

洪水調節의 理論 및 計算例

(Theory and Example of Flood Routing)

Summary:

Flood routing is one of the most important engineering problems for the design of a spillway, and the procedures for the routing should be thoroughly understood by the engineers engaged in the planning of a spillway.

There are many methods for the flood routing such as Muskingum, Steinberg, Puls, Holton, Goodrich, Rutter, Graves, Snyder, etc., which are being used in many countries.

This article introduces the theory of the modified Puls Method in detail which is exclusively being used in the Bureau of Reclamation, Department of Interior, U.S.A. Also, this article includes a routing example worked by the writer for the Ee-dong Reservoir of the Ki-ho Irrigation Association in Kyong-gi Province.

I. 緒 論

筆者는 AID 技術援助의 惠澤을 입고 1962年 8月 6日부터 1963年 7月末日까지 滿 1個年間 渡美하여 水文學을 擔當하는 美國各機關을 訪問하며 水文學實務教育을 받고 왔다.

水文學을 大別하면 大體로 流量測定, 流砂量 調査, 地下水調査, 洪水水文, 用水管理, 水文氣象 및 水文統計를 들을 수 있는데 이에 紹介코져 하는 洪水調節은 洪水水文學中的 極히 작은 部分을 占하고 있음에 不遇하다.

洪水調節方法에는 後述하는 바와 같이 “머스킹검”, “펄스”, “슈나이더”, “홀톤”, “스타인버그”等 諸氏를 비롯하여 많은 사람들이 提議한 여러 方法이 있으나 筆者가 經驗한 바 美國에서는 河川洪水調節을 爲해서는 主로 “머스킹검”氏에 依한 計算法 또는 圖解法이 使用되고 貯水池 洪水調節을 爲해서는 “펄스”氏에 依한 修正 “펄스”法이 全적으로 使用되고 있다. 어떤 方法을 使用하느냐는 勿論 設計者의 意思에 달렸겠으나

筆者도 貯水池洪水調節을 主로 取扱해야 할 農業土木技術者에게는 修正 “펄스”法이 가장 좋은 方法이라 믿어짐으로 修正 “펄스”法을 主로 說明코져 한다.

拙劣한 이 글이 貯水池 設計時 多少나마 同僚 諸位에게 도움이 된다면 筆者의 기쁨 더할바 없겠다.

II. 河川洪水調節(Stream Routing)

河川洪水調節이라 함은 河川上的의 어느 한點의 流量曲線(Hydrograph)이 既知일 때 그 流量曲線을 利用하여 洪水로 因해 形成되는 下流部 任意地點의 流量曲線을 決定하는 過程을 말한다.

河川洪水調節을 實施할 때는 上述한 여러 方法中 어떤 方法을 擇하였을지라도 河川을 몇 個의 流達區間(Reach)으로 區分하고 各區間에 對하여 上流部로 부터 順次的으로 洪水調節을 한다. 이 區分을 行할 때에는 全區間의 上端(또는 下端)에 位置한 流量測定所(Gaging Station)와 地形을 考慮하여야 하며 또 調節할 河川의 洪水量에 影響을 미칠만한 支流가 流入하고 있을 때는 그 合流點이 區間의 下端에 位置하도록 區分함을 要한다.

洪水波의 模樣은 流下함에 따라 恒常變化하는 것이므로 洪水調節의 精密度는 各區間間의 距離와 相關되며 一般的으로 距離가 짧을 수록 精密度가 높기는 하나 反面 區間數가 많을수록 많은 時間이 計算에 所要된다. 그러므로 河川을 流達 區間으로 區分할 때는 所要 精密度와 許容時間을 參酌하여야 한다.

洪水調節計算은 주어진 流入量(Inflow)의 時間別 增加量과 그에 따른 流出量(Outflow) 및 貯溜量(Storage)을 決定함이 根本過程으로 된다. 流出量과 貯溜量은 相互聯關되어 數量으로 나타남으로 大概의 境遇에 兩者를 相關시킨 曲線을 使用하여 洪水調節을 實施한다.

流入量의 時間別 增加量을 決定하기 爲하여 單位時間(Time Increment)을 區分할 때에는 다음 事項에 留意하여야 한다.

- (1) 單位時間은 洪水波가 한 區間의 上端에서 부터 下端까지 流下하는 時間 보다 짧아야 한다.
- (2) 流入曲線을 그렸을 때 各單位時間間의 線이 거의 直線이 되도록 時間을 區分하여야 한다.

洪水調節에 가장 普遍的으로 使用되는 方法中 몇가지를 檢討하면 다음과 같다.

1. "펄스"法(Puls Method)

"L.G. 펄스"氏는 現在 美國內務省 開拓局 設計課 混凝土堰堤係에 在職中이며 이 方法은 그가 "차타고나"地方局에 補職中 研究한 것이다. 이 方法은 또한 流入量—貯溜量—流出量曲線法(Inflow-Storage-Discharge Curves)이라고도 알려진 方法이다. 單位時間間隔(t) 동안의 流入量 및 流出量의 變化가 直線關係를 가졌다고 假定할 때 上述한 洪水調節基本式은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{t(i_1+i_2)}{2} = \frac{t(O_1+O_2)}{2} + \Delta S \dots\dots\dots(1)$$

上式中

$i_1 = t$ 時間 初期에 있어서의 流入量 (單位: cfs)

$i_2 = t$ 時間 終期에 있어서의 流入量 (單位: cfs)

$O_1 = t$ 時間 初期에 있어서의 流達區間下端的 流出量 (單位: cfs)

$O_2 = t$ 時間 終期에 있어서의 流達區間下端的 流出量 (單位: cfs)

$\Delta S = t$ 時間 동안의 流達區間內 貯溜量의 變化量 (單位: 立方呎—트)

$t =$ 時間 (單位: 秒)

"펄스"法을 適用할 때의 第一段階는 洪水調節할 河川을 適當한 區間으로 區分하고 그 區間末 端에서 一定한 流出量이 일어났을 때의 區間內 自然貯溜量(河川內容積)을 決定하는 것이다.

(1) 貯溜量—流出量曲線

어떤 流達區間의 上下端의 流量曲線과 下端의 水位對流量曲線(Stage-Discharge Rating Curve)이 決定되면 貯溜量曲線(Storage Curve=區間內 貯溜量對下端의 水位를 相關시킨 曲線)을 作成할 수 있다. 貯溜量曲線을 作成하기 爲해 만들

第1表

貯溜量—流出量曲線을 爲한 計算表

時 間 (日) (1)	上流部の 流入量 (cfs) (2)	$\frac{i_1+i_2}{2}$ (日—cfs) (3)	下流部の 流出量 (cfs) (4)	$\frac{O_1+O_2}{2}$ (日—cfs) (5)	ΔS (3)—(5) (6)	累加 ΔS (日—cfs) (7)	下流部の 水位 (ft) (8)
3月 23日	22,790	—	18,500	—	—	13,750	12.7
24	57,130	40,110	29,500	24,000	+16,110	29,860	44.65
25	158,510	107,970	94,500	62,000	+23,970	75,830	17.23
26	269,630	214,070	51,200	152,850	+61,220	137,050	22.50
27	268,230	268,930	270,800	241,000	+27,9300	264,980	25.23
28	189,230	228,730	229,361	250,050	-21,320	143,660	23.33
29	129,350	159,295	168,500	198,900	-39,605	104,055	20.53
30	92,830	111,095	119,700	144,19	-33,005	71,050	18.30
31	71,890	82,360	70,800	108,250	-25,890	45,160	17.33
4月 1日	56,776	64,330	64,500	80,650	-16,320	28,840	15.78
2	45,100	50,935	50,200	57,350	-6,415	22,425	14.98
3	37,340	41,220	40,000	45,100	-3,880	18,545	14.35
4	32,770	35,055	34,000	37,000	-1,945	16,600	13.95
5	29,550	31,160	30,400	32,200	-1,040	15,560	13.70
6	26,550	28,070	28,000	29,200	-1,130	14,430	13.30
7	24,080	25,335	26,200	27,100	-1,765	12,665	13.38

備考: (7)欄의 初日分 13,750 日—cfs는 當日에 對한 河川 貯溜量임.

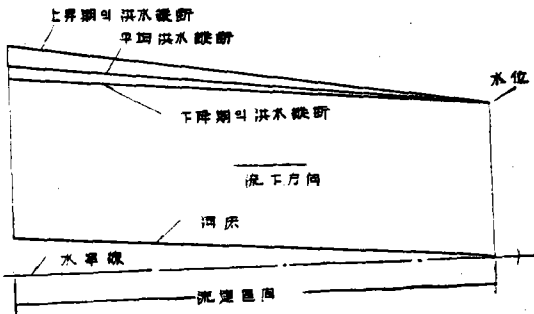
어진 表中 代表的인 한 例는 第1表와 같다. 이 表에서 使用한 單位時間은 1日이며 이 때의 式 (1)은 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$\frac{i_1+i_2}{2} - \frac{O_1+O_2}{2} = \Delta S \dots\dots\dots(2)$$

여기서 流入量, 流出量 및 貯溜量의 單位는 日-cfs로서 表示된다. 第1表의 第3欄은 式 (2)의 左項中 $\frac{i_1+i_2}{2}$ 를 表示하며 第5欄은 $\frac{O_1+O_2}{2}$ 를 나타내고 第6欄은 右項의 ΔS 를 表示한다. 第8欄은 下流部 流出量(第4欄)에 對한 同地點의 水位(觀測值)이다. 貯溜量曲線은 第7欄 및 第8欄의 數值를 點畫(Plot)함으로서 作成할 수 있다. 이 때 同一한 水位에 對하여도 上昇期와 下降期의 貯溜量에는 相當한 差異가 있음에 留意하여야 한다. 卽 水位 17.23 피트에 對한 上昇期 貯溜量은 75,830 日-cfs 이지만 下降期에 있어서는 거의 같은 水位 17.33에 對한 貯溜量이 45,160 日-cfs에 不過한데 그 原因은 河川의 水表面勾配가 水位上昇期에는 下降期보다 急함으로 한 流達區間 下端의 同一한 水位에 對하여도 上昇期에는 貯溜量이 增大한다. 이 觀念을 圖示하면 第1圖와 같다.

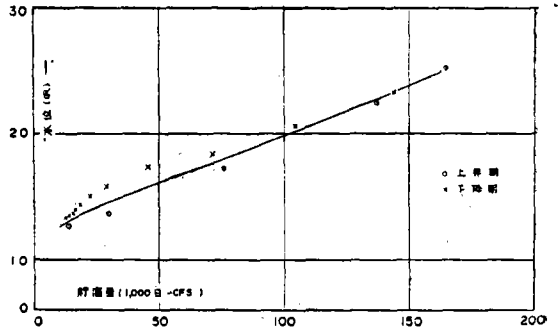
第1表의 第7欄 및 第8欄에 依하여 作成한 貯溜量曲線은 第2圖와 같으며 曲線은 上昇期 및 下降期의 各值의 平均値를 擇하였다. 또 流達區間 下端의 水位對流量曲線(第1表의 第4欄과 第8欄에 依함)은 第3圖와 같다.

第1圖 水位와 貯溜量과의 關係



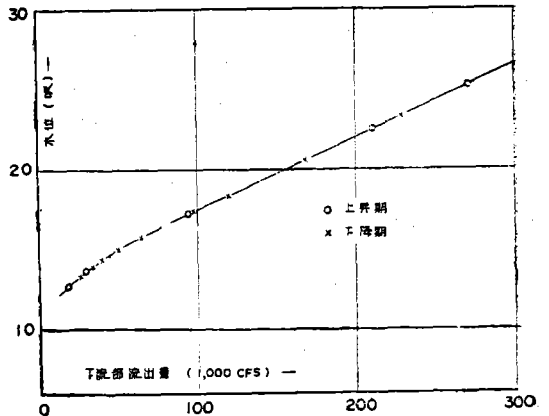
第2圖 貯溜量曲線

貯溜量(1,000 日-cfs)



第3圖 水位對流量曲線

下流部流出量(1,000 cfs)



(2) 特殊曲線

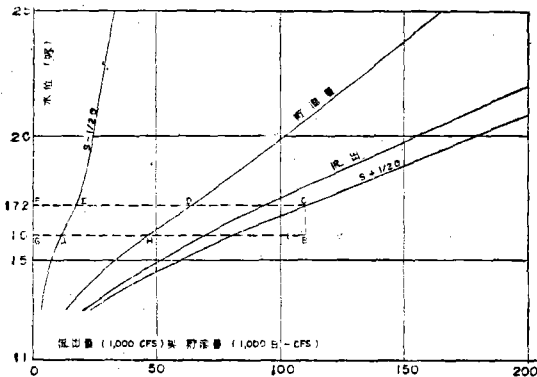
$S + \frac{1}{2}O$ 曲線 및 $S - \frac{1}{2}O$ 曲線이라고 불리우는 2個의 特殊曲線을 그린다. 이 2個曲線을 作成하기에 必要한 計算은 第2表와 같다. 이 表의 水位(第1欄)에 符合할 第2欄 및 第3欄의 數值는 各各 第2圖 및 第3圖에서 取하였다. 第2表의 第4欄 및 第5欄의 計算値를 第1欄의 水位와 比較하여 點畫하면 $S + \frac{1}{2}O$ 曲線 및 $S - \frac{1}{2}O$ 曲線을 그릴 수 있으며 그 結果는 第4圖와 같다. 第4圖에다 第2圖 및 第3圖의 貯溜量曲

第2表 特殊曲線作成을 爲한 計算表

水位 (呎) (1)	貯溜量(S) (日-cfs) (2)	流出量(O) (cfs) (3)	$S + \frac{1}{2}O$ (日-cfs) (4)	$S - \frac{1}{2}O$ (日-cfs) (5)
13	13,000	20,000	23,000	3,000
14	22,500	35,000	40,000	5,000
15	33,500	52,000	59,500	7,500
16	46,400	70,000	81,400	11,400
17	61,200	89,500	105,950	16,450
18	75,600	111,000	131,100	20,100
19	89,000	133,000	155,500	22,500
20	102,000	155,000	179,500	24,500
21	115,000	177,500	203,750	26,250
22	127,500	200,000	227,500	27,500
23	140,000	221,800	250,900	29,100
24	152,500	243,000	274,000	31,000

第4圖 特殊曲線

流出量(1,000 cfs) 및 貯溜量(1,000日-cfs)



線과 流出量曲線을 그려 넣으면 貯溜量曲線이 2個特殊曲線의 中間値에 該當함을 알 수 있으며 또 任意水位에 對한 兩特殊曲線의 橫座標差가 流出量 即

$$(S + \frac{1}{2}O) - (S - \frac{1}{2}O) = O(\text{流出量})$$

의 關係式을 滿足시킴을 알 수 있다. 이 2個特殊曲線은 $\frac{O_1}{2}$ 이 1日中의 前半日間의 總流出量이고 $\frac{O_2}{2}$ 는 後半日間의 總流出量이라는 假定에 立脚하고 있으며 이 假定은 近似值를 用에 不過하지만 “필스”法以外的의 모든 洪水調節方法에서도 適

用하고 있는 假定이다.

(3) 洪水調節例

前項에서 作成한 曲線들을 利用해서 洪水調節方法을 例示코져 한다. 式(2)는 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$\frac{i_1 + i_2}{2} + S_1 - \frac{O_1}{2} = S_2 + \frac{O_2}{2} \dots \dots \dots (3)$$

여기서 S_1 과 S_2 는 各各 單位時間의 初期 및 終期에 있어서의 流達區間內 貯溜量을 表示하며

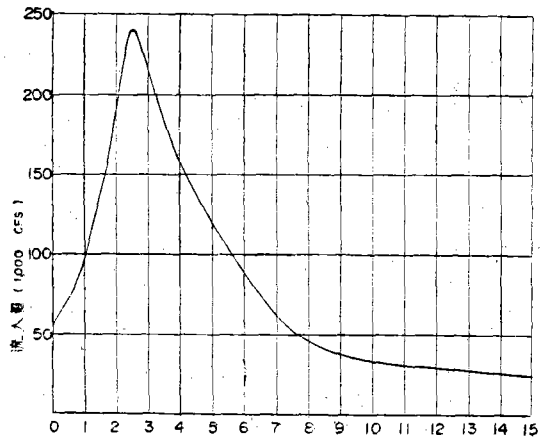
$$S_2 - S_1 = \Delta S$$

의 關係가 成立한다.

第5-1圖의 流入曲線이 주어진 洪水라고 假定하면 初日의 終期에 있어서의 區間上流部 流

第5-1圖 流入量曲線

時間(日)



入量은 $\frac{i_1 + i_2}{2}$ 또는 100,000日-cfs 이다. 이 때 區間下流部에 있어서의 第1日 初期의 水位가 16.0呎였다고 假定한다. 第4圖에서 $S - \frac{1}{2}O$ 曲線上에다 水位 16.0呎에 該當하는 點 A을 찍고 100,000日-cfs가 되도록 線 \overline{AB} 를 延長시킨다. 이 때 縮尺은 貯溜量을 表示한 縮尺을 使用한다. 그러면 第4圖과 式(3)을 比較할 때 다음과 같이 演繹할 수 있다.

$$AB = \frac{i_1 + i_2}{2}$$

$$AH = \text{水位 16呎에 對한 半日流出量}$$

故로

$$AH = \frac{O_1}{2}$$

$$GH = \text{水位 16呎 때의 區間內 貯溜量} \\ = S_1$$

이다.

故로

$$AB + GH - AH = \frac{i_1 + i_2}{2} + S_1 - \frac{O_1}{2} \\ = S_2 + \frac{O_2}{2}$$

그러나 第4圖에서

$$AB + GH - AH = GB$$

故로

$$GB = S_2 + \frac{O_2}{2}$$

S_2 와 $\frac{O_2}{2}$ 는 모다 未知數이나 第4圖의 性質上 $\frac{O_2}{2}$ 는 어떤 水位의 縱座標(未知)에 對한 貯溜量 曲線과 $S + \frac{1}{2}O$ 曲線間의 水平距離(標座標差)와 같고 S_2 는 같은 水位(未知)에 對한 貯溜量 曲線上 一點의 橫座標과 같아야 한다.

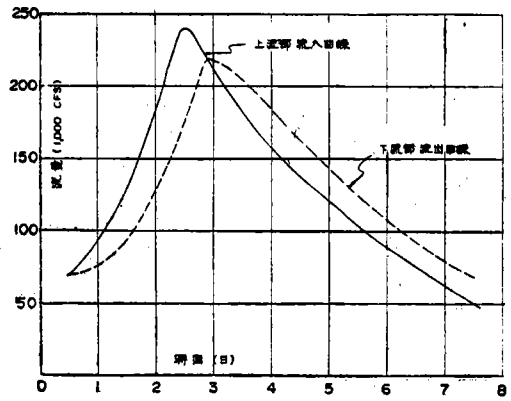
$GB = S_2 + \frac{O_2}{2}$ 인 故로 이는 $S + \frac{1}{2}O$ 曲線의 어느 點을 나타내야 한다. 橫座標 GB 와 一致하게끔 $S + \frac{1}{2}O$ 曲線에 縱座標(水位)를 定하자면 B 點에서 垂直線을 그어 $S + \frac{1}{2}O$ 曲線과의 交點 C를 定하면 되며 C 點에서 水平線 CF 를 그린다. 그러면 이 點의 縱座標 F(또는 17.2 呎)가 第1日 終期의 水位이고 FD 는 그 時의 區間內 貯溜量 (S_2)이며 DC 는 第1日 後半日間의 流出量 ($\frac{O_2}{2}$)이다. 第4圖에서 水位 17.2 呎에 對한 流出量은 93,200 cfs 이다.

이로서 最初單位時間(또는 第1日)에 對한 式 (3)의 풀이가 完結되며 繼續해서 第2日에 對하여 같은 節次를 反復한다. 이 때 第1日의 S_2 와 O_2 는 第2日 初期의 S_1 및 O_1 이 된다. 即 第1日의 S_2 와 $\frac{1}{2}O_2$ 를 式 (3)의 S_1 및 $\frac{1}{2}O_1$ 에 代入하여 第2日 初의 $\frac{i_1 + i_2}{2}$ (既知)와 結付기킴으로 第2日의 $S_2 + \frac{O_2}{2}$ 를 計算한다.

이 計算을 全洪水量이 流達區間下流部를 通過할 때까지 反復하면 河川洪水調節이 完結되며 區間上流部에서 나타난 流入曲線에 依하여 下流部 流出을 算出한 流出曲線은 第5-2圖와 같다. 이 流出曲線을 作成하기에 必要한 計算이 第3表

第5-2圖 洪水調節例

時間(日)



第3表 洪水調節計算例 (풀스法)

時間 (日)	流入量 (cfs)	$\frac{i_1 + i_2}{2}$ (日-cfs)	流出量 (計算值) (cfs)
(1)	(2)	(2)	(4)
0	70,000		70,000
1	130,000	100,000	93,200
2	440,000	185,000	176,000
3	182,000	211,000	209,000
4	138,000	160,000	163,000
5	105,000	121,500	125,000
6	76,000	90,500	93,000
7	50,000	63,000	69,000
8			

- (備考) 1. 第2欄의 流入量은 第5圖의 流入曲線에서 읽은 值이다.
2. 第4欄의 初項은 既知數이거나 假定에 依한다.

流出量이 流入量과 同一할때는 區間內 貯溜量에 變化가 없으며 水位도 適當變化하지 않는다. 流入量이 流出量보다 적을 때에는 貯溜量이 減少되고 流入量이 流出量보다 클 때에는 貯溜量이 增加된다.

第5圖를 考察하면 流達區間에 있어서의 最大貯溜가 兩曲線의 交叉點에서 일어남을 알 수 있다. 貯溜量과 流出量은 共히 水位의 函數인故로 最大貯溜는 區間下流部에서의 最大流出時에 일

어니며 따라서 兩曲線의 交叉點은 流出曲線의 最大流出點이 된다.

2. 修正“펄스”法(Modified Puls Method)

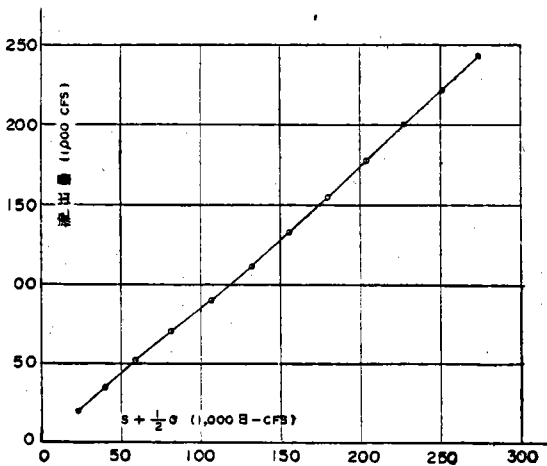
이 方法은 式 (3)을 풀을 때 計算器를 使用할 수 있도록 計算過程을 大幅 簡素化한 點以外는 上述한 元“펄스”法과 거의 같다. 이 調節法에서는 貯溜量指示曲線 (Storage-Indication Curve)이라고 불리우는 流出量對 $S + \frac{1}{2}O$ 曲線만을 使用한다. 上述한 2個調節方法을 比較하기 爲하여 “펄스”法에서 使用한 諸條件을 使用하여 修正“펄스”法을 說明코져 한다.

(1) 貯溜量指示曲線

流達區間下流部의 水位對流量曲線(Rating Curve)에서 얻은 流出量을 縱座標로 하고 그에 對한 貯溜量에다 流出量의 半을 加한 ($S + \frac{1}{2}O$) 값을 橫座標로 하여 貯溜量指示曲線을 作成한다. 第6圖는 第2表의 第3欄 및 第4欄으로써 作成한 것이다.

第6圖 貯溜量指示曲線

$$S + \frac{1}{2}O (1,000 \text{ 日-cfs})$$



(2) 洪水調節例

洪水調節時 貯溜量指示曲線이 지닌 意義의 重大性은 式 (3)을 다시 參照함으로써 認識할 수 있다. 卽

$$\frac{i_1 + i_2}{2} + S_1 - \frac{O_1}{2} = S_1 + \frac{O_2}{2}$$

이 式의 右項은 第6圖의 橫座標와 一致하며

또 여기서 O_2 (第6圖의 縱座標)를 減하면

$$S_2 + \frac{O_2}{2} - O_2 = S_2 - \frac{O_2}{2}$$

여기서 右項은 底數만 除外하면 (3)式 左項의 $S_1 - \frac{O_1}{2}$ 과 同一하다. 底數 (1)은 單位時間의 初期值을 表示하고 底數 (2)는 終期值을 表示하는 것이므로 한때 終期의 $S_2 - \frac{O_2}{2}$ 는 다음 때 初期의 $S_1 - \frac{O_1}{2}$ 과 同一함이 分明하다.

修正“펄스”法에 依한 洪水調節過程은 다음과 같다.

(a) 最初單位時間(First Time Increment)에 對하여 주어진 i_1, i_2, S_1 및 O_1 의 값으로써 式 (3)의 左項을 計算한다.

(b) $S_2 + \frac{1}{2}O_2$ 에 該當하는 이 計算值을 貯溜量指示曲線의 橫座標에 代入하여 縱座標인 流出量(O_2)을 읽는다. 이때 읽은 O_2 가 最初單位時間終期의 流出量이다.

(c) 貯溜量指示曲線에서 읽은 이 O_2 를 橫座標의 值 $S_2 + \frac{1}{2}O_2$ 에서 減해서 $S_2 - \frac{1}{2}O_2$ 의 值를 計算한다. 이 처음 單位時間의 $S_2 - \frac{1}{2}O_2$ 는 다음 單位時間의 $S_1 - \frac{1}{2}O_1$ 이 됨으로 式 (3)의 左項은 다음 單位時間에 對해서도 計算할 수 있다.

(d) 이 計算節次를 繼續 反復한다.

修正“펄스”法에 依한 洪水調節例는 第4表와

第4表 洪水調節計算表 (修正펄스法)

時間 (日)	流入量 (i) (cfs)	$\frac{i_1 + i_2}{2}$ (cfs)	$S + \frac{1}{2}O$ (日-cfs)	流入量 (計算值) (cfs)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
0	70,000		82,000	70,000*
1	130,000	10,000	112,000	95,000
2	240,000	185,000	202,000	176,000
3	183,000	211,000	237,000	209,000
4	138,000	160,000	188,000	163,000
5	105,000	121,500	146,500	125,000
6	76,000	90,500	112,000	95,000
7	50,000	65,000	80,000	68,000

[備考] 1. 第2欄의 流入量은 第5圖의 流入曲線에서 읽은 值이다.
2. 第5欄은 第6圖에서 읽은 值이며 첫項은 既知數이거나 假定에 依한다.

같으며 이는 第5圖에서 주어진 流入曲線을 調節한 것이다.

第4表 第5欄의 첫項인 70,000 cfs는 첫날初期에 주어진 流出量이다. 條6圖에서 流出量 70,000 cfs에 該當하는 $S + \frac{O}{2}$ 의 값은 82,000이다. 다음 $(S + \frac{O}{2}) - O$ 는 $82,000 - 70,000 = 12,000$ 이며 이 값이 $S_1 - \frac{O_1}{2}$ 이 되므로

$$\frac{i_1 + i_2}{2} + S_1 - \frac{O_1}{2} = 100,000 + 12,000 = 112,000$$

이 되며 第6圖에서 橫座標 112,000에 該當하는 流出量(縱座標)은 95,000임을 읽을 수 있다.

이 計算을 反復하면

$$185,000 + 112,000 - 95,000 = 202,000$$

第6圖에서 流出量 176,000을 얻는다.

第4表의 第5欄 및 第3表의 第4欄을 比較하면 “필스”法과 修正“필스”法에 依한 調整結果가 거의 同一함을 알 수 있다. 第4表의 計算例에서 보는바와 같이 修正“필스”法에 依한 洪水調節은 加算과 減算을 交互로 行함에 不週함으로 計算機上의 數字를 덜지 않고 繼續運算할 수 있다.

3. 流量測定記錄이 없는 곳에서의 修正 “필스”法適用

上述한 “필스”法 및 修正“필스”法은 洪水調節의 基本原則에 立脚해서 이루어진 것이나 實地 河川洪水調節을 行할때 흔히 부딪치는 여러가지 隘路를 完全解決시키지는 못한다.

위의 洪水調節例題에서는 流達區間의 上下端에 流量測定所(Gaging Station)가 있을 때에 對한 것이며 이러한 境遇에는 流量과 貯溜量間의 關係를 聯關시키기에 極히 容易하다. 그러나 實地에 있어서는 流量測定所가 없을 境遇가 許多하며 그런 때에는 貯溜量과 流量과의 關係를 “만닝”公式(Manning Formula $V = \frac{1.486}{n} R^{2/3} S^{1/2}$) 其他의 公式을 使用해서 計算하지 않으면 안된다.

“만닝”公式을 使用할 때 所要되는 基礎資料는 다음과 같다.

(1) 河床勾配

(2) 流達區間의 標準斷面

(3) 粗度係數

“만닝”公式을 使用하므로써 各水位에 對한 平均流速을 計算할 수 있으며 流速과 平均橫斷面으로서 流量을 算出할 수 있다. 또한 流達區間內의 貯溜量은 平均橫斷面의 各水位에 對한 區間容積을 計算하므로써 計算할 수 있다.

水位에 따라 變化하는 이 流量과 貯溜量을 計算하면 既述한 方法에 依해서 貯溜量指示曲線(Storage-indication Curve 또는 $S + \frac{1}{2}O$ 對 O 曲線)을 作成할 수 있다.

4. 水路損失

上述한 計算에 있어서는 流達區間上端에서 流入한 물은 全量이 下端에서 流出하고 水路損失이 없는 것으로 假定한 것이나 實地에 있어서는 물이 流下함에 따라 若干量이 河床으로 滲透하므로 水路損失이 일어난다. 이 滲透損失量은 洪水原(flood plain)의 地勢 및 地質狀態에 따라 相異하지만 大概의 境遇, 濕潤面積 1“에이카”當 5 cfs를 넘지 않으며 또 地下水가 豊富할 境遇에는 이 損失量이 零에 가깝거나 負數로 된다.

그러나 河川 洪水調節에서는 水路損失을 考慮함이 原則이며 이런 때에는 다음과 같이 計算한다.

(1) 平均橫斷面에서 各水位에 對한 濕潤線長을 測定한다.

(2) 各水位에 對한 流達區間의 濕潤面積을 計算한다.

(3) 單位濕潤面積(에이카)當 滲透損失量(cfs)를 計算 또는 假定한다.

(4) 滲透損失量對 流出量曲線(Percolation loss vs outflow curve)을 作成한다.

5. 支流의 流入

上述한 修正“필스”法에 依한 洪水調節計算例에서는 流達區間下端에서의 流出量은 上端에서의 流入量과 同一하고 途中에 支流의 流入은 없는 것으로 假定한 것이다. 이러한 條件下에서는 調節計算이 極히 單純하나 實地에 있어서는 支流流入이 相當量에 達해서 調節計算時 考慮하지 않으면 안될 境遇가 許多하다.

上述한 例題에서 取扱한 貯溜量流出量關係로
서 洪水調節하자면 支流가 없다는 條件이 成立
하여야 하며 支流流入量이 큰 影響을 끼치는 河
川에서는 後述할 “스타인버그”法(Steinberg Me
thod) 또는 “러털”(Rutter), “그레이브스”(Gra
ves) 或은 “슈나이더”(Snyder)法을 使用함이 可
하다.

6. 水路損失이 있을때의 調節計算例

本項에서는 流達區間에 流量測定所가 없고 水
路損失이 있을 때의 修正“펄스”法을 使用코저한
다. 支流流入은 次項에서 別途檢討 할 것이므로
本項에서는 考慮치 않는다.

이 때 下記基本資料가 주어졌다고 假定한다.

流達區間延長=10.7마일르.

10.7마일르間의 河床標高差=90피트.

粗度係數(n)=0.075.

標準橫斷面=第5表와 같음.

滲透量=濕潤面積 1“에이카”當 0.5cfs.

第5表

河川洪水調節資料(修正펄스法)

流達區間延長=10.7마일 또는 56,496피트

n=0.075

$$\text{勾配} = \frac{800}{56496} = 0.01416$$

$$V = \frac{1,486}{n} r^{4/3} s^{1/2}$$

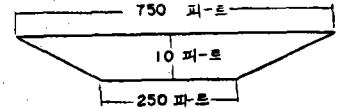
標準斷面

$$V = \frac{1,486}{0.075} r$$

$$V = 2,358$$

$$Q = A \cdot V$$

滲透量=濕潤面積 1“에이카”當 0.5 cfs



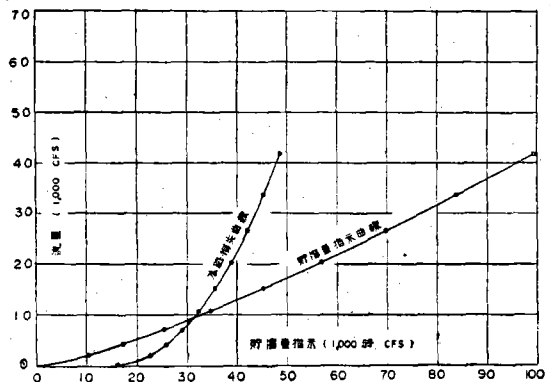
水深 ft (1)	濕潤長 ft (2)	面積 (ft) ² (3)	r (4)	r ^{4/3} (5)	V cfs (6)	0 (3) × (6) (7)	貯溜量 hr-cfs (8)	S + 1/2 O hr-cfs (9)	濕潤面積 에이카 (10)	滲透量 cfs (11)
1	300	275	0.92	0.95	2.24	—	4,318	—	389	194
2	350	600	1.71	1.43	3.37	2,022	9,420	10,431	454	227
3	400	975	2.44	1.81	4.27	4,163	15,308	17,389	519	259
4	450	1,400	3.11	2.13	5.02	7,028	21,980	25,494	583	291
5	500	1,875	3.75	2.41	5.68	10,650	29,438	34,763	648	324
6	550	2,400	4.36	2.67	6.30	15,120	37,680	45,240	713	356
7	600	2,975	4.96	2.91	6.86	20,409	46,708	56,912	778	389
8	650	3,600	5.54	3.13	7.38	26,568	56,520	69,804	843	421
9	700	4,275	6.11	3.34	7.88	33,687	67,118	83,962	908	454
10	750	5,000	6.67	3.54	8.35	41,750	78,500	99,375	973	486

*註: 貯溜量 = 面積 × $\frac{56,496 \times 24}{43,560 \times 1,983}$ = 面積 × 15.70 hour-cfs

이 때의 貯溜量指示曲線 및 水路損失對流出量
曲線을 作成하기 爲한 計算節次는 第5表와 같
다. 第5表에 依해 作成된 曲線은 第7圖와 같
으며 이 그림의 二個曲線은 第5表의 第7欄 對
第9欄 및 第7欄 對 第11欄을 點畫하므로써 作
圖된 것이다.

以上과 같이 貯溜量指示曲線이 作成되면 그다
음의 計算節次는 나項에서 既說한 修正“펄스”法
과 同一하며 그 計算結果는 第6表와 같다. 여
기서 使用한 數値는 水路損失을 加算한 것을 除
外하고는 第4表의 境遇와 類似하다. 이 流達區
間上端의 流入量曲線(既知)과 下端의 流出量曲

第7圖 貯溜量指示曲線 및 水路損失曲線
貯溜量指示(1,000時-cfs)



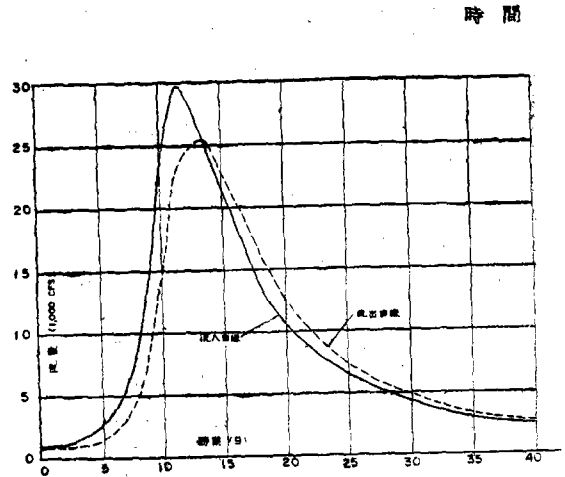
線(計算)은 第8圖와 같다.

第6表 水路損失이 있을 때의 洪水調節計算

時間 (Hours)	平均流入量 (cfs)	$S + \frac{1}{2}O$ 貯溜量指示	流出量 (cfs)	流出量- 損失量 (cfs)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
0-1	1,000	6,000	1,000	800
2	1,000	6,000	1,000	800
3	1,250	6,250	1,000	800
4	1,750	7,000	1,200	1,000
5	2,250	8,050	1,400	1,200
6	3,250	9,900	1,900	1,700
7	4,500	12,500	2,700	2,500
8	7,250	17,050	4,100	3,900
9	11,750	24,700	6,800	6,500
10	19,750	37,650	11,900	11,600
11	26,500	52,250	18,300	18,000
12	29,750	63,700	23,700	23,300
13	28,000	68,000	25,800	25,400
14	25,500	67,700	25,700	25,300
15	22,750	64,750	24,100	23,700
16	20,250	60,900	22,100	21,700
17	17,500	56,300	20,200	19,800
18	14,700	50,800	17,700	17,400
19	12,750	45,850	15,500	15,200
20	11,250	41,600	13,600	13,300
21	10,000	38,000	12,100	11,800
22	9,000	34,900	10,900	10,600
23	8,250	32,250	9,800	9,500
24	7,500	299,50	8,800	8,500
25	6,800	27,950	8,000	7,700
26	6,250	26,200	7,300	7,000
27	5,750	24,650	6,700	6,400
28	5,300	23,250	6,200	5,900
29	4,800	21,850	5,700	5,400
30	4,500	20,650	5,300	5,000
31	4,200	19,550	4,900	4,600
32	3,800	18,450	4,600	4,400
33	3,600	17,450	4,200	4,000
34	3,300	16,550	3,900	3,700
35	3,100	15,750	3,600	3,400
36	2,900	15,050	3,400	3,200
37	2,800	14,450	3,200	3,000
38	2,750	14,000	3,100	2,900
39	2,650	13,550	3,000	2,800
40	2,550	13,100	2,900	2,700
41	2,450	12,650	2,800	2,600
42	2,400	12,250	2,600	2,400
43	2,350	12,000	2,500	2,300

44	2,300	11,800	2,400	2,200
45	2,250	11,650	2,300	2,100
46	2,200	11,550	2,300	2,100
47	2,150	11,400	2,200	2,000
48	2,100	11,300	2,200	2,000

第8圖 洪水調節例



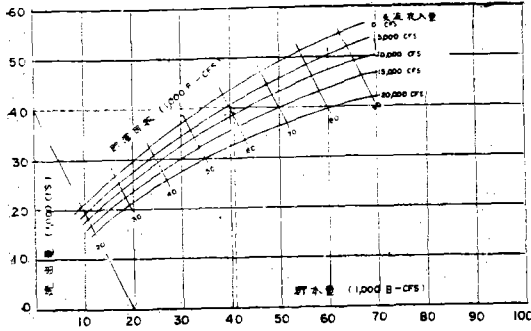
7. “스타인버그”法

이 洪水調節方法是 美國 “미네소타”州 “세인트 폴”에 있는 陸軍工兵團의 “L. H. 스타인버그” (Steinberg) 氏에 依해 考案된 것이다. 이 方法은 既說한 修正“필스”法과 類似한 點이 많으며 基本方程式도 同一한 것을 使用하고 있다. 이 方法은 流達區間內에 支流流入이 있거나 또는 區間下流部에 支流流入이 있어서 그 背水曲線이 區間の 貯溜量-流出量關係에 相當한 影響을 미치고 있을 때에 特히 適用함이 좋다.

이 方法을 使用할 때는 于先 區間下端에서의 流出量을 縱軸으로 하고 流出量에 對한 區間內 貯溜量을 橫軸으로 하는 一聯의 曲線群을 作成 하여야 한다. 即 支流流入의 各條件에 따라 流出量을 變數로 取하면 曲線群이 이루어진다. 區間內에 流量測定所가 있으면 이들 曲線群은 流量記錄에 依하여 作成할 수 있을 것이며 測定所가 없을 境遇에는 上記 “바”項과 같은 方法에 依해 作成할 수 있다. 이렇게 作成된 流出量對貯溜量曲線의 한 例는 第9圖과 같다.

第 9 圖 스타인버그法에 의한 洪水調節圖

貯溜量(1000日-cfs)



第 9 圖와 같이 平行線群을 流出量對貯溜量曲線 위에 그려 넣으면 그의 意義를 既說한 方程式 (1)에 依하여 다음과 같이 分析할 수 있다.

$$(i_1 + i_2) \frac{t}{2} = (O_1 + O_2) \frac{t}{2} + S_2 - S_1 \dots (4)$$

여기서 $S_2 - S_1 = \Delta S$

第 7 表

洪川調節計算例(스타인버그法)

時間 (日)	流入量 (cfs)	$i_1 + i_2$ (cfs)	流出量 (cfs)	$\frac{i_1 + i_2 - O_1}{2}$ (cfs)	貯溜量 (日-cfs)	貯溜因數 (5)+(6)	支流流入 (cfs)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	83,000		43,000		46,000		6,000
2	35,000	73,000	40,200	15,000	40,900	61,000	6,000
3	31,000	66,000	37,800	12,900	34,900	53,800	5,000
4	32,000	63,000	35,100	12,600	29,900	47,500	4,000

既知事項

1. 時間增加(t)=1日
2. 第 2 欄의 流入量
3. 初期流出量=43,000 cfs

4. 初期貯溜量=46,000 day-cfs
5. 第 8 欄의 支流流入量

第 7 表下段과 같이 주어진 값(既知事項)에 依하여 第 7 欄의 貯溜因數를 第 1 日에 對하여 計算한다. 計算된 貯溜因數 61,000 cfs 와 支流流入量 6,000 cfs 로써 第 9 圖의 曲線值를 읽으면 第 2 日의 流出量(O_2)이 40,200 cfs 이고 貯溜量(S_2)이 40,900 day-cfs 임을 알 수 있다. 前日值를 始值로 하여 이와같은 計算을 反復하면 各 次日의 值를 算出할 수 있다(第 7 表 參照).

(4)式에서

$$(i_1 + i_2 - O) \frac{t}{2} + S_1 = O_2 \frac{t}{2} + S_2 \dots (5)$$

(5)式의 左項은 河川洪水調節時 모다 既知數가 되며 이를 貯溜因數(Storage Factor) M 라 指稱한다. 그러면 (5)式은 다음과 같이 再記할 수 있다.

$$M = O_2 \frac{t}{2} + S_2 \dots (6)$$

(6)式을 檢討하면 S 軸과의 交點值가 M 이고 勾配가 $-\frac{2}{t}$ 인 直線方程式임을 알 수 있을 것이다. 여기서 貯溜量의 單位를 日·立方呎로 하고 時間增加(t)를 1日로 取하면 貯溜因數線의 勾配는 -2가 된다. 貯溜因數線의 作成은 單只 時間增加로써 決定된 勾配(여기 例에서는 -2)를 가진 平行線群을 貯溜量縮尺에 맞추어 그리면 된다.

第 9 圖를 使用하여 洪水調節하는 計算過程을 例示하면 第 7 表와 같다. 이 例題에서의 支流流入量은 流達區間下端의 下流部에 流入하는 支流의 背水量이다.

8. “러덜”, “그레이브스” 及 “슈나이더”法

이 方法은 美國 “테네시”江(Tennessee River)의 洪水調節을 爲하여 “E.J. 러덜”(Rutter), “Q. B. 그레이브스”(Graves) 및 “F.F. 슈나이더”(Snyder) 三氏에 依하여 考案된 것이다. 既述한 方法과는 若干 다른 이 方法의 特色은 流達區間上端의 流入量을 變數로 하고 이 變數를 貯溜量 및 流出量과 聯關시켜서 一聯의 曲線群을 作成한後

洪水調節한다는 點이다. 曲線群을 作成한 後의 計算節次는 既說한 方法과 理論上 同一하므로 이곳에서는 例題풀이를 省略한다.

9. “머스킨검”方法

이 方法은 美國 工兵團의 “G. T. 막칼지”(Mc Carthy)氏가 “머스킨검”洪水調節事業(Muskingum Flood Control Project)을 研究하면서 考案한 것이다. 既說한 各調節方法에서는 貯溜量이 單只 流達區間下端의 流出量에 따른 函數이고 또 貯溜量은 本質的으로 角柱型(prismatic shape)으로 增減한다고 假定하고 있다. 이 假定은 勿論 概定值이기는 하지만 大略의 洪水調節問題를 解明함에 있어서는 充分히 正確하다. 그러나 “머스킨검”方法에서는 洪水調節方程式을 풀음에 있어 貯溜量이 逆三角形型(Wedge-shape)으로 增減한다고 假定하였다. 이 假定은 河川勾配가 極히 緩漫할 境遇에는 보다 精密度를 가졌다고 볼 수 있을 것이다. 위에서 “펄스”法을 檢討할 때 流達區間下端의 流出量이 同一할지라도 上昇期와 下降期의 貯溜量에는 差異가 있다고 言及하였다(第1圖 參照). 그러므로 常流인 境遇에도 區間內貯溜量이 實地로 角柱形으로 變化할 것인가에 對하여는 疑問이 생기지 않을 수 없다.

“머스킨검”方法에서는 流入量 및 流出量에 依하여 決定된 流量因數(flow factor)에 對한 區間內 溪谷貯溜量(Valley storage)의 比는 常數이며 이는 溪谷의 物理的 形態에 依하여 決定된다는 假定에 立脚하고 있다. 이 方法의 基本方程式은 다음과 같다.

$$K = \frac{T[0.5(i_2 + i_1)] - 0.5(O_2 + O_1)}{X(i_2 - i_1) + (1.0 - X)(O_2 - O_1)} \dots\dots (7)$$

여기서;

K = 流量因數增加量(7 式의 分母)에 對한 貯溜量增加(7 式의 分子)의 比

X = 流入量 및 流出量에 依해 決定되는 變數
 T = 時間增加(日)

i_1, i_2, O_1 및 O_2 = 既히 定義된 바와 같은 流入量 및 流出量

(7)式에 있어서 다른 洪水調節方法에서와 마찬가지로 i_1, i_2, O_1 및 T 는 既知數이므로 K 와 X 의 值가 決定되면 O_2 를 計算할 수 있으므로

洪水調節이 可能하다.

(7)式은 一定區間의 K 및 X 值를 決定하는데 使用된다. K 值를 얻기 爲하여는 流入 및 流出量의 平均值를 그에 該當하는 溪谷貯溜量(Valley storage)과 比較하면서 方眼紙에다 點書한다. 이때 流量과 貯溜量은 X 의 值를 假定하고 그 假定值와 既存洪水(流量이 既知인 過去洪水)로써 (7)式의 分母 및 分子를 計算하여 여러가지 X 假定值에 對해 檢討하므로써 求한다. 또 作圖時에 平均流量과 總貯溜量의 關係를 點書해야하므로 (7)式이 時間增加에 對한 流量의 變化만을 나타내는 까닭에 時間經過에 따른 分母 및 分子의 連續值를 累加計算한다.

여러 X 值(假定值)에 對한 分母累加值 對分子累加值를 點書한 後에 各點을 連結시키면서 可能한 限 直線에 가깝게 線을 그린다. 換言하면 X 의 各值에 對해 1個씩 直線이 생기며 各點에 가장 잘맞는 直線關係를 가진것이 그 流達區間의 X 值이다. 이렇게 해서 X 值가 決定되면 K 值는 直線의 勾配로부터 決定한다.

K 值와 X 值만 決定되면 洪水의 流入曲線과 더불어 (7)式의 時間增加에 따른 流出量(O_2)을 計算할 수 있으므로 洪水調節計算이 이루어진다.

이 方法은 貯溜量이 逆三角形으로 增加할 때 前述한 “펄스”法等 보다 正確한 結果를 주기는 하나 計算이 復雜하므로 一般的인 洪水調節을 行할 때에는 修正“펄스”法을 適用함이 可하다. 이 “머스킨검”法의 보다 具體的인 計算節次 및 計算例는 다음 機會에 詳說코져 한다.

Ⅲ. 貯水池洪水調節 (Reservoir Flood Routing)

貯水池洪水調節도 根本的으로는 既述한 自然河川의 洪水調節과 同一하다. 單只 自然河川에서는 洪水波에 對한 河川貯溜量의 影響을 究明하는데 反하여 貯水池洪水調節에서는 堰堤築造로 因한 貯水池의 人工貯溜量의 影響을 檢討한다는 點이 相異함에 不遇하다.

貯水池洪水調節의 目的은 貯水池上端의 流入曲線(inflow hydrograph)이 주어졌을 때 堰堤에서의 流出曲線(outflow hydrograph)을 決定함

에 있다. 河川洪水調節에서와 같이 貯水池調節의 基本概念은

$$(流入量) = (流出量) + (時間變化에 따른 貯溜量變化)$$

라는 方法을 式으로 解明하는 것이다.

貯水池洪水調節時에 흔히 使用되는 方法에는 修正“펄스”法과 試行錯誤法(Trial and Error Method)의 二種이 있다. 이 二個方法은 同一한 計算資料를 必要로 하며 結果도 曲線判讀如何에 따라 同一하게 나타난다. 그러나 修正“펄스”法이 計算上 容易迅速하므로 貯水池洪水調節에서는 修正“펄스”法을 使用토록 建議한다.

1. 修正“펄스”法

河川洪水調節에서 既說한 바와 같이 本法에서는 貯溜量指示曲線(storage indiation Curve)을 使用하여 第3式

$$\frac{i_1 + i_2}{2} + S_1 - \frac{O_1}{2} = S_2 + \frac{O_2}{2}$$

을 計算함을 骨子로 한다(河川洪水調節 나項參照). 貯水池洪水調節에서 使用하는 貯溜量指示曲線은 餘水吐排除量(또는 樋管排除量合算值)을 縱軸으로 하고 그에該當하는 貯水池貯溜量과 排除量의 半을 合算한 值 $(S + \frac{1}{2}O)$ 를 橫軸으로 하여 이루어진 曲線이다. 勿論 貯溜量 指示曲線이 決定되기 前에 貯水池水位의 各標高에對한 餘水吐排除量 및 貯水池內容積을 算出해야함은 再論을 要하지 않는다.

貯水池에 對한 貯溜量指示曲線이 作成된 後의 洪水調節計算節次는 上記 第1節 나項 및 第4表와 同一하다.

2. 貯水池洪水調節例

修正“펄스”法에 依한 貯水池洪水調節方法을 보다 具體的으로 說明하기 爲하여 例題를 풀어 보기로 한다. 本例題에서 貯溜量指示曲線을 作成하기에 必要한 資料 및 計算은 第8表와 같다.

第8表에서 第1,2 및 4欄은 基本資料에서 나타나는 數(既知數)이며 第3欄과 5欄은 計算值이다. 이表의 第4欄을 縱軸으로 하고 第5欄을 橫軸으로 하여 貯溜量指示曲線을 그리면 第10圖와 같다. 이 指示曲線을 使用하여 第11圖의 流

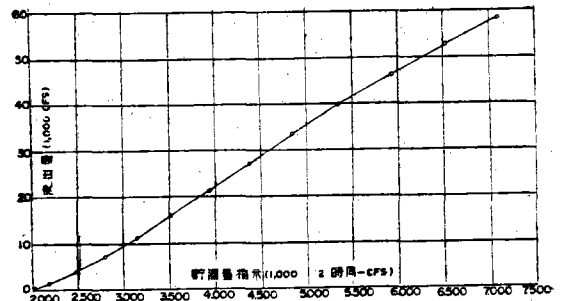
第8表 貯溜量指示曲線을 爲한 基本資料

水位 (ft) (1)	貯溜量 (에이카呎) (2)	貯溜因數 (2hour-cfs) (3) *	餘水吐排除量 (cfs) (4)	$S = \frac{1}{2}O$ (5)
6300	280,000	1,694,000	—	1,694,000
6305	317,000	1,917,850	—	1,917,850
6307	334,000	2,020,700	0	2,020,700
6310	360,000	2,178,000	1,220	2,178,600
6315	409,000	2,474,450	3,900	2,476,400
6320	461,000	2,789,050	7,100	2,792,600
6325	520,000	3,146,000	11,100	3,151,550
6330	580,000	3,509,000	16,000	3,517,000
6335	648,000	3,920,400	21,400	3,931,100
6340	721,000	4,362,050	27,400	4,375,750
6345	800,000	4,840,000	33,600	4,856,800
6350	881,000	5,330,050	39,800	5,349,950
6355	979,000	5,922,950	46,200	5,946,050
6360	1,075,000	6,503,750	52,700	6,530,100
6364.5	1,170,000	7,078,500	58,500	7,107,750

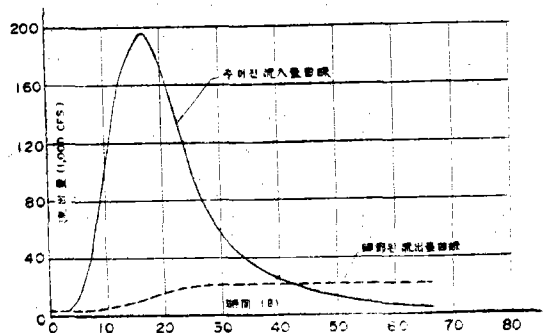
* 第3欄計算法: 1에이카=43,560平方呎

$$\therefore 2\text{hour-cfs} = \frac{\text{에이카呎} \times 43,560}{2 \times 60 \times 60} = \text{에이카呎} \times 6.05$$

第10圖 貯溜量指示曲線 (貯水池洪水調節)



第11圖 貯水池洪水調節圖



入量曲線과 같은 洪水를 調節해 보기로 한다.

洪水初期의 貯水池水位는 6,315呎였다고 假定한다. 이때의 調節計算은 第9表와 같으며 여기서 時間增加는 每2時間으로 取하였다.

第9表 貯水池洪水調節計算例

時間 (時) (1)	平均流入 量 (cfs) (2)	標 高 (ft) (3)	貯溜指示 (4)	流出量 (cfs) (5)	附 記
0-2	3,900	6315.0	2,476,400	3,900	
4	3,900	6315.0	2,476,400	3,900	
6	13,000	6315.3	2,485,500	4,000	
8	36,260	6315.5	2,517,760	4,100	
10	78,520	6316.8	2,592,180	4,900	
12	125,620	6318.7	2,712,900	6,200	
14	164,780	6321.0	2,871,480	7,800	
16	186,510	6323.5	3,050,190	9,800	
18	195,090	6326.0	3,235,480	12,000	
20	180,520	6328.2	3,404,000	14,200	
22	158,080	6330.2	3,547,880	16,200	
22	158,080	6330.2	3,547,880	16,220	
24	130,040	6331.6	3,661,720	17,700	
26	100,510	6332.6	3,744,530	18,800	
28	79,910	6333.3	3,805,640	19,500	
30	62,930	6334.0	3,849,070	20,200	
32	52,420	6334.2	3,881,290	20,500	
34	44,080	6334.4	3,904,870	20,800	
36	37,130	6334.7	3,921,200	21,100	
38	31,780	6334.8	3,931,880	21,200	
40	27,170	6334.9	3,937,850	21,300	
42	23,500	6335.0	3,940,050	21,400	
44	20,630	6335.0	3,939,280	21,400	
46	18,190	6335.0	3,936,070	21,400	
48	16,090	6334.9	3,930,760	21,300	
50	13,820	6334.8	3,923,280	21,200	
52	11,620	6334.6	3,923,700	21,000	
54	10,080	6334.4	3,902,780	20,800	
56	8,950	6334.3	3,890,930	20,700	
58	7,620	6334.2	3,877,850	20,500	
60	6,440	6334.1	3,863,790	20,300	
62	5,760	6334.1	3,849,250	20,200	

最初2時間의 貯水池에 對한 平均流入量은 第11圖에 의해서 3,900 cfs 이며 流入量曲線에서 읽은 流入量을 第9表의 第2欄에 記入한다. 洪水初期의 貯水池水位 6,315呎에 對한 流出量 및 貯溜指示量(storage-indication value)은 第8表에서 各各 3,900과 2,476,400이다. 다음 次期2時間의

$$\frac{i_1+i_2}{2} + S_1 - \frac{O_1}{2} \text{ 은}$$

$$3,900 + 2,476,400 - 3,900 = 2,476,400 \text{ 이다.}$$

이 指示量에 對한 流出量은 第10圖에서 3,900 cfs 이며 이것이 곧 第2期末과 第3期初의 流出量이다.

$$\text{第3期2時間의 } \frac{i_1+i_2}{2} + S_1 - \frac{O_1}{2} \text{ 은}$$

$$13,000 + 2,476,400 - 3,900 = 2,900$$

이며 이 指示量에 對한 流出量은 第10圖에서 4,000 cfs 가 되고 이것이 곧 第3期末과 第4期初의 流出量이 된다.

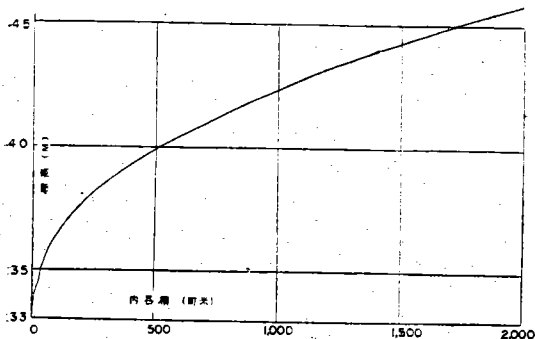
이렇게 洪水調節計算을 繼續하면 第9表를 얻을 수 있으며 이의 第5欄의 計算值를 第11圖에 挿入하면 點線과 같은 流出量曲線을 얻을 수 있다.

第9表의 流出量(第3欄)에 該當하는 貯水池水位標高(第3欄)는 餘水吐의 排除量曲線(spillway rating curve)에서 取한 것이며 이曲線은 第8表의 第1欄과 第4欄으로써 作圖한다.

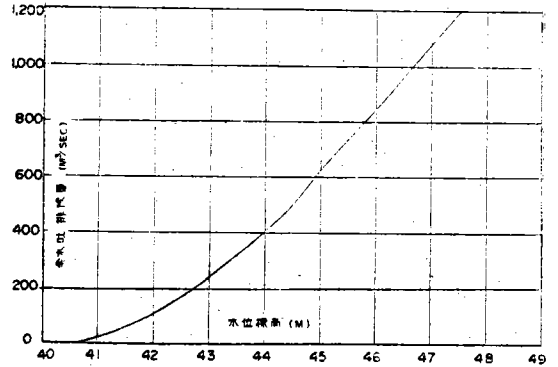
3. 試行錯誤法(Trial and Error Method)

이 方法은 “一定時間內的 流入量은 流出量과 貯溜量變化의 和와 같다”라는 洪水調節基本方程式을 풀기위한 또하나의 手段이다. 이 方法은 既知인 洪水流入量이 排除量이 既知인 餘水吐와 樋管을 가진 貯水池를 安全하게 通過할 수 있는나를 檢討할때에 가장 알맞는 方法이다. 모든 洪水調節計算時에 流入量은 既知數이며 流出量(排除量)과 貯溜量은 計算值이다. 流出量과 貯溜量은 各己 獨立變數이기는 하나 兩者는 모두 貯水池水位라는 共通因子에 依해 左右되므로 兩者를 聯關시킬수 있다. 그러므로 貯水池內容積曲線과 餘水吐排除量曲線(樋管을 考慮할 때는 樋管排除量曲線도 함께)을 가지고 流出量과 貯溜量을 相關시킬 曲線을 作成할수 있다. 이때 貯水池內容積은 에이카-呎로 表示하고 流出量은 洪水調節에 使用할 單位時間中の 排除量(單位는 에이카-呎)으로써 表示한다. 即 洪水調節計算을 每6時間에 對하여 實施할 境遇에는 流出量도 6時間排除量(acre-ft/6 hrs)으로써 表示하여야 한다. 또 6時間동안의 平均流入量도 貯水池洪水調節을 始作하기 前에 에이카-呎로 換算하여야 한

附圖 1. 二東池內容積曲線



附圖 2. 二東池餘水吐排除量曲線



2 餘水吐排除量曲線

二東池餘水吐放水路는 設計洪水量이 莫大함에 鑑하여 岩切量을 節減하고 工事費를 節約하기 爲하여 幅 6m, 높이 4.8m의 테인타 게이트 5連으로 計劃되었으며 餘水吐의 標高別排水量은 土聯에서 附表 2와 같이 計算하였다. 그에 依하여 作成한 標高別餘水吐排除量曲線은 附圖 2와 같다.

附表 2. 二東池餘水吐排除量

餘水吐上水位	標高	排除量	附記	
m	m	m³/sec.		
0	40.50	0	餘水吐頂	
0.50	41.00	18.90		
1.00	41.50	55.95		
1.50	42.00	105.15		
2.00	42.50	166.67		
2.50	43.00	238.38		
3.00	43.50	316.68		
3.50	44.00	402.60		
4.00	44.50	495.85		
4.50	45.00	623.50		滿水位
5.00	45.50	730.46		
5.50	46.00	841.34		
6.00	46.50	962.00		
6.50	47.00	1,076.13		
7.00	47.50	1,131.57		
7.50	48.00	1,209.83		

3 貯溜量指示曲線

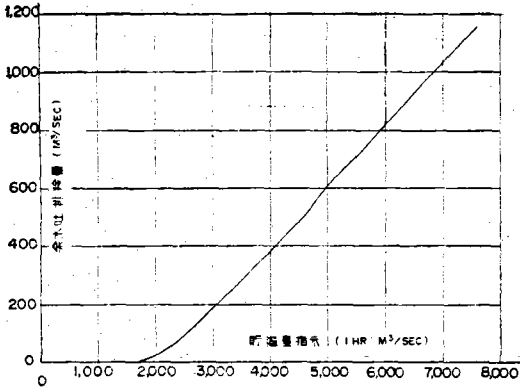
위의 標高別內容積 및 標高別餘水吐排除量에 依하여 貯溜量指示曲線을 作成하기 爲한 計算表는 附表 3과 같으며 이表의 第4欄 및 第5欄에 依據하여 作所한 指示曲線은 附圖 3과 같다. 附表 3의 第3欄(貯溜量)은 時間增加를 1時間으로 定하였으므로 內容積은 2,755倍로 計算되었다.

附表 3. 貯溜量指示曲線을 爲한 計算表

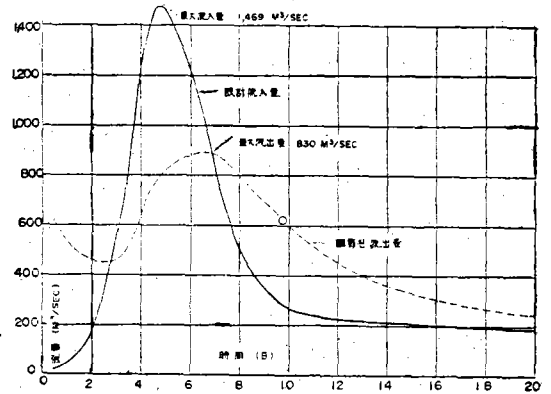
水位	內容積	貯溜量	餘水吐排除量	貯溜量+半排除量
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
m	町米	1hr·m³/sec	m³/sec	(3)+0.5(4)
40.50	612.00	1,686.06	0	1,686.06
41.00	709.00	1,953.30	18.90	1,963.25
41.50	811.00	2,234.30	55.95	2,262.28
42.00	919.00	2,531.84	105.15	2,584.42
42.50	1,032.00	2,843.16	166.67	2,926.50
43.00	1,152.00	3,173.76	238.38	3,292.95
43.50	1,282.00	3,531.91	316.68	3,690.25
44.00	1,422.00	3,917.61	402.60	4,118.91
44.50	1,570.00	4,325.35	495.85	4,573.28
45.00	1,728.00	4,760.64	623.50	5,072.39
45.50	1,906.00	5,251.03	730.46	5,616.26
46.00	2,078.00	5,724.89	841.34	6,145.56
46.50	2,251.00	6,201.50	962.00	6,682.50
47.00	2,430.00	6,694.65	1,076.13	7,232.72

$$1\text{hour} \cdot \text{m}^3/\text{sec} = \frac{\text{町米} \times 9.917}{60 \times 60} = 2,755 \text{ 町米}$$

附圖 3. 二東池貯溜量指示曲線



附圖 4. 二東池洪水調節圖



4 洪水調節計算

(1). 設計流入量

土聯企劃部에서 實施한 水文調査結果二東池에 對한 時間別設計流入量은 附圖 4의 流入量曲線 및 附表 4의 第 2 欄과 같으며 最大流入量은 1.469m³/sec로 計算되었다.

附表 4. 二東池洪水調節計算表

時間	平均 流入量	水位	貯溜指示	流出量	附 記
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	m ³ /sec	m		m ³ /sec	
0-1	22	45.0	5,072	623	滿水位서 開放
2	82		4,531	487	
3	344		4,388	457	
4	830		4,761	543	
5	1,376		5,594	725	
6	1,360		6,229	860	
7	1,002	46.40	6,371	890	最大洪水位
8	664		6,145	840	
9	414		5,719	750	
10	280	45.30	5,249	656	水門閉鎖準備
11	240	44.75	4,833	561	
12	230		4,502	480	
13	224		4,246	427	
14	219		4,038	386	
15	213		3,865	348	
16	207		3,724	322	
17	201		3,603	297	
18	197		3,503	280	
19	191		3,414	262	

(2). 餘水吐流出量

設計流入量 및 附表 3에 依해서 行한 洪水調節計算은 附表 4와 같으며 그 結果 作成된 流出量曲線은 附圖 4의 點線과 같다. 但 二東池餘水吐의 게이트는 水位가 滿水位(45.00m) 以上에 達하면 自動的으로 열리도록 計劃되어있으므로 初期溢流水深이 4.50m에 達하고 初期溢流量이 623m³/sec에 達함에 留意하여야 한다.

(3). 最大溢流量 및 最大洪水位

附圖 4에 依하면 最大溢流量은 890m³/sec 로서 洪水開始後 約 7時間만에 이려나며 이때의 洪水位는 附圖 2에 依해서 46.40m 程度임을 알 수 있다. 但 이計算에서는 安全上 樋管의 洪水量排除를 考慮치 않았으므로 이를 考慮한다면 餘水吐의 最大溢流量이 줄어들고 最大洪水位가 낮아짐은 다시말한 나위도 없다. 그러나 最大溢流量을 890m³/sec로 보고 放水路斷面을 決定한다면 充分한 餘裕가 있으므로 安心할 수 있을 것이다. 附圖 4에서 보는 바와 같이 水門開放後 約 9時間 50分後이면 大部分의 設計洪水量이 排除되고 水位가 滿水位에 復歸하니 水門을 닫기 始作하여야 한다.

(筆者 農林部 金東萬)