บทที่ 2
ทฤษฎีและวิธีการวิเคราะห์

ในการศึกษาผลประโยชน์ที่ได้รับสูงสุดจากการเสริมสันเขื่อน โดยใช้เขื่อนอุบลรัตน์สำหรับกรณีศึกษานี้ ได้กำหนดขั้นตอนที่ใช้ในการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนคือ

1) ศึกษาและพัฒนากำหนดข้อจำกัดต่างๆ ที่มีผลต่อขนาดสูงสุดของการเสริมสันเขื่อนของกรณีโครงการเขื่อนและอ่างเก็บน้ำโดยทั่วๆไป เช่น ข้อจำกัดของตัวเขื่อน ข้อจำกัดของอ่างเก็บน้ำ ข้อจำกัดทางด้านอุทกวิทยา เป็นต้น

2) วิเคราะห์ผลเพื่อกำหนดขนาดความสูงมากที่สุด ของการเสริมสันเขื่อนของกรณีศึกษาเขื่อนอุบลรัตน์ภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆที่พัฒนาได้

3) วิเคราะห์ผลประโยชน์ที่ได้รับสูงสุด จากการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ โดยใช้วิธีการโปรแกรมแบบพลวัตน์ พร้อมทั้งวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อกำหนดความเหมาะสมของโครงการและเปรียบเทียบหาขนาดการเสริมสันเขื่อนที่ดีที่สุด

สำหรับในบทนี้ จะกล่าวถึงทฤษฎีและวิธีการวิเคราะห์ ประกอบด้วยวิธีการโปรแกรมแบบพลวัตน์สำหรับใช้วิเคราะห์ผลประโยชน์ที่ได้รับสูงสุดจากการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ ในลักษณะเอนกประสงค์ ที่ขนาดการเสริมสันเขื่อนต่างๆ และวิธีการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์แบบต่างๆได้แก่ วิธีค่าเงินปัจจุบัน(Present-Worth Method) วิธีอัตราผลตอบแทน (Rate-of-Return Method) วิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน(Benefit-Cost-Ratio Method) และวิธีคำนวณเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปี (Uniform-Annual-Cash Method)

2.1 การโปรแกรมแบบพลวัตน์(Dynamic Programming)

ในการตั้งแผนระบบทรัพยากรน้ำ นั้นอาจสามารถตั้งได้ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์และแบบจำลองการวางแผน(Planning Model) โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์แผนระบบทรัพยากรน้ำจากแบบจำลองการวางแผนต่าง ๆ จะมีอยู่ 2 วิธี วิธีแรกเรียกว่า การจำลองแบบ (Simulation) โดยกำหนดค่าของตัวแปรแต่ละค่าและตัวแปรการตัดสินใจที่เป็นไปได้ แล้วนำตัวแปรเหล่านี้ไปคำนวณหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของวิธีการดำเนินงานที่มีความเหมาะสมต่างๆ เปรียบเทียบหาวิธีการดำเนินงานที่ให้ผลตอบแทนดีที่สุด วิธีที่ 2 เรียกว่าวิธีการหาค่าที่สุด (Optimization) มีชื่อเรียกรวมๆกันว่า โปรแกรมมิ่งทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) โดยการประยุกต์ใช้ความรู้ที่จำเป็นทางด้านแคลคูลัสและพีชคณิต วิธีการหาค่าที่สุดที่ใช้กันมาก เช่น วิธีตัวคูณลากรานจ์(Lagrange Multipliers) วิธีการโปรแกรมแบบเชิงเส้นตรง

(Linear Programming) วิธีการโปรแกรมแบบพลวัตน์ (Dynamic Programming) เป็นต้น สำหรับในการศึกษานี้ ได้เลือกประยุกต์ใช้วิธีโปรแกรมแบบพลวัตน์ วิเคราะห์หาการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำและผลประโยชน์ที่ได้รับสูงสุดจากการเสริมสันเขื่อน

การโปรแกรมแบบพลวัตน์เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ ที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาของระบบที่มีลักษณะเป็นกระบวนการที่กำหนดการรวมการตัดสินใจทั้งหมดของปัญหา เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อปัญหานั้นสามารถกำหนดให้มีการตัดสินใจที่สัมพันธ์กันเป็นลำดับและต่อเนื่องกัน ผู้ริเริ่มใช้วิธีการโปรแกรมแบบพลวัตน์คือ Richard Bellman ซึ่งเริ่มใช้ในช่วงปลายปีทศวรรษที่ 1940 และต้นปีทศวรรษที่ 1950 โดยได้รับการนำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรม ในแบบต่างๆ สำหรับในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงรูปแบบโดยทั่วไป และการประยุกต์ใช้วิธีการโปรแกรมแบบพลวัตน์กับการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ

2.1.1 รูปแบบโดยทั่วไปของการโปรแกรมแบบพลวัตน์

วิธีการโปรแกรมแบบพลวัตน์สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาได้ทั้งปัญหาฟังก์ชันเชิงเส้น และไม่เป็นเชิงเส้นที่มีข้อจำกัดต่างๆที่สามารถกำหนดปัญหาออกเป็นปัญหาย่อยๆได้ โดยเรียกปัญหาย่อยๆนี้ว่าขั้นตอน(Stage) เช่น ถ้ารูปปัญหาเดิมมีตัวแปรตัดสินใจ N ตัว จะแตกปัญหานั้นเป็นปัญหาย่อยๆได้ N ปัญหาโดยแต่ละปัญหามีตัวแปรตัดสินใจ 1 ตัว และแต่ละปัญหาจะมีความสัมพันธ์กันเป็นลำดับ หาค่าตัวแปรการตัดสินใจที่เหมาะสมของแต่ละปัญหาย่อยๆ แล้วรวมคำตอบของทุกปัญหาย่อยเป็นคำตอบของปัญหาเต็มโดยวิธีโปรแกรมแบบพลวัตน์ การแก้ปัญหาวิธีนี้จะช่วยให้หาคำตอบของปัญหาได้ง่ายขึ้น ความถูกต้องแน่นอนของคำตอบจะขึ้นอยู่กับการสร้างปัญหา ระบบของปัญหาในแต่ละขั้นตอนประกอบด้วย ตัวแปรสถานะ(State Variable) ซึ่งประกอบด้วยสถานะเข้า(Input State) และสถานะออก(Output State) ตัวแปรการตัดสินใจ(Decision Variable) และฟังก์ชันผลตอบแทนที่ได้รับในแต่ละขั้นตอน(Return Function) โดยมีรูปแบบระบบปัญหาโดยทั่วไป เป็นระบบปัญหาขั้นตอนเดียวและปัญหาการตัดสินใจหลายขั้นตอน ดังนี้

ก) รูปแบบระบบปัญหาขั้นตอนเดียว(Single Stage)

ในกรณีที่ปัญหาเดิมสามารถแตกเป็นปัญหาย่อยได้เพียงปัญหาเดียว หรือระบบปัญหาการโปรแกรมแบบพลวัตน์ที่ขั้นตอนใดๆ 1 ขั้นตอน รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรและฟังก์ชันต่างๆของปัญหาขั้นตอนเดียว เมื่อกำหนดให้ S เป็นสถานะเข้าของระบบ $\bar{S}$ เป็นสถานะออกของระบบ d เป็นตัวแปรการตัดสินใจอาจมีค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดหลายค่า แต่จะมีตัวแปรการตัดสินใจที่ดีที่สุดเพียงค่าเดียว และ f เป็นฟังก์ชันผลตอบแทน เมื่อมีการเลือกตัวแปรการตัดสินใจใดๆของระบบ สถานะออกจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเสมอซึ่งสามารถหาได้จากฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลง

016373

(Transition Function)ดังนี้

$$\bar{S} = S * d \qquad 2.1$$

(สถานะออกของขั้นตอนใดๆ) = (สถานะเข้าของขั้นตอนใดๆ) * (ตัวแปรตัดสินใจ)

โดยที่ * คือเครื่องหมายการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอาจเป็นได้ทั้ง +,-,*, / หรืออื่นๆ

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรและฟังก์ชันต่างๆ ของระบบปัญหาการโปรแกรมแบบพลวัตน์

ในการตัดสินใจเลือกตัวแปรการตัดสินใจใด ๆ ทุกครั้ง จะได้รับผลตอบแทนเสมอ ซึ่งฟังก์ชันผลตอบแทน (Return Function) เป็นฟังก์ชันสัมพันธ์กับตัวแปร S, d และ $\bar{S}$ โดยที่สถานะออกสัมพันธ์กับสถานะเข้า(S) และตัวแปรการตัดสินใจ(d) ดังสมการที่(2.1) ดังนั้นฟังก์ชันผลตอบแทนที่ได้รับคือ

$$R = r(S,d) \qquad 2.2$$

ในการวิเคราะห์ปัญหาที่ขั้นตอนใดๆ 1 ขั้นตอน สามารถหาผลตอบแทนที่ดีที่สุดได้จากการเลือกหาตัวแปรการตัดสินใจที่ดีที่สุด จากตัวแปรการตัดสินใจที่เป็นไปได้ทั้งหมด คือ

$$TR(S^*) = \max (S,d)$$
$$= r(S^*, d^*) \qquad 2.3$$

โดยที่ $TR(S^*)$ คือ ผลตอบแทนที่ดีที่สุด

d^* คือ ตัวแปรการตัดสินใจที่ดีที่สุด

S^* คือ สถานะเข้าของระบบที่ดีที่สุด

$\bar{S}^*$ คือ สถานะออกของระบบที่ดีที่สุด

ข) รูปแบบของระบบปัญหาการตัดสินใจหลายขั้นตอน(Serial Multi-Decision)

สำหรับปัญหาการโปรแกรมแบบพลวัตที่กำหนดการวิเคราะห์เป็นปัญหาย่อย ๆ N ปัญหา โดยแต่ละปัญหามีตัวแปรการตัดสินใจ 1 ตัว และแต่ละปัญหามีความสัมพันธ์กันเป็นลำดับ รูปที่ 2.2 (ก) แสดงระบบปัญหาการโปรแกรมแบบพลวัต N ขั้นตอน เมื่อวิเคราะห์แบบไปข้างหน้า สามารถเขียนฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงสถานะ(State Function) จากขั้นตอนที่ n-1 ไปยังขั้นตอนที่ n ใดๆที่อยู่ติดๆกัน ได้เป็น

$$S_n = f_n(S_{n-1}, d_n) \qquad 2.4$$

เมื่อ S_n คือสถานะออกจากขั้นตอนที่ n และเป็นสถานะเข้าขั้นตอนที่ n+1

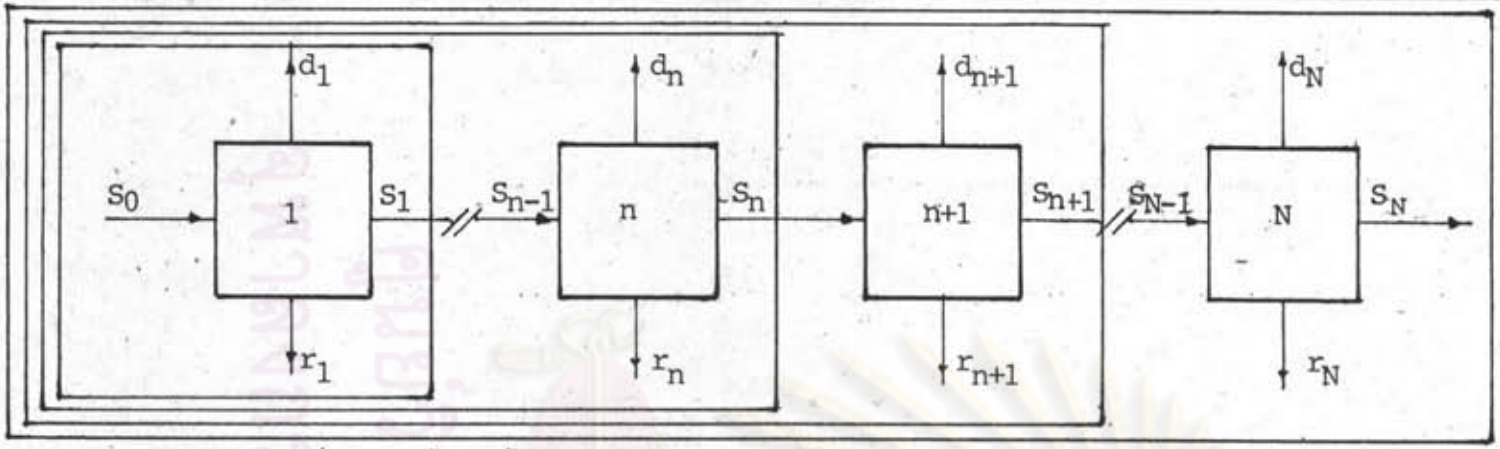
f_n คือฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงในขั้นตอนที่ n

ผลตอบแทนที่ได้รับจากขั้นตอนที่ n คือ

$$R_n = r_n(S_{n-1} , d_n) \qquad 2.5$$

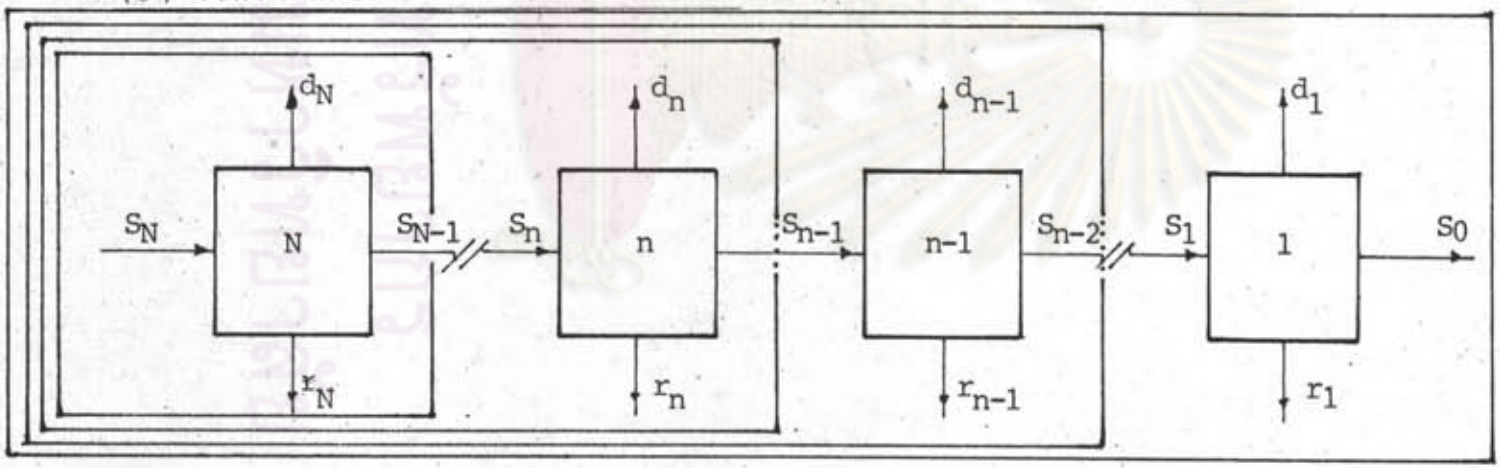
ในการตัดสินใจหลายขั้นตอนของ ระบบการโปรแกรมแบบพลวัต ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก) เป็นการวิเคราะห์แบบไปข้างหน้า(Forward) กล่าวคือการคำนวณครั้งที่หนึ่งเป็นการแก้ปัญหาของขั้นตอนที่ 1 ครั้งที่สองเป็นการแก้ปัญหาของขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 ต่อไปเรื่อยๆถึงการแก้ปัญหาครั้งที่ N เป็นการแก้ปัญหาของขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ N แต่ถ้าในกรณีการแก้ปัญหาใหญ่ที่ยุ่งยากซับซ้อน อาจไม่สามารถกำหนดความสัมพันธ์ของ $S_n = f_n(S_{n-1} , d_n)$ ได้ดังสมการที่ 2.4 การวิเคราะห์ปัญหาการโปรแกรมแบบพลวัตแบบย้อนหลัง (Backward) อาจให้ผลดีกว่า รูปที่ 2.2(ข) แสดงระบบปัญหาการโปรแกรมแบบพลวัต N ขั้นตอน เมื่อวิเคราะห์แบบย้อนหลัง จะได้ฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงในขั้นตอนที่ n ใดๆ คือ

$$S_{n-1} = f_n(S_n , d_n) \qquad 2.6$$



(ก) วิเคราะห์แบบไปข้างหน้า (Forward)

(ข) วิเคราะห์แบบย้อนหลัง (Backward)



รูปที่ 2.2 แสดงระบบปัญหาการโปรแกรมแบบพลวัตน์ N ขั้นตอน

เมื่อ

S_{n-1} คือสถานะออกจากขั้นตอนที่ n และเป็นสถานะเข้าในขั้นตอนที่ n-1

สำหรับผลตอบแทนที่ได้รับจากการตัดสินใจในขั้นตอนที่ n ในกรณีการแก้ปัญหาแบบไปข้างหน้า ขึ้นอยู่กับ S_{n-1} และ d_n ดังแสดงในสมการที่ 2.5 ในกรณีการแก้ปัญหาแบบย้อนหลัง ผลตอบแทนที่ได้รับจากการตัดสินใจในขั้นตอนที่ n คือ

$$R_n = r_n(S_n , d_n) \qquad 2.7$$

จากรูปที่ 2.2 (ข) จะเห็นได้ว่า S_n ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจก่อนหน้าขั้นตอนที่ n คือ d_{n+1} , d_{n+2} ,..., d_N ดังนั้น

$$\begin{aligned} S_n &= f_{n+1}(S_{n+1} , d_{n+1}) \\ &= f_{n+1}\{ f_{n+2}(S_{n+2} , d_{n+2}) , d_{n+1}\} \\ &= f_{n+1}(S_{n+2} , d_{n+2} , d_{n+1}) \\ &\vdots \\ &= f_{n+1}(S_N , d_N ,..., d_{n+1}) \qquad 2.8 \end{aligned}$$

จากสมการที่ 2.8 จะเห็นว่าสถานะเข้าในขั้นตอนที่ n ใดๆ จะเป็นฟังก์ชันของสถานะเข้าเริ่มต้น S_N และการตัดสินใจก่อนหน้าขั้นตอนที่ n สำหรับฟังก์ชันผลตอบแทนในขั้นตอนที่ n จะขึ้นอยู่กับการตัดสินใจก่อนหน้า หรืออาจกล่าวได้ว่า d_n จะมีผลต่อผลตอบแทนในขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ n นั่นคือ

$$\begin{aligned} f_n &= r_n(S_n , d_n) \\ &= r_n\{ f_{n+1}(S_N , d_N ,..., d_{n+1}) , d_n \} \\ &= r_n(S_N , d_N ,..., d_n) \qquad 2.9 \end{aligned}$$

ถ้ากำหนดให้ TR_N เป็นผลตอบแทนที่ได้รับทั้งหมดจาก N ขั้นตอน(ขั้นตอนที่ 1 ถึง N) จะได้ TR_N เป็นฟังก์ชันของผลตอบแทน ในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

$$TR_N(S_N,S_{N-1},...,S_1,d_N,d_{N-1},...,d_1) = g[r_N(S_N,d_N), r_{N-1}(S_{N-1},d_{N-1}),...,r_1(S_1,d_1)]$$

หรืออาจเขียนได้เป็น

$$TR_N(S_N,d_N,d_{N-1},\ldots,d_1) = g[r_N(S_N,d_N),r_{N-1}(S_N,d_N,d_{N-1}),\ldots, r_1(S_N,d_N,\ldots,d_1)] \qquad 2.10$$

ในการวิเคราะห์ปัญหา N ขั้นตอน ถ้ามีเป้าหมายเพื่อหาผลตอบแทนทั้งหมด $TR_N(Sn)$ เป็นค่ามากที่สุด (Maximum)ภายใต้การตัดสินใจ $d_1,d_2,\ldots,d_N$ และสถานะเริ่มต้น S_N จะหาฟังก์ชันผลตอบแทนที่ดีที่สุด (Optimum return function) ดังนี้

$$TR^*_N(S_N) = g\{r_N(S^*_N,d^*_N),r_{N-1}(S^*_{N-1},d^*_{N-1}),\ldots,r_1(S^*_1,d^*_1)\}$$
$$= \max_{d_N,\ldots,d_1} g[\{r_N(S_N,d_N),r_{N-1}(S_{N-1},d_{N-1}),\ldots,r_1(S_1,d_1)\}]$$

ข้อจำกัด $S_{n-1} = f_n(S_n,d_n)$,n=1,2,...,N 2.11

หรืออาจเขียนได้เป็น

$$TR^*_N(S_N) = g[r_N(S_N,d^*_N),r_{N-1}(S_N,d^*_N,d^*_{N-1}),\ldots,r_1(S_N,d^*_N,\ldots d^*_1)]$$

$$= \max_{d_N,\ldots,d_1} g[r_N(S_N,d_N),r_{N-1}(S_N,d_N,d_{N-1}),\ldots,r_1(S_N,d_N),\ldots,d_1)] \qquad 2.12$$

รูปแบบตามสมการที่ 2.11 เป็นรูปแบบที่มีตัวแปรสถานะ N ตัว ตัวแปรตัดสินใจ N ตัว และมีข้อจำกัด N ข้อจำกัด และรูปแบบตามสมการที่ 2.12 มีตัวแปรสถานะ 1 ตัว และมีตัวแปรตัดสินใจ N ตัว จากรูปแบบสมการที่ 2.11 สามารถแตกออกเป็น N ปัญหาย่อยๆ โดยแต่ละปัญหาย่อยจะมีตัวแปรสถานะ 1 ตัว และตัวแปรตัดสินใจ 1 ตัว เป็นผลบวกของผลตอบแทน ซึ่งง่าย ต่อการแก้ปัญหา ในกรณีที่แตกปัญหาเดิม (สมการที่ 2.12) ออกเป็น N ปัญหาย่อยต่อเนื่องกัน โดยที่แต่ละปัญหาย่อย มีตัวแปรสถานะ 1 ตัว และตัวแปรการตัดสินใจ 1 ตัว สามารถแตกฟังก์ชันเป้าหมายเดิม ได้ในรูป ผลรวมของผลตอบแทนคือ

$$g[r_N(S_N,d_N),r_{N-1}(S_{N-1},d_{N-1}),\ldots,r_1(S_1,d_1)] = r_n(S_N,d_N)+r_{N-1}(S_{N-1},d_{N-1}) +,\ldots,+r_1(S_1,d_1)$$

$$\therefore TR_N(S_N) = \max_{d_N,\ldots,d_1} [r_N(S_N,d_N)+r_{N-1}(S_{N-1},d_{N-1})+,\ldots,+r_1(S_1,d_1)]$$

$$= \max_{d_N} [r_N(S_N,d_N)+ \max_{d_{N-1},\ldots,d_1} \{r_{N-1}(S_{N-1},d_{N-1})+,\ldots,+r_1(S_1,d_1)\}]$$

ข้อจำกัด $S_{n-1} = f_n(S_n,d_n)$ เมื่อ $n=1,2,\ldots,N$ 2.13

หรืออาจเขียนได้เป็น

$$TR_N = \max_{d_N} [r_N(S_N,d_N)+ TR_{N-1}(S_{N-1})]$$

$$= \max_{d_N} [r_N(S_N,d_N)+TR_{N-1}(f_N(S_N,d_N)] \quad 2.14$$

ถ้ากำหนดให้ $Z_N(S_N,d_N) = r_N(S_N,d_N)+TR_{N-1}[f_N(S_N,d_N)]$ และแตกฟังก์ชันเป้าหมายของปัญหาเดิมออกเป็นรูปตัวดำเนินการ(Operator) * ใดๆ จะได้รูปแบบโดยทั่วไปของปัญหาการโปรแกรมแบบพลวัตที่ขั้นตอน n ใดๆ ดังนี้

$$TR_n(S_n) = \max_{d_n} Z_n(S_n,d_n) \quad \text{เมื่อ } n=1,\ldots,N$$

$$Z_n(S_n,d_n) = r_n(S_n,d_n) \quad \text{เมื่อ } n=1 \quad 3.15$$

$$= r_n(S_n,d_n)*TR_{n-1}(f_n(S_n,d_n)) \quad \text{เมื่อ } n=2,\ldots,N$$

2.1.2 การหาคำตอบโดยวิธีการโปรแกรมแบบพลวัตน์

ในการหาคำตอบโดยวิธีการโปรแกรมแบบพลวัตน์ ตามรูปแบบในสมการที่ 3.15 เมื่อปัญหาใหญ่แบ่งออกได้เป็น N ขั้นตอน เริ่มที่ขั้นตอน n =1 หาผลตอบแทน $f_1(S_1) = r_1(S_1,d_1)$ และ $Q_1(S_1,d_1)= r_1(S_1,d_1)$ หาค่า $f_1(S_1)$ และ $d_1(S_1)$ เก็บค่าไว้เพื่อใช้คำนวณต่อไป เมื่อ n = N จะเพิ่มค่า n คราวละ 1 ตัวคือ n = 1+1=2 คำนวณหาผลตอบแทนในขั้นตอนที่ 2 ได้ $f_2(S_2) = r_2(S_2,d_2)$ ผลตอบแทนของ 2 ขั้นตอนคือ $Q_2(S_2,d_2) = r_2(S_2,d_2)*f_1(S_1)$ หา $f_2(S_2)$ และ d_2 เก็บค่า f_2 และ d_2 ไว้เพื่อคำนวณต่อไป จากนั้นทำขั้นตอนที่ 3,4,...,N ได้ในทำนองเดียวกัน เมื่อ n = N แล้วจะได้ $TR_N(S_N)$ เป็นผลตอบแทนที่เหมาะสมของระบบทั้ง N ขั้นตอน และตัวแปรการตัดสินใจที่เหมาะสมคือ $d^*_N = d_N(S^*_N)$ โดยที่ S^*_N คือสถานะเข้าที่เหมาะสม ค่า S^*_N หาได้จาก $TR_N(S^*_N)= \max [f_N(S_N)]$ แล้วหาตัวแปรการตัดสินใจ และ

สถานะในขั้นตอนอื่นๆได้ดังนี้

$$S^*_{N-1} = f_N(S^*_N, d_N)$$
$$= f_N\{S^*_N, d_N(S^*_N)\}$$
$$= f_N(S^*_N) \qquad 2.16$$

$$d^*_{N-1} = d_{N-1}(S^*_{N-1})$$
$$= d_{N-1}\{f_N(S^*_N, d^*_N)\}$$
$$= d_{N-1}(S^*_N) \qquad 2.17$$

ในทำนองเดียวกัน หาค่า S^*_N, d^*_N ย้อนกลับจาก $n = N-1$, $n = N-2$,...,$n = 1$ โดยใช้ความสัมพันธ์

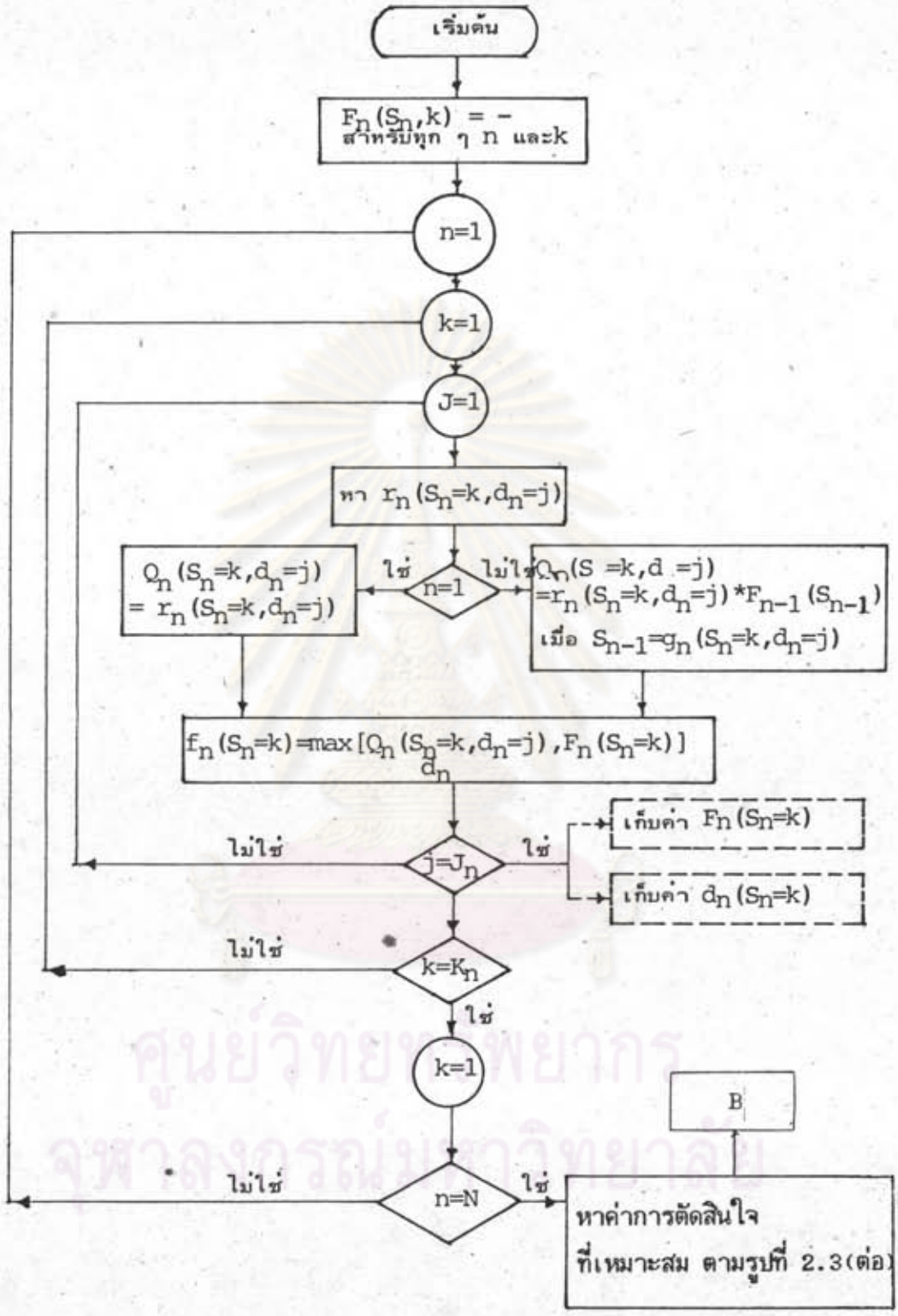
$$S^*_{n-1} = f_n(S_n, d^*_n)$$
$$= f_n(S^*_N)$$

และ $$d^*_{n-1} = d_{n-1}(S^*_{n-1})$$
$$= d_{n-1}(S^*_N)$$

ในการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้วิธีการโปรแกรมแบบพลวัตน์ เพื่อหาผลตอบแทนและการตัดสินใจที่เหมาะสมนั้น ถ้าปัญหาย่อยที่ n ใดๆ มีสถานะเข้า S_n ที่เป็นไปได้ K_n ค่า คือ$S_n = K$, $K=1,2,...,K_n$ ตัวแปรการตัดสินใจ d_n มีค่าที่สามารถเลือกตัดสินใจได้ J_n วิธี คือ$d_n = J$, $J=1,2,...,J_n$ การหาค่าผลตอบแทนที่ดีที่สุด $f_n(S_n=K)$ จะหาได้จาก $Q_n(S_n=K, d_n=J)$ ดังแผนภูมิสายงาน รูปที่ 2.3

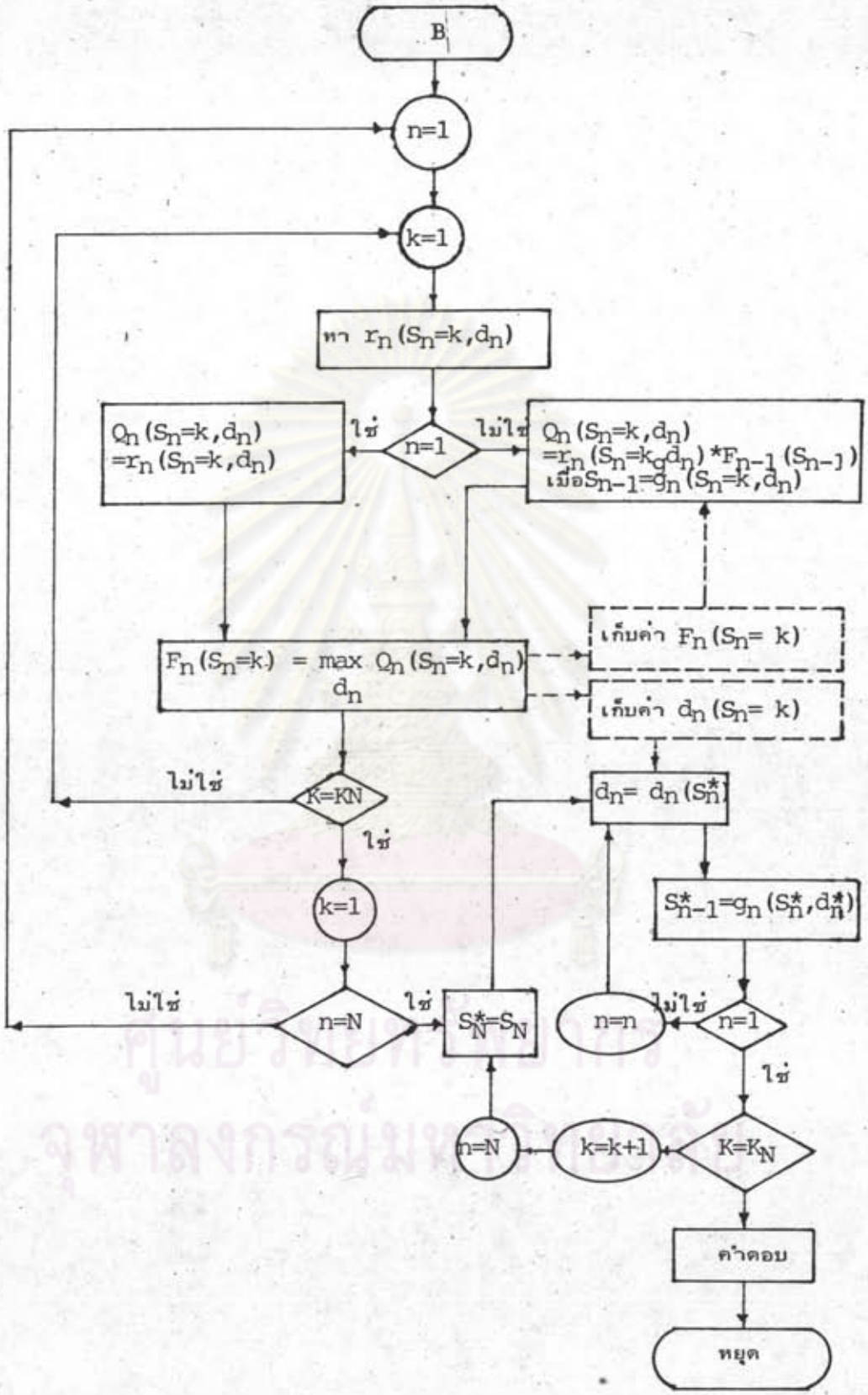
2.1.3 การโปรแกรมแบบพลวัตน์สำหรับการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ

ในการนำเอาวิธีการโปรแกรมแบบพลวัตน์ มาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำที่สร้างเสร็จแล้ว เพื่อหาขนาดการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด เริ่มต้นด้วยการกำหนดปัญหาใหญ่เป็นปัญหาย่อย หรือขั้นตอนต่อเนื่องกัน โดยแบ่งตามเวลารายเดือน เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมกับข้อมูลน้ำท่าที่มีอยู่ ผลของการวิเคราะห์มีความละเอียดถูกต้องที่เชื่อถือได้ ในการปล่อยน้ำในเดือนใดๆ เมื่อถึงปลายเดือนก็จะรู้ปริมาณน้ำที่เหลือสำหรับเดือนต่อไปได้ จากหลักการความสมดุลย์ของน้ำ หรือหลักการคงมวล ในรูปของสมการสถานะ(State



รูปที่ 2.3 แสดงแผนภูมิสายงาน(flowchart) การหาคำตอบ กรณีสถานะเข้า;S_n และตัวแปรการตัดสินใจ ;d_n มีค่าที่เป็นไปได้ K_n และ J_n วิธี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


B
n=1
k=1
หา $r_n(S_n=k,d_n)$
$Q_n(S_n=k,d_n)$ $=r_n(S_n=k,d_n)$
ใช่
n=1
ไม่ใช่
$Q_n(S_n=k,d_n)$ $=r_n(S_n=k,d_n)*F_{n-1}(S_{n-1})$ เมื่อ$S_{n-1}=g_n(S_n=k,d_n)$
$F_n(S_n=k) = \max_{d_n} Q_n(S_n=k,d_n)$
เก็บค่า $F_n(S_n=k)$
เก็บค่า $d_n(S_n=k)$
ไม่ใช่
K=KN
ใช่
$d_n=d_n(S_n^*)$
k=1
$S_{n-1}^*=g_n(S_n^*,d_n^*)$
ไม่ใช่
n=N
ใช่
$S_N^*=S_N$
n=n
ไม่ใช่
n=1
ใช่
n=N
k=k+1
K=KN
คำตอบ
หยุด

รูปที่ 2.3 (ต่อ)

Equation) แล้วตัดสินใจปล่อยน้ำสำหรับเดือนต่อไปเรื่อยๆ เป็นขั้นตอนเวลาต่อเนื่องกัน จะเห็นได้ว่า การตัดสินใจปล่อยน้ำแต่ละเดือนจะขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของเดือนก่อนเสมอ ในการศึกษานี้กำหนดช่วงเวลาการวิเคราะห์การดำเนินงานอ่างเก็บน้ำระยะเวลา 1 ปี รวม12 เดือนโดยเริ่มต้นขั้นตอนที่ 1 เดือนเมษายน ขั้นตอนที่ 2 เดือนพฤษภาคม จนถึงขั้นตอนที่ 12 คือเดือนมีนาคม ตามลักษณะของปีน้ำ(Water Year) รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างระบบการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเดี่ยว(Single Reservoir) ตั้งแต่เดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ N รูปที่ 2.5แสดงระบบการแก้ปัญหาการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำโดยวิธีการโปรแกรมแบบพลวัตร์ ช่วงระยะเวลา 12เดือน

สำหรับปัญหาการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ ขั้นตอนของเวลาที่ใช้เป็นเดือน ตัวแปรสถานะ ก็คือความจุเก็บกักที่เดือนใดๆของอ่างเก็บน้ำ และตัวแปรการตัดสินใจ ก็คือปริมาณน้ำที่ปล่อยออกมาในแต่ละเดือน เมื่อประยุกต์หลักการคงมวลเพื่ออธิบายสถานะของระบบในแต่ละเดือนจะได้สถานะของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 สมการคงมวลคือ

$$V_{t+1} = V_t - V_t - E_t(V_t, V_{t+1}) - L_t + I_t + DR_t + C_t \qquad 2.18$$

โดยที่ V คือตัวแปรสถานะซึ่งได้แก่ความจุเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ

Q คือตัวแปรการตัดสินใจซึ่งได้แก่การปล่อยน้ำในเดือนใดๆ

V_t คือความจุเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่เริ่มต้นช่วงเวลา t

V_{t+1} คือความจุเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่เวลาสุดท้ายของช่วงเวลา t หรือเริ่มต้นของช่วงเวลา t+1

Q_t คือปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลา t

E_t คือความสูญเสียน้ำจากการระเหย ในช่วงเวลา t ซึ่งเป็นฟังก์ชันของปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ

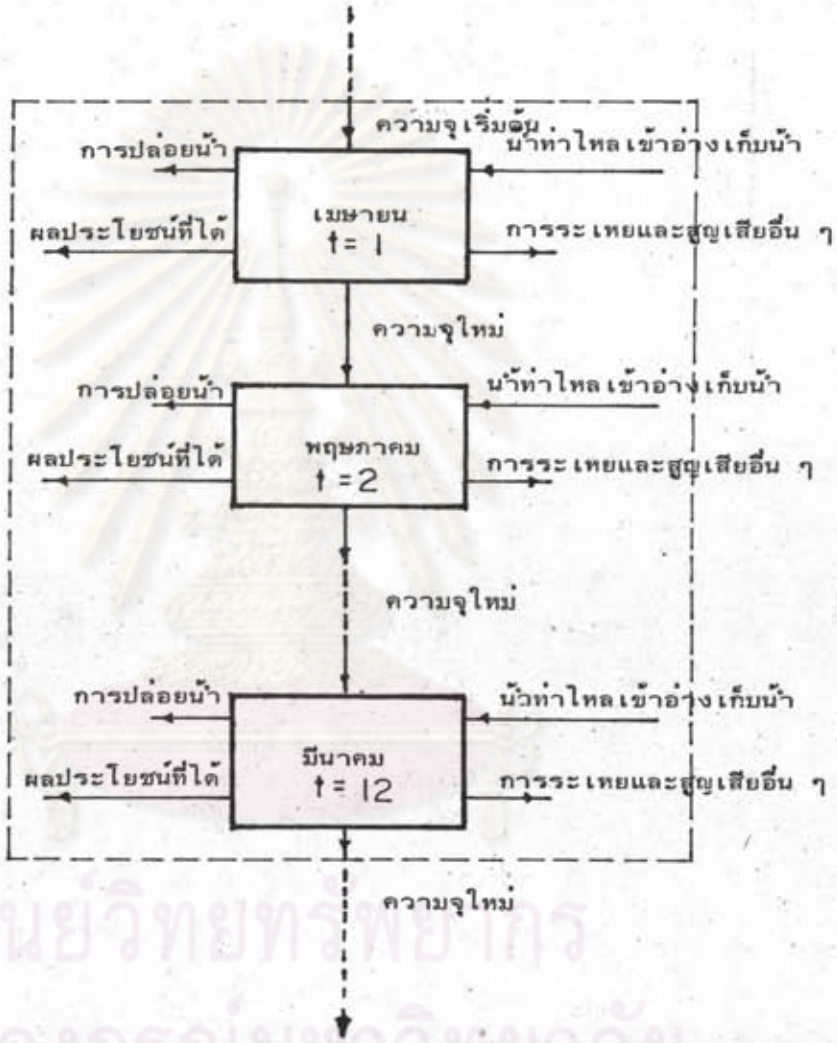
L_t คือการสูญเสียน้ำจากการรั่วซึมและอื่นๆ

I_t คือน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในเดือน t

C_t คือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ในเดือนที่ t จากแหล่ง อื่นๆ ที่ไม่ใช่น้ำท่า

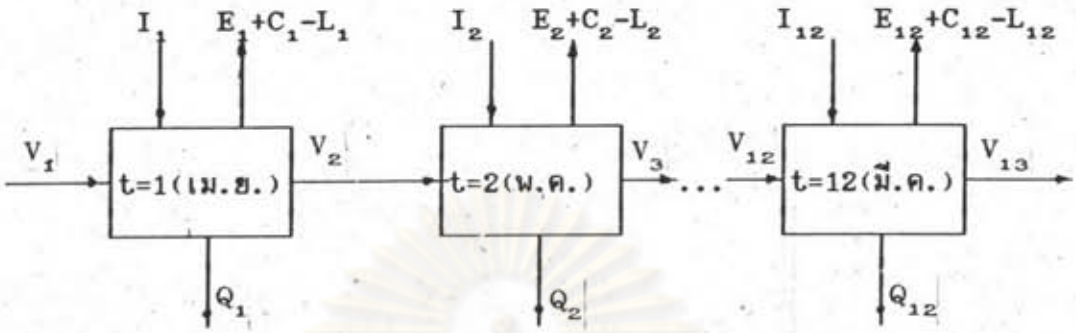
DR_t คือฝนที่ตกลงอ่างเก็บน้ำโดยตรงในเดือนที่ t

สมการสถานะซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรสถานะขั้นตอนปัจจุบันกับตัวแปรสถานะของขั้นตอนก่อน หรือสมการสถานะที่แปลงสถานะของตัวแปร V_t ซึ่งถูกควบคุมโดยตัวแปรควบคุม (Control Variable) Q_t เป็นสถานะ V_{t+1} ดังแสดงในรูปที่ 2.7 สมการสถานะคือ

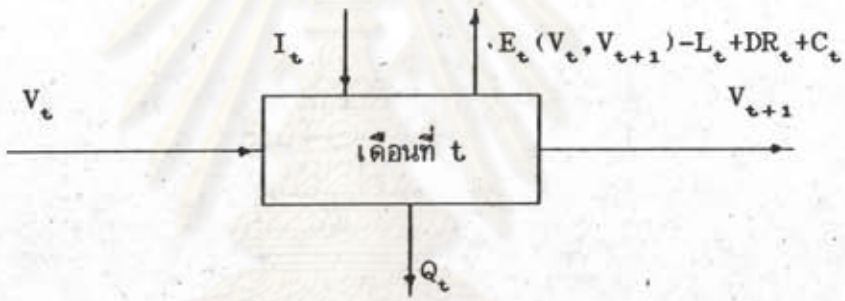


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเดี่ยว (Single Reservior)

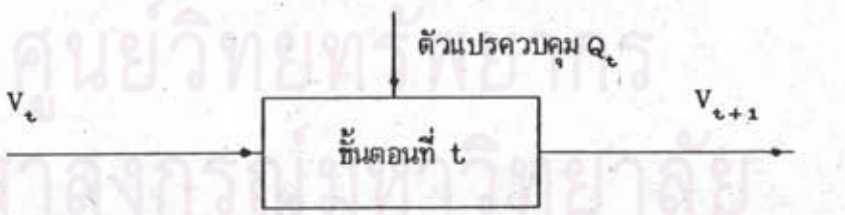
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 แสดงระบบการแก้ปัญหาการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ ช่วงระยะเวลา 12 เดือน



รูปที่ 2.6 แสดงสถานะของอ่างเก็บน้ำ ที่เวลา t ใด ๆ



รูปที่ 2.7 แสดงตัวแปรสถานะและตัวแปรควบคุม ในขั้นตอนใด ๆ ของการโปรแกรมแบบพลวัตน์

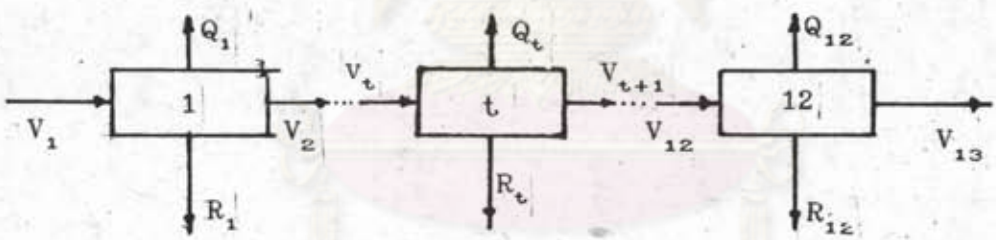
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$V_{t+1} = g_t(V_t, Q_t)$$
$$= g_t(V_t, V_{t+1}, Q_t) \qquad 2.19$$

สำหรับกรณีการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำเดี่ยว สมการสถานะก็คือ สมการคงมวลนั่นเอง เมื่อพิจารณาสมการที่ 2.16 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้รับจากการตัดสินใจปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ สามารถแยกเป็น ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละขั้นตอน ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตัวแปรสถานะและตัวแปรควบคุมของขั้นตอนนั้นเท่านั้น สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\text{ฟังก์ชันวัตถุประสงค์} = \max \{f_t(V_t, V_{t-1}, Q_t)\} \qquad 2.20$$

จากรูป เมื่อแตกปัญหาการวิเคราะห์ผลการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ ออกเป็น 12 ขั้นตอน โดยแตกฟังก์ชันเป้าหมายอยู่ในรูปผลบวก จะได้ผลรวมของผลตอบแทนสูงสุด เมื่อวิเคราะห์แบบไปข้างหน้า ที่ขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้



$$TR_1(V_2) = \max_{V_1} [R_1(V_1, Q_1)]$$

$$TR_2(V_3) = \max_{V_2} [R_2(V_2, Q_2) + TR_1(V_2)]$$

$$TR_3(V_4) = \max_{V_3} [R_3(V_3, Q_3) + TR_2(V_3)]$$

$$\vdots$$

$$TR_{12}(V_{13}) = \max_{V_{12}} [R_{12}(V_{12}, Q_{12}) + TR_{11}(V_{12})]$$

หรือเขียนใหม่เป็นรูปแบบโดยทั่วไปของสัมพันธ์รีเคอร์สีฟ(Recursive Relation)ของการโปรแกรมแบบพลวัตร์ เมื่อวิเคราะห์แบบไปข้างหน้า ที่ขั้นตอน t ใด ๆ ดังนี้

$$TR_t(V_{t+1}) = \max_{V_t} [\, R_t(V_t, Q_t) + TR_{t-1}(V_t) \,]$$

และเมื่อวิเคราะห์แบบย้อนหลัง จะได้

$$TR_t(V_t) = \max_{V_{t+1}} [\, R_t(V_t, Q_t) + TR_{t+1}(V_{t+1}) \,] \qquad 2.21$$

สำหรับสมการข้อจำกัดของปัญหาการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ ที่ขั้นตอนใดๆขึ้นอยู่กับข้อจำกัดทางด้านความต้องการน้ำเพื่อการชลประทาน การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ การป้องกันอุทกภัย ปริมาณมาณน้ำต้นทุน ฯลฯ โดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1) เงื่อนไขปริมาณน้ำต้นทุนของอ่างเก็บน้ำ (Hydrologic Budget) จากสมการคงมวล ปริมาณน้ำเก็บกักของเดือนที่ t+1 คำนวณได้จากผลรวมของปริมาณน้ำเก็บกักในเดือนที่ t กับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำทั้งหมด ลบด้วยปริมาณน้ำที่ปล่อยออกและสูญเสียทั้งหมดในเดือนที่ t ดังนี้

$$V_{t+1} = V_t + I_t + DR_t + C_t - E_t - Q_t - L_t \qquad 2.22$$

โดยที่ DR_t คือปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในอ่างเก็บน้ำโดยตรงในเดือนที่ t

C_t คือน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากแหล่งอื่นๆ ที่ไม่ใช่น้ำท่า เช่น น้ำฝนที่ไหลบนผิวดินเข้าสู่อ่างและ Inter Flow เป็นต้น

I_t คือปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ

E_t คือปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากอ่างเก็บน้ำ ในเดือนที่ t

ปริมาณการระเหยในแต่ละเดือนจะเป็นฟังก์ชันของความจุเฉลี่ยของเดือนซึ่งสามารถหาสมการนั้นที่ผิวกับความจุได้และหาปริมาณที่ระเหยได้ ดังนี้

$$E_t = e_t \, A \, \frac{(V_t + V_{t+1})}{2} \qquad 2.23$$

เมื่อ e_t คืออัตราการระเหยของแต่ละเดือน

$A \, \frac{(V_t + V_{t+1})}{2}$ คือพื้นที่ผิวอ่าง ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความจุเฉลี่ย

2) เงื่อนไขความจุของอ่างเก็บน้ำ ในการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำในลักษณะเอนกประสงค์ สามารถแบ่งส่วนของการใช้น้ำในอ่างเก็บน้ำโดยทั่วๆไปได้ดังรูปที่ 2.8 เมื่อ

ก) Surcharge Storage ได้แก่ความจุชั่วคราวเมื่อมีน้ำป่ามาแรงจะล้นออกที่ทางระบายน้ำล้น จะเกิดขึ้นได้เฉพาะช่วงที่มีปริมาณน้ำท่วมขนาดใหญ่เท่านั้น

ข) Flood Control Storage ได้แก่ความจุที่ใช้สำหรับป้องกันอุทกภัยให้กับพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำของตัวเขื่อน ซึ่งแล้วแต่การวางแผนการจัดการอ่างเก็บน้ำ

ค) ความจุใช้งาน (Active Storage) ได้แก่ความจุที่ใช้สำหรับวัตถุประสงค์ต่างๆ ตามความมุ่งหมายของการสร้างเขื่อน เช่น เพื่อการอุปโภคบริโภค การชลประทาน การผลิตพลังงานไฟฟ้าและการไล่น้ำเค็ม เป็นต้น

ง) ความจุเก็บกักต่ำสุด (Dead Storage) ได้แก่ความจุของตะกอนแล รักษาศักย์ของน้ำ (Head) ซึ่งปริมาณน้ำทั้งหมดที่เหลือในเดือนใดๆจะต้องเหลือมากกว่าหรือเท่ากับปริมาณที่ความจุเก็บกักต่ำสุด

ในการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำและแบ่งส่วนอ่างเก็บน้ำ สำหรับการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำโดยทั่ว ๆ ไป จะต้องควบคุม ความจุในอ่างเก็บน้ำ ดังนี้

$$Vmin < V_t \leq Vmax < Vspill \qquad 2.24$$

โดยที่ Vmin คือความจุต่ำสุดของอ่างเก็บน้ำ

Vmax คือความจุสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ

V_t คือความจุของอ่างเก็บน้ำในเดือนที่ t

Vspill คือความจุของอ่างเก็บน้ำ ที่ต้องปล่อยปริมาณน้ำส่วนเกินออกทิ้งไป ในทางระบายน้ำล้น

3) เงื่อนไขการปล่อยน้ำ (Water Release Constraints) ในการดำเนินงานอ่าง

เพื่อความต้องการด้านท้ายน้ำ การสัญจรทางน้ำและการไล่น้ำเค็มเป็นต้น และต้องไม่มากกว่าหรือเท่ากับปริมาณน้ำสูงสุดที่สามารถปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำได้โดยไม่เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ ด้านท้ายน้ำ ดังนี้

$$Qmin \leq Q_t < Qmax \qquad 2.25$$

โดยที่ Qmin คือปริมาณน้ำต่ำสุดที่สามารถปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำได้
Qmax คือปริมาณน้ำสูงสุดที่สามารถปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำได้
Q_t คือปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำในเดือนที่ t

4) เงื่อนไขการผลิตพลังงาน (Energy Production Constraints) ในโครงการเขื่อนและอ่างเก็บน้ำที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ ระดับการเก็บกักน้ำและปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำที่ไหลผ่านเครื่องกังหันน้ำ จะเป็นตัวแปรสำคัญของการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยที่พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ต้องมีค่าอยู่ระหว่างพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดที่ต้องผลิต ที่กำหนดจากปริมาณน้ำต้นทุน เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ฯลฯ กับพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถผลิตได้ เงื่อนไขการผลิตพลังงานไฟฟ้าคือ

$$Emin \leq E_t < Emax \qquad 2.26$$

โดยที่ Emin คือพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดที่ต้องผลิต
Emax คือพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถผลิตได้ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

5) เงื่อนไขด้านการชลประทาน (Irrigation Constraints) ความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทานในช่วงเวลาต่างๆ สามารถคำนวณได้จากความต้องการใช้น้ำของพืช ฝนใช้การ ประสิทธิภาพการชลประทาน ปฏิทินการเพาะปลูกและการปล่อยน้ำจะต้องส่งน้ำไม่ต่ำกว่า 95% ของความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน โดยยอมให้มีการขาดน้ำได้บ้างเล็กน้อย ถ้าไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย คือ

$$Q_t \geq 0.95\ QIRR_t \qquad 2.27$$

โดยที่ Q_t คือปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ ช่วงเวลา t
$QIRR_t$ คือความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน ช่วงเวลา t

2.2) ผลประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการอ่างเก็บน้ำแบบเอนกประสงค์

สำหรับผลประโยชน์ ที่ได้รับจากโครงการอ่างเก็บน้ำในลักษณะเอนกประสงค์นั้นประกอบด้วย ผลประโยชน์จากการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ การชลประทาน การป้องกันอุทกภัย การคมนาคมทางน้ำ การไล่น้ำเค็ม การพักผ่อนหย่อนใจ และการอุปโภคบริโภคเป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะผลประโยชน์ที่ได้รับจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ การป้องกันอุทกภัยและการชลประทานเท่านั้น

2.2.1 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ

หลักการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังน้ำคือการนำเอาพลังงานจลน์ ที่เกิดขึ้นจากการไหลของน้ำจากที่สูง มาเป็นแรงหมุนเครื่องกังหันและส่งแรงไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ได้จากพลังน้ำหาได้ จากสูตร

$$P_o = r_w . e_n . Q . H \qquad 2.28$$

โดยที่ P_o คือกำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (Kw.)

e_n คือประสิทธิภาพ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Q คือปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเครื่องกังหันน้ำ เป็น ลบ.ม ต่อวินาที

r_w คือน้ำหนักจำเพาะของน้ำมีค่าเท่ากับ 9.81 นิวตัน ต่อ ลบ.ม.

H คือความสูงของน้ำที่ไหลตกลงมามีหน่วยเป็น เมตร

ค่าความสูงของน้ำเฉลี่ยตลอดเดือน สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าคำนวณได้จาก ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำเฉลี่ยในอ่างเก็บน้ำกับระดับน้ำด้านท้ายน้ำและความสูงสูญเสียทั้งหมดคือ

$$H_t = WL_{t(av)} - WL_{t(tail)} - HL_t \qquad 2.29$$

โดยที่ $WL_{t(av)}$ คือระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเฉลี่ย เดือนที่ t

$= 0.5(WL_t + WL_{t-1})$

WL_{t-1} คือระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเมื่อปลายเดือนที่ t

$WL_{t(tail)}$ คือระดับน้ำด้านท้ายน้ำ ได้จาก Rating curve

HL_t คือค่า Head loss เป็น เมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยแต่ละเดือน จะต้องไม่มากเกินความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งไว้ ซึ่งได้จากการรวมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดในช่วงเวลาเดือนต่าง ๆ นั่นคือ

$$E = P_o \cdot T \quad \text{กิโลวัตต์-ชั่วโมง}$$

$$= 9.81\, e_n \cdot Q \cdot T \cdot H \quad \text{กิโลวัตต์-ชั่วโมง}$$

$$= 9.81\, e_n \cdot \frac{(Q_t \times 1{,}000{,}000) \times T \times H}{T \times 3{,}600}$$

$$= 0.0027258\, e_n \cdot H \cdot Q_t \quad \text{ล้านกิโลวัตต์-ชั่วโมง} \qquad 2.30$$

โดยที่ E คือพลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น ล้าน กิโลวัตต์-ชั่วโมง

Q_t คือปริมาณน้ำที่ไหลผ่านกังหันน้ำ ล้าน ลบ.ม./เดือน

T คือจำนวนชั่วโมง ของเดือนที่ t

ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า สามารถแบ่งจำนวนการผลิตออกได้เป็น 2 ชนิด โดยกำหนดได้จาก ปริมาณน้ำต้นทุนของโครงการ ในช่วงต่ำสุดและสูงสุด เพื่อเป็นหลักประกันว่าจะไม่ขาดพลังงาน คือ

1) Firm Energy คือพลังงานไฟฟ้าที่กำหนดให้ผลิตอย่างน้อยที่สุด (Minimum Level) ที่กำหนดจากการออกแบบ
2) Secondary Energy คือพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ส่วนที่มากกว่า Firm Energy ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำต้นทุน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้ง

ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากจำนวนพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ผลิตได้ และราคาต่อหน่วยของพลังงานที่ได้รับ (บาท/กิโลวัตต์-ชม.) ในการศึกษานี้ พิจารณาเงื่อนไขของผลประโยชน์ที่ได้รับจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า จากปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ เพื่อผลิตพลังงานที่ Firm Energy และ Secondary Energy ดังนี้

ก) ผลประโยชน์จากการผลิตพลังงานไฟฟ้า ที่ Firm Energy หรือพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานในการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ด้านท้ายน้ำ ถ้าปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ (Q_t) มีปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับ ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้า Firm Energy (Q_f) จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ Firm Energy ได้เต็มทั้งหมดปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ (Q_t) มีปริมาณน้อยกว่า Q_f จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยกว่า Firm Energy โดยแสดงผลประโยชน์ ดังนี้

ถ้า $Q_t \geq Q_f$; B1 = Cpbf (Q_f) $(0.002725\ E_n\ H)$

ถ้า $Q_t < Q_f$; B1 = Cpbf (Q_t) $(0.002725\ E_n\ H)$ 2.31

ข) ผลเสียจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ Firm Energy ถ้าเดือนใดมีปริมาณน้ำปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำได้เต็มที่ ปริมาณมากกว่า ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ Firm Energy (Q_f) จะไม่เกิดผลเสียหาย แต่ถ้าปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำปริมาณน้อยกว่า Q_f จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้น้อยกว่า Firm Energy จะเกิดความเสียหายจากความต้องการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทดแทนส่วนที่ขาด โดยแสดงเงื่อนไขผลเสียได้ดังนี้

ถ้า $Q_t \geq Q_f$; B2 = 0.00

ถ้า $Q_t < Q_f$; B2 = Cpbs$(Q_f - Q_t)(0.00275\ E_n\ H)$ 2.32

ค) ผลประโยชน์จากการผลิตพลังงานที่ Secondary Energy หรือพลังงานไฟฟ้าส่วนเกิน ถ้าเดือนใดมีปริมาณน้ำเพียงพอสามารถปล่อยออกมาผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า Firm Energy ก็จะผลิตพลังงานที่ Secondary Energy แต่ต้องมีปริมาณไม่มากกว่า พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้ง ซึ่งเป็นพลังงานส่วนเกิน และถ้าปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ (Q_t) มีปริมาณน้อยกว่าปริมาณน้ำสูงสุดที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ที่ Firm Energy ก็จะไม่เกิดความเสียหายจากการขาดพลังงานไฟฟ้าที่ Secondary Energy ดังนี้

ถ้า $Q_t \geq Q_f$; B3 = Cpbs $(Q_t - Q_f)$ $(0.002725\ E_n.H)$

ถ้า $Q_t < Q_f$; B3 = 0.00 2.33

โดยที่ Cpbf คือผลประโยชน์ต่อหน่วยของการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่(Firm Energy)

Cplf คือผลเสียหายต่อหน่วยของการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ (Firm Energy)

Cpbs คือผลประโยชน์ต่อหน่วยของการผลิตพลังงานที่ (Secondary Energy)

Q_t คือปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำเดือนที่ t

Q_f คือปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ (Firm Energy)

B_1 คือผลประโยชน์จากการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ (Firm Energy)

B_2 คือผลเสียเนื่องจากการขาดพลังงานไฟฟ้าที่ (Firm Energy)

B_3 คือผลประโยชน์จากการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ (Secondary Energy)

2.2.2 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการชลประทาน

น้ำเพื่อการเกษตรหรือน้ำชลประทาน เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับการเพาะปลูก การเลี้ยงสัตว์และการประมง ตลอดจนเพื่อการอุปโภค บริโภคของเกษตรกร ผลประโยชน์จากโครงการชลประทาน จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1) ผลประโยชน์โดยตรงที่ได้รับ จากผลผลิตทางการเกษตรกรรม (Direct Benefit) สำหรับโครงการชลประทาน ที่สามารถให้น้ำแก่เกษตรกรได้อย่างทั่วถึง และเพียงพอตลอดระยะเวลาการเพาะปลูก ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเกษตรกรโดยที่ พืชได้รับน้ำอย่างเพียงพอตลอดเวลาสำหรับการเจริญเติบโต เกษตรกรสามารถปลูกพืชได้มากขึ้นในพื้นที่เท่าเดิม มีการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพขึ้นเนื่องจากมีปริมาณน้ำที่เหมาะสม เกษตรกรสามารถใช้พันธุ์พืชที่ได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมกับพื้นที่ สิ่งเหล่านี้จะทำให้ผลผลิตดีขึ้นทั้งด้านปริมาณและคุณภาพทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นผลประโยชน์โดยตรงจากผลผลิตทางเกษตรกรรมประกอบด้วย

1.1) ผลประโยชน์ที่ได้ จากน้ำชลประทานในการเพิ่มผลผลิตหรือสามารถทำการเพาะปลูกได้มากขึ้น เช่น การทำนาสองครั้งต่อปี การปลูกพืชหมุนเวียนเป็นต้น

1.2) ผลประโยชน์ที่ได้รับเนื่องจากการชลประทาน ช่วยเพิ่มความสามารถในการเพาะปลูก

1.3) ผลประโยชน์อื่นๆ เช่นช่วยให้พื้นที่ดินอุดมสมบูรณ์สามารถทำการเพาะปลูกได้นานขึ้น และอื่น ๆ

2) ผลประโยชน์ทางอ้อมต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคม(Indirect Benefit) ประกอบด้วยผลประโยชน์ที่สามารถประเมินเป็นมูลค่าได้ และผลประโยชน์ที่ไม่สามารถประเมินเป็นมูลค่าได้ เช่น การช่วยลดปัญหาทางเศรษฐกิจและสังคม ก่อให้เกิดความเจริญในท้องถิ่น ช่วยลดการว่างงานของเกษตรกร หรือช่วยให้เกษตรกรมีทัศนคติที่ดีต่อรัฐบาล ซึ่งยังผลให้เกิดความมั่นคงของประเทศเป็นต้น ในการศึกษานี้สามารถแยกพิจารณาเงื่อนไขของผลประโยชน์ที่ได้รับจากการชลประทานได้ตามปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำรายเดือน ออกเป็นผลประโยชน์ที่ได้รับทั้งหมดจากการชลประทาน ผลเสียหายจากการขาดน้ำเพื่อการชลประทาน และผลประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มขึ้นจากการขยายพื้นที่เพาะปลูกและอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

ก) ผลประโยชน์ที่ได้รับทั้งหมดจากการชลประทาน ประกอบด้วยผลประโยชน์โดยตรงและผลประโยชน์ทางอ้อมต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ โดยคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการใช้น้ำและพื้นที่เพาะปลูก คือถ้าปริมาณน้ำที่ปล่อยออกรายเดือน (Q_i) มีปริมาณมากกว่าหรือเท่ากับปริมาณความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทานและอื่น ๆ ($QIRR_i+SND_i$) จะสามารถทำการเพาะปลูกได้เต็มพื้นที่เพาะปลูกปกติไม่ขาดน้ำ ผลประโยชน์ที่ได้รับโดยตรงจากการชลประทาน

ขึ้นอยู่กับผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ และผลประโยชน์ที่ได้รับทางอ้อม กำหนดให้เท่ากับ 30 % ของผลประโยชน์ที่ได้รับโดยตรงจากการชลประทาน แต่ถ้าปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำรายเดือน (Q_t) น้อยกว่าความต้องการผลประโยชน์ที่ได้รับทั้งหมดจากการชลประทาน จะลดลงตามพื้นที่เพาะปลูกที่ลดลง ดังนี้

ถ้า $Qt \geq QIRR_t + SND_t$

$$B4 = Cib \{(AIRR_t + 0.30\ Cib\ (AIRR_t))$$

$$= 1.30\ Cib\ (AIRR_t) \qquad 2.34$$

ถ้า $Q_t < QIRR_t + VND_t$

$$B4 = 1.30\ (Q_t - SND_t)\ (AIRR_t/QIRR_t) \qquad 2.35$$

ข) ผลเสียหายจากการขาดน้ำเพื่อการชลประทาน ถ้าปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำรายเดือน (Q_t) มีปริมาณน้อยกว่าปริมาณความต้องการใช้น้ำ เพื่อการชลประทานและอื่น ๆ จะทำให้เกิดผลเสียหายโดยสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ขาดกับอัตราส่วนของพื้นที่ชลประทานต่อความต้องการน้ำเพื่อชลประทาน ดังนี้

ถ้า $Q_t < QIRR_t + SND_t$

$$B5 = Cil\ [\{(QIRR_t+SND_t - Q_t))\ \{(AIRR_t/QIRR_t)\}] \qquad 2.36$$

ถ้า $Q_t \geq QIRR_t + SND_t$

$$B5 = 0.00 \qquad 2.37$$

ค) ผลประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มขึ้นจากการขยายพื้นที่เพาะปลูกและอื่น ๆ ถ้ามีปริมาณน้ำเหลือใช้เพียงพอต่อความต้องการ สามารถนำไปขยายพื้นที่เพาะปลูกได้จำนวนหนึ่ง ซึ่งก่อให้เกิดผลประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มขึ้น สัมพันธ์กับพื้นที่โครงการและปริมาณน้ำต้นทุน ดังนี้

ถ้า $Q_t \geq QIRR_t + SND_t$

$$B6 = Bib\ [\{(Q_t-QIRR_t-SND_t))\ \{(AIRR_t/QIRR_t)\}] \qquad 2.38$$

ถ้า $Q_t < QIRR_t + SND_t$

$$B6 = 0.00 \qquad 2.39$$

โดยที่ B_4 คือผลประโยชน์ที่ได้รับจากการชลประทาน (ล้านบาท)

B_5 คือผลเสียเนื่องจากการขาดน้ำเพื่อการชลประทาน (ล้านบาท)

B_6 คือผลประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มขึ้นจากการขยายพื้นที่เพาะปลูก (ล้านบาท)

$QIRR_t$ คือความต้องการน้ำเพื่อการชลประทาน (ล้าน m^3.)

SND_t คือความต้องการน้ำด้านอื่นๆ (ล้าน m^3.)

$AIRR_t$ คือพื้นที่เพื่อการชลประทาน (ไร่)

Cib คือผลประโยชน์ต่อหน่วยด้านการชลประทาน

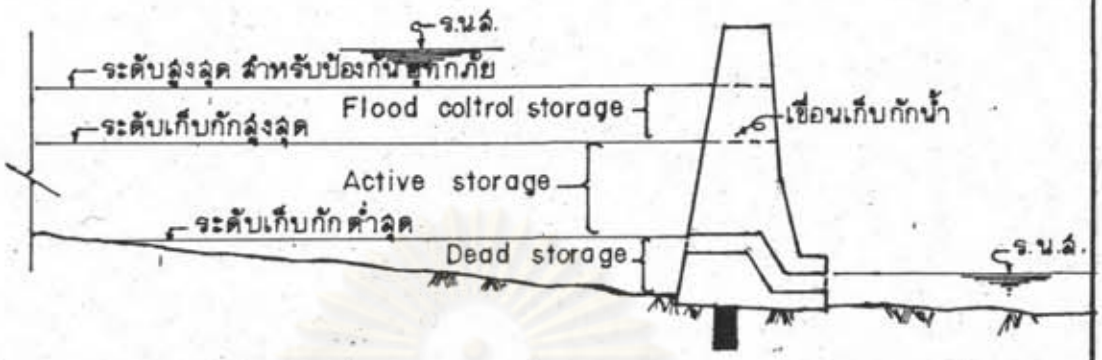
Cil คือผลเสียต่อหน่วยเมื่อขาดน้ำเพื่อการชลประทาน

Bib คือผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับเพิ่มขึ้นต่อหน่วยจากการขยายพื้นที่เพาะปลูก

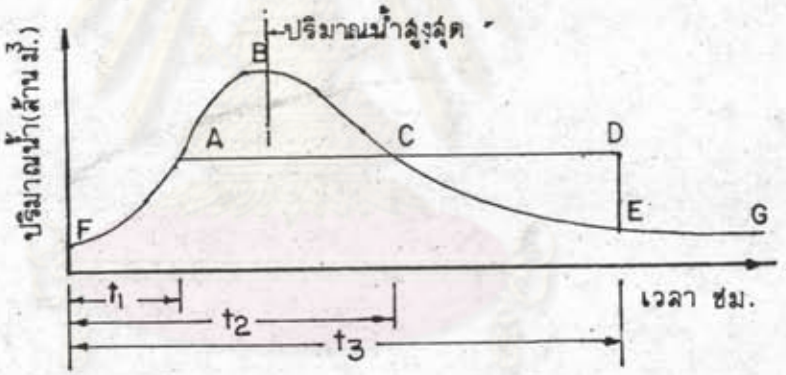
2.2.3 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการป้องกันอุทกภัย

อุทกภัย หมายถึงการที่น้ำไหลท่วมครอบคลุมพื้นที่ ซึ่งในเวลาปกติเป็นบริเวณที่ไม่มีน้ำปกคลุม และสามารถใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ มักจะก่อให้เกิดผลเสียหายทางเศรษฐกิจ และอาจเป็นอันตรายต่อชีวิตของผู้ที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่น้ำท่วมถึง อ่างเก็บน้ำที่สร้างไว้ด้านเหนือน้ำของพื้นที่ป้องกัน สามารถป้องกันอันตรายจากน้ำท่วมได้ โดยการช่วยลดอัตราการไหลสูงสุดให้อยู่ในวิสัยที่คลองระบายน้ำด้านท้ายน้ำ สามารถรับไว้ได้ น้ำส่วนเกินจากนี้ จะถูกเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำ ดูรูปที่ 2.9 แสดงหลักการควบคุมการทำงานของอ่างเก็บน้ำ โดยกำหนดให้น้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ มีลักษณะกราฟน้ำท่า FABCEG โดยหลักการควรออกแบบอ่างเก็บน้ำให้มีความจุเท่ากับ ABC เพื่อลดอัตราการไหลจากระดับ ABC เหลือแค่ระดับเส้นตรง AD โดยที่เวลา t1 ยังไม่มีการเก็บกักปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและออกจากอ่างเก็บน้ำ มีค่าเท่ากับ FA ที่เวลา t1 ถึง t2 การเก็บกักน้ำจะเริ่มขึ้นที่จุด A และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุด C ซึ่งอ่างเก็บน้ำจะเต็มพอดี โดยที่การปล่อยน้ำจะต้องไม่เกินระดับ AC ที่เวลา t2 ถึง t3 อัตราการปล่อยน้ำเป็นไปตามกราฟ CD มากกว่าอัตราการไหลเข้า CE ปริมาณน้ำจะไหลออกจากอ่างเก็บน้ำแต่ไม่เกินระดับ CD จนหมดอ่างเก็บน้ำที่จุด D พื้นที่ ABC เท่ากับ CDE เพื่อเตรียมที่ว่างไว้ สำหรับน้ำระลอกใหม่ ต่อจากนั้นทุกอย่างจะเข้าสู่สภาพธรรมชาติ น้ำจะไหลผ่านอ่างเก็บน้ำในอัตรา EG โดยไม่มีอะไรเปลี่ยนแปลง

ความเสียหายเนื่องจากอุทกภัย มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความรุนแรงของน้ำท่วม ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว ที่สำคัญคือความลึกของน้ำ และพื้นที่ที่น้ำท่วมถึง ซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรทั้งสองนี้อาจหาได้จากการเก็บสถิติข้อมูลน้ำท่วมในอดีต หรือได้จากการคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำ ในงานป้องกันอุทกภัยเรามักแสดงพื้นที่และความลึกของน้ำท่วมเป็นฟังก์ชันของปริมาณน้ำท่วมสูงสุด ดังนี้



รูปที่ 2.8 แสดงการแบ่งส่วนของอ่างเก็บน้ำ (Zone) โดยทั่ว ๆ ไป



รูปที่ 2.9 การดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ เพื่อบรรเทาอุทกภัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$A = kq^{n} : h = cq^{b} \qquad 2.40$$

โดยที่ A คือพื้นที่น้ำท่วม (ไร่)

h คือความลึกของน้ำ (เมตร)

q คืออัตราน้ำท่วมสูงสุดส่วนที่เกินความสามารถของร่องน้ำ

ในการวิเคราะห์ความเสียหายเนื่องจากอุทกภัย อาจแบ่งความเสียหายออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ความเสียหายที่เกิดขึ้นในเขตเมือง (Urban Damages) ความเสียหายที่เกิดขึ้นในเขตเพาะปลูกและความเสียหายทางอ้อม (InDirectDamages) ดังนี้

1) ความเสียหายที่เกิดขึ้นในเขตเมือง ได้แก่ ความเสียหายที่เกิดขึ้นต่ออาคาร บ้านเรือน เครื่องใช้ และทรัพย์สินต่าง ๆ หลังจากเกิดภัยน้ำท่วม ซึ่งในกรณีที่น้ำท่วมไม่ลึกนัก ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับบริเวณและตัวอาคาร อาจประมาณได้จากสูตร

$$Cd = Kd.Ms.A \qquad 2.41$$

โดยที่ Cd คือความเสียหายโดยตรงที่เกิดขึ้นกับบริเวณและตัวอาคาร (บาท/ไร่)

Ms คือราคาประเมินของสิ่งปลูกสร้างในบริเวณที่ถูกน้ำท่วม (บาท/ไร่)

A คือพื้นที่น้ำท่วม (ไร่)

kd คือค่าคงที่ (ลบม.$^{-1}$) หาได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีต ที่ใช้กันโดยทั่วไป ในต่างประเทศ สำหรับอาคารติกมีค่าประมาณ 0.044

2) ความเสียหายที่เกิดขึ้นในเขตเพาะปลูก คือ กำไรที่ลดลงเมื่อเกิดน้ำท่วม หาได้เมื่อเกิดอุทกภัย ค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อหน่วยพื้นที่ในเขตเพาะปลูกอาจประมาณได้จากสูตร

$$Da = (U_n Y_n - C_n) - (U_f Y_f - C_f - C_n) \qquad 2.42$$

โดยที่ Da คือค่าความเสียหายจากอุทกภัยหนึ่งหน่วยพื้นที่ในบริเวณพื้นที่เพาะปลูก

Un และ Uf คือ ราคาของผลิตต่อหน่วยในสภาพปกติและกรณีที่เกิดอุทกภัยตามลำดับ

Yn และ Yf คือ จำนวนผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ในสภาพปกติและกรณีที่เกิดอุทกภัยตามลำดับ

Cn และ Cf คือ ค่าใช้จ่ายสำหรับการเพาะปลูกต่อหน่วยพื้นที่ตามปกติและหลังจากเกิดอุทกภัย ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ความเสียหายทางอ้อม ค่าความเสียหายนี้ยากต่อการประเมินค่าความเสียหาย เช่น การคมนาคมขนส่งไม่สะดวก การค้าขายหยุดชงัก ฯลฯ รวมทั้งผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอุทกภัย คือ ค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นทั้งในบริเวณที่ถูกน้ำท่วม และนอกพื้นที่น้ำท่วม เช่น การสูญเสียชีวิตมนุษย์ ความทุกข์ยากในสังคม การสูญเสียโอกาสลงทุนและการพัฒนาเมือง ฯลฯ โดยทั่วไปมักรวมค่าความเสียหายเหล่านี้เข้าด้วยกันและแสดงไว้ในรูปร้อยละของความเสียหายโดยตรง

สำหรับผลประโยชน์ที่ได้รับจากการป้องกันอุทกภัยของอ่างเก็บน้ำ คำนวณได้จากผลต่างของค่าความเสียหายทั้งหมดที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุทกภัย ก่อนมีโครงการและหลังมีโครงการป้องกันอุทกภัยแล้ว ซึ่งค่าความเสียหายเนื่องจากอุทกภัย ประกอบด้วย ค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นในเขตเมือง ความเสียหายที่เกิดขึ้นในเขตเพาะปลูกและค่าความเสียหายทางอ้อม ดังได้กล่าวมาแล้ว ดังนี้

$$Bfld = [(Cd_b + Da_b) - (Ca_a + Da_a)(1+m)] \qquad 2.43$$

Bfld คือ ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการป้องกันอุทกภัย

Cd_b และ Cd_a คือ ค่าความเสียหายโดยตรงที่เกิดขึ้นในเขตเพาะปลูก ก่อนและหลังมีโครงการป้องกันอุทกภัย ตามลำดับ

Da_b และ Da_a คือ ค่าความเสียหายโดยตรงที่เกิดขึ้นในเขตเพาะปลูก ก่อนและหลังมีโครงการป้องกันอุทกภัย ตามลำดับ

m คือ ร้อยละของความเสียหายทางอ้อมในรูปของความเสียหายโดยตรง

2.3 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นการนำเอาวิธีการทางเศรษฐศาสตร์เข้ามาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงการ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องตัดสินใจพิจารณาดำเนินงานตามโครงการ หรือยกเลิกโครงการ และเพื่อพิจารณาเลือกแนวทางเลือกของโครงการ (Alternatives) ที่มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์สูงสุด วิธีการเปรียบเทียบค่าเงินที่เวลาต่าง ๆ กัน อาจนำมาประยุกต์ใช้เปรียบเทียบความเหมาะสมของโครงการได้ โดยใช้เทคนิคการเปรียบเทียบโครงการโดยวิธีอัตราลดค่าของเงิน (Discount Technique) ในการศึกษานี้เลือกวิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงการ 4 วิธีคือวิธีค่าเงินปัจจุบัน (Present-Worth Method) วิธีค่าเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปี (Uniform Annual-Cash Method) วิธีอัตราผลตอบแทน (Rate-of-Return Method) และวิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio Method)

2.3.1 วิธีค่าเงินปัจจุบัน (Present-Worth Method)

วิธีค่าเงินปัจจุบัน เป็นการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อ พิจารณาผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการ ความเป็นไปได้ของโครงการและเปรียบเทียบหาโครงการที่ดีที่สุด โดยการเปลี่ยนค่าใช้จ่ายเงินลงทุนการดำเนินการต่างๆ และผลประโยชน์ของโครงการทั้งหมดตลอดอายุโครงการ เป็นค่าเงินปัจจุบันของโครงการ สูตรของการคำนวณคือ

$$Pw = -C_o + \Sigma (P/F, i\%, t)\ (B_t - C_t) \qquad 2.44$$

โดยที่ Pw คือค่าเงินปัจจุบันของโครงการ

C_o คือค่าใช้จ่ายโครงการเมื่อเริ่มโครงการหรือค่าลงทุน

B_t คือรายได้ของโครงการในปีที่ t

C_t คือรายจ่ายของโครงการในปีที่ t

$(P/F, i\%, t)$ คือแฟคเตอร์สำหรับเปลี่ยนค่าเงินในอนาคต เป็นค่าเงินปัจจุบัน (Single-Payment Present-Worth Factor) มีค่า $\{ 1/(1+i)^t \}$

ในกรณีที่ผลตอบแทนสุทธิรายปี มีค่าคงที่ตลอดอายุของโครงการ ยกเว้นค่าใช้จ่ายลงทุนเริ่มต้นโครงการ (C_o) สูตรการคำนวณอาจทำให้ง่ายเป็น

$$Pw = -C_o + \Sigma B\ (P/A, i\%, n) \qquad 2.45$$

โดยที่ B คือผลตอบแทนสุทธิ $= B_t - C_t$

$(P/A, i\%, t)$ คือแฟคเตอร์สำหรับเปลี่ยนค่าเงินเฉลี่ยเท่ากับรายปีเป็นค่าเงินปัจจุบันที่เวลาปีที่ t ใด ๆ (Series Present Worth Factor) มีค่าเท่ากับ $\frac{(1+i)^t - 1}{i(1+i)^t}$

ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ ผู้ทำการวิเคราะห์จะต้อง กำหนดอัตราผลตอบแทนเพื่อใช้ทำการคำนวณซึ่งอาจกำหนดตาม อัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำหนึ่งปีของธนาคาร อัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ต้องการ ฯลฯ เพื่อวิเคราะห์ผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายของโครงการ ถ้าค่าเงินปัจจุบันสุทธิมากกว่าศูนย์ แสดงว่าโครงการมีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

2.3.2 วิธีอัตราผลตอบแทน (Rate-of-Return Method)

อัตราผลตอบแทนคือผลประโยชน์ที่ผู้ประกอบกิจการ พึงจะได้รับตอบแทนจาก การลงทุนเป็นร้อยละ หรืออัตราดอกเบี้ยที่ทำให้ค่าเงินปัจจุบันของรายได้ของโครงการเท่ากับค่าเงินปัจจุบันของค่าใช้จ่ายลงทุนของโครงการ ในระยะเวลา 1 ปี ในการวิเคราะห์จะต้องคำนวณหาอัตราผลตอบแทนจากสมการที่กำหนดให้เป็นค่าเงินปัจจุบันของโครงการเท่ากับค่าเงินปัจจุบัน ของรายจ่ายโครงการ ดังสมการ

$$C_o + \Sigma (P/F, i\%, t) (B_t - C_t) = 0 \qquad 2.46$$

โดยที่ C_o คือค่าใช้จ่ายลงทุนเมื่อเริ่มโครงการ

B_t คือค่ารายได้ของโครงการขั้นปีที่ t

C_t คือค่ารายจ่ายของโครงการในปีที่ t

การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนของโครงการเพื่อประกอบการพิจารณาตัดสินใจ เลือกดำเนินงานตามโครงการ เมื่ออัตราผลตอบแทนสูงกว่าค่า Distcount Rate i% ที่กำหนดหรือยกเลิกโครงการในกรณีที่ อัตราผลตอบแทนที่ได้ต่ำกว่าค่าผลตอบแทนต่ำสุดที่กำหนด

2.3.3 วิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost.- Ratio Method)

การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยวิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนของโครงการสามารถวิเคราะห์ได้โดยเปลี่ยนรายได้และรายจ่ายทั้งหมด ของโครงการเป็นค่าเงินปัจจุบันหรือจำนวนเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปี ในกรณีที่ใช้ค่าเงินปัจจุบันอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$B/C = \frac{Pw_b}{Pw_c} \qquad 2.47$$

$$= \frac{B_o + \Sigma (P/F, i\%, t) B_t}{C_o + \Sigma (P/F, i\%, t) C_t}$$

และในกรณีที่ผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายของแต่ละปีตลอดโครงการมีค่าเท่ากัน สามารถทำการคำนวณได้จากสูตร

$$B/C = \frac{(A/P,\ i\%,n)B_o + (A/F,\ i\%,\ t)B_n + B_t}{(A/P,\ i\%,\ n)C_o + (A/F,i\%,t)C_n + C_t} \qquad 2.48$$

โดยที่ B_n คือรายได้ของโครงการเมื่อสิ้นสุดโครงการ

C_n คือรายจ่ายของโครงการเมื่อสิ้นสุดโครงการ

n คือจำนวนอายุโครงการ

$(A/P,i\%,t)$ คือแฟคเตอร์สำหรับแปลงค่าเงินในปัจจุบัน เป็นค่าเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปี มีค่า $((1+i)^n/(1+i)^n-1)$

$(A/F,i\%,\ t)$ คือแฟคเตอร์สำหรับแปลงค่าเงินในอนาคต เป็นค่าเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปี มีค่า $(1/(1+i)^n-1)$

ในการวิเคราะห์ต้องกำหนดค่า Discount rate i % ที่ต้องการ แล้วคำนวณค่าผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน ดังสมการข้างบน ถ้ามีค่ามากกว่าหนึ่งแสดงว่าโครงการนั้นมีความเป็นไปได้เหมาะสมต่อการลงทุน

2.3.4 วิธีคำนวณเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปี (Uniform-Annual-Cash Method)

ค่าเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปี สามารถคำนวณหาได้จาก การเปลี่ยนเงินลงทุน และผลประโยชนของโครงการทั้งหมดเป็นจำนวนเงินปัจจุบัน แล้วรวมรายรับและรายจ่ายที่ได้เปลี่ยนเป็นจำนวนเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปีของโครงการซึ่งมีสูตรการคำนวณคือ

$$An = (A/P,i\%,n)[C_o + \Sigma(P/F,i\%,t)(B_t-C_t)] \qquad 2.49$$

โดยที่ An คือจำนวนเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปีของโครงการ

$(A/P,i\%,t)$ คือแฟคเตอร์สำหรับเปลี่ยนค่าเงินปัจจุบันเป็นค่าเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปี (Capital-Recovery Factor) มีค่า $(i(1+i)^n/(i+i)^{n-1})$

สูตรคำนวนค่าเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปีเพื่อการวิเคราะห์โครงการที่มีรายได้สุทธิในแต่ละปีเท่ากัน คือ

$$An = C_o\ (A/P,i\%,n) + AC + S(A/F,i\%,n) \qquad 2.50$$

โดยที่ AC คือรายได้สุทธิจากโครงการซึ่งเท่ากันทุกปี

S คือรายได้จากการขายอุปกรณ์ของโครงการ

ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงการ ด้วยวิธีค่าเงินเฉลี่ยเท่ากันรายปี จะต้องกำหนดค่า Discount rate i % ที่ต้องการก่อน แล้วจึงคำนวณตามสมการข้างบนซึ่งถ้าผลการคำนวณมีค่ามากกว่าศูนย์แสดงว่า โครงการนี้มีความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์