

1. 序 論

근래에 와서 미 계측 유역의 유출 해석을 위하여 유역의 지형인자를 이용한 확률론적 모델이 소개됨으로서 강우-유출의 해석에 있어서 지형인자를 이용하여 매개변수들을 설명하게 되었다.

1970년대 전반에 Boyd, Betson Roger, Walling, Gregory 등은 유출 해석의 과성을 지형인자를 사용하여 설명하였고, Clark, Nash, Chow, Singh, 등이 확립한 순간단위도의 이론을 기초로 Gupta and Waymire and Wang, Cheng 등은 유역의 지형인자를 이용하여 확률론적 수문학의 접근방법으로 순간단위도를 유도 하였다.

본연구는 지형도에서 직접측정할 수있는 배수유역의 지역인자를 측정하여 유출모델을 개발코져 하며, 지형인자를 이용한 순간단위도(Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph; GIUH)를 유도하였다. GIUH의 개념은 유역의 출구에서 강우의 지속기간동안 가능한 많은 강우의 유출경로를 추적할 수 있을것이라는 강우 대기행렬이론(Queueing theory)으로서 순출생 - 사멸과정(Pure Birth-Death Process)의 M/M/1(N)형, 즉 Poisson 분포 도착이며 지수분포 서비스이고 복수창구의 대기행렬이론을 응용하고, 지표 유출과 하천 유출은 각각 선형 저수지와 선형 수로의 개념적 모델에 의함으로서 근본적으로 비선형 시변 수문학적 시스템 모델을 개발코져 함이다.

그 적용 기법으로서는 분할법(Sub-area method)과 평균치법(Mean Value method)을 사용토록 하였으며, 분석유역은 위천 유역으로 하고, 연구 범위는 지형인자를 이용하여 유출량 산정을 위한 매개변수의 알고리즘을 개발하여 미 계측 유역이나 자료가 결핍된 유역에 적용할 수 있는 종합적 유출 해석을 하고자 한다.

2. GIUH모델의 基本理論

2.1 GIUH모델의 유도

2.1.1 GIUH 시스템 모델

본 연구는 하천 유출의 해석에 있어서 대기행렬이론을 적용한 대기행렬 시스템 모델(Queueing System Model)로서, 강우가 유역을 유하하는 경로의 수문학적 과정을 지형인자를 사용하여 설명

하고자 한다. 유역을 대기행렬이론의 각 단계로 분할하는데 편리하게 하기 위해서 Horton의 하천 자수법칙으로 유역의 형태를 설정하고, 외선적분의 해를 구하기 위해서는 Laplace 변환으로 한다.

GIUH 시스템 모델은 단위 유효강우가 $t=0$ 일때 유역에 균일하게 내리며 (즉 순간적으로), 이 단위 강우는 N 개 각각 독립이며 상호작용을 하지 않는다고 가정하고, 하천에 직접 내리는 강우의 양은 극히 미소량이므로 무시 할 수 있다. 위의 가정에 의하여 전 유역에 내린 강우의 유출 과정은 대기행렬 시스템처럼 설명할 수 있다.

M 차의 유역은 $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iM}$ 처럼 대기행렬 시스템에서 여러개의 단계로 분할할 수 있으며, 여기서 X_{i1} 은 i 차 하천의 지표면 유출 지역이고 X_{i2} 는 i 차 하천의 하천 수로이다. 도착률은 각 단위시간당의 강우량이며 서비스 시간은 각 단계의 도달시간이다.

지표면 유출 지역에 내린 강우는 $X_{i2} \rightarrow X_{j2}$ 로 연속적으로 흘러서 유역의 출구에 도달할 것이다. 이때 $j > i$ 이다. 그리고 $X_{i1} \rightarrow X_{i2} \rightarrow \dots \rightarrow X_{j2} \rightarrow \dots \rightarrow X_{M2}$ 와 같이 강우가 유역의 출구에 도달하는 경로를 r 이라고 하면 강우가 이 경로를 통과할 확률 $P(r)$ 는 다음식 (2.1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(r) = P_{A_{i1}} \cdot P_{i1.i2} \cdot \prod_{U=i, V=i+1}^{U=M-1, V=M} P_{U2.V2} \quad \text{-----}(2.1)$$

- $P_{A_{i1}}$; 지표면 유출 지역면적 / 유역 증면적
- $P_{i1.i2}$; 강우가 X_{i1} 에서 X_{i2} 로 흐를 확률
- $P_{U2.V2}$; 강우가 X_{U2} 에서 X_{V2} 로 흐를 확률

도달시간을 Γ_r 이라고 하면 강우가 각 단계 X_{ak} 을 흐르는데 걸리는 도달시간 T_{ak} 의 총합과 같게 될 것이다. 여기서 $a=1, 2, \dots, M$ 이고, $K=1$ 은 지표면 유출 지역이고, $K=2$ 는 하천 수로이다. 이와 같이해서 도달시간 Γ_r 는 식 (2.2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\Gamma_r = \Gamma_{i1} + \Gamma_{i2} + \dots + \Gamma_{j2} + \dots + \Gamma_{M2} \quad \text{----- (2.2)}$$

강우가 시간 t 에서 경로 r 를 통해 흐르는 확률을 $P(\Gamma_r \leq t)$ 이라고 하고, 부속위 시간 T 의 확률을 $P(T \leq t)$ 이라고 하면 다음식이 성립한다.

$$P(T \leq t) = \sum_{r \in R} P(\Gamma_r \leq t) \cdot P(r) \quad \text{----- (2.3)}$$

식에서 R 는 강우가 유역을 흐르는 모든 가능한 경로 합이다. $t > 0$ 일때, 강우의 도달시간 Γ_{ak} 의 확률밀도함수를 $f_{\Gamma_{ak}}$ 라고 하면, 각 경로에서의 확률밀도함수는 완전 독립이므로 추계학적으로 추정할 수 있으므로, 식 (2.2)에서 주어진 경로는

$$f_{\Gamma_r}(t) = f_{\Gamma_{i1}}(t) * f_{\Gamma_{i2}}(t) * \dots * f_{\Gamma_{j2}}(t) * \dots * f_{\Gamma_{M2}}(t) \quad \text{----- (2.4)}$$

이되고, 식에서 $*$; 회선적분 (Convolution Integral)이고,

$$P(\Gamma_r \leq t) = \int_0^t f_{\Gamma_r}(t') dt' \quad \text{----- (2.5)}$$

이된다. 식(2.4) 를 식(2.5) 에 대입하면

$$P(\Gamma_r \leq t) = \int_0^t f_{\Gamma_{i1}}(t') * f_{\Gamma_{i2}}(t') * \dots * f_{\Gamma_{j2}}(t') * \dots * f_{\Gamma_{M2}}(t') dt' \quad \text{----- (2.6)}$$

이되고, 식(2.6) 을 식 (2.3)에 대입하면

$$P(T \leq t) = \sum_{r \in R} \{ [\int_0^t f_{\Gamma_{i1}}(t') * f_{\Gamma_{i2}}(t') * \dots * f_{\Gamma_{j2}}(t') * \dots * f_{\Gamma_{M2}}(t') dt']_r \cdot P(r) \} \quad \text{----- (2.7)}$$

을 얻는다. 하나의 단위 강우에 대해서, 시간 t 일때의 유역의 저유량 $S(t)$ 는 강우가 유역의 출구까지 도달하는 시간 T 일때의 강우수와 같거나, 시간 t 일때의 강우의 송수보다 크기 때문에

(강우 증채적)

$$S(t) = (\text{강우수}, T > t) \quad \text{----- (2.8)}$$

(증 강우수 N)

을 얻는다. 식 (2.8)에 대수법칙 (Law of large numbers) 를 적용하면, $N \rightarrow \infty$ 이므로

$$S(t) = (\text{강우 증채적}) \cdot P(T > t) \quad \text{----- (2.9)}$$

이 된다. 연속 방정식(Equation of Continuty)에 의하여

$$ds(t)/dt = I(t) - Q(t) \quad \text{----- (2.10)}$$

이 된다. $t=0$ 이면 $I=1$ 이고, $t>0$ 이면 $I=0$ 이다. 하나의 단위 유효 강우에 대해 $Q(t)=U(t)$ 이므로

$$S(t) = 1 - P(T > t) = 1 - P(T \leq t) \quad \text{----- (2.11)}$$

이 되고, 식 (2.7)을 식 (2.11)에 대입하면

$$S(t) = 1 - \sum_{r \in R} \left\{ \left[\int_0^t f_{I11}(t') * f_{I12}(t') * \dots * f_{Ij2}(t') * \dots * f_{IM2}(t') dt' \right]_r \cdot P(r) \right\} \quad \text{----- (2.12)}$$

을 얻는다. 식 (2.12)를 t 에 대해서 미분하면

$$ds(t) / dt = - \sum_{r \in R} \left\{ \left[f_{I11}(t') * f_{I12}(t') * \dots * f_{Ij2}(t') * \dots * f_{IM2}(t') dt' \right]_r \cdot P(r) \right\} \quad \text{----- (2.13)}$$

이 된다. 식 (2.10)과 식 (2.13)으로부터, $t>0$ 이면 $I(t)=0$ 이고 $Q(t)=U(t)$ 이므로

$$U(t) = \sum_{r \in R} \left(\left[f_{I11}(t') * f_{I12}(t') * \dots * f_{Ij2}(t') * \dots * f_{IM2}(t') \right]_r \cdot P(r) \right) \quad \text{----- (2.14)}$$

이 된다. 식 (2.14)가 GIUH 모델의 기본 방정식이다.

2.1.2 평균 유출 속도

하천에 있어서 유속의 일반식은

$$V = C' \cdot S^{1/2} \quad \text{----- (2.15)}$$

이며, C' : 통수능 계수 (Conveyance factor), S : 경사도(slope)이다. 이와같이 i 차하천의 지표면 유출과 하천 유출의 평균 유출 속도는

$$V_{i1} = C_o \cdot S_{i1}^{1/2} \quad \text{----- (2.16)}$$

$$V_{i2} = C_s \cdot S_{i2}^{1/2} \quad \text{----- (2.17)}$$

이다.

2.1.3 평균 유출 도달시간

Gupta(1980)의 이론에 기초를 두고 대기행렬이론을 적용하면 단위 강우가 순간적으로 유역에 균일하게 내려서 유역의 출구로 흐른다면 이것은 서비스 시간의 확률밀도함수가 지수분포인 순사멸 대기행렬 모델처럼 설명할 수 있으므로

$$f_{T_i}(t) = 1/\mu_i \cdot e^{-t/\mu_i} \quad , \quad \forall \quad t \quad \text{-----} \quad (2.18)$$

이 되고, μ_i ; i 차 하천 평균 유출 도달시간 이다.

Dooge(1959) 의 이론에 의하면 유역을 개념적으로 지표면 유출지역과 하천지역 두 부분으로 나누었다. 이 이론을 본 연구에서는 채택한다.

지표면 유출 지역을 두 경사면이 구성하는 V 형의 경사면으로 가정한다면 평균 유출 도달시간 μ_{i1} 은

$$\mu_{i1} = \frac{\sum_{j=1}^M P_{Aij} \cdot A}{2 \cdot L_j \cdot V_{ij}} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, M \quad \text{-----} \quad (2.19)$$

이고, A ; 유역 증면적, L_j ; j 차 하천길이, V_{ij} ; i 차 지표면 평균 유출 속도 이다. 하천부에서 평균 유출 도달시간 μ_{i2} 는

$$\mu_{i2} = L_j / V_{ij} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, M \quad \text{-----} \quad (2.20)$$

이고, V_{ij} ; i 차 하천 평균 유출 속도 이다.

2.1.4 GIUH모델 유도

Dooge 의 이론에 의해서 유역은 지표면 유출 지역과 하천 지역의 두 부분으로 구분하고, 선형 저수지와 수로의 개념으로 나누어 계산한다. 각 하천은 저류부분과 이동부분으로 분리되며 이 두 부분의 도달시간비 C_r 는

$$C_r = \mu_{ci} / \mu_{ri} \quad \text{----} \quad (2.21)$$

이 되고, μ_{ci} ; i 차 하천 이동부분 도달시간, μ_{ri} ; i 차 하천 저류부분 도달시간이다.

C_r 는 유역의 특성변수가 되어야 함으로 동일한 유역에서는 상수로 볼수있고, 주로 하천의 평균경사에 의해서 결정된다.

그러므로, 식 (2.21) 에서 μ_{i2} 는

$$\mu_{i2} = \mu_{ri} + \mu_{ci} \quad \text{----} \quad (2.22)$$

이 된다. 식 (2.22) 를 식 (2.14) 에 대입하면

$$\begin{aligned} U(t) &= \sum_{r \in R} \{ [f_{T_{i1}}(t') * f_{T_{i2}}(t') * \dots * f_{T_{j2}}(t') * \dots * f_{T_{M2}}(t')]_r \cdot P(r) \} \\ &= \sum_{r \in R} \{ [f_{T_{i1}}(t') * (f_{T_{ri}}(t') * f_{T_{ci}}(t')) * \dots * (f_{T_{rj}}(t') * f_{T_{cj}}(t')) * \dots * (f_{T_{rM}}(t') * f_{T_{cM}}(t'))]_r \cdot P(r) \} \\ &= \sum_{r \in R} \{ [f_{T_{i1}}(t') * (f_{T_{ri}}(t') * \dots * f_{T_{rj}}(t') * \dots * f_{T_{rM}}(t')) \} \end{aligned}$$

$$\dots * f_{I_{ci}}(t') * \dots * f_{I_{cj}}(t') * \dots * f_{I_{cm}}(t') \dots]_r \cdot P(r) \quad (2.23)$$

을 얻는다.

윗식에서 $U(t)$ 는 단위 단계함수(Unit step function)

이므로, $t \geq c$ 이면 $U_c(t) = 1$ 이고, $t < c$ 이면 $U_c(t) = 0$ 이다.

그러므로, $G(t)$ 는

$$G(t) = a_1 + a_2 t + \dots + t^{n-1} / (n-1)! \cdot a_{nr} \cdot t^{nr-1} + b_{j1} \cdot e^{-t/\mu_{j1}} + c_j \cdot e^{-t/\mu_{rj}} + \dots + c_m \cdot e^{-t/\mu_{rm}} \quad (2.24)$$

식 (2.14) 와 식 (2.24) 에서

$$U(t) = \sum_{r \in R} \left(\left[m(G(t) + \sum_{k=1}^{nr} (-1)^k \cdot U_{\mu_{ek}}(t) \cdot G(t - \mu_{ek}) \right) \right]_r \cdot P(r) \right) \quad (2.25)$$

을 얻는다.

식 (2.25) 가 GIUH모델의 유도식이다.

2.2 GIUH모델 適用技法

지형인자를 측정하기 위해서는 일반적으로 1;50,000 의 지형도를 이용하는것이 편리하다. 적용기법은 분할법(Sub-area method) 과 평균치법(Mean-value method) 이있다.

2.2.1 분할법

대기행렬이론모델 적용의 편리를 위해서 유역을 여러개의 소구역으로 분할하는 방법이다. Fig. 1 의 예를 보면 10 개의 절점과 9 개의 하천으로된 유역이므로 유역은 9개의 소구역으로 분할되며 유출의 각 경로를 나타낸다. 유출의 경로는 강우가 내리는 위치가 각각 다르기 때문에 모두 같지않다.

Fig.1 에서 알 수 있듯이 모든 소구역은 하나의 독립된 유출 경로를 나타내므로 $P_{u2.v2} = 1$ 이 되기 때문에 식(2.1) 은

$$P(r) = P_{Ail} \cdot 1 = P_{Ail} \quad (2.26)$$

이 된다. GIUH모델의 계산에 의해서 각 경로의 순간단위도를 누적하면 마지막으로 유역의 순간단위도가 된다.

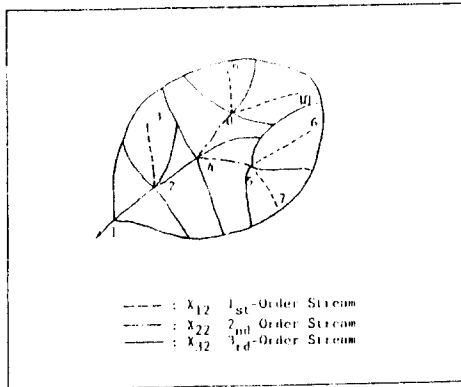


Fig.1. Map of Subarea Method

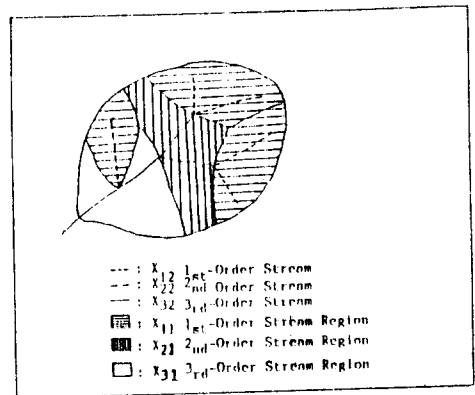


Fig.2. Map of Mean Value Method

2.2.2 평균치법

유역내의 복잡한 분할을 피하기 위해서 유역을 하천 차수에 따라서 분할하는 방법으로, Fig.2 처럼 3차 하천의 유출 경로는

$$\begin{array}{ccccccc}
 X_{11} & \longrightarrow & X_{12} & \longrightarrow & X_{22} & \longrightarrow & X_{32} \\
 X_{11} & \longrightarrow & X_{12} & \longrightarrow & & & X_{32} \\
 X_{21} & \longrightarrow & X_{22} & \longrightarrow & & & X_{32} \\
 X_{31} & \longrightarrow & & & & & X_{32}
 \end{array} \quad (2.27)$$

이 된다.

평균치법에서 지표면 지역 X_{i1} 의 도달시간은

$$\mu_{i1} = P_{A_{i1}} \cdot A / 2N_i \cdot \bar{L}_i \cdot V_{i1}, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (2.29)$$

이고, N_i ; i 차 하천의 증수, \bar{L}_i ; i 차 하천의 평균길이이다.

하천 X_{i2} 의 도달시간은

$$\mu_{i2} = \bar{L}_i / V_{i2}, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad (2.30)$$

이다. 식 (2.29) 와 식 (2.30) 에서 μ_{i1} , μ_{i2} 를 구해서 GIUH 모델식에 대입해서 계산하면 유역 출구에서 순간단위도를 얻는다.

3. GIUH 모델 分析 및 考察

3.1 모델 분석

지형인자를 고려한 경우 -유출 모델인 GIUH모델의 비교 분석을 위하여 선정된 지점은 낙동강 위천 유역의 동국교(33.63Km), 고노교(109.73 Km), 미성교(171.25 Km), 효령교(151.05 Km) 지점을

택하였으며, 분석 유역에는 자기 우량계가 11 개소, 수위 관측소가 6개소에 설치 되어있고, 분석에 사용된 자료는 1985 년 ~1986년 의 주요 호우이다.

GIUH모델의 평균 유출속도 계산에서 통수능계수(C_s) 값은 하천 자수가 높아짐에 따라서 증가하며, 유효 강우량이 커질 수록 C_s 값은 증가하는 것으로 나타났으며, 분석 지점별로 계산된 값은 Table.1 과 같다. 도달시간비(C_r) 값은 유역의 특성변수가 되어야 함으로 주로 하천의 평균 경사에 의해서 결정되며, 각 분석 지점별 계산된값은 Table.1 과 같다.

Table.1. Comparison of C_s , C_r (86.06.24)

Watershed		Dong-Kok	Go - Ro	Mi-Seong	Hyo-Ryeong
GIUH	C_s, C_r				
Sub-area	C_s	71.00	55.00	88.00	40.00
	C_r	0.30	0.25	0.10	0.20
Mean-value	C_s	17.70	64.00	165.00	58.00
	C_r	0.20	0.30	0.20	0.20
T.R(mm)		116.50	119.91	113.17	125.95
	F.R(mm)	50.54	52.97	56.79	59.25

평균치법에서 하천 분기비, $P_{u2.v2}$ 는

$$P_{u2.v2} = N_{u,v} / N_u$$

$P_{u2.v2}$; v 차 하천에 연결되는 u 차 하천의 증수,

N_u ; u 차 하천의 증수이고, 각 분석 지점별로 계산

한 분기비는 Table.2 와 같다.

Table.2. Calculation of Branching Ratio

$P_{u2.v2}$	$P_{1,2}$	$P_{1,3}$	$P_{1,4}$	$P_{2,3}$	$P_{2,4}$	$P_{3,4}$
Watershed						
Dong-Kok	0.7778	0.1481	0.0741	0.7143	0.2857	1.0000
Go - Ro	0.7364	0.1364	0.1273	0.7826	0.2174	1.0000
Mi-Seong	0.7630	0.1280	0.1090	0.6667	0.3333	1.0000
HyoRyeong	0.8219	0.1164	0.0616	0.7619	0.2381	1.0000

3.2 모델 검증

GIUH모델의 정확성을 객관적으로 평가할 수 있도록 하기 위해서 효율계수(CE),첨두 유출량 오차 백분율(EQ_p), 첨두 유출량 도달시간 오차(ET_p)와 유역의 지형특성에 의해서 결정된 통수능계수(C_s) 값 및 도달시간비(C_r) 값을 각각 25%씩 증감시켜 민감도 분석을 하여 관측치와 비교한다.

GIUH모델의 분석 지점별 계산 결과는 Table.3 과 같으며, CE

는 0.75 이상이고, EQ_p 는 +5% 정도이고, ET_p 는 1시간 이하이다.

미계측 유역 및 자료가 결핍된 유역에 적용할 수 있는지의 여부를 검토하기 위하여 C_s 값과 C_T 값에 대한 민감도 분석 계산 결과는 Tabl.4와 같으며, EQ_p 는 +10% 정도이고, ET_p 는 +2 시간 이내이므로 충분히 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

3.3 분석 결과의 비교 및 검토

각 분석 지점별로 GIUH모델과 합성단위도인 무차원단위도에 의한 유출량 계산 결과를 비교한 것은 Table.3 과 같으며, GIUH모델 계산결과 CE는 0.75 이상이고, EQ_p 는 +5% 정도이며, ET_p 는 1시간 이하이다. 무차원단위도에 의한 계산결과 CE는 0.70이상이고, EQ_p 는 +20% 정도이며, ET_p 는 2시간이내이므로 GIUH모델이 무차원단위도에 의한 계산 결과보다 관측치에 접근함을 알 수 있었고, 미계측 및 자료가 결핍된 유역에 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

Table 3. Results Comparison of Each Model (1986.06.24)

Watershed	Items	Observed	Dimensionless U.H	GIUH		Remarks
				Sub-area	Mean-value	
Dong-Kok	Q_p	55.94	61.89	58.33	57.80	Q_p (m ³ /sec)
	t_p	9	9	10	10	t_p (hr)
	CE*	*	0.877	0.814	0.764	CE (%)
	EQ_p **	*	14.210	4.278	3.319	EQ_p (%)
	ET_p ***	*	0	1	1	ET_p (hr)
Go-Ro	Q_p	190.53	175.46	205.73	181.10	
	t_p	9	10	9	9	
	CE	*	0.879	0.931	0.914	
	EQ_p	*	-7.911	7.797	-4.951	
	ET_p	*	1	0	0	
Mi-Seong	Q_p	299.63	738.07	292.25	295.29	
	t_p	7	9	7	7	
	CE	*	0.740	0.842	0.856	
	EQ_p	*	-20.554	-2.477	-1.458	
	ET_p	*	2	0	0	
Hyo-Ryeong	Q_p	225.73	248.77	226.20	225.47	
	t_p	9	9	10	9	
	CE	*	0.915	0.830	0.916	
	EQ_p	*	10.161	0.210	-0.115	
	ET_p	*	0	1	0	

$$* CE = 1 - \frac{(Q_{obs} - Q_{est})^2}{(Q_{obs} + Q_{obs})^2} \quad ** EQ_p = \frac{Q_{p,est} - Q_{p,obs}}{Q_{p,obs}} \quad *** ET_p = t_{p,est} - t_{p,obs}$$

* estimation obs=observed

Table 4. Sensitivity Analysis of C_s, C_T (1986.06.24)

Watershed	Items	Observed	C_s		C_T		Remarks
			C_s^*	C_s^{**}	C_T^{**}	C_T^{***}	
Dong-Kok	Q_p	55.94	48.14	64.24	57.26	58.19	Q_p (m ³ /sec)
	t_p	9	11	10	10	10	t_p (hr)
	EQ_p	*	-13.948	14.041	2.354	4.021	EQ_p (%)
	ET_p	*	2	1	1	1	ET_p (hr)
Go-Ro	Q_p	190.53	157.39	195.39	177.60	181.77	
	t_p	9	10	9	9	9	
	EQ_p	*	-11.12	2.467	-6.784	-4.600	
	ET_p	*	1	0	0	0	
Mi-Seong	Q_p	299.66	259.21	339.39	291.11	304.97	
	t_p	7	7	6	7	6	
	EQ_p	*	-13.499	13.260	-2.052	1.773	
	ET_p	*	0	-1	0	-1	
Hyo-Ryeong	Q_p	225.73	190.36	252.39	211.56	210.91	
	t_p	9	9	8	9	9	
	EQ_p	*	-15.667	11.811	-6.278	-3.021	
	ET_p	*	0	-1	0	0	

$$* C_s = C_s \cdot (1+0.25)$$

$$** C_T = C_T \cdot (1+0.25)$$

3.4 결과의 고찰

본 연구에서 유출량 해석을 하기 위해서 GIUH모델의 분할법과 평균치법 및 무차원단위도에 의한 분석 결과는 다음과 같다. 분석 유역에 적용하여 유출 해석을 한 직접유출 수문곡선과

실측 직접유출 수문곡선과 비교한 결과 Fig.3 ~ Fig.6과 같으며, GIUH모델이 무차원단위도에 의한 수문곡선보다 관측치에 접근함을 알 수 있었다.

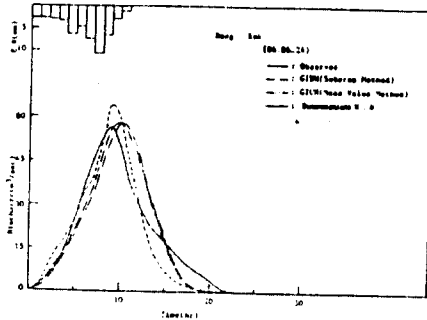


Fig. 3 Direct Run-off Hydrograph

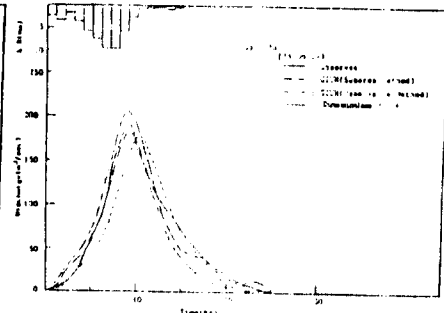


Fig. 4 Base Run-off Hydrograph

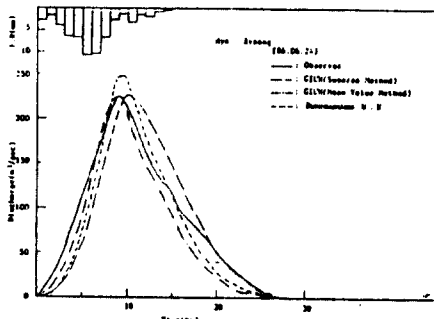


Fig. 5 Direct Run-off Hydrograph

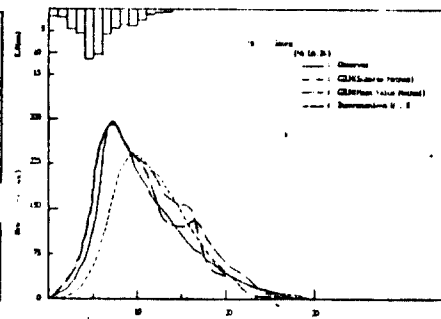


Fig. 6 Base Run-off Hydrograph

4. 結 論

지형인자를 이용하여 미계측 유역이나 수문자료가 충분하지 못한 유역에 대한 강우-유출 관계를 해석한 모델중에서 대기행렬이론을 적용한 비선형 시변인 GIUH모델로 유출해석을 한 결과는 다음과 같다.

1. 순간단위도에 의한 GIUH모델을 확립하였으며, 비교한 결과 정확도가 높은 우수한 결과를 얻을 수 있다.
2. GIUH모델은 분석 유역의 지형도로 부터 측정된 지형자료, 즉 배수면적, 하천수, 길이, 경사등을 구하여 유출량을 계산할 수 있으므로 미계측 유역이나 자료가 결핍된 유역에

광범위하게 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

3. 통수능 계수(C_S) 값은 유출속도에 따라 변화하는 변수이고, C_S 값은 민감도 분석결과 첨두 유출량과 도달시간에 큰 영향을 줌을 알 수 있었다.
4. 도달시간비(C_T) 값은 유역의 지형 특성변수이고, 유역 경사로 추정할 수 있으며, C_T 값은 민감도 분석결과 첨두 유출량과 도달시간에는 큰 영향을 주지않음을 알 수 있었다.
5. GIUH모델의 분할법은 계산과정의 반복단계에서 계산오차가 누적됨으로 평균치법이 분할법보다 계산이 간편하고 실용성이 있음을 알 수 있었다.