

GIUH의 遲滯時間 算定을 위한 水文學的 解析

Hydrologic Analysis for Determining the Lag Times of GIUH

이 혁 규* · 윤 석 영** · 김 재 한***
Lee, Huk Kyu · Yoon, Seok Young · Kim, Jae Han

Abstract

Three types of methods are used to determine the lag time which is an important parameter in estimating the geomorphological instantaneous unit hydrograph (GIUH) and their results are analyzed hydrologically in this study. The first method uses only the average velocity and second one uses the combination of the stream length and the average velocity. The third method employs the relationship between watershed area and lag time obtained from the empirical coefficients of Boyd and Singh. To verify the applicabilities of such methods to the actual river basin, the obtained lag times were tested by using the observed data. The results showed that the first method was applicable to small watershed area but not to larger area. The several other hydrologic characteristics beside the watershed area should be considered for the third method because the accuracy of the lag time was not good. Finally, the second method gave the most similar simulation results and the best agreements to the observed runoff data than any other method.

요 지

본 연구는 지형학적 순간단위도를 산정하는데 있어서, 주된 매개변수인 지체시간을 세가지 형으로 결정하여, 그 결과들을 수문학적으로 해석하였다. 지체시간의 산정방법으로서 첫째로 평균유속만을 이용한 것과, 둘째로 유로연장과 평균유속을 조합한 방법을 적용하였으며, 셋째로 유역면적과 Boyd 및 Singh의 경험적 계수들로부터 얻어진 지체시간의 상관식을 사용하였다. 각 방법들의 결과분석을 위하여 실제유역의 자료들을 사용하였으며, 그 결과로부터 소유역의 경우에는 평균유속만의 방법도 가능하나, 유역면적이 커질수록 유출량의 재현성에 있어 정확도가 떨어짐을 알 수 있었다. 또한 세번째 방법은 지체시간의 정확도가 떨어져, 면적뿐만 아니라 다른 수문학적 특성인자들도 고려되어야 함을 나타내었다. 따라서, 적용방법들 중 두번째 방법이 지체시간 산정에 있어서 우수함을 보여주었으며, 이로부터 구한 유출량도 타 방법들에 비해 실측치와 가장 근사하게 접근하였다.

* 忠南大學校 大學院 卒業
** 韓國建設技術研究員 先任研究員
*** 忠南大學校 土木工學科 教授

2.1 평균대기시간

1. 序 論

수자원의 관리, 개발 및 수공구조물의 설계등에 필요한 강우-유출 해석은 유역에서의 단위도와 순간단위도를 이용하여 행해지고 있으며, 단위도와 순간단위도에 의한 유출해석은 신뢰성이 있는 동시에 측정된 강우와 유출자료의 획득이 선행되어야 한다. 그러나 실제적으로 자연하천 유역에서는 계측된 수문량의 자료들이 미흡하거나 전무한 실정이므로, 이와 같은 경우에서의 수공구조물의 설계란 상당한 어려움이 내포하게 된다.

이와 같은 문제점을 해결하고자 시도된 것이 지형학적 순간단위도로서, Horton(1945)이 하천형태를 정량화한 것을 바탕으로 Rodriguez-Iturbe 등(1979)과 Valdes 등(1979)이 유역의 수문학적 응답과 지형학적 구조를 결합시켜 지형학적 순간단위도를 처음으로 이론화하였다. 그후로부터 최근에 이르기까지 이에 대한 연구는 국내외적으로 여러 학자들에 의하여 수행되고 있는 실정이다. 예를 들면, Gupta 등(1980), Cheng(1982), Kirshen과 Bras(1983), 이순탁과 박종권(1987), 이정식 등(1987), 조홍제와 이상배(1990), 한성희(1991), 김재한과 윤석영(1993), 선우중호와 성기원(1994) 등을 들 수 있다.

지형학적 순간단위도는 水路 및 斜面에 대한 확률밀도함수(응답함수)가 얼마나 정확하게 구해지느냐에 따라서 그 적용성이 좌우된다. 이를 위하여는 확률밀도함수의 주된 매개변수인 지체시간을 가능한 한 정확도가 높게 구해야 할 것이다. Boyd(1978)는 강우-유출과정의 저류추적 모델을 위하여 지체시간 및 하천차수와 배수계 크기간의 관계를 검토, 분석하였다. 따라서, 본 연구에서는 지금 까지 잘 알려진 지형학적 순간 단위도의 응답함수인 확률밀도함수의 주된 因子인 지체시간을 세 가지 방법에 의하여 실측자료로부터 구하여, 그 결과들을 분석하고 실용성의 程度를 나타내고자 하는데 목적이 있다.

2. 지체시간의 산정방법

평균대기시간($KB(i)$)은 강우가 유역에 떨어져 수로의 출구점까지 배출되기까지의 유역에서 지체하는 시간을 의미한다. 유역에서는 대기시간의 확률밀도함수(PDF: Probability Density Function)에 따라서 첨두유량(Q_p), 도달시간(Travel time) 및 유출수분곡선의 형태가 달라진다.

Gupta 등(1980)은 대기시간을 지수분포와 균등분포로 가정하여 연속적이고 평행한 선형저수지와 선형하도의 유출모델을 제시하였으며, Cheng(1982)은 Dooge(1959)의 일반적인 단위도 이론을 기초로 하여 수문 응답 모델을 하도와 지표면 구역으로 분류하여 구성하였다. 지표면 구역의 대기시간은 지수분포로 가정하였으며, 하도에서는 대기시간을 선형으로 하여 저류부분(Storage part)과 평행이동부분(Translation part)으로 나누어서 모델을 구성하였다. 그러나 하도에서의 저류부분과 이동부분의 분류는 현재까지는 사실상 구분이 불가능한 상태이다. Cheng은 이문제의 해결책으로 지표면 부분에 포함하여 모델을 구성하였으며, 이것의 가상적 분리법이 도달비(Cr)값의 산정이었다. 하지만 자연의 하천은 저류부분과 이동부분이 함께 복합된 흐름이다. Cheng은 저류부분과 평행이동부분의 대기시간은 각각 지수분포와 균등분포로 가정하였다.

Rodriguez-Iturbe 등(1979)과 Valdes 등(1979)은 w 차 하천의 유하시간이 지수분포 확률밀도함수로 가정하였으며, 다음과 같이 나타내었다.

$$f_w(t) = K_w \exp(-K_w t) \quad (1)$$

여기에서 K_w 는 w 차 수로의 t^{-1} 특성인자이다. $1/K_w$ 이 평균 지체시간이기 때문에 그들은 K_w 를 다음과 같이 추정하였다.

$$K_w = \frac{\bar{V}}{\bar{L}_w} \quad (2)$$

여기에서 \bar{V} 는 동적인자(Dynamic parameter)인

특성속도(Characteristic velocity)이다. 이때 속도 V 는 어떤시간에 모든 유역에서 같다고 가정한다.

2.2 지체시간의 산정

지형학적 순간단위도의 매개변수인 평균대기시간(지체시간)은 이미前述한 바와 같이, 유역에서의 지체시간과 유역 특성인자로 표현될 수 있으므로 이것들이 결정되면, 지형학적 순간단위도에 의해서 미계측유역에 대한 유출의 예측이 가능케 된다. 유역의 지체시간은 실측된 강우와 유출자료가 존재할 경우 추정이 가능하며, 지형학적 특성인자는 지형도로부터 추정이 가능하다. 물리적인 관점에서 유역지체시간은 강우사상 발생동안 강우입자가 전 유역에서, 유역의 출구에 도달하는 평균시간으로 표현되며, 유역지체시간의 크기는 유역과 강우의 특성에 따라 변한다.

Gupta 등(1980)은 i 차수의 Strahler channel에서 평균지체시간을 하도와 지표면으로 나누어 다음과 같이 제시하였다.

$$\frac{1}{K_a} = \alpha (\bar{L}_i)^{\frac{1}{3}}, \quad 1 \leq i \leq w \quad (3)$$

여기에서 K_a 는 i차수 하도에서의 평균지체시간, \bar{L}_i 는 i차 하천의 평균길이이며, α 는 경험상수이다.

$$\frac{1}{K_n} = \alpha \left[\frac{A_{ri} A^{\frac{1}{3}}}{2N_i \bar{L}_i} \right], \quad 1 \leq i \leq w \quad (4)$$

여기서 K_n 은 i차수 지표에서의 평균지체시간, A_{ri} 는 i차수 지표유역의 비율($=$ i차수 지표유역의 면적/총유역면적(Total area)), N_i 는 i차수 하천의 갯수, \bar{L}_i 는 i차수 하천의 평균길이, A 는 총유역면적이며, α 는 경험상수이다.

식 (3)과 (4)에서 A_{ri} , N_i , \bar{L}_i , A 등은 지형도로부터 구할 수 있지만, α 는 경험적 상수이므로 미지수로 남는다. 남은 α 를 구하는 문제는 역으로

IUH의 1차 모멘트를 이용함으로써 구할 수 있다.

유역의 지체시간 K_B 는 식 (5)와 같이 순간단위도의 1차 모멘트로부터 구할 수 있다.

$$K_B = \int_0^\infty t h(t) dt \quad (5)$$

여기서 $h(t)$ 는 지형학적 순간단위도이다.

식 (5)에서 정의된 K_B 는 다음과 같은 유역의 평균지체시간과 같다.

$$K_B = \left[\frac{\int_0^\infty t Q(t) dt}{\int_0^\infty Q(t) dt} \right] - \left[\frac{t_d}{2} \right] \quad (6)$$

여기서, $Q(t)$ 는 직접유출수문곡선을 나타내며, t 는 시간이며, t_d 는 균등 강우 지속기간이다.

GIUH의 최종식인 Gupta 등(1980), Singh (1983)의 식과 식 (6)으로부터 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_B = \sum_{s \in S} P(s) \left[\frac{1}{K_{s1}} + \frac{1}{K_{s2}} + \dots + \frac{1}{K_{sk}} + \right] \\ S = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_k\} \quad (7)$$

식 (7)에서 K_s 를 구하기 위한 미지수는 α 로서, 유역 평균지체시간 K_B 를 추정함으로써 α 를 구할 수 있다.

본 연구에서는 K_B 를 추정함에 있어서, 3가지 방법으로 K_B 를 산정하여, 미지수 α 를 구함으로써, 각각의 방법으로 구한 유역평균 지체시간 K_{B1} , K_{B2} , K_{B3} 를, Singh(1983)의 지형학적 순간단위도 식에 대입하여 구한 뒤 각 방법의 결과치들을 비교, 분석하고자 한다.

2.2.1 방법 1. 평균유속만을 이용한 방법(K_{B1})

유역평균유속에 의해 산정된 유역 응답 시간특성은 이동시간이며, 이동시간은 물입자가 유역내 입의 지점에서 출구까지 도달하는데 걸리는 시간이다. 그러나 평균유속의 산정방법도 여러가지로서,

동일유역이지만 유속산정의 방법 차이로 인한 유속의 차이가 있음은 이미 기지의 사실로서, GIUH 산정을 위해 핵심매개변수인 지체시간 K_B 의 산정에 유속을 사용하여 이루어진 연구가 대부분이었으며, 대부분 기존의 대표유역의 기지값을 사용하여 逆으로 지체시간 K_B 를 산출하는 방법을 통하여 연구들이 수행되었다.

Cheng(1982)은 지형학적 순간단위도의 핵심 매개변수인 지체시간의 산정에 있어서, Gupta 등 (1980)의 이론을 사용하여 유역에서 강우입자가 이동하는데 필요한 시간인 평균지체시간을 확률밀도함수로 표현하였으며, 다음과 같은 2가지의 큰 가정을 하였다.

- 1) 확률밀도함수는 지수분포이며, 유역은 직렬 또는 병렬의 선형 저수 지로 가정.
- 2) 확률밀도 함수는 균일분포이며, 유역내에서 강우입자의 이동속도는 같은 속도로 이동한다고 가정하여 유역을 직렬 또는 병렬의 선형수로로 가정.

위와 같은 2가지의 큰 가정에 기초를 두고서 강우입자의 이동을 대기행렬계(Quene system)로 설명하였으며, Dooge(1959)의 이론에 의하여 유역을 개념적으로 지표면 유출지역과, 하천유역 두 부분으로 나누었다.

지표면 유출지역의 도달시간은 선형저수지의 계열을 통해서 추적할 수 있는 지수형태적인 분포가 된다고 가정했으며, 하도부분은 저류 효과와 이동효과가 있으므로 도달시간의 확률밀도함수는 지수분포(저류부분)와 균일분포(이동부분)로 구분하였다. 이렇게 해서 Cheng은 수문학적 모델을 직렬 및 병렬로 구성된 선형저수지와 선형수로로 결합된 모형으로 제시하였으며, 지표면 유출지역을 두 경사면이 구성하는 V 형의 경사면으로 가정하여 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$\mu_i = \frac{AR(i)TA}{2\bar{L}_i\bar{V}}, i=1, 2, 3, \dots, M \quad (8)$$

여기서 μ_i 는 지표면 지체시간, \bar{L}_i 는 i차 하천의 평균길이, \bar{V} 는 유역의 평균유속이며 TA는 유역 총 면적(km^2)이다.

또한 하천부에서의 평균 유출도달시간은 다음과 같이 나타내었다.

$$\mu_{i2} = \frac{\bar{L}_i}{\bar{V}}, i=1, 2, 3, \dots, M \quad (9)$$

여기서 μ_{i2} 는 i차 하천의 지체시간이다.

Cheng은 Dooge의 이론에 의해서 유역은, 지표면 유출지역과 하천지역의 두 부분으로 구분하고, 선형저수지와 수로의 개념으로 나누어 계산하였다. 또한 각 하천은 저류부분과 이동부분으로 분리하여 C_r 이라는 두 부분의 도달시간비를 산정, 아래와 같은 식을 가지고 설명하였다.

$$C_r = \frac{\mu_a}{\mu_n} \quad (10)$$

위 식에서 C_r 은 이동부분과 저류부분의 도달 시간비, μ_a 는 i차 하천의 이동부분 도달시간이며, μ_n 는 i차 하천의 저류부분 도달시간이다.

Cheng이 이렇게 식 (10)과 같이 제안한 것은, 하천부분에서의 지체시간을 자연현상에서는 사실상 저류부분과 이동부분으로 나눌 수 없기에 간단히 C_r 값으로 표현하여, μ_a 와 μ_n 의 비가 유역에 가장 잘 맞을 때까지 시행착오법으로 계산하여, 이때의 μ_a 와 μ_n 를 더하여 i차 하천의 평균지체시간으로 설명하였다.

$$\mu_{i2} = \mu_n + \mu_a \quad (11)$$

그러나 Cheng은 IUH의 1차 모멘트를 산정함으로써 이것을 유역의 평균지체시간으로 하고, 이때 매개변수로 유역의 평균유속(\bar{V})을 구하여 C_r 값을 구한 뒤 GIUH를 유도하였다.

그러나 본 연구에서는 기존의 기지값, 지체시간을 사용해 평균유속을 산출하는 것이 아니라, 선형화된 St. Venant 式을 변형한 확산식으로부터 선형수로 응답함수를 유도하는 과정에서 산출된 유속을 평균유속으로 사용하여, Cheng의 지표와 하도의 각 경로별 지체시간을 합한 식 (12)에서, 지형도로부터 미지수로 남아있는 평균유속항에

대입하여 지체시간(K_{BI})을 산정하고, Singh의 GIUH식에 적용, 재현성 검증 및 타 방법과의 결과를 비교, 분석하고자 한다.

$$KB_1 = \sum_{r \in R} P(r) \left[\frac{AR(i)TA}{2N(i)\bar{L}_i\bar{V}} + \sum_{k=i}^M \frac{\bar{L}_k}{\bar{V}} \right] \quad (12)$$

2.2.2 방법 2. 평균유속과 유로연장을 이용한 방법(K_{B2})

유역 평균지체시간의 올바른 산정은, 지형학적 순간단위도(GIUH)의 올바른 유도에 많은 영향을 끼친다. 평균유속의 산정은 앞절에서도 언급되었듯이, 산출방법에 따라 여러가지로 산정할 수 있고, 산출방법에 따라 동일유역에서의 평균유속 값은 조금씩 차이가 있다. 그러나 유역 평균지체시간 산정의 매개변수의 하나인, 하천길이(L)의 결정도 산정 방법에 따라 동일 유역에서도 각기 다른 값을 가진다.

일반적인 하천길이의 결정은 하천차수별 평균길이($\bar{L}_{(i)}$)와 유역전체 평균길이(\bar{L})로서 정의되어, 각기 지형학적 순간단위도에 매개변수로서 사용된다.

하천차수별 평균길이는 식 (13)에서와 같이 정의된다.

$$\bar{L}_i = \frac{\sum L_{(i)}}{N_i} \quad (13)$$

여기서 $\bar{L}_{(i)}$ 는 i 차 하천의 평균길이, N_i 는 i 차 하천의 총 갯수이며, $\sum L_{(i)}$ 는 i 차 하천 길이의 총합이다. 유역전체에서의 하천 평균길이의 개념은 식 (14)와 같이 정의할 수 있다.

$$\bar{L} = \frac{\sum L_i}{N} \quad (14)$$

여기서 $\sum L_i$ 는 유역 출구에서 1차 하천까지의 길이의 총합이며, N 은 1차하천의 총수이다.

위와 같은 유역평균길이는 일반적으로 잘 알려진 식들이다. 그러나, 본 연구에서는 하천길이를 유역 출구에서 최원거리로 적용하였을 경우, 지체시간과

비슷한 개념으로 생각할 수 있다고 보고, 최원점거리를 적용, 유역의 평균지체시간을 산출하였다.

최원점 거리(L_d)의 산출은 “유역출구에서 본류를 따라 분수계까지의 거리”로서 정의하여, 방법 2에서는 거리(L_d : 최원점 하천거리)와 유역평균유속(\bar{V})을 가지고 유역의 평균지체시간을 산출하였다. 유역의 최원점거리와 평균유속을 사용한 지체시간의 산정은 식 (15)와 같이 나타낼 수 있다.

$$KB_2 = \frac{L_d}{\bar{V}} \quad (15)$$

여기서 K_{B2} 는 유역의 평균지체시간이며, L_d 는 최원점 하천거리이다.

2.2.3 방법 3. Boyd의 경험식에 의한 방법(KB_3)

Boyd(1976)는 지체시간과 유역면적간의 관계를 최소자승 회귀분석법(Least squares regression method)을 통하여, 유량관측소가 설치되어 있는 실험지역의 10지역을 수많은 강우사상을 통한 지형학적 순간단위도의 매개변수들을 지형도와, 관측된 강우사상으로부터 산출하여 지형학적 매개변수들과 지체시간, 그리고 유역 특성변수들 간의 상호회귀분석을 통한 여러가지 식을 제안하였다.

Boyd가 제안한 여러가지 식들 가운데 유역면적(Area), 하 천 경 사(Slope), 하 천 길 이(Stream length), 지체시간(Lag) 등과 같은 유역의 대표적인 특성변수들간의 상관관계 등을 나타낸 식들은, 우리가 미계측유역의 GIUH 유도를 위한, 지체시간 산정 및 기타 변수들의 추정에 아직도 많이 사용하고 있다.

그러나 Boyd가 제안한 각종 특성변수들의 매개변수는 지형과 기상학적 양상이 크게 다른 우리국내에서도, 변수산정의 간편성으로 인해 검증없이 사용되어도 될 것인가에 주안점을 두고, 특히 유역면적-지체시간 간의 관계를 Singh(1983)의 美國內 소유역(Small basin)의 GIUH 유도에 사용하였던 계수를 국내 소유역에 적용하여 평균지체시간을 산정, 다른방법들과 비교, 검토하고자 한다.

Boyd는 유량관측소가 설치되어, 유출량이 측정되어 있는 여러곳을 택하여 지체시간과 유역면적간

의 관계를 다음과 같이 제안하였다.

$$KB_3 = b \cdot A^a \quad (16)$$

Boyd는 회귀계수 a , b 를 유역의 *既知*의 수많은 지체시간 값을 이용해 면적과 지체시간 간의 최소 자승 회귀분석을 통해서 식 (16)의 회귀계수들의 범위를 a 는 0.33~0.38로, b 는 0.5~3.0으로 제안하였다.

특히 Boyd는 a 를 0.38로 제안하였으며, Singh (1983) 등에 의해 확인된 바 있다. 본 연구에서는 Boyd의 계수 a 값으로서 0.38과 Singh이 제안한 0.33의 2가지와, 계수 b 의 값으로 Boyd가 주장한 2.51과 Singh의 본 연구 대상유역인 동곡과 크기가 비슷한 유역의 계수값으로 제안한 1.675와, 실측자료의 분석을 통한 계수값 b 를 산정해서 식 (16)에 대입하여 평균지체시간을 산정하고, 방법 1, 2와 비교후 회귀계수값의 국내 사용여부를 판별하고자 한다.

다음은 위에서 논의된 계수들을 수식화한 평균지체시간 산정식이다.

$$KB_3 = 1.675 * A^{0.38} \text{ (Singh의 방법)} \quad (17)$$

$$KB_3 = 2.51 * A^{0.38} \text{ (Boyd의 방법)} \quad (18)$$

그리고 식 (19)와 (20)은 유역의 실측자료를 통한 계수 b 값이다.

$$KB_3 = 1.50 * A^{0.38} \text{ (동곡유역)} \quad (19)$$

$$KB_3 = 1.202 * A^{0.38} \text{ (고노유역)} \quad (20)$$

위에서 제시한 식 (17)~(20)이 방법 3의 최종

적인 유역의 평균지체시간 산정법이다.

3. 실제유역에 대한 적용 및 분석

3.1 대상유역의 현황

지형학적 순간단위도의 매개변수인, 평균지체시간의 산정방법에 따른 비교분석을 위하여 국제수문개발계획(IHP) 대표시험 유역중 낙동강 수계의 위치유역을 선정하였으며, 본 연구에서는 위치유역 중 비교적 규모가 적은 동곡과 고노 지역을 선정하였다. 유역현황은 표 1에 나타낸 바와 같다.

표 1. 유역현황

특성인자 지점	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	하천차수
동곡	33.788	8.29	4
고노	114.198	19.140	4

3.2 지형학적 인자분석

대상유역의 지형학적 인자를 분석하기 위하여 위치유역의 동곡과 고노 지점에서 1/50,000 지형도를 사용하여 하천차수와 지형학적 특성을 구하였다. 본 연구에서는 Strahler 하천차수법칙을 적용하였으며, 지형도로부터 전체 배수유역의 하천차수가 배수유역의 차수로 결정되고, 하천수(N_i)는 각 차수별 하천수를 헤아려서 구하였고 하천 평균길이는 각 하천차수의 총 길이를 하천수로 나눔으로써 구장기를 사용하여 구하였다. 또 각하천면적은 구적기를 사용하여 지형도로부터 산출하였고, 각 하

표 2. 동곡지점의 지형학적 특성인자

하천차수 인자	1	2	3	4
하천수(N_i)	26	7	2	1
최연장길이(km)	18.16	11.486	4.796	3.048
하천면적(km ²)	16.965	10.218	3.890	2.715
초기획률(면적비)	0.5021	0.3024	0.1151	0.0804
하천평균길이(km)	0.698	1.641	2.398	3.048

표 3. 고노지점의 지형학적 특성인자

인자	하천수 하천수(Ni)	1	2	3	4
최연장길이(km)	82.800	23	33.037	19.326	13.897
하천면적(km^2)	68.107	23.185	12.936	9.970	
초기화률(면적비)	0.5964	0.2030	0.1133	0.0873	
하천평균길이(km)	0.746	1.436	2.416	13.897	

천차수별 면적비는 각 차수별 면적을 총 유역면적으로 나눔으로써 산정하였다. 지점별로 정리된 결과는 표 2, 3과 같다.

3.3 지형학적 순간단위도의 유도

3.3.1 천이화률

지형학적 순간단위도의 유도를 통한, 지체시간 산정방법에 따른 각각의 방법을 비교, 분석하기 위해서는 위천유역의 동곡지점과 고노지점의 각각의 경로에 대한 천이화률이 필요하다. 각경로의 천이화률을 구하기 위해서는 먼저 천이화률을 구하여야 하므로, Rodriguez-Iturbe 등(1979)과 Valdes 등(1979)의 식 (21)을 사용하여 천이화률을 구한다.

$$P_{i,j} = \frac{i\text{차 하천과 합류하는 } j\text{차 하천의 수}}{i\text{차 하천의 총수}}$$

3.2 적용 강우-유출 자료

본 연구에 비교 및 검증자료로 이용된 강우-유출자료는 수자원 관리기법 개발연구 조사사업 보고서 별책부록 홍수수문자료집(1991)에 수록되어 있는 1시간 간격의 관측자료로서 1986-1989년에 발생한 호우사상들이다. 실측된 유량자료로부터 적적유출량은 수평직선분리법을 적용하여 분리하였으며, 유효우량은 ϕ -index법을 적용하였다. 적용된 강우-유출자료는 표 8과 같다.

표 4. 동곡의 천이화률

P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₃₃	P ₃₄	P ₄₄
1	0.808	0.154	0.038	1	0.714	0.286	1	1	1

표 5. 고노의 천이화률

P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₃₃	P ₃₄	P ₄₄
1	0.7568	0.1171	0.1261	1	0.7391	0.2609	1	1	1

표 6. 동곡의 통과확률

P _(S1)	P _(S2)	P _(S3)	P _(S4)	P _(S5)	P _(S6)	P _(S7)	P _(S8)
0.2897	0.1160	0.0773	0.0191	0.2159	0.0865	0.1151	0.0804

표 7. 고노의 통과확률

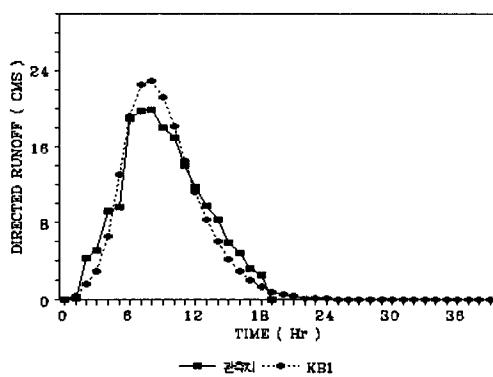
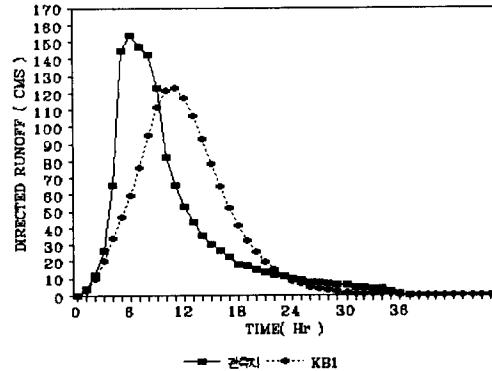
P _(S1)	P _(S2)	P _(S3)	P _(S4)	P _(S5)	P _(S6)	P _(S7)	P _(S8)
0.3336	0.1178	0.0698	0.0752	0.1500	0.0530	0.1133	0.0873

표 8. 동곡과 고노지점의 호우사상

지점	사상명	날짜	비고
동곡	DG-1	1987. 7. 14. 19시 - 7. 23. 09시	
	DG-2	1989. 8. 21. 11시 - 8. 24. 22시	
	DG-V	1986. 7. 21. 07시 - 7. 23. 09시	검증용
고노	GN-1	1986. 7. 21. 07시 - 7. 23. 09시	
	GN-2	1989. 7. 11. 07시 - 7. 14. 18시	
	GN-3	1989. 8. 21. 11시 - 8. 24. 22시	
	GN-V	1987. 7. 14. 19시 - 7. 18. 22시	검증용

표 9. 호우사상별 첨두유량(Q_p : CMS)과 발생시간(T_{Qp} : Hr)의 산정치 및 관측치

지점	호우사상	평균유속 (m/sec)	관측치		계산치		오차량	
			Q_p	T_{Qp}	Q_p	T_{Qp}	Q_p	T_{Qp}
동곡	DG-1	0.30	34.46	12	35.44	12	+2.84	0
	DG-2	0.35	37.9	5	44.80	5	+18.21	0
	DG-V	0.325	19.87	8	22.95	8	+15.5	0
고노	GN-1	0.63	52.61	8	57.31	9	+8.93	+1
	GN-2	0.63	23.73	8	20.37	9	-14.16	+1
	GN-3	0.70	108.31	5	121.72	6	+12.38	+1
	GN-V	0.653	154.03	6	122.43	11	-20.52	+5

그림 1. 평균유속을 적용한 계산값과 관측치와의 비교
(동곡:DG-V)그림 2. 평균유속을 적용한 계산값과 관측치와의 비교
(고노:GN-V)

4. 지체시간 산정 방법에 따른 결과분석

4.1 평균유속을 이용한 방법의 적용 및 결과 분석

방법 1로부터 지체시간을 산정하기 위한 각 호우사상별 평균유속과, 평균유속으로부터 각 지점별로 계산한 결과와 관측치와의 비교는 표 9에 나타

낸 바와 같다.

지체시간 산정을 위한 첫번째 방법으로, 평균유속을 사용하여 동곡과 고노의 2지점에 대해 각각 총 7개의 호우사상을 통하여 연구의 타당성을 검증하여 보았다. 비교적 소유역인 동곡에서는 관측치와의 직접유출량과의 첨두유량의 오차가 $\pm 20\%$ 이내로 산출되었으며, 임의의 호우사상 DG-V에 대하여 검증한 결과, 관측치와의 오차량이 $+20\%$

이내로 비교적 재현성이 양호하게 나타났다. 또한 첨두유량 발생시간(T_{QP})의 오차량도 ±0으로 나타났다.

고노유역은 평균유속을 사용한 계산값과 관측치 직접유출량의 첨두유출량과의 오차가 ±20% 이내로 나타났으며, 첨두유량 발생시간은 +1~+5시간으로 나타났다. 실제 유역에 있어서의 지체시간은 하천의 형태학적 요소들과 유역의 지형학적 양태와, 유역의 강우특성에 따라 동일 유역일지라도 다르게 산정됨이 선행연구들에 의해 밝혀진 바 있다. 특히 평균유속이 지체시간 산정의 매개변수들 중 큰 영향을 미치는 변수임은 분명하나, 선형화된 St. Venant식으로부터 계산한 평균유속또한 각 호우사상별로 조금씩 다르게 계산되었다. 앞서 이순탁과 박종권(1987)의 연구에서도 지체시간 산정에 있어서 평균유속을 핵심 매개변수로, 유역면적과 강우지속기간, 유로연장, 강우량과의 회귀분석을 통한, 평균유속 산정식을 제안하고 유역의 크기별, 강우의 특성별로 평균유속을 밝힌 바 있으며, 평균유속을 통한 지체시간의 간략적인 산정을 제안하였다. 여기서 선행연구들의 고찰을 통해서 유역 크기별 평균유속의 산정과 지체시간 계산은 본 연구 고노 GN-V에서도 알 수 있듯이 첨두유량과 첨두유량 발생시간은 호우사상 GN-1, 2, 3에서는 비교적 관측치와 일치하게 산정되었지만, GN-V의 경우 호우사상이 1, 2, 3보다 2배나 커, 호우사상의 크기가 평균유속산정에 오차의 원인으로 작용한 것으로 판단된다. 강우사상이 비슷한 GN-1, GN-2, GN-3 등은 평균유속이 0.6~0.7 사이의 값을 가지고 재현성에 있어서 양호한 결과를 보여주지만, 동일유역에서 지속시간이 짧고 호우사상이 큰 GN-V는 첨두발생시간과 유량에 있어서 오차값이 크게 나타나고 있다. 본 연구 GN-V가 시사하는 중요한 의미는, 동일 유역일지라도 평균유속은 강우의 지속기간과 크기에도 상당한 영향을 받음을 알 수 있고, 역시 간략적인 방법으로만 권장될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 동곡은 고노유역에 비해서 면적의 크기가 1/3밖에 안되는 비교적 소유역으로, 강우의 특성에 영향을 비교적 적게 받음을 알 수 있었고, 이순탁과 박종권(1987)의 연구결과와 비교할 때 소유역에 있어서 지체시간 산정은,

대체적으로 강우특성보다는 평균유속에 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있었으며, 그 크기의 값은 0.28~0.37m/sec 범위의 값을 취하고 있음을 볼 수 있었다. 특히 동곡같은 유역에서는 강우의 특성에 관계없이 평균유속이 0.30~0.325m/sec 범위에서 비교적 재현성이 우수함을 알 수 있었으며, 그래프를 통한 비교에서 볼 수 있듯이 각각의 호우사상에 따른 평균유속과, 지체시간의 산정에 따라 첨두유출량과 첨두유출 발생시간이 매우 민감하게 반응함을 알 수 있었다. 아울러 소유역에 있어서 좀더 신빙성 있는 강우자료를 통한 지체시간과 강우의 특성간에 상관관계를 정리하면, 간략적인 지체시간 산정을 통해 미계측유역에 적용이 가능하리라 판단된다.

4.2 최원점 하천길이와 평균유속을 이용한 평균지체시간 산정에 관한 적용 및 결과분석

최원점 하천길이를 통한 출구까지 강우입자의 도달시간을 유역 평균지체시간의 개념으로 사용할 수 있는가의 적합성 여부를 위해서 방법 1의 동곡과 고노의 평균유속과, 동곡의 최원점 하천길이(L_d) 8.29km와 고노의 최원점 하천길이(L_d) 19.140km를 각각의 호우사상에 대해서 적용한 결과는 표 10과 같다.

동곡과 고노의 각각의 호우사상에 대하여 검증하여 본 결과, 동곡의 경우 DG-1과 DG-2의 경우 첨두유량이 관측치와의 오차가 -15% 내외이며, 첨두유량 발생시간도 +3시간 이내로 나타났다. 임의의 호우사상 DG-V에서는 첨두유량의 차이가 -4.58%로 비교적 양호하게 나타났으며, 첨두유량 발생시간도 +1시간으로, 최원점하천길이와 평균유속을 사용해 구한 지체시간으로 계산한 첨두직접유출량이 관측치와 거의 근사하게 일치됨을 볼 수 있었다. 고노의 경우는 GN-1, GN-2, GN-3의 경우 첨두유량이 관측치와 비교하여 ±20% 내외의 오차를 나타내고 있으며, 첨두유량 발생시간 또한 +2시간 이내로 나타났다. 유역의 임의의 호우사상 GN-V에 대해서는 첨두유량이 -25.69%의, 비교적 큰 오차를 나타내고 있으며, 첨두유량 발생시간 또한 +5시간으로 커다란 오차를 나타내고 있다. 방법 1에서와 유사하게 동곡에서는 유역의 면적이

표 10. 최원점 하천길이와 평균유속에 의한 매개변수 산정결과와 관측치와의 비교
(Q_p : 첨두유량(CMS), $T_{QP}(Hr)$: 첨두유량 발생시간)

지점	호우사상	평균유속 (m/sec)	관측치		계산치		오차량	
			Q_p	T_{QP}	Q_p	T_{QP}	Q_p	T_{QP}
동곡	DG-1	0.30	34.46	12	29.59	15	-14.13	+3
	DG-2	0.35	37.9	5	37.06	6	-2.22	+1
	DG-V	0.325	19.87	8	18.96	9	-4.58	+1
고노	GN-1	0.63	52.61	8	57.12	9	-0.93	+1
	GN-2	0.63	23.73	8	18.87	10	-20.49	+2
	GN-3	0.70	108.31	5	111.05	7	+2.53	+2
	GN-V	0.653	154.03	6	111.46	10	-25.69	+5

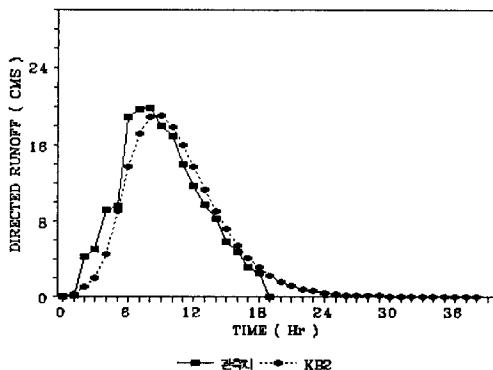


그림 3. 평균유속과 최원점하천길이를 통한 계산치와 관측치와의 비교(동곡:DG-V)

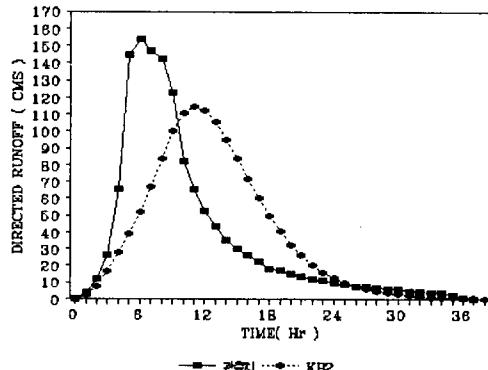


그림 4. 평균유속과 최원점하천길이를 통한 계산치와 관측치와의 비교(고노:GN-V)

비교적 소유역이기에 강우의 특성보다는 비교적 유역의 지형학적 특성에 민감하게 반응함을 알 수 있고, 동곡보다는 비교적 유역면적이 큰 고노의 경우 유역의 지형학적 영향에 반응함과 동시에 강우의 특성에도 민감하게 반응함을 알 수 있었다. 이러한 연구결과의 예로서 동곡과 고노의 임의의 호우사상에 대한 검증의 결과에서 동곡은 비교적 관측치와의 재현성이 높게 나타나며, 고노의 경우, GN-V에서 볼 수 있듯이, 일반적 검증의 GN-1, GN-2, GN-3에서는 관측치와 비슷한 값을 보이지만, 비교적 호우사상이 큰 강우인 GN-V의 경우는 앞의 GN-1, GN-2, GN-3에서의 결과는 많은 차이를 나타내고 있다. 결론적으로 최원점 하천길이를 통한 지체시간의 산정은 유역의 크기가 적은 유역에서는 최원점 하천길이와 평균유속으로서 간략히 지

체시간을 산정할 수 있음을 알 수 있었으며, 유역의 규모가 큰 지역에서는 강우의 특성이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

4.3 면적-지체시간간 지체시간 산정법에 따른 적용 및 결과분석

본 연구에서는 Boyd(1976)의 지체시간-면적과의 관계에서 유역의 크기와 이에따른 강우특성별 관측된 지체시간을 이용, 지체시간의 산정을 간략히 제안한 식 (18)과 동곡유역의 크기와 비슷한 유역에서 Singh이 제안한 식 (17), 그리고 유역의 실측된 자료를 통해서 평균한 식 (19) 및 (20)을 적용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

방법 3에서는 Singh이 비교적 동곡과 같은 소유역에, 면적과 지체시간의 매개변수인 “ b ”값을 1.

지체시간 산정에 있어서 Boyd가 제안한 식은 관측치와의 재현성에 있어서 상대오차가 $\pm 60\%$ 정도로 크게 나타났으며, 3가지 방법중 지체시간이 가장 크게 나타남으로써 첨두유량은 실측치보다 작게 산정되었다. Singh과 Boyd가 소유역에 있어서 제안한 계수를 통한 적용의 결과는 비교적 관측치와 상대오차가 크게 나타났다. 이것이 의미하는 것은 지체시간 산정에 있어서 면적과 지체시간만의 관계로는 강우의 특성으로 인한 부분들을 설명할 수 없고, 재현성도 타방법에 있어서 떨어진다고 하겠다. 이러한 결과로 미루어 보아 유역면적이 큰 유역에서는 유역의 지형학적 특성과 함께 강우의 특성 또한 중요하게 작용함을 방법 3에서도 알 수 있다. 대체적으로 3가지 방법을 비교할 경우 최원점 하천길이를 통한 지체시간의 산정법과 평균유속을 가지고 Cheng의 공식에 적용한 방법이 첨두유출량과 첨두유출량 발생시간에서 비교적 양호한 결과를

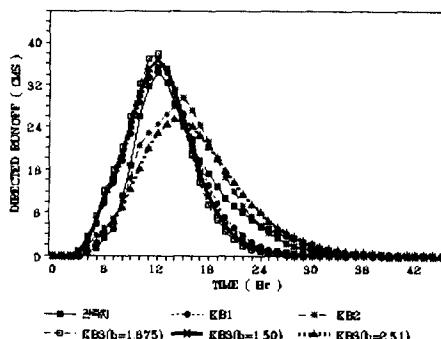


그림 5. 호우사상 DG-1의 KB_1 , KB_2 , KB_3 계산값과 실측치와의 비교

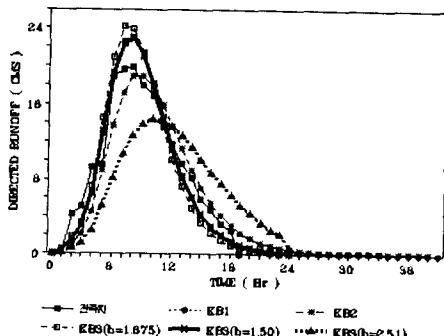


그림 7. 호우사상 DG-V의 KB_1 , KB_2 , KB_3 계산값과 실측치와의 비교

나타내었다. 하지만 3가지 방법을 통한 첨두유출량의 오차는, 직접유출량의 산정에 있어서의 오차와 유효우량 산정시 ϕ -index에 의한 오차로 인한 것과, 유역의 비선행을 선형으로 가정하여 해석하여 생기는 오차라고 생각할 수 있다.

Liu와 Brutsaert(1978)는 실제로 유역의 강우유출 해석시 유역을 비선행이라고 놓고 계산한 값과 선형이라고 놓고 계산한 값은 실제로 유역을 비선행화한 계산치보다 $\pm 20\text{--}\pm 40\%$ 의 오차가 더 발생함을 주장하였다. 이러한 주장을 뒷받침할 수 있는 것은 본 연구의 결과에서도 첨두유량의 상대오차는 크게 나타났지만 첨두유량 발생시간은 거의 다가 비교적 양호하게 나타났다.

다음 그림들은 동곡과 고노의 각 호우사상에 대한 3가지의 방법들을 하나의 그림을 통하여 비교한 것이다.

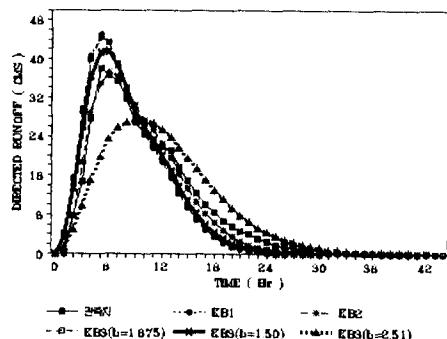


그림 6. 호우사상 DG-2의 KB_1 , KB_2 , KB_3 계산값과 실측치와의 비교

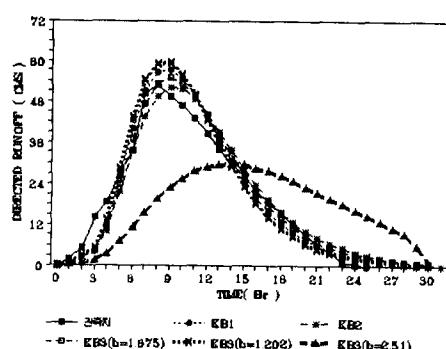


그림 8. 호우사상 GN-1의 KB_1 , KB_2 , KB_3 계산값과 실측치와의 비교

표 11. $KB_3 = 1.675 * A^{0.33}$ 에 의한 결과와 관측치와의 비교

유 역	호우사상	관 측 결 과		계 산 결 과		오 차 량	
		$Q_p(\text{CMS})$	$T_{qp}(\text{Hr})$	$Q_p(\text{CMS})$	$T_{qp}(\text{Hr})$	$Q_p(\text{CMS})$	$T_{qp}(\text{Hr})$
동 곡	DG-1	34.46	12	38.05	12	+10.42	0
	DG-2	37.9	5	44.35	5	+17.02	0
	DG-V	19.87	8	24.16	7	+21.59	-1
고 노	GN-1	52.61	8	54.91	9	+4.37	+1
	GN-2	23.73	8	19.57	9	-17.53	+1
	GN-3	108.31	5	106.30	7	-1.86	+2
	GN-V	154.03	6	115.80	11	-24.82	+5

표 12. $KB_3 = 2.51 * A^{0.38}$ 에 의한 결과와 관측치와의 비교

유 역	호우사상	관 측 결 과		계 산 결 과		오 차 량	
		$Q_p(\text{CMS})$	$T_{qp}(\text{Hr})$	$Q_p(\text{CMS})$	$T_{qp}(\text{Hr})$	$Q_p(\text{CMS})$	$T_{qp}(\text{Hr})$
동 곡	DG-1	34.46	12	25.46	14	-26.12	+2
	DG-2	37.9	5	27.18	9	-28.28	+1
	DG-V	19.87	8	14.45	10	-27.28	+2
고 노	GN-1	52.61	8	29.68	14	43.58	+6
	GN-2	23.73	8	30.22	16	+27.35	+8
	GN-3	108.31	5	63.85	13	-41.05	+8
	GN-V	154.03	6	68.35	15	-55.63	+9

표 13. 동곡 $KB_3 = 1.50 * A^{0.35}$ 과 고노 $KB_3 = 1.202 * A^{0.38}$ 에 의한 결과와 관측치와의 비교

유 역	호우사상	관 측 결 과		계 산 결 과		오 차 량	
		$Q_p(\text{CMS})$	$T_{qp}(\text{Hr})$	$Q_p(\text{CMS})$	$T_{qp}(\text{Hr})$	$Q_p(\text{CMS})$	$T_{qp}(\text{Hr})$
동 곡	DG-1	34.46	12	38.02	10	+10.33	0
	DG-2	37.9	5	41.62	6	+9.82	+1
	DG-V	19.87	8	22.94	8	+15.45	0
고 노	GN-1	52.61	8	59.43	10	+12.96	+2
	GN-2	23.73	8	21.08	9	-11.17	+1
	GN-3	108.31	5	114.66	7	+5.88	+2
	GN-V	154.03	6	123.12	11	-20.07	+5

675로 하고 “a”값을 0.33으로 한 것을, 동곡과 고노에 각 호우사상별로 적용해 본 결과, 동곡에서는 첨두유량이 관측치와의 오차가 $\pm 21\%$ 로 나타났으며, 첨두유량 발생시간도 관측치와 비교하여 ± 1 시간의 비교적 양호한 재현성을 보여주었다. 그러나 고노의 경우 첨두유량이 관측치와 비교해서 $\pm 25\%$ 의 오차율을 보였으며, 첨두유량 발생시간도 ± 5 시간의 차이를 보였다. 이러한 오차의 원인은 동곡과 비교하여 유역면적이 큰 고노의 경우 면적

과 지체시간에 의한 매개변수 “a”, “b”를 결정하는 것은 다소 무리임을 보여주는 것이라 여겨진다. 특히 고노의 경우 GN-1, GN-2, GN-3 등은 비교적 관측치와 재현성에 있어서 비슷한 결과를 보여주었지만 방법 1, 2와 같이 동일유역에 호우사상을 달리한 GN-V같은 경우, 강우특성상 관측치와의 비교적 큰 오차를 보여주고 있다. 계수 “a”와 “b”를 유역의 관측된 지체시간으로부터 산정하여, 동곡의 경우 식 (19)를 통하여 각 호우사상에 적용하였을

경우 첨두유량은 관측치와의 상대적 오차가 $\pm 15\%$ 이내이며, 첨두유량 발생시간은 ± 1 시간 이내로 비교적 양호한 재현성을 보여 주었다. 고노의 경우 식 (20)을 적용하였을 경우 관측치와의 첨두유량의 상대적 오차가 $\pm 13\%$ 이내로 나타났으며, 첨두유량의 발생시간은 관측치보다 ± 2 시간 이내로, 동곡과 마찬가지로 비교적 양호한 재현성을 보여 주었다. 그러나 고노의 경우, 호우사상 GN-V에서는 -30.91% 와 $+5$ 시간의 비교적 관측치와의 큰 오차를 보여 주었다. 이러한 결과가 의미하는 것도 역시 강우사상의 특성으로 인한 오차로 판단된다.

Boyd가 제안한 식 (18)에 동곡과 고노의 각 호우사상을 적용한 결과는 실제관측치와의 커다란 오차를 보여주고 있다. 동곡의 경우 첨두유량이 관측치와의 상대적 오차가 $\pm 30\%$ 정도를 나타냈으며, 첨두유량 발생시간도 관측치에 비해서 ± 4 시간으로, 상대적 오차가 크게 나타났다. 고노의 경우는 첨두유량의 관측치와의 상대적 오차가 $\pm 60\%$ 로 크게 나타났으며, 첨두유량 발생시간 또한 ± 9 시간으로 매우 재현성이 낮게 나타났다. 이러한 결과들로부터 얻을 수 있는 수문학적 의미는 단순히 유역 면적과 既知의 지체시간만으로 회귀분석을 통한 간략적인 式이, 지체시간의 매개변수중 핵심적인 유역의 평균유속과 기타 유역의 특성과 강우의 특성을 무시한 간략적인 식으로, 미계측유역에 사용될 경우 Boyd의 계수에 수정을 가한 식을 사용하여야 함을 의미한다고 판단된다. 실제 Singh과 Boyd 등은 많은 강우사상의 실제관측치로부터 지체시간을 얻어서 면적과 지체시간 사이의 관계를 최소자승 회귀분석법을 통해서 “a”와 “b”를 결정하여 대략적인 방법으로 제시하였지만 기후와 지형적 조건이 다른 국내의 사정을 감안할때 지체시간과 면적 뿐만 아니라 지체시간의 여러가지 매개변수들에 의한 다원적인 회귀분석을 통해서 유역의 지체시간을 산정하는 것이 바람직하리라 판단된다. 하지만 간략적인 식으로서는 기존의 유역 규모가 비슷한 유역의 既知의 지체시간값을 통한 대략적인 계수를 산정, 사용할 경우 재현성이 비교적 양호하리라 판단된다.

5. 고 찰

본 연구에서는 지형학적 순간단위도의 핵심 매개변수인 유역평균지체시간을 산정함에 있어서, 본 연구에서 제안한 3가지의 방법으로 산정하고 동곡과 고노의 두 지역에 대한 각 방법의 재현성을 비교, 분석하였다. 방법 1의 경우, 유역평균유속을 사용하여 Cheng의 공식에 평균유속을 적용한 결과 비교적 재현성이 양호하였으며, 입의의 호우사상에다 적용한 결과도 $\pm 20\%$ 의 상대오차내에서 비교적 관측치와 일치함을 볼 수 있었다. 이것은 평균유속이 지체시간 산정에 중요한 매개변수임을 의미하는 것이라 사료되며, 특히 Cheng의 공식은 지체시간 산정의 매개변수들을 면적과, 차수별 평균하천길이, 각차수별 하천수, 그리고 유역의 평균유속을 적용함으로써, 미계측유역 등의 GIUH 유도식에 지형도 하나만으로 간단히 지체시간을 산정할 수 있다. 방법 2에서는 최원점 하천길이와 유역의 평균유속을 이용해서 적용해본 결과, 동곡은 관측치와의 상대오차가 $\pm 15\%$ 내에서 비교적 양호한 재현성을 보여주고 있으며, 첨두유량의 발생시간 또한 3시간 이내의 양호한 결과가 나타났다. 이것은 최원점하천길이를 통한 유역내의 강우입자가 하도록 따라 출구로 나올 경우 하도 제일 끝에서 출구까지 나오는데 걸리는 시간을 평균지체시간으로 정해도 별 무리가 없음을 보여주고 있다. 하지만 고노의 경우 상대오차가 $\pm 26\%$ 로 최원점 하천길이를 통한 지체시간 산정에 있어서 강우특성의 영향을 비교적 많이 받고 있음을 알 수 있었다. GN-1, GN-2, GN-3의 경우는 최원점 하천길이에 의한 평균유속과의 지체시간 산정에 있어서 비교적 관측치와 재현성이 양호하지만 GN-V의 경우 강우특성에 매우 민감하게 반응함을 볼 수 있었다. 이러한 결과가 의미하는 것은 유역면적이 작은 동곡유역에서는 강우특성의 영향보다는 지형학적 영향을 더 받음이라 사료되고, 유역면적이 큰 유역에서는 강우의 특성에 민감하게 반응함에, 간략적인 방법으로 사용시에는 세심한 수문학적 고찰이 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

방법 3에서는 면적과 지체시간의 관계를 통한

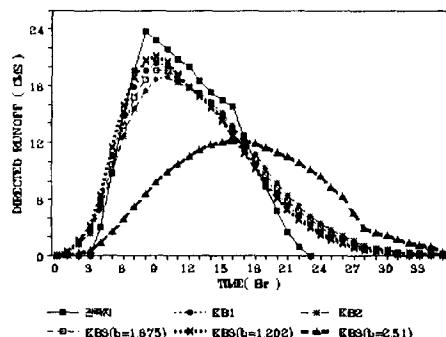


그림 9. 호우사상 GN-2의 KB₁, KB₂, KB₃ 계산값과 실측치와의 비교

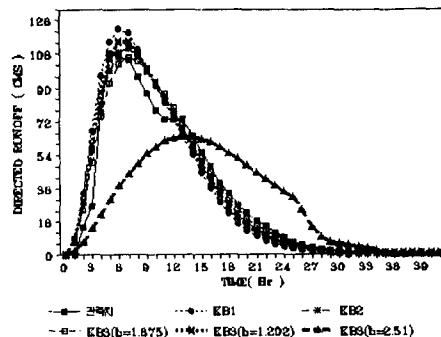


그림 10. 호우사상 GN-3의 KB₁, KB₂, KB₃ 계산값과 실측치와의 비교

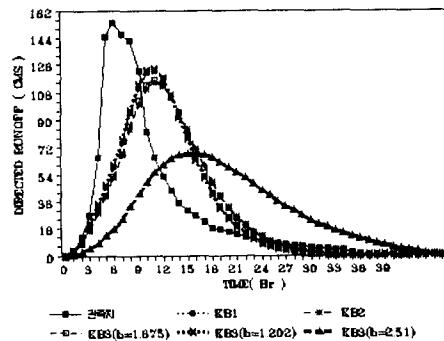


그림 11. 호우사상 GN-V의 KB₁, KB₂, KB₃ 계산값과 실측치와의 비교

6. 결 론

본 연구를 수행함에 있어서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 평균유속을 이용한 지체시간 산정은 유역의 규모가 비교적 적은 소유역에 있어서 재현성이 양호하게 나타났다.
- (2) 유역의 평균유속은 규모가 작은 소유역에서는 강우특성보다는 지형학적 인자에 더 큰 영향을 받음을 알 수 있었고, 유역의 규모가 커질수록 평균유속은 강우특성에 따라 달라지면서 지체간 산정에 많은 영향을 끼칠 수 있었다.
- (3) 최원점 하천길이와 평균유속을 통한 지체시간의 산정에 있어서, 하천의 최원점으로부터 유역의 출구까지 강우입자가 도달하는데 걸리는 시간이 유역의 평균지체시간 과거의 일치하게

나타나, 최원점 하천길이를 통한 강우입자의 출구까지의 이동시간을 유역의 대략적인 평균 지체시간으로 사용할 수 있음을 제시하며, 유역의 크기가 적은 소유 역에서 간략적인 식으로 사용할 수 있을 것으로 판단되며, 재현성에 있어서 비교적 타방법보다 재현성이 우수하게 나타났다.

- (4) 방법 3을 통하여 Boyd의 계수사용이 국내 유역에 맞게 새로이 조절되어야 함을 알 수 있었으며, 면적-지체시간간의 관계로만은 유역의 지체시간 산정에 많은 오차가 발생되었고, 유역면적의 크기외에도 다른 지형학적 특성들이 고려되어야 하고, 또 강우의 특성이 고려되어야 함을 알 수 있었다.

参 考 文 献

- 김재한, 윤석영 (1993). “소유역의 수로기하학적 특성과 사면을 고려한 유역순간단위도의 유도.” 대한토목학회 논문집, 제13권, 제2호, pp. 161-171.
- 선우중호, 성기원 (1994). “지도의 해상도에 따른 수문지형학적 순간단위유량도의 거동 및 평가.” 대한토목학회 1994년도 학술발표회 논문집(Ⅱ), pp. 209-212.
- 수자원 관리기법 개발연구 조사사업 보고서: 별책부록. 흉수수문 자료집. (1991). 건설부.
- 윤석영 (1993). “수로망 응답과 사면응답을 고려한 흉수유출 해석,” 박사학위논문, 충남대학교.
- 이순탁, 박종권 (1987). “하천 유출량 산정을 위한

- GIUH 모델.” 한국수문학회지, 제20권, 제4호, pp. 267-278.
- 이정식 (1987). “유역의 지형 및 강우특성 인자를 고려한 순간단위도에 관한 연구,” 박사학위논문, 연세대학교.
- 이정식, 김재환, 이원환 (1987). “지형학적 순간단위도에 의한 첨두유량의 강우-유출 선형해석.” 대한토목학회 논문집, 제7권, 제1호, pp. 55-64.
- 조홍제, 이상배 (1990). “수문응답의 지형학적 합성방법에 관한 연구.” 대한토목학회논문집, 제10권, 제1호, pp. 99-108.
- 한성희 (1991). “배수망에 의한 순간단위도의 유도,” 석사학위논문, 충남대학교.
- Boyd, M.J. (1976). “A storage routing model for flood hydrograph synthesis based on geomorphologic relations,” PhD dissertation, University of New South Wales, USA.
- Boyd, M.J. (1978). “A storage routing model relating drainage basin hydrology and geomorphology.” *Water Resources Research*, Vol. 14, pp. 921-928.
- Cheng, B.L. (1982). “A study of geomorphologic instantaneous unit hydrograph,” PhD dissertation, University of Illinois, USA.
- Dooge, J.C.I. (1959). “General theory of the unit hydrograph.” *J. Geophys. Res.* Vol. 64, pp. 241-256.
- Gupta, V.K., Waymire, E., and Wang, C.T. (1980). “A representation of instantaneous unit hydrograph from geomorphology.” *Water Resources Research*, Vol. 16, No. 5, pp. 862-885.
- Horton, R.E. (1945). “Erosional development of streams and their drainage basin.” *Bulletin of the Geological Society of America*, Vol. 56, pp. 275-370.
- Kirshen, D.M., and Bras, R.L. (1983). “The linear channel and its effect on the Geomorphologic IUH.” *J. of Hydrology*, Vol. 65, pp. 175-208.
- Liu, C. C.-K., and Brutsaert, W. (1978). “A nonlinear analysis of the relationship between rainfall runoff for extreme floods.” *Water Resources Research*, Vol. 14, No. 1, pp. 75-83.
- Rodriguez-Iturbe, I., Devoto, G., and Valdes, J.B. (1979). “Discharge response analysis and hydrologic similarity: The interrelation between the geomorphologic IUH, and the storm characteristics.” *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 6, pp. 1435-1444.
- Singh, V.P. (1983). “A geomorphic approach to hydrograph synthesis, with potential for application to ungaged watersheds.” *Technical Completion Report for Project A-058-LA*, Louisiana Water Research Inst., Baton Rouge, L.A., USA.
- Valdes, J.B., Fiallo, Y., and Rodriguez-Iturbe, I. (1979). “A rainfall runoff analysis of the geomorphologic IUH.” *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 6, pp. 1421-1434.

〈접수: 1995년 3월 30일〉