บทที่ 2

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการพัฒนาแหล่งน้ำ

2.1 ความเป็นมาของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เนื่องจากการทำวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์ระบบลุ่มน้ำ ดังนั้นจึงต้องทำความเข้าใจในหลักการของเทคนิคการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ก่อน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานศึกษาระบบจริงของลุ่มน้ำตาปี

ในอดีตก่อนที่จะมีการศึกษาแบบวิเคราะห์ระบบ วิธีการศึกษาค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์จะมุ่งความสนใจกับปัญหาในลักษณะเฉพาะตัว โดยการแยกปัญหานั้น ๆ ออกมาจากสิ่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกันอยู่ จนเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการยอมรับกันมากขึ้นว่ามีหลาย ๆ ปัญหาที่มนุษย์ต้องการเทคนิคบางอย่างมาใช้วิเคราะห์แนวทางเพื่อเลือก ซึ่งเป็นเทคนิคที่จะเอื้ออำนวยให้สามารถพิจารณาทุก ๆ ส่วนประกอบของปัญหา และความสัมพันธ์ระหว่างกันของปัญหาต่าง ๆ ในหลายมิติหรือหลายรูปแบบที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้น หรือในขอบเขตของการพิจารณานั้น จึงทำให้เกิดทัศนะเกี่ยวกับระบบขึ้น และมีการพัฒนากรรมวิธีต่าง ๆ เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว ทำให้เกิดแขนงวิชาใหม่ขึ้นมาเรียกว่า วิศวกรรมระบบ (system engineering) โดยที่วิศวกรรมระบบจะหมายถึง วิชาที่เข้าไปเกี่ยวข้องกับเรื่องของการตัดสินใจ จากการพิจารณาระบบในแง่มุมต่าง ๆ จากขนาดของการควบคุมเพื่อที่จะให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

เทคนิคที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในงานวิศวกรรมระบบอย่างหนึ่งก็คือ เทคนิคการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (simulation) ถ้าพิจารณาจากทัศนะของการจัดการด้านแหล่งน้ำ เทคนิคการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หมายถึง กรรมวิธีในการสร้างแบบจำลองพฤติกรรมของระบบแหล่งน้ำใด ๆ ที่ประกอบไปด้วยโครงการต่าง ๆ และศึกษาผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงตัวกำหนดต่าง ๆ (parameter)เช่น ความจุของอ่างเก็บน้ำ ขนาดของทางน้ำล้น หรือขนาดของพื้นที่เพาะปลูก เป็นต้น ตัวอย่างของวิธีการจำลองทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ วิธีการศึกษาเมื่อมีปริมาณน้ำหลากไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแห่งหนึ่ง และถูกระบายผ่านออกไปทางท้ายน้ำ (วิธี flood routing) แล้วทำการทำนายอัตราการลดลงของยอดน้ำหลากนั้น

เนื่องจากการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบอุทกวิทยามีมากมาย ซึ่งแบบ

จำลองแต่ละแบบก็ได้รับยืนยัน และรับรองจากผู้พัฒนาว่าสามารถใช้ทำนายผลได้ดี แต่เป็นที่น่าสังเกตว่ายังมีการพัฒนาแบบจำลองอุทกวิทยาแบบใหม่ขึ้นมาอยู่เรื่อย ๆ และก็ยังไม่สามารถมีใครพิสูจน์ได้ว่า แบบจำลองที่ยุ่งยากซับซ้อนจะสามารถให้ผลการทำนายได้ดีกว่าแบบจำลองที่อยู่ในรูปแบบที่ง่ายหรือไม่

ประวัติศาสตร์การพัฒนาแบบจำลองอุทกวิทยา ดร.สมเจตน์ ทิณพงษ์ (2528) ได้กล่าวไว้ในหนังสือ พลศาสตร์ของการไหลในทางน้ำเปิด ว่า ยุคเริ่มต้นของการพัฒนาแบบจำลองอุทกวิทยา เชื่อว่าเริ่ม ในปี พ.ศ.2217 Perreault ได้ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนที่ตก (P) กับปริมาณน้ำท่า (Q) โดยการสังเกตและบันทึกปริมาณ ซึ่งควรใช้เวลาอย่างน้อยหนึ่งปี และได้เสนอรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q = P/6$$

ซึ่งแบบจำลองของ Perreault แม้นว่าจะอยู่ในรูปแบบที่ง่ายแต่ก็เป็น สูตรที่มีคุณค่า เพราะว่าถึงเวลาจะล่วงเลยมาเป็นเวลา 300 ปีแล้วแต่แนวความคิดที่ว่า ปริมาณน้ำท่าสามารถคิดเป็นจำนวนเปอร์เซนต์ของปริมาณฝนที่ตกก็ยังใช้กันอยู่อย่างกว้างขวาง

ยุคต่อมาเรียกว่ายุคสูตรสำเร็จ (empirical eva) เป็นยุคที่เริ่มมองปัญหาอย่างละเอียด และต้องการความถูกต้องในการทำนายผลมากขึ้น ซึ่งในปี พ.ศ. 2394 Mulvaney ได้พัฒนาสูตรสำเร็จรูปในการหาปริมาณน้ำท่าเรียกว่า " Rational Formula " ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำท่า (Q) อัตราความเข้มของฝน (i) พื้นที่รับน้ำ (A) และค่าสัมประสิทธิ์คงที่ (C) ดังนี้

$$Q = CiA$$

ซึ่งแบบจำลองของ Mulvaney นี้ มีชื่อเสียงมาก และ ยังคงได้รับความเชื่อถือใช้กันมาถึงปัจจุบัน

ยุคต่อมาเป็นยุคที่มีความเข้าใจเกี่ยวกับขบวนการอุทกวิทยามากขึ้น ประกอบกับการมีเครื่องมือ และเครื่องวัดที่ทันสมัยทำให้การเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ในยุคนี้ยังมีการพัฒนา และตีพิมพ์ความรู้เกี่ยวกับขบวนการอุทกวิทยาขึ้นมาอย่างมากมาย เช่น

- ปี พ.ศ. 2473 (ค.ศ. 1930) Hazen ได้พิมพ์ตำราชื่อ " Flood Flows " โดยเน้นเกี่ยวกับการนำทฤษฎีความน่าจะเป็น (probability) มาใช้ในขบวนการอุทกวิทยา

- ปี พ.ศ. 2475 (ค.ศ. 1932) Sherman ได้เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับทฤษฎีเอกชลภาพ (unit hydrograph)

- ปี พ.ศ. 2476 (ค.ศ. 1933) Horton ได้อธิบายทฤษฎีการซึม ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากในวงจรอุทกวิทยา

- ปี พ.ศ. 2481 (ค.ศ. 1938) Mc Carthy ได้พัฒนาทฤษฎี " Kinematic routing " ขึ้น ซึ่งต่อมารู้จักกันในชื่อของ " Muskingum routing "

- ปี พ.ศ. 2482 (ค.ศ. 1939) Hertzler ได้อธิบายขบวนการ Interflow ซึ่งเป็นการรั่วไหลในดินชั้นบนไม่อิ่มตัว (unsaturated zone)

- ปี พ.ศ. 2485 (ค.ศ. 1942) Linsley และ Ackermann ได้อธิบายวิธีการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำท่ารายวัน

- ปี พ.ศ. 2487 (ค.ศ. 1944) Thronthwait ได้อธิบายแนวความคิดเกี่ยวกับการคำนวณค่าศักย์การคายระเหย

ยุคต่อมาหลังจากที่มีการพัฒนาเครื่องคำนวณ (digital computers) คือ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2493 (ค.ศ. 1950) ซึ่งมีผลทำให้เกิดการพัฒนาแบบจำลองอุทกวิทยาทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาในรูปโปรแกรมการคำนวณอย่างมากมาย เช่น SSARR model, Stanford model series, Hydrocomp simulation program, Institute of Hydrology model, Water Resources Board " Dee Research " model, Hec model , UBC watershed and flow model เป็นต้น ซึ่งแต่ละแบบจำลองก็มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับใช้กันมาก แบบจำลองต่าง ๆ มีทั้งที่พัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาเฉพาะโครงการ หรือเพื่อใช้งานทั่วไป เช่น โปรแกรมชุด SSARR และ ชุด HEC เป็นต้น เนื่องจากการทำนายพฤติกรรมของขบวนการอุทกวิทยาที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติ เป็นสิ่งที่ซับซ้อนมาก เพราะมีองค์ประกอบที่มีผลต่อการทำนายมากมาย และ แต่ละองค์ประกอบก็มีการเปลี่ยนแปลง และแตกต่างกันไปอย่างมากในแต่ละลุ่มน้ำ ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ยุ่งยากซับซ้อน และยังไม่คุ้มกับ การลงทุนเก็บข้อมูลทุกอย่างที่มีผลต่อขบวนการอุทกวิทยาอย่างละเอียด แม้ว่าอาจจะมีเครื่องคำนวณที่มีความสามารถสูงขึ้นก็ตาม

2.2 หลักการเบื้องต้นของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นการเกี่ยวข้องกับ เรื่องของ ระบบ (system) และการวิเคราะห์ระบบ (system analysis) ดังนั้นจึงควรทำความเข้าใจถึงเรื่องระบบ และการวิเคราะห์ระบบด้วย ดร.สุรวุฒิ ประดิษฐานนท์ (2523) ได้กล่าวไว้ในบทความเรื่องการจำลองสภาพในการวางแผนพัฒนาทรัพยากรแหล่งน้ำ ไว้ว่า ระบบใด ๆ ก็คือ ส่วนประกอบของระบบและความสัมพันธ์ที่มีต่อกัน ซึ่งถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ขึ้นกับ ส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบจะยังผลสะท้อนไปถึงส่วนอื่น ๆ เป็นเหตุให้ระบบต้องปรับตัวให้เกิดสมดุลย์ใหม่ขึ้น และกล่าวถึง การวิเคราะห์ระบบ ไว้ว่า การวิเคราะห์ระบบ หมายถึง ความเข้าใจถึงลักษณะขององค์ประกอบของระบบ และ ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเหล่านี้ ที่รวมกันขึ้นเป็นระบบ ความเข้าใจถึงการปฏิบัติงานเป็นระบบ ทำให้สามารถทำนายผลที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่มีต่อระบบได้

การทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (simulation) หมายถึงการจำลองโดยใช้รูปแบบความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมา เพื่อเป็นตัวแทนของลำดับเหตุการณ์อันอาจเกิดขึ้นได้ในสภาพที่เป็นจริง อาจเรียกว่าเป็นการจำลองตามลำดับเหตุการณ์ด้วยคณิตศาสตร์ เพราะองค์ประกอบสำคัญในการศึกษาทางด้านอุทกวิทยานั้นผันแปรไปตามเวลา เพราะฉะนั้นการจำลองของระบบในการศึกษานี้จึงต้องมีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย โดยการใช้ข้อมูลทางอุทกวิทยาที่ได้จากการวัดหรือสำรวจจริงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ หรืออาจใช้ข้อมูลที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาโดยกรรมวิธีต่าง ๆ ที่สามารถเชื่อถือได้

2.2.1 ส่วนประกอบของระบบในการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ส่วนประกอบของระบบสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน คือ ส่วนประกอบ (components) ความสัมพันธ์ (relationships) ตัวแปร (variables)และช่วงเวลา (time interval) ซึ่งแต่ละส่วนสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ส่วนประกอบ (Components)

ส่วนประกอบของแบบจำลองจะหมายถึง อาคาร หรือ ชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ประกอบกันขึ้นเป็นโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ ตัวอย่างเช่น ตัวเขื่อน อุโมงค์ผันน้ำ ทางน้ำล้น โรงสูบน้ำ

คลองส่งน้ำ และอื่น ๆ

2. ความสัมพันธ์ (relationships)

ความสัมพันธ์ที่กล่าวถึงในที่นี้ หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างกัน ในรูปแบบต่าง ๆ ภายในระบบ ซึ่งแสดงลักษณะพฤติกรรมของแต่ละส่วนประกอบของระบบ รูปแบบของความสัมพันธ์มีอยู่หลายรูปแบบ แต่ที่สำคัญคือ ความสัมพันธ์ในรูปแบบของวิธีการดำเนินการ (operating procedure) ความสัมพันธ์ในลักษณะนี้จะต้องถูกกำหนดออกมาเป็นขนาด และถือเป็นตัวแปรหนึ่งซึ่งผู้วางแผนสามารถควบคุมได้ ลักษณะของความสัมพันธ์ในรูปแบบของวิธีการดำเนินการสามารถจินตนาการจาก การปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำให้สอดคล้อง กับความต้องการต่าง ๆ ด้านท้ายน้ำ และขณะเดียวกันก็ต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่จะต้องคงไว้ในอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นวิธีการดำเนินการจะต้องคำนึงถึงความผันแปรต่าง ๆ ที่มีในแต่ละฤดูกาล และรวมถึงการให้ลำดับความสำคัญของแต่ละวัตถุประสงค์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ด้วย เมื่อเกิดการขัดแย้งกันในการใช้น้ำขึ้น

3. ตัวแปร (variables)

ตัวแปรในระบบอาจแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ตัวแปรสภาวะของระบบ (state variables)

ตัวแปรสภาวะของระบบ เป็นตัวแปรต่าง ๆ ที่บ่งชี้สภาวะการณ์ของ ส่วนประกอบต่าง ๆ ตัวแปรนี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในระหว่างที่ดำเนินการศึกษาตัวอย่างของตัวแปรประเภทนี้ได้แก่ ระดับน้ำ และ ปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำ หัวน้ำ (head) ของเครื่องผลิตไฟฟ้า หรือ ปริมาณความชื้นในดินของพื้นที่ชลประทาน เป็นต้น

2. ตัวแปรสิ่งที่เข้าระบบ (model input variables)

ตัวแปรชนิดนี้ยังจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท ประเภทหนึ่ง เป็น ตัวแปรที่มีลักษณะทางกายภาพ (physical inputs) ของระบบที่เป็นจริงตามธรรมชาติ และเป็นตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ ตัวอย่างเช่น ปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติ ปรากฏการณ์ทางอุตุนิยมวิทยาซึ่งมีผลต่อปริมาณน้ำฝนและการระเหย เป็นต้น ตัวแปรอีกประการหนึ่งจะไม่มีลักษณะทางกายภาพ (exogenous variables) เป็นตัวแปรต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นต่างหากในแบบจำลอง

ทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายพฤติกรรมหรือสภาพ ซึ่งผู้วางแผนไม่สามารถเข้าไปมีอิทธิพลโดยตรง ตัวอย่าง เช่น นโยบายทางการเมือง กฎหมายหรือข้อบังคับต่าง ๆ ในสังคมที่กำหนดการใช้น้ำอย่างไม่ถูกต้อง การผันน้ำเข้าหรือออกจากลุ่มน้ำ หรือปริมาณของเสียที่ปล่อยลงน้ำ เป็นต้น

3. ตัวแปรกำหนด (model parameters)

ตัวแปรกำหนด หมายถึง คุณลักษณะ หรือ คุณสมบัติของระบบ ที่สามารถแสดง หรือกำหนดได้อย่างชัดเจน และจะมีค่าคงที่ตลอดการคำนวณแต่ละครั้ง ตัวแปรกำหนด เป็นตัวแปรในทัศนะที่ว่า ค่าของตัวกำหนดนั้นอาจเปลี่ยนแปลงได้โดยผู้ควบคุมการทำงานของแบบจำลอง ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพการณ์ต่าง ๆ แต่เมื่อได้เลือกค่าตัวกำหนดใด ๆ ขึ้นแล้ว ก็จะใช้ค่านั้นตลอดการคำนวณของกรณีนั้น ๆ ตัวอย่างของ ตัวกำหนด ได้แก่ ความจุของอ่างเก็บน้ำ ตัวแปรบ่งสภาพ หรือ ลักษณะของลำน้ำ ขนาดของคลองส่งน้ำ เป็นต้น

ตัวกำหนดอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ตัวกำหนดที่รู้ค่าแน่นอน (design parameters or decision variables) ตัวกำหนดชนิดนี้เป็นตัวแปรซึ่งแสดงให้เห็นการออกแบบของระบบ และผู้วางแผนสามารถที่จะควบคุมค่าของตัวแปรเหล่านี้ได้ ตัวอย่างของตัวแปรชนิดนี้ได้แก่ ความจุของอ่างเก็บน้ำ จำนวนหน่วยของโครงการเอนกประสงค์ ขนาดของพื้นที่ชลประทาน เป็นต้น ตัวกำหนดอีกชนิดหนึ่งคือ ตัวกำหนดที่ไม่รู้ค่าแน่นอน (exogenous parameters) ตัวอย่างเช่น สัมประสิทธิ์การสูญเสียน้ำจากการซึมของอ่างเก็บน้ำหรือคลองส่งน้ำ ประสิทธิภาพของระบบชลประทาน เป็นต้น ตัวกำหนดชนิดนี้ไม่อาจกำหนดได้แน่นอนในช่วงเวลาที่ออกแบบ หรือทำการศึกษาแบบจำลอง แต่สามารถคาดหมายค่าของตัวกำหนดชนิดนี้ว่าควรจะอยู่ระหว่างค่า (range) เท่าไร ถ้าหากทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวกำหนดต่าง ๆ เหล่านี้แล้ว สังเกตความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากระบบ วิธีการนี้ช่วยให้ตรวจสอบความผิดพลาดจากการสมมุติค่าตัวแปรชนิดนี้ได้ และทำให้ทราบว่าตัวแปรใดมีอิทธิพลมากหรือน้อยกับระบบอย่างไรวิธีนี้เรียกว่า การวิเคราะห์ความอ่อนไหว(sensitivity analysis)

4. ตัวแปรผลลัพธ์ที่ออกมา (model output variables)

เมื่อเราป้อนข้อมูลเข้าสู่แบบจำลองใด ๆ แบบจำลองนั้น ก็จะตอบสนองด้วย การให้ผลลัพธ์ออกมา ผลลัพธ์ที่ได้ออกมานี้ถือเป็นตัวแปรอีกชนิดหนึ่งซึ่งอาจแสดงออกมาเป็นคุณสมบัติ

ทางกายภาพ เช่น ปริมาณน้ำล้นหรือปริมาณน้ำที่ขาดแคลน เป็นต้น และอาจแสดงเป็น ผลทางเศรษฐกิจก็ได้ เช่น ผลประโยชน์ตอบแทน หรือผลผลิตในแต่ละปี

5. ช่วงเวลา (time interval)

องค์ประกอบตัวสุดท้ายที่แสดงลักษณะของ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการศึกษา ในการเลือกค่าช่วงเวลานั้น ต้องพิจารณาเช่นกันจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ประการแรก คือ ความต้องการที่จะแทนพฤติกรรมที่เป็นจริงให้ใกล้เคียงเพียงใด ถ้าหากต้องการให้ใกล้เคียงมาก ช่วงเวลาที่ใช้ก็ต้องสั้นมาก อาจเป็นรายวัน หรือ รายชั่วโมง ประการที่สองคือ ค่าใช้จ่ายในการใช้เวลาจากเครื่องคำนวณ ประการที่สามคือ วัตถุประสงค์ของการศึกษา และประการสุดท้ายคือ ความเหมาะสมของข้อมูลที่มีอยู่ เมื่อพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ นี้แล้ว จึงเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษา โดยทั่วไปในการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการพัฒนาแหล่งน้ำ มักจะใช้ช่วงเวลา 1 เดือน แต่ทั้งนี้อาจใช้สัปดาห์ วัน หรือ ช่วงเวลาที่น้อยกว่าก็ได้ตามวัตถุประสงค์ และลักษณะปัญหาของการศึกษา

2.3 การจำลองสภาพกับการศึกษาและวางแผนงานด้านพัฒนาแหล่งน้ำ

2.3.1 การจำลองสภาพกับการวิเคราะห์ระบบ

การวิเคราะห์ระบบโดยวิธีการจำลองสภาพ คือ การวิเคราะห์ โดยการศึกษาพฤติกรรมต่าง ๆ ของระบบที่สังเคราะห์ขึ้น เพื่อหาลักษณะเปรียบเทียบกับต้นแบบที่ต้องการศึกษา ถ้าสามารถหาลักษณะของต้นแบบได้ กรรมวิธีต่าง ๆ ที่มีภายในระบบ อาจจำลองออกมาได้โดยการใช้แบบจำลองทางกายภาพ (physical model) หรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) แบบจำลองทางกายภาพได้ถูกประยุกต์มาใช้แก้ปัญหาหลายอย่าง เช่น การออกแบบโครงสร้างทางชลศาสตร์ เป็นต้น แต่ระบบการพัฒนาทรัพยากรแหล่งน้ำที่สลับซับซ้อน มักจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นวิธีในการทำนายพฤติกรรมของระบบ ซึ่งจะให้ผลที่ดี แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สร้างขึ้นโดยอาศัยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ แทนกรรมวิธี และกลไกต่าง ๆ ของระบบต้นแบบ โดยการเชื่อมโยงความสัมพันธ์เหล่านี้เข้าด้วยกันเป็นระบบแบบจำลอง ดังนั้นการจำลองสภาพ (simulation) คือ วิธีการวิเคราะห์โดยการสร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อพิจารณาพฤติกรรม หรือ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ภายใต้การ

กำหนดตัวจำกัด (constraint) และ สิ่งที่เข้า (input) เนื่องจากความคล้ายคลึงของแบบจำลอง และต้นแบบที่ได้จาก การเปรียบเทียบพฤติกรรมของตัวแปรสำคัญ ๆ ที่กำหนดขึ้นแบบจำลอง จึงสามารถใช้ทำนายการตอบสนองของต้นแบบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวกำหนด (parameter) หรือสิ่งที่เข้าของระบบได้ ดังนั้นการจำลองสภาพจึงมีข้อดีที่สำคัญ ดังนี้

- สามารถทดสอบพฤติกรรมต่าง ๆ ของระบบได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายใด ๆ กับระบบจริง

- สามารถทดสอบความเปลี่ยนแปลงที่ต้องการใด ๆ กับระบบที่เป็นอยู่ได้โดย ไม่แตะต้องระบบจริง

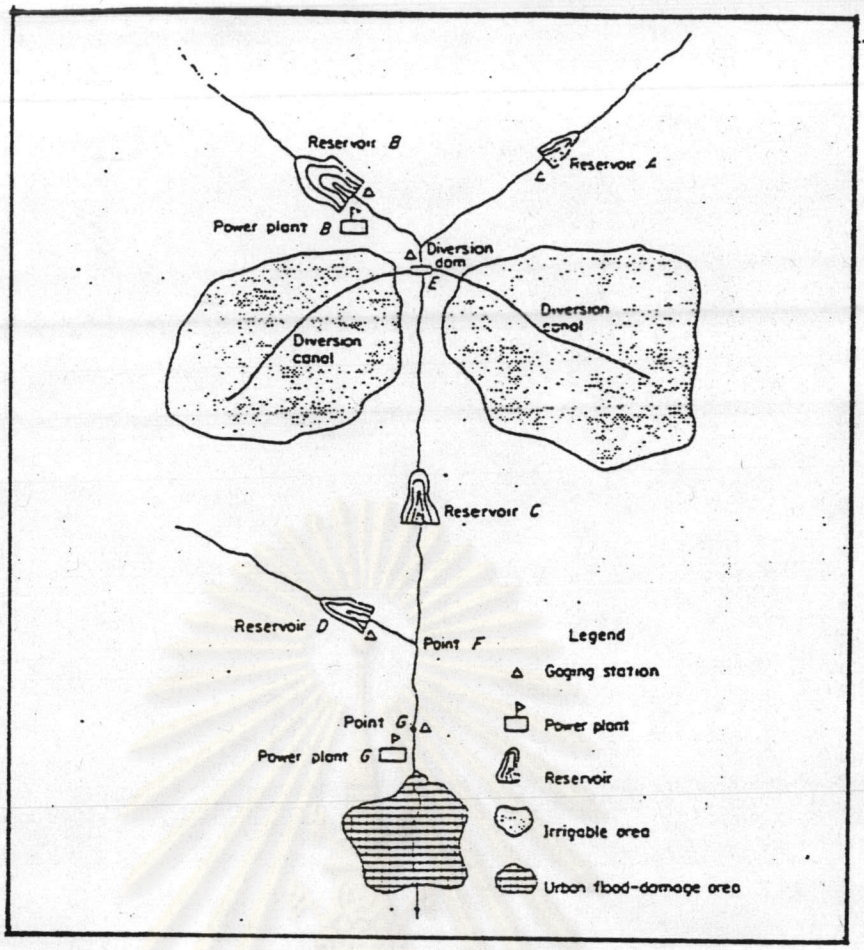
- สามารถศึกษาข้อเสนอต่าง ๆ ที่ต้องการทราบของระบบที่ศึกษาได้ในเวลาจำกัด

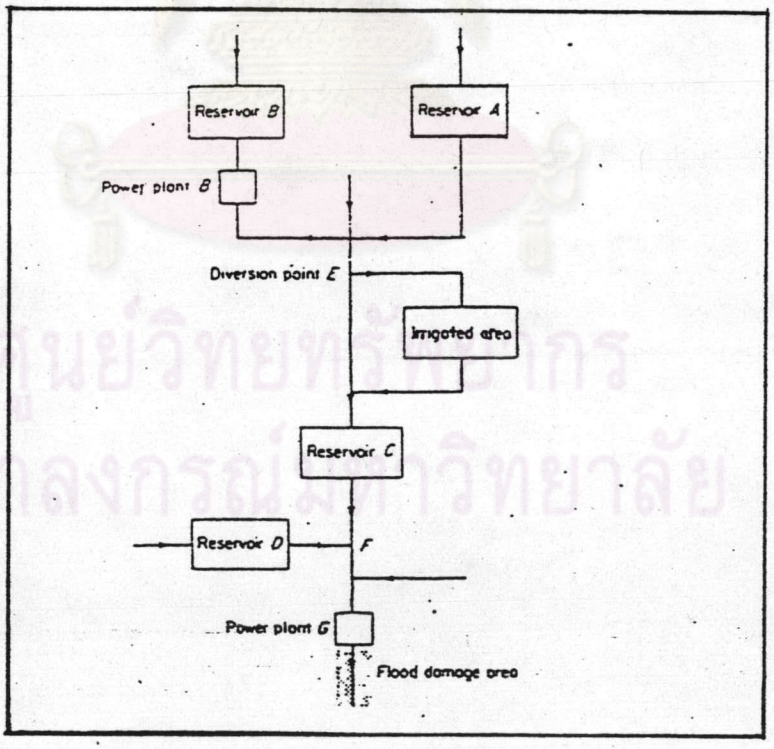
- สามารถทดสอบสมมุติฐานในการออกแบบระบบเพื่อการศึกษาขั้นต้น หรือทำการเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ ได้สะดวก

- เพิ่มพูนความรู้เกี่ยวกับระบบที่ศึกษา โดยเฉพาะความสัมพันธ์ที่สำคัญของ กรรมวิธีต่าง ๆ ภายในระบบ และผลของสิ่งที่กำหนดให้

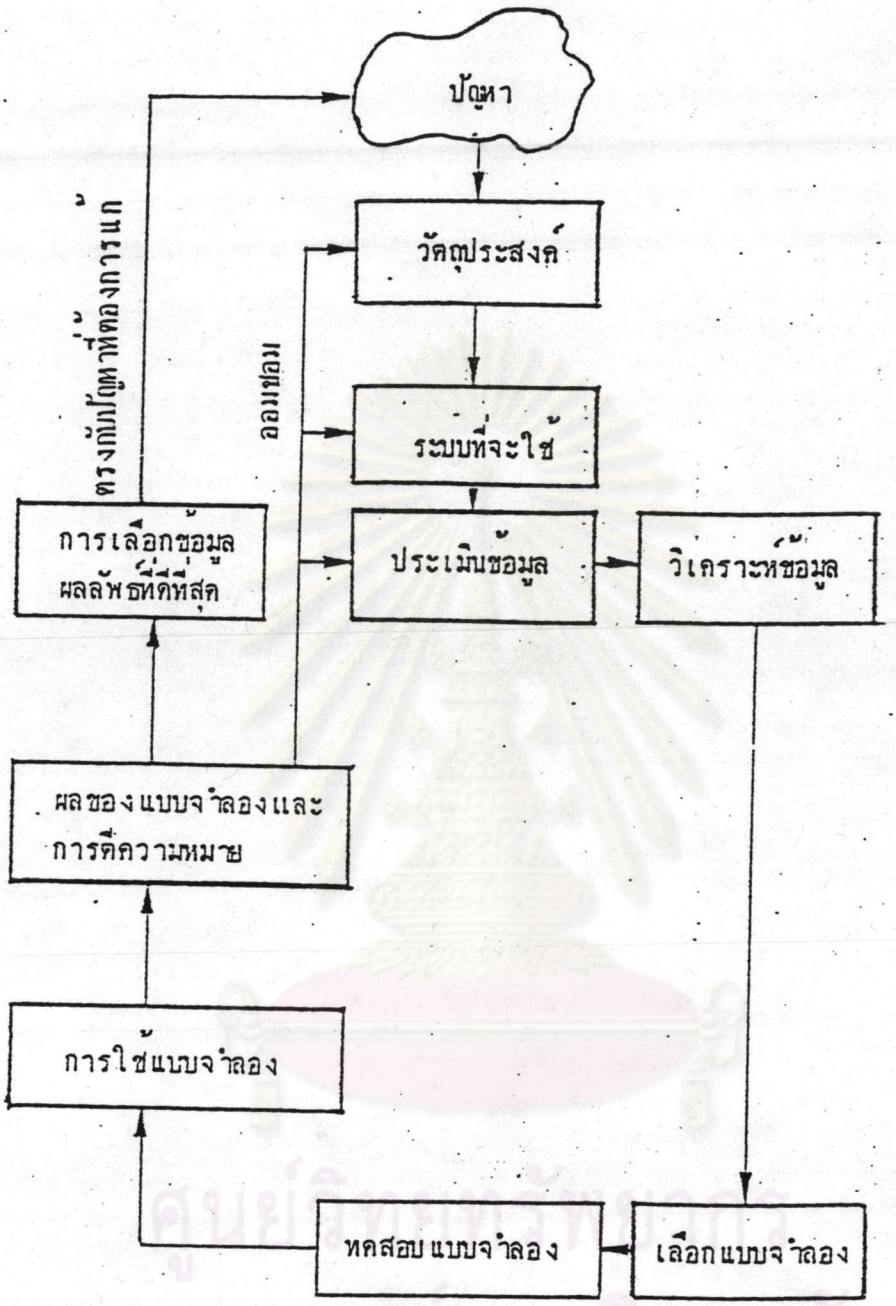
2.3.2 <u>การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์</u>

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบ่งเป็นสองขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ ขั้นแรกเป็นการสร้างแบบจำลองทางมโนคติ หรือมโนแบบขึ้นมาโดยเลียนมาจากส่วน ต่าง ๆ ของระบบจริง ดังตัวอย่างแสดงใน รูป 2-1 มโนแบบนี้อาศัยข้อมูล และ สมมุติฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบย่อย และความสัมพันธ์ระหว่างระบบย่อยเหล่านั้น ที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นระบบโดยทั่วไปมโนภาพ และสมมุติฐานที่เกี่ยวข้องกับของจริงที่กำลังศึกษา มักจะได้จากข้อมูลที่มีอยู่ ดังนั้นในการสร้างมโนแบบ จึงควรที่จะหาข้อมูลที่เหมาะสม และดีที่สุดมาใช้ ถ้ามีข้อมูลมาเพิ่มเติม มโนแบบควรได้รับการแก้ไขเปลี่ยนแปลงให้ใกล้เคียงกับของจริงมากยิ่งขึ้น ขั้นที่สองในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ การเปลี่ยนมโนแบบมาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในขั้นนี้ความสัมพันธ์และกระบวนการต่าง ๆ ของแบบจำลอง จะถูกเขียนออกมาในรูปความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ ขั้นตอนที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการพัฒนาแบบจำลองแสดงดัง รูป 2-2





รูป 2-1 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองทางมโนคติโดยเลียนจากระบบจริง



ที่มา : ดร.สุรวุฒิ ประดิษฐานนท์ (2523)

รูป 2-2 แผนภูมิขั้นตอนในการพัฒนา และประยุกต์การจำลองสภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019483

2.3.3 การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลอง เป็นขั้นตอนระหว่างมโนแบบจำลองที่จะใช้ ชนิดและแบบของแบบจำลองที่ใช้ขึ้นกับความต้องการของปัญหา (วัตถุประสงค์) และ ข้อมูลที่มีสำหรับการศึกษา โดยทั่วไปหลักคณิตศาสตร์ที่ใช้กับระบบอุทกวิทยาตามธรรมชาติ อาจมาจากแบบจำลองชนิดตัวกำหนดรวม (lumped parameter) หรือแบบจำลองชนิดตัวกำหนดกระจาย (distributed parameter) กรรมวิธีที่ใช้กับระบบอุทกวิทยาอาจใช้ความสัมพันธ์ที่แน่นอน หรือแบบคาดคะเน หรือปนกันทั้งสองชนิด

การเลือกใช้แบบจำลองชนิดตัวกำหนดกระจาย หรือตัวกำหนดรวม ข้อจำกัดมักขึ้นกับข้อมูล และ การจำกัดของปัญหาที่เกี่ยวกับช่วงระยะเวลา และพื้นที่ เช่น การใช้ช่วงเวลาเป็นเดือนในปัญหาที่เกี่ยวกับการกักเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำสำหรับการชลประทาน แต่ใช้ช่วงเวลาเป็นวัน หรือ เป็นชั่วโมงแทน ในปัญหาการออกแบบทางน้ำล้น (spillway) ส่วนข้อมูล เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน โดยปกติมักจะวัดกันเป็นระยะ ๆ ในเชิงของเวลาและสถานที่ ดังนั้นค่าที่ใช้มักเป็นค่าเฉลี่ยตามเวลาและสถานที่

ความซับซ้อนของการออกแบบจำลอง เพื่อใช้แทนระบบอุทกวิทยาขึ้นอยู่กับ ช่วงขนาดของเวลาและพื้นที่ที่ต้องการใช้ในแบบจำลอง ถ้าใช้ช่วงเวลายาวเกินไป ผลจากปรากฏการณ์ที่เกิดในช่วงระยะสั้น ๆ จะสูญเสียไป เช่น ถ้าใช้ช่วงระยะเวลาเป็นเดือน อัตราการดักสกัดน้ำ (intercept) ก็เกือบจะสูญเสียไป (หรือตัดทิ้งไปได้) ในขณะเดียวกันช่วงเวลาที่ใช้ อาจจะพ้องกับระยะเวลาการเปลี่ยนแปลง ของปรากฏการณ์บางอย่าง กรณีนี้ผลของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างเวลานั้นอาจสูญเสียไป เช่น ถ้าคิดเวลาเป็นปีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสะสมภายในระบบอุทกวิทยามักจะมีค่าน้อยมาก แต่ถ้าคิดเป็นเดือน ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณสะสมจะสูง และต้องนำมาคิดรวมด้วย ถ้าลดระยะเวลา และสถานที่ลดลง อาจจำเป็นต้องได้คำจำกัดความของขบวนการทางอุทกวิทยาให้ละเอียดขึ้น จะทำให้ผลที่เกิดขึ้นในช่วงระยะสั้น ๆ หรือ การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยใด ๆ จะไม่ถูกตัดทิ้งไป แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีนี้จะสลับซับซ้อนมากขึ้น

ลำดับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบแหล่งน้ำ

โดยทั่วไปอาจกำหนดลำดับการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบแหล่งน้ำได้ ดังนี้

1. การนิยามระบบ กำหนดเค้าโครงและขอบเขตของระบบ รวมทั้งโครงข่ายสัมพันธ์ของแหล่งน้ำจุดที่ต้องการน้ำ และจุดควบคุมน้ำ การทำงานในลำดับนี้ ได้แก่ การแสดงระบบออกมาให้เห็นชัดเจนในรูปของแผนผัง (schematic)

2. การนำข้อมูลทางอุทกวิทยามาจัดให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม ที่จะนำไปใช้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป รวมทั้งการสังเคราะห์ข้อมูลขึ้นมาด้วย

3. การกำหนดค่าตัวแปรและค่าคงที่ต่าง ๆ ภายในระบบ

4. การกำหนดวิธีการดำเนินการสำหรับระบบที่ทำการศึกษา

5. ประเมินการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจที่ได้จากการกำหนดค่าตัวแปร และผลที่ออกมาของกรณีต่าง ๆ

6. ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของระบบ

2.3.4 การทดสอบแบบจำลอง

การสังเคราะห์แบบจำลองของระบบอุทกวิทยา ได้มาจากการใช้ความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของระบบในรูปของสมการที่เกี่ยวเนื่องกันตามลำดับขั้นตอนที่ถูกต้อง แบบจำลองมิใช่การลอกของจริงมาโดยตรง แบบจำลองเป็นเพียงสิ่งที่จำลองมาจากต้นแบบที่คิดขึ้น ระบบทั้งสองสามารถใช้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เดียวกันอธิบายปรากฏการณ์ที่สังเกตได้ แบบจำลองจึงประกอบด้วยสมการพื้นฐานของขบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ ดังนั้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงปราศจากข้อจำกัดทางเรขาคณิตอย่างแบบจำลองทางกายภาพ การที่จะให้แบบจำลองเลียนระบบต้นแบบใด ๆ กระทำได้โดยการทดสอบแบบจำลอง หรือการหาค่าตัวกำหนดที่เหมาะสมที่มีอยู่ภายในระบบ

ในการที่จะใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาแบบทั่ว ๆ ไป กับพื้นที่ใด ๆโดยเฉพาะ เมื่อได้ผ่านการทดสอบแล้ว การหาค่าตัวกำหนดของแบบจำลองมาจากการเปรียบเทียบกับระบบต้นแบบในพื้นที่ที่ต้องการ การทดสอบแบบจำลองกระทำเป็น 2 ลำดับ คือ การเปรียบเทียบ หรือการหาค่าของตัวกำหนด และ การทบทวนแบบจำลอง การทดสอบทั้งสองลำดับจะต้องใช้ข้อมูลที่ได้มาจากระบบต้นแบบ

- การทบทวนแบบจำลองประกอบด้วย การปรับแปรค่าของตัวกำหนด ของแบบจำลอง จนกระทั่งผลที่ได้ออกมาเทียบเคียงกับข้อมูลจากของจริงได้ ดังนั้น ความแม่นยำของแบบจำลองจึงไม่อาจสูงกว่าความละเอียดของข้อมูลจากต้นแบบได้

- การทบทวนแบบจำลอง กระทำได้โดยเทียบค่าตัวกำหนดของแบบจำลอง เพื่อให้ผลที่ได้ออกมาใกล้เคียงกับข้อมูลของจริง การทบทวนแบบจำลองกระทำได้โดยการใช้แบบจำลองที่ผ่านการเปรียบเทียบมาแล้ว กับข้อมูลอีกชุดหนึ่งของระบบซึ่งไม่ซ้ำกับชุดแรก เพื่อทดสอบความใกล้เคียงของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง กับข้อมูลชุดใหม่

2.3.5 <u>ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์</u>

ข้อมูลที่จะนำมาป้อนเข้าสู่แบบจำลองนั้น มีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมากในการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ ในสภาพที่เป็นจริงตามธรรมชาตินั้นข้อมูลที่จะนำมาใช้ โดยปกติมักจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น ปริมาณน้ำที่ไหลในลำน้ำ หรือ ค่าของอุณหภูมิ เป็นต้น อย่างไรก็ตามเมื่อทำการศึกษากับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะต้องจัดแจงข้อมูลที่จะใช้ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ได้สะดวก ซึ่งก็จะปรากฏในรูปของชุดข้อมูล ที่แบ่งเป็นช่วงเวลา เช่น สถิติน้ำท่ารายเดือน รายวัน หรือ รายชั่วโมง สถิติน้ำฝนรายวัน สถิติอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน หรือสถิติการใช้น้ำเฉลี่ยรายวัน เป็นต้น ลักษณะของข้อมูลแต่ละชุดดังกล่าวนี้แสดงออกเป็นความสัมพันธ์อันต่อเนื่อง (serial correlation) เมื่อพิจารณาชุดข้อมูลทางอุทกวิทยาของท้องที่แห่งหนึ่ง ก็จะพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลด้วยกัน (cross-correlation) เช่น ปริมาณการตกของฝน (ชุดข้อมูลน้ำฝน) ก็น่าจะมีความเกี่ยวพันกับ ปริมาณน้ำที่ไหลในลำน้ำ (ชุดข้อมูลน้ำท่า) ช่วงเวลาที่มีความต้องการน้ำสูงมักจะเกี่ยวพันกับช่วงเวลาที่อากาศมีอุณหภูมิสูง และอัตราการระเหยสูง เป็นต้น

ชุดของข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการศึกษาแบบจำลอง ควรจะมีความยาวของระยะเวลาที่ทำการวัดข้อมูลพอสมควร โดยปกติควรมีความยาวเท่ากับอายุของโครงการ ที่จะทำการศึกษา แต่ในสภาพความเป็นจริงนั้นเป็นการยากที่จะมีชุดข้อมูลต่าง ๆ ที่มีความยาวตามที่ต้องการได้ และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อันซับซ้อนขึ้นมา เพื่อศึกษาระบบใด ๆ ที่มีชุดข้อมูลที่สั้นมากจะเป็นการไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการสำหรับขยายความยาวของชุดข้อมูล หรือสังเคราะห์ชุดข้อมูลขึ้นมาใหม่ วิธีการดังกล่าวมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีทางคณิตศาสตร์ที่มีความแน่นอน (Deterministic) และ วิธีคาดคะเนทางสถิติ (Stochastic)

ชุดข้อมูลทางอุทกวิทยาที่จัดหามา เพื่อจะนำมาเป็นข้อมูลใช้กับการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น ควรจะต้องเป็นข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำตามสภาพที่เกิดขึ้นจริง และ ต้องมีความยาวของชุดข้อมูลเพียงพอ ซึ่งสิ่งนี้ถ้าหากพิจารณาในทางปฏิบัติแล้ว มักจะเป็นไปได้ยาก จึงมักจะมีปัญหาข้อมูลไม่เพียงพอ หรือ ไม่ดีพอ หรือ มีไม่ครบถ้วนเสมอ ๆ ดังนั้นประเด็นการทำงานจึงอยู่ที่วิธีการที่จะนำมาใช้ เพื่อให้สามารถทำในสิ่งที่ดีที่สุดที่จะทำได้ด้วยข้อมูลที่มีอยู่นั้น ซึ่งหากพิจารณาแล้ว การตัดสินใจในงานวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำนั้น อาจทำขึ้นได้โดยไม่คำนึงถึงคุณภาพของข้อมูลที่มีอยู่เท่าไรนัก ด้วยการพิจารณาจากแนวทางเลือกต่าง ๆ ที่ดีที่สุด ที่เป็นไปได้ จากการวิเคราะห์ด้วยข้อมูลที่มีอยู่นั้น นั่นเอง เพราะฉะนั้นถึงแม้ว่าการทำงานจะขาดแคลนชุดข้อมูลที่เหมาะสมไม่เพียงพอก็ตาม แต่ด้วยวิธีการเปรียบเทียบทางเลือกต่าง ๆ ที่ได้จากการพิจารณาใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) ที่เหมาะสมก็จะเป็นการลดบทบาทความสำคัญของเรื่องข้อมูลลงไปได้มาก อย่างไรก็ตาม เมื่อต้องการที่จะประเมินวัดผลที่เกิดขึ้นจากระบบให้ถูกต้องสมบูรณ์แล้ว ก็จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาคุณภาพของข้อมูลที่จะใช้ให้มีความถูกต้องอย่างพิถีพิถัน

2.3.6 <u>ผลลัพธ์จากแบบจำลองและการตีความหมาย</u>

แบบจำลองที่ผ่านการทดสอบแล้ว ผลที่ได้ออกมาเมื่อเปรียบเทียบกับของจริง จะชี้ให้เห็นถึงขีดความสามารถของแบบจำลองในการแสดงภาพของจริง ในระหว่างการทดสอบนั้นอาจมีการแก้ไขและปรับปรุง อาจจะเป็นข้อมูลที่ใช้ หรือโครงสร้างของแบบจำลองเอง เมื่อแบบจำลองผ่านการทดสอบแล้ว แบบจำลองก็พร้อมที่จะใช้เพื่อการศึกษาการจัดการ และวิเคราะห์ความอ่อนไหว (sensitivity)

- การศึกษาความอ่อนไหว การวิเคราะห์ความอ่อนไหวกระทำโดยการเปลี่ยนค่าตัวแปรของระบบตัวใดตัวหนึ่ง โดยที่ค่าตัวแปรอื่น ๆ คงที่ แล้วสังเกตค่าการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ออกมา ถ้าตัวกำหนดของระบบตัวใดที่เปลี่ยนค่าเพียงเล็กน้อย แต่ยังผลให้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากต่อผลลัพธ์ที่ได้ ถือว่าระบบนั้นอ่อนไหวต่อตัวกำหนดนั้น

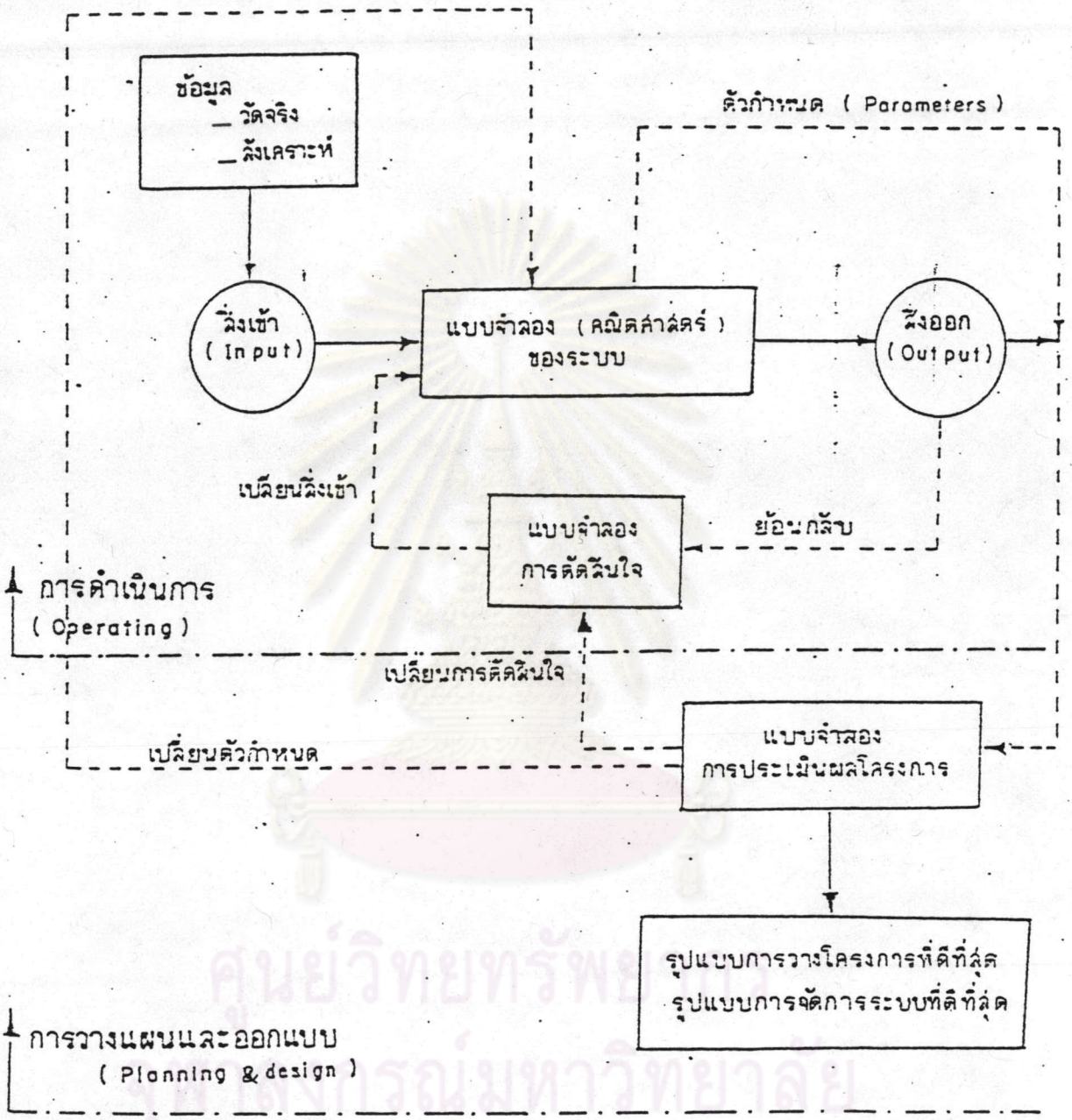
- การศึกษาการจัดการ แบบจำลองโดยตัวของมันเองแล้วไม่สามารถหาผลลัพธ์ของจุดประสงค์ทางการจัดการใด ๆ ได้ แต่วิธีการนี้ช่วยให้สามารถประเมินวิธีการจัดการชนิดต่าง ๆ ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว

2.3.7 ลักษณะการใช้งานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทางด้านพัฒนาแหล่งน้ำ

การทำงานด้านการพัฒนาแหล่งน้ำ อาจแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกได้เป็น 2 ขั้นตอน กล่าวคือ ขั้นตอนการดำเนินการ และ ขั้นตอนการวางแผน และออกแบบ วิธีการใช้งานของเทคนิคแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากวิทยานิพนธ์ของ สุวิทย์ ธโนภานุวัฒน์ (2525) ได้แสดงไว้ใน รูป 2.3 ซึ่งเริ่มต้นจาก การนำข้อมูลป้อนเข้าแบบจำลองของระบบ แล้วจะได้ผลลัพธ์ออกมาตามเงื่อนไขค่าตัวกำหนดที่ใช้ในแบบจำลองแต่ละครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาพิจารณาเพื่อการตัดสินใจ ถ้าหากผลลัพธ์ที่ได้ไม่น่าพึงพอใจ อาจมีการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรบางตัว (controllable input) แล้วป้อนกลับเข้าสู่แบบจำลองของระบบใหม่จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ออกที่พอใจ ขั้นตอนนี้คือขั้นตอนดำเนินการ ตัวอย่างได้แก่ การศึกษาการดำเนินการของอ่างเก็บน้ำ (reservoir operation study) ซึ่งในการศึกษาจะทราบค่าของตัวกำหนด เช่น ขนาดของอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น เมื่อป้อนข้อมูล เช่น ปริมาณน้ำท่า และ ความต้องการน้ำเข้าสู่แบบจำลองก็จะได้ผลลัพธ์ออกมา โดยสมมุติว่าเป็นปริมาตรน้ำที่เหลือในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งถ้าหากผลลัพธ์แสดงว่าปริมาตรน้ำที่เหลือมีค่าน้อยเกินไป ก็อาจมีการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรของระบบ (การตัดสินใจ) การปรับเปลี่ยนที่สามารถทำได้คือ การลดปริมาณความต้องการน้ำลง เพราะว่าเป็นสิ่งที่สามารถควบคุมได้ (controllable input) ในขณะที่ไม่สามารถเปลี่ยนค่าปริมาณน้ำท่าให้มากขึ้น เนื่องจากเป็นสิ่งที่ควบคุมไม่ได้ และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำได้เช่นกันเนื่องจากเป็นตัวกำหนดคงที่ของระบบ กรรมวิธีการทำงานเช่นนี้จะทำจนกว่า ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นที่พอใจ

ในขั้นตอนการวางแผนและออกแบบระบบนั้น มีข้อแตกต่างออกไป คือ จะไม่กำหนดค่าของตัวกำหนดให้คงที่ รวมทั้งรูปแบบการตัดสินใจก็อาจเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน ลักษณะการทำงาน ก็คือ นอกเหนือจากการทำงานตามขั้นตอนดำเนินการแล้วผลลัพธ์ที่ได้ออกมาจะเปรียบเสมือนผลตอบแทนของโครงการ และค่าตัวกำหนดต่าง ๆ ที่ใช้ (ได้แก่ ขนาดของเขื่อนระบบส่งน้ำ เป็นต้น) จะเปรียบเหมือนการลงทุนของโครงการ ต่างก็ถูกนำมาปรับเทียบกันในแบบจำลองการประเมินผลโครงการ ซึ่งผลที่ออกมาอาจทำให้มีการปรับเปลี่ยนค่าตัวกำหนด และ/หรือ ปรับเปลี่ยนการตัดสินใจ (นโยบาย) เพื่อให้ได้รูปแบบของการวางโครงการที่ให้ค่าสูงสุดหรือดีที่สุด หรือรูปแบบการจัดการระบบที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นเป้าหมายของการวางแผน และออกแบบระบบนั่นเอง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ที่มา : สุวิทย์ ธโนภานุวัฒน์ (2525)

รูป 2-3 แผนผังแสดงการใช้งานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 แบบจำลอง HEC - 5

2.4.1 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของโปรแกรม

โปรแกรม HEC - 5 เป็นแบบจำลองใช้สำหรับ การควบคุมน้ำท่วม และระบบกักเก็บน้ำ (Simulation of Flood Control and Conservation Systems) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Bill S. Eichert แห่งหน่วยงาน Hydrologic Engineering Center ของ US. Army Corps of Engineers เมื่อปี 2516 เพื่อการศึกษาการดำเนินงานควบคุมอุทกภัย แต่ต่อมาได้มีการปรับปรุงอีกหลายครั้ง โดยเพิ่มความสามารถในการจำลองการดำเนินงานทางไฟฟ้าพลังน้ำ และการกักเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ จนถึงครั้งล่าสุด รุ่นที่ 7.2 ปรับปรุงเมื่อเดือน มีนาคม 2534 ซึ่งเป็นรุ่นที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

โปรแกรม HEC - 5 ถูกเขียนขึ้นโดยใช้ภาษาฟอร์แทรน โดยตอนแรกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ ที่สามารถจำลองการดำเนินงานของ อ่างเก็บน้ำ 35 แห่ง จุดควบคุม (control points) 55 จุด ทางผันน้ำ (diversions) 11 แห่ง และโรงไฟฟ้า (power plant) 9 โรง แต่เมื่อลดขนาดของโปรแกรมลง เพื่อใช้บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์แล้วความสามารถจะลดลง โดยรุ่นที่ 7.2 ที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถจำลองการดำเนินงานของอ่างเก็บน้ำได้ 7 แห่ง จุดควบคุม 15 จุด ทางผันน้ำ 7 แห่ง และโรงไฟฟ้า 5 โรง และ สามารถใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีคุณสมบัติ ดังนี้ หน่วยความจำ 640 กิโลไบต์ (ใช้ในการคำนวณ 575 กิโลไบต์) MS.DOS รุ่น 3.0 หรือสูงกว่า ฮาร์ดดิสก์ความจุ 10 เมกะไบต์ และ หน่วยช่วยคำนวณ (math coprocessor 8087, 80287, 80387 หรือ 80487) ซึ่งอาจจะมีหรือไม่ก็ได้ แต่ถ้ามี ก็สามารถช่วยให้โปรแกรมทำงานได้เร็วขึ้นมาก

โปรแกรม HEC - 5 ถูกสร้างขึ้นเพื่อช่วยในการศึกษาวางแผน สำหรับการประเมินวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ของอ่างเก็บน้ำ เช่น การชลประทาน การผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ การใช้น้ำประปา การเพิ่มหรือลดปริมาณการไหล และ ความต้องการเก็บกักน้ำสำหรับแต่ละโครงการ ที่ศึกษาในระบบเช่นเดียวกับโปรแกรม HEC - 3 แต่ความสามารถที่เพิ่มขึ้นคือโปรแกรมสามารถใช้ศึกษาการเกิดเหตุการณ์น้ำท่วม เพื่อประเมินเงื่อนไขต่างๆในการเตรียมโครงการล่วงหน้า และแสดงผลกระทบของการเกิดเหตุการณ์ โปรแกรมสามารถใช้เลือกการปล่อยน้ำที่เหมาะสมของอ่าง

เก็บน้ำตลอดการท่วมที่ฉับพลัน เพื่อลดการท่วมให้น้อยลงได้มากที่สุด และทำให้อ่างว่างเร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อรักษาความสมดุลย์ของการควบคุมระดับน้ำระหว่างอ่างในการป้องกันน้ำท่วม นอกจากนี้ HEC - 5 ยังสามารถทำการศึกษากับ ระบบที่มีอ่างเก็บน้ำแบบสูบกลับได้

โปรแกรมสามารถใช้พิจารณาสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

- การควบคุมน้ำท่วม และการกักเก็บน้ำตามที่ต้องการสำหรับแต่ละอ่างในระบบ
- การประเมินขอบเขตการดำเนินการ สำหรับทั้ง การควบคุมน้ำท่วม และ การกักเก็บน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ รวมทั้งการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ สำหรับระบบของอ่างเก็บน้ำ
- การคาดหมายความเสียหายจากน้ำท่วมในแต่ละปี ราคาของระบบ และกำไรสุทธิของระบบในการลดความเสียหายจากน้ำท่วม

2.4.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของโปรแกรม HEC - 5

โปรแกรม HEC - 5 ทำงานโดยการจำลองสภาพอ่างเก็บน้ำอย่างเป็นระบบ ซึ่งพิจารณาความต้องการน้ำ และ พลังงานไฟฟ้าในจุดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องตามลำดับขั้น เริ่มจากอ่างเก็บน้ำที่จุดเหนือน้ำ และ เคลื่อนลงมาท้ายน้ำ ผ่านแต่ละลุ่มน้ำโดยการหลาก ปริมาณน้ำที่ปล่อยลงท้ายน้ำจะต้องเป็นไปตาม ปริมาณความต้องการน้ำสำหรับจุดประสงค์ต่าง ๆ ค่าปริมาณความต้องการเหล่านี้ หามาจากการพิจารณาค่าปริมาณน้ำใช้สำหรับแต่ละจุด ลักษณะทางกายภาพ และข้อจำกัดต่าง ๆ รวมทั้งพิจารณาค่าดัชนีความสัมพันธ์ระหว่างอ่างเก็บน้ำในระบบ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการระบบอ่างเก็บน้ำ เมื่อปล่อยน้ำสำหรับความต้องการของเฉพาะจุด ที่กำลังพิจารณาแล้ว หรือหาค่าปริมาณน้ำที่ขาดแคลน (shortage) สำหรับจุดนั้น ๆ แล้ว ค่าที่จะนำมาพิจารณา คือ ปริมาณน้ำซึ่งต้องการทั้งระบบ (system water requirement) โดยตรวจสอบว่า ปริมาณน้ำเพียงพอกับความต้องการหรือไม่ ถ้าปริมาณน้ำไม่เพียงพอ ก็จะต้องดำเนินการปล่อยน้ำเพิ่มเติม โดยจะปล่อยจากอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ เป็นสัดส่วนกัน ตามที่กำหนดไว้ด้วยดัชนีความสัมพันธ์ระหว่างอ่างเก็บน้ำ จนปริมาณน้ำเพียงพอกับ ความต้องการทางด้านต่าง ๆ ขบวนการดังกล่าวข้างต้น จะกระทำอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา โดยเวลาสุดท้ายของแต่ละช่วงเวลาจะเป็นเวลาเริ่มต้นของช่วงเวลาต่อมา

โปรแกรมสามารถใช้จำลองสภาพระบบในช่วงเวลาที่สั้นเพียง 1 ชม. หรือ ยาวถึง 1 เดือน สำหรับวัตถุประสงค์ในการกักเก็บน้ำ ข้อมูลส่วนมากจะเป็นค่ารายเดือน เช่น การ

ระเหย ความต้องการน้ำทางด้านต่าง ๆ ข้อมูลน้ำท่า แต่เมื่อมีการพิจารณาการไหลของน้ำท่วม ซึ่งต้องใช้ช่วงเวลาการหลากที่สั้น เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วนั้น โปรแกรมสามารถใช้ช่วงเวลาระหว่างรายเดือน และรายวัน หรือสั้นกว่า ร่วมกันได้ โดยการหลากรายเดือนจะทำไปอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเกิดน้ำท่วม โปรแกรมสามารถใช้ช่วงเวลาที่สั้นลง ตามช่วงเวลาของข้อมูลน้ำท่วมได้ จนกระทั่งหมดช่วงน้ำท่วม โปรแกรมก็จะกลับไปใช้ช่วงเวลาตามข้อมูลน้ำท่าปกติได้

โปรแกรม HEC - 5 ประกอบด้วยส่วนประกอบ 5 ส่วนที่ถูกใช้ในแบบจำลองระบบ ได้แก่ ระบบอุทกวิทยา อ่างเก็บน้ำ จุดควบคุม โรงไฟฟ้า และจุดผันน้ำ ดังรายละเอียดนี้

(ก) <u>ลักษณะทางอุทกวิทยา</u>

1. <u>ข้อมูลการไหลเข้า</u> (Inflow) : การไหลเข้าเป็นข้อมูลอุทกวิทยาเบื้องต้นของโปรแกรม โดยใช้ตำแหน่งในการอธิบาย เช่น จุดควบคุมที่เกิดเหตุการณ์ขึ้น ช่วงเวลา และขนาดที่เกิดช่วงเวลา อธิบายได้โดยใช้จำนวนของช่วงเวลาต่อปี และ จำนวนวันต่อช่วงเวลา ปกติจะใช้ช่วงเวลารายเดือน ดังนั้นการจำลองสภาพมักจะเป็นการหลากรายเดือน

2. <u>ข้อมูลการไหลเพิ่มเติมจาก พ.ท.รับน้ำด้านข้างลำน้ำ</u> (Local flows) : เป็นการไหลที่หาได้จาก ผลต่างระหว่างการไหลเข้าที่จุดควบคุมติดกัน local flows สะสมเท่ากับ ผลต่างของการไหลเข้าที่จุดควบคุมกับการไหลเข้าจากอ่างเก็บน้ำทั้งหมดที่อยู่จุดควบคุมนั้น

3. <u>ข้อมูลการระเหย</u> (Evaporation) : การระเหยของอ่างเก็บน้ำ ที่ใช้ในแบบจำลอง เป็น อัตราการระเหยสุทธิ (ผลต่างระหว่างฝนที่ตกกับการระเหย) สำหรับแต่ละอ่าง อัตรานี้อาจจะใช้เป็น ค่าคงที่สำหรับทุกอ่าง และทุกปี หรือเปลี่ยนไปตามแต่ละอ่างเก็บน้ำก็ได้

โปรแกรมสามารถใช้ข้อมูลการไหลได้ 3 แบบ คือ ข้อมูลการไหลจริงตามธรรมชาติ (natural flow) ข้อมูลการไหลที่ถูกควบคุม (regulated flow) หรือ ข้อมูลการไหล การไหลเพิ่มเติมจากพื้นที่รับน้ำข้างลำน้ำ (incremental local flow) โดย ถ้าใช้ข้อมูลการไหลตามธรรมชาติ โปรแกรมจะคำนวณการไหลเพิ่มเติมโดยวิธี การหลากการไหลที่แต่ละจุดทางต้นน้ำไปสู่ทางท้ายน้ำถัดไป จะได้การไหลเพิ่มเติม คือ ค่าผลต่างระหว่างข้อมูลท้ายน้ำที่กำหนด และข้อมูลเหนือน้ำที่ได้จากการหลาก ถ้าใช้ข้อมูลการไหลที่ถูกควบคุมโดยอ่างเก็บน้ำ โปรแกรมก็จะสามารถคำนวณการไหลเพิ่มเติมได้ หรือ ถ้ามีข้อมูลการไหลเพิ่มเติมก็สามารถใช้

เป็นข้อมูลได้เลยเช่นกัน กรณีที่ไม่มีข้อมูลการไหล โปรแกรมสามารถคำนวณค่าการไหลเป็นอัตราส่วนกับจุดอื่น ๆ ในโปรแกรมได้ แต่สามารถใช้ค่าของจุดหนึ่งไปคำนวณ เป็นค่าของอีกจุดหนึ่งได้เท่านั้น ไม่สามารถใช้ค่าของหลาย ๆ จุด ไปคำนวณหาข้อมูลจุดเดียวได้

(ข) ลักษณะของอ่างเก็บน้ำ

1. ข้อมูลคุณลักษณะต่าง ๆ ของอ่างเก็บน้ำ

ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับแต่ละอ่างเก็บน้ำในระบบ ได้แก่ ระดับอ่างที่สัมพันธ์กับความจุกักเก็บน้ำ พื้นที่ผิวน้ำ และ ความจุทางปล่อยน้ำ การรั่วซึมใต้เขื่อน หรือ โรงไฟฟ้า ขอบเขตของชั้นความจุกักเก็บน้ำของอ่างซึ่ง ระดับต่ำสุด เป็น ระดับกักเก็บน้ำต่ำสุด (top of inactive pool) ระดับต่อมา คือ ระดับดำเนินการล่าง (top of lower rule curve หรือ top of buffer pool) ระดับสูงขึ้นไป คือ ระดับดำเนินการบน (top of upper rule curve หรือ top of conservation) ส่วนระดับสูงสุด คือ ระดับดำเนินการควบคุมน้ำหลาก (top of flood control) นอกจากนี้ ระดับอื่น ๆ อาจจะ ถูกกำหนดขึ้นมาได้ตามขอบเขตการดำเนินงานของอ่าง แต่ละอ่างจะถูกดำเนินการตามเป้าหมายที่กำหนดในระบบ สำหรับแต่ละอ่าง หรือจุดควบคุม โดยการปล่อยน้ำจากอ่างจะมีลำดับตาม ระดับกักเก็บน้ำที่สูงสุดแล้วจึงปล่อยน้ำจากระดับที่ต่ำกว่าถัดไป เพื่อทำให้อ่างเก็บน้ำในระบบทั้งหมดเกิดความสมดุลย์

ขอบเขตการดำเนินงานอื่น ๆ ในแบบจำลอง ได้แก่ ระดับกักเก็บน้ำเริ่มต้น และความจุทางระบายน้ำล้น ความจุเริ่มต้นต้องกำหนดในการจำลองสภาพ ซึ่งอาจจะเป็นค่าจริงหรือค่าสมมุติขึ้น สำหรับกรณีเกิดเหตุการณ์น้ำไหลเข้ามากจนเกินระดับกักเก็บ อาจจะปล่อยให้น้ำไหลออกทางท้ายน้ำของอ่าง หรือทางผันน้ำ หรือจะกักเก็บไว้ใน ส่วนของความจุอ่างสำหรับน้ำท่วมก็ได้

2. Hydrologic Balance

การคำนวณทั้งหมดในแบบจำลอง HEC-5 ขึ้นกับหลักของความต่อเนื่อง (Principle of Continuity) ดังแสดงได้โดยสมการ

$$S_i = S_{i-1} + I_i - Q_i - E_i$$

เมื่อ

S_i = ความจุกักเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลา i

S_{i-1} = ความจุกักเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลา i-1

I_i = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในช่วงเวลา i

Q_i = ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างในช่วงเวลา i

E_i = ปริมาณน้ำที่สูญเสียโดยการระเหยและรั่วซึมในช่วงเวลา i

สมการพื้นฐานนี้ ค่า I, Q และ E จะใช้ได้ดี ถ้าช่วงเวลา i ยาวพอ เมื่อเทียบกับช่วงเวลาไหลสู่อ่างเก็บน้ำ คำนิยามที่เหมาะสมของค่า I หมายถึง การผันน้ำทั้งหมดที่เข้าสู่อ่าง และที่ปล่อยจากอ่างเหนือน้ำ โดยต้องเพิ่มการไหลเข้าตามธรรมชาติเข้าด้วย ค่า Q หมายถึง การผันน้ำทั้งหมดที่ออกจากอ่าง การรั่วซึมจากอ่าง และการปล่อยน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ซึ่งรวมกันเป็นปริมาณการไหลออกทั้งหมด และค่า E จะมีผลต่อการกักเก็บน้ำของอ่างว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากผลลัพธ์ของการระเหยสุทธิ (ฝนที่ตกลบด้วยการระเหย) เหนือพื้นที่อ่างตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา

(ค) <u>ลักษณะของจุดควบคุม</u>

จุดที่ใช้ในโปรแกรมต้องกำหนดเป็นจุดควบคุมทุกจุด ทั้งที่เป็นอ่างเก็บน้ำ หรือ เป็นตำแหน่งที่ถูกเลือกขึ้นมาแทนลำน้ำเพื่อใช้ศึกษาระบบ โดยลักษณะของจุดควบคุมที่ต้องการ คือ ชื่อของจุดนั้น หมายเลขจุด ความจุทางน้ำที่มากที่สุด รวมทั้งเงื่อนไขของการหลากจากจุดนั้นสู่จุดทางท้ายน้ำถัดไป จุดควบคุมที่ไม่ใช่อ่างเก็บน้ำ ใช้เพื่อดำเนินการศึกษาระบบโดยจะกำหนดขอบเขต และเป้าหมายของการไหลในลำน้ำไว้ จุดควบคุมแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ตามการควบคุมการไหล ดังนี้ การไหลมากที่สุดที่ยอมได้ (maximum permissible flow) , การไหลน้อยที่สุดที่ต้องการได้ (minimum desired flow) , การไหลน้อยที่สุดที่ต้องได้ (minimum required flow)

การไหลมากที่สุดที่ยอมได้ เป็นการไหลสูงสุดที่กำหนดไว้ที่จุดที่กำหนด ซึ่งจะคงที่ถ้าอ่างเหนือน้ำไม่ปล่อยน้ำส่วนที่เกินจากความจุควบคุมน้ำท่วมลงมา การไหลน้อยที่สุดที่ต้องการ

เป็นการไหลเป้าหมายซึ่งต้องการได้ เมื่ออ่างดำเนินงานในระดับกักเก็บเหนือ top of buffer pool เมื่อระดับน้ำในอ่างอยู่ในช่วง buffer zone แล้ว จะใช้ minimum required flow เป็นเป้าหมาย แต่ละความต้องการของการไหลอาจจะคงที่หรือเปลี่ยนไปตามแต่ละช่วงเวลา จุดควบคุมแต่ละจุดต้องถูกกำหนดขึ้น ทั้งชื่อ และหมายเลข รวมทั้งจุดควบคุมที่เป็นอ่างเก็บน้ำในระบบ ซึ่งถูกดำเนินงานให้ได้ การไหลตามเป้าหมาย ของจุดควบคุมนั้น ๆ ก็ต้องกำหนดไว้เช่นกัน

(ง) <u>ลักษณะของโรงไฟฟ้า</u>

การคำนวณกำลังการผลิตไฟฟ้าขึ้นกับสมการ

$$GE_i = KQ_i * h_i * e_i * t$$

เมื่อ

K = .08464 ในหน่วยอังกฤษ และ 9.817 ในหน่วยเมตริก

GE_i = พลังงานเป็น กิโลวัตต์ - ชม. ที่ผลิตได้ตลอดช่วงเวลา i

h_i = ความสูงหัวน้ำเฉลี่ย เป็น ฟุต หรือ เมตร ของเครื่องผลิตไฟฟ้า

e_i = ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้า ตลอดช่วงเวลา i

t = จำนวน ชม. ในช่วงเวลา i

สมการนี้ใช้เมื่อ Q_i เป็นส่วนหนึ่งของการปล่อยน้ำที่แสดงในรูปหัวน้ำที่เกิดขึ้นตลอดช่วงเวลา i และ e_i เป็นประสิทธิภาพเฉลี่ยของโรงไฟฟ้าทั้งหมดตลอดช่วงเวลา i

ลักษณะของโรงไฟฟ้าซึ่งใช้ในแบบจำลอง เพื่อจำลองสภาพการดำเนินงานของระบบผลิตไฟฟ้า ประกอบด้วย

- กำลังการผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้า
- Plant factor ที่มากที่สุดสำหรับการผลิตไฟฟ้า
- ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า
- ระดับทางท้ายน้ำ รวมกับความสูญเสียทางชลศาสตร์
- Overload ratio สำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้า
- ความต้องการไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา

บางครั้งก็ต้องการความสัมพันธ์ต่าง ๆ ระหว่าง การดำเนินงานของอ่าง กับ การผลิตพลังงานไฟฟ้า ดังนี้

- ระดับน้ำที่ปล่อยเพื่อผลิตไฟฟ้า กับ ระดับน้ำท้ายน้ำหลังการผลิตไฟฟ้า
- ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าสูงสุด กับ การกักเก็บน้ำในอ่าง หรือ การปล่อยน้ำจากอ่าง
- ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า และ การกักเก็บน้ำในอ่าง

(จ) จุดผันน้ำ

จุดควบคุมต่าง ๆ สามารถมีจุดผันน้ำได้ และอาจจะระบุเป็นการผันน้ำจริง หรือ เป็นในรูปของการไหลตามธรรมชาติ การไหลบังคับ ระดับกักเก็บในอ่าง ความต้องการผันน้ำอาจจะแสดงเป็นค่าคงที่สำหรับแต่ละช่วงเวลา หรือเปลี่ยนไปในแต่ละปี ทางผันน้ำอาจใช้สำหรับจัดการกรณีน้ำไหลเข้ามากกว่าระดับกักเก็บน้ำท่วมของอ่าง

การดำเนินงานของแบบจำลองจะทำโดยใช้ หลักการรักษาสมดุลย์ของระดับกักเก็บในอ่าง เพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุดทั้งทางด้านการใช้น้ำเพื่อการเกษตร หรือ ด้านต่าง ๆ การผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังน้ำให้มากที่สุด และ การจัดการควบคุมน้ำท่วม แบบจำลองถูกออกแบบให้ปล่อยน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า ตามความต้องการพลังงานมั่นคงที่ผู้ใช้ระบุไว้ ซึ่งขอบเขตการทำงานที่กำหนดจะมีประโยชน์ในปีที่มีน้ำน้อย แต่ในปีที่มีน้ำมาก ระดับน้ำในอ่างจะอยู่ที่ระดับบนสุด ของการผลิตพลังงาน การที่ไม่ระบุความต้องการพลังงานมั่นคง จะทำให้โปรแกรมหาค่าผลลัพธ์ ที่ค่าพลังงานรายปีเฉลี่ยที่สูงสุดได้ ความต้องการพลังงานสามารถระบุได้เป็นช่วงเวลา คือ รายเดือน รายวัน และ รายชม. นอกจากนี้โปรแกรมสามารถทำงานโดยจัดการระบบให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้โดยอัตโนมัติ โดยจะเลือกช่วงเวลาที่วิกฤต และ หาค่าพลังงานมั่นคงที่มากที่สุดที่สามารถผลิตได้ ส่วนการดำเนินงานควบคุมน้ำท่วมทำได้โดยอ่างเก็บน้ำ อ่างเก็บน้ำที่มีประตูระบายน้ำ หรือ ท่อปล่อยน้ำ สามารถระบายน้ำได้ในแต่ละช่วงเวลา เพื่อป้องกันการท่วมทางท้ายน้ำ โดยจะลดปริมาณน้ำในความจุกักเก็บน้ำท่วมของอ่าง ให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่เป็นการปล่อยน้ำที่ไม่เกิน ปริมาณการไหลสูงสุดของจุดควบคุมทางท้ายน้ำต่าง ๆ

2.4.3 <u>ทฤษฎีของการหลากในลำน้ำ</u> (Stream routing method)

การหาอัตราการหลากในลำน้ำ จากสถานีหนึ่งไปยังสถานีหนึ่ง ที่มีหลักฐานอ้างถึงเป็นครั้งแรกนั้น ได้ทำโดยชาวฝรั่งเศสชื่อ Graeff ในปี พศ. 2376 วิธีการที่ใช้มีหลักการอยู่ที่ การใช้ความเร็วคลื่น และความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับ และอัตราการไหล อย่างไรก็ดี วิธีการหาอัตราการหลากแบบอุทกวิทยาทั้งหลายล้วนแล้วแต่ใช้สมการต่อเนื่องทั้งสิ้น

การหลากในโปรแกรมนี้สามารถใช้ช่วงเวลาการหลากได้ไม่เกิน 24 ชม. ถ้าช่วงเวลามากกว่านั้น เช่น ใช้การจำลองสภาพระบบเป็นรายเดือน หรือ รายสัปดาห์ โปรแกรมจะไม่สามารถทำการหลากได้ วิธีการหลากที่มีให้เลือกใช้ในโปรแกรมมี 4 วิธี ได้แก่ Muskingum method, Progressive average lag (Straddle-Stagger), Modified Puls method, และ Working R & D method แต่ในที่นี้จะกล่าวถึง วิธีของ Muskingum เท่านั้น เนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่เป็นที่นิยม และรู้จักใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีนี้ในการศึกษา ต่อไป

<u>Muskingum method</u>

วิธีนี้การไหลออก (outflow) จากการหลากเป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (linear function) ของผลรวมของการไหลในลำน้ำ ซึ่งประกอบด้วยรูปกรวยเหลี่ยม และรูปลิ่ม (prism and wedge storage)

สมการพื้นฐานของการหลาก คือ :

$$O_n = C_1 I_n + C_2 I_{n-1} + C_3 I_{n-2} \qquad (1)$$

เมื่อ

O_n = ตำแหน่ง (ordinate) ของชลภาพการไหลออก (outflow hydrograph) ที่เวลา n

$I_n, I_{n-1}, \ldots$ = ตำแหน่งต่าง ๆ ของ ชลภาพการไหลเข้า (inflow hydrograph) ที่เวลา n, n-1,.....

$C_1, C_2, \ldots$ = สปส. การหลากที่เป็น สปส. ของการไหลเข้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมการที่ใช้พิจารณา สปส. C_1, C_2,... คือ

$$C_1 = (\Delta t-2xK)/(2K(1-x)+\Delta t) \quad (2)$$

$$CC = ((2K(1-x)+\Delta t)-2\Delta t)/(2K(1-x)+\Delta t) \quad (3)$$

$$C_2 = C_1 * CC + (\Delta t+2Kx)/(2K(1-x)+\Delta t) \quad (4)$$

$$C_i = C_{i-1} * CC \quad \text{for } i*2 \quad (5)$$

เมื่อ

Δt = การเพิ่มขึ้นของเวลาการหลาก

K = Muskingum routing parameter หน่วยเป็นเวลา

x = Muskingum dimensionless routing parameter ซึ่งอยู่ ระหว่าง 0 ถึง 0.5

เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดค่า สปส. ติดลบในสมการ (1) ค่า Muskingum K ควรจะมากกว่าหรือเท่ากับ $(\Delta t)/[2*(1-x)]$ และ น้อยกว่า หรือ เท่ากับ $(t)/2x$

2.4.4 <u>การทำงานของโปรแกรม HEC - 5</u>

โปรแกรม HEC - 5 สามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ HEC5A และ HEC5B ที่ถูกเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน โดยถูกส่งให้ทำงานตามลำดับทีละงาน ตามการ์ดควบคุม HEC5A จะใช้อ่านข้อมูล และจำลองการดำเนินงานของอ่างเก็บน้ำแล้วเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูล ส่วน HEC5B จะอ่านแฟ้มข้อมูลที่ได้จาก HEC5A แล้วแสดงผลลัพธ์ และทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

โปรแกรม HEC - 5 ถูกเขียนโดยใช้ภาษา Fortran สามารถจำลองการดำเนินงานของอ่างเก็บน้ำ 7 แห่ง จุดควบคุม (control point) 15 จุด ทางผันน้ำ (diversion) 7 แห่ง และ โรงผลิตไฟฟ้า (power plant) 5 โรง สามารถใช้ได้กับช่วงเวลาต่างๆ ทั้งเหตุการณ์ที่มีน้ำท่วม หรือ ไม่มีน้ำท่วม

1) <u>รูปแบบของข้อมูลเข้า (Input)</u>

โปรแกรมนี้มีข้อมูลเข้าเป็นการ์ด (card) โดยแต่ละการ์ด จะมี 10 ช่อง ๆ ละ 8 columns ข้อมูลเข้าจะถูกออกแบบให้ยืดหยุ่นขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของระบบอ่าง และข้อมูลเข้าอื่น ๆ ในระบบ การ์ดข้อมูลเข้ามีหลายชนิดดูได้จาก columns 1 และ 2 ลักษณะต่าง ๆจะ

ถูกอ่านโดยคอมพิวเตอร์เพื่อจำแนกชนิดของการ์ด การ์ดมีทั้งการ์ดบังคับ (required cards) และ การ์ดที่ให้เลือก (optional cards) ชนิดของการ์ดมีดังนี้

a. Title Cards : T1, T2, T3 ใช้ระบุชื่อของงาน

b. Job Cards : J1 - J2 ใช้ระบุข้อมูลทั่วไปของงาน

c. System Energy Cards : SM,SD,SH ใช้จัดการความต้องการพลังงานของระบบ

d. Reservoir Cards : RL, RO, RS, RQ, RA, RE, RD, R$, R1, R2, และ R3 ใช้อธิบายลักษณะต่าง ๆ ของอ่างเก็บน้ำแต่ละแห่ง

e. Power Reservoir Cards : P1,P2,PC,PF,PB,PR,PD, PQ,PT,PP,PS และ PV ใช้สำหรับอ่างเก็บน้ำที่มีโรงผลิตไฟฟ้า

f. Control Point Cards : CP,ID,C1,C2,RT,DR,QS,SQ,QD,EL,C$,CL, CC และ QM ใช้จำแนกและแสดงข้อมูลทั่วไปของจุดควบคุม

g. Damage Data Cards : DA,DB,DF,DQ, และ DC ใช้ในการคำนวณความเสียหาย จากน้ำท่วม หรือ ความเสียหายรายปีที่คาดไว้ (expected annual damages)

h. End of Data Card : ED ใช้แสดงหลังจุดควบคุมท้ายน้ำจุดสุดท้ายในระบบ

i. Specification of Time Series Data Cards : BF,FC,SS,ZR และ ZW ใช้อธิบายเงื่อนไขต่าง ๆ สำหรับข้อมูลการไหล

j. Period Cards : IN, QA, NQ, MR, QD, EL, EV และ PV ใช้อธิบายชุดข้อมูลที่บันทึกต่อเนื่องกันตามเวลาสำหรับแต่ละจุดควบคุม

k. End of Job Card : EJ ใช้แสดงหลังข้อมูลสุดท้ายสำหรับแต่ละกลุ่มตามลำดับเวลา

e. End of Run Card : ER ใช้เป็นการ์ดสุดท้ายสำหรับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้

2) ผลลัพท์ของโปรแกรม (Output)

ผลลัพท์ของโปรแกรมสามารถกำหนดได้โดยผู้ใช้โปรแกรม ซึ่งแต่ละชนิดของ

ผลลัพท์จะมีชื่อ (label) แสดงไว้ทางซ้ายของหน้ากระดาษ เพื่อให้ง่ายต่อการอ่าน ผลลัพท์ที่แสดงมีดังต่อไปนี้

ชื่อผลลัพท์ (Output label)	ชนิดของผลลัพท์ (output Type)
(HEC5A OUTPUT)	
INPUT	ข้อมูลเข้าต่าง ๆ
FLOWS	รูปแบบตารางของข้อมูลการไหล
INTAB	ผลสรุปของข้อมูลเข้า
RTCOF	สปส.การหลากจากอ่างเก็บน้ำสู่จุดควบคุมที่ดำเนินการ
LOCFL	การคำนวนการเพิ่มขึ้นของการไหลเข้า
OPSUM	ผลสรุปผลลัพท์จากการวิเคราะห์หาผลที่เหมาะสมที่สุด
(HEC5B OUTPUT)	
NORML	ผลลัพท์เรียงตามลำดับธรรมดา
ROPER	ข้อมูลอ่างเก็บน้ำตามช่วงเวลา
FLOOD n	การเริ่มทำผลลัพท์โดย HEC5B สำหรับหมายเลขของการท่วมที่ "n"
PLOTS	การวาดรูปชลภาพ
SUMF1	ผลสรุปการท่วมเดียว
SUMPS	ผลสรุปสำหรับทุกเหตุการณ์การท่วม
SUMPO	ผลสรุปสำหรับการดำเนินงานกักเก็บน้ำ
ECDAM	ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์และการคำนวณความเสียหาย
EPLOT	การวาดรูปความถี่ของการท่วม
ESUMD	ผลสรุปของความเสียหายรายปีที่คาดไว้
ESUMC	ผลสรุปของราคาระบบ
ESUMB	ราคาทางเศรษฐศาสตร์ของระบบ และการบำรุงรักษา
HYEFF	ประสิทธิภาพของระบบอุทกวิทยา

(OUTPUT FROM HEC5A/HEC5B)

USERS	ผลลัพท์ที่ผู้ใช้กำหนด
RRPER	การปล่อยน้ำของอ่างเก็บน้ำตามช่วงเวลา
RQPER	จุดควบคุมที่บังคับการไหลตามช่วงเวลา
DVPER	การผันน้ำตามช่วงเวลา
DVSHORT	การขาดแคลนการผันน้ำตามช่วงเวลา
FCPCT	เปอร์เซนต์ของความจุกักเก็บเพื่อป้องกันน้ำท่วมที่ใช้
ERROR	การตรวจสอบข้อผิดพลาดของผลลัพท์
CASES	การแสดงนิยามของเหตุการณ์ต่าง ๆ

2.4.5. <u>การศึกษาที่ผ่านมา</u>

1. <u>การศึกษาแบบจำลองชุด HEC</u>

แบบจำลองชุด HEC ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยหน่วยงาน Hydrologic Engineering Center แห่ง U.S. Army Corps Of Engineers ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยมีแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา ดังนี้

HEC - 3 เป็น แบบจำลอง การวิเคราะห์ระบบของอ่าง สำหรับกักเก็บน้ำ (Reservoir System Analysis for Conservation Modeling) ถูกพัฒนาขึ้นเมื่อ ปี ค.ศ. 1968 เพื่อใช้จำลองสภาพการดำเนินงานของ ระบบอ่างเก็บน้ำ เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ เช่น การใช้น้ำประปา การเดินเรือ การพักผ่อนหย่อนใจ การเพิ่มหรือลดปริมาณการไหล และ การผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น ต่อมาได้มีการปรับปรุงอีกหลายครั้ง จนกระทั่งเมื่อมีการพัฒนาโปรแกรม HEC - 5 ขึ้นมาใน ปี ค.ศ. 1973 จึงได้หยุดพัฒนาโปรแกรม HEC - 3 เปลี่ยนมาใช้โปรแกรม HEC - 5 แทน ซึ่งโปรแกรม HEC - 5 เป็นโปรแกรมที่ใช้จำลองสภาพการดำเนินงานของ ระบบอ่างเก็บน้ำ สามารถทำงานต่าง ๆ ได้เช่นเดียวกับโปรแกรม HEC - 3 แต่เพิ่มความสามารถในการดำเนินงานสำหรับการควบคุมอุทกภัยเข้าไป

สำหรับในประเทศไทย ปัจจุบันมีการใช้โปรแกรม HEC - 3 ตามหน่วยงานต่าง ๆ อย่างแพร่หลายพอสมควร แต่โปรแกรม HEC - 5 ยังไม่มีการใช้กันมากนัก

2. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

US. Army Corps of Engineers (2508) ใช้โปรแกรมชุด HEC ในการศึกษาการวางแผนจัดการลุ่มน้ำ Kissimee ทางใต้ของตอนกลางรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีขนาดใหญ่ ประมาณ 7,700 ตร.กม. และมีลักษณะต่าง ๆ ที่โปรแกรมต้องการครบสมบูรณ์ เช่น ทะเลสาบ และโครงสร้างควบคุมต่าง ๆ

Olcay Unver (2522) ใช้โปรแกรม HEC-5 ในการศึกษาเปรียบเทียบกับโปรแกรมอื่น ๆ ในด้านการจัดการควบคุมน้ำท่วมของพื้นที่ Lower Colorado River - Highland Lake System ในรัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา

US. Army Corps of Engineers (2526) ใช้โปรแกรม HEC-5 ศึกษากับพื้นที่ ลุ่มน้ำ Scioto ในรัฐโอไฮโอ ลุ่มน้ำ Kanawha ในรัฐเวอร์จิเนียตะวันตก และลุ่มน้ำ Muskingum ในทางตะวันออกของรัฐโอไฮโอ

สุวิทย์ ธโนภานุวัฒน์ (2525) ได้ทำการศึกษาโดยการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอ่างเก็บน้ำสิรินธร เพื่อทำความเข้าใจในการใช้เทคนิคการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการพัฒนาแหล่งน้ำ และการประยุกต์เทคนิคการทำแบบจำลอง ไปใช้กับการศึกษาในสภาพแหล่งน้ำที่เป็นจริงของโครงการอ่างเก็บน้ำสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี สำหรับกรณีการดำเนินการอ่างเก็บน้ำ และการจัดสรรน้ำ ซึ่งโครงการนี้มีลักษณะของการใช้น้ำที่ขัดแย้งกันระหว่างการผลิตไฟฟ้า และ การชลประทาน ผลของการนำเทคนิคการจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการศึกษาพบว่า มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาการดำเนินการของระบบแหล่งน้ำอย่างยิ่ง และการศึกษาการจำลองสภาพการดำเนินการของอ่างเก็บน้ำสิรินธรในการศึกษานี้บ่งว่า อ่างเก็บน้ำสิรินธรมีขีดความสามารถในการจัดสรรน้ำ เพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตไฟฟ้า และการชลประทานค่อนข้างจำกัด เมื่อการพัฒนาความต้องการน้ำในวัตถุประสงค์ทั้งสองสมบูรณ์เต็มตามโครงการ

สมศักดิ์ เกียรติสุรนนท์ (2528) ได้ทำการศึกษาแนวทางการจำลองสภาพการดำเนินงานของอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์อุบลรัตน์ ในกรณีการควบคุมอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำพองและชี และศึกษาการจำลองสภาพกับข้อมูลทางอุทกวิทยา ช่วงระยะเวลาที่เกิดอุทกภัยใน ปี 2519 2521 2523 เพื่อสรุปทบทวนศักยภาพของอ่างเก็บน้ำต่อการควบคุมอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำพอง - ชี ในการศึกษาการจำลองสภาพ แบบจำลองสภาพการดำเนินการของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

และระบบแม่น้ำพอง - ชี ซึ่งถูกสร้างตามหลักการของอุทกวิทยาดำเนินการผลของการศึกษาการจำลองสภาพได้บ่งว่า อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์มีขีดความสามารถค่อนข้างจำกัดในการที่จะป้องกันการเกิดอุทกภัยในลุ่มน้ำพอง - ชี โดยเฉพาะในปี 2521 แต่สามารถที่จะลดความรุนแรงของอุทกภัยได้มาก หากมีการจัดสรรขนาดความจุควบคุมอุทกภัยให้มากขึ้น ความรุนแรงสำหรับพื้นที่สองฝั่งของแม่น้ำพองจะลดลงได้มากและลดลงบ้างสำหรับพื้นที่สองฝั่งของแม่น้ำชี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย