การประยุกต์ใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์สำหรับการออกแบบหน้าตัดที่เหมาะสมของเขื่อนคอนกรีตแบบถ่วงน้ำหนัก

Utilization of Microsoft Excel Solver for Optimum Design of Gravity Dam

นุอนันท์ คุระแก้ว วัชระ ศรีสะกูล และ ขวัญชีวา หยงสตาร์ *

Nuanan Kurakaew, Watchara Srisakul and Khwanchiwa Yongsata *

Received: 19 September 2020, Revised: 21 April 2021, Accepted: 22 June 2021

บทคัดย่อ

เขื่อนคอนกรีตแบบถ่วงน้ำหนักเป็นเขื่อนที่สร้างขึ้นเพื่อต้านแรงดันน้ำโดยอาศัยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้สร้างเขื่อน การศึกษานี้จะออกแบบขนาดของเขื่อนให้เหมาะสม เพื่อรองรับน้ำที่มีความลึกสูงสุด 75 เมตร เพื่อลดต้นทุนวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างให้น้อยที่สุด และมีเสถียรภาพทั้งในขณะที่เขื่อนยังไม่รองรับน้ำและขณะที่เขื่อนรับแรงดันน้ำสูงสุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณจึงเลือกใช้วิธีการแบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) และใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์ (Microsoft Excel Solver) เป็นโปรแกรมในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ โดยในการออกแบบทำการหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับขนาดของเขื่อน เช่น ความกว้างของสันเขื่อน ความกว้างของฐานเขื่อน ความสูงของเขื่อน เป็นต้น โดยกำหนดให้อัตราส่วนความกว้างฐานเขื่อนต่อความสูงของเขื่อนเท่ากับ 0.85 และกำหนดให้อัตราส่วนความกว้างสันเขื่อนต่อความสูงของเขื่อนเท่ากับ 0.13 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่า น้ำหนักตัวเขื่อนควรมีค่าอย่างน้อยเท่ากับ 57,547,894.64 นิวตันต่อเมตร (N/m) มีความสูงและความกว้างของฐานเท่ากับ 75.9 เมตร และ 64.52 เมตร ตามลำดับ จากการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการออกแบบเขื่อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการคำนวณและความแม่นยำมากขึ้น

คำสำคัญ: เขื่อนคอนกรีตแบบถ่วงน้ำหนัก, โปรแกรมเชิงเส้น, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Sikao, Trang 92150, Thailand.

*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): Khwanchiwa.y@rmutsv.ac.th

ABSTRACT

The gravity dam is constructed to resist against water pressure by using the weight of the material. This study presents the designing model for calculating the optimal dimensions of the dam to store water at a depth of 75 meters, to minimize the cost of the construction of the dam, and to provide sufficient stability. Linear Programming was used to calculate the dimensions of the dam section and Microsoft Excel Solver was used to design mathematical modeling of the dam parameters. Parameters in this research were dam top width, dam base width, dam height, etc. The ratio of dam base to dam height is 0.85 and the ratio of dam top width to dam height is 0.13. The results of analysis showed that the minimum dam weight should be 57,547,894.64 Newton per meter (N/m). The optimal height and base width are 75.9 meters and 64.52 meters respectively. The mathematical modeling may provide help for parameters estimation in designing the dam and increase the efficiency and precision of the calculation.

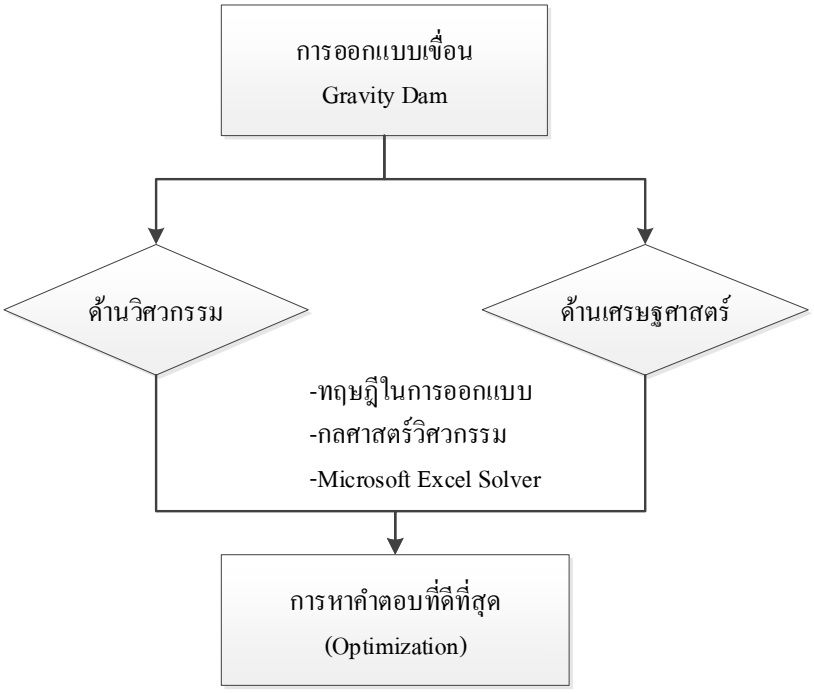
Key words: gravity dam, Linear Programming, mathematical model

บทนำ

เขื่อนเป็นสิ่งก่อสร้างที่ใช้สำหรับกั้นทางน้ำเพื่อใช้ในการเก็บกักน้ำและป้องกันอุทกภัย รวมถึงผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของเขื่อนได้หลายชนิดตามวัสดุก่อสร้าง เช่น เขื่อนหิน เขื่อนดิน เขื่อนคอนกรีต เขื่อนคอนกรีตบดอัด และเขื่อนไม้ เป็นต้น (Corns *et al*., 1988) โดยในการก่อสร้างจะเลือกใช้วัสดุตามความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ความสามารถในการกั้นน้ำรวมไปถึงความเหมาะสมในด้านเศรษฐศาสตร์ โดยในปัจจุบันนิยมใช้วัสดุคอนกรีตในการก่อสร้างเขื่อน เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทานและสามารถรับแรงได้สูง ซึ่งเขื่อนคอนกรีตยังจำแนกประเภทย่อย ได้แก่ เขื่อนคอนกรีตแบบถ่วงน้ำหนัก (Gravity Dam) บางครั้งจะเรียกว่าแบบฐานแผ่ เขื่อนประเภทนี้จะอาศัยน้ำหนักของตัวเขื่อนถ่ายน้ำหนักลงชั้นฐานราก ฐานรากของเขื่อนประเภทนี้จะต้องเป็นชั้นหินที่สามารถรับน้ำหนักได้ดี เนื่องจากตัวเขื่อนจะมีขนาดใหญ่มาก เขื่อนคอนกรีตแบบโค้ง (Arch Dam) เขื่อนประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นรูปโค้ง อาจเป็นแบบโค้งทางเดียว (โค้งในแนวราบ) หรือโค้งสองทาง (โค้งในแนวราบและแนวดิ่ง) ตัวเขื่อนจะมีลักษณะบาง เนื่องจากพฤติกรรมการรับแรงของโค้ง (Arch) จะสามารถรับแรงได้ดี น้ำหนักจากตัวเขื่อนและแรงกระทำจากน้ำจะถูกถ่ายไปยังจุดรองรับทั้ง 2 ข้างของเขื่อนแล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นหินฐานราก และเขื่อนคอนกรีตแบบค้ำยัน หรือแบบครีบ (Buttress Dam) เขื่อนประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นรูปแผ่นคอนกรีตและมีค้ำยันด้านหลัง

ซึ่งในงานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบเขื่อนคอนกรีตแบบถ่วงน้ำหนัก โดยในการออกแบบเขื่อนประเภทนี้จะต้องคำนึงถึงเสถียรภาพทั้งในขณะที่เขื่อนยังไม่รองรับน้ำและขณะที่เขื่อนรับแรงดันน้ำสูงสุด และกระบวนการที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด (Zhang *et al*., 2019) ซึ่งมีปัจจัยสำคัญสองด้าน คือ ด้านวิศวกรรมและด้านเศรษฐศาสตร์ โดยด้านวิศวกรรมจะต้องมีเกณฑ์ในการออกแบบเพื่อให้น้ำหนักของตัวเขื่อนสามารถต้านแรงดันน้ำที่กระทำกับตัวเขื่อนได้โดยที่

เขื่อนยังอยู่ในสภาพที่มั่นคงปลอดภัยและมีเสถียรภาพ ส่วนทางด้านเศรษฐศาสตร์ก็ต้องมีเกณฑ์ในการออกแบบเพื่อให้งบประมาณน้อยที่สุดแต่ยังคงรักษาเสถียรภาพของตัวเขื่อนไว้ได้ ซึ่งในกระบวนการในการออกแบบเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้น ทำได้ยากและใช้เวลานานในการคำนวณออกแบบ เนื่องจากต้องทำการคำนวณซ้ำ ๆ เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมทั้งทางด้านวิศวกรรมและด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้กระบวนการในการออกแบบง่ายและประหยัดเวลาในการคำนวณ จึงใช้ทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้นเป็นกระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุด ภายใต้วัตถุประสงค์ (Objectives) และข้อจำกัด (Constraint) แต่อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด ก็ต้องใช้โปรแกรมในการคำนวณเพื่อให้รวดเร็วและถูกต้อง ซึ่งมีโปรแกรมมากมายสร้างแบบจำลอง (Atmapoojya *et al*., 2014) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซล เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการทำงานที่สูง โดยเฉพาะงานด้านการคำนวณประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีฟังก์ชัน ไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์ ที่ช่วยในการหาคำตอบที่ดีที่สุด และที่สำคัญยังเป็นโปรแกรมพื้นฐานที่มีอยู่ในคอมพิวเตอร์ทั่วไป ซึ่งงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์หาค่าสัดส่วนในการออกแบบหน้าตัดของเขื่อนที่ดีที่สุด ภายใต้เงื่อนไขทางวิศวกรรมและทางเศรษฐศาสตร์ โดยมีกรอบแนวคิดของงานวิจัยดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

จากภาพที่ 1 แสดงกรอบแนวคิดในงานวิจัย ซึ่งเป็นการออกแบบเขื่อนคอนกรีตแบบถ่วงน้ำหนักให้มีขนาดหน้าตัดที่ดีที่สุด โดยประกอบด้วยข้อจำกัดด้านวิศวกรรมในการออกแบบเพื่อให้เขื่อนรับแรงดันได้อย่างมั่นคงและปลอดภัย และจะต้องมีความคุ้มค่าในด้านเศรษฐศาสตร์คือหน้าตัดจะต้องมีขนาดที่ประหยัดที่สุด โดยแนวคิดดังกล่าวจะต้องทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์ ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

ของหน้าตัดเพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความเหมาะสมและดีที่สุด

นิยามของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling)

การแก้ปัญหาเพื่อหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งพิจารณาจากข้อจำกัดของทรัพยากรเพื่อหาคำตอบที่เป็นไปได้ ซึ่งมีจำนวนมากมายมหาศาลซึ่งวิธีหาคำตอบซึ่งอาจแบ่งเป็น 4 กลุ่มหลัก คือ วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Methods), วิธีเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Methods), การจำลองสถานการณ์ (Simulations) และการค้นหาข้อมูลที่มีรูปแบบ (Searching Algorithms) (Feng *et al*., 2000) ซึ่งวิธีเชิงคณิตศาสตร์ เป็นการหาคำตอบโดย เป็นการจัดรูปปัญหาเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อการแก้สมการและหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ด้วย โปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming), โปรแกรมที่ไม่เป็นเส้นตรง (Non-Linear Programming), โปรแกรมเลขจำนวนเต็ม (Integer Programming) และ โปรแกรมพลวัต (Dynamic programming) ซึ่งวิธีเชิงคณิตศาสตร์เป็นวิธีที่มีประสิทธิผลกับปัญหาที่มีขนาดไม่ใหญ่มากแต่ต้องใช้ความพยายามในการคำนวณหาคำตอบมาก (Maythathirut, 2013)

โปรแกรมเชิงเส้นตรงเป็นแบบจำลองเพื่อจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้ได้รับผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สร้างมีประโยชน์มากมาย เช่น Kongpoung and Lerdwiwatchaiyaporn (2018) ได้ประยุกต์ใช้เพื่อหาสัดส่วนวัสดุธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกแห้ว

Noisang and Monthatipkul (2017) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบหลายวัตถุประสงค์เพื่อเลือกพื้นที่สร้างคลังสินค้า ซึ่งทำให้เกิดต้นทุนในการดำเนินการทั้งการขนส่งและการเก็บสินค้าของบริษัทต่ำที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้ช่วยให้บริษัท มีต้นทุน ด้านคลังสินค้าที่ต่ำที่สุด และส่งผลระยะยาวต่อความสามารถในการแข่งขันของบริษัท

กำหนดการเชิงเส้น คือ วิธีการหาค่าที่เหมาะที่สุด (ค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุด) ของเป้าหมายที่กำหนดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดโดยเป้าหมายจะต้องแสดงอยู่ในรูปสมการเส้นตรง สำหรับเงื่อนไขอาจอยู่ในรูปสมการหรืออสมการก็ได้ โดยขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหา (Dantzig, 1982) แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนต่อไปนี้

1. กำหนดเซตของตัวแปรการตัดสินใจ (Decision Variable)

2. สร้างฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function)

3. เขียนเงื่อนไขทั้งหมด (Constraints)

จากนั้น ก็นำมาสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรในแบบจำลองเพื่อทำการคำนวณและวิเคราะห์ผล โดยใช้ ไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการแก้ไขปัญหาเชิงเส้นโดยไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์ จะช่วยในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดและดีที่สุด ภายในข้อจำกัดหรือเงื่อนไขที่มีอยู่ ซึ่งทำให้การศึกษาและวิเคราะห์ทำได้อย่างง่ายดายและรวดเร็วกว่าอดีตมาก การใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์ มาช่วยในการคำนวณจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนในการวิจัย

การออกแบบขนาดของเขื่อนเพื่อรองรับแรงดันน้ำความสูง (h) ที่ต้องการ เพื่อให้ขนาดของเขื่อนมีหน้าตัดที่ประหยัดที่สุด ซึ่งจะต้องหาค่าตัวแปรของขนาดหน้าตัดของเขื่อนที่เหมาะสมเพื่อให้เขื่อนสามารถรองรับแรงตามหลักวิศวกรรมในการออกแบบและมีขนาดหน้าตัดที่น้อยที่สุด เพื่อให้ต้นทุนในการก่อสร้างเขื่อนน้อยสุด จากงานวิจัยที่

ผ่านมา การออกแบบความกว้างของสันเขื่อน (Atmapoojya *et al*., 2014) ซึ่งอัตราส่วนความกว้างสันเขื่อนที่เหมาะสมประมาณ 13.6 % ของความสูงเขื่อน และระยะพ้นน้ำ (Free Board) จะต้องมากกว่า 0.9 m และจากงานวิจัยของ US Army Corps of Engineers ค่าความชันของส่วนหน้าของเขื่อนอยู่ในช่วง (Craig, 1995) ความกว้างต่อความสูง 0.7/1-0.8/1 ซึ่งเลือกใช้คอนกรีตเป็นวัสดุในการก่อสร้างเขื่อนซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.4 และกำหนดให้หน่วยน้ำหนักของน้ำในเขื่อนเท่ากับ 9810 นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสมการความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างฐานส่วนหลังของหน้าตัดเขื่อนและความสูงของน้ำในเขื่อนจะขึ้นอยู่กับความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ใช้สร้างเขื่อนดังแสดงในสมการที่ (1)

หลักการออกแบบเขื่อนแบบถ่วงน้ำหนักเพื่อหาค่าตัวแปรที่ดีที่สุดของพื้นที่หน้าตัดเขื่อน ซึ่งมีตัวแปรของขนาดหน้าตัดอยู่หลายตัวแปร ดังแสดงในสมการที่ (2) และ (3) ซึ่งในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้รูปหน้าตัดเขื่อนมีความประหยัดที่สุด ทำได้โดย กำหนดตัวแปรขนาดหน้าตัด สมการวัตถุประสงค์ และสมการข้อจำกัดในการออกแบบ ซึ่งมีค่าของตัวแปรต่างๆ ดังภาพที่ 2

$$b = h/\sqrt{S-1} \quad (1)$$

โดยที่

h คือ ความสูงของน้ำในเขื่อน (เมตร)

b คือ ความกว้างฐานส่วนหลังของหน้าตัดเขื่อน ในกรณีไม่มีแรงดึง (No Tension Criteria)

S คือ ความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ใช้สร้างเขื่อน

$$h1 = H-h2-f \quad (2)$$

โดยที่

h1 คือ ความลึกของน้ำจากผิวน้ำถึงฐานเขื่อน (เมตร)

H คือ ความสูงของเขื่อน (เมตร)

h2 คือ ความสูงฐานเขื่อนส่วนหน้า (เมตร)

f คือ ระยะพ้นน้ำ (เมตร)

$$h/h3 = B/(B-a) \quad (3)$$

โดยที่

h3 คือ ความสูงฐานเขื่อนส่วนหลัง (เมตร) สามารถคำนวณจากคุณสมบัติอัตราส่วนตรีโกณมิติ สมบัติสามเหลี่ยมคล้าย

B คือ ความกว้างของฐานเขื่อน

a คือ ความกว้างของสันเขื่อน (เมตร)

2. สมการวัตถุประสงค์ สมการข้อจำกัดและตัวแปรตัดสินใจ

2.1 สมการวัตถุประสงค์

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่าผลรวมของน้ำหนักของเขื่อนซึ่งมีผลต่อราคาในการก่อสร้างสร้างเขื่อน เป็นสมการวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าน้ำหนักที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการก่อสร้างเขื่อนเพื่อให้ต้นทุนในการสร้างเขื่อนน้อยที่สุด ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$\text{Minimize} = W1 + W2 + W3 \quad (4)$$

โดยที่

W_1 คือ น้ำหนักของเขื่อนส่วนหน้า

W_2 คือ น้ำหนักของเขื่อนส่วนกลาง

W_3 คือ น้ำหนักของเขื่อนส่วนหลัง

2.2 สมการข้อจำกัด

สำหรับสมการข้อจำกัดในการศึกษานี้ได้กำหนดไว้เพื่อป้องกันไม่ให้ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองสามารถแสดงสมการข้อจำกัดได้ดังนี้ (Salmasi, 2011)

ข้อกำหนดของระยะพ้นน้ำจะต้องมากกว่า 0.9 m ($f \geq 0.9$) เพื่อหลีกเลี่ยงคลื่นน้ำที่สูงภายในเขื่อน กำหนดให้อัตราส่วนความกว้างฐานเขื่อนต่อความสูงของเขื่อนเท่ากับ (0.85 B/H = 0.85) และกำหนดให้อัตราส่วนความกว้างสันเขื่อนต่อความสูงของเขื่อนเท่ากับ 0.13 (a/H = 0.13) และค่าความชันของส่วนหน้าของเขื่อนอยู่ในช่วง ความกว้างต่อความสูง 0.7/1-0.8/1 เพื่อให้เขื่อนที่ทำการวิเคราะห์เพื่อหาขนาดที่ดีที่สุด มีความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม และการออกแบบเพื่อป้องกันไม่ให้เขื่อนเกิดการวิบัติทั้งในขณะที่เขื่อนอยู่ในช่วงก่อสร้างโดยไม่มีแรงดันน้ำมากระทำและในช่วงการใช้งานคือมีแรงดันน้ำมากระทำต่อตัวเขื่อนเต็มที่ ซึ่งได้สมการข้อจำกัดเพื่อหาระยะเยื้องศูนย์ของตัวเขื่อนในกรณีที่เขื่อนยังไม่รับน้ำและเขื่อนรับน้ำเต็มที่ได้ดังแสดงในสมการที่ (5) และ (7) ตามลำดับ

ก) ตอนที่เขื่อนยังไม่รับน้ำ

$$\bar{X} = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{w_1 + w_2 + w_3} \quad (5)$$

โดยที่

M_1 คือ โมเมนต์ของพื้นที่เขื่อนส่วนหน้า

M_2 คือ โมเมนต์ของพื้นที่เขื่อนส่วนกลาง

M_3 คือ โมเมนต์ของพื้นที่เขื่อนส่วนหลัง

โดยขอบเขตระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลดังแสดงในสมการที่ (6)

$$e_d = \bar{X} - B/2, \; e_d \leq B/6 \quad (6)$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือระยะห่างจากจุดศูนย์กลางมวล (Centroid) ถึงท้ายเขื่อน และ e_d คือระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลของพื้นที่หน้าตัดถึงกึ่งกลางฐาน

$$\bar{X} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 - M_6 - M_7}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 - U_1} \quad (7)$$

โดยที่

M_4 คือ โมเมนต์ของพื้นที่น้ำส่วนหน้า

M_5 คือ โมเมนต์ของพื้นที่น้ำส่วนหน้าบริเวณฐานเขื่อน

M_6 คือ โมเมนต์ที่กระทำเนื่องจากแรงดันน้ำหน้าเขื่อน

M_7 คือ โมเมนต์ที่กระทำเนื่องจากแรงดันน้ำใต้ฐานเขื่อน

W_4 คือ น้ำหนักของน้ำส่วนหน้า

W_5 คือ น้ำหนักของน้ำส่วนหน้าบริเวณฐานเขื่อน

U_1 คือ แรงดันน้ำใต้ฐานเขื่อน

โดยขอบเขตระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลดังแสดงในสมการที่ (8)

$$e_f = B/2 - \bar{X},\ e_f \le B/6 \quad (8)$$

e_f คือระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลของพื้นที่หน้าตัดถึงกึ่งกลางฐานเขื่อน ในขณะที่เขื่อนมีแรงกระทำจากแรงดันน้ำในเขื่อนและแรงดันน้ำใต้เขื่อน

2.3 ตัวแปรตัดสินใจ

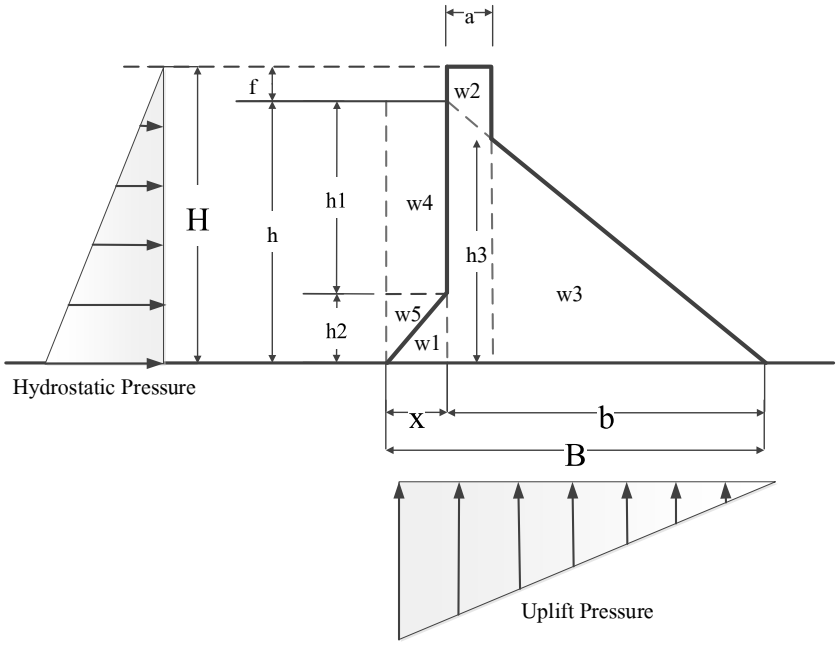
โดยในการวิเคราะห์เพื่อหาขนาดที่ดีที่สุด โดยจะต้องทำการสุ่มตัวแปรตัดสินใจเพื่อหาค่าสมการวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด ซึ่งในการซึ่งศึกษานี้มีตัวแปรตัดสินใจดังต่อไปนี้

- ความสูงของเขื่อน (H)
- ความกว้างของฐานเขื่อน (B)
- ความกว้างของสันเขื่อน (a)
- ความสูงฐานเขื่อนส่วนหน้า (h2)

จากตัวแปรและความสัมพันธ์ต่างๆ สามารถนำสร้างสมการในการวิเคราะห์เพื่อหาขนาดของเขื่อนที่ดีที่สุด ซึ่งจะทำการวิเคราะห์แรงที่กระทำทั้งหมดต่อเขื่อนเพื่อวิเคราะห์หาขนาดของเขื่อนที่สามารถรับแรงดังกล่าวได้ โดยจะแสดงความสัมพันธ์และวิธีการหาค่าของตัวแปร ดังตารางที่ 1

ก) ตอนที่เขื่อนไม่มีน้ำเต็ม

ข) ตอนที่เขื่อนยังรับน้ำเต็ม



ภาพที่ 2 ค่าตัวแปรต่างๆ ขององค์ประกอบของหน้าตัดเขื่อน

จากภาพที่ 2 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ขององค์ประกอบของหน้าตัดเขื่อน ซึ่งแต่ละตัวแปรมีความสัมพันธ์อยู่ในรูปของสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

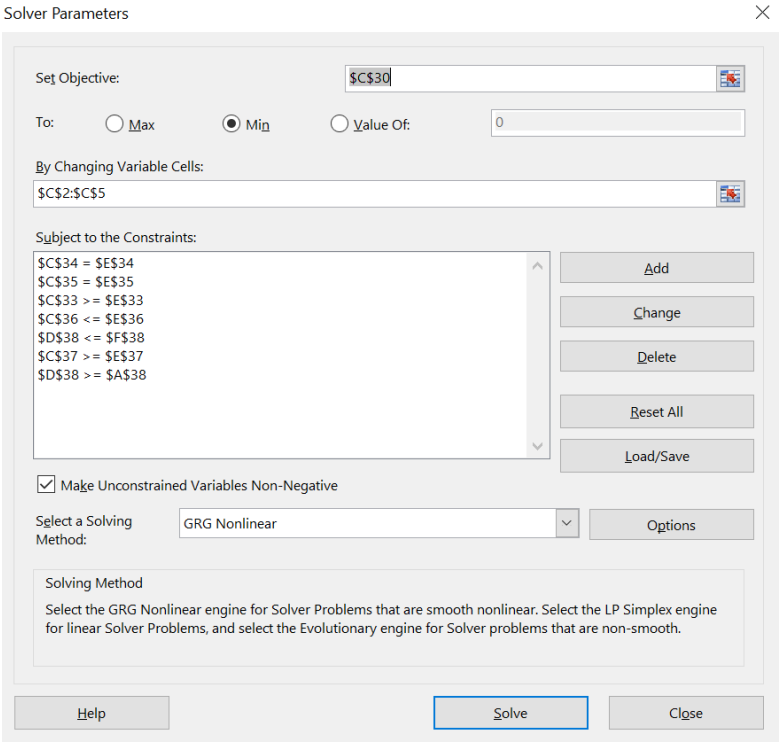
ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์และวิธีการหาค่าของตัวแปร

Forces	Value(N/m)	Nature	Lever Arm (m)	Moment (N.m)
Weight of dam (w1)	0.5h2Sw	Vertical (d)	B - 2x / 3	M1
Weight of dam (w2)	aHSw	Vertical (d)	(b - a) + 0.5a	M2
Weight of dam (w3)	0.5(b - a)h3 Sw	Vertical (d)	2 / 3(b - a)	M3
Weight of water supported by upstream face (w4)	x h1w	Vertical (d)	b + 0.5x	M4
Weight of water supported by upstream face (w5)	0.5h2 x w	Vertical (d)	b + 2x / 3	M5
Hydrostatic pressure (P1)	$0.5\ h^2\ w$	Horizontal	h / 3	M6
Uplift pressure (U1)	0.5h Bw	Vertical (d)	(2 / 3)B	M7

หมายเหตุ : x คือ ความกว้างของฐานเขื่อนส่วนเหนือน้ำ
S คือ ความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ใช้สร้างเขื่อน
w คือ หน่วยน้ำหนักของน้ำ

จากนั้นก็ทำสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล เพื่อทำการวิเคราะห์แบบจำลองซึ่งใช้ฟังก์ชันโซลเวอร์ ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อหาหน้าตัดเขื่อนที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดโดยมี

เงื่อนไขทางวิศวกรรมและชลศาสตร์ ซึ่งมีรูปแบบในการสร้างแบบจำลองดังแสดงในภาพที่ 2 และได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 3 การแสดงตัวแปรในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์

จากภาพที่ 3 แสดงการสร้างฟังก์ชันเงื่อนไขและฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรของแรงกับระยะทางที่เกิดโมเมนต์ เพื่อหาค่าของโมเมนต์ทั้งหมดที่กระทำต่อตัวเขื่อน ซึ่งมีค่าแรงที่กระทำต่อเขื่อนทั้งหมด 7 ตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง

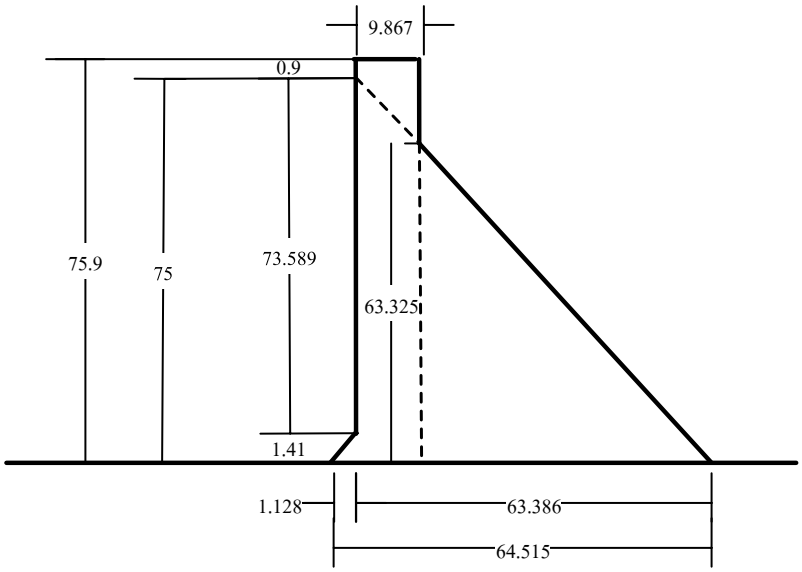
Forces	Value (N/m)	Nature	Lever arm (m)	Moment (N.m)
Weight of Dam (w1)	18,737	Vertical (d)	63.76	1,194,750
Weight of Dam (w2)	17,632,226	Vertical (d)	58.45	1,030,657,747
Weight of Dam (w3)	39,896,931	Vertical (d)	35.68	1,423,511,031
Weight of Water Supported by Upstream Face (w4)	814,628	Vertical (d)	63.95	52,096,132
Weight of Water Supported by Upstream Face (w5)	7,807	Vertical (d)	64.14	500,749
Hydrostatic Pressure (P1)	27,590,625	Horizontal	25.00	689,765,625
Uplift Pressure (U1)	23,733,456	Vertical (d)	43.01	1,020,775,926

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

จากการทำแบบจำลองเพื่อหาค่าต้นทุนที่ดีที่สุดของเขื่อนคอนกรีตแบบถ่วงน้ำหนักโดยใช้โปรแกรม ไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์ ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของหน้าตัดเพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความเหมาะสมและดีที่สุดดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 4

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของหน้าตัดที่มีค่าเหมาะสมที่สุด

ตัวแปร	H	h	h1	h2	h3
ขนาด (m)	75.9	75	73.589	1.410	63.325
ตัวแปร	B	b	x	a	f
ขนาด (m)	64.515	63.386	1.128	9.867	0.9
น้ำหนักเขื่อน	**57,547,894.64 (N/m)**				



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง (หน่วย: เมตร)

ผลจากงานวิจัยดังกล่าวทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณขนาดของเขื่อนคอนกรีตแบบถ่วงน้ำหนัก โดยใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์มาช่วยในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับการออกแบบเขื่อนเพื่อรองรับความสูงของน้ำ 75 เมตร วิจัยนี้จึงได้พิจารณาปัจจัยแรงที่มากระทำกับตัวเขื่อนสำคัญคือแรงกระทำจากแรงดันน้ำในเขื่อน (Hydrostatic Pressure) และแรงดันน้ำใต้เขื่อน (Uplift Pressure) (Uday and Hasan, 2016; Si *et al*., 2019) โดยมีสมการข้อจำกัดต่างๆ ดังข้างต้น มาช่วยในการคำนวณที่มีความถูกต้องแม่นยำในการทำงานมากยิ่งขึ้น โดยใช้ต้นทุนที่น้อยที่สุดและใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่ามากที่สุด (Banerjee *et al*., 2015) เพื่อช่วยในการพิจารณาตัดสินใจใช้ขนาดตัวเขื่อนที่เหมาะสม ในการทำแบบต่างๆ ต่อไป

จากผลการทดลอง พบว่าการนำไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์ไปใช้ในการคำนวณขนาดของตัวอย่างกรณีศึกษาในการหาขนาดหน้าตัดที่เหมาะสม เขื่อนคอนกรีตแบบถ่วงน้ำหนักเพื่อรองรับความสูงของน้ำ 75 เมตร โดยการสร้างสมุดงาน (Worksheet Model) และสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรสำหรับระบุเงื่อนไขการเชื่อมโยงทั้งหมดให้กับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ผลการวิเคราะห์ได้ค่าความสูงเขื่อนทั้งหมด 75.9 เมตร และมีความกว้างของฐานเขื่อนทั้งหมด 64.52 เมตร รวมถึงรายละเอียดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งส่งผลให้เขื่อนมีน้ำหนักน้อยที่สุดอยู่ที่ 57,547,894.64 นิวตันต่อเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการออกแบบ (Salmasi, 2011) โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม(Genetic Algorithm) ซึ่งได้ค่าความสูงเขื่อนทั้งหมด 76.2 เมตร และมีความกว้างของฐานเขื่อนทั้งหมด 60.7 เมตร ซึ่งมีค่าน้ำหนักเขื่อนอยู่ที่ 57,754,332 นิวตันต่อเมตร ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่าน้ำหนักตัวเขื่อนในการออกแบบโดยใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์และวิธีเชิงพันธุกรรมมีค่าคลาดเคลื่อนแค่ 0.36 เปอร์เซ็นต์

การใช้ ไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์ ในการวิเคราะห์หาค่าหาขนาดที่ดีที่สุด แต่ผลลัพธ์ที่ได้อาจจะไม่ดีที่สุด เสมอไป เพราะบางครั้งผลที่ที่ได้เป็นเพียงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในขอบเขตหนึ่งๆ เพราะหากขอบเขตในการคำนวณเปลี่ยนไปผลลัพธ์ที่ได้อย่างไรก็ตามในการออกแบบก็ต้องอาศัยมุมมองในการตัดสินใจของผู้ออกแบบ ว่าเขื่อนมีความยาวเพียงพอที่จะวิเคราะห์แบบ 2 มิติ และผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์มีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ในการปฏิบัติงานจริง

สรุป

โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลเป็นโปรแกรมที่ใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพในด้านการคำนวณรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งการนำไมโครซอฟท์เอ็กเซล โซลเวอร์มาใช้ในการคำนวณวิเคราะห์หาขนาดที่ดีที่สุดของการออกแบบเขื่อนภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดช่วยให้เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์น้อยกว่าวิธีการออกแบบด้วยมือ ที่ต้องทำการสุ่มหน้าตัดต่างๆ เพื่อมาคำนวณ ซึ่งวิธีนี้เป็นการวิเคราะห์หาหน้าตัดที่มีความเป็นไปได้ซึ่งมีเงื่อนไขคือต้องผ่านสมการข้อจำกัดตามหลักวิศวกรรมและมีขนาดหน้าตัดน้อยที่สุด เพื่อช่วยให้การเลือกขนาดหน้าในการออกแบบจริงมีความสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง ในการสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณ ผศ.ดร.ปกรณ์ ดิษฐกิจ จากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ที่คอยให้คำปรึกษาในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Atmapoojya, S.L., Mahajan, S.K. and Dabhade, A.N. 2014. Computation of optimal top width of gravity dam, pp. 121-138. *In* **New Developments in Dam Engineering: Proceedings of the 4th International Conference on Dam Engineering.** Nanjing, China.

Banerjee, A., Paul, D.K. and Acharyya, A. 2015. Optimization and safety evaluation of concrete gravity dam section. **KSCE Journal of Civil Engineering** 19(6): 1612-1619.

Corns, C.F., Tarbox, G.S. and Schrader, E.K. 1988. Gravity dam design and analysis, pp. 466-492. *In* **Advanced dam engineering for design, construction and rehabilitation.** Springer, Boston, MA.

Craig, J.D. 1995. **Gravity Dam Design**. **U.S. Army Corps of Engineers.** U.S, Government Printing Office, Washington, DC.

Dantzig, G.B. 1982. Reminiscences about the origins of linear programming. **Operation Research Letters** 1(2): 43-48.

Feng, C.W., Liu, L. and Burns, S.A. 2000. Stochastic construction time-cost trade-off analysis. **Journal of Computing in Civil Engineering** 14(2): 117-126.

Kongpoung, P. and Lerdwiwatchaiyaporn, S. 2018. Linear Programming Approach to Quantity Optimal for Chemical Fertilizer Substitution in Water Chestnut Farm. **Journal of Science and Technology** 7(3): 27-33. (in Thai)

Maythathirut, R. 2013. Scheduling of Construction Project Under Cash Constraints. Master of Engineering, Suranaree University of Technology. (in Thai)

Noisang, P. and Monthatipkul, C. 2017. Locality Selection of Regional Distribution Centers in Thailand Using Quantitative and Qualitative Factors Analysis with Multi-objective Optimization. **Thai Journal of Operations Research** 5(1): 60-70. (in Thai)

Salmasi, F. 2011. Design of gravity dam by genetic algorithms. **International Journal of Civil and Environmental Engineering** 3(3): 187-192.

Si, Z., Yang, K. and Huang, L. 2019. Study of the section optimization of gravity dam based on improved PSO, pp. 022007. *In* **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.** IOP Publishing, Jilin, China.

Uday, A.M. and Hasan, H.M. 2016. Optimal location of drainage gallery under gravity dam by using finite element method. **International Journal Multidisciplinary Research Mod Educational** 2: 611-622.

Zhang, M., Li, M., Shen, Y. and Zhang, J. 2019. Isogeometric shape optimization of high RCC gravity dams with functionally graded partition structure considering hydraulic fracturing. **Engineering Structures** 179: 341-352.