

# TIUH를 이용한 유량 산정

김용<sup>1)</sup> 이충성<sup>2)</sup> 김형수<sup>3)</sup> 심명필<sup>4)</sup>

## 1. 서 론

유출곡선은 강우특성 뿐만 아니라 유역의 지형형태학적 특성에 좌우된다. 즉, 유역의 수문학적 반응은 지형형태학적 특성뿐만 아니라 기후인자, 특히 초과강우량과 지속기간에 영향을 받는다. 수문자료는 유역의 반응을 조사하기 위해 필요하며 수문자료가 없는 미계측 지역의 경우 여러 대안들이 유출곡선을 추정하기 위해 이용된다.

최근 이런 문제에 대한 접근방법은 하천망의 이류와 감쇠를 모형화하여 유역의 반응과 형태학적, 지형학적인 면을 연결시키는 것이다. Rodriguez-Iturbe와 Valdes(1979)는 지형형태학적 순간단위도(Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph, GIUH) 개념을 처음으로 도입하였고, 이후 Gupta 등(1980)에 의해 일반화되었다. 현재도 많은 수문학자들은 순간단위도(IUH)의 특성을 유역의 지형형태학적 특성과 연결시키려는 노력들을 해오고 있다. 그러나 GIUH 모형은 통계학적 접근에 바탕을 두고 있으므로 하천차수가 높은 경우는 IUH를 유도하는 것이 어려울 수가 있다.

본 연구에서는 GIUH 모형 유도시 유역의 하상지형인자 중 하천차수가 4차 이상인 경우 IUH를 유도하는 것이 어려우므로 유도가 쉬운 삼각순간단위도(Triangular IUH, TIUH)를 GIUH 모형에 적용하고 해석결과를 유량 관측값과 비교하여 TIUH의 적용성을 검토하였다.

## 2. 삼각순간단위도(TIUH)

이론적인 IUH는 4차 이상의 차수를 가지는 유역에 대해서 유도하기 어려울 수가 있다. 그러나 IUH의 가장 중요한 특성이 첨두유량( $q_p$ )과 첨두시간( $t_p$ )이므로 IUH의 특성값이 정확하다면 IUH의 형식은 중요하지 않으며 TIUH는 꽤 만족스러운 결과를 준다(Henderson, 1963). 그러므로 첨두유량과 첨두시간으로 TIUH가 표현될 수 있으며 이를 4차 이상의 하천에 적용할 수 있다. Rodriguez-Iturbe와 Valdes(1979)는 첨두유량과 첨두시간을 계산하는 식을 회귀분석을 통하여 제시하였으며, Rosso(1984)가 식(1), 식(2)와 같이 재정리하였다.

$$q_p = \frac{0.364vR_L^{0.43}}{L_q} \text{ (hr}^{-1}\text{)} \quad \text{--- (1)} \quad t_p = 1.584 \frac{L_q \left( \frac{R_B}{R_A} \right)^{0.55}}{vR_L^{0.38}} \text{ (hr)} \quad \text{--- (2)}$$

여기서,  $L_q$  : 최고차수의 하천길이(km),  $v$  : 유량속도(m/s),  $R_B$  : 분기비,  $R_A$  : 면적비,  $R_L$  : 길이비

### 2.1 감마분포를 이용한 단위도

단위도(UH)를 표현하기 위해 Edson(1951)은 감마함수를 사용하여 단위도의 이론적인 표현을 제시하였고, Nash(1959)와 Dooge(1959)는 동일한 저류계수 K를 가지는 n개의 선형저수지 개념을 바탕으로 감마함수(Gamma Distribution)의 형태를 다음과 같은 IUH로 표현하였다.

$$q = \frac{1}{K(n)\Gamma} \left( \frac{t}{K} \right)^{n-1} e^{-\frac{t}{K}} \quad (3)$$

여기서, n, K : IUH의 모양을 결정하는 변수, q : 유효강우의 시간당 유출깊이

- 
- 1) 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 대학원 석사과정
  - 2) 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 대학원 박사과정
  - 3) 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 조교수
  - 4) 인하대학교 환경토목공학부 토목공학과 교수

식(3)으로부터 저류특성(n, K)을 포함하지 않고 오직 유역의 특성만을 가지는 변수  $\beta$ 를 사용하여 아래와 같은 식(4)를 유도하였다. 여기서 특정 지역에 대해서  $\beta$ 는 일정하지만 비슷한 다른 지역에서는 유역특성에 의하여 달라질 수도 있다.

$$\frac{q}{q_p} = \exp\left\{\frac{1}{6} + 2\pi\beta^2 \alpha \left(\frac{t}{t_p}\right)\right\} \quad (4)$$

$$\text{여기서, } \alpha(t/t_p) = [1 - t/t_p + \ln(t/t_p)], \quad \beta = q_p \cdot t_p$$

식(4)는 감마분포의 단순화된 무차원형태를 보이며 경험적인 계수와는 관련이 없다. 감마분포의 단위도를 얻기 위해서는 기본변수인  $q_p$ 와  $t_p$ 만이 필요하며 지수와 로그 계산만이 있기 때문에 계산이 쉽게 이루어진다. 또한 식(4)를 사용하여 TIUH를 이룬 IUH와 비슷한 부드러운 모양으로 변환할 수 있다.

## 2.2. GIUH의 특성속도

특성속도( $v$ )를 산정하기 위해 IUH의 기저시간( $t_b$ )이 사용될 수 있으며 기저시간은 수로망의 집중시간( $t_c^{mu}$ )으로 해석될 수 있다(Henderson, 1963 ; Bras, 1990). Rosso(1984)는 식(1), 식(2)를 이용하여 특성속도와 집중시간을 연결시킬 수 있는 Nash 모형(1957)을 유도하였다.

$$f(t; \alpha, k) = [kI(\alpha)]^{-1}(t/k)^{\alpha-1} \exp(-t/k) \quad (5)$$

$$\text{여기서, } \alpha = 3.29 \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0.78} R_L^{0.07} \quad \text{--- (6a)} \quad k = 0.70 \left[\frac{R_A}{(R_B R_A)}\right]^{0.48} v^{-1} L_Q \quad \text{--- (6b)}$$

식(6b)는  $v^{-1}L_Q$ 의 비를 가지고 있는데 이 비는 집중시간을 기저시간과 같게 놓음으로써 집중시간과 연관시킬 수 있으며 기저시간의 범위를 0.1~15h로 하여 회귀분석으로 다음과 같은 식을 얻었다.

$$\frac{L_Q}{v} = 0.138 t_c^{mu} \left(\frac{R_B}{R_A}\right)^{0.003} R_A^{0.437} \quad \text{---- (6)} \quad \text{또는 } v = L_Q (0.138 t_c^{mu} R_A^{0.437})^{-1} \quad \text{---- (7)}$$

식(6)에서  $R_B/R_A$ 는 무시될 수 있으며 경유시간은 하천의 연장과 관련이 있을 뿐 유역면적과 분기(bifurcation)와는 관련이 없으므로 타당성이 있어 보인다. 그러므로 식(7)과 같이 간략하게 표현될 수 있다.

## 2.3 집중시간

Nash모형에서 유도된 특성속도( $v$ )를 결정하기 위해서는 우선 집중시간을 결정해야 한다. 김상단 등(2000)에 의하면 GIUH의 특성속도 산정시 Kerby, Braby-Williams, 김남원, Kinematic Wave 공식 등이 비교적 실측값에 가깝다고 하였으며 Kerby, Kinematic Wave 공식은 n값의 다소 주관적인 추정에 따라 특성속도가 변한다는 단점이 있으므로 비교적 정확한 값을 주는 김남원 공식 및 Braby-Williams 공식이 유역의 객관적인 특성속도로 사용될 수 있음을 제시하였다. 본 연구에서는 집중시간 계산시 n값이 주관적이기는 하나 기후인자인 유효강우량을 고려하기 위해 Kinematic Wave 공식을 사용하였다.

$$\text{Kinematic Wave : } t_c = 7.355(\text{Ln})^{0.6} I^{-0.1} S^{-0.3}$$

## 3. TIUH의 적용

### 3.1 적용 대상유역 및 수문자료

대상유역은 낙동강유역의 IHP 대표유역인 위천유역내 고노, 동곡, 효령 지점을 선택하였으며 세 지역에 대해 '94년 8월 28일, '96년 3월 4일, '97년 5월 12일, 2000년 7월 10일 4개의 강우사상을 선택하였다. 강우자료는 표 1. 과 같으며 유효강우 및 기저유출은 각각  $\Phi$ -index 방법과 수평직선분리법을 이용하여 구하였다.

### 3.2 대상지점의 하상지형인자와 지형형태학적특성

위천유역내 고노, 동곡, 효령 지점의 하상지형인자 및 지형형태학적 특성은 표 2. 와 같다.

표 1. 고노, 동곡, 효령 지점의 강우자료

지점	강우사상	유효강우량 (mm)	지속시간 (hr)	평균강우강도 (mm/hr)
고노	940828	15.69	10	3.37
	960304	38.33	9	6.46
	970512	21.63	9	4.17
	000710	68.1	24	4.96
동곡	940828	14.98	10	3.43
	960304	59.3	8	7.86
	970512	26.48	8	6.27
	000710	37	23	6.56
효령	940828	16.55	12	3.03
	960304	15.04	9	7.10
	970512	27.4	10	3.1
	000710	87.66	25	5.72

표 2. 하상지형인자 및 지형형태학적 특성 (김상단 등, 2000)

지점	차수	개수 (N)	길이 (km)	면적 (km <sup>2</sup> )	RA	RL	RA	S
고노	1	83	0.764	62.463	4.152	2.535	4.989	0.0208
	2	16	1.39	86.202				
	3	6	2.389	99.735				
	4	1	14.16	109.73				
동곡	1	27	0.708	16.238	3.046	1.613	3.884	0.0406
	2	7	1.616	27.002				
	3	2	2.41	30.985				
	4	1	3.051	33.63				
효령	1	146	0.86	85.801	5.335	2.668	6.410	0.0311
	2	42	1.404	120.705				
	3	7	4.189	138.95				
	4	1	15.74	151.05				

3.3 적용 및 결과

TIUH를 지점별로 적용하여 표 3. 과 같은 결과를 얻었으며 그림 1. 에 유량도를 나타내었다.

표 3. TIUH 계산결과 및 관측값과 비교

지점	강우사상	TIUH		관측값	
		$t_p$ (hr)	$q_p$ (m <sup>3</sup> /s)	$t_p$ (hr)	$q_p$ (m <sup>3</sup> /s)
고노	940828	17	16.46	14	9.84
	960304	17	50.53	15	70.00
	970512	19	24.45	15	34.35
	000710	24	69.79	13 21	89.80 81.87
동곡	940828	7	11.45	11	3.21
	960304	10	52.37	9	60.40
	970512	8	24.21	9	14.49
	000710	11 20	58.87 68.24	7 17	383.23 321.82
효령	940828	19	12.66	15	15.88
	960304	17	15.55	15	26.80
	970512	22	20.54	12	110.02
	000710	23	72.01	9 19	218.79 164.50

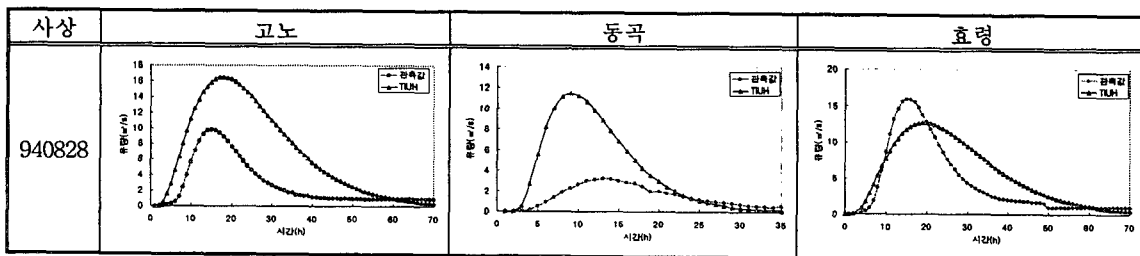
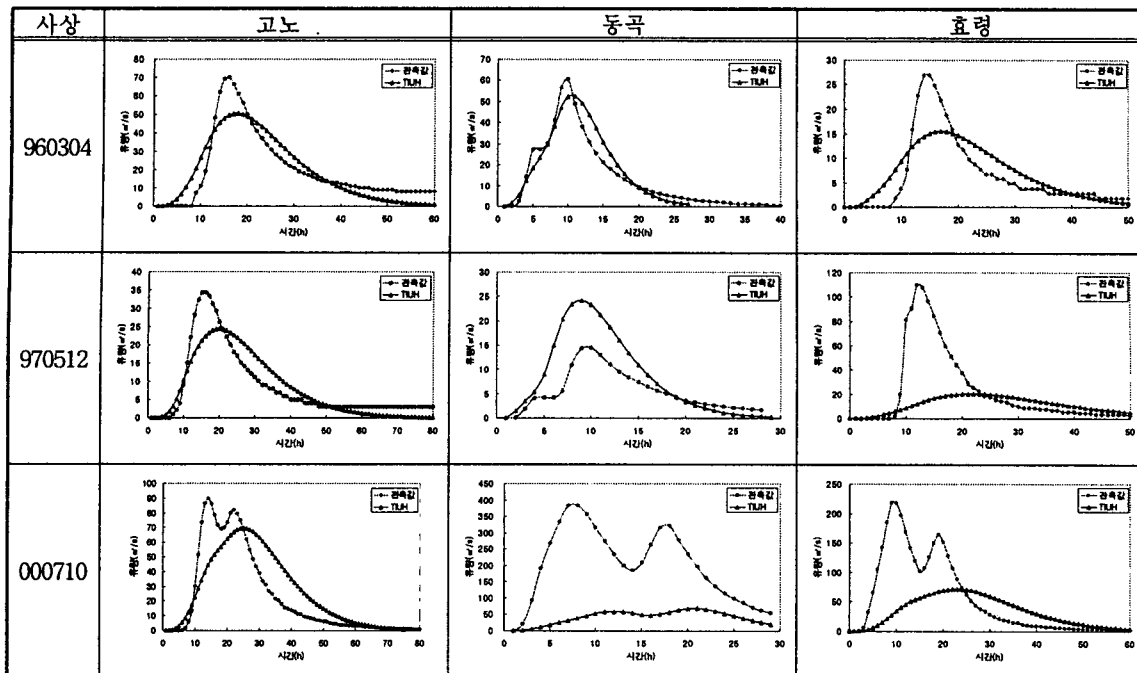


그림 1. TIUH을 이용한 유량도 및 관측유량도 (비교)



#### 4. 결 론

본 연구는 이론 IUH의 근사값인 TIUH를 사용하였으며 적용시 근사값을 사용한 단점을 보완하고자 TIUH를 감마분포로 변환하여 적용하였다. 적용과정 중 지형형태학적 인자를 최대한 고려하여 산정절차의 균일성을 추구하였으며 강우량, 유로경사, 유로연장, 강우지속기간 등 지형학적, 수문학적 인자를 사용할 수 있는 적용식을 선택하였다.

적용결과를 살펴보면 TIUH의 침투시간은 관측값에 대해 0.6~1.5배정도 차이가 나며 침투유량은 0.19~3.57 배정도 차이를 보이고 있다. 그 중 고노와 동곡 지점에서 침투시간이 비교적 잘 표현되었으며 침투유량의 경우는 전체적으로 관측값보다 작게 계산되었다. 정확하지는 않지만 비교적 지속기간이 짧고 강우강도가 균일한 단순 호우사상에서 침투유량 및 침투시간이 좋은 결과를 보였다고 판단된다.

보다 정확한 결과를 얻기 위해서는 IUH의 기본가정을 잘 만족하는 호우사상을 선택하고 유효유량, 기저유출 등의 산정과 GIUH 모형에서 가장 중요한 특성속도를 정확하게 계산할 수 있는 방법이 보완된다면 TIUH의 정확성을 높일 수 있다고 생각하며, 결측자료의 보완과 미계측지역에서의 유출해석을 위해 이용될 수 있으리라 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 21C 프론티어 연구개발사업 '수자원의 지속적 확보기술개발' 연구용역 결과의 일부로서 지원해 주신 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단에 감사를 드립니다.

#### 5. 참고문헌

Rodriguez-Iturbe, I. and Valdes, J.B. (1979). "The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response", *WRR*, 15(6), pp. 1409-1420.  
 Valdes, J.B., Fiallo, Y. and Rodriguez-Iturbe, I. (1979). "A rainfall-runoff analysis of the Geomorphologic IUH", *WRR*, 15(6), pp. 1421-1434.  
 Singhm S.K (2000). "Transmuting Synthetic unit Hydrographs into Gamma Distribution", *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol.5, No.4, pp. 380-385.  
 Franchini, M., O'Connell, P.E. (1996). "A analysis of the dynamic component of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph", *Journal of Hydrology*, Vol.175, pp. 407-428.  
 AL-Wagdany, A.S., Rao, A.R. (1995). "Estimation of the Velocity Parameter of the Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph". *Water Resources Management* 11, pp. 1-16.  
 김상단, 유철상, 윤용남 (2000). "지형형태학적 순간단위도의 특성속도에 대한 고찰", *한국수자원학회논문집*, 한국수자원학회, 제33권, 제3호, pp. 315-330.  
 윤용남(1999), *공업수문학*, 청문각  
 건설교통부 (1993-2000). *국제수문개발계획(IHP) 대표시험유역 연구조사 보고서*