วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ปีที่ 25 ฉบับที่ 1 (2562) 28-36
Available online at www.tci-thaijo.org/index.php/TSAEJ
บทความวิจัย
ISSN 1685-408X (Print)

การพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบเพื่อการทำนายระดับน้ำเขื่อนสิริกิติ์

Development of Design Flood Hydrograph for the Prediction of Reservoir Water Level of Sirikit Dam

อารียา ฤทธิมา[1]*, กอบกล้า จันทนสถาน[1], ภานุพงศ์ ประจักษ์คุณ[1], พิชญ์ชาวี แสงเทียน[1], ยุทธนา ตาละลักษมณ์[2]

Areeya Rittima[1]*, Kobkla Chanthanasathan[1], Phanupong Prachakkhun[1], Pitchawee Sangtien[1], Yutthana Talaluxmana[2]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม, 73170

[1]Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Enginering, Mahidol University, Nakorn Pathom, 73170

[2]ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 10900

[2]Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, 10900

*Corresponding author: Tel: +66-2889-2138 ext. 6384, Fax: +66-2889-2138 ext. 6388, E-mail: areeya.rit@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบ (Design Flood Hydrograph) เพื่อทำนายระดับน้ำของเขื่อนสิริกิติ์ในช่วงสถานการณ์น้ำหลากวิกฤตโดยอาศัย 2 วิธีหลักได้แก่ (1) วิธีแบบดั้งเดิม (Conventional method) ซึ่งอาศัยสมการ Discrete Convolution ในการคำนวณ และ (2) วิธีการศึกษาจากกราฟน้ำท่วมตัวอย่าง (Typical flood hydrograph method) ซึ่งพิจารณาเหตุการณ์น้ำท่วมจากค่าอัตราการไหลของน้ำสูงสุดและปริมาตรน้ำสูงสุด ประกอบด้วย (2.1) วิธีอัตราการไหลสูงสุด (Peak Amplitude method, PA) (2.2) วิธีปริมาตรน้ำสูงสุด (Volume amplitude method, VA) และ (2.3) วิธีอัตราการไหลสูงสุด-ปริมาตรน้ำสูงสุด (Peak-volume amplitude method, PVA) กราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่พัฒนาขึ้นนี้ถูกใช้เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำสำหรับทำนายระดับน้ำสูงสุดของอ่างเก็บน้ำที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ผลการศึกษาพบว่าวิธีดั้งเดิมมีค่าอัตราการไหลสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำ 100 300 500 1,000 1,500 3,000 และ 5,000 ปี ต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ ในขณะที่ค่าอัตราการไหลสูงสุดที่ได้จากวิธีการศึกษาจากกราฟน้ำท่วมตัวอย่างทั้ง 3 วิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่ได้จากรายงานผลการศึกษาความเหมาะสมของเขื่อนสิริกิติ์ตามความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดและปริมาณความเข้มฝนส่วนเกินที่ใช้ นอกจากนี้ค่าระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.91-9.24 เมตร เหนือสันทางระบายน้ำล้นหากคลื่นน้ำท่วมจากกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่รอบปีการเกิดซ้ำตั้งแต่ 100-5,000 ปี ไหลหลากเข้าอ่างเก็บน้ำ

คำสำคัญ: กราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบ, การทำนายระดับน้ำ, เขื่อนสิริกิติ์

Abstract

This study aims to develop the Design Flood Hydrograph (DFH) for the purpose of water level prediction in reservoir of the Sirikit Dam during critical flood period. Two main methods; (1) conventional method using the discrete convolution equation, and (2) typical flood hydrograph method considering flood events based upon flood peak and volume namely; (2.1) Peak Amplitude Method, PA, (2.2) Volume Amplitude Method, VA, and (2.3) Peak-Volume Amplitude Method, PVA, were employed in this study. The design flood hydrograph was then used as the input data for the reservoir routing analysis to predict the maximum water levels in reservoir. The results showed that the peak discharges (Q_P) for 100, 300, 500, 1,000, 1,500, 3,000 and 5,000-year return periods done by the conventional method were the lowest values compared to those obtained from PA, VA, and PVA methods. The peak discharges achieved using PA, VA, and PVA methods were predominantly closer. Moreover, it also gave the similar results of design flood hydrograph as reported in the feasibility study of the Sirikit Dam due to the relation of peak flow and excess rainfall employed. In addition, it also showed that the maximum water levels in

Received: February 4, 2019
Revised: February 7, 2019
Accepted: February 7, 2019
Available online: February 11, 2019

reservoir were increased approximately 1.91-9.24 meters above the spillway crest when the peak flow of the developed flood hydrograph for 100-5,000-year return periods reached to the reservoir body.

Keywords: Design Flood Hydrograph, Reservoir Water Level Prediction, Sirikit Dam

1 บทนำ

กราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบ (Design flood hydrograph, DFH) เป็นกราฟแสดงขนาดน้ำท่วมสูงสุดกับเวลาที่พัฒนาขึ้นสำหรับใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบหาขนาดของทางระบายน้ำล้น (Spillway design) และออกแบบหาขนาดของโซนปริมาตรเก็บกักส่วนเกิน (Surcharge storage Zone) เพื่อควบคุมน้ำท่วมของอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้เพื่อสร้างความเชื่อมั่นด้านความมั่นคงและความปลอดภัยของตัวเขื่อน โดยทั่วไปกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบจะหมายถึงชลภาพการไหลของน้ำไหลเข้าเขื่อนที่ได้จากการคำนวณ (Computed inflow hydrograph) ซึ่งขนาดของค่าน้ำท่วมสูงสุดที่ได้ขึ้นอยู่กับช่วงความยาวและความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณน้ำฝนและข้อมูลน้ำท่าตรวจวัดที่นำมาวิเคราะห์ (Xiao et al., 2009) นอกจากนี้กราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่พัฒนาขึ้นจากฐานข้อมูลอุทกวิทยาปัจจุบันยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำนายการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำในช่วงสถานการณ์น้ำหลากวิกฤต โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำ (Reservoir routing) ที่สมมุติให้ปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเต็มความจุเก็บกักที่ระดับเก็บกักปกติ (Normal pool level) และควบคุมการระบายน้ำโดยอาศัยทางระบายน้ำล้นทั้งแบบมีประตูและไม่มีประตูควบคุม ซึ่งแนวทางดังกล่าวจะทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำและค่าระดับน้ำสูงสุดที่เป็นไปได้ของอ่างเก็บน้ำที่รอบปีการเกิดซ้ำ (Return period) ใด ๆ รวมถึงระดับน้ำท้ายเขื่อนที่สัมพันธ์การควบคุมการระบายน้ำในช่วงเวลาขณะนั้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ปฏิบัติงานในการหามาตรการควบคุมและบรรเทาความเสียหายรุนแรงจากเหตุการณ์น้ำท่วมทางท้ายเขื่อนในอนาคตเนื่องจากสามารถคาดการณ์ระดับน้ำสูงสุดทางด้านท้ายน้ำอันเป็นผลจากชลภาพการไหลเข้าของคลื่นน้ำท่วมขนาดใหญ่ ประกอบกับการปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำต้องดำเนินการภายใต้ความเสี่ยงอันเนื่องมาจากสถานะของน้ำเก็บกักเต็มความจุของอ่างเก็บน้ำนั่นเอง

การสร้างกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 วิธีหลักได้แก่ (1) วิธีแบบดั้งเดิม (Conventional method) (2) วิธีการพัฒนาจากกราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph Method) (3) วิธีการศึกษาจากกราฟน้ำท่วมตัวอย่าง (Typical flood hydrograph method) และ (4) วิธีทางสถิติ (Statistical method) (Yue et al., 2002; Xiao et al., 2009)

วิธีที่ 1 เป็นวิธีการสร้างกราฟน้ำท่วมสูงสุดแบบดั้งเดิม (Conventional method) ที่ส่วนใหญ่นิยมใช้โดยอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำฝนและข้อมูลน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดนำมาสร้างไฮเอทโตกราฟของฝนส่วนเกิน (Excess rainfall hyetograph) และกราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วย (Unit hydrograph) สำหรับนำมาคำนวณหากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบภายใต้สมมุติฐานหลักที่สำคัญคือลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ต้องมีความคล้ายคลึงกันและความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลน้ำท่าและปริมาณฝนสุทธิมีลักษณะเป็นเชิงเส้น นอกจากนี้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนต้องเป็นตัวแทนของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (Areal Mean Rainfall) ของพื้นที่ลุ่มน้ำอีกด้วย (Chow et al., 1988; Xiao et al., 2009) ในขณะที่กราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยสังเคราะห์ (Synthetic unit hydrograph method) จะถูกนำมาใช้แทนกราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยในการพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบโดยวิธีที่ 2

สำหรับวิธีที่ 3 เป็นการพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบโดยการศึกษาจากกราฟน้ำท่วมตัวอย่าง (Typical flood hydrograph method) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ปฏิบัติงานในสายงานที่เกี่ยวข้อง (Yue et al., 2002) แบ่งได้เป็น 3 วิธีย่อยคือ (1) วิธีอัตราการไหลสูงสุด (Peak amplitude method, PA) (2) วิธีปริมาตรน้ำสูงสุด (Volume amplitude method, VA) และ (3) วิธีอัตราการไหลสูงสุด-ปริมาตรน้ำสูงสุด (Peak-volume amplitude method, PVA) (Mediero et al., 2010) โดยหลักการแล้วกราฟน้ำท่วมที่มีอัตราการไหลสูงสุดหรือปริมาตรน้ำสูงสุดจะถูกเลือกจากฐานข้อมูลระยะยาวในอดีตเพื่อกำหนดเป็นกราฟน้ำท่วมตัวอย่าง (Typical flood hydrograph, TFH) หลังจากนั้นกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบ (Design flood hydrograph, DFH) จะถูกสร้างขึ้นจากผลคูณระหว่างค่า Amplifier กับค่าอัตราการไหลแต่ละช่วงเวลาของกราฟน้ำท่วมตัวอย่าง (TFH) เพื่อทำการปรับแก้ โดยที่ Amplifier เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างค่าอัตราการไหลสูงสุดออกแบบที่รอบปีการเกิดซ้ำใด ๆ (Design peak) กับค่าอัตราการไหลแต่ละช่วงเวลาของกราฟน้ำท่วมตัวอย่าง (TFH peak) หรือยังสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าปริมาตรน้ำสูงสุดออกแบบที่รอบปีการเกิดซ้ำใด ๆ (Design volume) กับค่าปริมาตรน้ำสูงสุดของกราฟน้ำท่วมตัวอย่าง (TFH volume) และวิธีที่ 4 เป็นวิธีที่ประยุกต์ใช้หลักทางสถิติในการกำหนดรูปร่างและคำนวณหาพารามิเตอร์ของเหตุการณ์น้ำท่วมที่ได้จากการตรวจวัดด้วยฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นเพื่อนำมาพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบ (Xiao et al., 2009)

อาจกล่าวได้ว่าการพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบโดยวิธีการศึกษาจากกราฟน้ำท่วมตัวอย่างจะดึงสารสนเทศทั้งขนาดอัตราการไหลสูงสุด (Peak discharge) ปริมาตรน้ำสูงสุด (Peak volume) ช่วงเวลา (Duration) และรูปร่าง (Shape) ของเหตุการณ์น้ำท่วมวิกฤตที่เคยเกิดขึ้นมาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับการประยุกต์ใช้หลักการทางสถิติ ส่งผลให้กราฟน้ำท่วมสูงสุดที่ได้

สามารถอธิบายลักษณะและโอกาสความน่าจะเป็นของเหตุการณ์น้ำท่วมได้หลายมิติมากกว่าวิธีแบบดั้งเดิมนั่นเอง

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบด้วย 2 วิธีหลักได้แก่ (1) วิธีแบบดั้งเดิม (Conventional method) และ (2) วิธีการศึกษาจากกราฟน้ำท่วมตัวอย่าง (Typical flood hydrograph method) สำหรับนำมาเป็นข้อมูลป้อนเข้าในการทำนายระดับน้ำของอ่างเก็บน้ำเขื่อนสิริกิติ์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากฐานข้อมูลอุทกวิทยาปัจจุบันสำหรับใช้ประกอบในการวางแผนการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงวิกฤตน้ำมาก และบรรเทาความเสียหายจากอุทกภัยในพื้นที่ภาคกลางในอนาคต

เขื่อนสิริกิติ์ (Sirikit dam) เป็นเขื่อนหลักที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำน่าน (Nan basin) ทางภาคเหนือของประเทศไทย พื้นที่ลุ่มน้ำมีขนาดรวมทั้งสิ้น 34,682 km^2 ครอบคลุมพื้นที่ 11 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกำแพงเพชร พะเยา แพร่ น่าน เลย สุโขทัย อุตรดิตถ์ พิษณุโลก พิจิตร เพชรบูรณ์ และนครสวรรค์ (Hydro and agro informatics institute, 2012) ตัวเขื่อนและอ่างเก็บน้ำสร้างปิดกั้นแม่น้ำน่านทางตอนกลางของลุ่มน้ำ และอยู่ในความดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในการบริหารจัดการน้ำร่วมกับเขื่อนภูมิพลเพื่อจัดสรรน้ำมาใช้ในภาคเกษตรกรรมและบรรทาอุทกภัยบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยา (Chao Phraya basin) ทางตอนกลางของประเทศดังแสดงใน Figure 1



Figure 1 Nan and Chao Pharaya basins in the central part of Thailand. Source: Wikipedia (2018)

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลศึกษา

ข้อมูลหลักที่รวบรวมได้และใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ข้อมูลฝนและน้ำท่าตรวจวัดของสถานีหลักบริเวณเหนือเขื่อนสิริกิติ์ราย 3 hr ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532-2559 ข้อมูลอุทกวิทยาอ่างเก็บน้ำ และข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับน้ำ (Rating curve) จากการวิเคราะห์ข้อมูลพายุฝนที่เคยเกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบน ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลฝนและน้ำท่าตรวจวัดในพื้นที่ การศึกษานี้ได้เลือกข้อมูลฝนของสถานีวัดปริมาณน้ำฝน 331201 ของกรมอุตุนิยมวิทยาซึ่งมีสหสัมพันธ์สูงกับข้อมูลน้ำท่าของสถานีตรวจวัดน้ำท่า N.13A ของกรมชลประทานซึ่งอยู่ใกล้กับตำแหน่งที่ตั้งเขื่อนและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อไฮโดรกราฟน้ำไหลออก (Outflow hydrogrpah) ของกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบจากการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านลำน้ำ (Channel routing) ถึงตัวอ่างเก็บน้ำไม่มากนัก สำหรับตำแหน่งสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาแสดงใน Figure 2

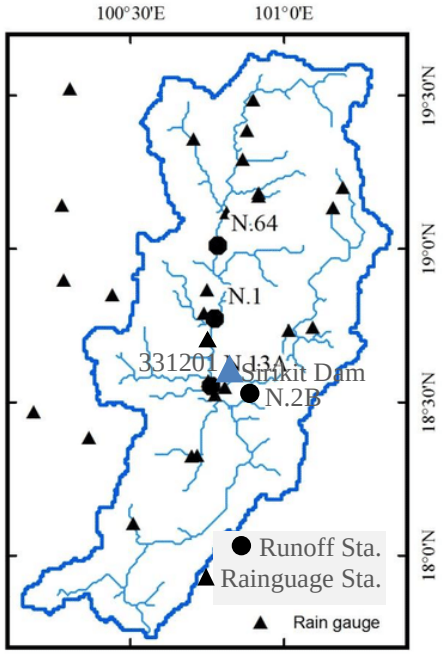


Figure 2 Study area and location of rainfall and runoff stations.

2.2 การพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบ

การพัฒนากราฟน้ำท่วมออกแบบสูงสุดในการศึกษานี้แบ่งเป็น 2 วิธี คือ

2.2.1 วิธีดั้งเดิมฟ (Conventional Method, CM)

การศึกษานี้ได้ทำการพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบโดยใช้สมการของ Discrete convolution ดังแสดงในสมการที่ (1) ในการหาเป็นไฮโดรกราฟของน้ำท่าผิวดิน (Direct runoff hydrograph) เพื่อนำไปรวมกับปริมาณการไหลฐาน (Base flow) สำหรับคำนวณหากราฟน้ำท่วมสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \le M} P_m U_{n-m+1} \qquad (1)$$

โดยที่ Q_n เป็นอัตราการไหลของน้ำที่เวลา n ในขณะที่ P_m เป็นฝนส่วนเกิน (Excess Rainfall) ที่ช่วงเวลา m เมื่อ m = 1, 2,...., M และ U_{n-m+1} เป็นข้อมูลน้ำท่าจากกราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วย (Unit hydrograph) ของสถานีตรวจวัดน้ำท่า N.13A ซึ่งนำค่ามาจากเอกสารทางวิชาการด้านอุทกวิทยา เลขที่ 1502/08 (ฉบับปรับปรุงแก้ไข) สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (Royal irrigation department, 2009) ซึ่งได้ทำการสร้างกราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยของสถานีสำรวจอุทกวิทยาทั่วประเทศโดยคำนวณจากพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ-ลำน้ำ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด (T_P) กับอัตราส่วน LL_C/S และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝน (Q_P/A) กับเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด (T_P) ดังแสดงในสมการที่ (2) และ (3)

$$T_P = a(LL_C/\sqrt{s})^b \quad (2)$$

$$Q_P = c(T_P)^d \times A \quad (3)$$

เมื่อ L เป็นความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ L_C เป็นความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนลำน้ำที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำมากที่สุด S คือความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่ และ a, b, c, d เป็นพารามิเตอร์ของลุ่มน้ำ สำหรับรายละเอียดของพารามิเตอร์ลุ่มน้ำ-ลำน้ำที่ใช้ในการพัฒนากราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยของสถานีตรวจวัดน้ำท่า N.13A แสดงใน Table 1

Table 1 Parameters of basin and river used for the development of unit hydrograph at N.13A station.

	Basin-River Parameters		
	UH	Basin	River
Duration (h)	8		
A (km^2)		8,993	
L (km)			245.65
L_c (km)			78.50
S			0.006
a		4.4121	
b		0.1560	
c		1.6160	
d		-1.6074	

อย่างไรก็ดีข้อมูลกราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยของสถานีตรวจวัดน้ำท่า N.13A ถูกพัฒนาขึ้นราย 8 h ดังนั้นจึงได้ทำการปรับแก้ช่วงเวลาโดยอาศัยวิธี S-Hydrograph เพื่อเปลี่ยนช่วงเวลาให้เท่ากับ 3 h ก่อนนำมาคำนวณหาไฮโดรกราฟของน้ำท่าผิวดินดังแสดงใน Figure 3 สำหรับข้อมูลฝนส่วนเกิน (Excess rainfall, P_m) คำนวณได้จากผลต่างของข้อมูลฝนที่ได้จากการตรวจวัด (Rainfall) และปริมาณการสูญเสียน้ำออกไปทั้งหมด (Losses) จากนั้นทำการวิเคราะห์หาฟังก์ชันโอกาสความน่าจะเป็นของข้อมูลฝนส่วนเกินเพื่อคำนวณค่าฝนส่วนเกินที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ และทำการคำนวณค่าอัตราการไหลสูงสุดออกแบบซึ่งเป็นผลรวมของไฮโดรกราฟของน้ำท่าผิวดิน (Direct runoff hydrograph) และปริมาณการไหลฐาน (Base flow) ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10% ของค่าสูงสุด (Peak flow) ของไฮโดรกราฟของน้ำท่าผิวดิน

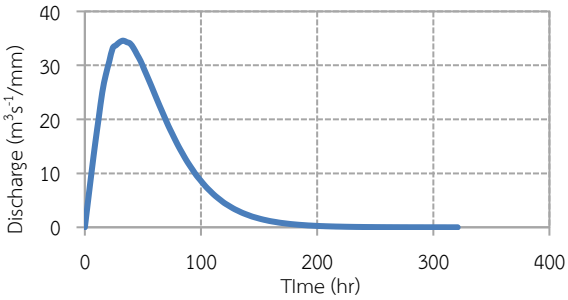


Figure 3 3-hr Unit hydrograph at N.13 station.

2.2.2 วิธีการศึกษาจากกราฟน้ำท่วมตัวอย่าง (Typical flood hydrograph method)

การพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบโดยวิธีการศึกษาจากกราฟน้ำท่วมตัวอย่างแบ่งออกเป็น 3 วิธีย่อยประกอบด้วย

(1) วิธีอัตราการไหลสูงสุด (Peak-amplitude, PA)

วิธีนี้ได้ทำการเลือกเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ จากฐานข้อมูลระยะยาวในอดีตตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532-2559 โดยพิจารณาจากข้อมูลที่ให้ค่าอัตราการไหลสูงสุด (Peak discharge) ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 28 เหตุการณ์ (Q_{PD}) จากนั้นเลือกกราฟน้ำท่วมที่ให้ค่าอัตราการไหลสูงที่สุดจากทุกเหตุการณ์เพื่อกำหนดเป็นกราฟน้ำท่วมสูงสุดตัวอย่าง (Typical flood hydrograph, TFH) จากนั้นทำการทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของข้อมูลอัตราการไหลสูงสุดทั้ง 28 เหตุการณ์และประเมินพารามิเตอร์ทางสถิติเพื่อวิเคราะห์หาอัตราการไหลสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำ 100, 300, 500, 1,000, 1,500, 3,000 และ 5,000 yr (Q_{PT}) และคำนวณหาค่า Amplifier K_P ได้จากสมการที่ (4) ทำให้สามารถพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบ (Design flood hydrograph, DFH) ที่รอบปีการเกิดซ้ำ T ได้โดยการคูณ K_P กับ Q_{PD} นั่นเอง

$$K_p = \frac{Q_{PT}}{Q_{PD}} \quad (4)$$

(2) วิธีปริมาตรน้ำสูงสุด (Volume-Amplitude, VA)

ในทำนองเดียวกันการศึกษานี้ได้เลือกเหตุการณ์ที่ให้ค่าปริมาตรน้ำสูงสุดที่ช่วงเวลาฐานเท่ากับ t day (V_{tD}) ซึ่งในที่นี้คือ 14 day เป็น TFH จากเหตุการณ์น้ำท่วม 28 เหตุการณ์ที่มีปริมาตรน้ำสูงสุดของแต่ละปีจากฐานข้อมูลที่ใช้ ซึ่งถูกนำมาวิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นเพื่อวิเคราะห์หาปริมาตรน้ำสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ (V_{tT}) และคำนวณค่า Amplifier

K_{Vt} ได้จากสมการที่ (5) และสร้าง *DFH* ที่รอบปีการเกิดซ้ำ T ได้โดยการคูณ K_{Vt} กับ V_{tD}

$$K_{Vt} = \frac{V_{tT}}{V_{tD}} \quad ; t = 1, 2, 3,...., 14 \qquad (5)$$

(3) วิธีอัตราการไหลสูงสุด-ปริมาตรน้ำสูงสุด (Peak and Volume-Amplitude Method, PVA)

วิธีนี้พิจารณาเลือกเหตุการณ์น้ำท่วมจากข้อมูลอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรน้ำสูงสุดร่วมกันและกำหนด *TFH* ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่มีอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรน้ำสูงสุดจากเหตุการณ์ทั้งหมด ข้อมูลเหตุการณ์น้ำท่วมและ *TFH* จะถูกแบ่งเป็น Segment ย่อย ๆ 1, 2,...., 14 day จากนั้นทดสอบความเหมาะสมของการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นของข้อมูลน้ำท่วมจากเหตุการณ์ทั้งหมด 28 เหตุการณ์และประเมินพารามิเตอร์ทางสถิติเพื่อวิเคราะห์หาอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรน้ำสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ จากนั้นคำนวณค่าคงที่ Amplifier K_P, K_1, $K_{2\text{-}1}$, $K_{3\text{-}2}$, $K_{4\text{-}3}$,..... และ $K_{14\text{-}13}$ เพื่อทำการปรับแก้กราฟน้ำท่วมสูงสุดตัวอย่างดังแสดงในสมการ (6)-(9)

ค่า Amplifier K_P สำหรับอัตราการไหลสูงสุด ;

$$K_p = \frac{Q_{PT}}{Q_{PD}} \qquad (6)$$

ค่า Amplifier K_1 สำหรับปริมาตรน้ำท่วมสูงสุด 1 day โดยไม่พิจารณาถึงข้อมูลอัตราการไหลสูงสุด ;

$$K_1 = \frac{V_{1T}}{V_{1D}} \qquad (7)$$

ค่า Amplifier $K_{2\text{-}1}$ สำหรับปริมาตรน้ำท่วมสูงสุด 2 day โดยไม่พิจารณาข้อมูลปริมาตรน้ำท่วมสูงสุดของ 1 day ;

$$K_{2-1} = \frac{V_{2T} - V_{1T}}{V_{2D} - V_{1D}} \qquad (8)$$

ในทำนองเดียวกันค่า Amplifier $K_{14\text{-}13}$ สำหรับปริมาตรน้ำท่วมสูงสุด 14 day โดยไม่พิจารณาข้อมูลปริมาตรน้ำท่วมสูงสุดของ 13 day ;

$$K_{14-13} = \frac{V_{14T} - V_{13T}}{V_{14D} - V_{13D}} \qquad (9)$$

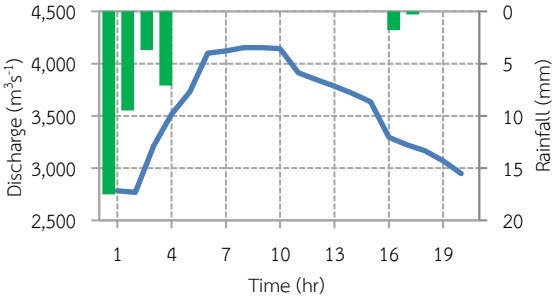
2.3 การทำนายระดับน้ำของอ่างเก็บน้ำ

การศึกษานี้ได้ทำการทำนายการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับน้ำและระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำเขื่อนสิริกิติ์โดยการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของ *DFH* ที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ซึ่งได้พัฒนาจาก 2 วิธีข้างต้นผ่านตัวอ่างเก็บน้ำโดยวิธี Storage-indication (Chow et al., 1988; Vudhivanich et al., 2007) ทั้งนี้ได้กำหนดให้สถานะของน้ำเต็มความจุอ่างเก็บน้ำที่ระดับเก็บกักปกติตรงสันของทางระบายน้ำล้นเพื่อประมาณการการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำในโซนเก็บกักน้ำส่วนเกินซึ่งเป็นสถานการณ์น้ำวิกฤต และกำหนดให้การระบายน้ำผ่านทางระบายน้ำล้นเป็นแบบอิสระ (Free flow) เท่านั้น ค่าสัมประสิทธิ์ของทางระบายน้ำล้น (C) กำหนดให้เท่ากับ 2.34 ความยาวประสิทธิผลของสันทางระบายน้ำล้นเท่ากับ 23.70 m และช่วงเวลาการวิเคราะห์ (Δt) เท่ากับ 3 h

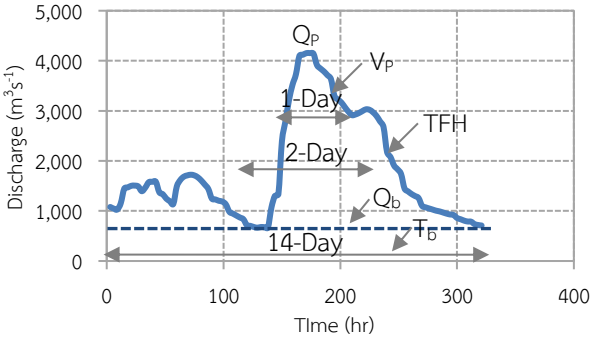
3 ผลและวิจารณ์

3.1 ผลการคัดเลือกกราฟน้ำท่วมสูงสุดตัวอย่าง

จากเหตุการณ์น้ำฝน-น้ำท่าสูงสุดในแต่ละปีจำนวน 28 เหตุการณ์ของสถานีตรวจวัด N.13A ระหว่างปี พ.ศ. 2532-2559 พบว่า ในปี พ.ศ. 2552 เป็นปีน้ำน้อยที่มีค่าอัตราการไหลค่อนข้างต่ำกล่าวคือ ค่าอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 650 m^3s^{-1} และปริมาตรน้ำสูงสุดเท่ากับ 450 mcm ในขณะที่ปี พ.ศ. 2538 เป็นปีน้ำมากที่มีค่าอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 4,153 m^3s^{-1} และปริมาตรน้ำสูงสุดเท่ากับ 2,270 mcm จึงถูกกำหนดให้เป็นกราฟน้ำท่วมสูงสุดตัวอย่าง (TFH) โดยกำหนดให้ Q_P เป็นอัตราการไหลของน้ำสูงสุด (Peak flow) V_P เป็นปริมาตรน้ำสูงสุด (Peak volume) T_b เป็นเวลาฐาน (Base time) และ Q_b เป็นอัตราการไหลฐาน (Base flow) ดังแสดงใน Figure 4



(a) Flood event



(b) TFH

Figure 4 Flood event occurred in 1995 and typical flood hydrograph selected.

3.2 ผลการพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบ

การศึกษานี้ได้ทำการออกแบบกราฟน้ำท่วมที่รอบปีการเกิดซ้ำ 100, 300, 500, 1,000, 1,500, 3,000 และ 5,000 y ซึ่งผลการศึกษาเป็นดังนี้

3.2.1 วิธีแบบดั้งเดิม (Conventional method)

กราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่พัฒนาขึ้นจากฐานข้อมูลในอดีตถึงปัจจุบันบริเวณพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์แสดงใน Figure 5 เมื่อนำผลมาวิเคราะห์พบว่าค่าอัตราการไหลสูงสุดที่รอบการเกิดซ้ำ (Return period, Tr) ต่าง ๆ มีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อค่ารอบปีการเกิดซ้ำมีค่ามากขึ้นตามที่สรุปไว้ใน Table 2

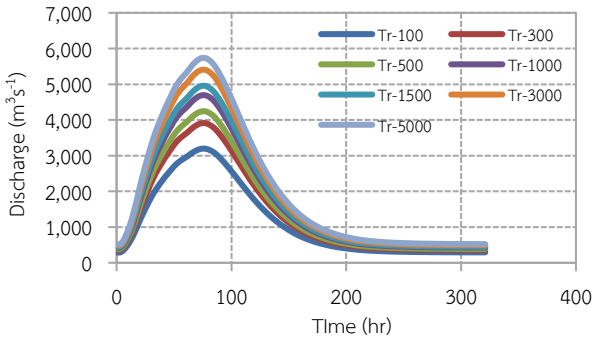


Figure 5 Design flood hydrographs done by the conventional method.

Table 2 Peak discharges performed by conventional method for different return periods.

$Tr^{1/}$	100	300	500	1,000	1,500	3,000	5,000
$Q_P{}^{2/}$	3,197	3,912	4,243	4,693	4,957	5,406	5,738

Unit: $^{1/}$yr, $^{2/}m^3s^{-1}$

อย่างไรก็ดีค่าอัตราการไหลสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำที่ 5,000 y ที่พัฒนาขึ้นนี้ยังมีค่าน้อยกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุดที่ได้จากรายงานการศึกษาความเหมาะสมของโครงการพัฒนาเขื่อนสิริกิติ์ ซึ่งศึกษาโดยบริษัทที่ปรึกษา Engineering Consultant Ltd., โคโลราโด ประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1975 (Engineering Consultant Ltd., 1975) อยู่มาก เนื่องจากได้อาศัยข้อมูลฝนสูงสุดที่เป็นไปได้ในแถบภูมิภาคนั้นในลักษณะ Probable maximum precipitation, PMP จำนวน 2 ลูกที่ตกติดต่อกัน เพื่อนำมาพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบสำหรับนำมาใช้ในการออกแบบทางระบายน้ำล้นหลักของเขื่อนสิริกิติ์ โดยมีค่าความเข้มฝนส่วนเกินรวม 360 mm และได้กราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่มีค่าอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรน้ำสูงสุดเท่ากับ 10,500 m^3s^{-1} และ 4,643 mcm ตามลำดับ ในขณะที่การศึกษานี้ได้เลือกข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนทั้งลุ่มน้ำน่านเพียงแค่ 1 สถานี ซึ่งเป็นฝนที่เกิดขึ้นในช่วงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532-2560 ความเข้มฝนส่วนเกินทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 202 mm ซึ่งน้อยกว่าผลการศึกษาของบริษัทที่ปรึกษา Engineering Consultant Ltd., โคโลราโด ประเทศสหรัฐอเมริกาถึง 44% ส่งผลให้กราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่พัฒนาโดยวิธีดั้งเดิมมีค่าอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรน้ำสูงสุดเท่ากับ 5,738 m^3s^{-1} และ 2,407 mcm ตามลำดับ หรือมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ 45.35% และ 48.17% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องตามปัจจัยของข้อมูลฝนส่วนเกินที่ได้นำมาใช้

3.2.2 วิธีการศึกษาจากกราฟน้ำท่วมตัวอย่าง (Typical flood hydrograph method, TFH)

(1) วิธีอัตราการไหลสูงสุด (Peak-amplitude, PA)

จากข้อมูลอัตราการไหลสูงสุดทั้ง 28 เหตุการณ์ ถูกนำมาวิเคราะห์ฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นและทดสอบความเหมาะสมด้วยวิธี Smirnov-Kolmogorov พบว่า ข้อมูลอัตราการไหลสูงสุดมีความเหมาะสมกับฟังก์ชันแจกแจงความน่าจะเป็นแบบกัมเบลที่ระดับนัยสำคัญ 0.20 ซึ่งค่า Q_{PT}, Q_{PD} และ Amplifier K_P แสดงใน Table 3 ทำให้ได้กราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบดังแสดงใน Figure 6

Table 3 Peak discharges and amplifier K_P performed by PA method for different return periods.

$Tr^{1/}$	100	300	500	1,000	1,500	3,000	5,000
$Q_{PT}{}^{2/}$	4,758	5,509	5,858	6,331	6,607	7,080	7,428
$Q_{PD}{}^{2/}$	4,153	4,153	4,153	4,153	4,153	4,153	4,153
K_P	1.146	1.327	1.411	1.524	1.591	1.705	1.789

Unit: $^{1/}$yr, $^{2/}m^3s^{-1}$

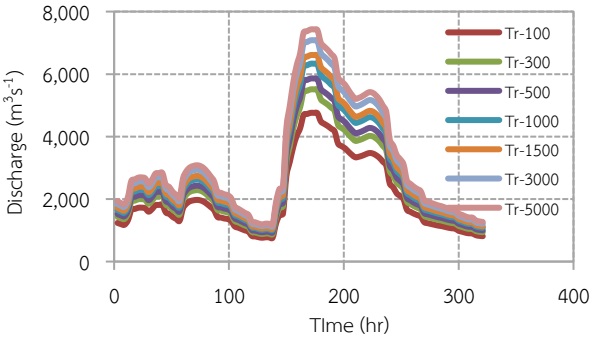


Figure 6 Design flood hydrographs done by the peak-amplitude method.

จากผลใน Table 3 พบว่าค่า Amplifier K_P มีค่าเพิ่มขึ้นที่รอบปีการเกิดซ้ำมากขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 1.146, 1.327, 1.411, 1.524, 1.591, 1705 และ 1.789 ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 100, 300, 500, 1,000, 1,500, 3,000 และ 5,000 y ตามลำดับ ส่งผลให้ค่าอัตราการไหลสูงสุดมีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อค่ารอบปีการเกิดซ้ำมีค่ามากขึ้น อย่างไรก็ดีค่าอัตราการไหลสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำที่ 5,000 y ยังมีค่าน้อยกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุดที่ได้จากรายงานการศึกษาความเหมาะสมของโครงการพัฒนาเขื่อนสิริกิติ์อาจเกิดจากการใช้อัตราการไหลฐาน (Base flow) ที่ต่างกัน โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่าอัตราการไหลฐานเท่ากับ 10% ของอัตราการไหลสูงสุด (Peak flow) ในขณะที่จากรายงานการศึกษาความเหมาะสมของโครงการพัฒนาเขื่อนสิริกิติ์ใช้อัตราการไหลฐานเท่ากับ 1,000

m^3s^{-1} และเวลาฐาน (Basetime) ที่ใช้ต่างกันเล็กน้อย โดยงานวิจัยนี้ใช้เวลาฐานที่ 320 h หรือ 13.3 day ในขณะที่จากรายงานการศึกษาความเหมาะสมของโครงการพัฒนาเขื่อนสิริกิติ์ได้ใช้เวลาฐานที่ 336 h หรือ 14 day ส่งผลให้กราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่พัฒนาโดยวิธีอัตราการไหลสุงสุดมีค่าอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรน้ำสูงสุดเท่ากับ 7,428 m^3s^{-1} และ 3,741 mcm ตามลำดับ หรือมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ 29.25% และ 19.43% ตามลำดับ

(2) วิธีปริมาตรน้ำสูงสุด (Volume-amplitude, VA)

ผลการทดสอบความเหมาะสมของข้อมูลปริมาตรน้ำสูงสุดทั้ง 28 เหตุการณ์โดยใช้วิธี Smirnov-Kolmogorov ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่าข้อมูลปริมาตรน้ำสูงสุดมีความเหมาะสมกับฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นแบบกัมเบล ค่า Amplifier K_{Vt} แสดงใน Table 4 และได้กราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ดังแสดงใน Table 5 และ Figure 7

Table 4 Amplifier K_{Vt}.

$Tr^{1/}$	100	300	500	1,000	1,500	3,000	5,000
K_{V1}	1.152	1.336	1.421	1.537	1.605	1.721	1.806
K_{V2}	1.133	1.319	1.405	1.522	1.590	1.707	1.793
K_{V3}	1.136	1.323	1.410	1.528	1.596	1.714	1.801
K_{V4}	0.968	1.053	1.088	1.135	1.160	1.203	1.233
K_{V5}	1.152	1.339	1.426	1.545	1.614	1.732	1.819
K_{V6}	1.157	1.344	1.431	1.549	1.618	1.736	1.823
K_{V7}	1.161	1.348	1.435	1.553	1.622	1.740	1.826
K_{V8}	1.170	1.357	1.444	1.562	1.631	1.748	1.835
K_{V9}	1.197	1.386	1.474	1.593	1.663	1.782	1.870
K_{V10}	1.232	1.426	1.516	1.638	1.709	1.831	1.921
K_{V11}	1.267	1.465	1.558	1.683	1.756	1.881	1.974
K_{V12}	1.293	1.496	1.590	1.718	1.793	1.921	2.015
K_{V13}	1.329	1.538	1.636	1.767	1.844	1.978	2.073

Unit: $^{1/}$yr

Table 5 Peak discharges performed by VA method for different return periods.

$Tr^{1/}$	100	300	500	1,000	1,500	3,000	5,000
$Q_P{}^{2/}$	4,783	5,548	5,903	6,384	6,666	7,147	7,502

Unit: $^{1/}$yr, $^{2/}m^3s^{-1}$

จากการวิเคราะห์พบว่าค่าอัตราการไหลสูงสุดที่รอบการเกิดซ้ำต่าง ๆ มีแนวโน้มมากขึ้นเมื่อค่ารอบปีการเกิดซ้ำมีค่ามากขึ้น อย่างไรก็ดีค่าอัตราการไหลสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำที่ 5,000 yr ยังมีค่าน้อยกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุดที่ได้จากรายงานการศึกษาความเหมาะสมของโครงการพัฒนาเขื่อนสิริกิติ์จากปัจจัยข้อมูลอัตราการไหลฐาน (Base Flow) และเวลาฐาน (BaseTime) ที่ใช้วิเคราะห์ต่างกันเล็กน้อย ส่งผลให้กราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่พัฒนาโดยวิธีปริมาตรน้ำสูงสุดมีค่าอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรน้ำสูงสุดเท่ากับ 7,502 m^3s^{-1} และ 3,378 mcm ตามลำดับ หรือมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ที่ 28.55% และ 19.49% ตามลำดับ

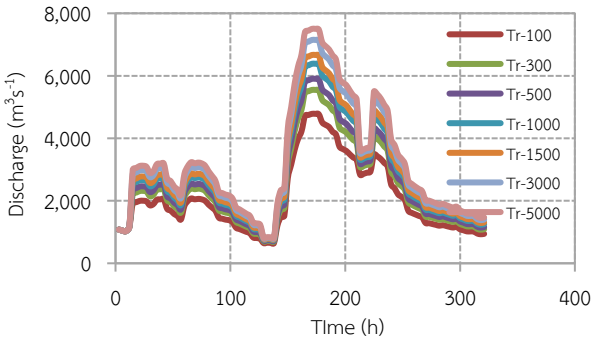


Figure 7 Design flood hydrographs done by the volume-amplitude method.

(3) วิธีอัตราการไหลสูงสุด-ปริมาตรน้ำสูงสุด (Peak and volume-amplitude method, PVA)

ในทำนองเดียวกันผลการทดสอบความเหมาะสมของข้อมูลอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรน้ำสูงสุดทั้ง 28 เหตุการณ์โดยใช้วิธี Smirnov-Kolmogorov ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่าข้อมูลอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรน้ำสูงสุดมีความเหมาะสมกับฟังก์ชันการแจกแจงโอกาสความน่าจะเป็นแบบกัมเบล จากนั้นทำการคำนวณค่า Amplifier K_P และ K_{Vt} และได้กราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ ดังแสดงใน Table 6 และ Figure 8 ซึ่งให้ค่าอัตราการไหลสูงสุด ปริมาตรน้ำสูงสุด เวลาฐานและรูปร่างของกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบไม่มีความแตกต่างจากวิธี VA

Table 6 Peak discharges performed by PVA method for different return periods.

$Tr^{1/}$	100	300	500	1,000	1,500	3,000	5,000
$Q_P{}^{2/}$	4,783	5,548	5,903	6,384	6,666	7,147	7,502

Unit: $^{1/}$yr, $^{2/}m^3s^{-1}$

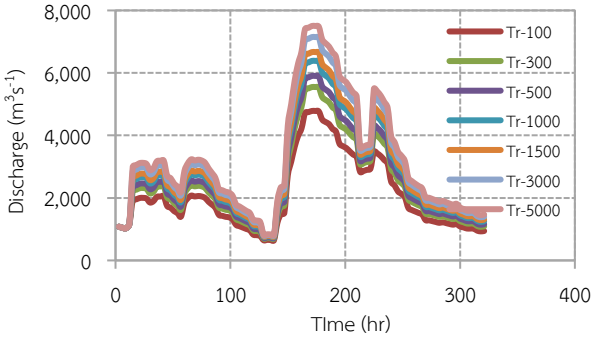


Figure 8 Design flood hydrographs done by the peak and volume-amplitude method.

3.3 การเปรียบเทียบผล

จากการศึกษาเปรียบเทียบผลการพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบโดยวิธีดั้งเดิม (Conventional method) และวิธีการศึกษากราฟน้ำท่วมตัวอย่าง (Typical flood hydrograph method) ประกอบด้วย (1) วิธีอัตราการไหลสูงสุด (Peak-amplitude, PA) (2) วิธีปริมาตรน้ำสูงสุด (Volume-amplitude, VA) และ (3) วิธีอัตราการไหลสูงสุด-ปริมาตรน้ำสูงสุด (Peak and volume-amplitude method, PVA) มีค่าเวลาฐาน (Base time, T_b) เท่ากันคือ 13.3 day ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบในการออกแบบทางระบายน้ำล้นคือ 14 day นอกจากนี้ค่าอัตราการไหลสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5,000 y ของทุกวิธีมีค่าตั้งแต่ 5,738-7,502 m^3s^{-1} หรือคิดเป็น 54.64%-71.45% ของค่าอัตราการไหลสูงสุดจากกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบในการออกแบบทางระบายน้ำล้น (10,500 m^3s^{-1}) ซึ่งสอดคล้องตามปัจจัยข้อมูลฝนที่ใช้ในการศึกษานี้ซึ่งคิดเป็น 56.11% (202 mm) ของปริมาณความเข้มฝนที่ใช้ในการสร้างกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบในการออกแบบทางระบายน้ำล้นของเขื่อนสิริกิติ์ (360 mm) ค่าอัตราการไหลออกสูงสุด (Peak outflow, Q_O) ผ่านทางระบายน้ำล้นของกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่พัฒนาทั้ง 3 วิธี ที่รอบปีการเกิดซ้ำในช่วง 100-5,000 y มีค่าอยู่ระหว่าง 445-1,562 m^3s^{-1} ซึ่งแต่ละวิธีให้ค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงกว่ากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่พัฒนาโดยวิธีดั้งเดิม แต่ต่ำกว่าค่าอัตราการไหลสูงสุดผ่านทางระบายน้ำล้นซึ่งมีค่าเท่ากับ 3,250 m^3s^{-1} อันเนื่องมาจากปัจจัยความรุนแรงของความเข้มฝน และจำนวนพายุฝนที่นำมาวิเคราะห์มีขนาดต่างกัน ดังที่สรุปไว้ใน Table 7 และ Table 8

Table 7 Excess rainfall data used in this study.

Method	Excess Rainfall		
	No. of Rainfall Station	No. of Storm	Excess Rainfall (mm)
FS	5	2	360 (PMP)
CM	1	28 Events	202
PA	1	28 Events	202
VA	1	28 Events	202
PVA	1	28 Events	202

Table 8 Comparison of DFH parameters done by different methods with the feasibility study report.

Method	Design Flood Hydrograph					
	Tr (yr)	Q_b (m^3s^{-1})	T_b (hr-day)	Q_P (m^3s^{-1})	V_P (mcm)	Q_O[2/] (m^3s^{-1})
FS	>>> 5,000	1,000	336 (14)	10,500[1/] (PMF)	4,643	3,250[3/]
CM	5,000	10% of Q_P	320 (13.3)	5,738	2,407	445
PA	5,000	10% of Q_P	320 (13.3)	7,428	3,741	1,559
VA	5,000	10% of Q_P	320 (13.3)	7,502	3,738	1,562
PVA	5,000	10% of Q_P	320 (13.3)	7,502	3,737	1,561

[1/]PMF for spillway design, [2/]Maximum outflow as a result of reservoir routing analysis, [3/]Maximum discharge of spillway structure

3.4 ผลการทำนายระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ

ผลจากการศึกษานี้พบว่าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำจะเพิ่มสูงสุดในช่วงตั้งแต่ 4.28-9.24 m เหนือสันทางระบายน้ำล้น หากคลื่นน้ำท่วมจากกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่รอบปีการเกิดซ้ำในช่วง 100-5,000 yr ไหลหลากเข้าตัวอ่างเก็บน้ำ ซึ่งระดับน้ำดังกล่าวนี้จะเพิ่มขึ้นในอ่างไม่เกินระดับเก็บกักสูงสุด (Maximum pool level) ที่อยู่เหนือสันทางระบายน้ำล้นขึ้นมา 15.10 m หรือที่ระดับ 165.60 m msl เนื่องจากขนาดน้ำท่วมสูงสุดมีขนาดเล็กกว่าอัตราการไหลสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบทางระบายน้ำล้น ดังแสดงใน Figure 9

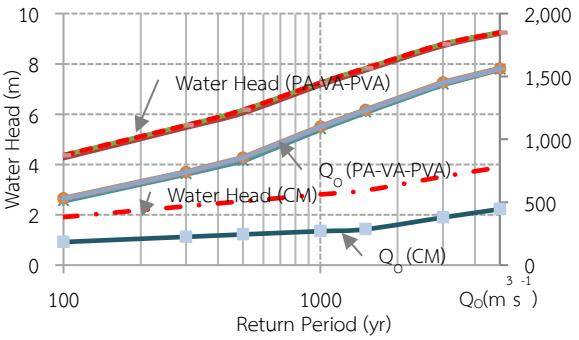


Figure 9 Water heads over the spillway crest and outflows.

อย่างไรก็ดีการศึกษานี้ได้เลือกกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบที่พัฒนาโดยวิธี PVA มาวิเคราะห์หาระดับน้ำท้ายเขื่อนสิริกิติ์ในช่วงสถานการณ์วิกฤตโดยอาศัยข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระดับน้ำ (Rating Curve) ของสถานีท้ายเขื่อน N.2B ซึ่งพบว่า เมื่ออัตราการระบายน้ำออกสูงสุดจากเขื่อนที่รอบปีการ

เกิดซ้ำ 100-5,000 yr อยู่ในช่วง 529-1,561 m^3s^{-1} ระดับน้ำท้ายเขื่อนที่สถานี N.2B จะอยู่ระหว่าง 56.65-59.36 m msl ซึ่งค่าระดับน้ำสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5,000 yr มีค่าใกล้เคียงกับเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2549 ที่ระดับน้ำสูงถึง 59.72 m msl ดังแสดงใน Table 9

Table 9 Reservoir levels and water heads for different return periods and exceedance probabilities after DFH by PVA method was routed.

Tr	Exceeedance Probability (p)	Reservoir Level (m msl)	Water Head above Spillway Crest[1/] (m)	Maximum Tail Water Level[2/] (m)
100	0.01	154.87	4.37	56.65
300	0.0033	156.06	5.56	57.32
500	0.0020	156.67	6.17	57.65
1,000	0.0010	157.75	7.25	58.30
1,500	0.00067	158.33	7.83	58.62
3,000	0.00033	159.29	8.79	59.12
5,000	0.00020	159.74	9.24	59.36

[1/]Normal pool level = 150.50 m msl, [2/]Tail water level at N.2B station

4 สรุป

การศึกษานี้ได้นำเทคนิคการพัฒนากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบโดยวิธีการศึกษาจากกราฟน้ำท่วมตัวอย่าง (Typical flood hydrograph method)) มาใช้เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีแบบดั้งเดิม (Conventional method) สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์หาค่าระดับน้ำสูงสุดที่เป็นไปได้ในอ่างเก็บน้ำที่โอกาสความน่าจะเป็นต่าง ๆ และระดับน้ำท้ายเขื่อนสำหรับใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมและบรรเทาอุทกภัยในช่วงวิกฤตน้ำมากของเขื่อนสิริกิติ์ ผลการศึกษาพบว่าองค์ประกอบสำคัญของกราฟน้ำท่วมออกแบบได้แก่ ลักษณะรูปร่าง (Shape) อัตราการไหลสูงสุด (Peak flow, Q_P) ปริมาตรน้ำสูงสุด (Peak volume, V_P) ที่ได้จากวิธีกราฟน้ำท่วมตัวอย่างแตกต่างจากที่ได้จากวิธีดั้งเดิม เนื่องจากพิจารณาเหตุการณ์น้ำท่วมจากสารสนเทศทั้งจากค่าอัตราการไหลของน้ำสูงสุดและปริมาตรน้ำสูงสุดประกอบกัน กล่าวคือรูปร่างของกราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบจะขึ้นอยู่กับ TFH ของเหตุการณ์น้ำวิกฤตสูงสุดที่เลือกนำมาวิเคราะห์ และค่า Q_P และ V_P ยังมีค่าสูงกว่าวิธีดั้งเดิม ส่งผลให้อัตราการไหลออกสูงสุดผ่านทางระบายน้ำล้น (Outflow, Q_O) ระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำ (Maximum water level) และระดับน้ำท้ายเขื่อน (Tail water level) สูงกว่าวิธีดั้งเดิม หรืออาจกล่าวได้ว่ากราฟน้ำท่วมสูงสุดออกแบบเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อกราฟการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำและระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับการระบายน้ำผ่านทางระบายน้ำล้นและระดับน้ำท้ายเขื่อนในช่วงสถานการณ์น้ำหลากวิกฤต

5 เอกสารอ้างอิง

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. 1988. Applied hydrology. New York: McGraw-Hill Book Company.

Engineering Consultant Ltd. 1975. Nan River Project Sirikit Dam report. Colorado: Engineering Consultants, Ltd.

Hydro and Agro Informatics Institute. 2012. Database sytem of 25 basins in Thailand and flood-drought modeling: Nan basin. Bangkok: ASDECON Corporation Co., Ltd. (In Thai)

Mediero, L., Alvarez, A.J., Garrote, L. 2010. Design flood hydrographs from the relationship between flood peak and volume. Hydrology and Earth System Sciences 14, 2495-2505.

Royal Irrigation Department. 2009. Unit hydrographs for watersheds in Thailand. Bangkok: Office of Water Management and Hydrology, Royal Irrigation Department, Thailand. (In Thai)

Vudhivanich, V., Kongjun, T., Suiadee, W. 2007. Engineering hydrology. Bangkok: Irrigation Engineering Alumni Association under H.M. the King's Patronage. (In Thai)

Wikipedia. 2018. Nan Basin. Available at: https://th.wikipedia.org/wiki//. Accessed on 28 June 2018.

Xiao, Y., Guo, S., Yan, B., Chen, L. 2009. Design flood hydrograph based on multicharacteristic synthesis index method. Journal of Hydrologic Engineering 14(12), 1359-1364.

Yue, S., Quarda, T.B., Bobee, M.J., Legendre, P., Bruneau, P. 2002. Approach for describing statistical properties for flood hydrograph. Journal of Hydrologic Engineering 7, 147-153.