

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่า Piezometric Head โดยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ กรณีศึกษา เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

Comparison of Piezometric Head Relationships Using Statistical Analysis:

A Case Study of Pasak Jolasit Dam

พีรพล พุดิเพ็ญ,^{1*} วรารุช วุฒิวณิชย์¹ และไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์¹
Peerapon Putipen,^{1} Varawoot Vudhivanich¹ and Chaiyapong Theprasit¹*

Received 16 October 2025, Revised 5 January 2026, Accepted 12 January 2026

ABSTRACT

The analysis of data from dam behavior monitoring instruments provides an understanding of the behavior occurring within the dam. Piezometers are widely used instruments to monitor seepage and internal erosion in earth dams. This study analyzes the data using three statistical methods: Simple Linear Regression (SLR), Multiple Linear Regression (MLR), and Dummy Variable Regression (DVR), to examine the relationships between piezometric head, reservoir water levels, and related factors, as well as to identify the most appropriate analytical method. The results show that SLR provides correlation coefficients (R) ranging from 0.05 to 0.70, MLR from 0.26 to 0.72, and DVR from 0.43 to 0.81. SLR is a basic and convenient method but yields the lowest correlations, and is suitable to explain the behavior of upstream piezometers. MLR provides higher correlations, especially for piezometers influenced by rainfall, but it suffers from multicollinearity. DVR, which analyzes the relationships based on temporal variations in reservoir water levels, is the most appropriate method, providing the highest correlations, reducing multicollinearity, and yielding the best AIC and BIC values. However, the suitability of each analytical method should depend on the location of the piezometers and correspond to the current behavioral characteristics.

Keywords: Piezometric head, Regression, Dam behavior, Pasak jolasit dam

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนทำให้ทราบถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นกับเขื่อน พิโซมิเตอร์ (Piezometer) เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการติดตามพฤติกรรมการกัดเซาะภายในตัวเขื่อน การศึกษานี้จะวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ 3 วิธี ได้แก่ Simple Linear Regression (SLR), Multiple Linear Regression (MLR) และ Dummy Variable Regression (DVR) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับน้ำพิโซมิเตอร์ กับระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ รวมถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และเลือกวิธีการที่เหมาะสมด้วยวิธีทางสถิติ ผลการวิเคราะห์พบว่า SLR ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) อยู่ระหว่าง 0.05 - 0.70, MLR อยู่ระหว่าง 0.26 - 0.72 และ DVR อยู่ระหว่าง 0.43 - 0.81 โดย SLR เป็นวิธีการพื้นฐานและใช้งานสะดวก แต่ได้ความสัมพันธ์ต่ำที่สุด เหมาะสำหรับอธิบายพฤติกรรมของพิโซ

^{1*}ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

* Corresponding author: Tel. 08-9404-4714 E-mail address: fengcph@ku.ac.th

มีเตอร์ด้านเหนือหน้า ขณะที่ MLR ค่าความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะพีโซมิเตอร์ตำแหน่งที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำฝน แต่มีปัญหาสหสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ ส่วน DVR เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของระดับในอ่างเก็บน้ำซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด และได้ค่าความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด ลดปัญหา Multicollinearity และค่าของเกณฑ์ AIC และ BIC ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามความเหมาะสมของวิธีการวิเคราะห์ที่จะประยุกต์ใช้ควรขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพีโซมิเตอร์ และสอดคล้องกับลักษณะพฤติกรรมในปัจจุบัน

คำสำคัญ: พีโซเมตริกเฮด สมการถดถอย พฤติกรรมเขื่อน เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

บทนำ

เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์เป็นเขื่อนดินขนาดใหญ่ทำหน้าที่กักเก็บน้ำเพื่อแก้ปัญหาภัยแล้ง โดยเฉพาะการสนับสนุนกิจกรรมด้านการอุปโภค-บริโภค ด้านเกษตรกรรม การรักษาระบบนิเวศ รวมถึงการบรรเทาปัญหาอุทกภัยที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำป่าสัก และลุ่มน้ำเจ้าพระยาฝั่งตะวันออกตอนล่าง และเนื่องจากเป็นเขื่อนดินขนาดใหญ่ จึงมีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดเพื่อติดตามพฤติกรรมของเขื่อน โดยหนึ่งในเครื่องมือที่ติดตั้ง และตรวจวัดคือ เครื่องมือวัดพฤติกรรมการไหลซึมพีโซมิเตอร์ (Piezometer) ที่เป็นเครื่องมือใช้วัดพฤติกรรมการไหลซึมผ่านตัวเขื่อน โดยแปลผลออกมาเป็นค่าระดับน้ำใต้ดิน Piezometric Head โดยมีการตรวจวัด จัดเก็บข้อมูลของเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน มาเป็นระยะเวลา 18 ปี (ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ถึงปัจจุบัน)

ในหลายประเทศได้มีการนำข้อมูลจากเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนมาวิเคราะห์ทางสถิติ มีการเสนอวิธีการสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Leyla *et al.*, 2022) ใช้แบบจำลองการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Regression Models) ร่วมกับทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับ (Back Propagation Neural Network - BPNN) เพื่อตรวจสอบแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ระดับความดันน้ำในเขื่อนประสิทธิภาพของแบบจำลองได้รับการประเมินโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของข้อผิดพลาด (Root Mean Square Error - RMSE). (Stojanovic *et al.*, 2013) นำเสนอระบบปรับตัวสำหรับการสร้างแบบจำลองพฤติกรรมของเขื่อน ซึ่งอิงตามแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple

Linear Regression - MLR) และได้รับการปรับให้เหมาะสมกับเงื่อนไขที่กำหนดโดยใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms - GA). (Tian *et al.*, 2020) นำเสนอการสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ กับแรงดันน้ำในตัวเขื่อนที่ได้จากเครื่องมือวัด (Sun *et al.*, 2021) ได้วิเคราะห์ติดตามสถานะความปลอดภัยจากการซึมของเขื่อน Daban โดยมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในเขื่อนกับความดันน้ำในท่อวัด

การศึกษานี้มุ่งเน้นในการวิเคราะห์การถดถอย 3 รูปแบบ เพื่อเพิ่มค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Piezometric Head กับระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ และตัวแปรอื่นๆที่มีผลต่อการวิเคราะห์ เพื่อหาวิธีวิเคราะห์ทางสถิติที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการติดตามพฤติกรรมของเขื่อน และเป็นแนวทางในการบริหารจัดการเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ สำหรับความมั่นคงปลอดภัยเขื่อน

วิธีการ

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่า Piezometric Head โดยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติดำเนินการโดยเลือกพื้นที่ศึกษาเป็นเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ซึ่งมีการติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนพีโซมิเตอร์ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Piezometric Head กับระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ และปัจจัยอื่นๆ เช่น ปริมาณฝน และระดับน้ำใต้ดินด้านท้ายเขื่อน ที่อาจมีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลรายวัน มีรายละเอียดดังนี้

1. พื้นที่ศึกษาและการคัดเลือกข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์มีการติดตั้ง Piezometer จำนวน 4 แห่ง ได้แก่ KM. 2+450 (8 ตำแหน่ง) , KM.2+950 (8 ตำแหน่ง), KM. 3+650 (8 ตำแหน่ง) และ KM.3+700 (18 ตำแหน่ง ซ้ำรูปทั้งหมด) มีการตรวจวัดแบบรายวัน และจัดเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 เป็นต้นมา โดยพิโซมิเตอร์ 1 แห่งจะมีการติดตั้งหัววัดในระดับที่ต่างกันตามส่วนประกอบของเขื่อน โดยแบ่งตามส่วนประกอบของเขื่อนได้ดังนี้ 1) ส่วนฐานราก (P1, P4) 2) ส่วนแกนเขื่อน (P2, P3) 3) ส่วนชั้นระบายน้ำ (P5, P7) 4) ส่วนลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ

(P6, P8) แสดงดัง Figure 1 (กรมชลประทาน, 2562) จากการตรวจสอบพบว่าพิโซมิเตอร์มีข้อมูลไม่ต่อเนื่องหลายปี บางตำแหน่งมีการแปลผลที่ไม่น่าเชื่อถือ เนื่องจากค่าระดับน้ำที่ได้จากการแปลผลมีค่าสูงผิดปกติ การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2563-2566 ของ KM. 2+450 (5 ตำแหน่ง), KM.2+950 (5 ตำแหน่ง), KM. 3+650 (7 ตำแหน่ง) รวมเป็นจำนวน 17 ตำแหน่ง เพื่อให้ข้อมูลใกล้เคียงกับพฤติกรรมในปัจจุบัน

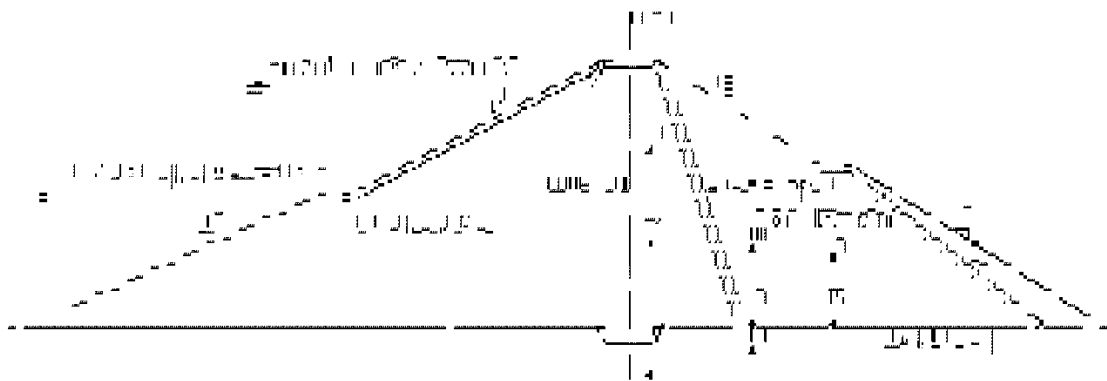


Figure 1 Cross section of the dam showing the installation of piezometer heads. KM.3+650 (ที่มา :กรมชลประทาน, 2562)

2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย (Simple Linear Regression Analysis, SLR)

เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขั้นพื้นฐาน โดยเป็นการหาค่าความสัมพันธ์ของระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำที่มีต่อค่า Piezometric Head โดยกำหนดให้ค่า Piezometric Head เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable) และค่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ตามสมการที่ (1)

$$y = \beta_1 X + \beta_0 \quad (1)$$

เมื่อ x คือ ค่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ, y คือ ค่า Piezometric Head, β_0 และ β_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบตัวแปรอิสระหลายตัว (Multiple Linear Regression Analysis, MLR)

เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยการเพิ่มตัวแปรอื่นๆที่อาจมีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ ตามสมการที่ (2) ในงานวิจัยนี้จะเพิ่มข้อมูลฝนที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดของเขื่อน เนื่องจากตำแหน่งของพิโซมิเตอร์ในส่วนของแกนเขื่อน (P2, P3) ส่วนของลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ (P6, P8) ซึ่งฝังใกล้กับผิวของตัวเขื่อน และเพิ่มข้อมูลตรวจวัดจากบ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well, OW) จำนวน 4 แห่ง ซึ่งอยู่ด้านท้ายของตัวเขื่อนถัดออกไปจากตำแหน่งพิโซมิเตอร์ในส่วนชั้นระบายน้ำ (P5, P7)

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (2)$$

เมื่อ $x_1, x_2, \dots, x_n$ คือ ตัวแปรอิสระ, y คือ ตัวแปรตาม, β_0 คือ ค่าคงที่ และ $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์การถดถอยด้วยตัวแปรจำลอง (Dummy Variable Regression Analysis, DVR)

เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของระดับในอ่างเก็บน้ำในรูปแบบรายเดือนที่อาจจะมีอิทธิพลต่อค่า Piezometric Head โดยกำหนดให้ ค่า Piezometric Head เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable) ค่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) และกำหนดให้ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือนเป็นตัวแปรจำลอง (Dummy Variable) ตามสมการที่ (3)

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 D_1 + \beta_3 D_2 + \dots \quad (3)$$

เมื่อ x_1 คือ ค่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ, y คือ ค่า Piezometric Head, D_1, D_2 คือ ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำแต่ละเดือนเป็นตัวแปรจำลอง, β_0 คือ ค่าคงที่ β_1 คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่อเนื่อง และ β_2, β_3 คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรจำลอง

5. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, R)

เป็นตัวบ่งชี้ความสัมพันธ์ของข้อมูล ซึ่งมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งหากมีค่าใกล้ 1 หมายถึงข้อมูลมีความสัมพันธ์กันโดยตรง หากมีค่าใกล้ -1 หมายถึงข้อมูลมีความสัมพันธ์แบบผกผัน และหากมีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน คำนวณได้ตามสมการที่ (4)

$$R = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (4)$$

เมื่อ R คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์, n คือ จำนวนคู่ของข้อมูล, X คือ ค่าในชุดข้อมูลตัวแปรอิสระ, Y คือ ค่าในชุดข้อมูลตัวแปรตาม

6. เกณฑ์ Akaike Information Criteria (AIC)

(Akaike, 1973) เกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบซึ่งสร้างจากการประมาณความแปรปรวนของข้อสนเทศคูลส์แบล็ค-ไลท์เบอร์ (Kullback Leibler Information) ระหว่างตัวแบบจริงกับตัวแบบที่

เหมาะสม ทั้งนี้ตัวแบบที่ดีที่สุดจะมีค่า AIC ต่ำสุดตามสมการที่ (5)

$$AIC = n \cdot \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + 2p \quad (5)$$

เมื่อ n คือ ขนาดตัวอย่าง, SSE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองของแบบจำลองการถดถอย p คือ จำนวนพารามิเตอร์ในแบบจำลองการถดถอย, $\ln$ คือ ลอการิทึมธรรมชาติ

7. เกณฑ์ Bayesian Information Criterion (BIC)

(Sawa, 1978) พัฒนาเกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบที่ได้มาจากการดัดแปลงแบบเบส์ของเกณฑ์ AIC เรียกว่า ซึ่งเกณฑ์ BIC จะเลือกตัวแบบที่ให้ค่า BIC ต่ำสุด เป็นตัวแบบที่ถูกต้อง ตามสมการที่ (6)

$$BIC = n \cdot \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + \frac{2(p+1)n\sigma^2}{SSE} + \frac{n^2\sigma^4}{SSE^2} \quad (6)$$

เมื่อ n คือ ขนาดตัวอย่าง, SSE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองของแบบจำลองการถดถอย p คือ จำนวนพารามิเตอร์ในแบบจำลองการถดถอย, σ^2 คือ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของแบบจำลองการถดถอย

8. ค่าสัมประสิทธิ์การพองตัวของความแปรปรวน Variance Inflation Factor (VIF)

หรือปัจจัยการขยายตัวของความแปรปรวนเป็นดัชนีที่ใช้ตรวจสอบระดับความรุนแรงของปัญหาภาวะร่วมเชิงเส้นพหุ (Multicollinearity) ในโมเดลถดถอยพหุคูณ โดยวัดว่าค่าความแปรปรวนของสัมประสิทธิ์ถดถอยของตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่งเพิ่มขึ้นมากน้อยเพียงใด อันเนื่องมาจากความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรอิสระตัวอื่น ๆ ในโมเดล ตามสมการที่ (7)

$$VIF_j = \frac{1}{1-R_j^2} \quad (7)$$

เมื่อ R_j^2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสองที่ได้จากการถดถอยตัวแปร X_j กับตัวแปรอิสระที่เหลือทั้งหมด

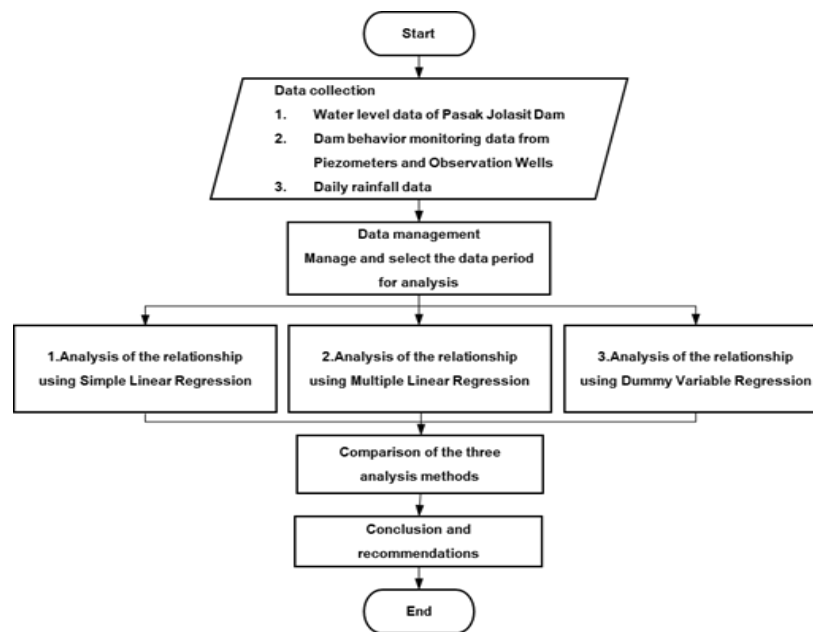


Figure 2 Flowchart of the study procedure.

ผลการศึกษา

1. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย (SLR)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Piezometric Head กับระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) อยู่ในช่วง 0.05 - 0.70 แสดงใน Table 4 ซึ่งมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำถึงปานกลาง โดยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ด้านท้ายน้ำจะน้อยกว่าด้านเหนือน้ำ เว้นแต่พิโซมิเตอร์ในตำแหน่งของ P5, P6 และ P8 ที่ KM.2+450 ที่มีค่า R

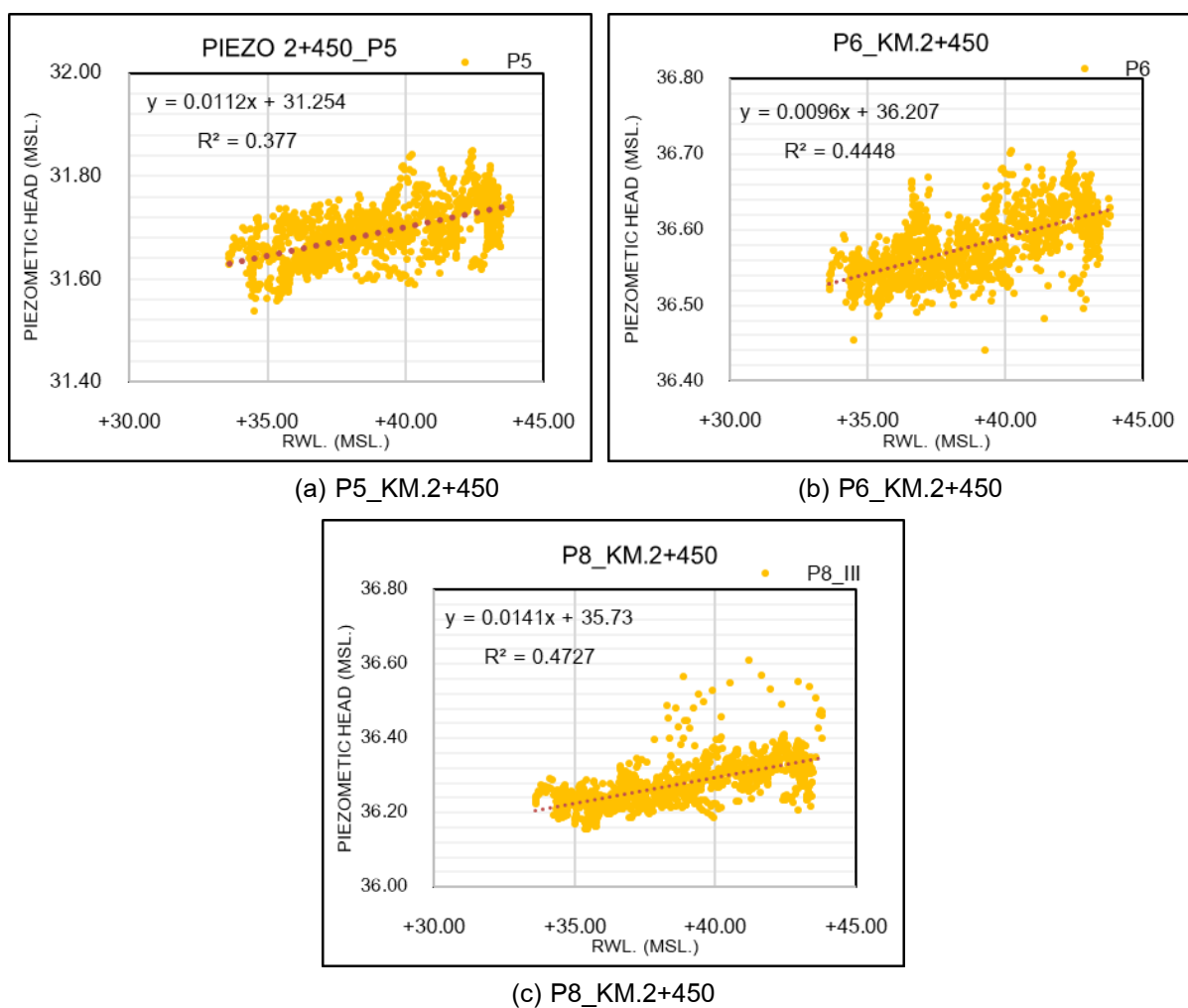
เท่ากับ 0.61, 0.67 และ 0.69 ตามลำดับ แสดงดัง Figure 3 (a)-(c) ซึ่งบ่งชี้ว่า Piezometric Head ความสัมพันธ์ที่ดีกับระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ เพราะลักษณะพฤติกรรมที่ค่า Piezometric Head มีการเปลี่ยนแปลงตามระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ และในตำแหน่งของ P3, P4 ที่ KM.2+450 มีค่า R เท่ากับ 0.07, 0.05 อาจเป็นผลมาจากตำแหน่ง P3 ที่อยู่ในส่วนแกนเขื่อนด้านบนของตัวเขื่อน และ P4 อยู่ในส่วนฐานรากด้านท้ายน้ำ จึงทำให้ระดับน้ำในอ่าง ฯ มีอิทธิพลต่อค่า Piezometric Head น้อย ผลการวิเคราะห์แสดงดังตาม Table 1

Table 1 Results of Simple Linear Regression Analysis

NO.	Simple Linear Regression Equation
KM.2+450	PI1 = 15.968 + (0.431 * RWL)
	PI4 = 27.947 + (0.0155 * RWL)
	PI5 = 31.254 + (0.0112 * RWL)
	PI6 = 36.207 + (0.00959 * RWL)
	PI8 = 35.730 + (0.0141 * RWL)
KM.2+950	PI1 = 27.719 + (0.119 * RWL)
	PI2 = 31.821 + (0.174 * RWL)
	PI3 = 39.035 + (0.0246 * RWL)
	PI4 = 36.512 + (0.000690 * RWL)
	PI6 = 38.217 + (0.0156 * RWL)

Table 1 Results of Simple Linear Regression Analysis (continue)

NO.	Simple Linear Regression Equation
KM.3+650	PI1 = 16.262 + (0.0414 * RWL)
	PI2 = 30.115 + (0.0886 * RWL)
	PI4 = 15.732 + (0.176 * RWL)
	PI5 = 18.801 + (0.182 * RWL)
	PI6 = 23.904 + (0.0804 * RWL)
	PI7 = 15.820 + (0.182 * RWL)
	PI8 = 22.190 + (0.0161 * RWL)

**Figure 3** Relationship between Reservoir Water Level (RWL) and Piezometric Head

2. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบตัวแปรอิสระหลายตัว (MLR)

เมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระปริมาณน้ำฝน และค่าระดับน้ำใต้ดินด้านท้ายเขื่อนในการวิเคราะห์

ความสัมพันธ์ ผลการทดสอบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 0.26 – 0.72 แสดงใน Table 4 ความสัมพันธ์ของพีโซมิเตอร์ในส่วนของแกนเขื่อน และลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำเพิ่มขึ้น เช่น ที่ตำแหน่ง P3 KM.2+950 จากเดิม ค่า

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.07 เป็น 0.51 บ่งชี้ว่าปริมาณน้ำฝนมีอิทธิพลต่อค่า Piezometric Head เช่นกัน เมื่อพิจารณา Table 5 วิธีวิเคราะห์แบบ MLR มีปัญหา Multicollinearity รุนแรง ($VIF > 10$)

เช่น พิโซมิเตอร์ในตำแหน่ง P4 ที่ KM.2+450 อาจเป็นผลมาจากข้อมูลของระดับน้ำใต้ดินด้านท้ายเขื่อนมีความสัมพันธ์กันเองสูง ผลการวิเคราะห์แสดงดัง Table 2

Table 2 Results of Multiple Regression Analysis

NO.	Multiple Regression Equation
KM.2+450	PI1 = 16.676 + (0.41*RWL) + (0.036*RAIN) + (0.76*OW5) - (0.06*OW2.2)
	PI4 = 28.041 + (0.013 * RWL) + (0.017 * OW5) - (0.057 * OW4) + (0.050 * OW3) - (0.004 * OW2.2)
	PI5 = 31.258 + 0.011* RWL-0.000363*RAIN
	PI6 = 36.214 + 0.009* RWL-0.001*RAIN
	PI8 = 35.704 + (0.015 * RWL) + (0.001 * RAIN) - (0.006 * OW2.2) + (0.032 * OW3) - (0.023 * OW4)
KM.2+950	PI1 = 28.835 + (0.088 * RWL)+ (0.143 * OW5) - (0.043 * OW2.2) + (0.011*RAIN) - (0.098 * OW3)
	PI2 = 32.185+0.11*RAIN+0.157*RWL+0.132*OW5-0.116* OW2.2
	PI3 = 38.946 + (0.076 * RAIN) + (0.022 * RWL) + (0.08 * OW5) - (0.0780 * OW2.2)
	PI4 = 36.476 - (0.005 * OW2.2) + (0.015 * OW3) - (0.009 * OW5) + (0.002 * RWL)
	PI6 = 38.217 + (0.016 * RWL)
KM.3+650	PI1 = 16.392 + (0.038 * RWL) + (0.009 * OW5) - (0.007 * OW2.2)
	PI2 = 30.471 + (0.078 * RWL) + (0.014 * RAIN) + (0.039 * OW5) - (0.033 * OW2.2)
	PI4 = 17.315 + (0.132 * RWL) + (1.635 * OW4) - (0.1705 * OW3) + (0.013 * RAIN) - (0.063 * OW2.2)
	PI5 = 20.373 + (0.138 * RWL) + (1.615 * OW4)- (1.683 * OW3) + (0.013 * RAIN) - (0.063 * OW2.2)
	PI6 = 25.281 + (0.0428 * RWL) + (1.268 * OW4) - (1.318 * OW3) - (0.052 * OW2.2)
	PI7 = 17.562 + (0.134 * RWL) + (1.577 * OW4) - (1.617 * OW3) - (0.08 * OW2.2) + (0.0141 * RAIN)
	PI8 = 22.121 + (0.018 * RWL) + (0.017 * RAIN) + (0.279 * OW4) - (0.278 * OW3) + (0.0152 * OW5)

3. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์การถดถอยด้วยตัวแปรจำลอง (DVR)
เมื่อปรับค่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (แบบรายเดือน) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบบตัวแปรจำลอง ผลการทดสอบพบว่า

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 0.43 - 0.81 แสดงใน Table 4 ซึ่งมากที่สุดในการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี รวมถึงเกณฑ์ VIF, AIC และ BIC ตาม Table 5 เว้นแต่ พิโซมิเตอร์ที่ KM.3+650 ที่ตำแหน่ง P4 ถึง P8 ผลการวิเคราะห์แสดงดัง Table 3

Table 3 Results of Dummy Variable Regression

NO.	Dummy Variable Regression Equation
KM.2+450	$P1 = -8.486 + (1.02 \cdot RWL) + (4.622 \cdot SEP) + (4.674 \cdot AUG) + (4.252 \cdot JUL) + (3.87 \cdot JUN) + (2.854 \cdot MAY) + (1.707 \cdot APR) + (0.838 \cdot MAR) - (1.236 \cdot DEC) - (0.963 \cdot NOV) - (0.364 \cdot JAN)$
	$P4 = 27.644 + (0.023 \cdot RWL) + (0.06 \cdot SEP) + (0.066 \cdot JUL) + (0.061 \cdot JUN) - (0.033 \cdot NOV) - (0.023 \cdot JAN) + (0.031 \cdot MAY) + (0.025 \cdot APR)$
	$P5 = 31.105 + (0.015 \cdot RWL) - (0.048 \cdot OCT) - (0.041 \cdot NOV) + (0.013 \cdot JUL) + (0.01 \cdot JUN)$
	$P6 = 36.397 + (0.004 \cdot RWL) + (0.06 \cdot JAN) + (0.052 \cdot FEB) + (0.062 \cdot DEC) + (0.031 \cdot MAR) + (0.035 \cdot NOV) + (0.022 \cdot APR) + (0.015 \cdot OCT) - (0.01 \cdot JUL) - (0.006 \cdot JUN)$
	$P8 = 35.665 + (0.016 \cdot RWL) + (0.058 \cdot SEP) - (0.023 \cdot OCT) - (0.015 \cdot NOV) - (0.015 \cdot MAY) + (0.018 \cdot AUG) + (0.022 \cdot JAN) + (0.018 \cdot FEB) + (0.012 \cdot DEC)$
KM.2+950	$P1 = 16.951 + (0.376 \cdot RWL) + (1.911 \cdot SEP) + (2.185 \cdot AUG) + (2.207 \cdot JUL) + (1.925 \cdot JUN) + (1.254 \cdot MAY) + (0.704 \cdot APR) - (0.527 \cdot NOV) - (0.269 \cdot DEC) + (0.363 \cdot MAR) + (0.217 \cdot OCT)$
	$P2 = 14.358 + (1.787 \cdot SEP) - (2.264 \cdot OCT) - (4.028 \cdot MAR) - (4.682 \cdot FEB) - (4.932 \cdot JAN) + (0.679 \cdot RWL) + (0.996 \cdot AUG) - (4.756 \cdot DEC) - (2.793 \cdot APR) - (3.711 \cdot NOV) - (0.843 \cdot MAY) + (0.396 \cdot JUL)$
	$P3 = 34.967 + (2.823 \cdot SEP) + (1.521 \cdot OCT) + (1.244 \cdot AUG) + (0.356 \cdot NOV) + (0.958 \cdot MAY) + (0.717 \cdot JUN) + (0.768 \cdot JUL) + (0.112 \cdot RWL) + (0.332 \cdot APR) - (0.303 \cdot DEC)$
	$P4 = 36.532 + (0.047 \cdot FEB) - (0.029 \cdot NOV) + (0.033 \cdot JAN) + (0.027 \cdot MAR) + (0.025 \cdot DEC) + (0.019 \cdot APR) - (0.012 \cdot JUN) - (0.011 \cdot JUL) - (0.007 \cdot AUG)$
	$P6 = 37.576 + (0.033 \cdot RWL) - (0.17 \cdot NOV) - (0.15 \cdot OCT) - (0.107 \cdot DEC) - (0.078 \cdot JAN) + (0.035 \cdot AUG) + (0.024 \cdot JUL) - (0.036 \cdot MAY) - (0.029 \cdot FEB) - (0.023 \cdot JUN)$
KM.3+650	$P1 = 16.631 + (0.031 \cdot RWL) + (0.119 \cdot OCT) + (0.059 \cdot SEP) + (0.08 \cdot JAN) + (0.084 \cdot DEC) + (0.065 \cdot NOV) + (0.036 \cdot FEB)$
	$P2 = 24.839 + (0.211 \cdot RWL) + (1.222 \cdot SEP) + (1.156 \cdot AUG) + (1.112 \cdot JUL) + (1.02 \cdot JUN) + (0.834 \cdot MAY) + (0.368 \cdot OCT) + (0.473 \cdot APR) + (0.278 \cdot MAR) - (0.093 \cdot DEC)$
	$P4 = 9.038 + (0.33 \cdot RWL) + (1.079 \cdot OCT) + (1.697 \cdot SEP) + (1.746 \cdot AUG) - (0.559 \cdot DEC) + (1.351 \cdot JUL) + (1.154 \cdot JUN) + (0.884 \cdot MAY) + (0.653 \cdot APR) + (0.457 \cdot MAR) + (0.251 \cdot FEB)$
	$P5 = 11.008 + (0.362 \cdot RWL) + (1.087 \cdot OCT) + (1.877 \cdot SEP) + (1.973 \cdot AUG) - (0.545 \cdot DEC) + (1.591 \cdot JUL) + (1.372 \cdot JUN) + (1.048 \cdot MAY) + (0.782 \cdot APR) + (0.543 \cdot MAR) + (0.292 \cdot FEB)$
	$P6 = 23.397 + (0.613 \cdot OCT) + (0.092 \cdot RWL) + (0.401 \cdot SEP) - (0.433 \cdot DEC) + (0.276 \cdot AUG) - (0.232 \cdot JAN) - (0.141 \cdot FEB)$
	$P7 = 8.933 + (0.34 \cdot RWL) + (1.15 \cdot OCT) + (1.833 \cdot SEP) + (1.845 \cdot AUG) - (0.461 \cdot DEC) + (1.444 \cdot JUL) + (1.239 \cdot JUN) + (0.943 \cdot MAY) + (0.698 \cdot APR) + (0.491 \cdot MAR) + (0.275 \cdot FEB)$
	$P8 = 21.937 + (0.553 \cdot SEP) + (0.249 \cdot OCT) + (0.021 \cdot RWL) + (0.072 \cdot AUG)$

Table 4 Results of Regression Analysis

No.	Site.	Simple Linear Regression			Multiple Linear Regression			Dummy Variable Regression		
		R	Std. Error	Sig.	R	Std. Error	Sig.	R	Std. Error	Sig.
2+450_P1	Foundation	0.55	1.91	0.00	0.57	1.88	0.00	0.79	1.40	0.00
2+450_P4	Foundation	0.38	0.11	0.00	0.43	0.11	0.00	0.43	0.11	0.00
2+450_P5	Blanket Drain	0.61	0.04	0.00	0.62	0.04	0.00	0.68	0.04	0.00
2+450_P6	D/S Random Zone	0.67	0.03	0.00	0.68	0.03	0.00	0.81	0.03	0.00
2+450_P8	D/S Random Zone	0.69	0.04	0.00	0.72	0.04	0.00	0.77	0.04	0.00
2+950_P1	Foundation	0.31	1.03	0.00	0.38	1.01	0.00	0.63	0.84	0.00
2+950_P2	Core Zone	0.22	2.29	0.00	0.41	2.13	0.00	0.79	1.44	0.00
2+950_P3	Core Zone	0.07	1.09	0.02	0.51	0.94	0.00	0.72	0.76	0.00
2+950_P4	Foundation	0.05	0.04	0.07	0.26	0.04	0.00	0.55	0.03	0.00
2+950_P6	D/S Random Zone	0.49	0.08	0.00	0.49	0.08	0.00	0.66	0.07	0.00
3+650_P1	Foundation	0.70	0.12	0.00	0.71	0.12	0.00	0.72	0.12	0.00
3+650_P2	Core Zone	0.48	0.47	0.00	0.55	0.45	0.00	0.78	0.34	0.00
3+650_P4	Foundation	0.46	0.98	0.00	0.72	0.77	0.00	0.67	0.82	0.00
3+650_P5	Blanket Drain	0.47	0.99	0.00	0.71	0.79	0.00	0.69	0.82	0.00
3+650_P6	D/S Random Zone	0.31	0.70	0.00	0.71	0.52	0.00	0.48	0.64	0.00
3+650_P7	Blanket Drain	0.46	1.03	0.00	0.70	0.82	0.00	0.66	0.87	0.00
3+650_P8	D/S Random Zone	0.16	0.33	0.00	0.53	0.26	0.00	0.50	0.29	0.00

Table 5 Model Diagnostics and Information Criteria for SLR, MLR, and DVR.

No.	Simple Linear Regression			Multiple Linear Regression			Dummy Variable Regression		
	VIF <10	AIC	BIC	VIF <10	AIC	BIC	VIF <10	AIC	BIC
2+450_P1	1.00	1777.64	5684.95	22.20	1743.52	5647.83	3.46	931.70	4829.01
2+450_P4	1.00	-6018.75	-2182.41	1350.45	-6067.43	-2235.09	2.01	-6068.31	-2238.97
2+450_P5	1.00	-8612.79	-4776.45	1.01	-8616.13	-4780.78	1.79	-8785.56	-4953.22
2+450_P6	1.00	-9542.35	-5637.88	1.01	-9575.13	-5671.66	3.81	-10168.47	-6273.00
2+450_P8	1.00	-8581.47	-4699.71	1316.26	-8680.58	-4802.82	3.28	-8890.42	-5016.66
2+950_P1	1.00	88.79	3913.78	162.30	26.23	3847.22	3.65	-443.34	3371.64
2+950_P2	1.00	2279.13	6194.95	22.21	2091.84	6004.67	3.89	1014.30	4919.12
2+950_P3	1.00	236.87	4152.69	22.21	-169.73	3743.10	3.65	-763.77	3143.06
2+950_P4	1.00	-8580.32	-4820.62	158.30	-8659.88	-4903.18	1.22	-9029.08	-5277.38
2+950_P6	1.00	-6928.09	-3026.46	1.00	-6928.09	-3026.46	3.77	-7304.35	-3411.72
3+650_P1	1.00	-5560.37	-1800.67	20.28	-5616.33	-1858.64	2.98	-5627.56	-1873.87
3+650_P2	1.00	-2053.24	1797.29	22.10	-2170.52	1677.01	3.15	-2949.32	892.22
3+650_P4	1.00	-66.03	3770.31	1275.61	-700.67	3131.67	3.48	-512.17	3314.17
3+650_P5	1.00	-31.69	3804.65	1275.61	-633.79	3198.55	3.48	-536.12	3290.22
3+650_P6	1.00	-976.91	2870.78	1311.90	-1770.73	2073.97	1.68	-1185.02	2656.68
3+650_P7	1.00	67.95	3918.48	1312.40	-525.61	3320.92	3.50	-372.24	3468.30
3+650_P8	1.00	-2972.15	864.19	899.70	-3631.09	201.25	1.27	-3316.95	516.39

4. การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางสถิติทั้ง 3 รูปแบบ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าวิธี DVR เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดเมื่อ พิจารณาโดยใช้ค่าทางสถิติ R, Std. Error, VIF, AIC และ BIC ตาม Table 4 and Table 5 โดยจะใช้เกณฑ์การคัดเลือกจากวิธีที่ให้ค่า R ที่ดีที่สุด และ ค่า Std. Error, VIF, AIC และ BIC ต่ำสุด แสดงดัง Table 6 เว้นแต่ที่

KM.3+650 พิโซมิเตอร์ในส่วนฐานรากด้านท้ายน้ำ (P4) ส่วนชั้นระบายน้ำ (P5, P7) และส่วนลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ (P6, P8) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย MLR จะสูงกว่าวิธี DVR เป็นผลมาจากลักษณะพฤติกรรมที่เกิดที่ KM.3+650 จาก Figure 4 (a) ถึง (e) และ (g) ถึง (h) ลักษณะค่า Piezometric Head จะมีการเปลี่ยนแปลงตามระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ ณ ตำแหน่งนี้การวิเคราะห์ด้วยวิธี DVR จะให้ค่า

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ เว้นแต่
พีโซมิเตอร์ตำแหน่ง P4 ถึง P8 ที่ลักษณะค่า
Piezometric Head จะมีการเปลี่ยนแปลงตามระดับน้ำ
ในอ่างเก็บน้ำ เฉพาะช่วงเวลาที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ

ปรับตัวสูงขึ้น ตาม Figure 4 (f) และ (i) จึงทำให้การ
วิเคราะห์ด้วยวิธี DVR ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
รวมถึงเกณฑ์ AIC และ BIC ต่ำกว่าวิธี MLR

Table 6 Summary of Regression Model Selection Using Statistical Criteria

No.	R	Std. Error	VIF <10	AIC	BIC
2+450_P1	DVR	DVR	DVR	DVR	DVR
2+450_P4	DVR	DVR	DVR	DVR	DVR
2+450_P5	DVR	DVR	MLR	DVR	DVR
2+450_P6	DVR	DVR	MLR	DVR	DVR
2+450_P8	DVR	DVR	DVR	DVR	DVR
2+950_P1	DVR	DVR	DVR	DVR	DVR
2+950_P2	DVR	DVR	DVR	DVR	DVR
2+950_P3	DVR	DVR	DVR	DVR	DVR
2+950_P4	DVR	DVR	DVR	DVR	DVR
2+950_P6	DVR	DVR	MLR	DVR	DVR
3+650_P1	DVR	DVR	DVR	DVR	DVR
3+650_P2	DVR	DVR	DVR	DVR	DVR
3+650_P4	MLR	MLR	DVR	MLR	MLR
3+650_P5	MLR	MLR	DVR	MLR	MLR
3+650_P6	MLR	MLR	DVR	MLR	MLR
3+650_P7	MLR	MLR	DVR	MLR	MLR
3+650_P8	MLR	MLR	DVR	MLR	MLR

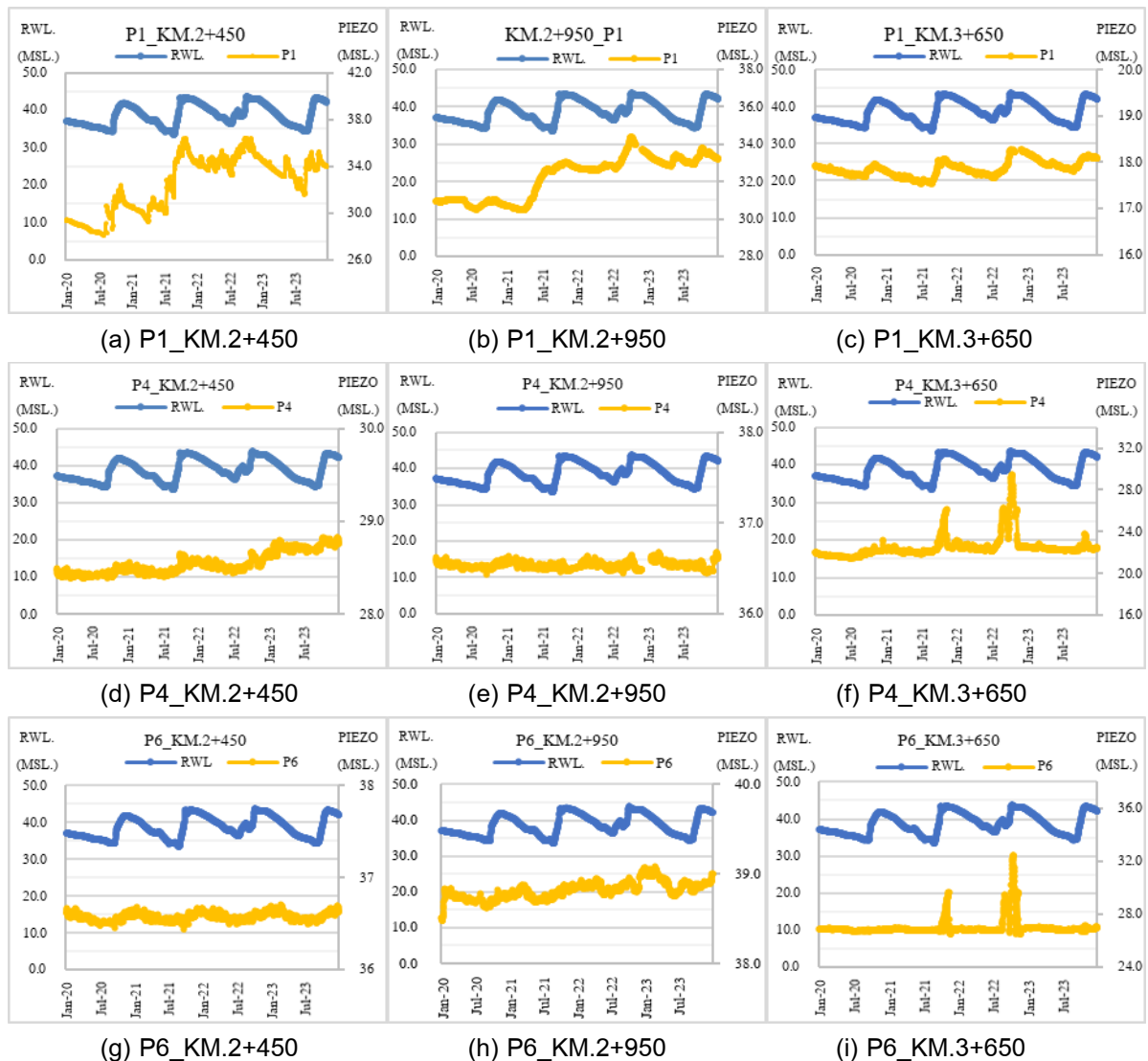


Figure 4 Graph showing the Piezometric Head and reservoir water level according to the positions of the piezometers.

สรุปผลการศึกษา

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่า Piezometric Head ของเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน ด้วยวิธีการทางสถิติทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าวิธี SLR เป็นวิธีที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) น้อยที่สุดคืออยู่ในช่วง 0.05 - 0.70 โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ด้านท้ายน้ำจะน้อยกว่าด้านเหนือน้ำ วิธี MLR ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเพิ่มขึ้นมาจากวิธี SLR คืออยู่ในช่วง 0.26 - 0.72 แต่มีปัญหา Multicollinearity เป็นผลมาจากข้อมูลของระดับน้ำใต้ดินด้านท้ายเขื่อนมีความสัมพันธ์กันเองสูง และวิธี DVR เป็นวิธีที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุดคืออยู่ในช่วง 0.43 - 0.81 รวมถึงให้ค่าเกณฑ์ VIF, AIC และ BIC ที่ดีที่สุด

วิจารณ์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่า Piezometric Head ของเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน ด้วยวิธีการทางสถิติทั้ง 3 รูปแบบ วิธีการวิเคราะห์ด้วยการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (SLR) เป็นวิธีการพื้นฐานและสะดวกที่สุด แต่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ต่ำที่สุด เหมาะสำหรับอธิบายพฤติกรรมของพิโซมิเตอร์ด้านเหนือน้ำ วิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบตัวแปรอิสระหลายตัว MLR ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะพิโซมิเตอร์ในตำแหน่งที่ได้รับอิทธิพลของปริมาณน้ำฝน และระดับน้ำใต้ดินท้ายเขื่อน แต่จะมีปัญหา Multicollinearity ที่ค่อนข้างสูง และวิธีวิเคราะห์การ

ถดถอยด้วยตัวแปรจำลอง DVR เป็นการหาความสัมพันธ์โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของระดับในอ่างเก็บน้ำซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ดีที่สุด ลดปัญหา Multicollinearity และค่าของเกณฑ์ AIC และ BIC ดีที่สุด อีกทั้งการศึกษาในครั้งนี้มีข้อจำกัดด้านข้อมูลการตรวจวัดในระยะสั้น ซึ่งอาจจะทำให้ยังไม่ครอบคลุมเพียงพอ จะในการศึกษาครั้งต่อไป ควรพิจารณาเพิ่มจำนวนข้อมูลที่วิเคราะห์ ให้ครอบคลุมหลายฤดูกาล เพื่อให้สามารถอธิบายพฤติกรรมเขื่อนได้ดียิ่งขึ้น และควรคัดเลือกข้อมูลตัวแทนจากกลุ่มเครื่องมือชนิดเดียวกันแทนการใช้ข้อมูลทั้งหมดเพื่อเป็นการลดปัญหา Multicollinearity ไม่ให้เกิดความสัมพันธ์กันเองของข้อมูล แล้วอาจจะต้องมีการศึกษาความสัมพันธ์กับเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนอื่น ๆ ที่มีการติดตั้งด้วย เพื่อเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือมากขึ้น อย่างไรก็ตามความเหมาะสมของวิธีการวิเคราะห์ที่จะประยุกต์ใช้ควรพิจารณาตามตำแหน่งของพีโซมิเตอร์ และสอดคล้องกับลักษณะพฤติกรรมในปัจจุบัน ทั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการบริหารจัดการเขื่อนปากชลสิทธิ์สำหรับความมั่นคงปลอดภัย อีกทั้งการใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติทั้ง 3 รูปแบบสามารถตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดจากอิทธิพลจากน้ำฝน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อไปในการปรับปรุงวิธีการติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนได้ เพื่อลดปัจจัยอื่นที่นอกเหนือจากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำที่มีอิทธิพลต่อการแปลผลของพีโซมิเตอร์ด้วย

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. (2562). งานศึกษาเกณฑ์ความปลอดภัยจากเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนปากชลสิทธิ์ จังหวัดลพบุรี. ส่วนความปลอดภัยเขื่อน สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา

Akaike, H. (1973). Information Theory and an Extension of the Maximum Likelihood Principle. In B. N. Petrov & F. Csaki (Eds.), *Proceedings of the Second International*

Symposium on Information Theory (pp. 267-281). Akadémiai Kiadó.

Leyla, H., Nadia, S., & Bouchrit, R. (2022). Modeling and predictive analyses related to piezometric level in an earth dam using a back propagation neural network in comparison on non-linear regression. *Modeling Earth Systems and Environment*, 9(1), 1169-1180. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01558-5>

Sawa, T. (1978). Information Criteria for Discriminating among Alternative Regression Models. *Econometrica*, 46(6), 1273-1282.

Stojanovic, B., Milivojevic, M., Ivanovic, M., Milivojevic, N., & Divac, D. (2013). Adaptive system for dam behavior modeling based on linear regression and genetic algorithms. *Advances in Engineering Software*, 65, 182-190. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.06.019>

Sun, Y., Duan, X., & Li, J. (2021). Safety state monitoring analysis of seepage from Daban Reservoir. *Journal of Physics: Conference Series*, 2031, 012005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2031/1/012005>

Tian, H., Qin, G., Liao, C., & Lin, P. (2020). Application Study of Univariate Linear Regression Model in Seepage Pressure Analysis of Earth Dam Taking Dongzhen Reservoir in Fujian Province as an Example. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 525., 12103. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/525/1/012103>