洪水 Hydrograph 로 부터 流域特性의 究明을 爲한 研究

(漢江 · 錦江 · 洛東江을 中心으로)

成均舘大學校 大學院 土木工學科 敎授(工博) 金 治 弘

成均舘大學校 大學院 博士課程(仁德工專大) 尹 汝 松*

成均舘大學校 大學院 博士課程(慶 南 大) 韓 成 大

成均舘大學校 大學院 博士課程(水 原 大) 安 元 植

洪水 Hydrograph로 부터 流域特性의 究明을 위한 研究(I)

〈漢江, 洛東江, 錦江 流域을 中心으로〉

成均館大學校 工科大學 土木工學科 敎授 金治弘
成均館大學校 大學院 博士課程 〈仁德工專大〉 尹汝松
〃 〃 〃 〈慶南大〉 韓成大
〃 〃 〃 〈水原大〉 安元植

1. 序論

河川 流域에 내린 비는 여러가지의 過程을 거쳐 河道로 流出된다. 즉 降雨는 地表에 到達하기 까지 樹葉, 建物等의 地被物에 의해 一時 保留된 後, 그 一部는 樹根等을 따라서 地表로 流下하고 다른 一部는 地表物의 表面으로 부터 直接大氣中에 蒸發 또는 蒸散된다. 또 地表 및 水面으로 부터 蒸發하는 量을 모두 合하여 損失量이라고 한다. 이 損失量을 除外한 雨水의 一部는 地表面으로 流下하는 表面流를 形成하고 그 나머지는 地下로 浸透한다. 地表로 부터 浸透된 雨水는 表層土壤中에 滯溜한 重力水가 되어 山腹 斜面을 따라 浸透流가 發生한다. 이 흐름을 中間 流出이라고 한다. 또 바닥 岩盤의 균열된 틈, 地下의 地層 境界로 부터 流出하는 中間 流出을 느린 中間 流出이라고 부르고 表層 中間 流出을 빠른 中間流出이라고 하여 区分하는 경우가 있다. 그리고 더 下層으로 浸透한 雨水는 地下水帶에 達해 地下水 流出이 된다.

이러한 現象을 詳細히 究明하기 위해서는 流域을 構成하는 모든 因子를 正確히 把握하여야 되나 水文学的 見地에서 洪水 hydrograph를 利用하여 上述한 各 流出成分으로 分離하므로서 우리나라의 漢江, 洛東江, 錦江의 流域 特性을 究明하는 것이 本 研究의 要旨이다.

2. 流量 時系列의 流出 分離 理論

有效 降雨는 地表面에 到達한 後에 表面 流出, 中間流出, 地下水流出의 成分으로서 시스템(System)内를 흘러, 이들이 合流해서 流出하는 것으로 把握되고 있다.(Fig 2.1). 이와 같은 流出成分으로서의 分離

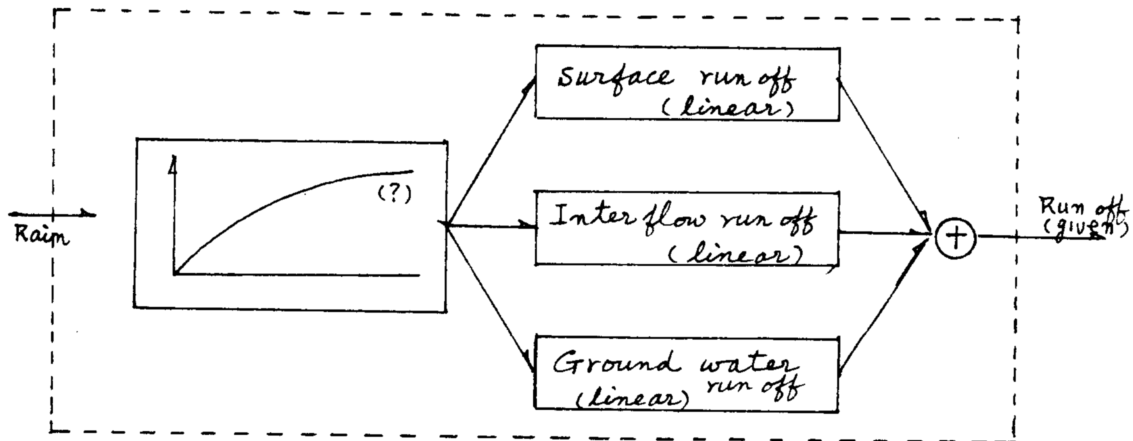

Fig 2.1 降雨-流出 system 概念図

方法에는 Hino(1970),[1] Hashimoto(1978)[2]에 의한 相互相関係数, 코히런스, 훼이스에 依하는 方法, Kikkawa, Sunada, Hun[3](1979)에 의한 標準逓減方法等이 発表 되었고 地球化学的 方法에는 G.F. Pinder(1969)[4], Nakamura(1971)[5] J.J. Drake(1974)[6], Sumitomo(1976)의 方法等이 発表되었다. 그런데 実際 降雨-流出関係를 살펴보면 우선 첫째로 降雨開始後

에는 卽時 增加 하지는 않는다. 이 사이 降雨量은 旣說明 한것과 같이 樹葉面, 地面, 凹地, 表層土의 空隙에 保留되어 소위 初期損失 降雨量이 된다. 둘째로 降雨終了後 流出量이 卽時 原狀態로 돌아오지 않는 것이다. 즉 流出量의 現在値가 降雨의 그 時刻값이 아니라 過去 降雨量의 影響을 받는 것이다. 降雨-流出系에 局限되지 않고 많은 物理系가 動的 特性(dynamic characteristics)을 갖는 原因에 対하여 生覺하면 入力 信号를 時間에 関하여 積分하는 「積分器」의 存在를 認定할 것이다. 萬若에 積分器가 없으면 系의 出力은 入力, 그 때의 값에서만 決定되고 過去 入力의 값이 出力의 現在 값에 影響을 주지 않게 된다. 逆으로 말하면 物理系의 動的 特性은 微分方程式에 의해 記述된다. 세번째 特性은 降雨가 時間的으로 甚하게 変動하고 있는데 反하여 流出量은 大端히 円滑한 波形을 이루고 있는 것이다. 즉 流域은 降雨의 高周波数 成分을 cut 하여 低周波数 成分만을 通過하는 低域 휠터(low pass filter, 또 high cut filter)의 役割을 하고 있는 것이다. 이상의 理論的 根據를 바탕으로 数値 Filter를 設計하여야 됨을 알 수 있다. 設計에 앞서 非定常 效果를 考慮한 貯溜量-流出量에 関한 微分 方程式을 生覺한다. 지금 流域에 있어서 雨水貯溜量 s, 降雨(入力) x, 流出量(出力)로 하면 다음 関係式이 알려져 있다.

$$\left.\begin{aligned} \frac{ds}{dt} &= x - y \\ s &= f(y) \end{aligned}\right\} \qquad (2.1)$$

上式에서 貯溜와 流出에 있어 非定常 效果를 考慮하고 $S=f(y)$의 關係를 다음 式으로 한다.

$$S = K_1 \cdot y + K_2 \frac{dy}{dt} \qquad (2.2)$$

但 위 式에서 S와 y의 關係는 線形이다.

式 (2.1), (2.2)에서 Ⅱ 階常微分 方程式이 되고 振動型 方程式과 같은 方程式이 된다.

$$K_2 \frac{d^2y}{dt^2} + K_1 \frac{dy}{dt} + y = x \qquad (2.3)$$

or

$$\frac{d^2y}{dt^2} + d_1 \frac{dy}{dt} + d_0 y = d_0 x \qquad (2.4)$$

여기서 $d_1 = K_1/K_2$, $d_0 = 1/K_2$

이와 같은 水文 現象에서 一般으로 高階常微分 方程式으로 表示할 수 있으나 短期 流出 成分(表面 流出成分)은 앞 式에서 表示한 것과 같이 貯溜量의 非定常 效果를 考慮한 Ⅱ 階의 常微分 方程式으로 表現 할 수 있다.

(1) 沪波特性이 銳敏한 数値 Filter.

沪波 特性이 銳敏한 high frequency cut-off filter는 다음과 같이 된다.

$$\omega(r\Delta t) = \frac{\sin\left(\frac{\pi h r}{m}\right)}{\pi r} \qquad (2.5)$$

여기서 $r = 0, 1, 2, \cdots\cdots, N$. Δt = 時間 間隔, h, m; 整数 parameter.

또한 Gibbs 現象을 누르기 위해 Lanczos의 Λ-factor가 알려져 있다.

(2) 沪波特性이 緩漫한 両側에 作用하는 数値 Filter.

現実 現象으로서 어떤 周波数로 뚜렷한 成分으로 分離 沪波되는 것은 오히려 特異하고 緩漫한 沪波 特性을 갖는 数値 Filter가 바람직하다.

또 水文現象은 一般的으로 高階常微分 方程式으로 記述할수 있으나 表面 流出 成分은 応答核<單位図>의 特性으로 보아 低次의 常微分 方程式으로 記述할 수 있다. 여기서는 簡單히 取扱되는 共振回路型의 沪波 特性을 갖는 数値 Filter를 利用한다. (Fig 2.2)

$$|x| = \frac{1}{\sqrt{\{1-(f/f_h)^2\}^2 + \delta^2 (f/f_h)^2}} \qquad (2.6)$$

여기서 δ = 減衰係数, f_h = cut off frequency, $|x|$ = 応答特性

위와 같은 応答特性을 갖는 数値 Filter는 다음 式과 같다.

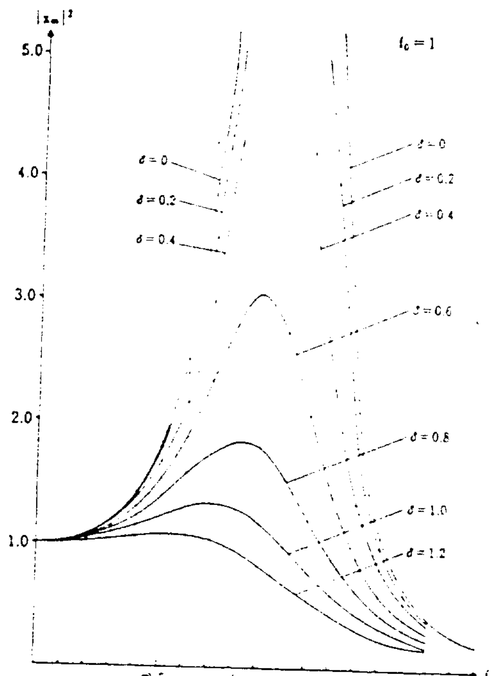

Fig 2-2

$$w(n\Delta t) = 2\int_0^{\frac{1}{2\Delta t}} \sqrt{|x|^2}\,\cos(2\pi n\Delta t)\,df \qquad (2.7)$$

여기서 $n = 0, \pm1, \pm2, \cdots\cdots \pm k$, n이 0을 中心으로 +, -의 範囲

에 걸쳐 (兩側에 作用하는 数値 Filter로 되어 있다.) 있어 応答 函数 $h(\tau)$와는 相異하다. 沪波後의 出力 $\bar{y}(t)$는 다음 式과 같다.

$$\bar{y}(t) = \alpha \cdot \sum_{-R}^{R} w(t-\tau) - y(\tau) \cdot \Delta\tau \qquad (2.8)$$

여기서 α = weight. (今後 $\bar{y}(t) = y_i^{1)}$ 로 한다).

그런데 weight α를 1로 한 low pass filter를 通한 것을 그대로 地下水 流出分 $y(i)^{1)}$로 간주하면 表面 流出 成分 $(y_i(t) - y_i)^{1)}$에는 低周波 成分이 全然 포함 되지 않고 負가 되는 일이 있다.

따라서 表面 流出成分 $y_i^{3)}$가 負가 않되도록 Filter의 weight를 定할 必要가 있다.

$$\mathrm{Min}\{y_i^{3)}\} = \mathrm{Min}\{y_i(t) - y_i\}^{1)} \geqq 0 \qquad (2.9)$$

(3) 片側 作用의 数値 Filter

現時点 ($n\Delta t$) 以前의 data에 対하여 filtering을 行하는 方法으로서 片側 作用의 数値 filter로 設計 한다.

物理系에서는 unit impulse redponse $h(\tau)$는 반드시 $\tau \geqq 0$에 対해서만이 意味가 있다.

$$h(\tau) \begin{cases} = h(\tau) & (\tau \geqq 0) \\ = 0 & (\tau < 0) \end{cases} \qquad (2.10)$$

여기서 前節의 2 階微分方程式을 利用하므로서 数値 Filter를 設計 한다.

$$\frac{d^2y}{dt^2} + d_1\frac{dy}{dt} + d_0 y = d_0 t \qquad (2.11)$$

이 系의 応答函数는 다음式으로 나타낸다.

$$h(\tau)\begin{cases} = \begin{cases} \exp(-\frac{d_1}{2}\tau)\,\sinh(\sqrt{d_0-d_1^2/4}\,\tau)/\sqrt{d_0-d_1^2/4} & (d_0-\frac{d_1^2}{4}\geq 0)(\tau\geq 0) \\ \exp(-\frac{d_1}{2}\tau)\,\sinh(\sqrt{d_1^2/4-d_0}\,\tau)/\sqrt{d_1^2/4-d_0} & (d_0-\frac{d_1^2}{4}<0) \end{cases} \\ = 0 \end{cases} \tag{2.12}$$

이에 対한 応答은 다음式으로 表示 된다[7]

$$y(t) = \int h(\tau)\,x(t-\tau)\,d\tau \tag{2.13}$$

즉 h는 x에 対해 後方作用 filter가 되어 있다.

式 (2.13)을 高 周波数 領域으로 表示하면 다음式이 된다.

$$Y(w) = H(w)\cdot X(w) \tag{2.14}$$

여기서 $H(w)$는 시스템 函数이다

$$H(w) = \frac{1}{[(\frac{1}{K_2}-w^2)-i(\frac{K_1}{K_2})w]K_2} = \frac{1}{[(1-\frac{w}{w_0})^2-i(\frac{K_1}{K_2 w_0})(\frac{w}{w_0})]}$$

$$= \frac{1}{[(1-(\frac{w}{w_0})^2-i\delta(\frac{w}{w_0})]} \tag{2.15}$$

여기서 $w_0=\sqrt{1/K_2}$, $\delta = K_1/(K_2, w_0)$, $w_0 =$ cut off 周波数

(2.15)式을 実数 領域으로 表示하면 다음式이 된다.

$$|H(w)| = \frac{1}{\sqrt{\{(1-(\frac{w}{w_0})^2\}^2+\delta(\frac{w}{w_0})^2}} \tag{2.16}$$

위 式을 Fourier 変換하므로서 応答 函数 $h(\tau)$가 求해 지고 数値 Filter가 다음式으로 求해 진다.

$$w_i \begin{cases} = h(n\Delta t) & (n=0,1,2,\cdots N) \\ = 0 & (n=-1,-2,\cdots) \end{cases} \qquad (2.17)$$

끝으로 濾波後의 出力은 다음 式이 된다.

$$\bar{y}(t) = \int_0^\infty h(\tau)\cdot x(t-\tau)\,d\tau \qquad (2.18)$$

離散 表示하면

$$\left.\begin{aligned} \bar{y}_n &= \Sigma h_k \cdot x_{n-k}\,\Delta\tau \\ &= \Sigma w_k \cdot x_{n-k} \end{aligned}\right\}$$

以上과 같이해서 物理的 思考에 依한 片側 作用의 數值 Filter가 設計되어 流出 時系列의 流出 分離가 行하여진다.

3. 우리 나라 河川 流域別 洪水 水文 曲線에 依한 流出 分離 結果의 檢討

2. 에서 說明한 것과 같이 片側 作用의 數值 Filter로서 流量 時系列을 分離함에 있어 流域別(漢江, 洛東江, 錦江)의 流量 時系列을 対數 plot 하여 그 勾配로 부터 分離 時間 常數 T_c를 決定하고 δ는 Fig 2.2 에서 各 流域에 맞도록 $\delta = 2.1 \sim 4.0$ 까지 適当히 選択하였다.

各 流域別 流出 分離한 結果는 다음表 3-1 및 그림 3-1~3-6 과 같다.

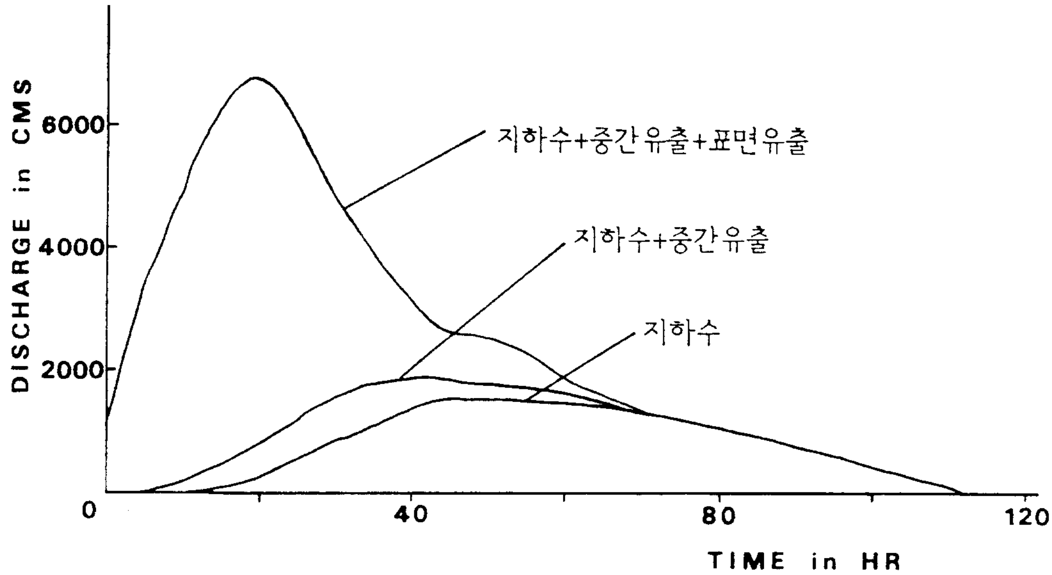

Fig. 3-1 TOTAL HYDROGRAPH at YEOJU 1hr UNIT.

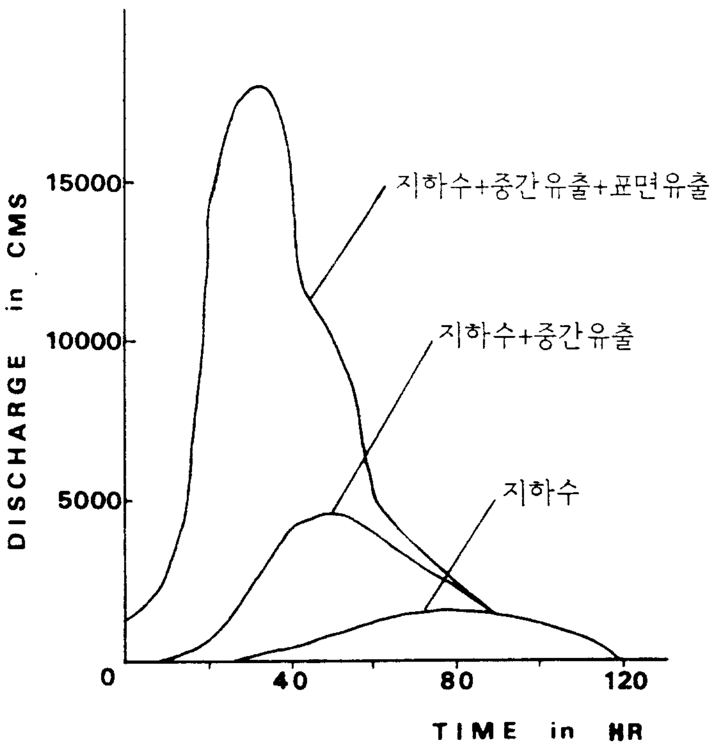

Fig. 3-2 TOTAL HYDROGRAPH at CHEONGPYEONG 1hr UNIT.

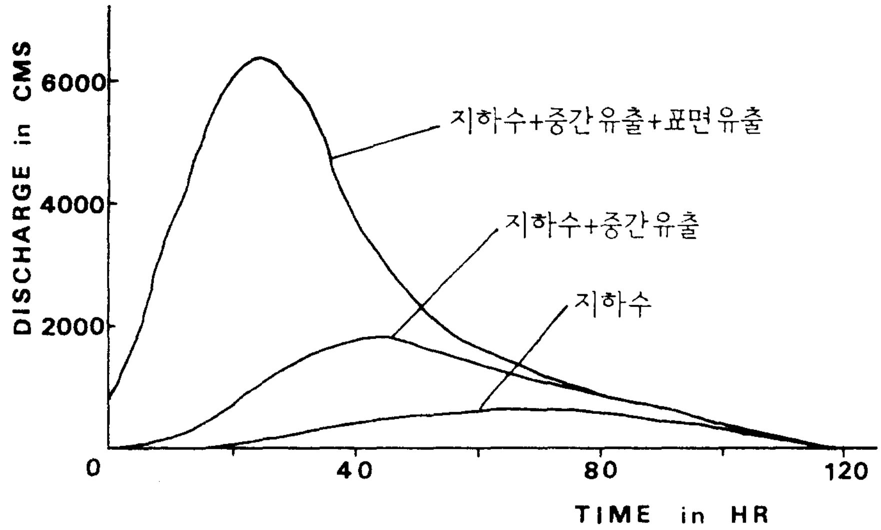

Fig. 3-4 TOTAL HYDROGRAPH at WAEGWAN 1hr UNIT.

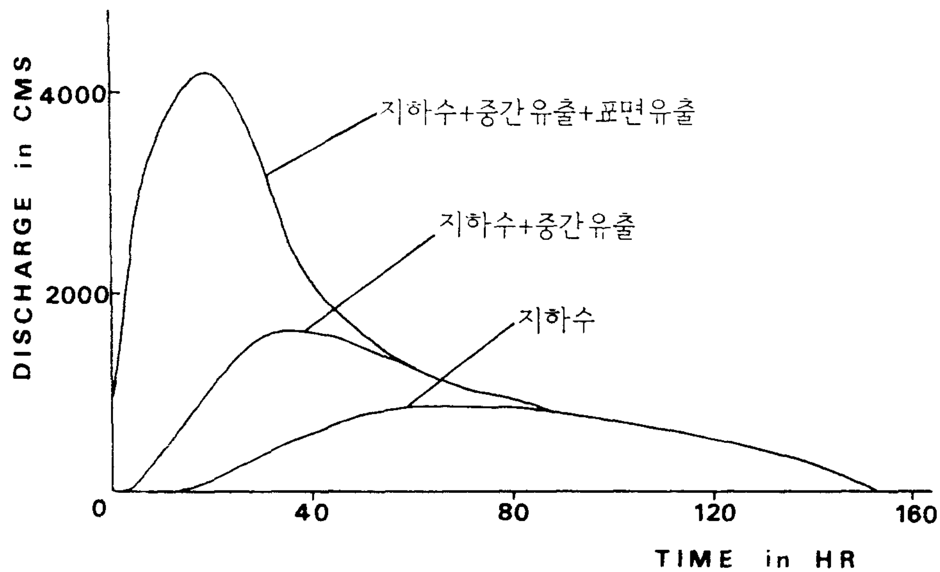

Fig. 3-3 TOTAL HYDROGRAPH in NAGDONG 1hr UNIT.

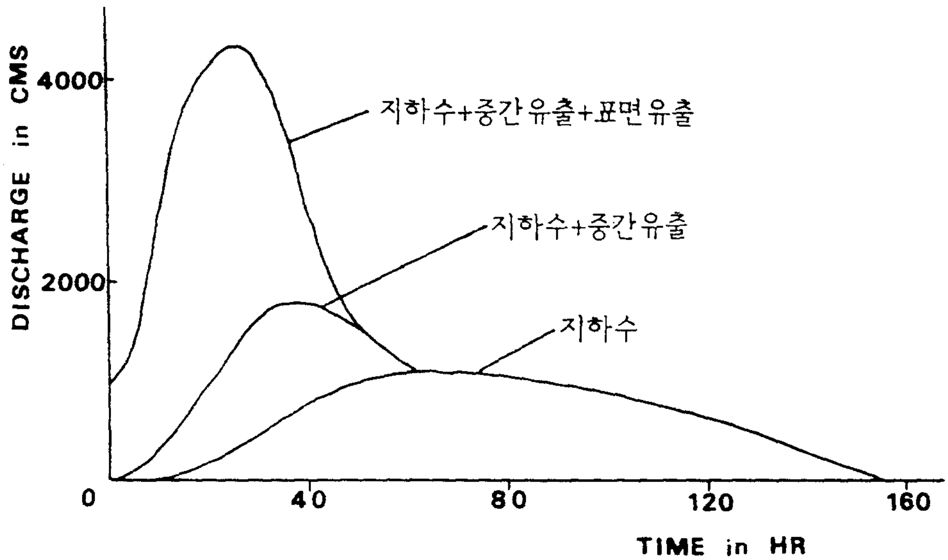

Fig. 3-5 TOTAL HYDROGRAPH at GONGJU 1hr UNIT.

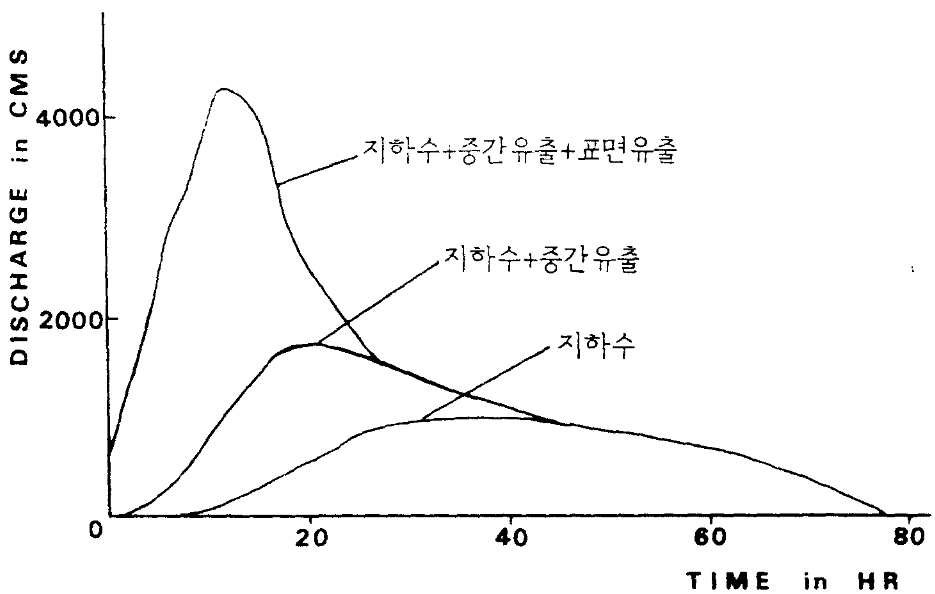

Fig. 3-6 TOTAL HYDROGRAPH at KYUAM 1hr UNIT.

河川水系流域	地点	Delta値	T_{c_1}	T_{c_2}	流出 次数			備考
					表面流出	中間流出	地下流出	
漢 江	驪州	2.1	28.7	38.4	3	6	8	
	清平	2.1	22.3	29.9	3	6	6	
洛東江	洛東	3.5	25.5	32.2	3	7	8	
	倭館	3.5	22.5	29.6	3	10	11	
錦 江	公州	3.1	17.4	24.1	5	6	6	
	窺岩	3.1	24.7	31.3	3	8	8	

表 3.1 各流域別 流出 分離 結果

4. 結 論

1. 流域을 構成하는 諸因子를 正確히 把握하여 流出成分을 分離하여야 하나 本 論文에서는 洪水 Hydrograph를 利用하여 表面, 中間, 地下 流出로 分離하여 流域特性을 究明하였음.
2. 降雨-流出關係는 物理系의 高周波数의 降雨라는 入力信号가 마치 流域이라는 低周波数 Filter를 通過하여 出力이 되는 流出量 關係와 恰似하므로 이것을 数學的으로는 spring-dashpot系의 微分 方程式으로 表現이 可能하기 때문에 이를 써서 片側 作用 数値 Filter를 設計하여 Hydrograph로 부터 地下水, 中間 및 表面 流出을 各各

分離 하였다.

3. 그리하여 流出 分離로 因하여 各 流出 成分이 線形化 되었으므로 各 流出成分은 Auto-Regressive coefficient 를 갖는 回歸 方程式으로 表現이 可能하며 線型의 各 流出 成分의 關係를 얻었다.

4. 앞으로 이와 같은 流出 成分이 流量 關係式을 土台로 하면 線形 Model 로서 活用이 可能하고 各 流域의 特性을 갖는 流出 關係 究明이 可能하다.

5. 現在 代表的인 洪水 Hydrograph 에서 判定된 各 流域의 特性은 다음과 같다.

   a) 漢江 및 錦江에 比하여 洛東江의 地下流出, 中間流出이 複雜한 流出 過程을 갖는다. (AR 係數의 次數가 많다.)

   b) 表面 流出에 있어서 錦江이 流出上 複雜한 것 같은데 資料를 다시 check 할 生覺이다.

REFERENCES

1) M. Hino : Run off forecasts by linear predictive filter, Journal of Hydraulics Division, ASCE, NO, HY3, March, 1970.

2) 橋本 健, 大西亮一砂田 憲吾, 藤野浩一 ; 確率 統計水文學(3) 非線形 流出 Model에 関한 研究, 日本 土木學会 論文集 第238号

3) 吉川 秀夫, 砂田憲吾. 구연, 순, 흥 ; 洪水 流量 逓減曲線의 特性을 考慮한 流出 Model에 関한 研究, 日本土木學会論文集 第 238号 3. 1979.

4) G.F. Pinder and J.F. Jones : Determination of the Groundwater component of peak discharge from the chemistry of total run off water Resources Research. Vol. 5. No. 2. April. 1969

5) R. Nakamura ; Run off analysis by electrical conductance of water. Journal of Hydrology, Vol. 14. 1971

6) J. J. Drake and D.C. Ford : Hydrochemistry of the Athabasaca and North saskachewan River in the Rocky Mountains of Canada Water Resources Reserch Vol. 10. No. 6. December 1974.

7) C. H. Kim : A study on the flood forecasting method considering Physical structure in the Rain fall Run off system : A thesese submitted in partial fulfilment of the requirments for the Doctor of Engineering in the Department of Civil Engineering in the Graduate Calledge of Tokyo Institude of Technology oct. 1983.