洪水追跡에 對한 小考

Several Methods for Flood Routing

李 根 模*

Keun Mo Lee

I. 概 要

많은 人間生活이 그 周圍에 있는 河川으로부터 큰 便宜을 提供받고 있음은 두말할 必要도 없다. 그러기에 모든 古代文明의 發祥地도 큰江 流域에서 였던 것이다. 우리가 記憶하고 있는 中國의 黃河文明, Indas江 流域의 印度文明, Euphrates江 流域의 Mesopotamia文明等이 그것이다. 現代生活에서도 江과 文明의 相關은 얼마든지 찾을 수 있다. 서울과 漢江, 파리와 세이느江, 런던과 데임즈江, 獨逸과 라인강, 로마와 타이버江 等 그數는 헤아리기 조차 어렵다. 河川은 適切한 生活用水, 工業用水 및 農業用水를 提供하고, 水運을 可能케하며, 電力開發은 勿論, RECREATION을 提供하기도 한다. 그러나 이것들은 河川을 支配하고 있는 自然이 人間生活을 돕고 있을 때에 限한다. 한번 自然이 怒하여 河川을 人間生活과는 아랑곳없이 支配運營하는 날에는 問題가 달라진다. 洪水가 일면 지금까지 人間生活을 돕던 河川은 무서운 人間의 敵으로 變하게 마련이다. 우리나라 河川의 洪水 被害도 그렇고 다른 나라에서도 그렇고 數値를 列擧하지 아니하더라도 그 被害가 크고 잦음은 認定하기 어렵지 않다. 따라서 賢明한 人間은 이러한 洪水被害를 豫防하기 爲하여 어떤 對策과 手段을 講究하기 마련이다. 이러한 手段으로 잘 알려진 것은 洪水調節池의 建設, 防水堤, 堤防의 建設, 河川改修 事業等이다. 이러한 施設을 建設하기 爲하여는 여러가지 考慮事項이 있겠으나 가장 重要한 것은 經濟性과 安全性일 것이다. 그리고 주어진 安全度內에서 가장 經濟的인 建設을 爲하여는 正確한 設計와 施工後의 運營管理의 評價가 要求되고 이들은 洪水追跡의 過程을 거쳐 얻게되는 것이다.

洪水追跡이란 어떤 地點에서의 洪水의 時期와 洪水의 크기를 上流部의 알려진 資料로 부터 어떤 分析過程을 通하여 求하게 되는데, 이過程를 洪水追跡이라 한다. 이 洪水追跡에는 두개의 型態로 區分되며, 그 하나는 貯水池의 洪水追跡이고, 다른 하나는 河川의 洪水追跡이다.

貯水池洪水追跡은 貯水地內에서의 洪水의 變形效果을 分析하는 方法을 말하며 따라서 貯水池의 計劃設計에서 洪水追跡은 貯水池의 位置, 貯水池容積, 餘水吐, 放水路 構造物의 크기와 堤塘의 標高 決定에 活用된다. 河川洪水追跡은 洪水調節池의 効果를 評價하기 爲한 洪水의 時間및 크기를 決定하기 爲하여 活用된다. 洪水波運動의 理論的인 分析은 大端히 復雜하고 數學的인 試算法은 非效果的이다. 그리고 모든 分析方法은 槪略的인 計算方法의 技術과 簡素化된 假定을 必要로 한다. 여기에서 言及하고저 하는 洪水追跡은 그 理論의 整理나 展開보다는 開發된 方法들을 列擧하여 實務處理를 하기 爲한 應用方法提示에 重點을 두고저 한다.

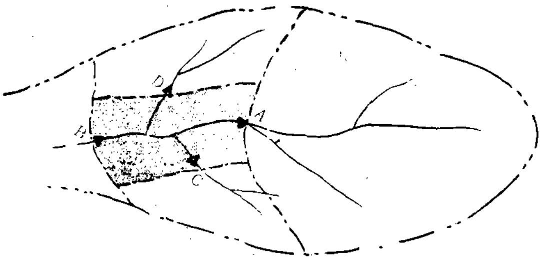
II. 洪水追跡의 基礎

一般的으로 洪水追跡의 節次는 h-S 關係 또는 Q-S 關係의 基礎를 두고 있다. 그리고 이關係를 發展시키기 爲하여는 두가지 方法이 쓰이고 있다. 첫째는 계곡斷面으로부터 各各의 水位에 따른 貯水量의 決定이고, 또다른 하나는 洪水量 記錄値의 分析으로부터 貯水量을 決定하는 方法이다. 그리고 이에 必要한 資料는 上流部 및 下流部 地點의 流量 記錄値와 支流에서의 記錄値, 또 計器를 가추지 않은 地域을 爲한 降雨記錄値等이다. 計器를 갖춘 地點에서의 流量은 RATING CURVE에서 決定하고, 無計器 地域에서의 流量은 降雨記錄値를 活用 單位流量圖 計算을 通하여 그 流量을 決定한다. 洪水追跡區間內에 流入되는 流入流量圖는 上流部 觀測所의 流入量과

*農業振興公社 調査設計部

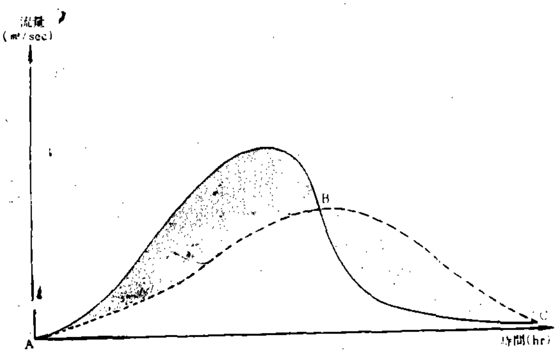
計器를 갖춘 支流 및 無計器流域에서의 流入을 合成하여 決定한다.

〔그림 1〕은 洪水追跡을 爲한 地域의 一般的인 條件을 表示하고 있다. A와B는 各各 主河川 上流部와 下流部의 觀測所이고, C와 D는 支流의 觀測所이며 斜線을 그어 表示한 部分은 無計器 地域을 表示한다.



〔그림 1〕 전형적인 河川流域

〔그림2〕는 어떤 洪水에 對한 洪水追跡의 一般的인 流入 流量圖이고, 點線은 流出量圖이다. 그림에서 流量圖로 形成되는 面積은 期間中의 流量體積을 表示하며 流量은 m³/sec 로 表示되고 時間은 日, 時間單位로 表示된다. 그리고 全期間中 流入體積과 流出體積은 同一하다. 그림에서 斜線으로 表示한 部分은



〔그림 2〕 典型的인 洪水追跡의 流入 및 流出

流入量과 流出量의 差로서 追跡區間內에 貯溜된 量을 表示한다. 이렇게 貯溜되었던 물은 그림의 B點以後에 서서히 流出되며, 點을 찍어 表示한 面積이 그 量으로서 貯溜되었던 體積과 同一하다. 이러한 理由로서 下流部 洪水流量圖의 頂點은 낮고 넓은 形態로 變化되는 것이다.

지금까지는 洪水追跡의 一般的인 性格을 說明하였거니와 洪水追跡에 必要한 基本的인 數學을 簡單히 言及하면 이는 不定流에 基礎를 두고 있으며 이 不定流는 Energy 또는 物量 不變法則에서부터 出發한다. 그리고 이關係는 다음의 두 偏微分 方程式으로 表現된다.

$$\frac{\partial H}{\partial x}+\frac{V}{g}\cdot\frac{\partial V}{\partial x}+\frac{1}{g}\frac{\partial V}{\partial t}+\frac{V^2}{C^2R}=0\cdots\cdots\cdots\cdots ①$$

$$A\frac{\partial V}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial x}V+B\frac{\partial H}{\partial t}=0\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots ②$$

이에서

H; 水面까지의 높이
V; 流速
A; 水路斷面積
B; 水面에서의 河川幅
g; 重力加速度
C; CHEZY係數
R; 動水半徑
x; 河川을 따른 길이
t; 時間

(1)式의
제 1 항은 水深變化項
제 2 항은 速度水頭
제 3 항은 加速度水頭
끝항은 마찰기울기를 나타낸다.

(2)式의
제 1 항은 프리즘 貯溜
제 2 항은 쐐기 貯溜
제 3 항은 水頭變化를 나타낸다.

이들 微分方程式의 微分形을 限定的인 差形으로 代置하여 이方程式의 解를 求할수 있다. 卽 위의 두式이 洪水量追跡의 基本式이 되는 것이다.

Ⅲ. 洪水追跡의 目的

위에서도 잠시 洪水追跡의 쓰임에 對해서 言及되었거니와 洪水追跡의 目的中 重要한것을 들면 다음과 같다.

1. 洪水의 短期 豫報

河川의 上流部의 洪水狀態를 알면 洪水追跡을 通하여 下流部의 洪水量을 推定할 수 있으므로 上流部洪水狀態에 따른 下流部의 豫報가 可能한 것이다. 다만 大部分의 河川의 境遇 到達時間은 通常 數日程度 또는 그 以下의 時間임으로 그豫報는 그到達時間에 該當되는 短期에 局限되는 것이다.

2. 河川各地點에서의 單位流量圖의 誘導

河川의 一定地點의 單位流量圖를 誘導해가지고 있

으면, 洪水追跡을 通하여 下流部 各地點에서 單位流量圖의 誘導가 可能하다. 이는 流量圖와 單位流量圖의 關係를 計算하는 過程임으로 그 理解가 어렵지 아니하다. 이 單位流量圖의 誘導는 洪水追跡 目的中 가장 重要한것의 하나 라 하겠다.

3. 河川條件 變更後의 河川特性의 豫測

一定한 區間에서의 河川狀態를 變化시킨 境遇, 變化前後의 洪水追跡을 通하여 河川特性이 어떻게 變化되어가고 있나를 豫測할수 있다.

4. SYNTHETIC HYDROGRAPH의 誘導

2項에서 說明한 單位流量圖의 誘導가 可能하다면 이를 活用한 SYNTHETIC HYDROGRAPH의 誘導가 可能하게 될것이다.

5. 貯水地의 餘水吐設計

貯水池洪水追跡을 通하여 餘水吐에서의 最大洪水量의 豫測이 可能함으로 이 洪水量을 放流할수 있는 가장 經濟的인 餘水吐 設計는 이 洪水追跡을 活用하므로서 可能하다.

Ⅳ. 洪水追跡의 方法

1. 貯溜方程式을 利用한 方法

貯水池에 流入되는 물은 貯水池에 貯溜되어 있다가 貯水量이 貯水池의 餘水吐 水位까지 차면 以後에 流入되는 水量은 차츰 放流되기 始作하고, 이放流水量은 流入되는 水量과 어떤 關係를 維持하게 될것이다. 이流入되는 水量은 勿論 貯水池의 貯溜水量과 一次的으로 또 다른 어떤 關係를 維持하게 될것이고, 이 貯溜水量은 流出水量과 一定한 關係를 維持하게 되어 結局 貯水量을 媒介로 하는 流入水量과 流出水量의 一定한 關係가 이루어지게 되는 것이다. 지금 S를 貯溜水量(m^3), I를 流入水量(m^3/sec), Q를 流出水量(m^3/sec)라고 하고 貯溜水量 S와 流出水量 Q와의 關係가 $S=KQ$의 一次方程式의 關係를 가진다면 連續方程式을 使用하여 餘水吐에서의 流出水量 Q를 求할수 있다.

$$\Delta S=\frac{I_1+I_2}{2}\Delta t-\frac{Q_1+Q_2}{2}\Delta t \cdots\cdots\cdots\cdots(1-1)$$

Δt: 推定時間間隔

또한

$$S=KQ \cdots\cdots\cdots\cdots(1-2)$$

式(1—2)는

$S_1=KQ_1$

$S_2=KQ_2$로 쓸수가 있다.

(1—1)式은 追跡間隔 Δt 時間中에 流入되는 總流入量에서 流出되는 總流出量을 빼면 貯水池의 殘溜貯水量이 된다는 簡單한 計算式이다. 다만 計算의 便宜上 流入, 流出量 體積은 期間中 平均 流入率 및 平均 流出率을 考慮하여 槪算으로 끝냈다는 點의 不正確性이 있으나 이는 洪水量 推定 計算에서는 큰問題가 되지 않는다. 또 式(1—2)는 貯水量이 바로 流出量의 一次關係式으로 連結지워 진다는 뜻이나, 事實上의 모든 貯水池에서 成立되는 關係는 아니다. 그러나 이를 滿足시키는 貯水池이거나 거의 이關係를 維持하는 貯水池에서는 이式을 使用할수 있다. (1—1)式의 I_1, Q_1는 追跡 時間間隔 Δt의 初期流入, 流出量이고 I_2, Q_2는 後期의 流入, 流出量이다. 따라서 위의 (1—1), (1—2)式을 連結시키면 餘水吐에서의 Δt時間間隔 後期에서의 流出 Q_2를 求할수 있고 段階的으로 適當한 期間中의 Q_2를 計算, 貯水池를 通한 流入 洪水量에 따른 洪水流出量을 追跡할수 있게된다. 具體的인 例를들면 다음과 같다.

〔洪水追跡의 實例〕

어떤 貯水池에서의 貯水量 S와 流出量 Q가

$S=7,200Q$로 表示된다고 하면

$S_1=7,200Q_1$

$S_2=7,200Q_2$로도 使用할수 있고, 連續方程式은

$$\Delta S=S_2-S_1=\frac{I_1+I_2}{2}\Delta t-\frac{Q_1+Q_2}{2}\Delta t \cdots(1-3)$$

S_1, S_2의 값을 代入하면,

$$7,200Q_2-7,200Q_1=\frac{I_1+I_2}{2}\Delta t-\frac{Q_1+Q_2}{2}\Delta t$$

$$=\frac{I_1+I_2}{2}\Delta t-\frac{Q_1}{2}\Delta t-\frac{Q_2}{2}\Delta t$$

위의 關係式에서 I_1, I_2는 流入洪水量으로서 測定이 되는 數値이고, Q_1은 初期의 流出量으로서 알려진 數値이다. 未知數 Q_2를 計算하기 爲하여 위의 式을 整理하면

$$\frac{I_1+I_2}{2}\Delta t-\frac{1}{2}Q_1\Delta t+7,200Q_1=\frac{Q_2}{2}\Delta t+7,200Q_2$$

$$\frac{(I_1+I_2)}{2}\Delta t+Q_1(7,200-\frac{1}{2}\Delta t)=Q_2(7,200+\frac{1}{2}\Delta t)$$

$$Q_2=\frac{\frac{I_1+I_2}{2}\Delta t+Q_1(7,200-\frac{1}{2}\Delta t)}{7,200+\frac{1}{2}\Delta t}$$

여기에서 Δt 追跡間隔 時間을 1時間 3,600秒로 考慮하면

$$Q_2=\frac{(I_1+I_2)\times1,800+Q_1(7,200-1,800)}{7,200+1,800}$$

$$=\frac{(I_1+I_2)\times1,800+5,400Q_1}{9,000}$$

$$= \frac{(I_1+I_2)+3Q_1}{5}$$

卽 Δt 時間 後의 流出量 Q_2 는

$$Q_2 = \frac{(I_1+I_2)+3Q_1}{5} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1-4)$$

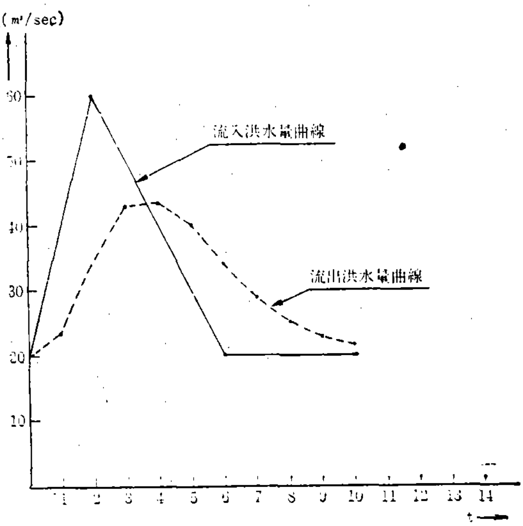
따라서 (1—4)式을 利用하여 Q_2 를 計算 그洪水量을 推定할 수 있게 된다.

이 貯水池에 流入되는 洪水量의 時間別 流入量은 〔표—1〕의 第3欄과 같이 測定되었다. 이流入洪水量에 따른 流出 洪水量計算 結果値는 表의 第8欄에 記錄되었다.

〔표—1〕　　洪水追跡 計算表

(1) t	(2) Δt(hr)	(3) I_1(m³/sec)	(4) I_2(m³/sec)	(5) Q_1(m³/sec)	(6) $3Q_1$(m³/sec)	(7) $I_1+I_2+3Q_1$ (m³/sec)	(8) Q_2(m³/sec)
0	—	—	—	—	—	—	20
1	1	20	40	20	60	120	24
2	1	40	60	24	72	172	34. 4
3	1	60	50	34. 4	103. 2	213. 2	42. 64
4	1	50	40	42. 64	127. 92	217. 92	43. 582
5	1	40	30	43. 582	130. 746	200. 746	40. 1492
6	1	30	20	40. 1492	120. 4476	170. 4476	34. 0895
7	1	20	20	34. 0895	102. 2685	142. 2685	28. 4537
8	1	20	20	28. 4537	85. 3611	125. 3011	25. 0722
9	1	20	20	25. 0722	75. 2166	115. 2166	23. 0433
10	1	20	20	23. 0433	69. 1299	109. 1299	21. 8259

流入量中 現段階 I_2 는 다음 過程에서 I_1 으로 活用되어 다음 段階의 流入量으로 活用됨은 勿論이다. 이例에서는 洪水追跡 時間間隔을 1時間으로 計算하였고, Q_1 도 알려진 $Q_1=20\text{m}^3/\text{sec}$ 에서 出發하여 計算하고 이로부터 計算된 Q_2 는 다음 段階計算에서 다시 Q_1 이 되어 活用된다. 이過程을 되풀이 하여 各段階別 Q_2 가 計算되어 (8)欄의 各時點別 Q_2 를 얻었다. 이計算에 따른 洪水追跡을 graph로 表示하면 流入量 I 와 流出量 Q 는 各各 〔그림 3〕과 같다.



〔그림 3〕 貯水池洪水追跡

이 그림에서 보는 바와같이 貯水池에 流入되는 流入量은 높고 좁은 形態의 流量圖임에 比하여 流出流量圖는 넓고 밋밋한 높이의 形態로 나타나며 流出하는 流量圖의 頂點은 流入하는 流量圖의 減退曲線上에 오게 된다.

2. 試算法

貯水池 餘水吐의 水位 h 와 貯水池 貯水量 S 의 關係曲線 및 水位 h 와 餘水吐의 流出量 Q 關係曲線이 얻어질수 있는 貯水池에 對하여는 試算法에 依한 洪水追跡이 可能하다. 이는 人力으로 計算하면 時間이 걸리고 複雜하나 COMPUTER가 活用 可能한 境遇는 그計算이 至極히 便利하여 자주 쓰인다. 問題는 貯水池의 特性曲線인 餘水吐의 關係曲線을 미리 準備하고 있어야 된다는 어려운 點이 있기도 하다. 이方法은 뒤의 例에서 仔細히 說明되겠으나 于先 그理論을 보면 어떤 流入量(I)에 對하여 時間 Δt 時間後의 流出量(Q)를 計算하기 爲하여 먼저 Δt 時間後의 水位 h 를 假定한다. 이 水位 h 에 따른 流出量 Q 를 h—Q 關係曲線에서 읽고 時間간격 初期 流出量과의 平均値를 計算하여 追跡間隔期間中의 流出體積은 平均流出量과 이時間을 곱하여 計算한다. 이 流出體積과 期間中 流入體積과의 差異는 貯水量에 變化를 주게되고 이變化量을 初期 貯水量에 合하여 後期 貯水量을 얻게 된다. 이貯水量에 對應하는 水

位를 h—S 曲線上에서 읽어 새 水位를 얻게되고 이 水位와 當初假定한 水位가 一致하게되면 假定에 依한 流出量 Q는 正確한 것이다. 이를 追跡全期間에 對하여 段階別로 計算하게되면 流入量에 따른 洪水量 流出推定이 可能하게 된다. 卽 假定水位에서 出發하여 流出量을 計算하게 되는 方法으로 假定의 正確度에 따라 計算의 速度는 달라진다. 이計算을 迅速히 하기 爲하여 COMPUTER가 活用됨은 勿論이다. 그리고 要하는 計算의 正確度에 따라 假定數値의 變化幅도 또한 달라질것이다. 이計算을 便利하게 하기 爲하여 適切한 樣式을 使用하는 것이 좋고 多少의 差는 있을수 있으나 다음과 같은 計算樣式이 많이 쓰인다. 〔표—2 參照〕

이樣式은 먼저 言及한 h—S 曲線, h—Q 曲線과 함께 洪水追跡에서의 必要 不可決한 要素이며 各欄別 記載要領은 다음과 같다.

〔표-2〕 **시산법에 의한 홍수량추적 계산표**

시간	Δt	$\bar{I}$	$\bar{I}\times\Delta t$	Δt시간후의가정 h	$\bar{Q}$	$\bar{Q}$	$\Delta t.\bar{Q}$	ΔS	총S	Δt시간후의 저수지 h	비고
hr	hr	m^3/sec	m^3	m	m^3/sec	m^3/sec	m^3	m^3	m^3	m	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)

(1) 欄; 洪水量 追跡의 時間으로서 洪水量의 性格에 따라 다르나 一般的으로 1時間 間隔으로 使用된다.

(2) 欄; (1)欄에 表示된 時間間隔을 使用하게 되며 위에 說明한 時間일 境遇는 1時間이 쓰인다. 後에 流入體積 및 流出體積을 計算할 境遇에는 秒單位로 使用함이 보통이다.

(3) 欄; 觀測記錄된 時點別 流入量의 平均値로 記入한다.

(4) 欄; (2)欄과 (3)欄을 곱하여 平均 流入體積을 計算한다.

(5) 欄; (2)欄에 表示된 時間後의 貯水池 水位를 假定하여 記錄한다. 이假定이 接近度에 따라 計算의 遲速은 달라진다.

(6) 欄; (5)欄의 水位假定에 따른 流出量 Q를 h—Q 曲線에서 읽어 記入한다.

(7) 欄; (6)欄의 初期와 後期사이의 平均流出量을 計算記入한다.

(8) 欄; (2)欄과 (7)欄을 곱하여 平均 流出體積을 計算한다.

(9) 欄; (4)欄의 流入體積과 (8)欄의 流出體積의 差를 計算하여 記入한다.

(10) 欄; 初期貯水量에 (9)欄의 變化量을 合하여 計算한다.

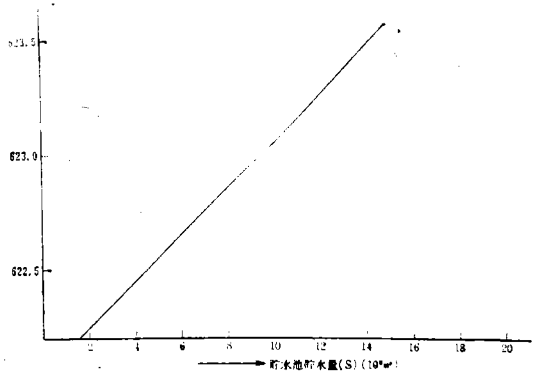
(11) 欄; h—S 曲線을 使用하여 (10)欄의 貯水量에 對應하는 水位 h를 읽어 記入한다.

(12) 欄; 當初 假定水位 (5)欄과 計算된 (11)欄의 水位를 比較하여 그差異가 極少할때까지 過程을 되풀이 計算해서 許容 可能한 差異가 計算되었을때 參考用으로 使用되는 備考欄이다. 지금까지 表의 欄別 說明 이었으나 그順序를 보면 欄(1), (2), (3), (4)까지는 實測 및 이로부터의 計算値에 不過하고, (5)欄의 水位假定으로 부터 出發하여 차례로 計算 (11)欄까지 가고 (5)欄과 (11)欄의 數値가 같아지거나 그差異가 極微한 境遇에 다음 段階로 同一한 과정의 計算이 反復된다.

〔洪水追跡 。實例〕

어떤 貯水池의 h—S 曲線이 〔그림4〕와 같고, h—Q 曲線이 〔그림5〕와 같다. 이貯水池의 流入 洪水量 流量圖가 〔그림 6 과〕 같을때 이에 對한 洪水 流出量을 計算하고저 한다. 이試算法에 依하여 計算한 結果는 〔표—3〕과 같다. 또 이結果를 그림으로 表示하면 〔그림 7〕과 같다.

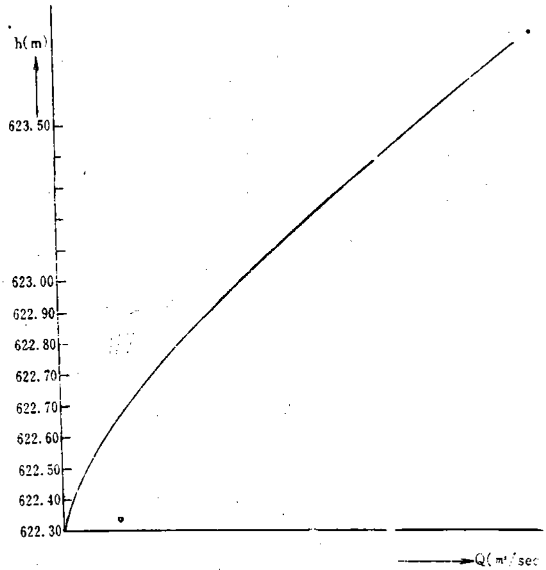
이h—S 關係曲線은 貯水池의 體積을 水位別로 計算累積시켜 얻을 수있고 一般的으로 도든 貯水池는 設計者에 依하여 이曲線이 準備되어 있다. 따라서



〔그림 4〕 貯水池의 h—S

洪水追跡을 爲한 새로운 資料로 計算하는 追加的인 作業은 아니다. 通常 h—S, h—A 關係曲線은 함께 한 그림에 處理된다.

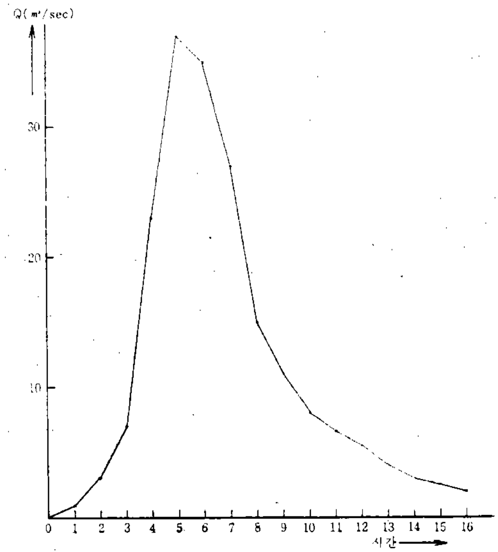
〔그림 5〕는 一種의 RATING CURVE로서 餘水吐 밑바닥 水位에서는 Q의 값이 0이고 餘水吐 水位가 增加함에 따라 Q의 값이 增加하며 h—Q의 關係는 一次線形이 아님이 通常이다. 또 이곡선도 貯水池設計者에 依하여 準備되는 것이 普通임으로 洪水追跡을 爲한 새로운 作業이 아님은 勿論이다.



〔그림 5〕 貯水池의 h—Q

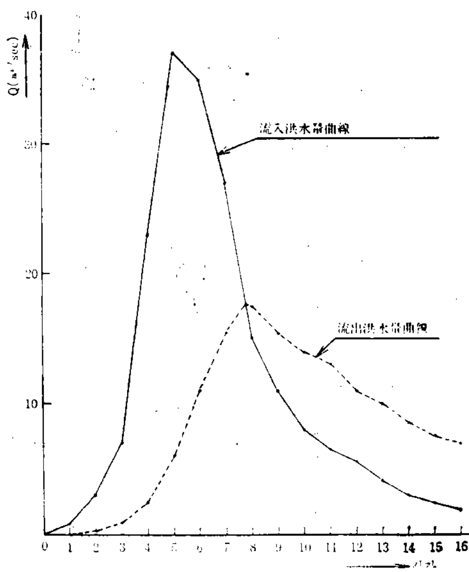
〔그림 6〕은 降雨에 따라 모양이 다르고 바로 流入量에 對한 洪水量 結果値를 얻으려는 것이 이洪水追跡 作業의 目的이다. 여기서 最大 洪水量이 37m³/sec인 流量圖를 擇하였으며, 뒤結果에서 보는 바와같이 餘水吐를 흐르는 洪水量은 17.5m³/sec임을 알수있다.

〔표—3〕의 計算에서 使用된 水位 計算結果 水位와



〔그림 6〕 流入洪水量

의許容誤差限界는 3cm 이내로 하였다. Computer 로 計算할 境遇는 0.3cm로 計算하는것도 可能할 것이다. 〔그림 7〕에 나타난 洪水追跡結果의 流量圖는 좁고 뾰족한 頂點 形態의 流入 流量圖에 比하여 넓고낮은 頂點을 가진 流量圖 形態로 變하였으며 이는 바로 貯水池의 貯水機能을 說明한다고 볼수 있다. 流出流量圖의 頂點이 流入 流量圖의 감퇴 曲線上에 온다는 點이 또한 貯水池 洪水追跡의 特徵이기도 하다.



〔그림 7〕 貯水池의 洪水量追跡

〔표-3〕 시산법법에 의한 저수지의 홍수량추적

기간	Δt	$\bar{I}$	$\Delta t\bar{I}$	저수지수위 h 가정	Q	$\bar{Q}$	$\Delta t\bar{Q}$	(4)—(7) 저수량변화	총저수량	저수지 수위	비고
hr	hr	m^3/sec	10^3m^3	m	m^3/sec	m^3/sec	10^3m^3	10^3m^3	10^3m^3	m	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
0				622. 20	0				154	622. 20	
	1	0. 5	1. 80			0	0	1. 8			
1				622. 20	0				155. 8	628. 20	
	1	2. 05	7. 38			0. 2	0. 72	6. 66			
2				622. 21	0. 4				162. 46	622. 21	
	1	5. 05	18. 18			0. 7	2. 52	15. 66			
3				622. 23	1				178. 12	622. 22	
	1	15	54. 0			1. 75	6. 30	47. 7			
4				622. 28	2. 5				225. 82	622. 275	
	1	30	108. 0			4. 25	5. 30	92. 7			
5				622. 37	6				318. 52	622. 365	
	1	36	129. 6			8. 5	30. 6	99. 0			
6				622. 46	11				47. 52	622. 465	
	1	31	111. 6			13. 25	45	66. 6			
7				628. 53	15. 5				484. 12	622. 535	
	1	21	75. 6			16. 5	59. 5	16. 1			
8				628. 55	17. 5				500. 22	622. 55	
	1	13	46. 8			16. 5	59. 5	−12. 7			
9				622. 53	15. 5				487. 52	622. 535	
	1	9. 5	34. 2			14. 75	53	−18. 8			
10				622. 51	14. 0				468. 72	622. 52	
	1	7. 25	26. 10			13. 5	48. 5	−22. 4			
11				622. 49	13. 0				446. 32	622. 49	
	1	5. 75	20. 70			12	43. 3	−22. 6			
12				622. 46	11. 0				423. 72	622. 47	
	1	4. 5	16. 20			10. 5	37. 9	−21. 7			
13				622. 49	10. 0				402. 02	622. 45	
	1	3. 5	12. 60			9. 3	33. 5	20. 9			
14				622. 42	8. 6				381. 12	622. 43	
	1	2. 75	9. 90			8. 05	28. 0	−19. 1			
15				622. 40	7. 5				362. 02	622. 41	
	1	2. 25	8. 10			7. 25	26. 2	−18. 1			
16				622. 39	7. 0				343. 92	622. 39	

3. Muskingum 方法

이方法은 河川의 貯溜가 Prism 형貯溜와 쐐기형 貯溜로 構成된다는 槪念에서 出發된다. Prism 형 貯溜는 流入量과 流出量이 同一한 定常流가 存在할때의 貯溜가 流出量에만 一次線形的으로 關係되는 貯溜이고, 쐐기형 貯溜는 流入量이 流出量보다 큰 境遇에 쐐기 形態로 維持되는 貯溜이다.

Prism 형 貯溜는

$$S=kQ$$

쐐기형 貯溜는

$$S=kx(I-Q)$$

여기서 k 는 貯溜係數이고 x 는 媒介變數이다.

따라서 貯溜는

$$S=kQ+kx(I-Q) \quad \cdots\cdots (3-1)$$

로 되고 이式이 바로 Muskingum 方程式인 것이다.

이式으로부터 S 의 변화를 計算하면

$$S_2-S_1=k[x(I_2-I_1)+(1-x)(Q_2-Q_1)] \cdots (3-2)$$

또 連續方程式은 ;

$$S_2-S_1=\frac{1}{2}(I_1+I_2)t-\frac{1}{2}(Q_1+Q_2)t \quad \cdots\cdots (3-3)$$

(3—2), (3—3)式의 關係에서 Q_2 를 計算 整理하면,

$$Q_2=C_0I_2+C_1I_1+C_2Q_1 \quad \cdots\cdots (3-4)$$

이에서

$$C_0=-\left(\frac{kx-0.5t}{k-kx+0.5t}\right) \quad \cdots\cdots (3-5)$$

$$C_1=\frac{k.x+0.5t}{k-k.x+0.5t} \quad \cdots\cdots (3-6)$$

$$C_2=\frac{k-kx-0.5t}{k-kx+0.5t} \quad \cdots\cdots (3-7)$$

그리고 이들 C_0, C_1, C_2 의 關係는

$$C_0+C_1+C_2=1 \quad \cdots\cdots (3-8)$$

위에 式中 I_1, I_2 및 當初의 Q_1 은 觀測 記錄値이고, t 는 追跡時間 間隔으로 旣知數이나 係數 C_0,

C_1, C_2 等의 計算을 爲한 k와 x의 값은 어떤 方法으로 決定되어 使用되어야 할것이다. k와 x의 決定方法도 여러가지 있으나 가장흔히 쓰이는 方法을 한가지 소개한다. 이는 追跡하고자 하는 下流部位置에서 上流 觀測所 洪水量 流入에 따른 이에 對應하는 洪水流出量을 觀測 記錄하는데에서 부터 出發한다. 이流入量, 流出量을 使用하여 貯水 變化量 計算이 可能하고 이는 連續方程式에 基礎를 두어 計算한다.

卽 $\Delta s=\frac{I_1+I_2}{2}\Delta t-\frac{Q_1+Q_2}{2}\Delta t$

또 다음은 이 S와 I, Q의 關係式인 Muskingum 方程式

$S=k[xI+(1-x)Q]$가 活用되어 x와 k를 計算하게 된다. 그理論은 $k=\frac{S^1}{xI+(1-x)Q}$로 變形된 式으로부터 圖上에 S와 $xI+(1-x)Q$의 값을 Plotting하여 그直線의 기울기로 부터 k의 값을 計算하는 것이다. 그러나 보는바와 같이 未知數가 x와 k 두개 이므로 單一計算이 不可能하고 다시 試算法으로 接近 計算하게 된다. 이 Plotting에 必要한 $xI+(1-x)Q$ 計算에서 x의 값을 假定하여 S와 $xI+(1-x)Q$의 關係가 直線으로 表示되는 때의 k값을 찾으면 된다. x値의 假定은 x의 값이 通常 0~0.3의 값이므로 試算法에 依한 計算은 그리 어려운것이 아니다. 이 Muskingum 方法에 對하여는 本誌 第7卷 第2號 (1965. 12 30)에 具體的으로 紹介되었으므로 詳細한 說明 및 例題는 省略하기로 한다.

4. 圖式解法 〔I〕

貯水池를 通한 (Reservoir Reach) 洪水追跡 方法中 Q對 $Q\times t/2$ 圖表 및 Q對$S+\frac{Q}{2}t$ 圖表의 資料 獲得이 可能한 貯水池에 對해서는 計算에 依하지 아니하고 바로 作圖에 依하여 洪水流出量 推定이 可能하다. 여기에서 Austrian method라고 알려져 있는 方法을 하나 소개하기로 한다. 이는 流入洪水量 流量圖의 I軸을 共軸으로하는 이 流量圖의 左側水平軸을 洪水量體積 V軸으로하여 그래프上에 $Q\times t/2$ 曲線 및 $S+Q\times t/2$ 曲線을 追加 Plotting하여 作業함으로서 求해질 수 있는 것으로 이의 具體的인 說明은 實例에서 加하기로 하겠다.

〔洪水追跡의 實例〕

먼저 이計算을 爲한 例로서는 試算法에서 들었던 例를 다시 引用하기로 한다.

流入洪水量 流量圖는 그림 6에 表시된 流量圖를 그대로 使用하였다. 要求되는 Q대 $Q\times t/2$의 그림은 Q의 값을 1부터 漸增시켜 對應되는 $Q\times t/2$를 計算하고 또 Q대$S+Q\times t/2$는 주어진 h對S曲線에서 對應되는 S를 求한後 이에 對應되는 $Q\times t/2$를 合하여 計算하였다. 計算은 다음 표—4에 表示되어 있다.

〔표—4〕 $\frac{Q}{2}\times t$ 및 $S+\frac{Q}{2}\times t$의 계산

(1)Q (m³/sec)	(2)t (sec)	(3)$Q\times t/2$ (10^3m^3)	(4)h (m)	(5)S (10^3m^3)	(6)$S+\frac{Q}{2}\times t$ (10^3m^3)
1	3,600	1.8	622.22	20	21.8
2	〃	3.6	628.26	56	59.6
4	〃	7.2	622.32	110	117.2
6	〃	10.8	622.37	160	170.8
8	〃	14.4	622.41	200	214.4
10	〃	18	622.44	230	248
12	〃	21.6	622.48	270	291.6
14	〃	25.2	622.51	300	325.2
16	〃	28.8	622.53	324	352.8
18	〃	38.4	622.56	350	382.4
20	〃	36	622.59	380	416.0
22	〃	39.6	622.61	410	449.6

〔표—4〕의 (1)欄은 Q의 값을 1~22m³/sec로 增加시켜 記入하였고, 이는 推定의 時間變化와는 아무런 關係없이 列擧한것이다.

(2)欄은 追跡時間 간격을 記入하였으며, 本例에서는 그時間 간격을 1時間으로 하였다. (3)欄은 $Q\times t/2$를 計算하여 記入하였다. (4)欄은 $h-Q$曲線에서 $Q=1$로부터 $Q=22$까지의 對應하는 h를 읽은 값을 記入하였다. (5)欄은 다시 $h-S$ 曲線을 利用하여 各 h때의 S의 값을 읽어 記入하였으며 $S+Q\times t/2$는 표의 (3)欄과 (5)欄의 合으로서 計算 제(6)欄에

記入하였다.

이 圖式解法을 利用한 洪水量 追跡은 〔그림 8〕에 表示되었다. 그림上에 表示된바와 같이 流入流量圖는 右側에 位置하여 있고 이 流量圖의 左側에는 $Q \times t/2$ 및 $S+Q \times t/2$ 曲線이 그려져 있다. 流出 洪水量 流量圖의 作成은 段階別로

1) 流入 流量圖上의 初期 第一區間 中間點에서 左側으로 水平軸에 平行하게 補助線을 그어 $Q \times t/2$ 曲線과 만나는點을 찾고

2) 이點에서 縱軸에 나란한 補助線을 내려 $S+Q \times t/2$ 曲線과 만나는 點을 찾는다.

3) 이點에서 水平軸에 나란한 線을 右側으로 延長하여 流入流量圖의 第2洪水 測定點 時間軸과 만나는 點을 求한다.

4) 이 交點이 流出 洪水量 追跡値의 點이며 原點으로부터 이點에 連結線을 그어 表示한다.

5) 流入 洪水量 流量圖의 第2區間의 中間點에서 出發하여 위의 과정을 같은 方法으로 되풀이 하여 交點을 求하고 이를 계속 反復하여 各 時點別 流出量을 求하고 이를 연결하여 流出洪水量 流量圖를 얻는다. 〔그림 8〕에 點線으로 表示된 流量圖는 이 方法으로 얻어진 流出 洪水 流量圖이다.

5. 圖式解法〔II〕

그래프를 利用하여 流出流量圖를 얻는 方法中 連續方程式에 基礎를둔 方法에 對해서 說明하기로 한다. Schulitz 방법으로 알려져 있는 이방법은 連續方程式

$$\frac{(I_1+I_2)\Delta t}{2}-\frac{Q_1+Q_2}{2}\Delta t=S_2-S_1=\Delta S$$

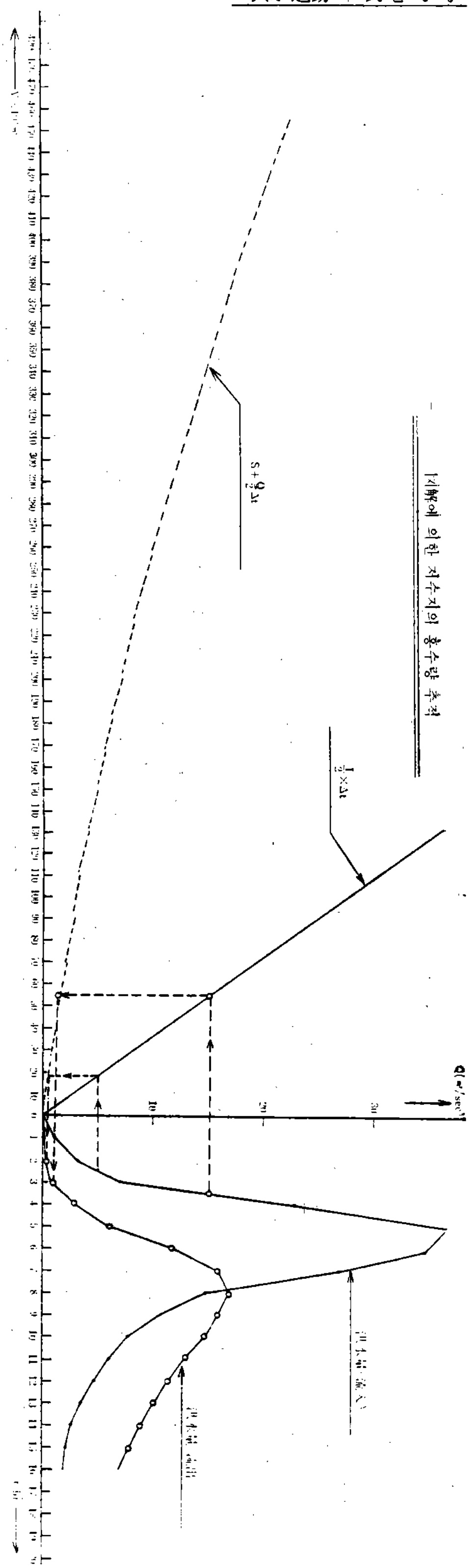
이를

$$\frac{I_1+I_2}{2}\Delta t=\frac{Q_1}{2}\Delta t+\Delta S+\frac{Q_2}{2}\Delta t$$ 로 變形시켜 이 關係를 滿足시키는 Q_2를 圖式處理하여 求하는 것이다.

먼저도 言及하였거니와 貯水池에서 $h-Q$ 關係 曲線 및 $h-S$ 曲線의 獲得은 어려운 일이 아니다. Q_2를 計算하는 과정을 段階別로 說明하기로 한다. 이 說明에 따른 圖表는 〔그림 8〕에 표시하였다.

1) 貯水池 $h-S$ 關係 曲線에 두개의 補助曲線을 Plotting 한다. 그하나는 $S-\frac{Q}{2}\Delta t$ 이고, 다른 하나는 $S+\frac{Q}{2}\Delta t$ 曲線이다. $\frac{Q}{2}\Delta t$ 의 計算은 〔표—5〕에 표시되어있다.

2) 이 그림에서 當初餘水吐 水位 h (點 A)에서 出發하여 左側으로 平行線을 그어 $S-\frac{Q}{2}\Delta t$ 曲線上에 B點을 求한다. 體積 A—B는 $\frac{Q}{2}\Delta t$ 에 해당함을 그



〔그림 8〕 圖解法에 依한 貯水池의 洪水量의 追跡

림에서 곧 알수 있다.

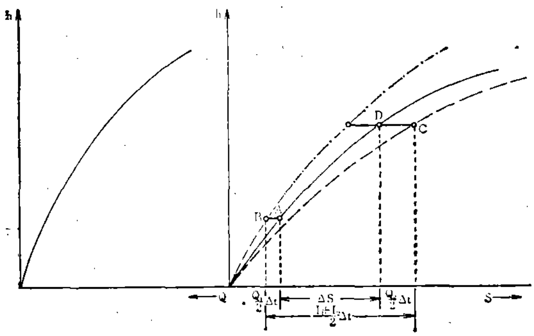
3) B點에서 S軸까지 垂直線을 내려 S軸과의 交點 O_1 을 求한다.

4) O_1 에서 出發하여 S軸을 따라 右側으로 $\frac{I_1+I_2}{2}\Delta t$ 의 값의 길이에 해당하는 點 O_2 를 찾는다.

5) O_2 에서 垂直上向 直線을그어 $S+\frac{Q}{2}\Delta t$ 曲線과 만나는點 C를 求한다.

6) C點에서 左側으로 S軸과 平行한 直線과 만나는 點 D를 求한다.

7) D點에 해당하는 h의 값을 읽어 $h-Q$ 曲線上에서 Q의 값을 求하면 이Q가 追跡時間 간격 Δt 後의 Q_2 가 되는 것이다.



〔그림 9〕 h—Q 및 h—S 曲線과 補助曲線

8) 다시 $h-S$ 曲線上에서 D點이 A點이 되어 같은 過程의 作業을 되풀이 하고 要求되는 期間까지의 段階를 反復한다.

〔洪水追跡의 實例〕

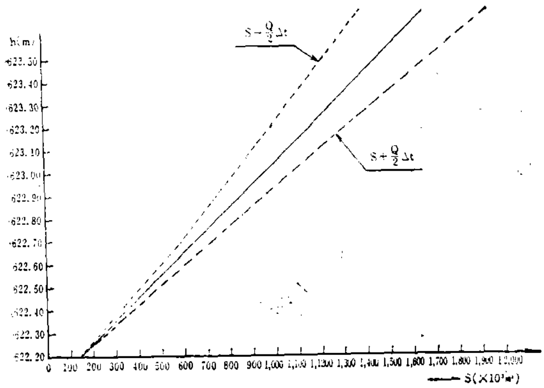
試算法에서 들었던 貯水池의 流入洪水에 對해서 洪水追跡 計算을 例로 들겠다. 計算의 過程은 위에서 說明한 方法에 依하였고, 이에 使用된 $h-S$ 曲線 및 補助曲線과 計算結果는 〔그림 10〕 및 〔표—6〕에 표시되었다. $h-Q$ 曲線은 〔그림 5〕를 그대로 活用하였다.

〔표—5〕 보조곡선 plotting을 위한 $\frac{Q}{2}\Delta t$의 계산

h (m)	Q (m³/sec)	Δt (sec)	$\frac{Q}{2}\Delta t$ (10³m³)
622. 20	3. 1	3, 600	5. 58
622. 30	7. 5	〃	13. 5
622. 40	13. 5	〃	24. 3
622. 50	21	〃	37. 8
622. 60	29. 5	〃	53. 1
622. 70	38	〃	68. 4
622. 80	48	〃	86. 4
622. 90	58. 5	〃	105. 3
623. 00	70	〃	126. 0
623. 10	82. 5	〃	148. 5
623. 20	95	〃	171. 0
623. 30	108	〃	194. 4
623. 40	122	〃	219. 6
623. 50	136	〃	244. 8
623. 60	151	〃	271. 8

〔표—6〕 **Out Flow Hydrogaph Reading 결과**

t	I (m³/sec)	$\frac{I_1+I_2}{2}$ (m³/sec)	$\frac{I_1+I_2}{2}\Delta t$ (10³m³)	그림에서 읽은 點의 h(m)	h에 해당하는 Q(m³/sec)
0	0	—	—	622. 20	0
1	1	0. 5	1. 80	622. 20	0
2	31	2. 05	7. 38	622. 21	0. 4
3	7	5. 05	18. 18	622. 22	1. 0
4	23	15. 0	54. 0	622. 275	2. 5
5	37	30. 0	108. 0	622. 365	6. 0
6	35	36. 0	129. 6	622. 465	11. 0
7	27	31. 0	111. 6	622. 535	15. 5
8	15	21. 0	75. 6	622. 55	17. 5
9	11	13. 0	46. 8	622. 535	15. 5
10	8	9. 5	34. 2	622. 52	14. 0
11	6. 5	7. 25	26. 10	622. 49	12. 5
12	5	5. 75	20. 70	622. 47	11. 0
13	4	4. 5	16. 20	622. 44	9. 8
14	3	3. 5	12. 60	622. 43	8. 6
15	2. 5	2. 75	9. 90	622. 41	7. 5
16	2	2. 25	8. 10	622. 39	7. 0



〔그림 10〕 h—S 및 그 보조곡선

6. 圖式解法〔III〕

또다른 圖解法에 依한 洪水追跡 方法中 補助曲線을 使用하지 아니하고 直接 流入量圖에서 作圖處理하는 方法을 紹介하기로 한다. 이는 Muskingum 方程式에 基礎를 두고 있다.

우선 Muskingum 方程式

$S=k[xI+(1-x)Q]$

$x=0$인 경우는

$S=kQ$

兩邊을 微分하면

$$\frac{dS}{dt}=k\cdot\frac{dQ}{dt} \quad\cdots\cdots(6-1)$$

그리고 連續方程式

$I=Q+\dfrac{dS}{dt}$에서

$$\frac{dS}{dt}=I-Q \quad\cdots\cdots(6-2)$$

(6—1)과 (6—2)로부터

$$I-Q=k\frac{dQ}{dt}$$

$$\therefore\ \frac{I-Q}{k}=\frac{dQ}{dt} \quad\cdots\cdots(6-3)$$

이式에서 $\dfrac{dQ}{dt}$는 流出量圖의 기울기이고 $I-Q$ 및 k는 測定 可能한 量이다.

위式의 關係를 滿足시키는 作圖의 節次는 아래와 같으며 이에서 얻은 Q가 洪水追跡 結果値가 되는 것이다. 이節次를 보여주는 그림은 〔그림 11〕에 나타나 있다.

1) 流入流量圖를 作圖하고,

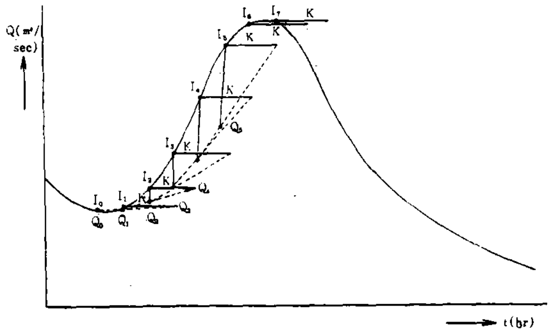
2) 貯溜 常數 k의 값을 길이로하는 直線을 各時點의 I에서 時間軸에 수평으로 그어두고,

3) k의 값의 直線끝에서 전단계 Q를 向한 線을 긋고

4) 이直線과 다음段階 時間軸과의 交點을 求하면 이點이 Δt 時間後의 Q값이 된다.

5) 이 過程을 되풀이하여 追跡 全期間에 對한 各 時點別 Q를 찾고

6) 이點을 차례로 연결하면 流出流量圖가 얻어진다. 지금까지 說明한 것은 $x=0$인 경우, 卽 單純한 貯水池에 해당하는 節次이고 x가 0보다 큰값을 가지는 LAG의 現象을 보이는 河川의 경우에는 이方法에 若干의 補正이 必要하게 된다.

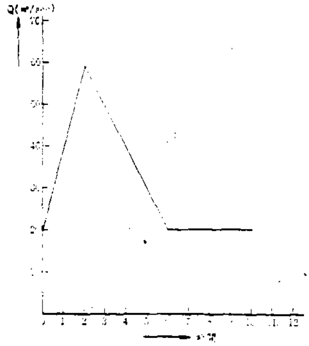


〔그림 11〕 圖解에 依한 洪水追跡

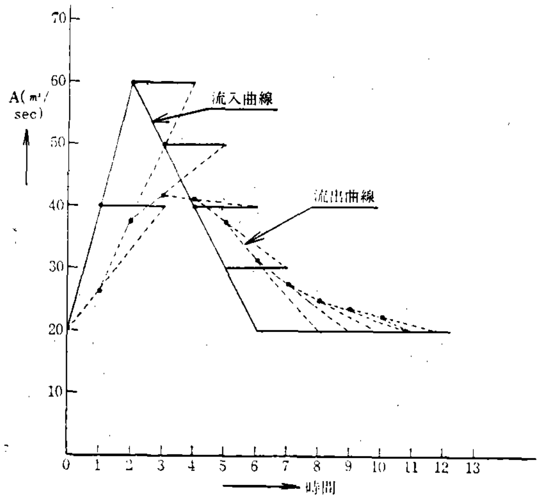
〔洪水追跡 實例〕

다시 앞에서 한번 例로들었던 貯水池에 대해서 이 방法을 適用 洪水追跡을 實施한 例를 들기로 하겠다.

流入流量圖가 〔그림 12〕와 같고 k=7,200秒인 貯水池의 洪水追跡을 作圖한 結果를 〔그림 13〕에 나타냈다. 그리고 그 結果는 먼저 方法에서 計算에 依하였던 것이나 同一함을 알수 있다.



〔그림 12〕 流入量



〔그림 13〕 圖解에 依한 洪水量追跡

V. 結 論

洪水追跡 方法은 위에서 言及한 以外에도 Analogue Computer를 利用한 方法, Digital Computer를 利用한 方法이 있고 그외에도 여러가지 方法이 開發되어 있거니와 이에 對한 知識은 關聯 참고서적을 通해서 익힐 機會가 있을 줄로 믿는다.

洪水追跡은 앞에서도 言及된바와 같이 그重要性이 크고 그 利用度가 높은 水文學 處理分野中의 하나라는 點을 再認識하고 지금까지의 說明이 洪水追跡의 概要를 理解하는데 도움이 되고, 이를 發展시켜 보려는 意圖의 基礎가 되며, 또 이들이 關係 實務者들에게 實務의 도움이 되기를 바라는 바이다.

參考文獻

1) Chow; Handbook Of applied Hydrology

2) Volker; Lecture Note of Hydrology, Delft University

3) Wilson; Engineering Hydrology

4) Diklic; Lecture Note of Reservoir Operation, Delft University.

5) 金東萬 農工學會誌 Vol 6, No. 1, 1964. 5