

特 輯 <洪水豫報의 오늘과 來日>

洪水豫報 模型

尹 泰 勳*

1. 머 리 말

水文豫報는 洪水被害를 감소시키는 효과적이고 중요한 방법으로 댐과같이 河川에 築造되는 構造物의 操作인 構造的手段(structural measures)에 필요할뿐만 아니라 待避와 洪水防禦와 같은 非構造的手段(nonstructural measures)에 매우 효과적이다. 後者は 最大水位와 到達時間, 流速, 危險水位의 지속기간, 침수범위등을 豫報하므로써 洪水被害를 감소시킬 수 있다. 이와 같은 水文豫報는 降雨 또는 豫測降雨로 부터 流出과 下流의 흐름을 豫測하는 것으로 이들 過程은 다음에 기술하는 洪水豫報模型에 의하여 수행된다.

2. 洪水豫報模型의 分類

洪水豫報模型은 流域의 既知의 조건, 降雨量과 河川流量, 豫測된 降雨量에 근거를 두어 洪水期間동안 河川流量과 水位를 豫報하기 위한 것이다. 이는 降雨量이 流出로 變換되는 水文循環의 한 部分으로 그중 降雨-流出過程은 그림 1에 보인 바와 같다.

그림 1에서 물은 수개의 잠정적인 貯溜構造(사각형으로 나타낸것)를 통하여 수송된다. 수송되는 물은 流域의 상태(草木被覆, 土壤)등과 濕潤상태(土壤水分含有量, 地下水貯溜能力)에 따라 좌우된다. 화살표의 굵기는 물의 수송과정에서 상대적인 크기를 나타낸다.

洪水豫報模型은 다음과 같이 분류될 수 있다.

- 1) 經驗的 模型
- 2) Black Box模型
- 3) 模擬 또는 過程模型

2.1 經驗的 模型(empirical models)

이는 가장 기본형의 模型으로 하나 또는 그 이상의 간단한 關係式으로 구성된다. 經驗的 模型은 物理的인 法則이나 水文循環을 나타내는 것이 아니다. 따라서 水文曲線보다는 尖頭流量의 크기가 문제가 된다. 이러

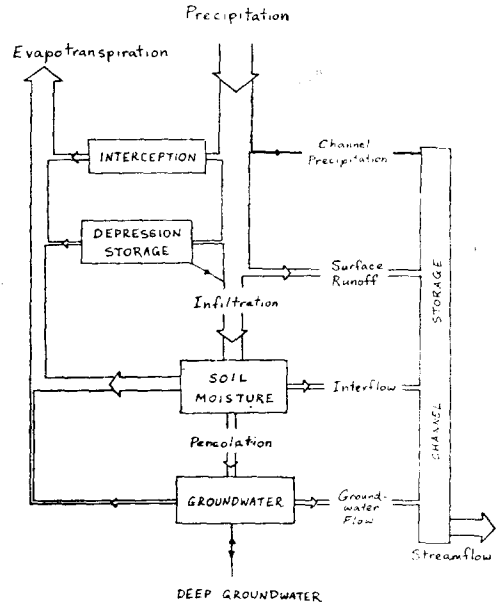


그림 1. 降雨-流出過程

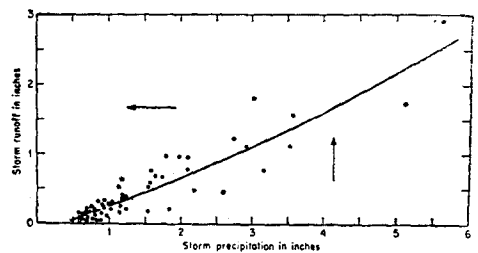


그림 2. 降雨-流出關係

한 模型은 과거의 豪雨와 流量자료의 回歸 및 相關解析에 의하여 유도된다. 주요 방법을 살펴보면 다음과 같다.

* 本學會 理事 漢陽大學校 土木工學科 敎授

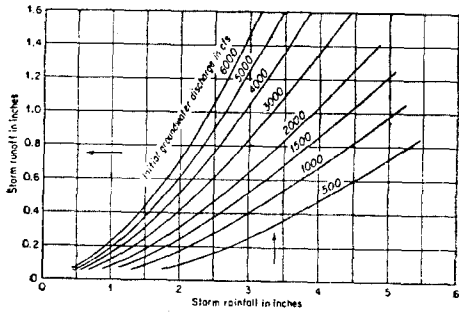


그림 3. 降雨—基底流量—流出關係

1) 2 또는 3變數를 포함한 相關

가장 간단한 關係式은 總降雨量과 洪水量(洪水位)이다(그림 2). 보다 개선된 關係式이 第三變數로 基底流

量이나 先行降雨指數 API를 도입하므로써 얻어진다(그림 3).

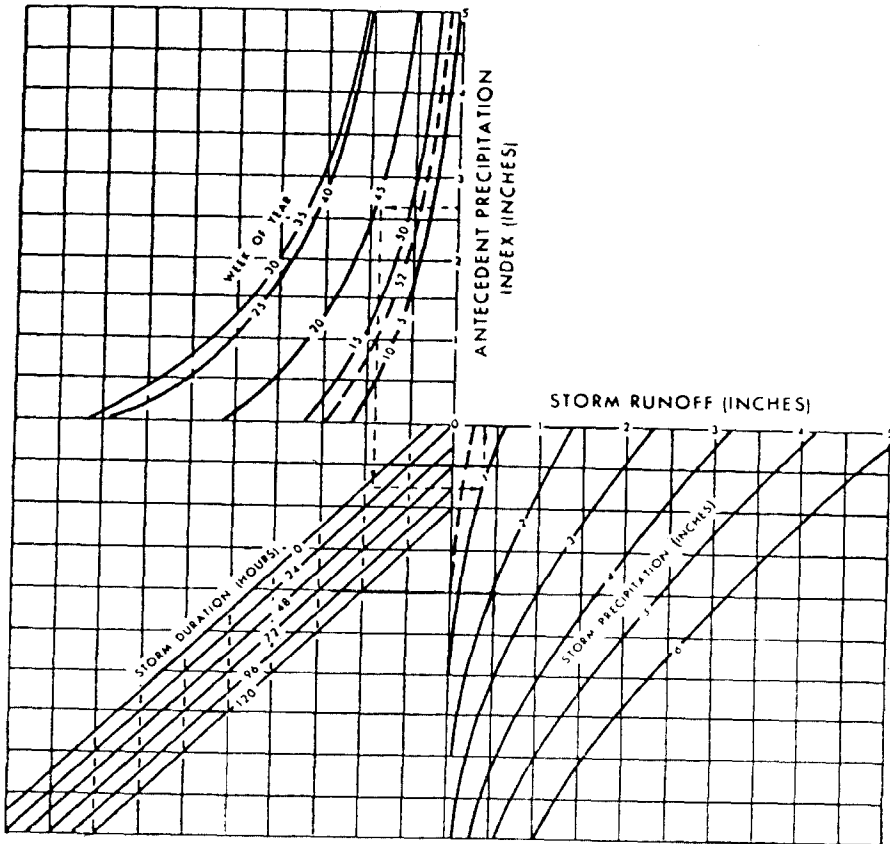
基底流量이나 API의 값이 크게 되면 土壤의 水分含量의 증가로 流出이 크게 된다.

2) 多變數에 對한 雙軸相關

3개 이상의 變數는 수개의 三變數關係를 雙軸關係로 조합하므로써 고려될 수 있다(그림 4). 그림 4에서 年中期間(週), 豪雨持續期間, 降雨量을 알므로써 流量을 推定할 수 있다. 單位圖의 적용이나 追跡을 가능하게 하기 위해서는 一定期間마다 累加降雨量에 대한 流出을 구하여 연속적으로 疊감으므로써 一定期間에 대한 流出增分을 계산할 수 있다.

2.2 Black Box模型

이는 降雨에서 流出이 일어나는 物理的인 過程을 구체적으로 다루지 않고 원칙적으로 入力과 出力에만 관



Operational Runoff Relation for the Monocacy River at Jug Bridge, Md.
(From Richards and Strahl (1969)).

그림 4. 流出關係

한 모형이다. 즉 入力과 出力만으로 부터 降雨을 流出로 變換시키는 應答函數(response function)를 유도한다.

1) 單位圖模型

水文學에서 洪水豫報 및 다른 목적으로 가장 널리 또한 많이 사용되는 模型으로 그림 5에 보여진다.

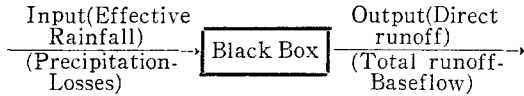


그림 5. 單位圖 Black Box

이 경우 應答函數는 1cm의 有效降雨量이 한 流域에 내렸을 때 유발되는 水文曲線으로 정의되는 單位流量圖(單位圖)로 豪雨로 인한 水文曲線을 구하는데 사용된다. 降雨-流出關係는 有效降雨量과 直接流出로 解析되며 이 관계는 그림 6과 7에서 설명된다.

單位圖는 과거의 降雨 및 流量資料에 의하여 유도되며 水文曲線의 모양은 상이한 豪雨로 부터 유도된 많은 單位圖를 같이 플랫폼하여 한 流域의 代表單位圖를 구한다. 또한 동일한 목적으로 無次元單位圖를 사용한다.

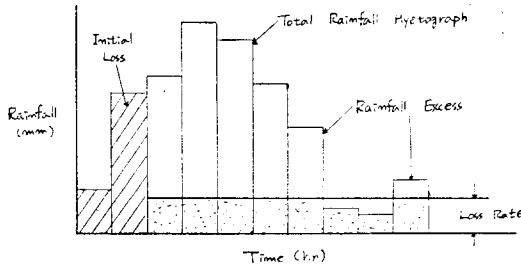


그림 6. 有效降雨量과 損失

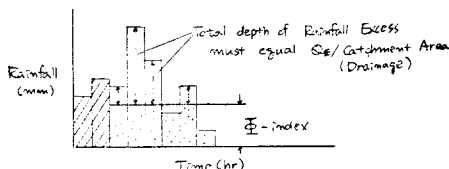
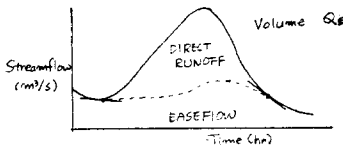


그림 7. 基底流出分離와 φ-指數法

直接流出을 구하는 과정은 有效降雨量을 遲滯시켜 單位圖의 縱거에 곱하여 더하는 것으로 다음 식으로 표시된다.

$$Q(t) = \int_0^t ER(\tau) U(T, t-\tau) d\tau \dots\dots\dots (1)$$

여기서 $Q(t)$ 直接流出 水文曲線의 從距

$ER(\tau)$ 有效降雨量

$U(T, t-\tau)$ T 時間 應答函數(單位圖)

2) 非線型模型

降雨-流出過程은 非線型이다. 따라서 보다 정확한 降雨-流出解析을 위하여 다수의 非線型模型이 시도되었으며 이들 대부분은 流域의 貯溜效果를 고려한 것이다.

貯溜量 S 와 流量 Q 의 非線型關係는

$$S = KQ^P \dots\dots\dots (2)$$

여기서 K, P 는 觀測資料로 부터 결정되는 常數이다. 指數 P 는 河道의 水理學的 性質에 관계되고 그 값은 일반적으로 1보다 작다. 계수 K 는 貯溜의 遲滯와 減衰效果를 나타낸다. 線型的 $S = KQ$ 에서와 같이 追跡을 통하여 流出水文曲線이 얻어진다.

3) 回歸分析

이는 설정된 관계식을 다수의 變數에 맞추는 것으로 流出은 降雨과 流域特性因子의 函數로 취급된다.

關係式이 線型일 경우

$$Q(t) = B_1R_1(t) + B_2R_2(t) + \dots\dots\dots + C_1P_1(t) + C_2P_2(t) + \dots\dots\dots + E \dots\dots\dots (3)$$

여기서 $Q(t)$ 는 시간 t 에서 流量

$R_1(t), R_2(t)$... 시간 t 에서 자지점의 降雨量

$P_1(t), P_2(t)$... 시간 t 에서 각 小流域의 媒介豫數

$B_1, B_2, \dots, C_1, C_2$... 回歸分析에서 결정되는 係數 E ; 誤差項

關係式이 非線型일 경우

$$Q(t) = B_{11}R_1(t) + B_{12}R_1(t)^2 + \dots + B_{1m}R_1(t)^m + B_{21}R_2(t) + B_{22}R_2(t)^2 + \dots\dots\dots + C_{11}P_1(t) + C_{12}P_1(t)^2 + \dots + E \dots\dots\dots (4)$$

이를 回旋積分으로 표시하면

$$Q(t) = \int_0^T h_1(\tau_1)R(t-\tau_1)d\tau_1 - \int_0^T \dots \int_0^T h_2(\tau_1, \tau_2)R(t-\tau_1)R(t-\tau_2)d\tau_1d\tau_2 + \dots + \int_0^T \dots \int_0^T h_r(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_r)R(t-\tau_1) \dots R(t-\tau_2)d\tau_1d\tau_2 \dots d\tau_r + \dots\dots\dots (5)$$

여기서 h 는 應答函數이고 T 는 資料의 수이다.

4) 기 타

Black Box模型으로 볼 수 있는 모형으로는 CLS模

型, 탱크模型 및 貯流函數模型을 들 수 있다.

2.3 模擬 및 過程模型(Simulation or Process Models)

이 부류의 模型은 降雨-一流出의 物理的인 過程을 模型化하는 점에서 Black Box模型과 다르다. 특히 模擬模型은 物理的過程이 時間에 따라 변하는 相互作用을 나타내는데 數學的인 表現을 開發適用하는 模型이다. 이들 模型은 貯溜構造와 이들을 연결하는 連結構造로 이루어진다. 貯溜構造의 크기와 貯溜構造間의 수송율은 媒介變數로 정의된다.

이의 예는 美陸軍工兵團에 의하여 湖水和 貯水池를 포함한 대규모 河川시스템을 다룬 Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation(SSARR) Model은 여러 가지 목적을 위한 模擬模型으로 洪水豫報, 貯水池設計에 사용되어 왔다.

Stanford大學에서 개발된 過程模型의 대표적이라 할 수 있는 Stanford Watershed Model은 34개의 媒介變數를 가지고 있다. 이를 개선한 模型이 Hydrocomp Simulation Program으로 이중 LANDS는 Stanford Watershed Model의 기본구조를, LIBRARY는 資料管理를 CHANNELS는 河道와 貯水池追跡에 사용된다.

Sacramento Model은 美國 National Weather Service에 의하여 개발된 洪水豫報模型이다.

2.4 組合模型

水文豫報模型의 대부분이 수개의 별개 모형을 조합하여 이루어진다. 예로 APIC模型은 다음과 같은 모형들로 구성된다.

- 1) 地下水減衰를 계산하는 관계식
- 2) 地下水 水文曲線의 유도
- 3) API형의 降雨-一流出雙軸關係
- 4) 單位圖

3. 비교적 많이 사용되는 洪水豫報模型

앞에서 분류 列擧된 模型들을 간단히 소개하면 다음과 같으며 상세한 開發 및 적용과정에 관해서는 참고문헌을 수록한다.

3.1 API模型

이 模型은 美國 氣象局에 의하여 개발 Linsley, Kohler, Paulhus⁽¹⁾에 의하여 기술된다. 이는 여러 關係式을 雙軸型으로 조합한 模型으로 신속한 流出算出을 가능하게 한다. 이들 關係式은 과거의 總降雨量과 流出을 分析하여 얻어졌으나 一定期間에 따라 예물들인 6시간마다 流出算出(有効降雨量)이 가능하다. 따라서 (6시간)單位圖를 적용하여 洪水水文曲線의 豫報를 가능하게 한다. 이 방법은 美國에서 널리 이용되어 왔으

며 Richards and Strahl⁽²⁾에 의하여 상술된다.

降雨-一流出過程에서 土壤水分의 영향을 고려하기 위하여 先行降雨指數(Antecedent Precipitation Index, API)가 사용된다. 이는 실제의 含水量이 아니라 流域 濕潤상태의 指數이다. API는 다음과 같이 정의된다.

$$API = b_1 P_1 + b_2 P_2 + \dots + b_i P_i \dots \dots \dots (6)$$

여기서 b_1, b_2, \dots, b_i 는 加重因子

P_1, P_2, \dots, P_i 는 문제 的 時點以前의 i 日間의 日降雨量

일반적으로 i 는 30을 초과하지 않는다. 여기서 降雨量은 Thiessen 방법등으로 구한 流域平均 降雨量이다. 因子 b_1, b_2, \dots, b_i 는 試算法으로 결정되나 無降雨期間 동안에 土壤의 水分은 時間의 경과에 따라 對數的으로 감소한다.

$$b_i = k^i \dots \dots \dots (7)$$

$$API_i = k^i API_{i-1} \dots \dots \dots (8)$$

$i=1$ 日이면

$$API_i = k API_{i-1} \dots \dots \dots (9)$$

여기서 k 는 減衰因子(recession factor)로 0.85~0.95의 값을 취하고 0.9가 많이 사용된다.

지난 i 日間に 降雨이 있을 경우에는

$$API_i = P_i + k API_{i-1} \dots \dots \dots (10)$$

API는 길이(mm)로 표시된다.

API의 初期値는 임의로 취해질 수 있으며 이 경우 기간은 충분히 길어야 한다. 0.9로 선정된 값은 필요에 따라 조정된다.

土壤含水狀態를 나타내는 API와 降雨持續期間, 年中時期, 降雨量, 流出間의 雙軸相關이 그림 4과 같다.

그림 4에서 API에서 시작하여 總降雨量에 대한 流出을 결정할 수 있다. 한편 前豪雨를 통하여 연속적인 시간 간격에 이 방법을 적용하므로써 각 시간 간격에 대한 流出增分을 연속적으로 계산된 總流出의 차이로써 구할 수 있다. API模型의 단점은 模型開發에 많은 수의 豪雨資料가 요구되는 점이다.

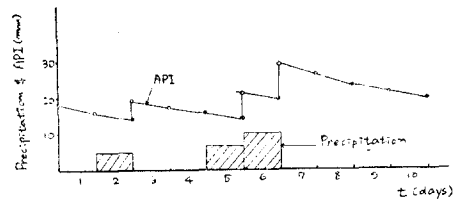


그림 8.

3.2. APIC模型

이 모델은 水文曲線의 直接流出은 API技法으로 구하여 單位圖를 이용하여 연속적인 河川流量을 算出한다. 이 모형에서 사용되는 API技法은 그림 9에서와 같이 상이한 降雨상황에서 거의 동일한 API값을 부여하는 점을 보완하기 위하여 API보다 낮은 減衰因子를 갖는 Retention Index를 도입한다.

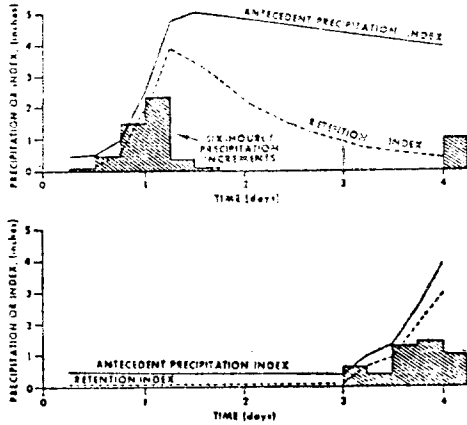


그림 9. API와 RI의 변화

이 모형에서는 동일한 시간 간격에서 유출을 계산하므로 API模型의 持續期間 象限은 필요없으므로 RI로 대체된다(그림 10).

地下水水文曲線은 直接流出水文曲線의 함수로 표시되며 流域의 地下水減衰係數를 구하는 과정도 포함한다. 따라서 APIC模型은 4개의 부분으로 구성된다.

1. 降雨—流出關係(수정 API模型)
2. 單位圖

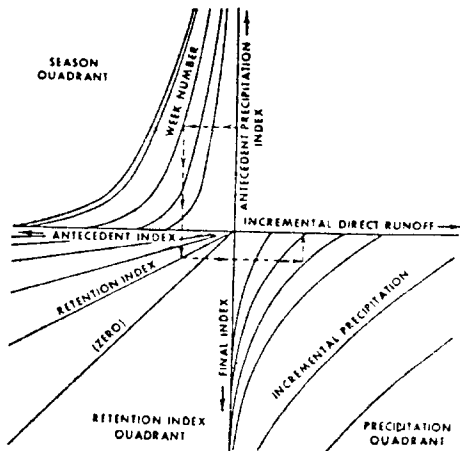


그림 10. 수정 API

3. 直接流出水文曲線의 函數로 地下水水文曲線의 표현

4. 地下水 減衰係數 算出 關係式

APIC모형에 관해서는 Sittner, Schaus, and Monro(3)에 의하여 상술된다.

3.3. CLS模型

Todini와 Wallis, Natales와 Todini(4,5,6)에 의하여 기술된 Constrained Linear Systems(CLS)模型은 河川流量과 降雨量간의 비교적 간단한 Black Box관계를 수립하는 정교한 回歸過程이라 할 수 있다.

사용되는 場本式은

$$Q=H_1U_1+H_2U_2+\dots+H_NU_N+E \dots\dots\dots(11)$$

여기서 Q는 出力인 河川流量의 行列

$$Q=\begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_m \end{pmatrix} \dots\dots\dots(12)$$

H는 入力 벡타의 行列로 N개의 각 入力은 이러한 行列로 구성된다.

$$H_i=\begin{pmatrix} P_i(1) \\ P_i(2) & P_i(1) \\ \vdots & \vdots \\ P_i(m-1) & P_i(m-2) \dots P_i(m-k+2) \\ P_i(m) & P_i(m-1) \dots P_i(m-k+1) \end{pmatrix} \dots\dots\dots(13)$$

$i=1, 2, \dots, N$

U는 衝擊應答函數(impulse response function)로 각 U는 k의 길이를 갖는다.

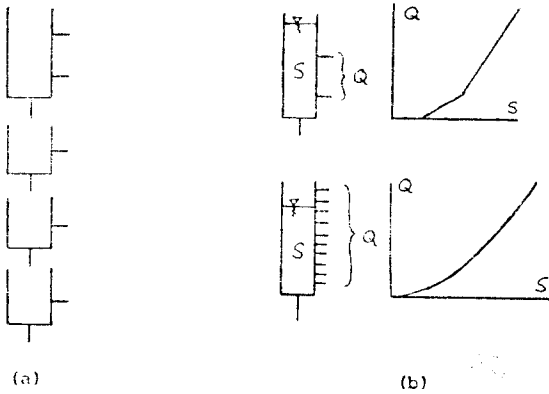
$$U_i=\begin{pmatrix} U_i(1) \\ U_i(2) \\ \vdots \\ U_i(k) \end{pmatrix} i=1, 2, \dots, N \dots\dots\dots(14)$$

E는 流量測定에서 수반되는 오차를 고려하기 위한 誤差項行列

$$E=\begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_m \end{pmatrix} \dots\dots\dots(15)$$

문제는 入力 자료로 부터 Q를 豫測할 수 있는 最適 U를 구하는 것이다. 가능한 실제에 부합되도록 U에 制約條件을 부여하여 U를 maximum likelihood, 最小自乘法, Bayesian방법 등으로 구한다.

모형을 檢定하는데에는 긴 Computer 프로그램을 요하나 洪水豫報과정은 비교적 짧고 Black Box로서 작동되므로 자료에 대한 制約이 적다. 즉 降雨量과 河川流量記録만을 필요로 하며 CLS모형의 개선이 진행되고 있다. WMO의 비교연구(7)에 의하면 복잡한 형태로 토양수분을 고려한 過程模型인 SSARR模型과 Sacramento모형과 대등한 結果를 제공한다.



(a)

(b)

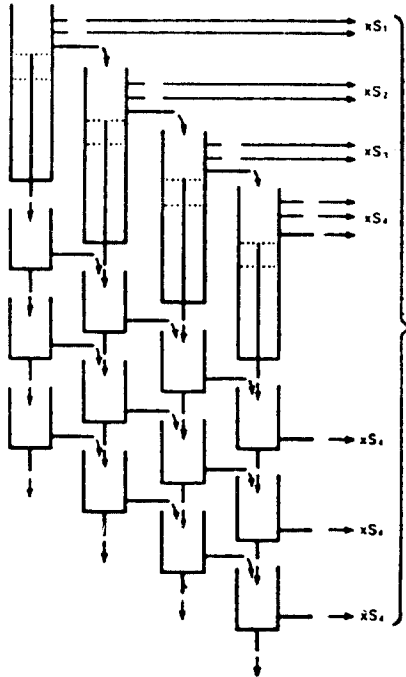


그림 11 탱크 모델

(c)

그림 11. 탱크模型

3.4. Tank模型

이 模型은 Black Box방법과 過程模型의 結合형으로 Sugawara^(8,9)에 의하여 개발되었다. 이는 탱크의 수와 배치형태를 여러가지로 조합하여 강우-유출과정을 모형화한다. 측면의 出口는 流出율, 바닥의 出口는 浸透를 나타낸다. 이들 流出과 浸透는 土壤層에 貯留되어 있는 水量의 함수로 취해진다. 측면 出口의 수와 배치를 조정하므로써 상이한 貯溜量-流出, 貯溜量-

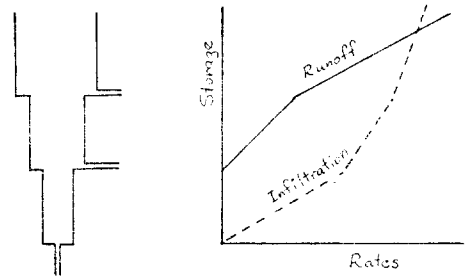


그림 12. 貯溜量 關係

浸透曲線을 얻을 수 있다. 그림(11)은 貯溜量과 排出量간에 주어진 關係를 얻기 위하여 탱크의 排出口의 수를 얼마로 해야 하는가를 보여준다. 降雨流出過程이 합당하게 模型化 될때까지 상이한 탱크깊이와 排出率을 변화 조정하여 시스템을 檢證한다.

乾燥地域에서는 流域의 土壤水分貯溜量의 變化를 고려하기 위하여 탱크를 直列 및 並列로 배치하는 보다 복잡한 모형을 사용한다(그림 11). 토양수분저류는 탱크의 바닥層으로 하여 排出되지 않고 蒸發散에 의해서만 감소되도록 한다. 河道追跡도 貯溜模型에 의한다.

基本原理는 流出율 $q(t)$, 浸透量을 $i(t)$ 라 하면 이들은 貯溜高의 함수이므로

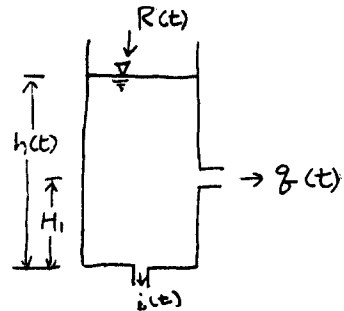


그림 13. 貯溜高와 流出의 關係

$$q(t) = (h(t) - H_1)\lambda_1 \dots \dots \dots (16)$$

$$i(t) = h(t)\lambda_2 \dots \dots \dots (17)$$

$h(t) > H_1$ 이라 고려할때 貯溜高 $h(t)$ 의 變化율(連續方程式)은

$$R(t) - q(t) - i(t) = \frac{dh}{dt} \dots \dots \dots (18)$$

위의 關係式으로부터 q 와 i 에 關하여 풀으므로써 降雨入力에 關한 流出율 計算할 수 있다.

3.5. SSARR模型

SSARR(Streamflow Synthesis and Reservoir

Regulation)模型은 1957년부터 사용되어 왔으며 Rockwood⁽¹⁰⁾와 美陸軍工兵團 North Pacific Division⁽¹¹⁾에 의하여 기술된다.

이 모형은 그림 14에 보인 바와 같이 대규모流域內에서 小流域의 降雨-流出反應을 模擬하기 위한 確定論的 過程模型이다. 상이한 小流域으로부터 流出이 合流되어 河道를 따라 追跡된다.

이 模型은 貯水池의 操作도 포함하고 각 구성 小流域에 대해서 다음 變數들이 명시되어야 한다.

- 1) 雨量觀測所와 相對的인 加重因子
- 2) 表로 주어지는 土壤含水指數(Soil Moisture Index, SMI)와 流出比率(runoff percent, ROP)관계, 여기서 SMI는 蒸發散을 포함한 물 收支關係式으로 계산된다.
- 3) 月別表로 작성된 平均蒸發散能(cm/day)을 표시하는 蒸發散指數(Evapotranspiration Index, ETI)
- 4) 降雨率의 함수로 표시되는(表) 蒸發散有效度因子(Evapotranspiration effectiveness factor, KE)
- 5) 基底流量浸透指數(Baseflow Infiltration Index, BII)와 基底流入量百分率(Base Inflow Percentage, BFP)와의 關係表, BII는 基底流出로 취급되는 流出部分으로 물 收支式으로 계산된다.
- 6) Baseflow Infiltration Time-of-storage Delay Factor(TSBII)(hr)

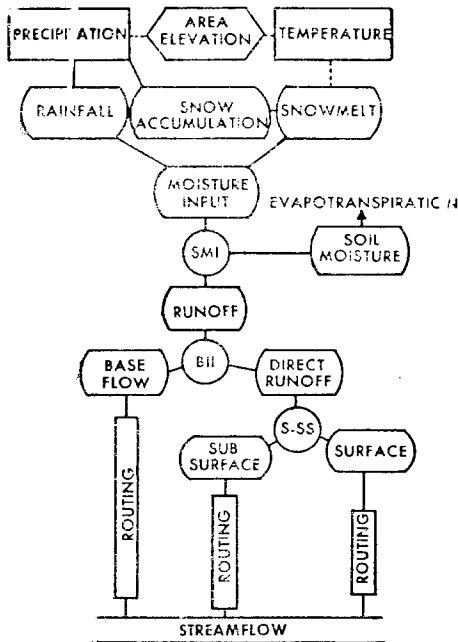


그림 14. SSARR模型

7) 總流出에서 基底流出을 제한 直接流出을 다시 地表流出과 地表下流出의 分離關係

8) 地表, 地表下 및 基底流出追跡의 流域貯溜追跡係數

9) 流域面積(km²)

地表, 地表下 및 基底流出은 각각 貯溜追跡을 거쳐 합류하여 河川流量을 제공한다. 이들 3流出 追跡하는 追跡媒介變數는 그 到達時間이 다르게 된다. 즉 基底流出에 대한 時間이 제일 길어서 貯溜時間의 代表적인 比는 80 : 40 : 1이다.

流域과 河道의 追跡過程은 그림 15와 같다. 貯水池에 대한 貯溜와 河道와 湖水에서 背水效果도 포함된다. 다른 過程模型에서와 같이 과거의 자료를 이용하여 媒介變數의 算出을 위하여 模型이 檢證되고 試算法으로 算出된 媒介變數에 수정이 가해진다.

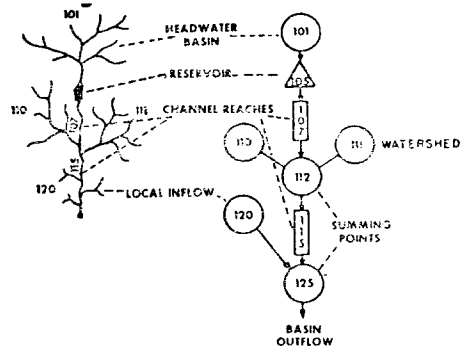


그림 15. SSARR模型의 追跡過程

3.6. Sacramento模型

Sacramento River Forecast Center Hydrologic (SRFCH) Model 또는 간단히 Sacramento模型은 美國 National Weather Service와 California 水資源局에 의하여 개발되어 美國 National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA에 의하여 National Weather Service River Forecasting System (NWSRFS)이라는 模型으로 사용되어 Burrash⁽¹²⁾와 Monro⁽¹³⁾에 의하여 기술된다. 有效降雨量을 산출하는데 土壤水分만을 고려하는 점이 SSARR模型과 다르다. 산출된 有效降雨量은 水路시스템에 의하여 追跡된다.

본 모형의 구조는 그림 16과 같으며 上下部含水層이 정의되고 다시 장력수(tension water)와 자유수(free water)로 구분된다. 豪雨가 시작하면 不透水層部分은 직접 流出에 기여하고 透水層에 내린 降雨은 上部層의 地表貯溜와 毛管水를 대표하는 張力水에 침입한다. 張力水層이 채워지면 물은 上部層의 自由水層에 유입하여 地表流出, 中間流出 또는 下部層에 유입한다. 下部

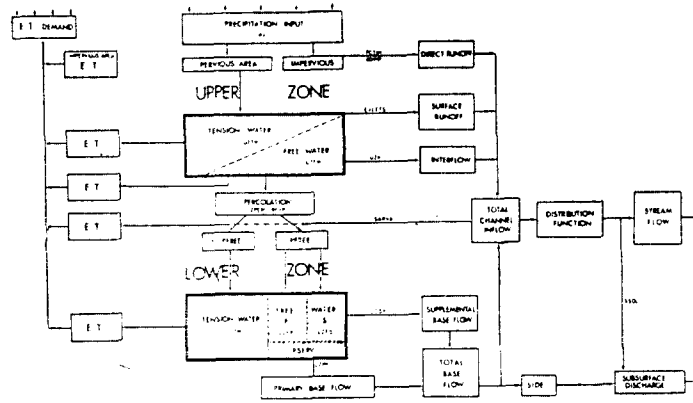


그림 16. Sacramento模型

層은 張力水와 自由水로 구분되고 이들은 基底流出을 형성한다.

모형의 媒介變數는 一次로 水文曲線의 分析과 流域特性으로 부터 구해지고 計算値와 觀測値의 차이를 최소로 하도록 試算法등으로 수정된다.

3.7 貯溜函數模型

이 방법은 Kimura⁽¹⁴⁾에 의하여 개발된 非線型 Black Box型 模型으로 模型의 媒介變數는 과거의 降雨, 流出記錄만으로 부터 試算法으로 구해진다. 현재 漢江流域의 洪水豫警報 시스템에 적용되고 있는 모형은 貯溜函數방법이다.

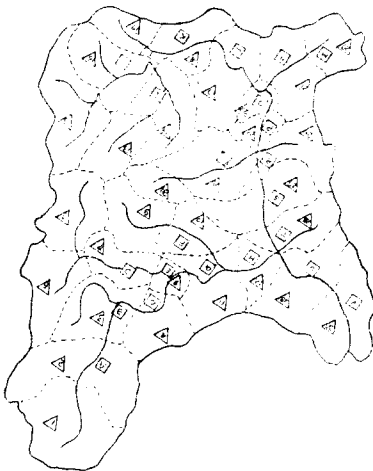


그림 17. 漢江流域 流出模型의 流域分割

非線型貯溜模型에서 貯溜量과 流量과의 관계는 流域과 河道에 같이

$$S = KQ^P \dots\dots\dots (19)$$

여기서 S는 貯溜量, Q는 流量, K, P는 流域과 河道에 따라 결정되는 상수이다.

이 모형은 土壤水分條件에 따르는 流出現象을 모형에 포함시키기 위하여 降雨損失이 많고 流出이 작은 降雨初期 現象을 나타내는데 流域의 一部面積에서만 流出이 일어나는 것으로 표시하고(이 부분의 面積을 流出域이라 하고 나머지 面積을 浸透域이라함) 降雨가 계속하여 浸透率이 거의 일정하게 될때 까지의 總降雨量인 飽和雨量에 달하면 流域의 모든 부분에서 流出이 일어나는 것으로 해석한다.

이를 나타내는 식은

$$Q = 0.28f_1Aq + 0.28(1-f_1)Aq_{s0} + Q_B \dots\dots\dots (20)$$

여기서 f_1 은 一次流出率로 降雨初期에서는 f_1A 에 해당하는 面積에서만 流出이 일어난다. q 는 單位面積에 대한 流出의 깊이, q_{s0} 는 飽和雨量 이후의 降雨에 의한 單位面積에 대한 流出깊이, Q_B 는 基底流出이다.

이 모형의 檢證과 豫測過程은 全流域을 그림 17과 같이 小流域(10~1000km²)과 河道區間(10~1000km)로 분할한다.

각 小流域과 하도구간에 대하여 模型을 檢證하는 과정은

1) 과거 降雨, 流出記錄으로 부터 일정기간에 대한 降雨量과 流出量의 比로 $f = \int_{t_1}^{t_2} Q dt / \int_{t_1}^{t_2} R dt$ 를 계산한다.

2) 降雨-一流出記錄과 f 를 이용하여 試算法으로 流域과 河道區間에 대한 K, P를 산출한다.

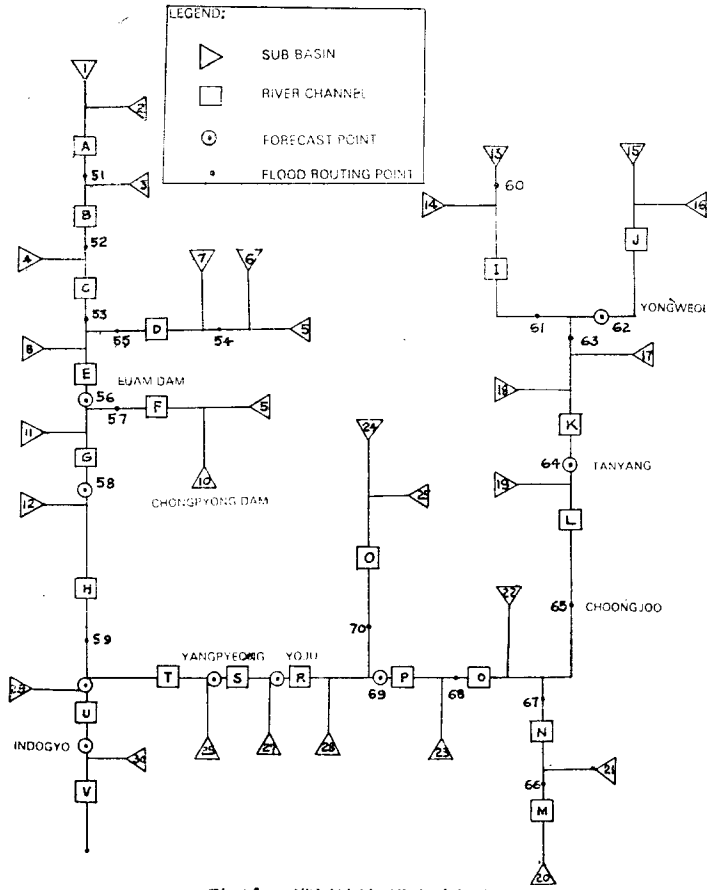


그림 18. 漢江流域 洪水豫報模域

3) 流域에 貯溜追跡을 수행하여 一次流出率 f_1 과 飽和雨量 R_{s0} 를 구한다.

模型이 檢證되면 豫測을 수행하는 과정은 流域의 流出域과 浸透域에서 流出을 式 20으로 계산하고 이를 河道를 따라 追跡하여 下流에서 다른 小流域의 流出을 합하여 豫報地點까지 같은 모형으로 追跡해간다.

參 考 文 獻

1. Linsley, R.K., Kohler, M.A. and Paulhus, J. L. H.-"Applied Hydrology". McGraw-Hill, 1949.
2. Richards, Marshall M. and Strahl, Joseph A. -"Elements of River Forecasting". National Weather Service, Silver Spring, Md, 1969.
3. Sittner, W.T., Schauss, C.E. and Monroe, J.C.-"Continuous Hydrograph Synthesis with an API-type Hydrologic Model". Water Resources

- Research, Vol.5, No.5, 1007-1022, 1969.
4. Todini, E. and Wallis, J.R.-"Using CLS for daily or longer period rainfall-runoff modeling" in "Mathematical Models for Surface Water Hydrology" ed. T. Ciriani Proceedings of Workshop held at IBM Scientific Center, Pisa, Italy, 1974, Wiley, 1977.
5. Martelli, S., Todini, E. and Wallis, J.R.-"CLS : Constrained Linear Systems", in "Mathematical Models for Surface Water Hydrology". (Proceedings of the Workshop, IBM, Pisa, Dec., 1974) ed. T.A. Ciriani et al, Wiley, 1977.
6. Natale, Luigi and Todini, Ezio-"A Constrained Parameter Estimation Technique for Linear Models in Hydrology" in "Mathematical Models for Surface Water Hydrology". ed. T.

- Ciriani et al, Proceedings of Workshop, IBM Scientific Centre, Pisa, Italy, 1974, Wiley, 1977.
7. World Meteorological Organisation-"*Intercomparison on Conceptual Models Used in Operational Hydrological Forecasting*". Operational Hydrology Report No. 7 Secretariat of WMO, Geneva, Switzerland, 1975.
 8. Sugawara, Masami-"*Runoff Analysis and Water-Balance Analysis by a Series Type Storage*". International Hydrology Symposium, Fort Collins, Sept. 1967.
 9. Sugawara, M. et al-"*Tank Model and Its Applications to Bird Creek, Wollombi Brook, Bilkin River, Kitsu River, Sanaja River and Nam Mune River*". National Research Centre for Disaster Prevention, Research Note No.11, Tokyo, 1974.
 10. Lockwood, D.M.-"*Application of Streamflow synthesis and reservoir regulation-SSARR program to lower Mekong River*". IASH Symposium, Tucson, Arizona, December, 1968, No. 80, p.329-344.
 11. US Army Engineer Division, North Pacific-"*Program Description and User Manual for SSARR, Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation*," Portland, Oregon, Sept. 1972.
 12. Burnash, R.J.C., Ferrall, R.L. and McGuire, R.A.-"*A Generalised Streamflow Simulation System: Conceptual Modelling for Digital Computers*." U.S. Department of Commerce, National Weather Service and State of California, Department of Water Resources, Sacramento, California, 1973.
 13. Monro, J.C.-"*Direct search optimization in mathematical modelling and a watershed model application*". NOAA Tech. Memo NWS HY-DRO-12, US Dept. of Commerce, Silver Spring, Md. 1971.
 14. 流出計算例題集 2, 日本國 建設省 水文研究會 昭和 46年.