

## 선형 이산화 입력-출력 모형에 의한 유출해석

Runoff Analysis Using the Discrete,  
Linear, Input-Output Model

곽기석\* · 강인식\*\* · 정연태\*\*\* · 강주복\*\*\*\*

Kwak, Ki Seok · Kang, In Shik · Jeong, Yeon Tae · Kang, Ju Bok

## Abstract

It is difficult to make an exact estimate of the peak discharge or the runoff depth of flood and establish the proper measure for the flood protection since the water stage or discharge has been nearly measured at most medium or small river basins. The objective of this study is to estimate parameters of the discrete, linear, input-output model for medium or small river basin. The On-Cheon River basin in Pusan was selected for the study area. The runoff data used in the study has been observed since June 1993, and the effective rainfall was determined using the storage function method. The parameter sets of the discrete, linear, input-output model were estimated using the least squares method and the correlation function method, respectively. The calculated hydrographs by the discrete, linear, input-output model regenerated the observed outflow hydrographs well, and also the simulated flood hydrograph was comparable to the observed one. Therefore, it is believed that the discrete, linear, input-output model is simpler than other runoff analysis methods, and can be applied to a medium or small river basin.

## 요 지

대부분의 중소규모 하천 유역에서는 수위 또는 유량 등의 실측자료가 빈약한 상태이기 때문에 홍수시의 유출량을 정확히 추정하고, 홍수피해를 경감시키기 위한 적절한 대책을 세우기가 매우 어려운 실정이다. 본 연구에서는 부산지방에 위치한 온천천 유역을 대상으로 하여 중소 하천 유역에 대한 선형 이산화 입력-출력 모형의 매개변수를 추정하고자 하였으며, 1993년 6월부터 실측한 유출량 자료와 저류함수법에 의해 산정한 유효강우량을 사용하여 선형 이산화 입력-출력 모형의 매개변수를 최소자승법과 상관함수법에 의해 추정하였다. 선형 이산화 입력-출력 모형에 의한 유출 수문곡선은 실측 수문곡선을 잘 재현한 것으로 나타났다. 또한 추정된 매개변수와 강우자료만을 사용하여 모의발생시킨 수문곡선 역시 실측 수문곡선과 잘 일치함을 알 수 있었다.

\* 정희원 · 부산대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\* 정희원 · 부산대학교 공과대학 강사

\*\*\* 정희원 · 부산전문대학 토목과 조교수

\*\*\*\* 정희원 · 부산대학교 공과대학 토목공학과 교수

# 1. 서 론

근년에 들어서 경제의 고도 성장에 따른 인구의 도시집중으로 인하여 도시 주변에서는 급격한 개발이 진행되고 있다. 이 때문에 자연 유수지의 역할을 하던 유역의 보수기능이 저하되어 유출률이 증가하고, 우수가 하천으로 유입하는 시간이 단축됨에 따라 홍수량이 증대함으로써 도시 주변의 중소하천 유역에서는 막대한 피해가 발생하고 있다. 특히 부산지방은 1991년 8월 22~23일에 발생하였던 태풍 글래디스의 영향으로 수영강 연변의 수많은 지역이 침수하여 1,300억원 이상의 막대한 피해를 입은 바 있다. 그러나 수영강 유역에 대한 수위 또는 유량 등의 실측자료는 거의 전무한 상태이기 때문에 홍수시의 유출량을 정확히 추정하고, 홍수 피해를 경감시키기 위한 적절한 대책을 세우기가 매우 어려운 실정이다.<sup>(1,2)</sup>

따라서 본 연구에서는 수영강 유역의 유출특성을 보다 정확히 파악하고 홍수시의 유출량을 정확히 추정하기 위하여 1993년 6월부터 수영강 수계의 제1지류인 온천천 유역에 대해 유출량을 실측하였으며, 실측된 유출량자료를 이용하여 Kimura(1960)가 제안한 저류함수법에 의해 각 호우에 대한 유효강우량을 산정한다.<sup>(3-6)</sup> 또한 선형의 이산화 입력-출력 모형을 구성하고, 최소자승법 및 상관함수법에 의해 이산화모형의 매개변수를 추정함으로써 대상 유역에 대한 전달함수(Transfer Function)를 구하고, 본 모형과 저류함수법에 의한 계산 유출수문곡선을 실측 수문곡선과 비교함으로써 도시 주변 중소하천 유역에 대한 본 모형의 적용 타당성을 입증하여, 앞으로 발생할 수 있는 홍수에 대해 보다 적절히 대응할 수 있도록 하는 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 선형 이산화 입력-출력 모형의 이론

강우-유출 과정을 모형화 하는 데 있어서 선형계 이론을 적용하는 방법에는 많은 발전이 있었다. 입력-출력 모형으로 알려진 이러한 수문학적 모형은 여러가지 물리적인 과정보다는 관측된 현상간의 인과관계를 결정하는 방법으로서, Nash<sup>(7)</sup>는 균등한 N개의 선형 저수지로 구성된 지표수 유출계의 개념적 모형을 제안하였으며, Dooge<sup>(8)</sup>는 확정론적 수

문계의 선형이론을 재조명하였다.

또한 거의 항상 불연속인 수문자료의 특성으로 인해 많은 학자들은 연속과정을 불연속 형태로 나타내기 위한 접근법을 제안하였다. Spolia와 Chander<sup>(9)</sup>는 Nash가 제안한 N개의 균등 저수지에 대한 이산화식을 결정하여 연속식과 이산화식의 매개변수간의 구조적 관계를 밝혔으며, Box와 Jenkins<sup>(10)</sup>는 유한차분형태를 이용해서 연속 선형계에서의 입력과 출력에 대한 미분방정식을 이산화 형태로 유도할 수 있다는 점을 밝혔다. 그리고 O'Connor<sup>(11,12)</sup>는 전달함수를 이용해서 N개의 비균등 저수지의 이산화형태를 유도했으며, Wang과 Wu<sup>(13,14)</sup>는 이산화된 입력자료를 단위계단함수에 의해 나타낼 수 있다는 점을 밝혔다.

### 2.1 전달함수(Transfer Function)

강우-유출 과정의 연속선형계에서 시간의존인 입력  $I(t)$ 와 출력  $Q(t)$ 의 관계는 다음과 같은 미분방정식으로 표시된다.<sup>(13,14)</sup>

$$(1 + \sum_{i=1}^p \alpha_i D^i)Q(t) = (\sum_{j=0}^q \beta_j D^j)I(t) \quad (1)$$

여기서  $D^i$ 는 시간  $t$ 에 대한  $i$ 계의 미분연산자이며,  $\alpha$  및  $\beta$ 는 추정하고자 하는 시간 불변 매개변수이다. 수문학적 응용에서  $p$  및  $q$ 의 값은 모형의 식별을 통해서 선택해야 하지만 Chow는  $Q(t)$  및  $I(t)$ 의 3계 이상 도함수는 모형의 계산결과에 큰 영향을 주지 않는다는 점을 밝혔다.<sup>(15)</sup>

Box 및 Jenkins는 식 (1)의 이산화식을 다음과 같이 나타내었다.<sup>(10)</sup>

$$(1 - a_1 B - a_2 B^2 - \dots - a_p B^p)Q(t) = (b_0 + b_1 B + b_2 B^2 + \dots + b_q B^q)I(t) \quad (2)$$

여기서  $B$ 는 후진의 shift operator이다. 결국 식 (2)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Q(t) = \frac{\theta(B)}{\Phi(B)} I(t) \quad (3)$$

여기서  $\Phi(B) = 1 - a_1 B - a_2 B^2 - \dots - a_p B^p$   
 $\theta(B) = b_0 + b_1 B + b_2 B^2 + \dots + b_q B^q$

식 (3)의 연산자  $\theta(B)/\Phi(B)$ 를 전달함수라 하며, 본 연구에서는 최소자승법 및 상관함수법에 의해

매개변수  $a_i$  및  $b_j$ 를 추정하여 연구대상 유역에 대한 전달함수를 유도하고자 한다.

## 2.2 매개변수의 추정방법

### 2.2.1 최소자승법

최소자승법(Least Squares Method : L.S.M.)에 의하여  $Q(t)$ 의 관측치와 계산치간의 잔차의 제곱의 합이 최소가 되는 추정치를 구할 수 있다. 잔차를  $e(t)$ 라 하면  $e(t)$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$e(t) = \hat{Q}(t) - Q(t) \quad t=1, 2, \dots, m \quad (4)$$

여기서  $\hat{Q}(t)$ 는 관측치이며,  $Q(t)$ 는 입력  $I(t)$ 에 의한 선형의 이산화모형, 즉 식 (2)로부터의 계산치이다. 식 (4)는 다음과 같이 행렬을 사용하여 나타낼 수 있다.<sup>(16)</sup>

$$\bar{e} = Q - A\bar{\beta} \quad (5)$$

여기서  $\bar{e} = [e(1), e(2), \dots, e(m)]^T$

$$Q = [\hat{Q}(1), \hat{Q}(2), \dots, \hat{Q}(m)]^T$$

$$\bar{\beta} = [a_1, a_2, \dots, a_p, b_0, b_1, \dots, b_q]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & I(1) & 0 & \dots & 0 \\ Q(1) & 0 & \dots & I(2) & I(1) & \dots & \cdot \\ Q(2) & Q(1) & \dots & I(3) & I(2) & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ Q(m-1) & Q(m-2) & \dots & I(m) & I(m-1) & \dots & I(m-q) \end{bmatrix}$$

결국 매개변수의 최소자승 추정치  $\bar{\beta}$ 는 식 (5)의 해로서 다음과 같이 된다.

$$\bar{\beta} = (A^T A)^{-1} A^T Q \quad (6)$$

### 2.2.2 상관함수법

상관함수법(Correlation Function Method : C.F.M.)은 모형의 매개변수를 상관함수와 연관짓는 일련의 방정식을 통해 모형의 변수를 추정하는 방법으로서, 식 (2)에  $Q(t-k)$ 를 곱하고 그 기대치를 취하면 다음과 같은 관계식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \gamma_Q(k) &= a_1 \gamma_Q(k-1) + a_2 \gamma_Q(k-2) + \dots + a_p \gamma_Q(k-p) \\ &+ b_0 \gamma'_Q(k) + b_1 \gamma'_Q(k-1) + \dots + b_q \gamma'_Q(k-q) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서  $\gamma_Q(k-p) = E\{Q(t-p)Q(t-k)\}$

$$\gamma'_Q(k-q) = E\{Q(t-k)I(t-q)\}$$

같은 방법으로 식 (2)에  $I(t-l)$ 을 곱하고 기대치를 취하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \gamma_{IQ}(-l) &= a_1 \gamma_{IQ}(1-l) + a_2 \gamma_{IQ}(2-l) + \dots + a_p \gamma_{IQ}(p-l) \\ &+ b_0 \gamma_I(l) + b_1 \gamma_I(l-1) + \dots + b_q \gamma_I(l-q) \end{aligned} \quad (8)$$

앞에서 구한 식 (7)과 (8)을 각각  $\gamma_Q(0)$ 와  $\gamma_I(0)$ 으로 나누면 다음과 같은 식 (9)와 (10)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \rho_Q(k) &= a_1 \rho_Q(k-1) + a_2 \rho_Q(k-2) + \dots + a_p \rho_Q(k-p) \\ &+ b_0 \rho'_Q(k) + b_1 \rho'_Q(k-1) + \dots + b_q \rho'_Q(k-q) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \rho_{IQ}(-l) &= a_1 \rho_{IQ}(1-l) + a_2 \rho_{IQ}(2-l) + \dots + a_p \rho_{IQ}(p-l) \\ &+ b_0 \rho_I(l) + b_1 \rho_I(l-1) + \dots + b_q \rho_I(l-q) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 상관계수  $\rho_Q(k) = \gamma_Q(k) / \gamma_Q(0)$

$$\rho_{IQ}(-l) = \gamma_{IQ}(-l) / \gamma_I(0)$$

식 (9)와 (10)에는  $(p+q+1)$ 개의 매개변수가 있으며, 이 두 식의 해를 행렬로 나타내면 다음과 같다.

$$\bar{\beta} = G^{-1} B \quad (11)$$

여기서  $\bar{\beta} = [a_1, a_2, \dots, a_p, b_0, b_1, \dots, b_q]^T$

$$B = [\rho_Q(1), \rho_Q(2), \dots, \rho_Q(p), \rho_{IQ}(0), \rho_{IQ}(-1), \dots, \rho_{IQ}(-q)]^T$$

$$G = \begin{bmatrix} 1.0 & \rho_Q(1) & \dots & \rho_Q(p-1) & \rho'_{IQ}(1) & \dots & \rho'_{IQ}(1-q) \\ \rho_Q(1) & 1.0 & \dots & \rho_Q(p-2) & \rho'_{IQ}(2) & \dots & \rho'_{IQ}(2-q) \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \rho_Q(p-1) & \rho_Q(p-2) & \dots & 1.0 & \rho'_{IQ}(p) & \dots & \rho'_{IQ}(p-q) \\ \rho_{IQ}(1) & \rho_{IQ}(2) & \dots & \rho_{IQ}(p) & 1.0 & \dots & \rho_I(q) \\ \rho_{IQ}(0) & \rho_{IQ}(1) & \dots & \rho_{IQ}(p-1) & \rho_I(1) & \dots & \rho_I(1-q) \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \rho_{IQ}(1-q) & \rho_{IQ}(2-q) & \dots & \rho_{IQ}(p-q) & \rho_I(q) & \dots & 1.0 \end{bmatrix}$$

## 3. 모형의 적용

### 3.1 유역의 개황

본 연구에서는 부산직할시 제1도시하천인 수영강 수계 내의 온천천 유역중 세병교 상류유역을 그 대상으로 하였다. 대상유역의 유역도와 강우 및 유량 관측지점은 Fig. 1에 나타내었다.

온천천은 수영강의 하구인 수영만으로부터 약 3.1 km 상류 지점에서 수영강과 합류하고 있는 수영강 수계의 제1지류로서 부산직할시의 금정구, 동래구

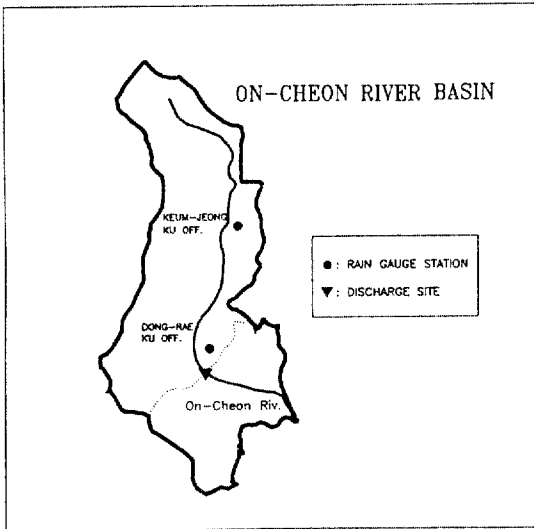


Fig. 1. Study Area and Locations of Measuring Stations

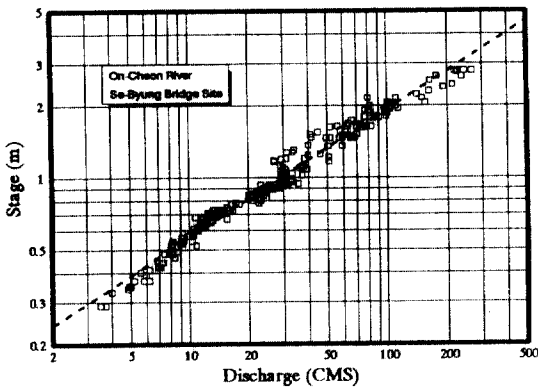


Fig. 2. Rating Curve for On-Cheon River (Se-Byung Bridge Site)

및 남구에 걸쳐 위치하고 있으며, 총유역면적은 53.7 km<sup>2</sup>, 유로연장은 15.3 km에 달하며 유역의 평균경사는 0.040으로서 고지대를 제외한 대부분의 지역이 도시화되어 있다. 한편 연구의 대상이 되는 세병교 상류유역의 면적은 약 38.0 km<sup>2</sup>이며, 지질은 충적층이 주를 이루고 있고, 토양은 식양질 내지 식질의 잔적층 토양이 그 대부분을 구성하고 있다.

본 연구에서는 1993년 6월부터 온천천의 세병교 지점에서 유량을 측정하였으며, 약 15회의 유출사상에 대해 측정된 유량자료를 이용하여 Fig. 2에 나타난 유량 측정지점에 대한 수위-유량곡선을 작성

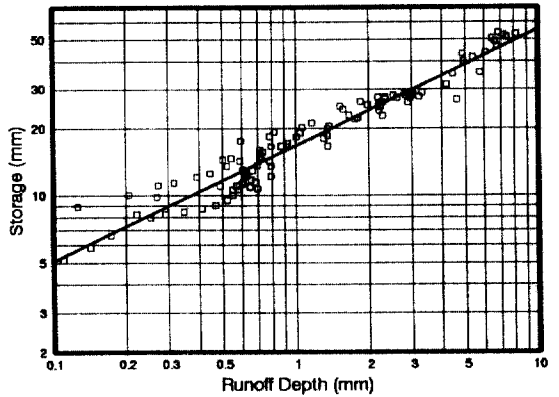


Fig. 3. Relationship between Runoff Depth and Storage

하였다.<sup>(9,17)</sup>

### 3.2 유효강우량의 산정

모형의 입력자료로 사용되는 유효강우량의 산정에는 여러가지 방법이 있지만 본 연구에서는 Kimura가 제안한 저류함수법에 의해 유효강우량을 산정하였다. 유효강우량  $R_E$ 의 산정에는 1차 유출률  $f_1$ 과 포화 유출률  $f_{sa}$  및 포화강우량  $R_{sa}$  등의 변수가 사용되며, 그 산정방법은 다음과 같다.<sup>(4,5)</sup>

$$\begin{aligned} \Sigma R < R_{sa} : R_E &= f_1 \cdot R \\ \Sigma R \geq R_{sa} : R_E &= f_{sa} \cdot R \end{aligned} \quad (12)$$

여기서  $R_E$  = 유효강우량  
 $R$  = 단위시간에 대한 강우량  
 $\Sigma R$  = 누가강우량  
 $R_{sa}$  = 포화강우량  
 $f_1$  = 1차유출률  
 $f_{sa}$  = 포화유출률

저류함수 매개변수의 결정방법에 따라서 각 지체시간별 저류고와 유출고의 관계를 구하기 위하여 지체시간을 20분 단위로 가정하여 유출계산을 행하고, 그 계산결과를 도시하여 가장 직선에 근접한 때의 것을 지체시간으로 선택하였다. 그 결과 지체시간  $T_1$ 은 7월 29일과 8월 10일 양일 모두 20분으로 나타났다. 따라서 지체시간  $T_1$ 은  $T_1=20$ 분으로 결정하고, 이에 대한 계산결과를 이용하여 Fig. 3과 같이 최소자승법에 의해 저류함수  $K$  및  $P$ 를 구하였으며, 대상유역에 대한 저류함수는 다음과 같이

Table 1. Estimated Parameters of the Storage Function ( $K=16.841$ ,  $P=0.520$ )

Parameters	$T_l$	$f_l$	$f_{sa}$	$R_{sa}$
1993. 7. 29	20 min	0.514	0.699	73.5 mm
1993. 8. 10	20 min	0.506	0.878	25.5 mm

되었다.

$$s_t = 16.841 \cdot q_t^{0.520} \quad (13)$$

1차유출률  $f_l$ , 포화유출률  $f_{sa}$ , 그리고 포화강우량  $R_{sa}$ 는 실측누가유출고와 계산누가유출고를 각각 종축과 횡축에 도시하여 결정하였으며, Table 1에 나타난 매개변수를 식 (12)에 적용하여 유역 평균 강우량으로부터 유효강우량을 산정하였다.

### 3.3 전달함수 매개변수의 결정

본 연구에서는 최소자승법 및 상관함수법에 의해 온천천 유역에 대한 선형의 이산화 입력-출력 모형의 매개변수를 추정함으로써 전달함수를 유도하고자 하며, 선형계의 이산화모형은 다음과 같이 6개의 매개변수를 갖는 것으로 선택하였다.<sup>(15,18-20)</sup>

$$(1 - a_1B - a_2B^2 - a_3B^3)Q(t) = (b_0 + b_1B + b_2B^2)I(t) \quad (14)$$

온천천 유역에 대한 유효강우량과 실측 유출량 자료를 식 (14)에 대입하여 Table 2와 같은 해를 구하였다. 이 해는 선형의 이산화 입력-출력 모형이 갖는 다음과 같은 제약조건을 만족하므로 적절한 추정치임을 알 수 있다.

$$a_1 + a_2 + \dots + a_p + b_0 + b_1 + \dots + b_q = 1.0 \quad (15)$$

Table 2. Estimated Parameters of the Transfer Function

Parameters		$a_1$	$a_2$	$a_3$	$b_0$	$b_1$	$b_2$
7.29	L.S.M.	0.71500	0.00269	0.10432	0.02900	0.27440	-0.11023
	C.F.M.	0.71600	0.00372	0.10134	0.02927	0.27407	-0.10975
8.10	L.S.M.	0.69913	0.03092	0.07624	0.12676	-0.10069	0.16647
	C.F.M.	0.70348	0.02014	0.08083	0.12677	-0.10095	0.16794

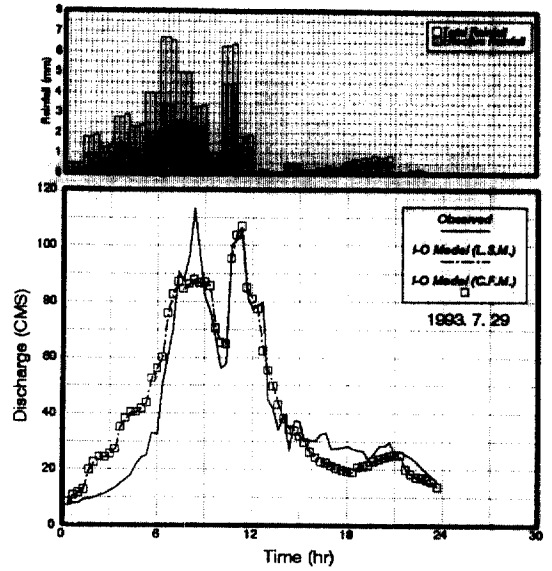


Fig. 4. Hydrographs by the Input-Output Model (7.29)

### 3.4 유출해석 결과

최소자승법과 상관함수법에 의해 전절에서 산정된 매개변수를 사용하여 본 연구의 대상유역인 온천천 유역에 선형의 이산화 입력-출력 모형을 적용한 유출해석 결과를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다.

선형의 이산화 입력-출력 모형에 의한 7월 29일의 홍수유출 수문곡선에서는 최대홍수량 발생시각과 수문곡선 하강부 등은 실측치와 계산결과가 대체적으로 잘 일치하고 있으나 수문곡선의 상승부에서 다소 약간의 차이를 보이고 있으며, 최대홍수량은 첫번째 침투부에서는 약 25.4 CMS(22.3%)의 차이를 보이고 있지만, 두번째 침투부에서는 약 2.1 CMS(2.0%)의 근소한 차이를 나타내고 있다. 반면 8월 10

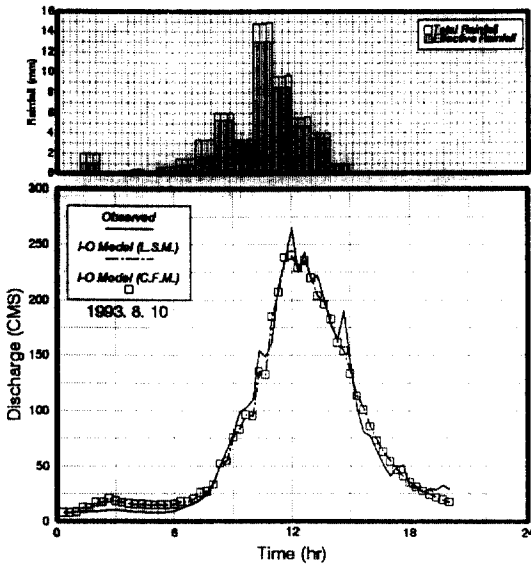


Fig. 5. Hydrographs by the Input-Output Model (8.10)

일의 홍수유출 수문곡선에서는 최대홍수량에서 약 25.8 CMS(9.7%)의 차이를 보일 뿐 전체적으로 계산결과와 실측치가 잘 일치함을 알 수 있다. 또한 최소자승법 및 상관함수법에 의해 추정된 전달함수의 매개변수는 거의 일치하며, 그로 인한 유출해석 결과도 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 따라서 타 방법에 비해 보다 간편한 선형의 이산화 입력-출력 모형을 본 연구대상 유역과 같은 도시 중소하천 유역에 적용하는 것이 가능하다고 판단된다.

#### 4. 적용결과에 대한 비교 분석

본 연구에서는 선형 이산화 입력-출력 모형의 적용 타당성을 검증하기 위해 연구 대상유역인 온천천 유역에 대해 저류함수법을 이용하여 두 가지 호우 사상에 대한 홍수유출 수문곡선을 재현하였으며, 이 저류함수법과 선형 이산화 입력-출력 모형에 의한 홍수유출 수문곡선과 함께 각각 Fig.6과 Fig.7에 나타내었다.

Fig.6에 나타나 있는 바와 같이 최대홍수량은 첫번째 침두부에서는 실측치와 저류함수법에 비해 선형의 이산화 입력-출력 모형에서는 다소 작게 나타났으며, 두번째 침두부에서는 두가지 방법 모두 실측치와 거의 일치하였다. 최대홍수량 발생시각은

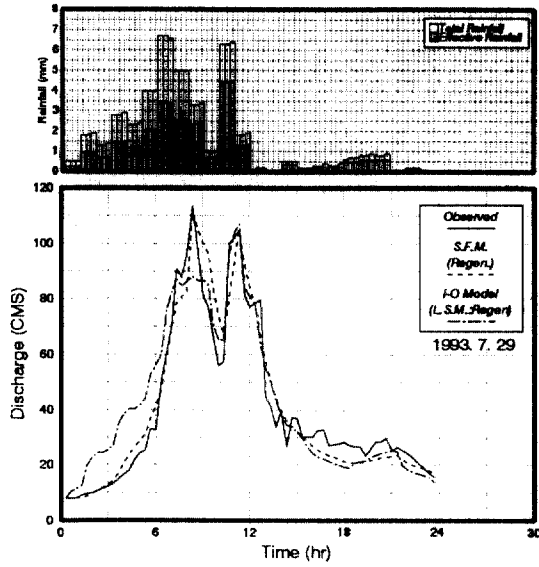


Fig. 6. Comparison of Hydrographs by the Storage Function Method and the Input-Output Model (L.S.M.) (7.29)

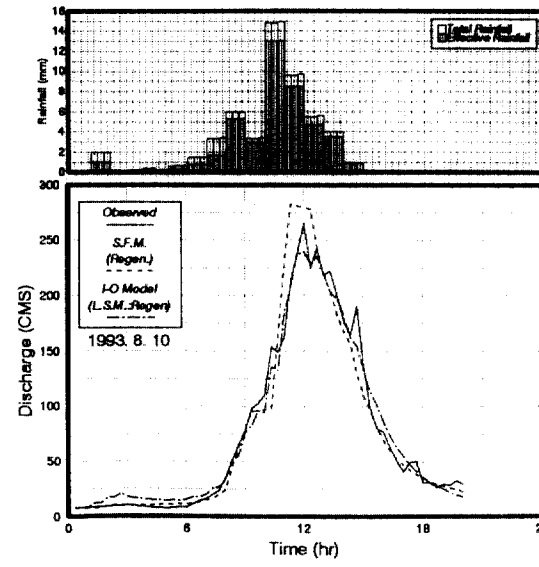


Fig. 7. Comparison of Hydrographs by the Storage Function Method and the Input-Output Model (L.S.M.) (8.10)

두 방법 모두 실측치와 거의 일치하고 있으며, 수문곡선 상승부는 저류함수법이 선형의 이산화 입력-출력 모형에 비해 보다 실측 수문곡선을 더 잘 재현한 것으로 나타났다. 또한 Fig.7에서는 저류함수

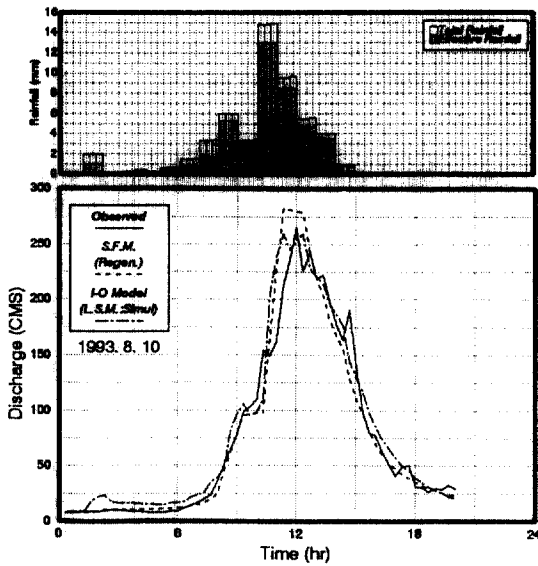


Fig. 8. Comparison of Hydrographs by the Storage Function Method and the Input-Output Model (L.S.M., Simulated) (8.10)

법과 선형의 이산화 입력-출력 모형에 의한 유출해석 두가지 방법 모두 대체적으로 실측 수문곡선을 잘 재현하고 있는 것으로 나타났다.

또한 본 연구에서는 2개의 첨두를 가진 7월 29일의 강우자료와 실측 수문곡선이 1개의 첨두를 가진 8월 10일의 자료보다 유역의 다양한 수문학적 특성을 보다 잘 나타내고 있다고 판단되어, 7월 29일의 자료에 의해 산정된 전달함수의 매개변수를 8

월 10일의 강우자료에 적용하여 유출해석을 실시하였으며, 그 결과는 저류함수법에 의한 유출해석 결과와 함께 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 8에 나타나 있는 바와 같이 선형 이산화 입력-출력 모형에 의해 모의발생 시킨 수문곡선은 전체적으로 실측 수문곡선과 근사한 값을 보여주고 있으며, 최대홍수량은 6.3 CMS(2.0%), 최대홍수량 발생시각은 약 20분의 근소한 차이를 나타내고 있다. 따라서 모의발생시킨 수문곡선 역시 실측 수문곡선을 잘 근사시킨 것으로 판단된다. 한편 저류함수법과 선형의 이산화 입력-출력 모형에 의한 수문곡선 및 실측 수문곡선의 각종 매개변수값을 비교한 결과는 Table 3에 나타내었으며, Table 3내의  $T_p$ 는 수문곡선 상승 시점에서 최대홍수량의 발생시간까지를, 그리고  $Q_{50}$ 은 최대홍수량의 50%에 해당하는 유량에서의 시간폭을 나타낸다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 부산시 수영강의 제 1지류인 온천천 유역에 대하여 유량을 실측하였으며, 이 실측 유량자료중 비교적 큰 홍수를 나타낸 1993년 7월 29일과 8월 10일의 호우사상을 선택하여 저류함수법에 의해 유효강우량을 산정하였으며, 이 유효강우량과 실측 유량자료를 이용하여 선형의 이산화 입력-출력 모형의 전달함수를 유도하여 유출해석을 실시하였다.

Table 3. Four Pairs of Observed and Calculated Parameter Values

Date		Rainfall (mm)	Runoff Depth (mm)	Peak Discharge (CMS)	$T_p$ (hr)	$Q_{50}$ (hr)
7.29	Observed		90.11	113.5/104.9	8.33/11.33	6.34
	S.F.M.	123	90.13	111.6/104.7	8.33/11.33	6.46
	I-O Model		95.04	88.1/107.0	8.33/11.33	6.89
8.10	Observed		140.89	265.8	12.00	4.87
	S.F.M.		141.04	282.7	11.33	4.11
	I-O Model (Regen.)	158	141.48	240.0	12.00	4.71
	I-O Model (Simul.)		152.52	259.5	12.33	4.53

1. 온천천 하구로부터 약 3.2 km 상류인 세병교 지점에서 계속적으로 측정된 유출량 자료를 이용하여 수위-유량 곡선을 산정하였다.

2. 실측 유량자료와 강우자료를 사용하여 산정된 저류함수의 매개변수를 이용하여 유효강우량을 산정하였으며, 또한 저류함수법에 의한 유출해석 결과는 실측치를 잘 재현한 것으로 나타났다.

3. 저류함수법에 의해 산정된 유효강우량과 실측 유량자료를 이용하여 최소자승법과 상관함수법에 의해 선형의 이산화 입력-출력 모형의 전달함수의 매개변수를 산정하였고, 이를 토대로 전달함수를 구하였으며, 그 유출해석 결과는 전체적으로 실측 수문곡선을 잘 재현한 것으로 나타났다.

4. 7월 29일의 전달함수를 이용하여 8월 10일의 홍수유출 수문곡선을 모의발생 시킨 결과는 실측 수문곡선과 거의 근사한 값을 보여 주었다.

따라서 도시주변 중소하천 유역에 대해, 다른 방법들에 비해 보다 간편한 선형의 이산화 입력-출력 모형을 적용하는 것은 가능할 것이라 판단되며, 앞으로 계속적인 실측과 연구를 통해 부산지방 도시하천의 계획홍수위 산정, 방재계획 수립 등에 기여하고자 한다.

## 참고문헌

1. 강인식, 정연태, 강주복, "도시 소유역의 유출해석 -수영강 상류의 회동수원지 유역에 대하여-", 부산대학교 공과대학 논문집, 제 44집, 1992, pp. 95-103.
2. 강주복, 강인식, 광기석, 정연태, 권정곤, "선형 이산화 입력-출력 모형의 매개변수 결정에 관한 연구", **한국환경과학회지**, 제 2권 제 3호, 1993, pp. 193-199.
3. 尹龍男, 工業水文學, 淸文閣, 1986.
4. 佐藤勝夫, 洪水流出計算法, 山海堂, 1982, pp. 169-204.
5. 産業基地開發公社, 多目的댐 洪水流出 解析研究 (貯溜函數法), 1985.
6. 강인식, 이봉재, 강주복, "저류함수법에 의한 도시 소유역의 유출해석", 부산대학교 공과대학 논문집,

- 제 46집, 1993, pp. 91-100.
7. Nash, J.E., "The Form of the Instantaneous Unit Hydrograph", *IASH, Pub. 45*, Vol. 3, 1957, pp. 114-121.
8. Dooge, J.C.I., "Linear Theory of Hydrologic Systems", Tech. Bull. No. 1468, Agricultural Research Services, U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C., 1973.
9. Spolia, S.K. and Chander, S., "Modelling of Surface Runoff Systems by an ARMA Model", *J. of Hydrol.* Vol. 22, 1974, pp. 317-332.
10. Box, G.E.P. and Jenkins, G.M., *Time Series Analysis-Forecasting and Control*, Holden-Day, San Francisco, Calif., 1976, pp. 7-19.
11. O'Connor, K.M., "Derivation of Discretely Coincident Forms of Continuous Linear Time-invariant Models Using the Transfer Function Approach", *J. of Hydrol.*, Vol. 59, 1982, pp. 1-48.
12. O'Connor, K.M., "A Discrete Linear Cascade Model for Hydrology", *J. of Hydrol.*, Vol. 29, 1976, pp. 203-242.
13. Wang, G.T., "The Determination of Parameters by Linear Programming for a Model with N-linear Reservoirs in Series", *J. of Hydrol.*, Vol. 81, 1985, pp. 171-177.
14. Wang, G.T. and Yu, Y.S., "Estimation of Parameters of the Discrete, Linear, Input-output Model", *J. of Hydrol.*, Vol. 85, 1986, pp. 15-30.
15. Chow, V.T., "Hydrologic Modeling", *The Seventh John R. Freeman Memorial Lecture. Proc.*, Boston Soc. Civ. Eng., Pub. 60, Vol. 5, 1972, pp. 1-27.
16. Gelb, A., *Applied Optimal Estimation*, M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1974.
17. Singh, V.P., *Elementary Hydrology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1992, pp. 377-438.
18. 강주복, 강인식, 광기석, "수영강 상류 회동수원지 유역의 유출 해석", 한국수문학회 수공학연구발표회 논문집, 1993, pp. 311-318.
19. 강주복, 정연태, 강인식, 광기석, "도시주변 중소하천 유역의 유출해석", 대한토목학회 학술발표회 개요집(2), 1993, pp. 217-220.
20. 광기석, 선형 이산화 입력-출력 모형의 매개변수 결정에 관한 연구, 부산대학교 대학원 석사학위논문, 1994.

(接受1994. 2. 8)