บทที่ 3

ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การศึกษาการใช้น้ำในลุ่มน้ำ

การศึกษาการใช้น้ำในลุ่มน้ำ มีจุดประสงค์ เพื่อที่จะต้องการศึกษาปริมาณน้ำในลุ่มน้ำที่สามารถเก็บกักไว้ได้ กับความต้องการใช้น้ำสำหรับประโยชน์การใช้ในด้านต่างๆ ว่ามีความเพียงพอกับความต้องการใช้หรือไม่อย่างไร ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่การกำหนดนโยบายในการจัดการน้ำในลุ่มน้ำต่อไป

Acres(1979) ได้ศึกษาการใช้น้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา-แม่กลอง ด้วยวิธีจำลองแบบ(Simulation)โดยใช้ข้อมูลอุทกวิทยา 25 ปี (2495-2519) ประกอบด้วยข้อมูลการเพาะปลูก ข้อมูลน้ำฝน ข้อมูลน้ำท่าและข้อจำกัด(Constraints)ต่างๆ แบ่งพื้นที่ชลประทานออกเป็น 62 บล๊อค ความต้องการใช้น้ำชลประทาน 23 จุด และปริมาณน้ำไหลคืน (Return Flow) 28 จุด แบ่งการวิเคราะห์ระบบออกเป็น 3 ระยะ คือ ปี 1978 (2521),1985 (2528) และ 1990 (2533) ตามลักษณะของการเพาะปลูก พื้นที่เพาะปลูก และการใช้น้ำที่จะได้รับจากการพัฒนา จากผลการศึกษาพบว่า ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ปริมาณที่เก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำทางด้านเหนือ(ภูมิพล-สิริกิติ์) มีไม่เพียงพอสำหรับการเพาะปลูกพืชฤดูแล้ง ถ้าผันน้ำจากลุ่มน้ำแม่กลอง มาช่วยผลักดันน้ำเค็มที่ปากแม่น้ำท่าจีน แทนที่จะใช้น้ำจากแม้น้ำเจ้าพระยา พบว่าแม่น้ำเจ้าพระยาจะมีน้ำเพิ่มสามารถนำไปใช้กิจกรรมอื่นได้ ประมาณ 20-40 ลูกบาศก์เมตร/วินาที คิดเป็นพื้นที่เพาะปลูกพืชฤดูแล้งได้ 130,000 ไร่ และผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 17 ล้าน KW.ต่อปี

การุณ(2527) ศึกษาการใช้น้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา-แม่กลอง โดยศึกษาเพิ่มเติมจากการศึกษาของ Acres เนื่องจาก ได้มีการพัฒนาการชลประทานในตอนบนของลุ่มน้ำเจ้าพระยา การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการชลประทาน และข้อจำกัดต่างๆ ด้วยวิธีจำลองแบบ(Simulation)เพิ่มข้อมูลอุทกวิทยาเป็น 30 ปี (2495-2524) แบ่งพื้นที่ชลประทานเพิ่มเป็น 114 บล๊อค ความต้องการใช้น้ำชลประทาน 48 จุด และปริมาณน้ำไหลคืน(Return Flow)45 จุด แบ่งการวิเคราะห์เป็น 3 ระยะ คือ ปี 2527,2533

และ 2543 จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำที่สามารถเก็บกักไว้ได้ในอ่างเก็บน้ำด้านเหนือของลุ่มน้ำเจ้าพระยา น้ำไม่เพียงพอสำหรับการเพราะปลูกพืชฤดูแล้งเต็มพื้นที่เพาะปลูกได้ทุกปี ส่วนลุ่มน้ำแม่กลอง ถ้าสร้างเขื่อนเขาแหลมเสร็จเรียบร้อยแล้วจะมีน้ำเหลือใช้ในระยะแรก สามารถจะผันน้ำมาช่วยพื้นที่เพาะปลูกพืชฤดูแล้ง ในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง คือ โครงการพระยาบรรลือ พระพิมล และภาษีเจริญ และช่วยผลักดันน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน คิดเป็นพื้นที่เพาะปลูกพืชฤดูแล้งได้ประมาณ 700,000 ไร่(กรณีปี พ.ศ.2533)โดยที่ลุ่มน้ำแม่กลองไม่ขาดแคลนน้ำ และพื้นที่จะค่อยๆ ลดลงเมื่อการพัฒนาการชลประทานลุ่มน้ำแม่กลองค่อยๆ เพิ่มขึ้น

Team,Australian & Sanyu(1992) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ และความเหมาะสมของโครงการพัฒนาลุ่มน้ำเจ้าพระยาตะวันตกตอนล่าง เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ ของการพัฒนาที่เหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ ในพื้นที่เพาะปลูกของโครงการเจ้าพระยาตะวันตกตอนล่าง มีเป้าหมายที่จะเพิ่มผลผลิต และรายได้ให้แก่เกษตรกรโดยใช้วิธีการกระจายผลผลิตในรูปแบบของการปลูกพืชทดแทนต่างๆ หรือการเกษตรแบบผสมผสาน ซึ่งการศึกษาได้ศึกษารายละเอียดดังนี้คือ

ศึกษาการใช้น้ำ ในลุ่มน้ำ เจ้าพระยา-แม่กลอง โดยดัดแปลงแบบจำลองของ Acres (1979) แบ่งพื้นที่ชลประทานเพิ่มขึ้นเป็น 122 บล๊อค ความต้องการใช้น้ำชลประทาน 52 จุด และปริมาณน้ำไหลคืน(Return Flow) 49 จุด ใช้ข้อมูลอุทกวิทยา 38 ปี (1952-1989) เพื่อคำนวณความต้องการใช้น้ำชลประทาน และปริมาณน้ำที่สามารถจัดสรรให้แก่พื้นที่โครงการเจ้าพระยาตะวันตกตอนล่าง พื้นที่ที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 4 โครงการย่อย คือ เจ้าเจ็ด-บางยี่หน พระยาบรรลือ พระพิมล และภาษีเจริญ ความต้องการใช้น้ำชลประทาน 7 จุด และปริมาณน้ำไหลคืน (Return Flow) 8 จุด

การศึกษาแบ่งการวิเคราะห์ระบบ ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเพาะปลูกและการใช้น้ำ ออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีปัจจุบัน (ปี 2535) และอนาคต สำหรับกรณีอนาคตจะแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ตามแผนพัฒนาโครงการ 14 ปี ระยะที่ 1 เป็นระยะเวลา 6 ปี (ปี 2541) ระยะที่ 2 เป็นระยะเวลา 8 ปี (ปี 2549)

ในการศึกษากรณีปัจจุบันใช้ข้อมูลการเพาะปลูกปี พ.ศ. 2533/2534 คำนวณฝนใช้การและปริมาณน้ำไหลคืน (Return Flow) จากพื้นที่ชลประทานตอนบน คำนวณหาประสิทธิภาพการชลประทานในฤดูฝนได้ 70 % ฤดูแล้งได้ 80 % ส่วนกรณีอนาคต สมมุติให้ประสิทธิภาพ การชลประทานเพิ่มขึ้น 5% เป็น 75% สำหรับฤดูฝน และ 85% สำหรับฤดูแล้ง

ผลการศึกษาพบว่า

1. โครงการ เจ้าพระยาตะวันตกตอนล่าง จะมีปัญหาขาดแคลนน้ำ เพื่อการชลประทานในช่วงฤดูแล้ง เนื่องมาจากระบบการชลประทานมีประสิทธิภาพต่ำ ต้องได้รับการปรับปรุงและศึกษาวางแผนการจัดการน้ำให้เหมาะสมกับสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน

2. แหล่งน้ำหลักในปัจจุบันนอกจากฝนที่ตกลงบนพื้นที่โครงการแล้ว แหล่งน้ำที่ต้องการสำหรับพื้นที่ปลูกข้าว 830,440 ไร่ ในฤดูฝนและ799,790 ไร่ ในฤดูแล้ง มีแหล่งน้ำที่สามารถจัดสรรให้ได้ในปัจจุบัน คือ

แม่น้ำท่าจีน 95 ลบ.ม./วินาที ประกอบด้วยปริมาณน้ำที่ระบายลงมาทางประตูระบายโพธิ์พระยา 25 ลบ.ม./วินาที ซึ่งได้รับน้ำมาจากพื้นที่โครงการเจ้าพระยาตอนบนจากคลองจระเข้สามพัน 40 ลบ.ม./วินาที และคลองท่าสาร-บางปลา 30 ลบ.ม./วินาที ซึ่งทั้งคลองจรเข้สามพันและท่าสาร-บางปลา ได้รับน้ำมาจากโครงการแม่กลองทั้ง 2 สาย ปริมาณน้ำในจำนวน 95 ลบ.ม./วินาที จำเป็นต้องเผื่อปริมาณน้ำไว้ใช้ทางด้านท้ายน้ำ จำนวน 45 ลบ.ม./ วินาทีด้วย เพื่อสำหรับใช้ผลักดันน้ำเค็ม ที่ปากแม่น้ำท่าจีน 35 ลบ.ม./ วินาที และสำหรับเจือจางความสกปรกในคลองทวีวัฒนา โครงการภาษีเจริญ 10 ลบ.ม./วินาที

แม่น้ำเจ้าพระยา 33 ลบ.ม./วินาที ประกอบด้วยปริมาณน้ำ ที่ระบายมาทางคลองผักไห่-เจ้าเจ็ด 12 ลบ.ม./วินาที จากแม่น้ำเจ้าพระยาโดยตรง ระบายเข้าโครงการ พระยาบรรลือ 12.6 ลบ.ม./วินาที พระพิมล 6.6 ลบ.ม./วินาที และภาษีเจริญ 1.8 ลบ.ม./วินาที

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความต้องการใช้น้ำสูงสุดที่คำนวณได้ (จะอยู่ในช่วงฤดูแล้งของเดือนมีนาคม2521) กับปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำพบว่ามีปริมาณน้ำเพียงพอที่จะจัดสรรให้กับพื้นที่โครงการได้ทั้ง 3 กรณี คือ ปัจจุบัน การพัฒนาระยะที่ 1 และการพัฒนาระยะที่ 2 ดูรูปที่ 3.1 แสดงระบบการส่งน้ำของโครงการเจ้าพระยาตะวันตกตอนล่างทั้ง 3 กรณี

สำหรับข้อแตกต่างระหว่างการศึกษาของทีม ออสเตรเลียน และซันยู กับการศึกษาครั้งนี้สามารถเปรียบเทียบได้คือ

การศึกษาของทีม ออสเตรเลียน และซันยู เป็นการศึกษาการใช้น้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา-แม่กลอง ใช้ข้อมูลอุทกวิทยา 38 ปี (1952-1989) เพื่อคำนวณความต้องการใช้น้ำชลประทาน และปริมาณน้ำที่สามารถจัดสรรให้แก่พื้นที่ โครงการเจ้าพระยาตะวันตกตอนล่าง การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีปัจจุบัน 2535 และอนาคตจะแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ

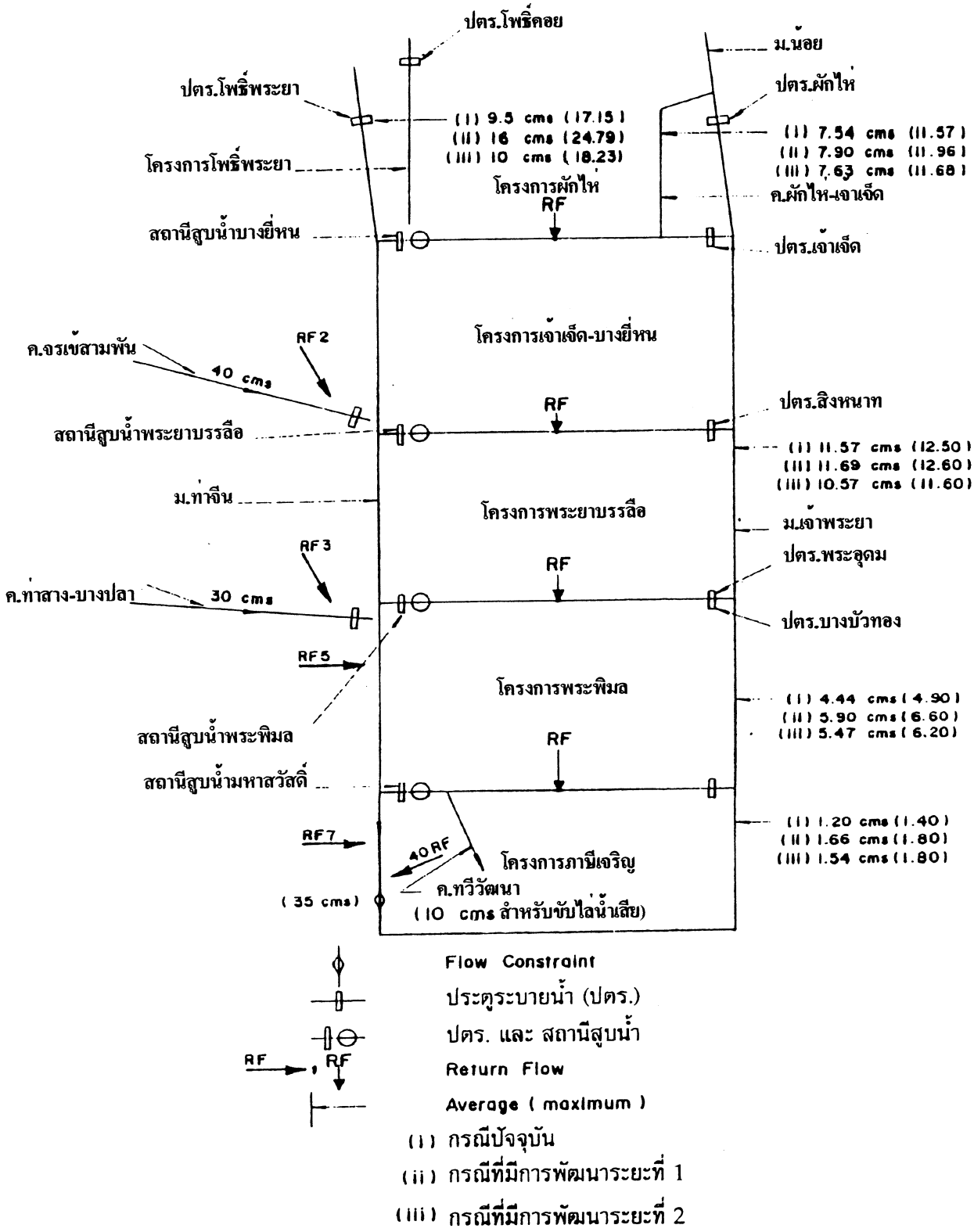
ระยะที่ 1 (ปี 2541) ระยะที่ 2 (2549) ผลการศึกษาพบว่า

1. โครงการเจ้าพระยาตะวันตกตอนล่าง จะมีปัญหาขาดแคลนน้ำ เพื่อการชลประทานในฤดูแล้ง เนื่องจากระบบการชลประทานมีประสิทธิภาพต่ำต้องได้รับการปรับปรุงและการศึกษาวางแผนการจัดสรรน้ำให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน

2. แหล่งน้ำต่างๆ คือ จากลุ่มน้ำเจ้าพระยา และแม่กลองที่จะส่งให้แก่พื้นที่โครงการพบว่าเพียงพอที่จะจัดสรรให้ได้ทั้ง 3 กรณี

ถึงแม้ว่าผลการศึกษา การใช้น้ำ ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา-แม่กลอง จะมีปริมาณน้ำจากแหล่งต่างๆ เพียงพอกับความต้องการใช้ในพื้นที่ โครงการเจ้าพระยาตะวันตกตอนล่างก็ตามแต่จากสภาพความเป็นจริง ทั้งในอดีตและปัจจุบัน จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่ในฤดูแล้งจะมีปริมาณน้ำ ไม่เพียงพอที่จะจัดสรรให้แก่พื้นที่โครงการได้ทั้งๆ ที่ปัจจุบันก็ได้มีการปรับปรุงระบบชลประทานไปมากแล้ว อาจสืบเนื่องมาจากยังไม่มีการจัดการน้ำที่ดีพอ นอกจากนี้สภาพการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ก็มีผลต่อการใช้น้ำอย่างมากอีกด้วย ซึ่งการศึกษาก็มิได้กำหนดวิธีการการจัดสรรน้ำให้เหมาะสม และเกิดประโยชน์สูงสุดแต่อย่างใด เป็นเพียงแต่กำหนดข้อแนะนำให้ภาครัฐกำหนดมาตรการเป้าหมาย การใช้ประโยชน์ที่ดินให้เหมาะสมกับสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนั้นจึงจำเป็นต้อง ศึกษาการดำเนินการจัดการทรัพยากรน้ำที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

สำหรับการศึกษาในวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ เป็นการศึกษาการประสานประโยชน์การใช้น้ำในลุ่มน้ำระหว่างกิจกรรม การใช้น้ำประเภทต่างๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยพิจารณาสมดุลย์ของแหล่งน้ำต้นทุนกับความต้องการใช้น้ำ ซึ่งมีเป้าหมายในการวางแผนการจัดสรรน้ำรายสัปดาห์ให้แก่พื้นที่ทำกิจกรรมต่างๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยวิธี Deterministic Linear Programming โดยใช้ข้อมูลอุทกวิทยา 41 ปี(1952-1992)แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ระยะ คือกรณีปัจจุบันแบ่งเป็นระยะที่ 1 (ปี 2535) กรณีอนาคตแบ่งเป็น 3 ระยะคือ ระยะที่ 2 (ปี 2541) ระยะที่ 3 (ปี 2549) ระยะที่ 4 (ปี 2555) สำหรับการศึกษาได้แสดงในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.1 แสดงระบบการส่งน้ำของโครงการเจ้าพระยาตะวันตกตอนล่างทั้ง 3 กรณี

3.2 การหาปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่พื้นที่รับน้ำ

ปริมาณน้ำในพื้นที่รับน้ำที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ในด้านต่างๆจะได้รับมาจาก 2 ทาง คือ ฝนที่ตกลงบนพื้นที่รับน้ำโดยตรง และน้ำท่าที่ไหลอยู่ในลำน้ำหรือถูกเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำส่วนการคำนวณปริมาณน้ำในพื้นที่รับน้ำอาจคำนวณหาได้ด้วยวิธีต่างๆ คือ

3.2.1 การหาปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นที่รับน้ำ เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ จะใช้ค่าปริมาณฝนเฉลี่ยของแต่ละสถานี แล้วนำค่าเฉลี่ยของแต่ละสถานีมาหาค่าปริมาณฝนเฉลี่ยบนพื้นที่ โดยให้ความสำคัญของแต่ละสถานีตามเปอร์เซนต์ที่ครอบคลุมพื้นที่ซึ่งจะได้ปริมาณฝนเฉลี่ยบนพื้นที่รับน้ำนั้น สำหรับการแบ่งพื้นที่ที่แต่ละสถานีวัดน้ำฝนครอบคลุม วิธีที่นิยมกันมาก คือ Theissen Polygon ซึ่งจะได้พื้นที่ที่แต่ละสถานีครอบคลุม

3.2.2 การหาปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากฝนที่ตกลงบนพื้นที่รับน้ำโดยตรง ส่วนหนึ่งจะเป็น "ปริมาณฝนใช้การ" (Effective Rainfall) อีกส่วนหนึ่งจะเป็นปริมาณฝนที่กลายเป็นน้ำท่าที่ไหลหรือเก็บกักอยู่ในลำน้ำ ดูรูปที่ 3.2 แสดงระบบการเคลื่อนที่ของน้ำฝน จนกลายเป็นน้ำท่าและสามารถเขียนเป็นสมการสมดุลย์น้ำ (Water Balance) เพื่อหาปริมาณฝนที่กลายเป็นน้ำท่าได้คือ

$$Q = WR - ET - L - S \qquad \ldots\ldots (3.1)$$

เมื่อ

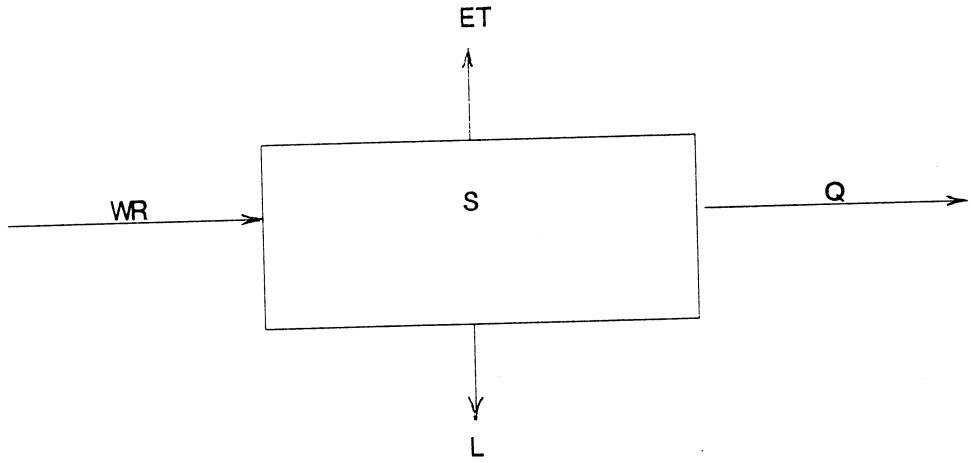
Q = ปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากฝนโดยตรง

WR = ปริมาณฝนเฉลี่ยที่ตกลงบนพื้นที่รับน้ำ

ET = ปริมาณการใช้น้ำของพืช

L = ปริมาณการรั่วซึมในพื้นที่

S = ปริมาณการเก็บกักในแปลง



รูปที่ 3.2 แสดงระบบการเคลื่อนที่ของน้ำฝน จนกลายเป็นน้ำท่า

3.2.3 การหาปริมาณน้ำท่าที่ส่งให้แก่พื้นที่รับน้ำท้ายอ่างเก็บน้ำ สำหรับลำน้ำในช่วงที่พิจารณา สามารถหาได้จาก นำข้อมูลน้ำท่ารวมกับข้อมูลฝนแล้วหักลบด้วยปริมาณการเก็บกักเพื่อการเดินเรือและผลักดันน้ำเค็มรวมกับปริมาณการสูญเสียต่างๆ รูปที่ 3.3 แสดงระบบการเคลื่อนที่ของน้ำท่าท้ายอ่างเก็บน้ำและสามารถเขียนเป็นสมการสมดุลย์น้ำได้ คือ

$$QRt = QIt + WRt - QSt - EWt - LIt \qquad \ldots\ldots (3.2)$$

เมื่อ

QRt = ปริมาณน้ำท่าที่สามารถส่งให้แก่พื้นที่รับน้ำท้ายอ่างเก็บน้ำที่เวลา t

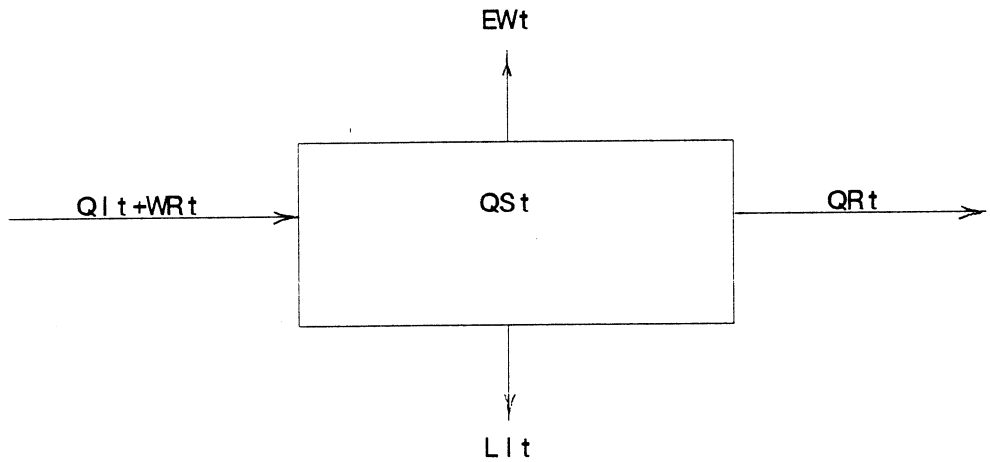
QIt = ปริมาณน้ำท่าที่ไหลในลำน้ำที่เวลา t

WRt = ปริมาณฝนเฉลี่ยที่ตกลงบนลำน้ำที่เวลา t

QSt = ปริมาณการเก็บกักเพื่อการเดินเรือและผลักดันน้ำเค็มที่เวลา t

EWt = ปริมาณการระเหยที่ผิวน้ำที่เวลา t

LIt = ปริมาณการรั่วซึมในลำน้ำที่เวลา t



รูปที่ 3.3 แสดงระบบการเคลื่อนที่ของน้ำท่าท้ายอ่างเก็บน้ำ

3.3 <u>การวางแผนการส่งน้ำรายสัปดาห์</u> (Weekly Water Scheduling)

ฉลอง และชัยวัฒน์(2523) ศึกษาการวางแผนการส่งน้ำตามความต้องการใช้น้ำประเภทต่างๆ รายสัปดาห์ เป็นการพยากรณ์ปริมาณน้ำล่วงหน้า เพื่อส่งให้แก่พื้นที่ต่างๆ ตามความต้องการใช้น้ำแต่ละประเภทเป็นรายสัปดาห์ โดยใช้ข้อมูลในอดีตเป็นแนวทางในการวางแผนการใช้น้ำในกิจกรรมแต่ละประเภท เพื่อนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพการส่งน้ำให้สูงขึ้น

ความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมประเภทต่างๆ จะเห็นได้ว่า ปริมาณการใช้น้ำในด้านการเพาะปลูกพืช จะไม่ค่อยสม่ำเสมอตลอดฤดูกาลเพาะปลูก โดยเฉพาะข้าว ปริมาณการใช้น้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาของการเจริญเติบโต ซึ่งในฤดูกาลหนึ่งๆ นั้นจะแบ่งช่วงความต้องการใช้น้ำของพืชออกเป็น

1. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการตกกล้า (เฉพาะการปลูกข้าวนาดำ)
2. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลง (สำหรับนาหว่าน และนาดำ)
3. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการปักดำ
4. ปริมาณน้ำที่ใช้หลังจากปักดำ หรือหว่านแล้ว

ส่วนปริมาณความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมด้านอื่นๆ ค่อนข้างสม่ำเสมอ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับประเภทของกิจกรรมนั้นๆ

สำหรับการวางแผนส่งน้ำก่อนการเพาะปลูกรายสัปดาห์ จำเป็นต้องทราบข้อมูลต่อไปนี้ คือ

1. จำนวนพื้นที่ที่จะเพาะปลูก

2. ปลูกพืชที่ใดบ้าง

3. ปริมาณน้ำที่ต้องการส่งเท่าที่จำเป็น เป็นเท่าใด

4. ทำอย่างไร จึงจะกระจายการส่งน้ำให้ทั่วถึง

5. ข้อมูลการเพาะปลูกของพื้นที่ที่จะวางแผนในอดีต เช่น ข้อมูล การตกกล้า การเตรียมแปลง การปักดำ การเตรียมแปลงสำหรับนาหว่านข้อมูลการปลูกพืชอย่างอื่นๆ ข้อมูลฝนที่ตกในบริเวณพื้นที่ และข้อมูลกิจกรรมต่างๆเป็นข้อมูลรายสัปดาห์

ดังนั้นการวางแผนการส่งน้ำรายสัปดาห์ จะต้องใช้ข้อมูลเป็นประจำทุกสัปดาห์ ซึ่งการคำนวณจะสามารถทำได้ โดยการหากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา เป็นรายสัปดาห์ กับ เปอร์เซนต์ของพื้นที่ที่ทำกิจกรรมต่อพื้นที่ที่ทำกิจกรรมทั้งหมดจากข้อมูลในอดีต(Crop Curve) เมื่อทราบพื้นที่ที่จะทำกิจกรรมแล้วก็สามารถทำนายพื้นที่เพาะปลูกในสัปดาห์ต่อไปได้จาก Crop Curve ดังกล่าว รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเป็นสัปดาห์กับเปอร์เซนต์ของพื้นที่ที่ทำกิจกรรมต่อพื้นที่ที่ทำกิจกรรมทั้งหมดจากข้อมูลในอดีต จากนั้นก็นำไปคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้กับพื้นที่เพาะปลูก

3.3.1 ปริมาณน้ำ ที่ต้องส่งให้แปลงเพาะปลูก หรือ ความต้องการใช้น้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirement)

ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้แปลงเพาะปลูกในแต่ละช่วงเวลาขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่พืชแต่ละชนิดต้องการใช้ (Evapotranspiration or Consumptive Use) ปริมาณการรั่วซึม(Percolation) ฝนใช้การ (Effective Rainfall) และประสิทธิภาพการชลประทาน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้ คือ

$$IWR = (ET + L - ER)100/IRE \qquad \ldots\ldots (3.3)$$

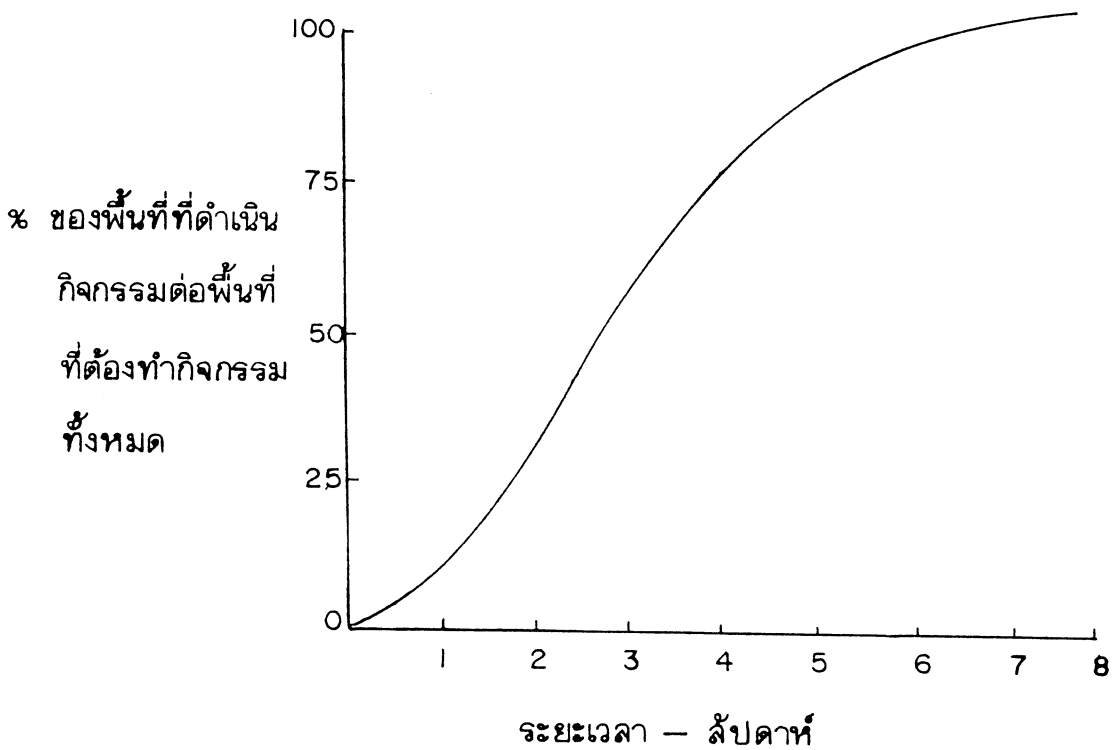
เมื่อ IWR = ปริมาณความต้องการใช้น้ำชลประทาน(ปริมาณน้ำที่ส่งที่ปากคลอง)

ET = ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ (Consumptive Use)

L = ปริมาณการรั่วซึมบนแปลงเพาะปลูก

ER = ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall)

IRE = ประสิทธิภาพการชลประทาน (%)



รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเป็นสัปดาห์กับ % ของพื้นที่ที่ทำกิจกรรมต่อพื้นที่ทำกิจกรรมทั้งหมด จากข้อมูลในอดีต

3.3.2 การหาประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency)

ฉลอง(2527) คำจำกัดความของประสิทธิภาพการชลประทานในตำราทั่วไปมีอยู่หลายคำจำกัดความ แต่ในที่นี้หมายถึงความสามารถของโครงการชลประทานที่สามารถส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกได้ หรือสามารถให้คำจำกัดความที่จะนำไปใช้ได้ดังนี้คือ

ประสิทธิภาพการชลประทาน

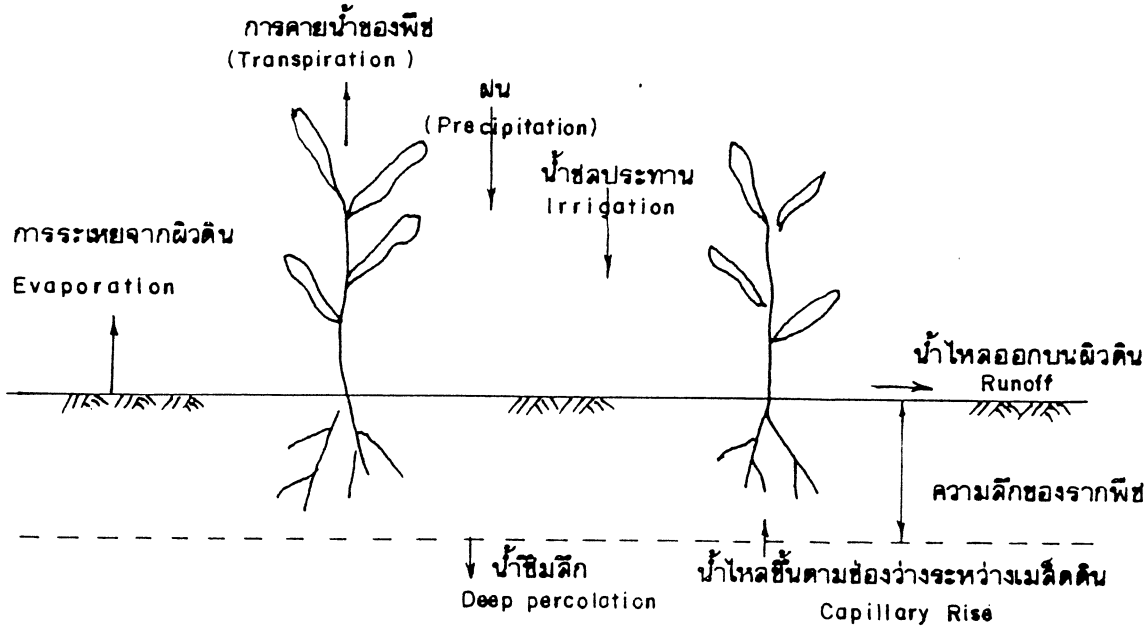
$$= \frac{\text{ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ตามทฤษฎี+ปริมาณการรั่วซึม-ปริมาณฝนใช้การ}}{\text{ปริมาณความต้องการใช้น้ำชลประทาน}}$$

หรือ $$IRE = (ET + L - ER)/IWR \qquad \ldots\ldots (3.4)$$

ในกรณีข้าว ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ต้องรวมปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลง ด้วยจากรูปที่ 3.5 แสดงองค์ประกอบในความสมดุลย์ของดินและน้ำ จะเห็นว่าค่าต่างๆ ที่นำมาใช้ ในการหาประสิทธิภาพการชลประทาน มีอยู่ครบถ้วน ยกเว้นค่า Capillary Riseในทางปฏิบัติวัดได้ยาก ส่วนค่า Runoff เมื่อรวมสะสมกันในพื้นที่เพาะปลูกผืนใหญ่จะเป็น Return Flow ซึ่ง Return Flow จากโครงการชลประทานทางด้านเหนือน้ำสามารถนำไปใช้ในโครงการชลประทานทางด้านท้ายน้ำได้

3.3.3 ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ (Consumptive use หรือ Evapotranspiration)

ปริมาณน้ำ หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริงรวมกับปริมาณการระเหยของน้ำจากผิวดิน หรือผิวน้ำในแปลงเพาะปลูกนั้น ซึ่งในการหาค่า Consumptive Use สามารถหาได้ โดยการวัดจากการปลูกพืชในสนามจริงๆ แต่เสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง จึงมีผู้คิดค้นสูตรสำเร็จ(Empirical Formula) ขึ้นจำนวนหลายสูตรเพื่อคำนวณหาค่า Consumptive Use แต่ก็เป็นการยากที่จะได้คำตอบตรงความเป็นจริง จึงต้องหาค่า Comsumptive Use จากการคำนวณแล้วปรับค่าที่ได้จากการคำนวณให้ใกล้เคียงกับค่าที่คิดว่าเป็นจริง ค่าที่นำมาใช้ในการปรับค่าจากการคำนวณเรียกว่าCrop Coefficient สามารถเขียนเป็นสมการคือ



รูปที่ 3.5 แสดงองค์ประกอบในความสมดุลย์ของดินและน้ำ

$$ET = Kc*ETp \qquad \ldots\ldots (3.5)$$

เมื่อ

ET = Evapotranspiration หรือ Consumptive Use

Kc = Crop Coefficient

ETp = Potential Evapotranspiration

ค่า ET หาได้จากการวัดในสนาม ส่วนค่า ETp คำนวณได้จากสูตร แล้วจึงนำมาหาค่า Kc สำหรับพืชที่ทดลองในแต่ละชนิดได้

3.3.4 ปริมาณน้ำที่ซึมลงไปในดิน (Percolation)

สำหรับพื้นที่แปลงเพาะปลูก เป็นปริมาณน้ำที่ซึมลงไปในดินบนแปลงเพาะปลูกทั้งทางแนวราบและแนวดิ่ง ซึ่งปริมาณการซึมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างได้แก่ สภาพของดิน ชนิดของดิน ลักษณะการไถเตรียมหน้าดิน และระดับน้ำใต้ดิน เช่น ดินเหนียวมีระดับน้ำใต้ดินตื้น จะมีการสูญเสียวันละประมาณ 1-2 มิลลิเมตร แต่ถ้าเป็นสภาพดินทรายและมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกอาจจะมีการสูญเสียมากถึงวันละ 7-10มิลลิเมตร

ดิเรก (2523) ได้แนะนำในกรณีที่มีน้ำต้นทุนจำกัดสำหรับการปลูกพืชตามลักษณะของการสูญเสียน้ำจากการซึมลงไปในดิน มีดังนี้ คือดินที่มีการสูญเสีย 1-3 มิลลิเมตรต่อวัน สามารถทำนาได้ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งถ้าดินที่มีการสูญเสียตั้งแต่ 3-5 มิลลิเมตรต่อวัน ควรทำนาเฉพาะในฤดูฝน โดยควรมีการเตรียมแปลงทำเทือกอย่างปราณีต เพื่อช่วยลดอัตราการรั่วซึมให้น้อยลง ส่วนฤดูแล้งควรเปลี่ยนไปปลูกพืชไร่ชนิดที่ใช้น้ำน้อยกว่าข้าวแทน แต่ถ้าการสูญเสียมากกว่า 5 มิลลิเมตรต่อวัน ควรปลูกพืชไร่ที่ใช้น้ำน้อยอย่างเดียว

3.3.5 ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall)

ฉลอง (2527)ปริมาณฝนใช้การหมายถึงปริมาณน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่แล้วสามารถนำมาใช้แทนน้ำชลประทานที่ต้องส่งให้แก่พื้นที่แปลงเพาะปลูกได้ หรือฝนที่ตกลงมาขังอยู่ระหว่างคันนาและไม่สามารถกลายเป็น Runoff ได้

ฝนที่ตกลงสู่พื้นที่เพาะปลูก ไม่ได้เป็นประโยชน์ต่อพืชทั้งหมด ส่วนที่เป็นประโยชน์อย่างแท้จริงคือส่วนที่เก็บไว้ในเขตรากของพืช ซึ่งพืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่กรณีของข้าว ฝนส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อข้าวจะเป็นส่วนที่ขังในแปลงนาในระดับพอเหมาะที่จะไม่ทำให้เป็นอันตรายแก่ข้าว น้ำฝนที่ตกลงบนแปลงเพาะปลูก ถ้ามากเกินกว่าความต้องการของพืชและการเก็บกักของเกษตรกร ส่วนที่เหลือจากการซึมลงในดิน ก็จะไหลล้นออกจากแปลงเพาะปลูก และ อาจกลายเป็น Runoff ไป

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณฝนใช้การได้แก่

1. อัตราหรือปริมาณฝน
2. ลักษณะฝน
3. ชนิดของดิน
4. ความชื้นในดิน หรือระดับน้ำในแปลงเพาะปลูกก่อนฝนตก

5. ระดับน้ำใต้ดิน
6. ความสามารถเก็บน้ำของดินในเขตรากพืช
7. ความสามารถในการเก็บกักน้ำของคันนา
8. ชนิดและปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ปลูก
9. ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่เพาะปลูก
10. วิธีการชลประทาน

นอกจากนี้ปริมาณฝนที่ตกในแต่ละช่วงเวลา ก็เป็นปัจจัยส่วนหนึ่งดังจะเห็นได้ว่า ในเดือนที่มีฝนตกน้อย เปอร์เซนต์ฝนใช้การจะสูงกว่าเดือนที่มีฝนตกมาก และยังขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตกในเดือนก่อนๆ เป็นสำคัญด้วย

Acres(1979)ได้ปรับปรุงวิธีหา Effective Rainfall สำหรับนาข้าว โดยอาศัยคำจำกัดความที่ว่า Effective Rainfall คือ ฝนที่ตกลงมาขังอยู่ระหว่างคันนาและไม่สามารถกลายเป็น Runoffได้ ดูรูปที่ 3.6 แสดงลักษณะ ของความเปลี่ยนแปลงความจุในแปลงนา โดยใช้วิธีการของ Rain Depth Duration ดูรูปที่ 3.7 แสดง Curve การสะสมของฝนในช่วงเวลา 1 ถึง 7 วัน ฝนทั้งหมดที่มากกว่าความจุในแปลงนาจะกลายเป็น Runoff ความจุในแปลงนาที่เริ่มต้นสัปดาห์ สามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$STO = STOMAX - STOB \qquad \ldots\ldots (3.6)$$

เมื่อ

STO = ความลึกขั้นต้นในการเก็บน้ำ

STOMAX = ระดับความจุสูงสุดในแปลงนาก่อนเกิด Runoff

STOB = ระดับความจุที่เริ่มต้นสัปดาห์

ในช่วงสัปดาห์ความจุในแปลงนาเปลี่ยนแปลง เนื่องมาจากการใช้น้ำของพืชการรั่วซึมและปริมาณการส่งน้ำชลประทาน สามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$STO_n = STO + n\ (ET + L - IRR) \qquad \ldots\ldots (3.7)$$

เมื่อ

STO_n = ความลึกในการเก็บน้ำได้ที่สิ้นสุดวันที่ n

ET = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ความลึก/วัน)

L = การสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึม (ความลึก/วัน)

IRR = ปริมาณการให้น้ำชลประทาน (ความลึก/วัน)

หา Runoff ทั้งหมดสามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$Drain = Max/Rain_n - STO_n/ \qquad ..... (3.8)$$

เมื่อ

Drain = Runoff ทั้งหมด (ความลึก)

Max/..../ = ค่าสูงสุด (> o)

$Rain_n$ = ฝนสะสมในเวลา n วัน ติดต่อกัน

ดังนั้น Effective Rainfall (ER) คือ

$$ER = Rain_7 - Drain \qquad ..... (3.9)$$

จากสมการที่ 3.6-3.9 สามารถหาค่า Effective Rainfall สูงสุดได้โดย

1. ให้ความจุในแปลงนาเก็บกักฝนให้มากที่สุดที่เริ่มต้นสัปดาห์

2. จัดสรรน้ำให้แต่น้อยและถ้าหยุดการจัดสรร Effective Rainfall จะมีค่าสูงสุด

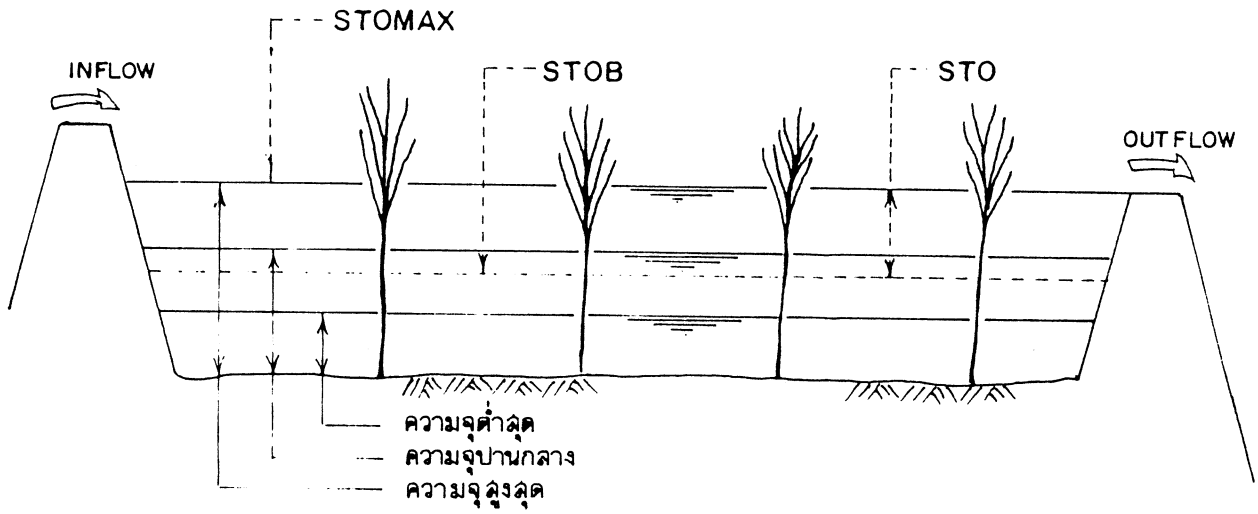
จากรูปที่ 3.7 สามารถคำนวณหาค่า Runoff บนแปลงนาที่เหลือจากฝนใช้การและค่า Effective Rainfall ได้ ซึ่งจะเห็นว่าเวลาและการกระจายของฝน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ฝนทั้งหมดเกือบจะเท่ากับ STO_7

การคำนวณ จะเห็นว่า

Drain = 15 มม.

$Rain_7$ = 72 มม.

ดังนั้น Effective Rainfall = 72 - 15 = 57 มม.

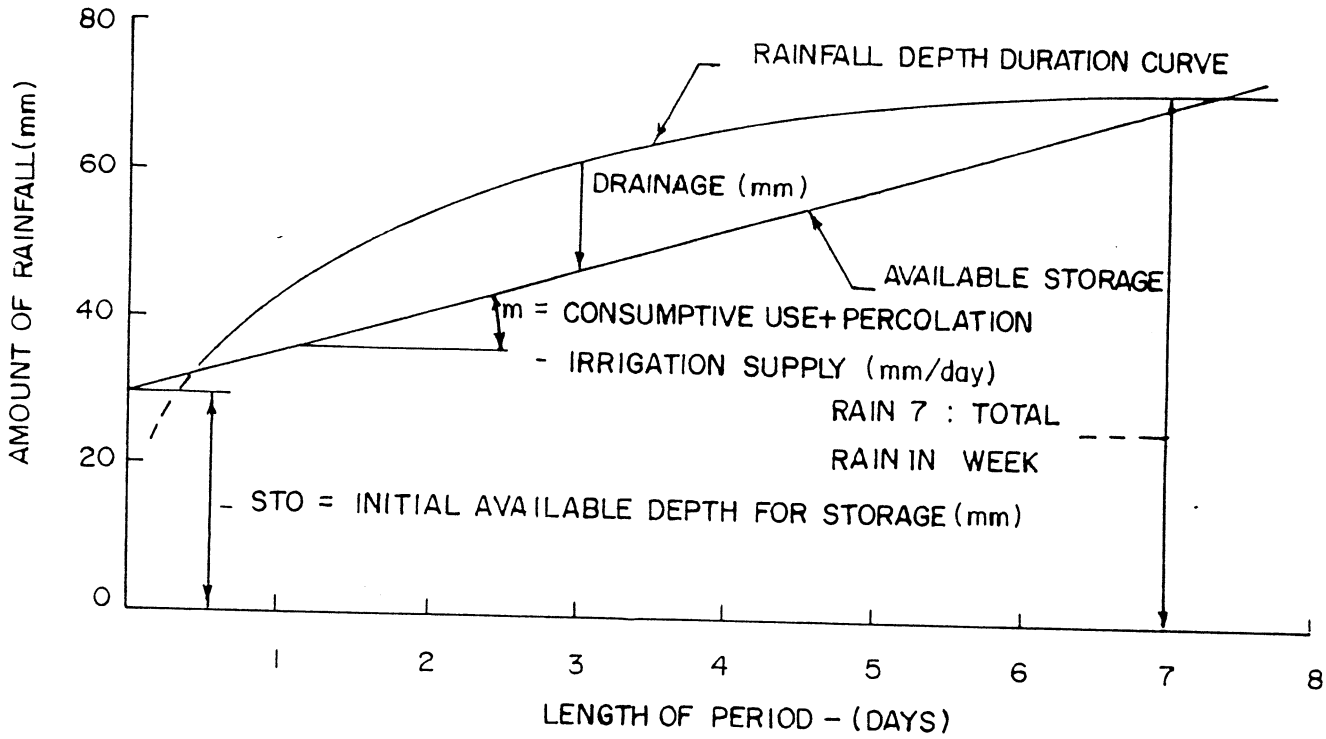


ความจุต่ำสุด - ความจุที่ความลึกของน้ำต่ำสุดอาจใช้เพื่อกำจัดวัชพืช เริ่มให้น้ำชลประทานที่ความลึกนี้

ความจุปานกลาง - ความจุที่ความลึกหลังจากให้น้ำชลประทาน

ความจุสูงสุด - ความจุที่ความลึกสูงสุด ถ้ามีน้ำส่งมาเพิ่มจะกลายเป็น Runoff

รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความจุในแปลงนา



รูปที่ 3.7 แสดง Curve การสะสมของฝนในช่วงเวลา 1-7 วัน
เพื่อคำนวณ Runoff บนแปลงนา

โดยใช้ข้อมูลฝน 25 ปีและข้อมูล Evapotranspiration ที่สนามบินดอนเมือง แล้วใช้วิธี Rainfall Depth Duration Curves ของ 52 สัปดาห์ Generated โดยใส่ค่าเหล่านี้ใน Drainage Model(ในสมการที่ 3.8 และ 3.9)

สำหรับสมมุติฐานในการ Operate แบบจำลอง คือ

1. ระดับความจุที่เริ่มต้นสัปดาห์เป็นศูนย์
2. การรั่วซึมมีค่าน้อยไม่นำมาคิด
3. ไม่มีการจัดสรรน้ำระหว่างสัปดาห์ที่พิจารณา

จากรูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนทั้งหมดกับEffective Rainfall สามารถแบ่งการหา Effective Rainfall ได้ 3 ช่วง คือ

1. ฝนที่ตกลงมา < 20 มม./สัปดาห์ จะเป็นEffective Rainfall ทั้งหมด
2. ฝนที่ตกลงมา > 100 มม./สัปดาห์ จะถูกจำกัดโดยความลึกในการเก็บน้ำที่สิ้นสุด วันที่ 7 (STO_7) และจะทำให้ Effective Rainfall คงที่
3. ฝนที่ตกระหว่าง 20-100 มม./สัปดาห์ คำนวณหาได้โดยใช้ Linear Regression Function

ค่าต่างๆ เหล่านี้หาได้โดยใช้

1. สำหรับ $Rain_7 < 100$ มม. : $ER_0 = 17.0 + 0.255\ Rain_7$

   และ $ER_0 \leq Rain_7$

2. สำหรับ $Rain_7 \geq 100$ มม. : $ER_0 = 42.5$ มม.

เมื่อความลึกสำหรับความจุขั้นต้นไม่เท่ากับ 0

ดังนั้น เมื่อระดับความจุที่เริ่มต้นสัปดาห์ไม่เท่ากับศูนย์

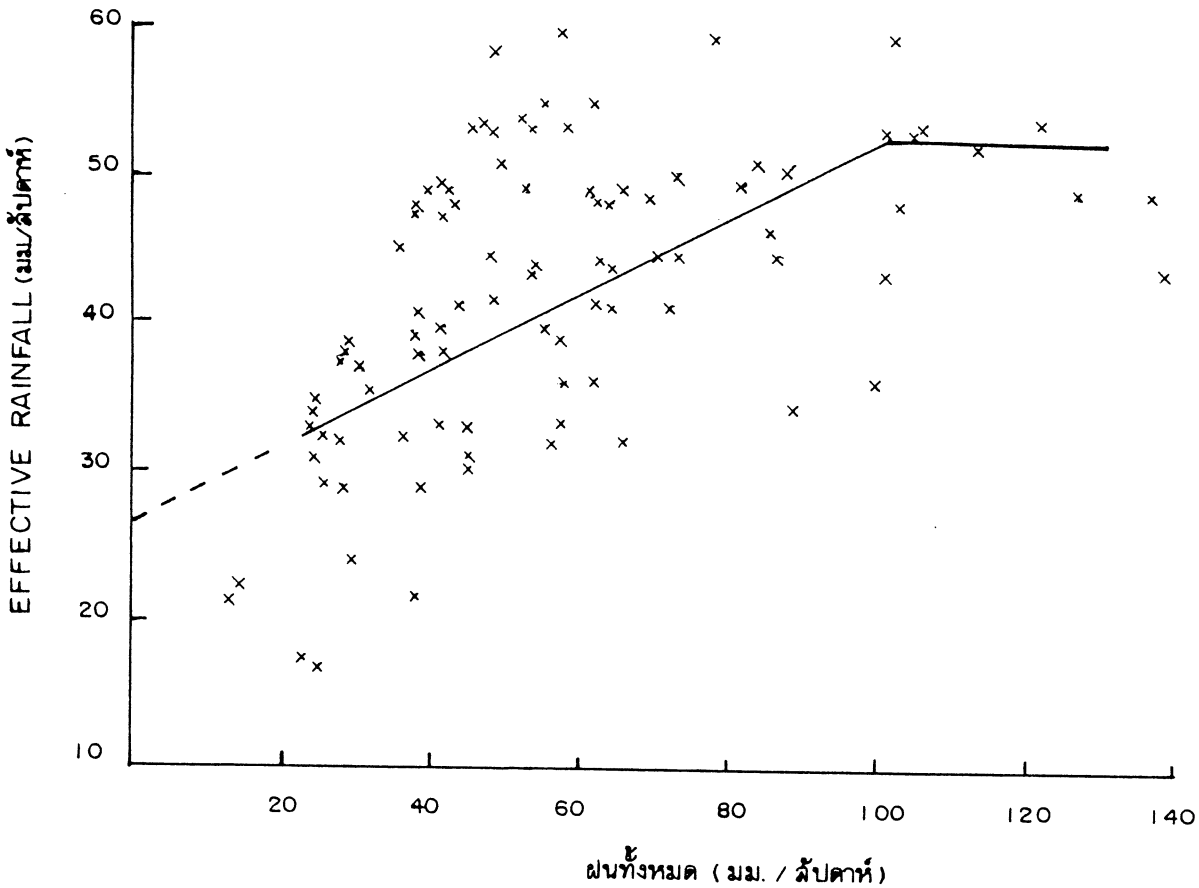
จะได้ $ER = ER_o + STOB$ จนถึง $ER \leq Rain_7$ ..... (3.10)

เมื่อ

ER = Effective Rainfall (มม./สัปดาห์)

ER_o = Effective Rainfall เมื่อระดับความจุที่เริ่มต้นสัปดาห์เป็นศูนย์(มม./สัปดาห์)

$STOB$ = ระดับความจุที่เริ่มต้นสัปดาห์ (มม.)



รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนทั้งหมด กับ Effective Rainfall (Effective Rainffall Function)

การุณ (2527) คำนวณ Effective Rainfall หรือ ฝนใช้การได้ของแต่ละเดือนจากสมการ

$$ER = ERF * WR \qquad \ldots\ldots (3.11)$$

เมื่อ

ER = Effective Rainfall

ERF = Effective Rainfall Function

WR = Weighted Rainfall (ฝนเฉลี่ย)

ในการศึกษาได้พิจารณาถึงระดับน้ำในแปลงนา ที่คาดว่าชาวนาไทยทั่วๆ ไปถือปฏิบัติ ดูรูปที่ 3.9 แสดงระดับน้ำในแปลงนาของชาวนาไทยทั่วไป

เมื่อ

STMIN = ระดับน้ำต่ำสุดในแปลงนาก่อน ที่จะได้รับน้ำชลประทานซึ่งระดับน้ำในแปลงนาต่ำถึงระดับนี้ ชาวนาก็จะเพิ่มน้ำชลประทานเข้าในแปลงนา

STO = ระดับน้ำปกติที่ชาวนานิยมเก็บกักในแปลงนา

STMAX = ระดับน้ำสูงสุดในแปลงนา ก่อนเกิด Runoff

ST_n = ระดับน้ำที่สิ้นสุดวันที่วัด หรือวันที่ n

ST_{n-1} = ระดับน้ำที่สิ้นสุดวันก่อน

ET_m = ปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืช สำหรับเดือนที่ m $[(Kc * ETp)+OR_m]/N$

Kc = Crop Coefficient ของเดือน m

ETp = Potential Evapotranspiration ของเดือน m

OR_m = ความต้องการใช้น้ำของพืชอื่นๆ ในเดือนที่ m

N = จำนวนวันในเดือน m

R_n = ปริมาณของฝนวันปัจจุบันหรือวันที่ทำการวัด(n)

ER_n = ปริมาณฝนใช้การปัจุบันหรือวันที่ทำการวัด(n)

หลักเกณฑ์ในการหา Effective Rainfall (ER) สามารถหาได้ ดังนี้ คือ

$$ST_n = ST_{n-1} + R_n - ET_m \qquad \ldots\ldots (3.12)$$

ถ้า $ST_n > STMAX$ จะได้

$$ER_n = STMAX + ET_m - ST_{n-1} \qquad \ldots\ldots (3.13)$$

และ ST_n จะเท่ากับ STMAX

ถ้า $ST_n \leq STMAX$, $ER_n = R_n$

และ ST_n = ผลที่คำนวณได้ในสมการที่ (3.12)

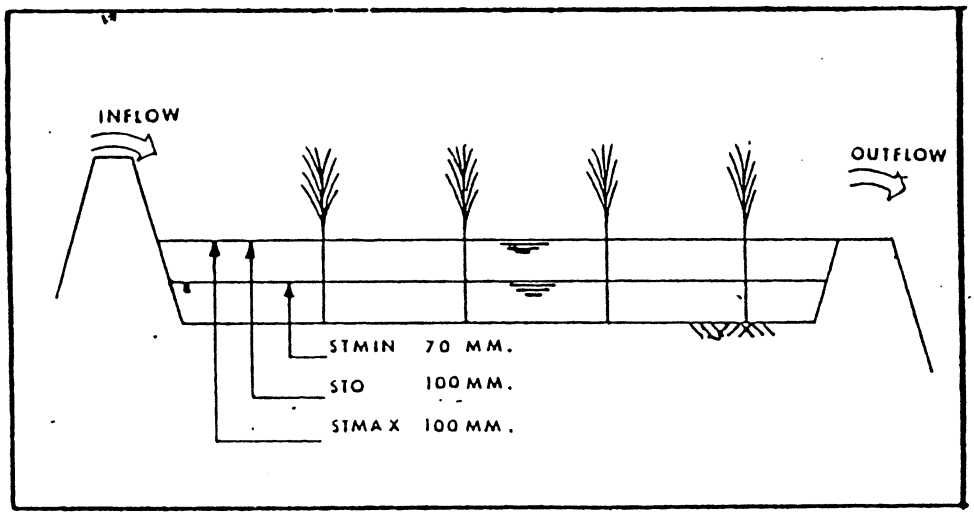
นอกจาก $ST_n < STMIN$ ค่า ST_n จะเท่ากับ STO
นั่นคือ จะต้องส่งน้ำชลประทานเข้าไปในแปลงนา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ตั้งระดับน้ำในแปลงนาดังนี้ คือ

STMAX = 100 มม.

STO = 100 มม.

STMIN = 70 มม.



รูปที่ 3.9 แสดงระดับน้ำในแปลงนาของชาวนาไทยทั่วไป

3.3.6 ปริมาณน้ำไหลคืน (Return Flow)

Return Flow คือปริมาณน้ำที่เหลือใช้จากแปลงเพาะปลูก และพื้นที่ที่ไม่ได้ทำการเพาะปลูก ซึ่งปรากฏอยู่ในระบบระบายน้ำ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก ในกรณี Return Flow จากแปลงเพาะปลูก ปริมาณน้ำที่เหลือใช้จะได้มาจากปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งให้และปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นที่โดยตรง ส่วนพื้นที่ไม่ได้ทำการเพาะปลูกจะได้มาจากปริมาณน้ำจากฝนอย่างเดียว

Return Flow จริง ปกติจะมีค่าน้อยกว่าตามทฤษฎี เนื่องจากการสูญเสียไปในระบบที่ไม่ได้นำมาคิด ได้แก่ การระเหย การรั่วซึมจากคลองไปสู่พื้นที่เพาะปลูก ปริมาณน้ำที่ถูกสูบไประหว่างทาง และการรั่วซึมบนพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบและวัดรวมกับ Return Flow ได้

ดังนั้น Return Flow ที่คำนวณได้จะเป็นReturn Flow ตามทฤษฎีต้องคูณด้วย Return Flow Factor จึงจะเป็น Return Flow จริง

Return Flow Factor จะผันแปรไปตามชนิดของพืชที่ปลูก ลักษณะแปลงเพาะปลูกและช่วงเวลาของการเพาะปลูก

Acres (1979) ศึกษา Return Flow ตามทฤษฎี โดยคำนวณจากสมการดังนี้ คือ

$$RFO = (WRL+IWR-ETL)+(WRO-ETO) \qquad \ldots\ldots (3.14)$$

เมื่อ

RFO = ปริมาณน้ำไหลคืน (Return Flow) ตามทฤษฎี

WRL = ปริมาณฝนที่ตกลงบนแปลงเพาะปลูก (Weighted Rainfall)

IWR = ปริมาณน้ำที่ส่ง

ETL = ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ในแปลงเพาะปลูก

WRO = ปริมาณฝนที่ตกนอกแปลงเพาะปลูก

ETO = ปริมาณน้ำ ที่พืชต้องการใช้ นอกแปลงเพาะปลูก (ให้เท่ากับ Potentail Evapotranspiration)

Return Flow Factor หาได้จากสูตร

$$RFF = RFO/RTF \qquad \ldots\ldots (3.15)$$

เมื่อ

RFF = Return Flow Factor

RFO = Return Flow จริง

ในการคำนวณ Return Flowตามทฤษฎีจะแยกการคำนวณออกเป็น 2 กรณี คือ

3.3.6.1 Return Flow ในแปลงเพาะปลูกของพืชแต่ละชนิด คำนวณได้ จากผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ส่งไปยังแปลงเพาะปลูก และปริมาณฝนที่ตก กับปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ ดังสมการ คือ

$$RFO = [IWR+(WRL-ETL)AL]\ RFF \qquad \ldots\ldots (3.16)$$

เมื่อ

RFO = ปริมาณน้ำไหลคืน (Return Flow)

IWR = ปริมาณน้ำที่ส่ง (รวมปริมาณการสูญเสียในคลอง)

WRL = Weighted Rainfall (ฝนเฉลี่ย)

ETL = ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้

AL = พื้นที่แปลงเพาะปลูก

RFF = Return Flow Factor

3.3.6.2 Return Flow ของพื้นที่นอกแปลงเพาะปลูกคำนวณได้จาก สมการดังนี้ คือ

$$RFO = [(WRO-ETO)(AT-AL)]RFF \qquad \ldots\ldots (3.17)$$

เมื่อ

WRO = ปริมาณฝนที่ตกนอกแปลงเพาะปลูก = WRL

ETO = ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้นอกแปลงเพาะปลูก = ETp

AT = พื้นที่โครงการทั้งหมด

ดังนั้น Return Flow ทั้งหมดจะเท่ากับผลรวมของ Return Flow ที่ได้จากสมการ(3.16) และ(3.17)

บุษรา (2533) ศึกษาวางแผนการส่งน้ำล่วงหน้าเป็นรายสัปดาห์ ในกรณีพื้นที่โครงการเจ้าพระยาทุ่งฝั่งตะวันออกตอนล่างโดยทำการคาดคะเนการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกข้าวล่วงหน้าตลอดฤดูกาลเพาะปลูกจากการใช้ข้อมูลฝนรายวัน หาปริมาณฝนใช้การโดยวิธี Simulationแล้วใช้ข้อมูลกิจกรรมการเพาะปลูกเป็นข้อมูลรายสัปดาห์หาปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้แล้วนำมา คำนวณหาความต้องการใช้น้ำชลประทาน ที่ต้องส่งให้พื้นที่เพาะปลูกเป็นรายสัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำที่ส่งให้ไม่สอดคล้องกับการเพาะปลูกจริงจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก อาจเป็นผลมาจากความผิดพลาดของข้อมูลพื้นที่การเพาะปลูก

3.4 <u>การวางแผนพัฒนาทรัพยากรน้ำ</u>

การวางแผนพัฒนาทรัพยากรน้ำ จะต้องเป็นแผนที่มีประโยชน์แก่ผู้ใช้หลายๆ ด้าน คือ เป็นแผนเอนกประสงค์จะต้องวิเคราะห์ประเภท และลักษณะของการใช้ประโยชน์อย่างละเอียดทุกแง่ทุกมุม ทั้งด้านกายภาพ ด้านสังคม และนโยบายการปฏิบัติด้วย นอกจากนั้นจะต้องมีความยืดหยุ่นเพียงพอเพื่อรับการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นจะเป็นแผนทดแทน(Alternative) ที่อาจเป็นแผนการสลับการใช้น้ำเพื่อจุดประสงค์หนึ่งไปอีกจุดประสงค์หนึ่ง ซึ่งเป็นแผนการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำอย่างหนึ่ง

เมื่อพิจารณา ถึงลักษณะของการใช้ประโยชน์น้ำ สามารถแบ่งออก ได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การใช้น้ำแบบสิ้นเปลือง (Consumptive Use) ได้แก่ การชลประทาน การอุตสาหกรรมและการอุปโภค-บริโภค เป็นต้น ซึ่งลักษณะการใช้น้ำแบบนี้จะเป็น การใช้น้ำนอกลำน้ำ

2. การใช้น้ำแบบไม่สิ้นเปลือง (Non-Consumptive Use) ได้แก่ การไฟฟ้าพลังน้ำ การผลักดันน้ำเค็มในแม่น้ำ การคมนาคมทางน้ำ การพักผ่อนหย่อนใจ การประมง เป็นต้น ซึ่งลักษณะการใช้น้ำแบบนี้จะเป็นการใช้น้ำในลำน้ำ

จากลักษณะของการใช้ประโยชน์น้ำดังกล่าวจะเห็นได้ว่าสามารถแบ่งตามลักษณะของประเภทการใช้น้ำออกได้เป็นหลายประเภทแต่ละประเภทจะมีความต้องการใช้น้ำไม่เท่ากันทั้งในด้านปริมาณและช่วงเวลา ซึ่งหากไม่มีการวางแผนการใช้น้ำที่เหมาะสมตามลักษณะ และประเภทของการใช้ก็จะทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำหรือเกิดอุทกภัยการกัดเซาะ หรือเกิดมลภาวะขึ้นได้

การวางแผนการจัดสรรน้ำ จึงเป็นส่วนหนึ่ง ของการวางแผนการใช้น้ำ โดยพิจารณาสมดุลย์ของแหล่งน้ำต้นทุน กับความต้องการใช้น้ำนั่นเอง ซึ่งมีเป้าหมายที่ดำเนินการจัดสรรทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้แก่ กิจกรรมหรือความต้องการใช้น้ำในด้านต่างๆ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ในการวางแผนการจัดสรรน้ำจะต้องประเมินปริมาณน้ำที่สามารถจัดสรรน้ำให้ได้ และจะต้องมีความเชื่อมั่นว่าจะได้น้ำในปริมาณที่ต้องการตามคุณภาพ เวลา และสถานที่ที่ต้องการ

การวางแผนการจัดการระบบทรัพยากรน้ำที่มีวัตถุประสงค์เชิงเศรษฐศาสตร์และวัตถุประสงค์อื่นใดก็ตาม สามารถเขียนออกมาในรูปของสมการคณิตศาสตร์ ที่เรียกว่า ฟังค์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ของการใช้งานและตัวแปรของการออกแบบทางวิศวกรรมแต่ละแบบ ทั้งหมดนี้เรียกรวมๆ ว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)ในแบบจำลองนี้ ตัวแปรของการออกแบบและตัวแปรการใช้งาน จะเรียกว่า ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ตัวแปรเหล่านี้ได้แก่ ความจุเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ ขนาดทางน้ำ พื้นที่สำหรับการปลูกพืชแต่ละชนิด ตำแหน่งและความจุของอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในการควบคุมอุทกภัยและอื่นๆ ค่าของตัวแปรตัดสินใจแต่ละตัวจะมีผลต่อการลงทุน และผลประโยชน์ที่ได้ต่างๆ กันในแต่ละแผน

ในการวิเคราะห์แผนการจัดการระบบทรัพยากรน้ำวิธีหาค่าที่สุดของการวางแผนการพัฒนาทรัพยากรน้ำ สามารถเขียนได้ในรูปแบบของสมการ คณิตศาสตร์ หรือแบบจำลองการวางแผน (Planning Model) โดยทั่วไปการหาคำตอบจากแบบจำลองการวางแผนต่างๆ จะมีอยู่ 2 วิธีคือ

3.4.1 วิธีการจำลองแบบ (Simulation) เป็นวิธีที่กำหนดค่าแต่ละค่าของตัวแปรตัดสินใจตามนโยบายที่กำหนด แล้วหาค่าฟังค์ชั่นวัตถุประสงค์ จนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งทำให้มีนโยบายหรือแผน ที่เป็นไปได้จำนวนมากจึงเสียเวลาในการหาคำตอบมาก ส่วนดีของวิธีทางจำลองแบบคือ สามารถหาคำตอบได้ แม้ว่าจะมีฟังชั่นที่ไม่เป็นเชิงเส้น(Non-Linear)รวมอยู่ด้วยไม่ว่าจะอยู่ในรูปของฟังค์ชั่นวัตถุประสงค์หรือสมการขีดจำกัด(Constraint Equation) นอกจากนี้วิธีการจำลองแบบ ยังเป็นวิธีที่สามารถใช้จำลอง ผลการดำเนินงานระบบทรัพยากรน้ำได้ เมื่อกำหนดนโยบายการดำเนินงานระบบทรัพยากรน้ำมาให้ ซึ่งสามารถแสดงคุณสมบัติ และพฤติกรรมต่างๆ ของระบบ ภายใต้เงื่อนไขที่แน่นอน แต่นโยบายที่กำหนดมาให้จะไม่สามารถประกันได้ว่า เป็นนโยบายที่

ดีที่สุด ส่วนมากมักจะใช้วิธีการจำลองสภาพ ในการตรวจสอบนโยบาย ซึ่งนโยบายนั้นได้หาไว้แล้วโดยวิธีอื่น เช่น วิธีหาค่าที่สุด (Optimization)

The Hydrologic Engineering Center (ศูนย์วิศวกรรมอุทกวิทยา) (1965-1966) เป็นหน่วยงานหนึ่งของ US. Army Corps of Engineers ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการจำลองสภาพการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ มีชื่อว่าโปรแกรม HEC-3 Reservoir System Analysis for Conservation Users Manual และได้พัฒนามาเรื่อยๆ จนถึง โปรแกรมรุ่นที่ 4 (Version ที่ 4) สามารถใช้จำลองแบบปัญหา(Simulation)ระบบอ่างเก็บน้ำแบบเอนกประสงค์ เช่น เพื่อการชลประทาน การประปา การผลิตกระแสไฟฟ้า การเดินเรือ การพักผ่อนหย่อนใจ หรือใช้งานได้บางกรณีเกี่ยวกับการควบคุมน้ำท่วม(Flood Control)รวมถึงยังสามารถที่จะใช้ประเมินผลด้านเศรษฐศาสตร์ได้ด้วย โดยใช้คุณลักษณะของอ่างเก็บน้ำ เป็นตัวดำเนินงานภายในโปรแกรม เช่น การผันน้ำ(Diversion) สถานีผลิตไฟฟ้า และจุดบังคับน้ำ (Control point) เป็นต้น ผลจากการจำลองสภาพจะแสดงคุณลักษณะต่างๆ ในแต่ละ Control Point เช่น ปริมาณการผันน้ำปริมาณการไหลในลำน้ำ ปริมาณน้ำที่ขาดในแต่ละช่วงเวลาฯลฯ HEC-3เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่แตกต่างจากโปรแกรมอื่นๆ คือ การนำข้อมูลเข้าโปรแกรม(Input) ไม่ได้กำหนดตายตัว แต่สามารถเลือกได้ตามความต้องการของผู้ใช้และผลลัพธ์(Output) ที่ได้จะสัมพันธ์กับลักษณะต่างๆ ที่ผู้ใช้ได้เลือกไว้ตาม Input

HEC-3สามารถจำลองสภาพการใช้งานอ่างเก็บน้ำจากระบบเล็กๆ ที่มีอ่างเดียวจนถึงระบบใหญ่ๆ และที่มีอ่างเก็บน้ำหลายๆ อ่างได้โดยไม่เสียเวลามากนัก แต่นโยบายการปล่อยน้ำที่ได้จากการจำลองสภาพโดย HEC-3อาจจะไม่ใช่นโยบายที่ดีที่สุดเนื่องจากไม่ได้ Optimization ของนโยบายดังกล่าว

James (1968) ศึกษาวิธีการคำนวณหานโยบายการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมเป็นการเก็บกักน้ำรายเดือน มีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลประโยชน์สูงสุด จากการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ โดยใช้วิธีการจำลองสภาพการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ ซึ่งได้กำหนดขั้นตอนดังนี้คือ

1. กำหนดวัตถุประสงค์คือ ผลประโยชน์จากการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ การป้องกันน้ำท่วม การอุปโภค-บริโภค การพักผ่อนหย่อนใจ

2. กำหนดฟังก์ชั่นการสูญเสียในแต่ละเดือน ซึ่งจะไปลดผลประโยชน์จากข้อ 1 ลงในกรณีน้ำในอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือนไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนด

3. ใช้ตารางแสดงผลประโยชน์จากระบบและความสูญเสียในเชิงเศรษฐศาสตร์ เป็นแนวทางในการคำนวณนโยบายที่เหมาะสมในแต่ละเดือน

3.4.2 วิธีการหาค่าที่สุด (Optimization) เป็นวิธีที่สามารถที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุด ได้รวดเร็วกว่าวิธีการจำลองแบบ แม้ว่าจะมีปัญหากับฟังก์ชั่นไม่เชิงเส้น แต่ก็สามารถใช้วิธีประมาณฟังก์ไม่เชิงเส้นให้เป็นฟังก์ชั่นเชิงเส้น (Linear)ซึ่งก็สามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าวิธีการจำลองแบบเช่นกัน

วิธีการหาค่าที่สุด เป็นคณิตศาสตร์แขนงหนึ่งมีชื่อเรียกว่า " Mathematical Programming "ซึ่งมีวิธีการอยู่มากมายที่ใช้กันมากได้แก่ วิธีตัวคูณลากราง(Lagrange Multipliers) วิธีลิเนียร์โปรแกรมมิ่ง (Linear Programming) วีธีไดนามิคโปรแกรมมิ่ง (Dynamic Programming) วิธีจีโอเมตริกโปรแกรมมิ่ง (Geometric Programming) ซึ่งการจะเลือกใช้วิธีไหน ก็แล้วแต่ลักษณะโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองระบบทรัพยากรน้ำที่ตั้งขึ้น

สำหรับวิธีการหาค่าที่สุด ที่มีประสิทธิภาพ ในการคำนวณมากที่สุด ที่ควรนำมาประยุกต์ใช้ คือ วิธีลิเนียร์โปรแกรมมิ่ง วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้แพร่หลายที่สุด วิธีการคำนวณไม่ซับซ้อนใช้ได้สะดวกเพราะว่าปัจจุบันมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปสำหรับแก้ปัญหาของลิเนียร์โปรแกรมมิ่ง และง่ายต่อการทำความเข้าใจตลอดจนง่ายต่อการนำไปศึกษาใช้งานด้วย

รูปแบบมาตรฐานของ Linear Programming ของปัญหาที่มีตัวแปร n ตัวและข้อจำกัด m ข้อจำกัดแสดงได้ดังนี้

Objective Function คือ

$$\text{Maximize or Minimize} \qquad Z = \sum_{j=1}^{n} Cj*Xj \qquad \ldots\ldots (3.18)$$

Constraint Equation คือ

$$\text{Subject to} : \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} a_{ij} * X_j \leq b_j \quad \text{เมื่อ} \quad i = 1,2,\ldots m \quad j = 1,2,\ldots n \qquad \ldots\ldots (3.19)$$

$$X_j \geq o$$

เมื่อ

C คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรในฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

a คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการข้อจำกัด

b คือ ปริมาณทรัพยากรที่จะนำมาใช้ในแต่ละกิจการ

a,b และ C จะมีค่าคงที่

X คือ ตัวแปรตัดสินใจ (decision variables)

Linear Programming สามารถหาคำตอบได้ตามลักษณะของข้อจำกัดของปัญหาได้ 2 วิธี คือ Deterministic Linear Programming และ Stochastic Linear Programming ซึ่งทั้ง Deterministic และ Stochastic ต่างก็เป็นฟังก์ชั่นของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น ในกรณีรูปแบบของปัญหาระบบทรัพยากรน้ำถ้าเขียนในรูปของแบบจำลองจะเรียกว่า Deterministic Hydrologic Models และ Stochastic Hydrologic Models ตามลำดับ หมายถึง ระยะ เท่ากับ Deterministic,Time = Stochastic

Deterministic Hydrologic Models เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่แสดงลักษณะทางกายภาพแบบจำลองจะอยู่ในรูปของสมการต่อเนื่อง(Continuous Models) หรือสมการที่รวมลักษณะทั้งหมดของระบบ(Lumped Models)หรือสมการแบ่งแยกลักษณะย่อยได้ (Distributed Models) โดยใช้ข้อมูลเหตุการณ์จริงในอดีตเป็นตัวกำหนดข้อจำกัดของปัญหาจะไม่ใช้วิธีสุ่ม สำหรับการหาคำตอบสามารถใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์หาคำตอบได้ค่าที่แน่นอนเป็นการพยากรณ์ (Forcasts) เหตุการณ์ในอนาคตจากเหตุการที่เกิดจริงจากข้อมูลได้ เช่น ในกรณีชุดข้อมูลฝนในระบบอุทกวิทยา สามารถหาผลลัพธ์ออกมาเป็น Streamflow Hydrograph ได้

Stochastic Hydrologic Models เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยา ที่ได้จากกระบวนการคาดคะเนเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งใช้ข้อมูลเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในอดีตนำมาสุ่ม (Random)ข้อมูลโดยวิธีทางสถิติจากเหตุการณ์ของความน่าจะเป็น หรือเรียกว่า ตัวแปรสุ่ม เป็นลักษณะของการทำนาย (Predictions) กำหนดตัวแปร หรือคาดคะเนเหตุการณ์ในอนาคต หรือสร้างข้อมูลชุดใหม่จากข้อมูลในอดีตสำหรับคำตอบจะให้ค่าที่แตกต่างกันหลายค่า แต่ละค่าอาจเป็นจริงหรือไม่ก็ได้ หรืออาจให้ค่าที่ซ้ำๆ กันก็ได้

Lowatanatakul (1985) ศึกษาหาวิธีดำเนินงานอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมของโครงการห้วยหลวง จังหวัดอุดรธานี ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำแบบเอนกประสงค์สำหรับความต้องการใช้น้ำเพียง 2 ประเภทคือ เพื่อการชลประทาน และการอุปโภค-บริโภค ในตัวจังหวัดอุดรธานีโดยใช้วิธี Deterministic Linear Programming สำหรับข้อมูลน้ำท่ารายเดือนในอดีตและใช้วิธี Stochastic Linear Programming ร่วมกับข้อจำกัดโดยความน่าจะเป็นที่จะเกิด (Chance Constraints) สำหรับข้อมูลน้ำท่ารายเดือนในอนาคต สร้างขึ้นโดยวิธีทางสถิติ นโยบายที่ได้จะนำไปจำลองสภาพการใช้งานอ่างเก็บน้ำระยะยาวโดยใช้ทั้งข้อมูลน้ำท่ารายในอดีต และข้อมูลน้ำท่ารายเดือนที่สร้างขึ้นมาโดยวิธีทางสถิติ อีก 100 ปี เพื่อความมั่นใจว่าอ่างเก็บน้ำจะสามารถส่งน้ำได้เพียงพอในอีก 20 ปี 40 ปี 60 ปี 80 ปี และ 100 ปี ข้างหน้าตามลำดับ

พรชัย (2535) ศึกษาหาวิธีที่เหมาะสม เพื่อการวางแผนการใช้งานอ่างเก็บน้ำโดยการวางแผนการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำแบบรายเดือน ในกรณีอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์สำหรับการใช้ที่ดินในปัจจุบัน และแนวโน้มการใช้ที่ดินในอนาคต และเสนอแผนการผันน้ำที่เหมาะสม เมื่อความต้องการใช้น้ำ และปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเปลี่ยนไปโดยใช้ขบวนการ Optimizationและใช้วิธี Stochastic Dynamic Programming ในการหานโยบายที่เหมาะสมซึ่งการศึกษาได้พิจารณาความต้องการ ใช้น้ำ 3 ประเภท คือ จากการผลิตพลังงานไฟฟ้า การชลประทาน และการใช้น้ำอุปโภค-บริโภคสำหรับชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรม Objective Function คือ กำไรจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าและผลกำไรจากการชลประทาน แล้วทดสอบนโยบายที่ได้โดยวิธีจำลองสภาพการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำสำหรับการจำลองสภาพ ได้สังเคราะห์ฝนรายปี 30 ปี จำนวน 20 ชุด จากข้อมูลฝนและ ความคาดหมายการใช้ที่ดินในอนาคตสามารถหาปริมาณน้ำท่าเข้าอ่างเก็บน้ำโดยใช้แบบจำลอง Regression ของ Boripun(1989)ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงความต้องการน้ำและปริมาณน้ำท่าด้วย

จากการทดสอบ การหานโยบายการ ดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ พบว่าวิธีดังกล่าวสามารถให้นโยบายที่เหมาะสม และสอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำ และเมื่อความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้น แผนการผันน้ำก็ระบุให้ต้องเก็บกักเพิ่มขึ้นตรงกัน ในขณะที่ถ้าปริมาณน้ำท่ามากขึ้นก็สามารถลดการเก็บกักลงได้ ซึ่งตรงตามสมดุลย์ของน้ำเป็นรายปี

จากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในการศึกษานี้ ต่างจากวัตถุประสงค์การดำเนินงานอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ในปัจจุบัน นโยบายที่ได้จึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ ถ้าเพิ่มผลประโยชน์ในการป้องกันน้ำท่วมและประโยชน์ที่พึงได้จากน้ำที่ล้นทิ้ง ก็จะทำให้ได้นโยบายที่เหมาะสมที่สามารถเปรียบเทียบกับนโยบายปัจจุบันได้

นอกจากนี้ Stochastic Dynamic Programming ซึ่งใช้ข้อจำกัดจากความน่าจะเป็น สามารถให้คำตอบได้หลายค่า ดังนั้นนโยบายที่เหมาะสม อาจไม่ใช่นโยบายที่ดีที่สุดและยังเป็นวิธีการที่ยุ่งยากด้วย

สรุปได้ว่า Deterministic Linear Programming เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการวางแผนการจัดการระบบทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการคำนวณไม่ซับซ้อนใช้แก้ปัญหาได้สะดวก แต่การใช้ร่วมกับข้อจำกัดโดยความน่าจะเป็น ยังมีข้อสงสัย คือ การสมมุติค่าให้ปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือนจะไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งมักจะขัดกับความเป็นจริงเพราะว่าน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำอาจจะมีความเกี่ยวเนื่องกันก็ได้