spreadsheet) ทั่วไป เช่น Microsoft excel เป็นต้น

นอกจากเพื่อคำนวณการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำเบื้องต้นแล้ว ยังสามารถทราบถึงประสิทธิภาพการตกตะกอนของอ่างเก็บน้ำซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจการคำนวณเพื่อทำนายการกระจายการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำเบื้องต้น อีกทั้งยังมีประโยชน์สำหรับเจ้าหน้าที่ในการวางแผนเพื่อขุดลอกตะกอนและการบริหารจัดการน้ำ เช่น การตั้งสถานีสูบน้ำ เส้นทาง การเดินเรือต่อไปในอนาคตได้ อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการซึ่งต้องทำการพัฒนาต่อไปเพื่อการคำนวณการกระจายที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น





รูปที่ 5 แผนที่แสดงเส้นทางการเดินเรือ ร่องน้ำลึกอาจเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเวลาผ่านไปอีก 100



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของร่องน้ำลึก เปรียบเทียบในอ่างเก็บน้ำ เมื่อเวลาผ่านไปอีก 100 ปี

**6. กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณ นางสาวธนัฐชา ประแก้ว และนางสาว นริธา สระศรี นิสิตภาควิชาวิศวกรรมโยธาและ สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ ที่เอื้อเฟื้อเก็บข้อมูลในการทดลอง

**7. เอกสารอ้างอิง**

[1] กลุ่มงานวิจัยและอุทกวิทยาประยุกต์. การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่ลุ่มน้ำ 25 ลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย. ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ. ชลประทาน, 2552.

[2] ศศิเมณฑล ม่วงศรีจันทร์, ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์ ดวงรัตน์ นันทวิสารกุล และโฆษิต ล้อสิริรัตน์. อัตราทับถมของตะกอนในเขื่อนลำพระเพลิงจังหวัดนครราชสีมา. รายงานผลงานวิจัย สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน): 104-111, 2553.

[3] S.A. Brandt, "A review of reservoir desiltation. Int," *J. Sediment Research*, vol. 15, no. 3, pp. 321-342, 2000.

[4] W. M. Borland and C.R. Miller, "Distribution of sediment in large reservoirs," *Journal of the Hydraulics Division*, vol. 84, issue 2, pp. 1-18, 1958.

[5] W. Anderson Herry, "Suspended sediment discharge at related to stream flow topography soil and land use," *Journal of Hydrology*, vol. 35, pp. 268-281, 1980.

[6] G.L. Morris and J. Fan, "Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use," *McGraw-Hill*, New York, 1997.

[7] H.K. Versteeg and W. Malalasekera, "An introduction to computational fluid dynamics, The finite volume method," *Pearson Education Limited*, Edinburgh, 1995.

[8] W. Wu, W. Rodi, and T. Wenka, "3D numerical modelling of flow and sediment transport in open channels," *J. Hydraul. Eng.*, ASCE. 126 (1), pp. 4-15, 2000.

[9] Subramanya K., "Engineering hydrology, 3<sup>rd</sup> edn," *McGraw Hill*, Singapore 6, 2009.