

การศึกษาอาคารสลายพลังงาน อ่างเก็บน้ำประแสร์ โดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ
The Study of Energy Dissipator at Prasae Reservoir by Computational Fluid
Dynamics

สุพัชรพล มงคลนาม^{1*} ยุทธนา ตาละลักขมณ² และ วรางศรีรัตน์ จันทสาโร³

Supatcharapon Mongkolnam^{1*} Yutthana Talaluxmana² and Varangrat Juntasaro³

^{1, 2} ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพฯ

³ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพฯ

E-mail address: ^{1*}suparcharapon.mo@ku.ac.th, ²fengynt@ku.ac.th, ³fengvrj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

อาคารสลายพลังงานของอาคารระบายน้ำล้นเป็นอาคารที่มีความสำคัญอย่างมากในการสลายพลังงานของน้ำที่ล้นผ่านอาคารระบายน้ำล้นก่อนที่จะระบายออกสู่ทางน้ำธรรมชาติ เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการกัดเซาะในช่องทางน้ำท้ายอ่างเก็บน้ำ หากอาคารสลายพลังงานไม่สามารถทำงานได้อย่างเหมาะสม น้ำที่ระบายผ่านอาคารระบายน้ำล้นจะยังมีพลังงานสูง ก่อให้เกิดการกัดเซาะท้ายอาคารระบายน้ำ เกิดความเสียหายต่อตัวอาคารและอาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของเขื่อนด้วย ในงานศึกษานี้ ได้ใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการจำลองการไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นของอ่างเก็บน้ำประแสร์ก่อนมีการปรับปรุง เพื่อศึกษาลักษณะการสลายพลังงานของอ่างสลายพลังงานแบบน้ำนิ่ง โดยทำการศึกษา 2 กรณี ที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเท่ากับ +36.570 ม.รทก. และ +35.785 ม.รทก. โดยมีอัตราการระบายน้ำที่ 100% และ 32.5% ของอัตราการไหลที่ระดับน้ำสูงสุดตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า เกิด Hydraulic jump ในอ่างสลายพลังงานแบบ Submerged jump ทั้งสองกรณี ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ตามทฤษฎี พลังงานของน้ำถูกสลายไปมีค่าเท่ากับ 72.96% และ 83.30% ตามลำดับ ผลการศึกษานี้จะถูกนำไปปรับเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการสลายพลังงานของอาคารสลายพลังงานของอ่างเก็บน้ำประแสร์ เมื่อมีการปรับปรุงอาคารระบายน้ำล้นในโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำประแสร์ ซึ่งมีการเพิ่มระดับสันอาคารระบายน้ำล้นขึ้น 1.00 เมตร ด้วยบานระบายน้ำแบบพับได้ และเพิ่มระดับพื้นของอาคารท้ายฝายขึ้นอีก 0.75 เมตร ต่อไป

คำสำคัญ: อาคารสลายพลังงาน, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, อาคารระบายน้ำล้น

Abstract

Energy dissipator of spillway is an importance structure. To prevent downstream scouring, the energy of water that flow through spillway was dissipated before release to the natural channel. If the energy dissipator does not work suitably, the water with high energy damages the downstream channel of spillway. This may effect to the dam safety too. In this study, computational fluid dynamics model was applied to model the water flow through the spillway of Prasae reservoir and examine energy dissipation before the project was improved. The energy dissipator of Prasae spillway is the stilling basin. The study was conducted in 2 cases. There were 100% and 32.5% of maximum

discharge at maximum water level, the reservoir water level were at +36.570 m. msl and +35.785 m. msl., respectively. The result showed that the hydraulic jump occurred in the stilling basin. The jump type were submergence in both cases, compatible with theoretical analysis. The percent of dissipated energy were 72.96% and 83.30% respectively. This study will be used for energy dissipation efficiency evaluation of Prasae stilling basin after the project improvement. The Prasae spillway was improved by increase 1 meter spillway crest level with flapped gates for storage efficiency. The downstream apron is was raised up 0.75 meters.

Keywords: Energy Dissipator, Computational Fluid Dynamics, Spillway

1. บทนำ

อาคารสลายพลังงาน เป็นอาคารชลศาสตร์ที่ได้รับการออกแบบขึ้นเพื่อสลายพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) จากการไหลของน้ำด้วยความเร็วสูง ให้ความเร็วของการไหลนั้นช้าลงหรือให้พลังงานเนื่องจากความเร็วลดลง ในอาคารทางระบายน้ำล้นซึ่งเป็นอาคารชลศาสตร์ที่มีหน้าที่ในการระบายน้ำในอ่างเก็บน้ำเมื่อระดับน้ำเริ่มสูงกว่าระดับเก็บกักในฤดูน้ำหลาก น้ำส่วนเกินจะถูกระบายทิ้งลงลำน้ำเดิมด้านท้ายเขื่อน เพื่อป้องกันอันตรายจากสาเหตุน้ำไหลข้ามสันเขื่อน อันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เขื่อนพังทลาย น้ำส่วนเกินที่ระบายนี้มีพลังงานการไหลสูง ถ้าไม่ได้มีการออกแบบอาคารสลายพลังงานที่เหมาะสม จะส่งผลให้เกิดการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ[3]

อ่างน้ำนิ่ง (Stilling Basin) เป็นอาคารสลายพลังงานที่อาศัยการไหลแบบปั่นป่วนของน้ำที่เรียกว่า Hydraulic Jump เป็นตัวสลายพลังงานส่วนเกิน โดยกำหนดให้ hydraulic jump เกิดขึ้นภายในอาคารที่มีโครงสร้างแข็งแรง เรียก อ่างน้ำนิ่ง พลังงานจะถูกสลายไปจากการไหลอลวน หรือความปั่นป่วนของกระแสในบริเวณอ่าง ความเร็วของน้ำจะลดลงจากการไหลแบบเหนือวิกฤตเป็นการไหลแบบใต้วิกฤตและถูกปล่อยออกสู่ลำน้ำทางด้านท้ายของอ่าง[4]

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) คือเทคนิคที่นำเอาคอมพิวเตอร์มาใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของการไหล การถ่ายเทความร้อน และปรากฏการณ์อื่นๆ ของของไหล โดยผลลัพธ์มีความใกล้เคียงกับธรรมชาติ โดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับการไหล จะใช้แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence model) มาช่วยในการคำนวณ โดยรูปแบบที่ได้รับความนิยมกันมากก็คือแบบจำลองของ Launder and Spalding [9] ที่เรียกว่า Standard k - ϵ model ในปี 2001 Bruce และคณะ[6], ในปี 2003 David และคณะ[7] และในปี 2005 Kim และคณะ [8] ได้นำโปรแกรมจำลองการไหล 3 มิติ (3D) ด้วยแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด standard k - ϵ วิเคราะห์การไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นชนิด ogee โดยผลการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางกายภาพกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ มีความใกล้เคียงกันอย่างมาก ต่อมา ในปี 2014 Abolfazl และคณะ[5] ได้ทำการตรวจสอบ Hydraulic jump บริเวณอ่างน้ำนิ่ง พบว่า วิธี CFD โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วน Standard k - ϵ สามารถใช้วิเคราะห์อาคารสลายพลังงานได้

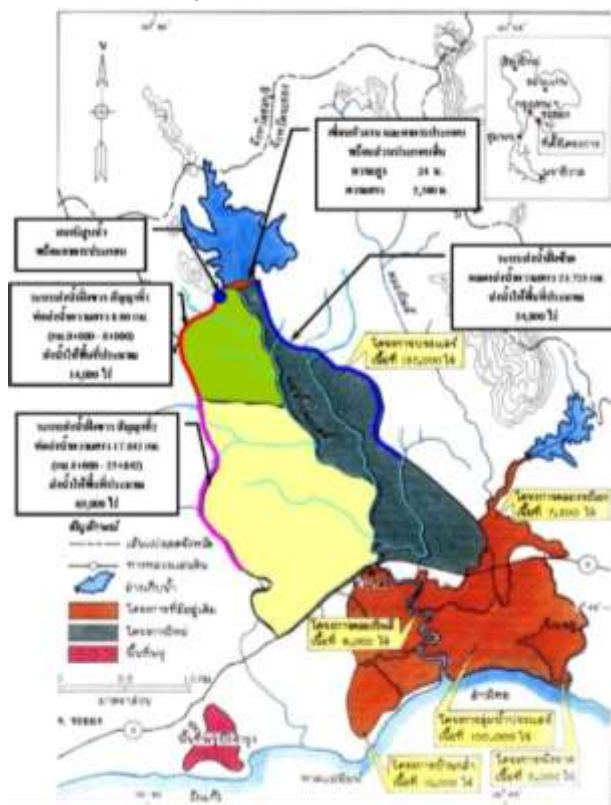
ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วน Standard k - ϵ ในการจำลองการไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นของโครงการอ่างเก็บน้ำประแสร์ จังหวัดระยอง เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการไหลและประสิทธิภาพการสลายพลังงานของอาคารสลายพลังงาน ก่อนที่

จะมีการปรับปรุงโครงการตามโครงการเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำประแสร์ ซึ่งผลการศึกษาจะถูกนำไปประยุกต์ใช้หลังมีการปรับปรุงโครงการต่อไป

2. พื้นที่ศึกษา

2.1 ข้อมูลทั่วไปและที่ตั้งโครงการ

โครงการอ่างเก็บน้ำประแสร์ ตั้งอยู่ในตำบลชุมแสง อำเภอวังจันทร์ จ.ระยอง เป็นโครงการประเภทเขื่อนกักเก็บน้ำพร้อมระบบส่งน้ำ ตัวเขื่อนเป็นเขื่อนดิน ความจุอ่างเก็บน้ำ 248 ล้านลูกบาศก์เมตร ระดับสันเขื่อน +39.00 เมตร (ร.ท.ก.) โครงการส่งน้ำเข้าคลองส่งน้ำฝั่งซ้ายไปยังพื้นที่เพาะปลูกโดยอาศัยระบบแรงโน้มถ่วง (Gravity) มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 54,000 ไร่ ความยาวคลองส่งน้ำทั้งสิ้น 23.723 กิโลเมตร และส่งน้ำด้วยระบบท่อส่งน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.40-1.60 เมตรไปยังพื้นที่ฝั่งขวาของแม่น้ำประแสร์นซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 83,000 ไร่ ความยาวท่อส่งน้ำทั้งสิ้น 25.824 กิโลเมตร รวมพื้นที่เพาะปลูกทั้งโครงการ 137,000 ไร่ แผนที่โครงการแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ที่ตั้งโครงการอ่างเก็บน้ำประแสร์ จังหวัดระยอง

2.2 อาคารระบายน้ำล้น

อาคารระบายน้ำล้นของโครงการอ่างเก็บน้ำประแสร์ ตั้งอยู่บริเวณ Abutment ฝั่งขวาของเขื่อนหลัก มีลักษณะเป็นฝายสันโค้งแบบ Side Channel ไม่มีประตูบังคับน้ำ (Uncontrolled Overflow Ogee Weir) ออกแบบในรอบปีการเกิดซ้ำ ที่ 500 ปี ระดับน้ำสูงสุดที่ +36.57 เมตร (ร.ท.ก.) สามารถระบายน้ำได้สูงสุด 296 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มี

ความยาวสันฝาย 72.35 เมตร ซึ่งตัวอาคารระบายน้ำล้นมีความยาวไปจนถึงแม่น้ำประแสร์ประมาณ 1 กิโลเมตร [2] อาคารระบายน้ำล้นของโครงการอ่างเก็บน้ำประแสร์ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ที่ตั้งอาคารระบายน้ำล้น อ่างเก็บน้ำประแสร์ จังหวัดระยอง

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) เป็นการใช้คอมพิวเตอร์ และ เทคนิคเชิงตัวเลข (Numerical Techniques) ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการไหล (Fluid) การใช้ CFD วิเคราะห์ปัญหาของของไหลทำให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมของการไหลได้เป็นอย่างดี เทคนิคเชิงตัวเลขที่ถูกนำมาใช้ใน CFD ประกอบด้วย วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) วิธีผลต่างสลับเนื่อง (Finite Difference Method) หรือ วิธีปริมาตรจำกัด (Finite Volume Method)

สมการการไหลของของไหลที่ถูกนำมาใช้ในพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ประกอบด้วย สมการอนุรักษ์มวล (Mass Conservation Equation) สมการโมเมนตัม (Momentum Equation) และสมการพลังงาน (Energy Equation) สมการทั้งหมดจะอยู่ในรูปแบบของสมการอนุรักษ์ของการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flows) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flows) สมการแต่ละสมการจะถูกตัดแปลงให้เป็นรูปแบบสมการอินทิเกรต เพื่อนำไปสร้างเป็นสมการไม่ต่อเนื่อง (Discretized Equation) และนำไปทำการหาผลเฉลยของปัญหาการไหลต่อไป [1]

3.1 สมการควบคุมพื้นฐานสำหรับการไหล (Governing Equation of Fluid Dynamic)

3.1.1 สมการอนุรักษ์มวลหรือสมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) ดังสมการที่ 1

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

3.1.2 สมการโมเมนตัม (Momentum Equation) ดังสมการที่ 2

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

โดย ρ คือความหนาแน่น, \mathbf{u} คือความเร็วของของไหล, p คือค่าความดัน และ μ คือค่าความหนืดสัมบูรณ์

3.2 แบบจำลองความปั่นป่วน(Turbulence model)

แบบจำลองความปั่นป่วน (Turbulence model) เป็นแบบจำลองที่ช่วยในการคำนวณสมการความต่อเนื่องและสมการ Reynolds-averaged Navier-Stokes equation (RANS) ในการไหลแบบปั่นป่วน โดยจะใช้ในการหาค่า Reynolds stress ซึ่งในการคำนวณนั้นไม่จำเป็นต้องหาค่า Fluctuation แต่จะสนใจเพียงค่าเฉลี่ยของการไหลเท่านั้น โดยแบบจำลองความปั่นป่วนที่ได้นั้นต้องสามารถคำนวณพฤติกรรมการไหลในลักษณะต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ แบบจำลองความปั่นป่วนที่ใช้กันอยู่ในการจำลองการไหลแบบปั่นป่วนมีอยู่หลายแบบด้วยกัน แต่รูปแบบที่ได้รับความนิยมกันมากที่สุดคือแบบจำลองของ Launder and Spalding [9] ที่เรียกว่า Standard k - ϵ model ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด Standard k - ϵ เนื่องจากเป็นแบบจำลองความปั่นป่วนที่ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับความเป็นจริงโดยสมการแบบจำลองความปั่นป่วนชนิด Standard k - ϵ ดังสมการที่ 3

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k - \rho \epsilon \quad (3)$$

โดยที่ค่า k คือ พลังงานจลน์ของความปั่นป่วน, ϵ คือ อัตราการลดลงของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน G_k คือ ค่าพจน์การผลิตของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน

สมการอัตราการแพร่ของพลังงานจลน์ของความปั่นป่วน (dissipation rate equation) Standard k - ϵ model ดังสมการที่ 4

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + c_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} G_k - c_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

ค่าคงที่ต่างๆ ภายในสมการมีดังนี้ $c_\mu = 0.09, c_{\epsilon 1} = 1.44, c_{\epsilon 2} = 1.92, \sigma_k = 1.0$ และ $\sigma_\epsilon = 1.3$

3.3 แบบจำลองอัตราส่วนปริมาตร

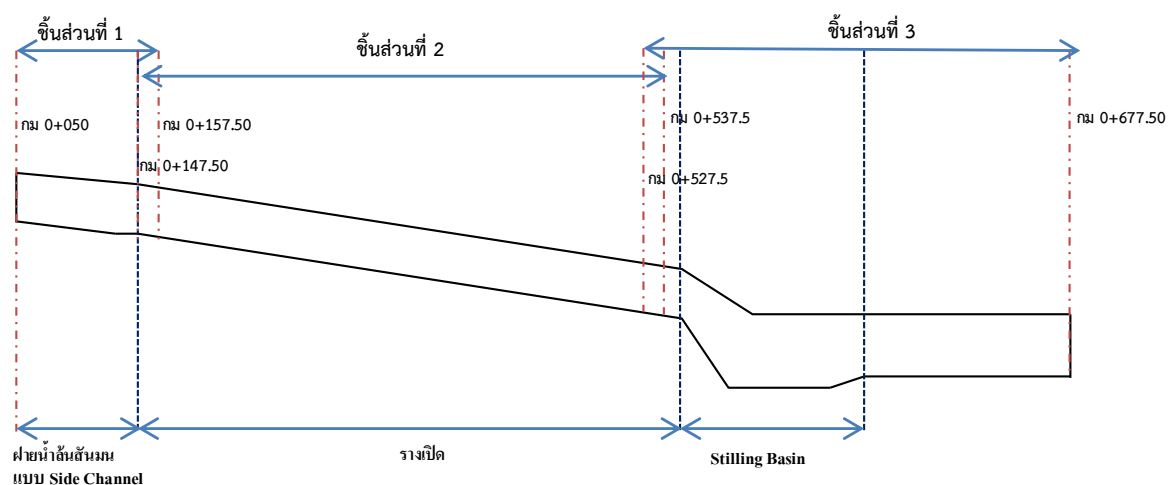
แบบจำลองอัตราส่วนปริมาตร (Volume of Fluid ,VOF) สามารถจำลองการไหลของของไหลสองชนิดหรือมากกว่า โดยการแก้ปัญหาเซตเดียวของสมการโมเมนตัม และแบ่งสัดส่วนปริมาตรของไหลแต่ละชนิดผ่านโดเมนการคำนวณ รูปแบบของแบบจำลอง VOF จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ที่ว่า ของไหลสองชนิดหรือมากกว่านั้นจะแยกกันอย่างชัดเจน ในแต่ละปริมาตรควบคุม สัดส่วนปริมาตรของทุกสถานะ (Phases) จะรวมกันเป็นหนึ่งเดียว สำหรับทุกตัวแปรและคุณสมบัติจะถูกแยกโดยสถานะและค่าเฉลี่ยโดยปริมาตร (Volume-Average) ดังนั้น ตัวแปรและคุณสมบัติในแต่ละเซลล์จะบ่งบอกถึงความบริสุทธิ์ของหนึ่งเฟส หรือบ่งบอกว่ามีการผสมกันระหว่างเฟส ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนปริมาตรโดยมีตัวแปรดังนี้ ถ้า q^h สัดส่วนปริมาตรของไหลในเซลล์ถูกกำหนดเป็น α_q แล้วจะสามารถเป็นไปได้สามสถานะคือ $\alpha_q = 0$: เซลล์ว่างเปล่า , $\alpha_q = 1$: เซลล์เต็ม และ $0 < \alpha_q < 1$: เซลล์จะมีของไหลอยู่ร่วมกัน

4. วิธีการคำนวณ

ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ 2 ระดับเพื่อตรวจสอบการสลับงานที่อัตราการระบายน้ำต่างๆ ได้แก่ระดับน้ำสูงสุด +36.57 เมตร (ร.ท.ก.) และระดับน้ำ +35.785 เมตร (ม.ท.ก.) และทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบจากการคำนวณด้วยวิธีเดียวกับการออกอาคารระบายน้ำล้น เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยตรวจสอบจากระดับน้ำในอาคารสลายพลังงาน และทฤษฎีการสลายพลังงานโดยการเกิด Hydraulic jump เนื่องจากโครงการอ่างเก็บน้ำประแสร์ ไม่ได้มีการวัดบันที่ระดับน้ำในอาคารระบายน้ำล้นขณะเกิดการล้นผ่านอาคาร และไม่มีโค้งอัตราการไหล (Rating curve) ในแม่น้ำประแสร์ทำอาคารระบายน้ำล้น แต่ทั้งนี้ ในแบบอาคารระบายน้ำล้นได้กำหนดระดับน้ำสูงสุดในทางระบายน้ำลงลำน้ำเดิมทำอย่างน้ำนิ่ง (Discharge channel) -ซึ่งเป็นความลึกน้ำที่ได้จากอัตราการระบายน้ำสูงสุด ดังนั้นในงานศึกษานี้จึงสมมติให้ระดับน้ำในแม่น้ำประแสร์เท่ากับระดับน้ำใน discharge channel อัตราการระบายน้ำของอาคารระบายน้ำล้น เนื่องจากทางระบายน้ำลงลำน้ำเดิมทำอย่างน้ำนิ่งก่อสร้างโดยใช้หินทั้งหมด 1.00 เมตร ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning (n) = 0.030 ซึ่งในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนต่างๆดังนี้

4.1 การสร้างแบบอาคารระบายน้ำล้น

แบบอาคารระบายน้ำล้นถูกสร้างขึ้นด้วยใช้โปรแกรม Solidworks 2016 ตั้งแต่ กม 0+000 ถึงกม 0+677.50 และได้แบ่งชิ้นงานสำหรับวิเคราะห์เป็น 3 ชิ้นดังรูปที่ 3 โดยส่วนที่ 1 กม. 0+050 ถึง กม. 0+157.50 ส่วนที่ 2 กม. 0+147.50 ถึง กม. 0+537.50 และส่วนที่ 3 กม 0+527.50 ถึง กม. 0+677.50 สำหรับการซ้อนเกยของแต่ละส่วนจะเป็นตัวเชื่อมผลลัพธ์ที่ได้ใช้ในชิ้นส่วนต่อไป และมีความผิดพลาดน้อยลงเนื่องจากการกำหนด Boundary ซึ่งการแบ่งชิ้นงานสำหรับวิเคราะห์ทั้ง 3 ชิ้นส่วนนี้ เพื่อสะดวกต่อการสร้าง Mesh และการวิเคราะห์แบบจำลอง CFD รวมถึงการผลลัพธ์และลักษณะการไหลของน้ำที่ขึ้น

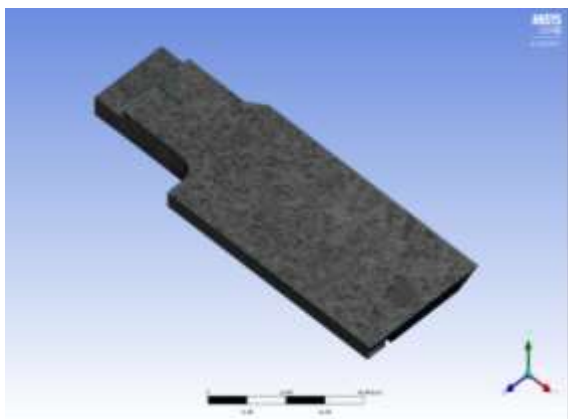


รูปที่ 3 รูปตัดตามยาวอาคารระบายน้ำล้น

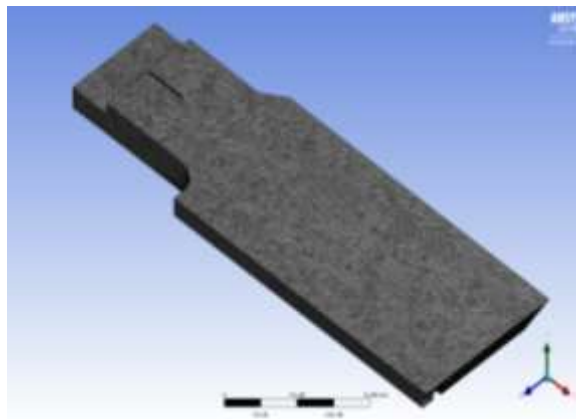
4.2 การแบ่ง Mesh

Mesh คือการแบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นส่วนเรขาคณิตเล็กๆ เพื่อให้สามารถใช้สูตรคำนวณต่างๆได้ และมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ CFD เนื่องจากถ้าแบ่ง Mesh ไม่เหมาะสม จะทำให้โปรแกรมมองเห็นรูปร่างชิ้นงานที่วิเคราะห์ผิดพลาดไปก็จะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดไปด้วย

การแบ่ง Mesh แบบอาคารระบายน้ำล้น ใช้โปรแกรม Ansys Fluent 2019 R2 สร้าง Mesh อาคารระบายน้ำล้นทั้ง 3 แบบ โดยข้อกำหนดในการสร้าง Mesh จะสร้าง Mesh ให้ จำนวนelements อยู่ในช่วงระหว่าง 400,000 ถึง 521,000 โดยผลของการสร้าง Mesh ดังรูปที่ 4 ถึง รูปที่ 7



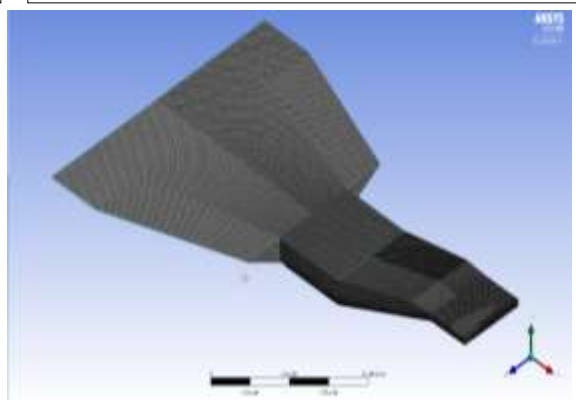
รูปที่ 4 Mesh ชั้นส่วนที่ 1 อาคารระบายน้ำล้น กม.0+050 ถึง กม.0+157.50 กรณีระดับน้ำ+36.57 เมตร(ร.ท.ก.)



รูปที่ 5 Mesh ชั้นส่วนที่ 1 อาคารระบายน้ำล้น กม.0+050 ถึง กม.0+157.50 กรณีระดับน้ำ+35.785 เมตร(ร.ท.ก.)



รูปที่ 6 Mesh ชั้นส่วนที่ 2 อาคารระบายน้ำล้น กม.0+147.5 ถึง กม.0+537.5 ใช้กับทุกกรณี



รูปที่ 7 Mesh ชั้นส่วนที่ 3 อาคารระบายน้ำล้น กม.0+527.5 ถึง กม.0+677.5 ใช้กับทุกกรณี

4.3 การวิเคราะห์โดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD)

ในการวิเคราะห์การไหลของน้ำโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ชั้นส่วนที่ 1 โดยการกำหนดให้ระดับน้ำเริ่มต้นเท่ากับ +36.57 เมตร (ร.ท.ก.) และ +35.785 (ร.ท.ก.) เมตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ โปรแกรม Ansys Fluent 2019 R2 แล้วจะทราบอัตราการไหลของน้ำ และระดับน้ำในแต่ละหน้าตัด โดยการวิเคราะห์จะต้อง

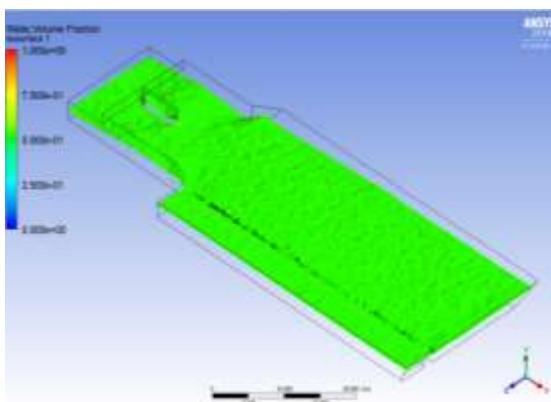
ตรวจสอบค่าอัตราการไหลเข้า กับอัตราการไหลออกต้องมีใกล้เคียงกัน จากนั้น นำค่าอัตราการไหล และระดับน้ำเฉลี่ยในหน้าตัด กม 0 + 147.50 ในชั้นส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการวิเคราะห์ในชั้นส่วนที่ 2 หน้าตัด กม.0+147.50 เช่นกัน ในทำนองเดียวกัน ผลระดับน้ำเฉลี่ยและอัตราการไหลของหน้าตัด กม 0+527.50 ในชั้นส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลเริ่มต้นในชั้นส่วนที่ 3 ที่หน้าตัดเริ่มต้น กม 0+527.5 โดยจะกำหนดให้ระดับน้ำที่ กม 0+677.5 มีค่าเท่ากับระดับน้ำใน Discharge channel ที่อัตราการระบายน้ำของอาคารระบายน้ำล้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning (n) = 0.030 แล้ววิเคราะห์ลักษณะการเกิด Hydraulic jump ที่เกิดขึ้นบริเวณอ่างน้ำนิ่ง

5. ผลการศึกษา

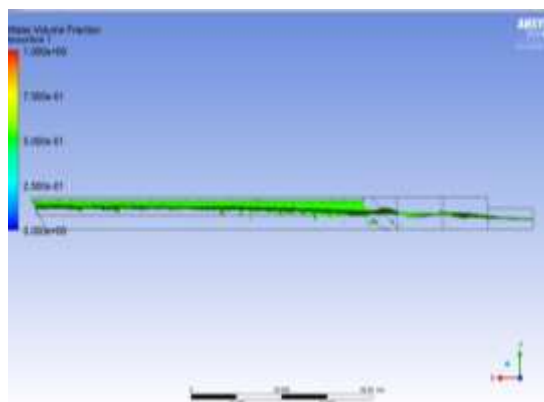
5.1 การสอบเทียบแบบจำลอง

5.1.1 การสอบเทียบอัตราการไหลและความลึกน้ำ

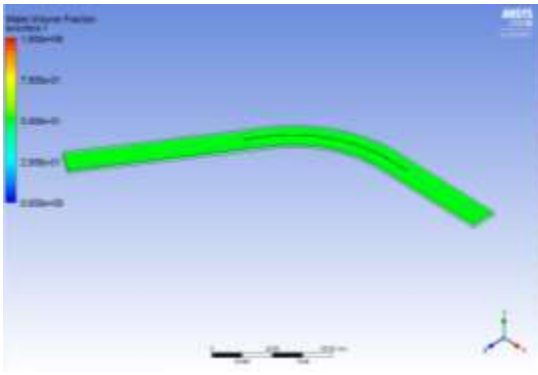
ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณตามข้อมูลการออกแบบ เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) โดยวิเคราะห์ที่ระดับน้ำล้นสูงสุด +36.57 เมตร (ร.ท.ก.) ผลการศึกษาพบว่า อัตราการระบายน้ำล้นโดยวิธีพลศาสตร์เชิงคำนวณมีค่าเท่ากับ 298.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งอัตราการระบายน้ำล้นของอ่างเก็บน้ำประแสร์ที่ถูกออกแบบไว้สูงสุด คือ 296 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีผลใกล้เคียงกันมาก และจากการตรวจวัดระดับน้ำเฉลี่ยในวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ซึ่งกำหนดให้ Water Volume Fraction หรือสัดส่วนปริมาตรน้ำ คือค่าที่แบ่งเฟสของสถานะน้ำต่ออากาศในแบบจำลอง มีค่า = 0.5 เพื่อให้ทราบระดับผิวน้ำจากแบบจำลอง นำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณขั้นตอนเดียวกับการออกแบบ โดยในการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณได้ผลดังรูปที่ 8 ถึง รูปที่ 11 เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลการคำนวณที่ได้ใช้วิธีเดียวกับการออกแบบได้ผลดังรูปที่ 12



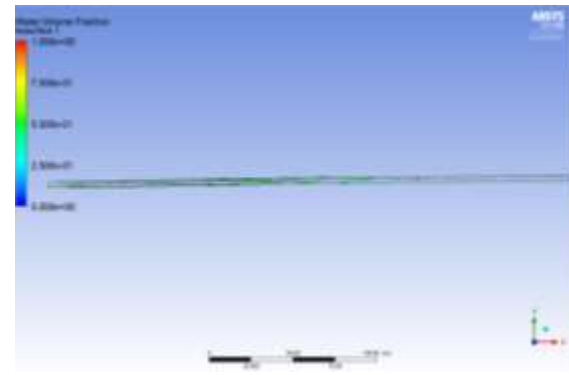
รูปที่ 8 ระดับน้ำ อาคารระบายน้ำล้น กม.0+050 ถึง กม.0+157.50



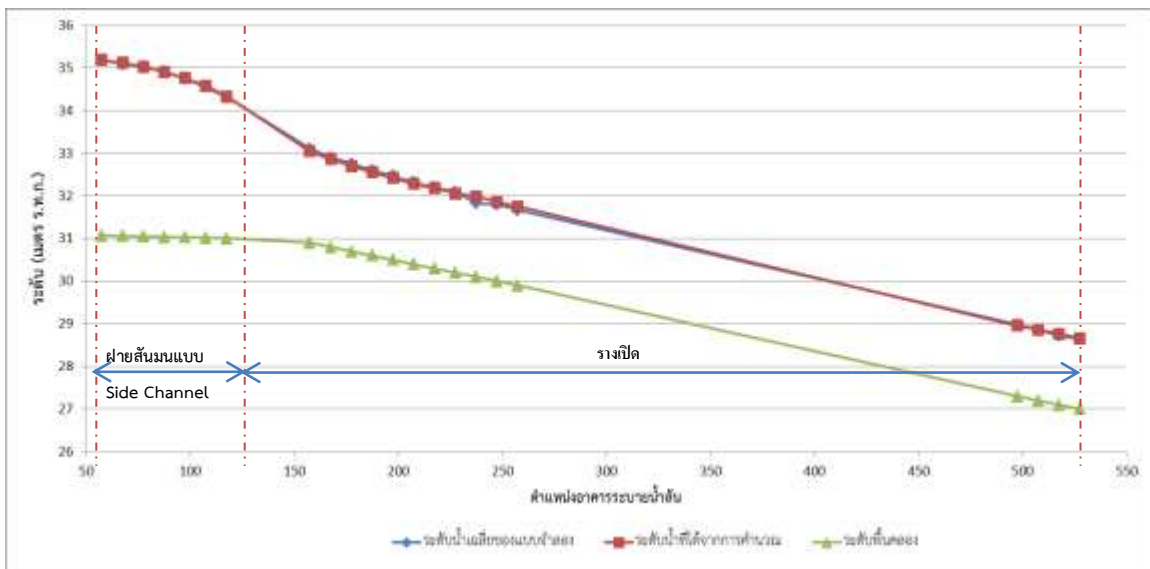
รูปที่ 9 ระดับน้ำ อาคารระบายน้ำล้น กม.0+050 ถึง กม.0+157.50



รูปที่ 10 ระดับน้ำ อาคารระบายน้ำล้น กม. 0+147.5
ถึง กม.0+537.5



รูปที่ 11 ระดับน้ำ อาคารระบายน้ำล้น กม. 0+147.5
ถึง กม.0+537.5

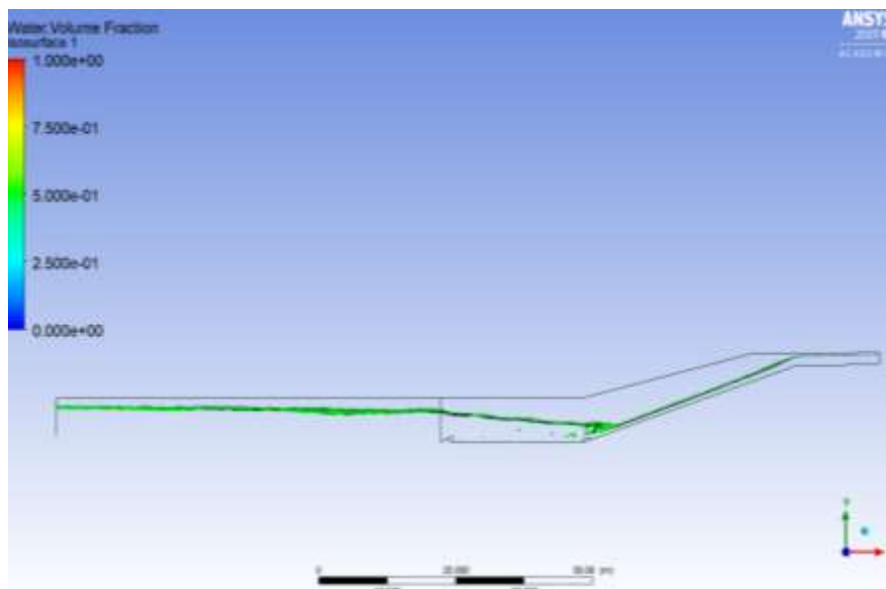


รูปที่ 12 การเปรียบเทียบระดับน้ำเฉลี่ยของแบบจำลองกับระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณ

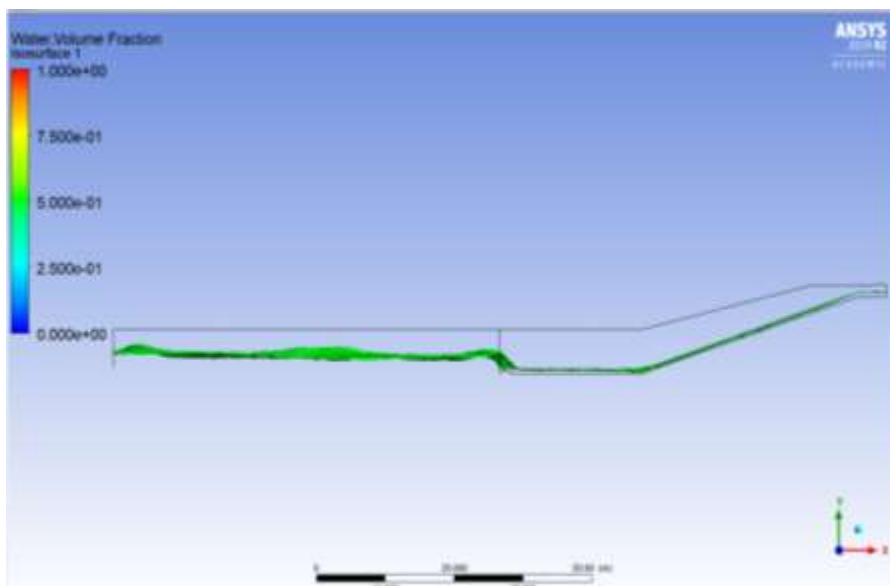
5.2.2 การสอบเทียบอาคารสลายพลังงาน (Stilling Basin)

จากการคำนวณในขั้นตอนการออกแบบ เมื่ออัตราการระบายน้ำเท่ากับ 298.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ได้ความลึกน้ำใน discharge channel เท่ากับ 5.09 เมตรที่หน้าตัด กม. 0+677.5 และ ความลึกของน้ำที่ไหลลงทางลาดที่หน้าตัด กม. 0+581.50 ประมาณ 0.63 เมตร และเมื่อผ่านอาคารสลายพลังงาน ความลึกหลังการเกิด hydraulic jump เท่ากับ 5.35 เมตร และระดับพื้นของ stilling basin อยู่ต่ำกว่าระดับท้องน้ำของ discharge channel 1.00 เมตร แสดงว่า ความลึกด้านท้ายน้ำมีค่ามากกว่าความลึกหลังการเกิด hydraulic jump ดังนั้นพลังงานของน้ำถูกสลายไป มีค่าเท่ากับ 72.96% และลักษณะของ hydraulic jump เป็นแบบ Submerged Jump ซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์ของแบบจำลองวิธีพลศาสตร์เชิงของไหล ดังรูปที่ 13 ทั้งนี้ ได้ทำการทดสอบการเกิด hydraulic jump โดยกำหนดให้ความลึกท้ายน้ำ (สมมติให้เป็นระดับน้ำในแม่น้ำประแสร์) มีค่าเท่ากับ 2.5 เมตร ซึ่งน้อยกว่าความลึกหลังการเกิด hydraulic

jump ที่อัตราการไหลสูงสุด พบว่า Hydraulic jump เกิดขึ้นทำนองน้ำนิ่ง สอดคล้องกับทฤษฎีการเกิด hydraulic jump ดังรูปที่ 14



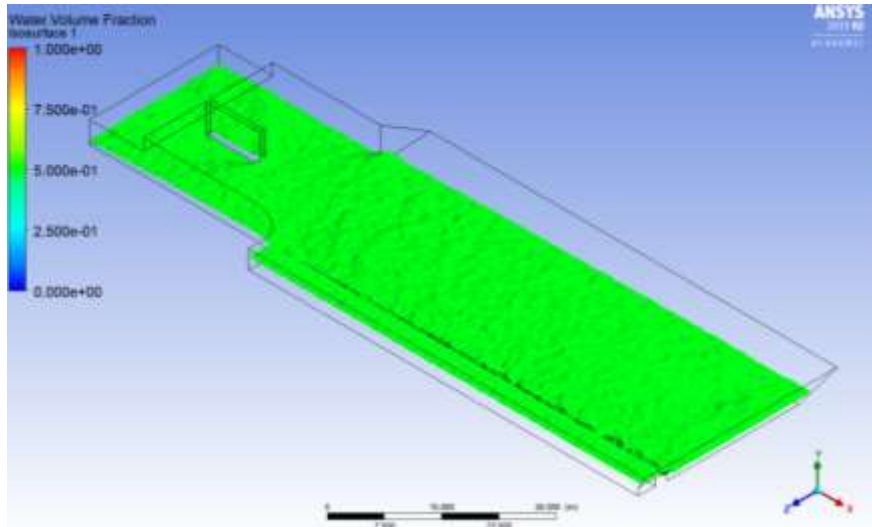
รูปที่ 13 ระดับน้ำอาคารสลายพลังงาน กม.0+527.5 ถึง กม.0+677.5



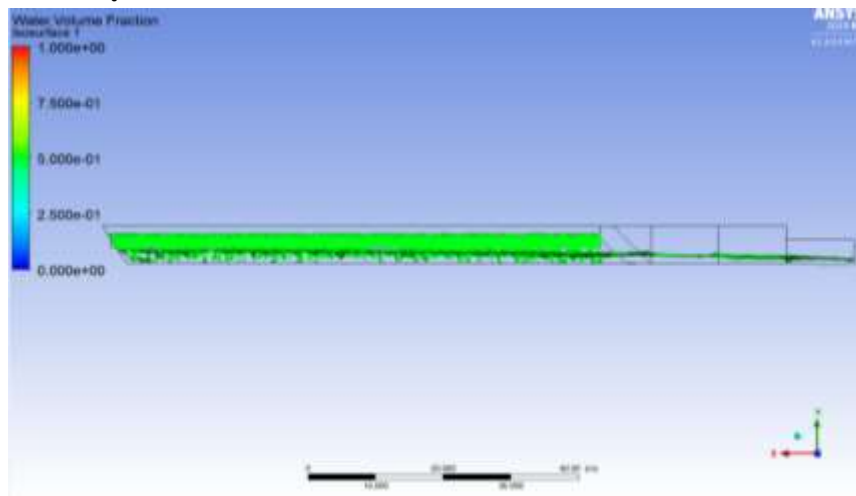
รูปที่ 14 ระดับน้ำอาคารสลายพลังงาน กม.0+527.5 ถึง กม.0+677.5

5.2 ผลการศึกษาแบบจำลอง

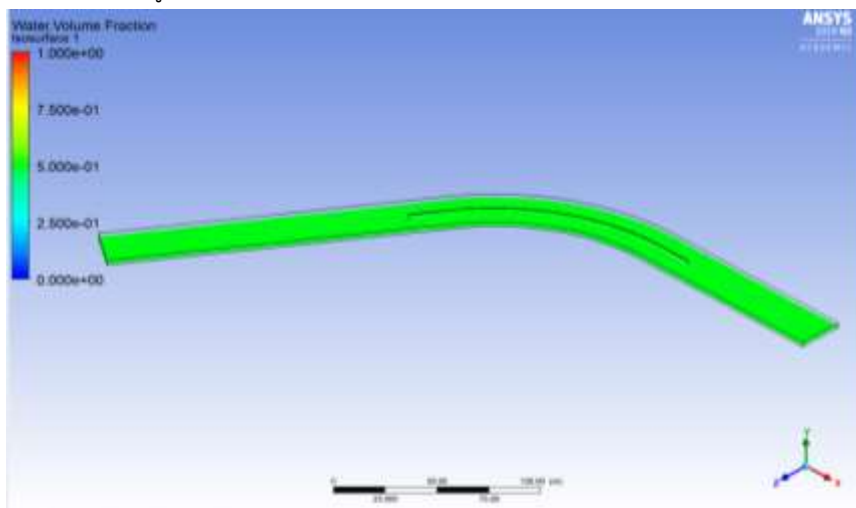
จากการวิเคราะห์แบบจำลอง ในชิ้นงานส่วนที่ 1 และ ส่วนที่ 2 โดยกำหนดให้ระดับน้ำล้น อยู่ที่ระดับ +35.785 เมตร (ร.ท.ก.) ได้อัตราการระบาย เท่ากับ 97 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ลักษณะการไหลแสดงดังรูปที่ 15 ถึงรูปที่ 18



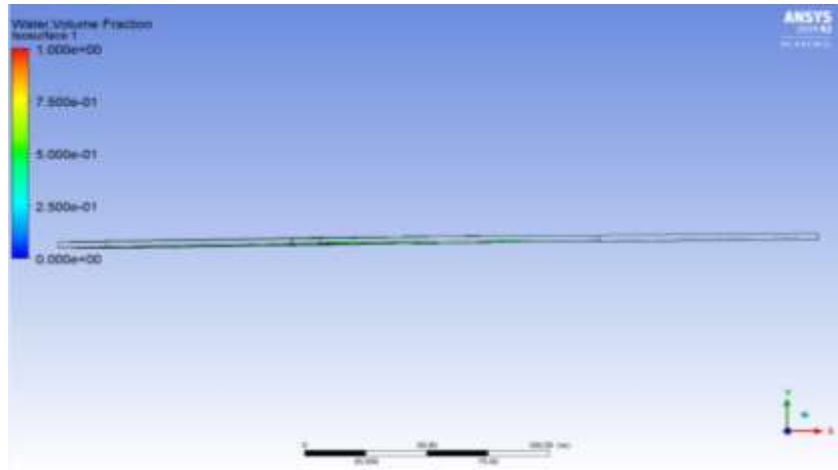
รูปที่ 15 ระดับน้ำ อาคารระบายน้ำล้น กม.0+050 ถึง กม.0+157.50



รูปที่ 16 ระดับน้ำ อาคารระบายน้ำล้น กม.0+050 ถึง กม.0+157.50

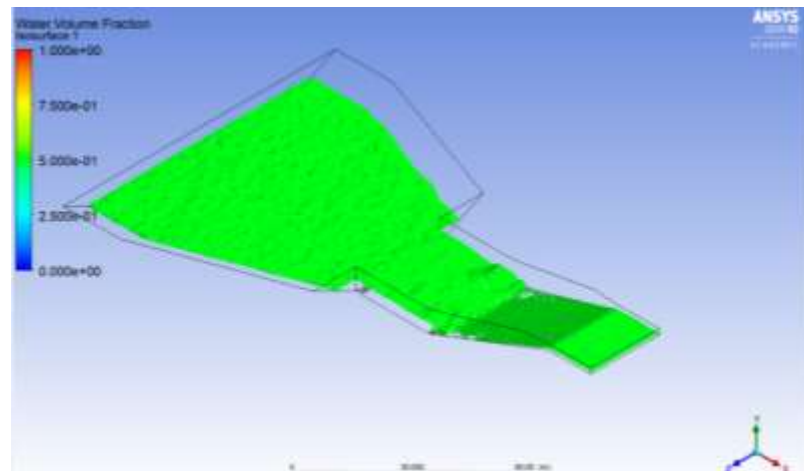


รูปที่ 17 ระดับน้ำ อาคารระบายน้ำล้น 0+147.5 ถึง กม.0+537.5

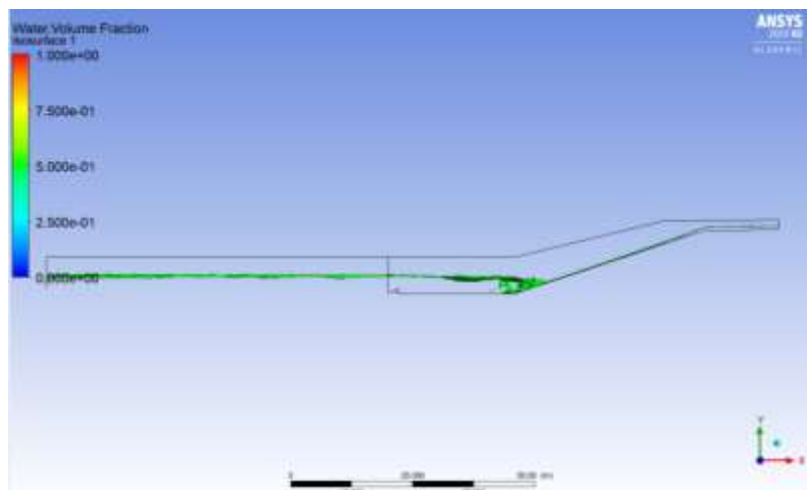


รูปที่ 18 ระดับน้ำ อาคารระบายน้ำล้น 0+147.5 ถึง กม.0+537.5

เมื่อวิเคราะห์แบบจำลองในชิ้นงานส่วนที่ 3 โดยกำหนดให้ระดับน้ำท้ายน้ำ(สมมติให้เป็นระดับน้ำในแม่น้ำประแสร์)มีค่า 2.63 เมตร พลังงานของน้ำถูกสลายไป 83.30 % ได้ลักษณะการเกิดHydraulic Jump เป็นแบบ Submerged ดังแสดงในรูปที่ 19 และรูปที่ 20



รูปที่ 19 ระดับน้ำอาคารสลายพลังงาน กม.0+527.5 ถึง กม.0+677.5



รูปที่ 20 ระดับน้ำอาคารสลายพลังงาน กม.0+527.5 ถึง กม.0+677.5

6. สรุปผลการศึกษา

การนำวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) โดยใช้แบบจำลองความปั่นป่วนชนิด Standard $k - \epsilon$ มาจำลองพฤติกรรมการไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้น ด้วยโปรแกรม Ansys Fluent 2019 R2 สามารถจำลองพฤติกรรมการไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้น และการเกิด Hydraulic jump ได้สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางทฤษฎี ช่วยให้สามารถประเมินประสิทธิภาพการระบายน้ำ และการสลายพลังงานของอาคารระบายน้ำล้น ซึ่งในทางปฏิบัติการตรวจวัดค่าระดับน้ำและอัตราการระบายน้ำในขณะที่มีการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นทำได้ยาก ดังนั้น การจำลองการไหลโดยใช้ CFD จะช่วยให้สามารถประเมินทั้งค่าระดับน้ำ และอัตราการไหลของน้ำที่ระบายผ่านอาคารระบายน้ำล้นได้ แต่อย่างไรก็ตาม การนำพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) มาจำลองพฤติกรรมการไหล ควรต้องระมัดระวังในเรื่องของการเขียนแบบอาคารระบายน้ำล้น ควรเขียนให้ถูกต้องตรงแบบ รวมถึงการแบ่ง Mesh และขนาดของ Mesh หากจำนวน Mesh และขนาดของ Mesh ไม่เหมาะสม จะส่งผลให้ผลลัพธ์ไม่คู่เข้าสู่ใกล้ความเป็นจริง และในส่วนรูปร่างของ Mesh หากไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน จะส่งผลให้โปรแกรมวิเคราะห์ที่ชิ้นงานผิดเพี้ยนไปจากเดิม และทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนไปจากความจริง ในส่วนข้อจำกัดของการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณคือ ควรใช้คอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้แก่ กรมชลประทาน และ ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาตลอดการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชาคิริต สุวรรณจำรัส. (2561). พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณด้วยวิธีปริมาตรจำกัด.มหาวิทยาลัยมหิดล: นครปฐม.
- [2] นายปกครอง สุดใจนาค, นายธรรมนุญ อินทร์นุช (2558). การเพิ่มระดับการเก็บกักน้ำอ่างเก็บน้ำประแสร์ด้วยบานระบายน้ำแบบพับได้. Retrieved from สำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดใหญ่ที่ 6 สำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่ กรมชลประทาน: กรุงเทพฯ.
- [3] ยุทธนา ตาละลักษมณ์ (2560). เอกสารประกอบการสอนวิชา 01209423 วิศวกรรมชลศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพฯ.
- [4] สันติ ทองพำนัก (2552). ประมวลหลักปฏิบัติวิชาชีพในการออกแบบฝายและประมวลหลัก ปฏิบัติวิชาชีพในการออกแบบอาคารสลายพลังงาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน: นครปฐม.
- [5] Abolfazl, S., Hamidreza, B., & Hamidreza, V. (2014). Computational Modeling of the Hydraulic Jump in the Stilling Basin with Convergence Walls Using CFD Codes. *ARABIAN JOURNAL FOR SCIENCE AND ENGINEERING*.
- [6] Bruce, M. and Savage and Michael and Johnson, C. Members and Asce., (2001), "Flow Over Ogee Spillway: Physical and Numerical Model Case Study," *J. Hydr. Eng. Asce*, 127(8), pp 640-649.
- [7] David. and Boyes, Karen. and Donohoo, Shane. and Cooper, Brian., (2003), "Numerical Flow Analysis for Spillways," 43rd Aicold Conference, Hobart, Tasmania, pp 24-29.
- [8] Kim, Dae Geun. and Park, Jae Hyun., (2005), "Analysis of Flow Structure Over Ogee-Spillway in Consideration of Scale and Roughness Effects by Using CFD Model," *Ksce Journal of Civil Engineering*, Vol. 9, No.2, pp 161-169.
- [9] Launder, B. E. and Spalding, D. B., 1974. *The Numerical Computation of Turbulent Flows*. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, pp. 269-289.