

## 流域의 地形學的 因子에 기초한 遲滯時間의 算定과 流出豫測

Lag Time Estimation and Runoff Prediction Based on the Geomorphologic Parameters

全 敏 遇\* · 趙 元 喆\*\* · 李 元 煥\*\*\*  
Chon, Min Woo · Cho, Won Chul · Lee, Won Hwan

### Abstract

A runoff model is established for the direct runoff hydrograph at the watershed outlet. The watershed is divided into subareas bounded by watershed lines of stream segment. Different storage elements are used to represent the subareas which simply translate rainfall excess to runoff and transmit flow from an upstream areas. For transmit, the relationship between flowsection and runoff is expressed by the exponential function to represent the nonlinearity of lag time, and the relationship between flowsection and stream length is expressed by the 1st order equation to represent the effect of the travel length. The parameters of lag time can be obtained by stream magnitude and the effective rainfall is routed through the main stream. Application of the model to the Bochung river basin gives accurate results, especially for the peak runoff and peak time, and is approved to be used for the prediction by stream magnitude of small watershed having no runoff records.

### 要 旨

流域의 貯蓄效果와 河道에서의 平行移動效果를 고려하여 流域에서의 遲滯時間을 결정하였으며, 平行移動效果는 流域의 非線型性을 나타내기 위하여 흐름단면적과 유출량의 관계를 指數函數로 표시하였고, 水路길이의 영향을 고려하기 위하여 흐름단면적과 하도거리와의 관계를 1次式으로 표시하였다.

遲滯時間에 관한 媒介變數들을 水路網크기로 부터 결정하였으며, 水路線分에 의하여 형성되는 小流域內의 有效降雨를 本流河道를 통하여 貯水池 追跡을 실시함으로써 錦江水系內의 支流인 報青川流域의 山域과 其大地點에서의 直接流出을 豫測하였다.

\*正會員·忠北大學校 工科大學 副教授, 土木工學科

\*\*正會員·延世大學校 工科大學 副教授, 土木工學科

\*\*\*正會員·延世大學校 工科大學 教授, 土木工學科

## 1. 緒 論

시간과 공간적으로 多變性을 갖는 유역의 수문학적 거동은 氣象 및 地形學的 因子的 영향을 받아 매우 복잡한 物理的 過程을 형성하게 된다.

이와 같은 物理的 過程을 究明하기 위하여는 복잡한 模型이 요구되나 降雨-流出模型이 복합할수록 이의 解析上 요구되는 物理的 過程이 過多해지므로 결정적 要素들이 무시되는 경향이 있다. 그러므로 降雨-流出解析은 일반적으로 物理的 過程에 근거를 둔 單純化한 概念的 模型에 의하여 模擬되며 대표적인 예로서 貯水池 追跡模型을 들 수 있다.

유역내의 有效降雨로 인한 流出은 유역 및 河道에서의 貯留작용을 받아 流域出口에서의 直接流出으로 나타난다. 이와 같은 개념은 流出水文曲線의 유도를 위한 貯水池 追跡模型의 기초가 되어 왔으며, 일반적으로 單一 貯水池要素<sup>(1)</sup>로 구성되는 간단한 構造를 갖거나, 一連의 貯水池要素들<sup>(2, 3)</sup>, 또는 水路網(stream network)으로 구성되는 貯水池要素들<sup>(4)</sup>의 구조를 갖는다.

流域特性을 水路網 크기(stream magnitude)에 의하여 定量的으로 분석한 것은 Shreve<sup>(5)</sup>에 의하여 처음 시도되었으며, 전체유역을 水路線分으로 형성되는 小流域으로 분할하였다. 각 小流域은 單一 貯水池要素로 구성하여 水路網으로 연결되며 각 貯水池要素에서의 有效降雨는 水路網을 통하여 추적된다.

貯水池模型에 적용되는 貯留量과 유출량의 관계는 遲滯시간으로 특성지어지며, 遲滯시간은 地形學的, 수문학적 특성에 따라 다양하게 변화한다. Boyd<sup>(6)</sup>는 水路網에 의하여 구성되는 貯水池要素들을 流水의 集合과 排水의 두 가지 기능으로 분리하여 外部小流域(exterior link)과 內部小流域(interior link)으로 나누었다. Boyd 등<sup>(7)</sup>은 모든 貯水池要素에서의 貯留效果와 平行移動效果가 균일하다고 보아 遲滯시간을 유량의 함수로 나타내어 遲滯시간의 非線型性을 논하였으며 常數들을 관측치와의 最適化 過程에 의하여 결정하였다. Bell 등<sup>(8)</sup>은 非線型 貯水池模型의 媒介變數를 水路網크기에 의하여 결정하였으며, Brent 등<sup>(11)</sup>은 水路線分들(stream segment)을 서로 독립적이고 균등하게 분포된 무작위변수로 가정하여 확률이론을 도입함으로써 瞬間단위도를 유도하였다.

본 연구에서는 內部小流域에서의 遲滯시간에 관한 非線型性을 나타내기 위하여 흐름단면적과 유출량의 관계를 指數函數로 표시하였으며, 하도거리에 따른 遲滯시간의 변화를 나타내기 위하여 흐름단면적과 하도거리와의 관계를 1차식으로 표시하였다.

遲滯시간에 관한 媒介變數들을 水路網크기와 相關分析을 함으로써 同一 流域內 임의의 지점에서의 遲滯시간을 水路網크기로부터 결정할 수 있도록 하며, 임의의 小流域에서의 有效降雨를 本流河道를 통하여 貯水池追跡을 실시함으로써 流域出口에서의 유출을 예측하였다.

본 연구는 다음과 같은 가정하에서 이루어졌다.

(1) 각 小流域에서의 流出體積은 小流域 面積에 비례한다<sup>(10)</sup>.

(2) 임의의 두 유량관측지점에서의 流域面積比는 流出量比와 같고, 흐름단면적比는 水路網크기의 比와 같으며, 流出量比는 水路網크기의 比와 같다.

$$(A_2/A_1 = Q_2/Q_1, Y_2/Y_1 = \mu_2/\mu_1, Q_2/Q_1 = \mu_2/\mu_1)$$

## 2. 貯水池 追跡模型

集水流域을 개념적인 貯水池로 간주하면 각 貯水池는 遲滯시간으로 특성지어지며, 遲滯시간은 有效降雨와 직접유출 수문곡선의 質量中心 사이의 시간으로서 정의된다.

單一 集中 貯水池要素에 대하여, 貯留量 S와 유출량 Q의 관계는 식 (1)과 같은 線型式으로 표시되며, 연속방정식은 식 (2)와 같다.

$$S = KQ \quad (1)$$

$$I - Q = dS/dt \quad (2)$$

여기서 I는 流入量이며 K는 貯留常數로서 遲滯시간을 나타낸다. 식 (1)과 식 (2)로부터 식 (3)의 流出追跡 방정식을 얻는다.

$$K \frac{dQ}{dt} + Q = I \quad (3)$$

有效降雨와 직접유출 수문곡선에 관한 質量中心 사이의 시간을 측정함으로써 遲滯시간은 결정되며, 임의의 流入量에 대한 流出量이 계산된다. 그러나 이와같은 流出追跡은 遲滯시간을 알고 있는 單一 集中貯水池의 경우에만 적용 가능한 것이다. 流域이 둘 이상의 貯水池要素로 구성되어 있는 경우의 貯留常數와 遲滯시간의 관계를 地形學的 因子인 水路網크기를 도입함으로써 결정하고자 한다.

### 3. 流域構造

流域內 水路 接合點間의 區域을 小流域으로 보아 水路線分에 따라 小流域으로 나누었으며, 流水의 集合과 排水의 두가지 기능을 고려하여 두종류의 小流域으로 분류하였다.

(1) 外部 小流域(exterior link)-流域 境界面에서 流入이 없는 小流域으로서 1次하천을 의미하며, 小流域內에서 발생하는 有效降雨는 出口에서 直接流出로 변환된다. 이와 같은 小流域은 전체유역과 地形學的으로 유사하다.

(2) 內部小流域(interior link)-上流로부터 流入을 갖는 小流域으로서, 上流로 부터의 流入量이 內部 小流域 本流를 통하여 平行移動되는 成分과 內部小流域內의 有效降雨를 흡하여 出口에서의 流出을 형성한다.

外部小流域에서는 貯留效果 그리고 內部小流域에서는 貯留效果와 平行移動效果가 고려된다. 본 연구에서는 外部小流域과 內部小流域을 식 (3)으로 표시되는 線型 저수지요소들로 나타내었으며 水路網에 의하여 저수지요소들을 연결하여 水路網 크기에 의하여 각 遲滯時間을 결정하였다.

### 4. 水路網模型의 遲滯時間

有效降雨로 인한 水路網模型의 전체 遲滯時間은 n개의 저수지요소에 대한 직접유출을 수문곡선의 1次 모멘트를 重疊하여 有效降雨量으로 나누어서 계산된다. 流域內 임의요소 m에 대하여, 出口에서의 직접유출 수문곡선의 1次 모멘트  $M_m^1$ 은 有效降雨量과 전체 遲滯時間의 곱과 같다.

저수지요소 m의 전체 遲滯時間은 하나의 貯留效果  $KB_m$ 과 유출이 出口로 이동할 때 통과하는 J개의 內部小流域에 의한 平行移動效果  $KI_i$ 의 합과 같다.

$$M_m^1 = A_m P_m (KB_m + \sum_{i=1}^J KI_i)$$

여기서  $A_m$  = 저수지요소 m의 小流域 面積

$P_m$  = 저수지요소 m의 有效降雨量

$M_m^1$ 을 有效降雨量으로 나누고, 出口까지의 연속적인 貯水池들에 대하여 일반화 하면 식 (4)와 같다.

$$Lag = \frac{\sum_{m=1}^n A_m P_m KB_m + \sum_{i=1}^J KI_i (\sum_{m=1}^n A_m P_m)}{\sum_{m=1}^n A_m P_m} \quad (4)$$

여기서  $\sum A_m P_m$ 은 m번째 內部小流域 上流의 전체 水路線分에 대한 직접유출체적의 합을 의미한다.

n개의 溪流(1次하천)를 갖는 水路網은 n개의 外部小流域과 (n-1)개의 內部小流域으로 구성되며 (2n-1)개의 小流域을 갖는다. 그러므로 식 (4)는 다음과 같이 표시된다.

$$Lag = \frac{\sum_{m=1}^{2n-1} V_m KB_m + \sum_{i=1}^{n-1} KI_i \cdot \sum_{m=1}^{2n-1} V_m}{\sum_{m=1}^{2n-1} V_m} \quad (5)$$

여기서 J = 內部小流域의 저수지요소

$V_m$  = m번째 저수지요소에서의 流出體積

식 (5)에서  $\sum KI_i$ 는 J번째 內部小流域 上流의 모든 貯水池에 대한 流出體積의 합을 의미한다.

전체 유역면적 A는 外部小流域 面積  $A_e$ 와 內部小流域 面積  $A_i$ 의 합이며,  $V_m$ 은 식 (5)의 분모, 분자의 線型子로서 작용하므로 기본가정(1)에 의하여 면적에 관계되는 比例常數는 相殺되어  $V_m$ 은 면적으로 표시된다<sup>(6)</sup>. 그러므로 外部小流域 面積 및 內部小流域 面積을 각각의 平均面積을 사용하면, 外部小流域에 대하여는

$$V_m = \frac{A_e}{n} = a_e$$

內部小流域에 대하여는 다음과 같다.

$$V_m = \frac{A_i}{(n-1)} = a_i$$

따라서 식 (5)는 기본가정(1)에 의하여

$$Lag = \frac{1}{A} [ \{ n \cdot KB_e \cdot a_e + (n-1) \cdot KB_i \cdot a_i \} + \sum_{i=1}^{n-1} KI_i \{ a_e \mu_i + a_i (\mu_i - 2) \} ] \quad (5a)$$

로 표시된다.

여기서  $KB_e$  = 外部小流域에서의 流域遲滯時間

$KB_i$  = 內部小流域에서의 流域遲滯時間

$\mu_i$ 는 J번째 內部小流域에서의 水路網크기이며, 水路網크기  $\mu$ 인 內部小流域은  $\mu$ 개의 外部小流域과 ( $\mu-2$ )개의 內部小流域으로 부터 上流流出을 갖는다.

#### 4.1 流域遲滯時間(KB)의 결정

流域內의 강우는 流域特性因子的 영향을 받아 流域出口에서 유출로 나타난다. 그러므로 流域과 流出間의 相互作用은 流域의 遲滯時間과 地形學的

因子間の 相關性을 기대할 수 있으며, Laurenson<sup>(6)</sup>과 Askew<sup>(12)</sup>는 獨立變數로서 平均流出量을 사용한 반면에, Askew<sup>(12)</sup>는 平均流出量과 流域面積을 사용하여 相關分析을 하였다.

洪水時 流速은 流域內에서 거의 一定하게 유지되며<sup>(6)</sup>, 임의지점에서 洪水時의 流下시간은 수로길이에 비례하고, 수로길이는 流域面積과 相關性을 갖으므로 본 연구에서는 流域面積을 獨立變數로 하여 식 (6)과 같이 나타내었다.

$$KB = uA^v \quad (6)$$

여기서 A는 流域面積, u와 v는 媒介變數이다.

流域內 外部小流域과 內部小流域에서의 流出變換過程은 전체유역과 地形學的으로 類似하므로 강우-유출자로부터 관측된 遲滯時間이 外部小流域과 內部小流域의 貯水池要素들에 대한 遲滯時間을 결정하는데 사용될 수 있다. 그러므로 관측된 遲滯時間으로부터 결정된 常數 u, v를 內部小流域과 外部小流域에 대하여 적용하면 식 (7)과 같다.

$$KB_e = u a_e^v$$

$$KB_i = u a_i^v \quad (7)$$

#### 4.2 平行移動時間(KI)의 결정

內部小流域에서 本流를 따라 流水의 平行移動時間을 나타내는 KI는 유출량과 水路의 物理的 特性에 지배를 받는다. Boyd<sup>(7)</sup> 등은 이와 같은 KI를 식 (8)과 같이 非線型式으로 표시하여, 平均流出量과 遲滯時間의 관계로부터 變數를 결정하였다.

$$KI = d A^t Q^g \quad (8)$$

본 연구에서는 수로길이의 영향을 고려하여 水路網크기로 부터 KI를 결정할 수 있도록 하였으며, KI의 非線型性을 나타내기 위하여 흐름단면적 Y와 유출량 Q의 관계를 식 (9)와 같이 표시하였다. 本流水路의 길이를 L이라 하고 임의의 수로길이 X에 따른 흐름단면적 Y가 直線的으로 변화한다고 가정하여 식 (10)으로 나타내었다.

$$Y = a Q^b \quad (9)$$

$$-Y = a_1 + b_1 X \quad (10)$$

$$-\int Y dX = S = a_1 X + \frac{b_1 X^2}{2} + S_0$$

$$X=0 : a_1 = -Y_0 = -a(0) Q_0^{b(0)}$$

$$X=L : a_1 + b_1 L = -Y_L = -a(L) Q_L^{b(L)}$$

$$b_1 = \frac{1}{L} [a(0) Q_0^{b(0)} - a(L) Q_L^{b(L)}]$$

X=L에서는 S=0이므로 다음식이 얻어진다.

$$a_1 L + \frac{b_1}{2} L^2 + S_0 = 0$$

$$S_0 = -a_1 L - \frac{b_1}{2} L^2$$

$$= \frac{L}{2} [a(0) Q_0^{b(0)} + a(L) Q_L^{b(L)}]$$

$$= \frac{L}{2} a(0) Q_0^{b(0)} \left[ 1 + \frac{a(L) Q_L^{b(L)}}{a(0) Q_0^{b(0)}} \right]$$

$$= \frac{L}{2} a(0) Q_0^{b(0)} \left[ 1 + \frac{Y_L}{Y_0} \right]$$

$$KI_0 = \frac{S_0}{Q_0} = \frac{L}{2} a(0) Q_0^{b(0)-1} \left[ 1 + \frac{Y_L}{Y_0} \right]$$

여기서 첨자 0와 (0)은 本流河道 出口點에서의 값이며, 첨자 L과 (L)은 出口로부터 上流 河道거리 L지점에서의 값을 의미한다.

이와 같은 KI를 本流의 上流 小流域에 적용하기 위하여 L대신 內部小流域의 수로길이  $\ell$ 을 사용하고 기본 가정(2)를 적용하면, J번째 內部小流域에서의 KI는 식 (11)과 같이 표시된다.

$$KI_J = \frac{\ell_J}{2} a(J) (Q_J)^{b(J)-1} \left[ 1 + \frac{\mu}{\mu_J} \right] \quad (11)$$

流域 出口點에서의 유출량을 구하기 위하여 기본 가정(2)로부터  $Q_J = Q_0 \cdot \mu_J / \mu_0$ 가 되어 식 (11)은 식 (12)로 된다.

$$KI_J = \frac{\ell_J}{2} a(J) (Q_0)^{b(J)-1} \left[ \frac{\mu_J}{\mu_0} \right]^{b(J)-1} \left[ 1 + \frac{\mu}{\mu_J} \right] \quad (12)$$

식 (10)의 흐름단면적과 河道거리와의 관계를 2次式으로 가정한 경우는 식 (13)과 같으며, 3次式의 경우는 식 (14)와 같다.

$$KI_J = \frac{\ell_J}{3} a(J) (Q_0)^{b(J)-1} \left[ \frac{\mu_J}{\mu_0} \right]^{b(J)-1} \left[ 2 + \frac{\mu}{\mu_J} \right] \quad (13)$$

$$KI_J = \frac{\ell_J}{4} a(J) (Q_0)^{b(J)-1} \left[ \frac{\mu_J}{\mu_0} \right]^{b(J)-1} \left[ 3 + \frac{\mu}{\mu_J} \right] \quad (14)$$

여기서 a(J)와 b(J)는 식 (15) 및 식 (16)의  $\mu$ 에 관한 相關式으로부터 결정되며,  $\alpha_1, \alpha_2$  및  $\beta_1, \beta_2$ 는 常數이다.

$$a(J) = \alpha_1 \mu_J + \beta_1 \quad (15)$$

$$b(J) = \alpha_2 \mu_J + \beta_2 \quad (16)$$

#### 4.3 流出追跡 方程式의 數值解

임의의 有效降雨에 대하여, 流入量은 식 (3)에 의하여 각 貯水池要素를 통하여 追跡된다. 內部小流域에 대하여, 上流로 부터의 유출은 河道를 통하여 追跡되며, 內部小流域內 有效降雨의 變換流出을 더하며, 이와 같은 계산을 本流 最上流 要素로 부터 流域出口까지 수행한다.

식 (3)을 追跡期間  $\Delta t$ 에 대하여 差分式으로 표시하면

$$Q_2 = (I_1 + I_2) \left[ \frac{\Delta t}{2K_2 + \Delta t} \right] + Q_1 \left[ \frac{2K_1 - \Delta t}{2K_2 + \Delta t} \right] \quad (17)$$

여기서 첨자 1, 2는 追跡期間의 시작과 끝의 값을 의미하며  $\Delta t$ 는 觀測資料의 時間間隔을 나타낸다.

非線型系의 경우에 K는 Q에 따라 변하므로 식 (14)는 反復解法으로 구해져야 한다. 계산된  $Q_2$ 와 前段階의  $Q_2$ 와의 誤差가 1%내에 들면 그 追跡期間에 대한 계산을 마친다.

### 5. 適 用

#### 5.1 對象流域 및 資料

河道에서 流水의 平行移動時間을 고려한 遲滯時間을 水路網크기에 기초하여 결정하므로써 未計測流域에서의 유출을 예측하고자 하며, 對象流域으로서 錦江水系內의 支流인 報靑川流域을 선정하였다.

報靑川流域에서는 5개 지점에서 流速, 흐름단면적 및 流量이 관측되고 있으나 그중 炭釜지점 上流에는 유역면적 5.2 km<sup>2</sup>의 貯水池가 존재하여 분석에서 제외하였다. 1983~1988의 IHP보고서<sup>(45)</sup>에 수록된 실측자료를 분석에 사용하였으며, 本流의 水位觀測 지점중 山城과 其대지점에서의 유출을 예측하므로써 實測値와 비교 검토하고자 한다.

報靑川 流域圖는 그림 1과 같으며 1/25000의 地形圖로 부터 얻은 水路網과 그 크기를 표시하였다.

#### 5.2 流域遲滯時間(KB)의 결정

外部小流域과 內部小流域에서의 有效降雨를 變換시키는 遲滯時間 KB는 직접 유출 수문곡선과 有效降雨의 質量중심간의 시간을 측정하므로써 결정하였다.

1983~1988년의 강우-유출자료로 부터 測定된 流域 平均遲滯時間은 표 1과 같다.

유역면적과 平均 遲滯時間의 相關分析 결과는 식 (18)과 같으며 그 결과를 그림 2에 나타내었다.

$$\overline{Lag} = 4.8150 A^{0.1638} \quad (18)$$

여기서  $\overline{Lag}$ 는 流域의 平均遲滯時間으로서 각 觀測地點別로 획득된 遲滯時間의 平均치를 의미한다.

$a_1$ 와  $a_2$ 는 각각 外部小流域 및 內部小流域의 平均面積으로서 각각 임의 20개의 小流域面積을 구하여 平均치를 계산하였으며 그 결과 山城유역에서는  $a_1 = 0.330 \text{ km}^2$ ,  $a_2 = 0.215 \text{ km}^2$  그리고 其大유역에서는  $a_1 = 0.530 \text{ km}^2$ ,  $a_2 = 0.301 \text{ km}^2$ 로 나타났다.

그러므로 外部小流域과 內部小流域에 대한 平均流域遲滯時間은 식 (19) 및 식 (20)과 같이 결정되었다.

山城流域:

$$KB_0 = 4.015 (hr)$$

$$KB_1 = 3.743 (hr)$$

(19)

其大流域:

$$KB_0 = 4.339 (hr)$$

$$KB_1 = 3.955 (hr)$$

(20)

#### 5.3 平行移動時間(KI)의 결정

水路網크기에 따르는  $a$ ,  $b(Y = aQ^b)$  값을 결정하기 위하여 1983~1988년간의 흐름단면적과 流出量의 實測値를 사용하여 相關分析을 하였으며 그 결과는 표 2와 같다.

水路網크기와  $a$  및  $b$ 값과의 관계를 그림 3에 나타내었으며 결정된 相關式은 식 (21)과 같다.

$$a = 2.5515 + 0.0184\mu$$

$$b = 0.6454 - 0.0003\mu$$

(21)

#### 5.4 流出水文曲線의 豫測

식 (12)의 KI값은 流出量 Q에 따라 변화하는 非線型式으로서 식 (17)에서 流出量은 反復解法으로 구해져야 한다. 計算初期  $Q_0$ 는 有效降雨量을 사용하며, 그 이후는  $\Delta t$ 시간 전의 流出量  $Q_{t-1}$ 을  $Q_0$ 로 사용하여 KI를 계산한다.

식 (17)로 부터 계산된  $Q_2$ 와의 誤差가 1% 내에 들지 않으면 前段階  $Q_2$ 와의 平均치를 구하여 다시 反復 計算한다.

이와 같은 계산과정을 山城流域과 其大流域에 적용하여 예측된 直接流出 水文曲線을 實測値와 함께 그림 4에 比較하였으며 尖頭時間과 尖頭流量을 잘 일치하고 있음을 알 수 있으며 減水部 後尾에서의 誤差는 追跡流量이 零이 될 수 없는 식 (17)

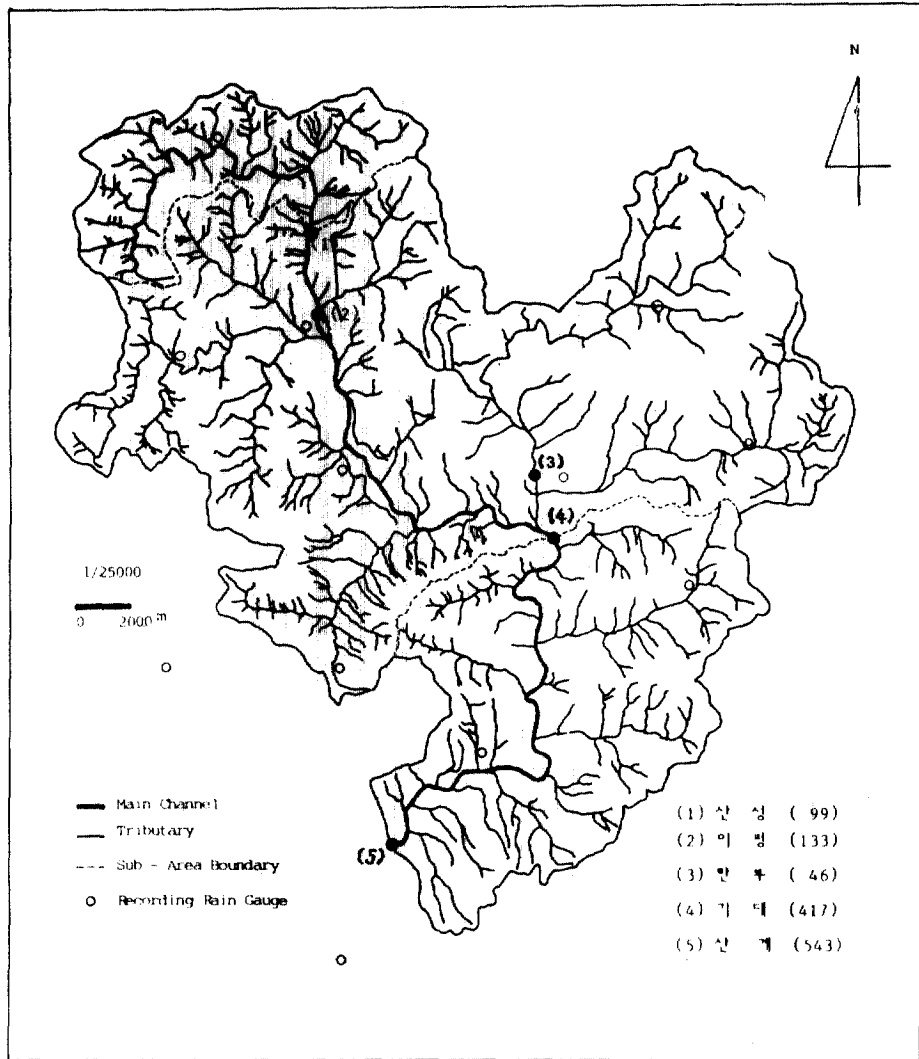


그림 1. 報青川 流域圖：水路網크기 및 水路網構成.

표 1. 地形學的 因子 및 遲滯時間

流域名	유역면적 km <sup>2</sup>	수로경사	水路網크기	수로길이 km	강우사상	平均遲滯時間 (hr)	標準偏差 (hr)
山城	53.7	0.0055	99	13.05	13	9.62	2.62
梨平	79.5	0.0047	133	15.95	15	9.40	2.33
其大	346.5	0.0032	417	31.75	28	12.49	2.75
山溪	475.6	0.0032	543	51.25	10	13.38	2.78

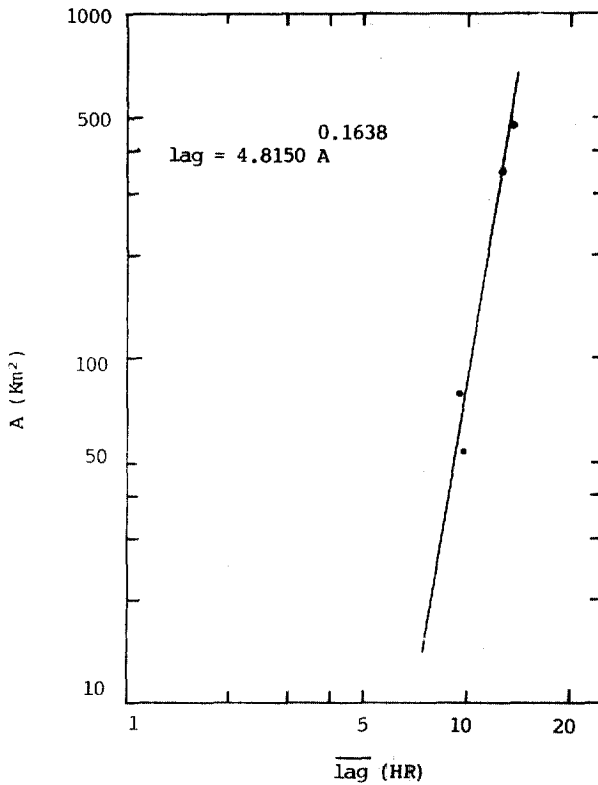


그림 2. 流域面積과 平均 遲滯時間의 관계곡선.

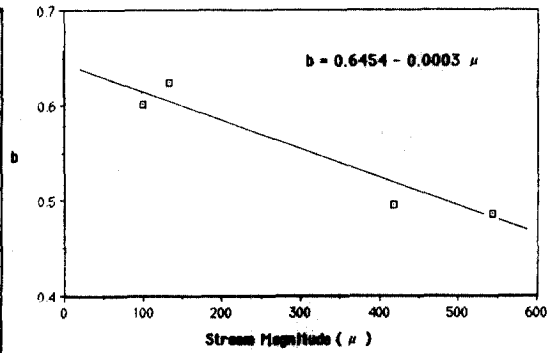


그림 3. 2 b-μ의 관계곡선

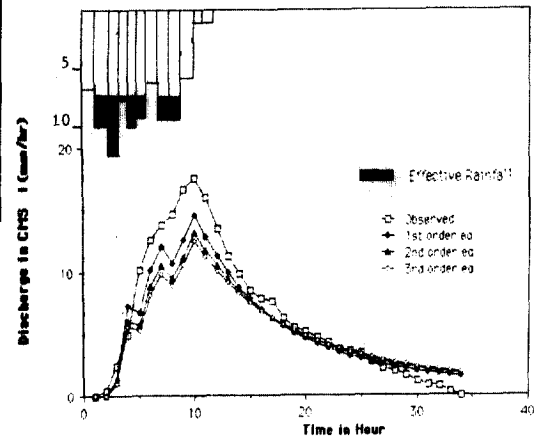


그림 4. 1 流出水文曲線の 비교(山城, 1983. 6.19).

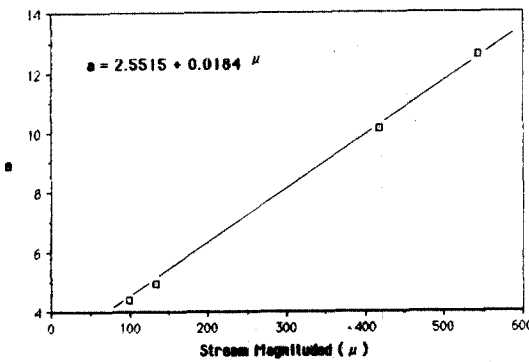


그림 3. 1 a-μ의 관계곡선

표 2 Y-Q(Y=aQ^b)의 相關分析 결과

流域名	a	b	相關係數
山城	4.4294	0.6014	0.957
梨平	4.9661	0.6233	0.940
其大	10.1250	0.4968	0.907
山溪	12.6112	0.4865	0.907

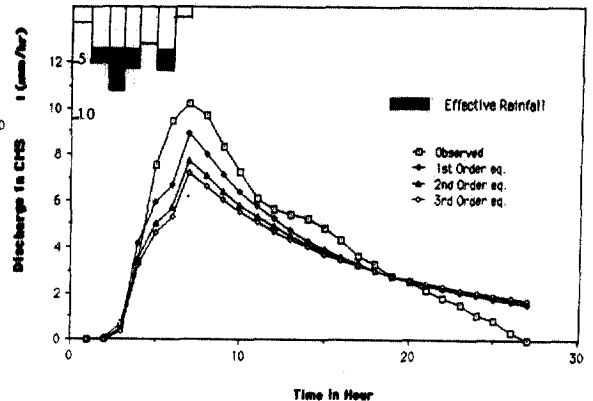


그림 4. 2 流出水文曲線の 비교(山城, 1987. 8. 7).

서 流出을 豫測한 결과를 그림 4에 비교하였으며, 尖頭流量時의 遲滯時間과 觀測值로 부터 결정된 平均 流域遲滯時間을 표 3에 나타내었다.

표 3. 遲滯時間의 비교

流域名	강 우 발생일	尖頭流量 (CMS)	尖頭流量 時의 遲滯 時間(hr)	觀測平均 遲滯時間 (hr)
山城	1983. 6.19	14.57	5.21	7.61
	1983. 8.23	11.64	5.38	12.08
	1987. 8. 7	8.94	5.49	8.45
其大	1983. 6.19	136.17	5.60	13.42
	1985. 9.18	225.43	5.45	10.12
	1987. 6. 1	62.56	6.20	15.19

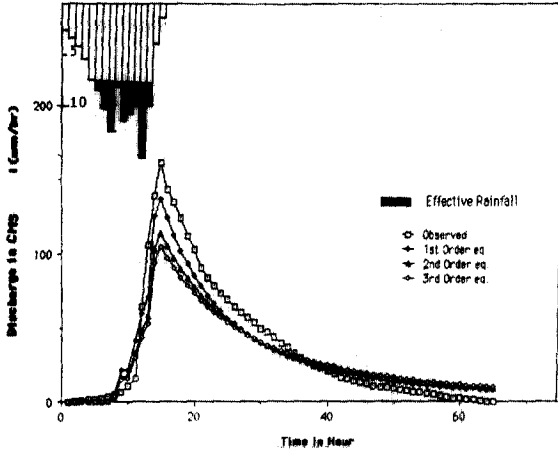


그림 4. 3 流出水文曲線의 비교(其大, 1983. 6. 19).

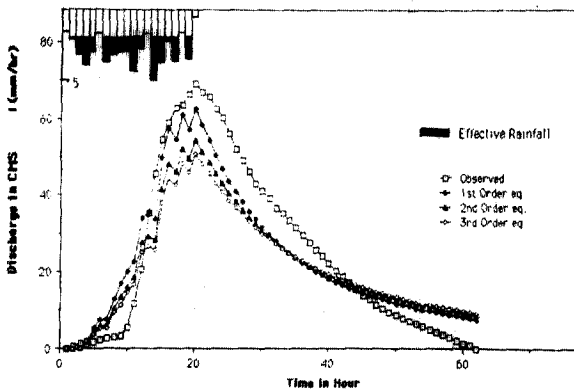


그림 4. 4 流出水文曲線의 비교(其大, 1987. 6. 1).

의 특성이라 생각된다.

直接流出의 分離는 Kennedy 등<sup>(6)</sup>에 의하여 적용된 바 있는 傾斜急變點法을 이용하였으며, 실용성을 고려하여 減水部의 유량을 半代數紙에 나타내어 傾斜急變點까지 直線으로 分離하였으며 이때의 有效降雨量의 分離는 一定比 損失雨量法을 적용하였다.

## 6. 結果分析

임의지점에서 流域出口點까지의 수로길리와 흐름단면적을 1次式, 2次式 및 3次式으로 가정하므로

일반적으로 多次式  $Y=b+cX^n$ 에서 2次式과 3次式은 1次式에 비하여 수로길이 X인 지점에서의 흐름단면적 Y는 급격히 증가하며, 또한 3次式은 2次式에 비하여 더 급격히 증가한다. 이와 같은 흐름단면적 Y의 증가는 貯留量 S의 증가를 의미하며, 식 (2)의  $I-Q=dS/dt$ 에서 일정한 流入量 I에 대하여 貯留量이 증가하면 流出量은 감소한다. 이와 같은 관계로 부터 同一한 流入量에 대하여 1, 2, 3次式에 대한 流出量을 비교하면 1次式의 경우에 流出量이 가장 크게 되고 2, 3次式의 순서로 流出量이 작게 나타난다. 이와 같은 현상은 그림 4에서 확인되고 있으며, 山溪流域에서는 수로길리에 따른 흐름단면적이 대체로 급격히 변하지 않는 1次式에 따르면 山城, 梨平 및 其大流域에서는 3次式에 따른다고 생각된다.

非線型 貯水池模型에서 河道貯留만을 고려한 경우<sup>(7)</sup>의 예측결과와 본 연구의 결과를 그림 5에 비교하였으며, 이때의 有效降雨는 Hino<sup>(8)</sup>의 有效降雨 逆推定法을 사용하여 획득한 것이다. 河道貯留와 流域貯留를 同時에 고려한 본 연구의 결과가 더 實測值에 접근함을 알 수 있으므로 본 연구의 결과는 同一 流域內 未計測地點에서 水路網크기에 의하여 媒介變數들을 결정하므로서 流出을 豫測할 수 있으리라 판단된다.

## 7. 結 論

본 研究는 流域의 地形學的 因子인 水路網크기,



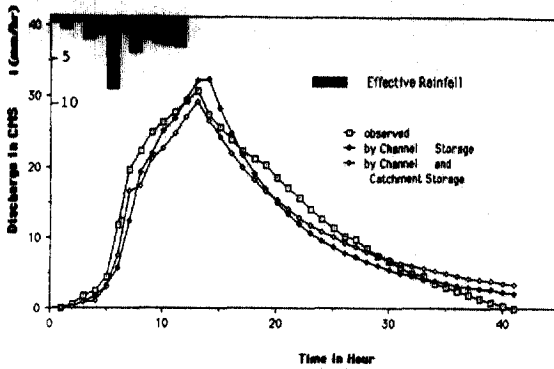


그림 5.1 流出水文曲線の 비교(山城, 1964. 7. 11).

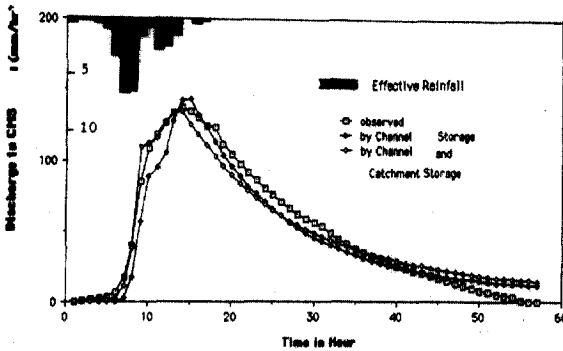


그림 5.2 流出水文曲線の 비교(其大, 1967. 6. 7).

흐름단면적 및河道거리에 기초하여 非線型的 準經驗的인 遲滯時間을 決定하므로써 同一流域內 임의지점에서의 流出을 예측하는 模型을 확립한 것으로, 본 模型을 報青川流域에 적용한 결과는 다음과 같다.

(1) 河道에서의 遲滯時間을 水路網크기의 函數로 나타내므로써 同一流域內 未計測 地點에서 보다 精確한 流出을 豫測할 수 있었으며, 특히 尖頭時間과 尖頭流量은 實測値와 잘 일치함을 확인하였다.

(2) 遲滯時間의 媒介變數인  $a$ 와  $b(Y=aQ^b)$ 는 水路網크기와 相關係數가 0.97이상의 높은 相關을 나타내었으며, 平均遲滯時間과 流域面積의 相關係數역시 0.98인 높은 相關을 보여주었다.

(3) 河道貯留와 流域貯留를 동시에 고려한 결과,

흐름斷面積과 河道거리와의 關係를 1次式으로 假定한 경우가 2次式 및 3次式의 경우보다 實測値에 接近하였다.

### 參考文獻

1. Clark, C. O., "Storage and the Unit Hydrograph", *Trans. ASCE*, Vol. 110, pp.1419-1446, 1945.
2. Nash, J. E., "On the Instantaneous Unit Hydrograph", *Inter. Assoc. Sci., Hydrol. pub.*, Vol. 45(3), pp.114-121, 1957.
3. Laurenson, E. M., "A Catchment Storage Model for Runoff Routing", *J. Hyd.*, (2), pp.141-163, 1964.
4. Mein, R. G., Laurenson, E. M., McMahon, T. G., "Simple Nonlinear Model for Flood Estimation", *J. Hydraul. Div., ASCE*, 100(Hy 11), pp.1507-1518, 1974.
5. Shreve, R. L., "Infinite Topologically Random Channel Networks", *J. Geol.*, (75), pp.178-186, 1967.
6. Boyd, M. J., "A Storage-Routing Model Relating Drainage Basin Hydrology and Geomorphology", *W. R. R.*, Vol. 14(5), pp.921-928, 1978.
7. Boyd, M. J., Pilgrim, D. H., Cordery, I., "A Storage Routing Model Based on Catchment Geomorphology", *J. Hyd.*, (42), pp.209-230, 1979.
8. Bell, F. C., Vorst, P. C., "Geomorphologic Parameters of Representative Basins and Their Hydrologic Significance", Australian Water Resources Council Tech. Paper No. 58, 1981.
9. Strahler, A. N., "Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks", In: V. T. Chow, *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill, N. Y., pp.4.39-4.76, 1964.
10. Smart, J. S., "Comment on 'A Storage-Routing Model Relating Drainage Basin Hydrology and Geomorphology' by Boyd, M. J.", *W. R. R.*, Vol. 15(4), pp.985-987, 1979.
11. Brent, M. T., Michael, R. K., "Unit Hydrograph Approximations Assuming Linear Flow Through Topologically Random Channel Network", *W. R. R.*, Vol. 21(5), pp.743-754, 1985.
12. Askew, A. T., "Derivation of Formulae for Variable Lag Time", *J. Hyd.* 10, pp.225-242, 1970.
13. Askew, A. T., "Variation in Lag Time for Natural Catchments", *J. Hydraul. Div., ASCE*, 96(Hy 2), pp.317-330, 1970.
14. Pilgrim, D. H., "Isochrones of Travel Time and Distribution of Flood Storage from a Tracer Study on a Small Watershed", *W. R. R.*, Vol. 13(3), pp.587-595, 1977.

15. 建設部, 國際水文開發計劃(IHP), 代表試驗流域 研究調查 報告書, 1983-1988.
16. Kennedy, R. J., Watt, W. E., "*The Relationship Between Lag Time & the Physical Characteristics of Drainage Basins in Southern Ontario*", Inter. Assoc. Sci. Hydrol. Pub. 85, pp.866-874, 1967.
17. 李元煥, 全敏遇, "水路網크기를 利用한 流出模型", 大韓土木學會論文集, 第9卷 第2號, 83-90, 1989.
18. 日野 幹雄, 長谷部 正彦, "水文流出解析", 森北出版株式會社, 1985.

(接受: 1989. 8. 10)