

〈論 文〉

하도망의 기하학적 특성을 이용한 지형학적 순간단위도 해석

The Analysis of Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph
by the Channel Network

조 홍 제* 이 상 배**
Cho, Hong Je Lee, Sang Bae

Abstract

This study is developed the runoff analysis method that is used the geomorphologic instantaneous unit hydrograph to the relative role of network geometry in a basin.

The quantitative expressions for the geomorphologic characteristics of a basin are used Shreve's link separation and width function method.

The network geometry are used Weibull's distribution as probability model of the width function, the structural characteristics of channel networks and the other geomorphologic parameters for the gaged basin.

요 지

유역 수문학에 있어서 하도망의 지형학적 특성을 하천유출해석에 적용시키는 방법을 지형학적 순간 단위도를 이용해서 검토하였다.

유역의 지형학적 특성은 Shreve link 분류법과 Kirkby가 제안한 거리함수를 이용하여 정량적으로 표현 하였다.

거리함수는 해석적으로 유도된 확률모델로서 Weibull 분포를 사용하였으며, 분석대상유역에 대한 거리함수의 확률모델과 하도망의 구조적 특성 및 기타 지형인자들을 분석하였다.

* 본 학회 정회원, 울산대학교 공과대학 토목공학과 부교수

** 울산대학교 토목공학과 박사과정

1. 서론

자연하천 유역에서의 수문응답에서는 많은 변수들의 복합적인 현상으로서, 지형, 지질, 토양종류, 식생 등 공간인자와 강우, 침투, 증발 등 기후인자에 의해 다양하게 발생한다. 이와같은 공간적 변동성이나 하도망의 공간적 구조 등에 의해 단순 구조인 소유역에 있어서도 유출은 각 강우사상에 대해 다르게 발생한다. 다양하게 발생하는 강우-유출현상을 재현하기 위해서는 많은 변수들이 포함된 모델을 구성하는 것이 필요하겠으나, 유출의 모든 변환을 설명하지는 못하더라도 보다 쉽게 해석하고 이해할 수 있는 간단한 모델을 구성하는 것이 실용적이다. 유역내에 형성된 하도망은 유역내에 하강한 우수의 출구로의 유출과정에 의한 결과이며, 출구로의 우수이동은 기 형성된 하도망에 따라 발생한다. 이와같은 상호관계는 수계조직이 어떻게, 왜 특정한 하도망을 형성하며 또 어떻게 하도망이 강우사상에 응답하는지를 알 수 있게 하는 것이 중요한 열쇠가 된다.

유역은 많은 사면과 하도로 구성되며, 유역내에 하강한 우수의 거동은 사면에서의 유출과 하도에서의 유출로 나눌 수 있다. 유역내에서의 우수 거동을 설명하기 위해서는 공간인자들의 역할에 대한 정의가 선행되어야 한다. 즉 사면이나 하도에서의 공간인자나 특성을 동질성으로 취급하는 경우 이를 동수역학적 단위로 정의하고, 토양종류, 지형, 식생 등 공간인자나 특성의 비동질성을 고려하는 경우 사면유적 단위로, 반면에 하도망을 구성하는 하도와 모든 사면으로 구성되는 배수유역을 한개의 단위로 취급하여 유역단위로 정의할 수 있다. 다시 말하면 유역 수문곡선 구성에 있어서 사면과 하도망의 상대적 역할이 유출과정과 수문응답에 어떻게 작용하는가를 파악하는 것이 중요하다.

최근 미계측 유역에서의 강우-유출해석을 위하여 유역의 지형인자나 하도망의 구조적 특성을 고려한 확률론적 이론이 제안된 바 있다. 이는 미계측 유역에서의 수문응답을 수학적, 물리적 기법으로 해결하는데 기여하고 있다. 강우-유출과정에 있어서 물리적 특성에 관련되는 유역의 정량적 지형법칙에 의한 해석은 시스템의 수문학적 응답 모델인 순간단위도 유도를 가능케 하며, 유역의

지형학적 인자를 매개변수로 포함시켜 유도된 순간단위도를 지형학적 순간단위도(Geomorphologic IUH)라 한다. 즉 지형학적 순간단위도는 기존의 강우-유출모델과 달리 지형학적 인자나 법칙으로 구성된 수문학적 응답모델로서 미계측 하천 유역의 유출해석을 가능케 한다.

하천형태학의 정량적표현은 1945년 Horton이 제안한 차수법칙을 시점으로 Strahler에 의해 체계화되었으며, 1966년 Shreve³⁾는 Horton의 하천 차수법칙을 이용하여 link 분류법을 제시하였다. 유역의 수문학적 응답과 지형학적 구조를 결합시키는 첫 시도가 1979년 Itrube 등^{4) 10) 11)}에 의해 이루어졌으며, 동적특성인 유출속도와 지형인자 및 법칙을 수문응답함수의 매개변수로 나타낸 지형학적 순간단위도를 제안하였다.

Itrube 등^{4) 10) 11)}이 유도한 GIUH는 Horton의 차수법칙을 매개변수로 사용하였으며, 순간단위도의 침투유량과 도달시간을 회귀방정식으로 나타내었다. 1980년 Gupta 등⁵⁾은 확률론적 접근 방법에 의해 순간단위도를 유역의 지형인자 및 법칙으로 나타내었으며, 미국 Illinois의 3개 유역에 적용시킨 결과 실측치와의 불일치는 비선형효과에 있음을 밝혔다. 1981년 Wang 등¹⁷⁾은 유역의 비선형성을 고려하여 평균지체시간과 강우강도와의 관계식을 제안하였으며, 1982년 Cheng¹⁾은 지표면 흐름과 하도흐름을 분리하여 GIUH를 유도하였고, 1984년 Rosso¹²⁾는 Itrube 등이 제안한 GIUH를 이용하여 Nash모델의 재현성을 검토하였으며, Horton차수법칙을 이용한 GIUH 이론의 타당성을 입증한 바 있다. 1983년 Waymire 등¹⁸⁾은 Itrube가 제안한 GIUH는 Horton의 차수법칙의 부적합성에 의해 적용성이 낮다고 지적하고, Shreve의 link 분류법에 의한 GIUH이론의 타당성을 설명하고 이를 장래 GIUH 해석의 주된 해석 기법으로 제시하였다. 1984년, 1985년 Troutman 등^{13) 14) 16)}은 거리함수의 확률모델을 해석적으로 유도하여 이를 순간단위도 이론에 적용시켰으며, 1986년 Mesa 등^{7) 8)}은 수계망의 지형학적 구조가 수문응답과 유출과정에 미치는 역할을 평면구조로서 거리함수와, 입체구조로서 고도를 이용한 집중함수로 설명하였으며, 이를 GIUH로 나타내었다.

본 연구는 Shreve의 link 분류법을 이용한 지형학적 순간단위도 해석에 주안점을 두었다. 지형학

적 순간단위도의 가장 중요한 개념은 유역내에 하강한 우수가 출구로 유출하는 과정에 있어서 유역내에 머무르는 평균대기시간을 동적인자와 지형인자 및 법칙으로서 표현하는데 있다. 평균대기시간의 유도에 필요한 유역의 지형학적 특성은 Shreve의 link 이론으로 1976년 Kirkby¹⁴⁾ 가 제안한 거리함수와 1984년 Troutman 등^{14) 15) 16)} 이 이를 확률모델함수로 유도한 성과를 이용하여 정량적으로 표현하였다.

본 모델의 적용성을 검토하기 위해 위천대표유역을 대상지역으로 선정하였고, 거리함수의 확률모델과 하도망의 구조적 특성 및 기타 지형인자들을 분석하였다.

2. 이론적 배경

2.1 순간단위도와 유출방정식

강우-유출의 변환과정은 일정한 것이 아니라 Fig.1 과 같이 각 유역의 지형, 지질등의 물리적 특성에 따라 각각 다양하게 발생한다.

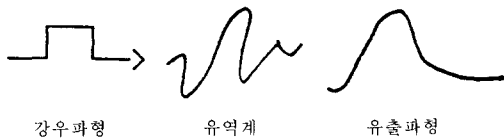


Fig.1 Formation of Hydrograph

시스템의 매개변수 동정(parameter identification)은 입력 $x(t)$ 출력, $y(t)$ 의 실측치로부터 식(1)을 이용하여 핵함수 $h(t)$ 를 구할 수 있다.

$$y(t) = \int_{-\infty}^t h(\tau)x(t-\tau)d\tau \quad (1)$$

식(1)을 Fig.1과 같은 유역 변환계에 적용시키면 입력은 강우이고 출력은 유출이 된다. 여기서 입력과 출력은 항상 양(+)의 값을 가지지 못한다. 따라서 식(1)을 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$Q(t) = A \int_0^t h(\tau)\gamma_e(t-\tau)d\tau \quad (2)$$

단, $h(\tau) = 0 : \tau < 0$

$h(\tau)$ 는 핵(kernel)함수로서 순간단위도를 의미하

며, $\gamma_e(t-\tau)$ 는 입력으로서의 유효강우량이고, $Q(t)$ 는 출력으로서 유출량이다.

순간단위도는 유역전반에 균등하게 내린 순간적인 단위유효우량이 유역출구에 도달하는 시간의 분포함수로 설명되어진다. 자연하천에서의 강우-유출해석을 위해서는 핵함수 $h(\tau)$ 의 적절한 표현기법이 주된 내용이 되며, 핵함수의 결정방법에는 집중정수모델 및 분포정수모델법등으로 대별되는 여러가지가 있다.

2.2 하도망구조와 지형학적·순간단위도

2.2.1 배수유역의 구조

하천유역의 다양한 형태나 구성인자들은 몇가지의 분류된 지형법칙에 의해 설명될 수 있다. 유역의 형태학적 특성을 정량적으로 표현할 수 있는 지형법칙으로는 Horton-Strahler의 차수개념에 의한 분기비, 평균유로연장, 평균면적법칙과 Shreve의 link분류법이 있다.

Fig. 2와 같이 하도망을 나타내는 유역을 생각할 때, Shreve의 link 분류법에 따르면 절점이란 source, 출구 또는 두 하천의 교점을 나타내며, link는 두 절점 사이의 거리로서 수로이다. 일차적인 수로를 외부 link, 외부 link가 결합된 후의 수로는 내부 link라 정의하며, 각 link의 크기는 유하거리를 나타낸다. 유하거리는 지도축적에 따라 다르게 나타나며 Fig. 2에서 정의한 바와 같이 두 절점사이의 직선거리를 기하학적 link거리라 한다.

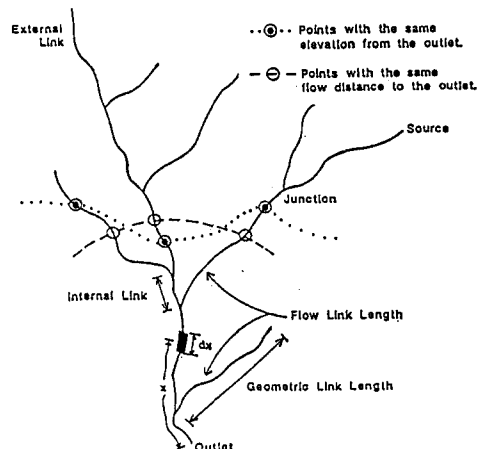


Fig. 2 A Schematic of a Channel Network

하도망 해석에 주로 사용되는 무작위 변수로서는 유역크기 M 과 주하천 유로연장 L 이며, 유역크기란 하도망에서 source수를 나타낸다. 크기가 M인 유역은 2M-1개의 link를 가지며 정의에 따라 M개의 외부link와 M-1개의 내부link로 구성된다. 주하천유로 연장 L 은 출구와 한 source사이의 가장 먼거리를 의미하며, 이는 주하천을 구성하는 link 수의 길이의 합으로 측정된다.

Kikby는 link분류법에 의해 하도망의 기하학적 구조를 거리함수로 나타내었으며, 거리함수 N(x) (0<x(L)란 유역 출구로부터 유하거리 x 떨어진 곳의 link수로 정의하였다.

Troutman 등^{14,15,16)}은 해석적 방법에 의해 거리함수 N(x)를 다음과 같이 제안 하였다. x를 link 길이, M을 유역크기, L을 주하천 유로연장이라 할 때, 거리함수의 평균기대치를 식(3)과 같이 정의하여 식(4)로 나타내었다.

$$\mu_n(x) = E[N(x) | M=n] \quad (3)$$

$$\mu_i(x) = 1 - F_e(x)$$

그리고

$$\mu_n(x) = 1 - F_i(x) + 2P_n^{-1} \int_0^x \sum_{j=1}^{n-1} \mu_j(x - \mu) p_j p_{n-j} dF_i(n) \quad n \geq 2 \quad (4)$$

여기서,

F_i(x), F_e(x): 내부 및 외부 link길이의 누적 함수

P_j P_{n-j} / P_n : 하도망의 크기 n일때, 출구 상류에 위치한 크기 j와 n-j의 부하도망의 조건확률

n가 클때 식(4)를 근사해법으로 해석하면 식(5) 또는 식(6)과 같이 Weibull확률밀도 함수로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\mu_n(x)}{2n\mu} \sim \frac{x}{2n\mu} \exp(-x^2/4n\mu^2), \quad x \geq 0 \quad (5)$$

n large

또는

$$\mu_n(x) = \frac{\mu x}{\mu^2} \exp(-x^2/4n\mu^2), \quad x \geq 0 \quad (6)$$

n large

여기서

$$(n-1)\mu_i + n\mu_e \simeq 2n(\mu_e + \mu_i)/2 = 2n\mu \quad (7)$$

μ_i : 내부link평균 기대치

μ_e : 외부link평균 기대치

μ : 전체link평균 기대치

Mesa 등⁷⁾ link 길이가 지수분포의 확률 밀도함수를 따르는 것을 해석적으로 보이고, 이를 거리함수에 적용시켜 식(8)과 같이 나타내었다.

$$\gamma_i(x) = 1 + \frac{(\ell - x)x}{2\mu^2 + \mu\ell}, \quad 0 < x < \ell \quad (8)$$

여기서, μ 는 평균 link길이

자연 하천유역은 일반적으로 유역이 크면 유역면적, 유로연장, 하천수등의 지형인자들이 커지는 상관성을 갖는다.

거리함수 N(x)는 주하천유로연장 L과 유역크기 M을 매개변수로 가지며, 이들 매개변수간의 상관관계는 거리함수의 해석에 중요한 변수가 된다.

식(6), 식(8)의 최대치를 구하면 식(9), 식(10)과 같고 이는 주하천유로연장과 유역크기와의 관계를 준다.

$$X_{max} = \frac{\ell}{2} = \mu\sqrt{2n} \quad (9)$$

$$\ell = 2\mu\sqrt{2n} \quad (10)$$

여기서 $\mu\sqrt{2n}$ 은 유역의 크기로서 유역면적을 의미하여, 식(10)을 응용하면 주하천유로연장과 유역면적과의 상관관계를 식(11)과 같이 일반식으로 표현할 수 있다.

$$\ell' = a A^b \quad (11)$$

여기서, ℓ' : 경험공식에 의해 계산된 주하천유로연장

A : 유역면적

a, b: 상수

1987년 Mesa 등⁸⁾은 주하천 유로연장과 유역크기와의 관계를 해석적으로 연구하였으며, 유하거리 x_i를 무작위 확률변수로서 지수분포로 가정하여 식(12)와 같이 나타내었다.

$$E[L | M=n] = \mu [\sqrt{2\pi} (2n)^{1/2} - 2] \quad (12)$$

n가 충분히 클때 근사식으로서 식(13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[L | M=n] = \mu \sqrt{2\pi} (2n)^{1/2} \quad (13)$$

2.2.2 지형학적 순간단위도

하천유역은 많은 사면과 수로로 이루어진다. 많은 사면들과 link들간의 공간적 변동성 때문에 하도망에 있어서의 유출발생이나 우수의 전달과정을 정량적으로 해석하기 위해서는 각각 분리해서 다룰 수 없다. 최근 수계수문학의 중요과제는 유역의 수문응답을 나타내는 순간단위도와 하도망의 지형학적구조를 물리적, 해석적으로 결합하고자 하는데 있다.

사면에서의 순간단위도를 $q_s(t)$, 하도망에서의 순간단위도를 $q_n(t)$ 라 정의하고, 모든사면이 하도망으로의 유출에 같은 비율로 기여한다고 가정하면, 유역의 순간단위도 $U(t)$ 는 식(14)과 같이 나타낼 수 있다.

$$U(t) = \int_0^t q_s(t-\tau)q_n(\tau) d\tau \quad (14)$$

유역의 순간단위도 $U(t)$ 와 $q_n(t)$ 와 $q_s(t)$ 의 상대적 중요성은 사면과 하도망에서의 우수의 도달시간 크기에 좌우된다. 예로서, 비교적 유역의 크기가 작은 소유역에 있어서는 사면에서의 수문곡선이 유역전체의 흐름을 지배하게되나, 유역이 커질수록 하도망의 수문곡선이 더욱 중요하게 된다.

하도우수의 도달시간을 해석하기 위해서는 유역의 공간적 변동성을 정량적으로 표현하는 방법의 선택이 선행되어야 한다. 정량적 지형법칙으로서 크게 Horton의 차수법칙과 Shreve의 link분류법이 있으며, GIUH이론도 지형법칙의 선택에 따라 2가지 방법으로 연구되고 있다.

공간특성이 다양한 사면보다 수계조직망의 특성이나 하천길이등 비교적 간단한 인자를 이용하는 것이 쉬우며, 실용적인 단계로 최근 GIUH해석 및 분석에는 후자의방법이 주로 이용되고 있다.

Fig. 2와 같은 수계망에 있어서의 흐름 방정식을

평균화하기 위해 유역출구로부터 동일한 유하거리 x 만큼 떨어진 모든지점에서는 동일한 응답함수를 갖는다고 가정할 때, 통수단면적, 기하학적 특성 및 조도계수등 모든 특성이 다른 어떠한 수로도 출구로부터 일정한 거리 x에 위치하는 경우 출구에서의 수문응답은 모두 같게 취급할 수 있다.

하도망구조를 포함하는 응답함수를 유도하기 위해 2.2.1절에서 정의한대로 거리 함수 $N(x)$ 를 유역출구에서 거리 x 떨어진 곳의 link수, G 를 하도망에서의 모든 link길이의 합, $h(t,x)$ 를 유역출구로부터 유하거리 x 떨어진 곳에서 델타함수로 표현되는 순간적인 유입량에 대한 시간 t에서의 출구에서의 응답, 그리고 전하도망내에 균등하게 순간적으로 내린 단위유효우량에 의한 유출이 발생하였다고 가정하면, Fig. 2에서 보이는 바와같이 출구에서 부터 유하거리 x에서 $x+dx$ 사이에 내릴 수 있는 강우의 확률은 $G^{-1}(x)dx$ 가 된다. 이 강우가 시간 t에서 $t+dt$ 동안 출구에 도달할 확률은 $G^{-1}N(x)h(t,x)dx$ 이며, 모든 x에 대한 확률의 총화는 하도망구조의 응답함수로서 순간단위도 $U(t)$ 를 식(15)와 같이 나타낼 수 있다.

$$U(t) = \int_0^{\infty} G^{-1}N(x)h(t,x)dx \quad (15)$$

유역내에 내린 모든 우수가 같은 속도로 흐른다고 가정하면, 유역출구까지 흐르는 동안 모든 공간에 대해서 일정하게 유하하게 된다. 즉 수로에서의 응답함수인 핵함수 $h(t,x)$ 를 식(16)과 같이 가정할 수 있다.

$$h(t,x) = \delta(t-x/v) \quad (16)$$

여기서, δ : Dirac 델타함수
v: 유하속도

식(16)에 의하면 우수는 확률 1로서 시간 $t=x/v$ 에 출구에 도달한다. 식(16)을 식(15)에 대입하면 하도망 순간단위도인 식(17)이 얻어지며, GIUH를 의미한다.

$$\begin{aligned} U(t) &= \int \delta(t-x/v)G^{-1}N(x)dx \\ &= \int v \delta(t-y)G^{-1}N(yv)dy \\ &\text{여기서, } y=x/v \\ &= G^{-1} vN(v,t) \end{aligned} \quad (17)$$

여기서 G는 하도망의 총수로길이로서, 거리함수 N(x)하의 면적을 나타내는 상수이다.

M=n가 충분히 클때 식(17)의 G대신에 식(7) $G=2n\mu$ 를 대입하면 식(18)과 같고

$$u(t) = v N(vt) / 2n\mu \quad (18)$$

식(18)의 양변에 기대치를 택하면 식(19)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E[U(t) | M=n] = \frac{E[N(vt) | M=n]}{2(\mu/v)n} \quad (19)$$

식(19)의 거리함수 N(vt)의 기대치 함수에 식(6)의 변수를 $x=vt$ 로 변환시켜 대입하면 ($\mu = \mu$ 가정)식(20)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[U(t) | M=n] = \frac{t}{2n(\mu/v)^2} \exp(-v^2t/4n\mu^2), t > 0 \quad (20)$$

식(19).식(20)의 매개변수 μ/v 는 link에서 우수의 평균지체시간을 의미한다. Troutman 등^{11,15,16}은 식(20)이 핵함수 h(t,x)의 종류나 link길이 누가함수 등에는 크게 영향을 받지않고 μ/N 가 주된 변수임을 밝힌 바 있다. 식(20)은 유역단위로 유도된 GIUH를 의미하며, 단일수계에서 얻어진

성과를 전수계망으로 중첩 확장시키는 개념은 아니다.

즉, 강우사상에 따라 일시적 하도가 형성되어 지형도상의 하천누가길이 G의 가정은 변하게 되므로, 거리함수 N(x)의 일시적 변동성도 논의의 대상이다. 따라서 하도망 해석방법에 의한 GIUH의 해석에 있어서는 총체적 하도망 관점에서 즉 서론에서 정의한 바와 같이 유역단위로 분석되어야 함을 의미한다.

실제유역에 대한 적용예

3.1 대상유역 현황

지형학적 순간단위도의 적용성을 검토하기 위하여 국제수문개발 대표 시험유역인 낙동강수계의 위천유역을 대상유역으로 선정하였다.

위천대표유역은 경상북도 군위군에 위치하고 있으며, 유역면적은 472.53km², 최장유로연장은 42.83km인 유역으로서 수위관측 지점에 따라 6개의 소유역으로 나누어져 있다. 강우량 및 유출량은 1982년 부터 관측이 실시되었으며, 1982-1988년 IHP 보고서에 수록된 자료의 신뢰성을 인정하고 사용하였다. 대상유역의 특성인자는 <표 1>과 같다.

<표 1> 대상유역의 특성인자

유역	인자	유역면적 A(km ²)	유로연장 L(km)	유역크기 M(Shreve)	하천차수 (Strahler)
동곡		33.63	8.0	38	4
고노		109.73	18.9	110	4
미성		171.25	30.9	215	5
병천		302.13	40.65	399	5
효령		151.05	21.8	149	4
무성		472.53	42.83	565	5

3.2 지형특성 분석

대상유역의 지형학적 특성을 분석하기 위하여 1/50,000지형도를 사용하였다. 본 연구에서는 Shreve의 link 분류법을 적용하였으며, Strahler 하천차수법칙을 참고하였다.

3.2.1 평균 link길이

식(20)에서 가정된 ' $\mu_1 = \mu$ '를 실측치를 통해

서 확인하고, 기하학적 link 길이와 자연 link 길이의 상관관계를 실용적인 면에서 검토하였다.

link분류법에 따라 link및 외부 link로 나누어 기하학적 link길이와 자연 link길이를 curve meter로 측정하여 비교하였다. 평균link길이는 각 link의 전 link길이를 각 link수로 나눔으로써 구하였으며, 그 결과는 [표2]과 같다. [표2]에서 보이는 바와 같이 각 지점 공히 내부 link 길이와

전체 link 길이가 약 7%의 오차를 보이며, 기하학적 link 길이의 성과가 거의 일치하였다.

도시하였으며, 여기서 보는 바와같이 비교적 두 분포의 적용성이 높음을 알수있다.

〈표 2〉 각 유역별 평균 link길이

유역	구분 link	Geometric (m)	Original (m)
동곡	내부 link	720.0	751.0
	외부 link	628.0	670.6
	전체 link	673.5	710.0
고노	내부 link	569.2	606.6
	외부 link	660.6	721.7
	전체 link	615.0	666.4
미성	내부 link	530.8	545.9
	외부 link	649.0	704.4
	전체 link	583.5	625.4
병천	내부 link	516.2	547.0
	외부 link	603.0	6645.3
	전체 link	559.5	596.3
효령	내부 link	613.3	661.4
	외부 link	657.9	705.9
	전체 link	635.5	683.5
무성	내부 link	540.8	575.8
	외부 link	620.2	664.2
	전체 link	580.5	620.0

3.2.2 link길이 분포특성

Smart¹³⁾는 link길이의 확률밀도 함수는 지수분포를 따른다고 가정하고 이를 실제유역에 적용시켜 확인한 바 있다. 본 연구에서는 link길이를 기하학적 link 길이와 자연 link길이를 구분하여, 위천대표유역 6개 소유역에 대해 지수분포와 감마분포의 확률밀도함수로 비교분석하였다.

대표적으로 고노, 효령지점의 결과를 Fig.3-4에

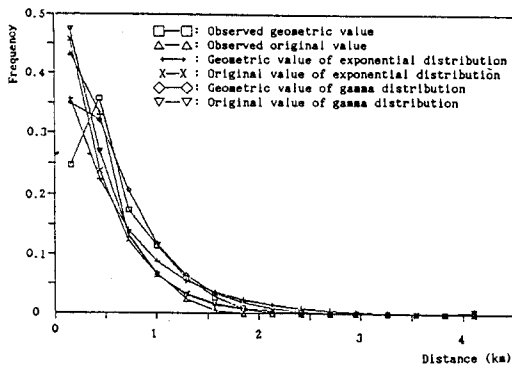


Fig.3 Comparison of Empirical and Theoretical Function for link length(GONO)

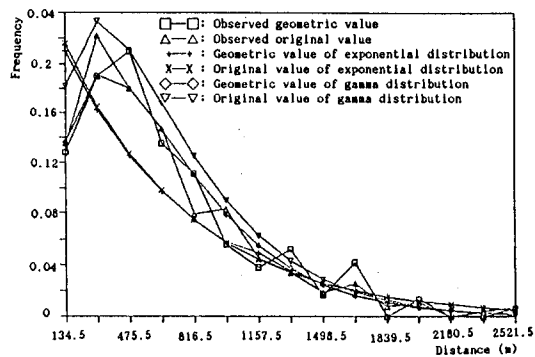


Fig.4 Comparison of Empirical and Theoretical Function for link length(HYOREUNG)

3.2.3 거리함수

거리함수란 2.2.1절에서 정의한 바와같이 유역 출구에서 유하거리 x 떨어진 곳의 link수를 의미한다. 지형학적 순간단위도로서 거리함수의 적용성을 파악하기 위해 해석적으로 유도된 확률밀도 함수인 식(6)의 Weibull분포를 위천대표유역 6개 지점의 실측한 분포형에 적용하여 비교검토한 결과 거의 일치함을 보였다.

대표적으로 동곡, 병천, 무성의 결과를 Fig.5-7에 도시하였으며, 유역크기 M이 커질수록 이론적 확률분포형이 실측치에 수렴함을 알 수 있다.

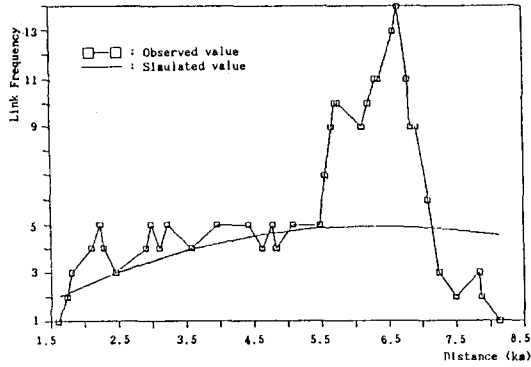


Fig.5 Random Model Prediction of the Width Function for Wi-stream Basin (DONGKOK)

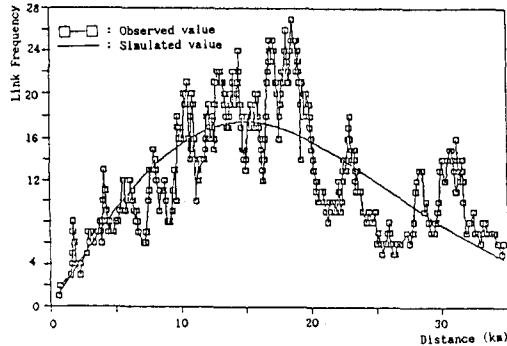


Fig.6 Random Model Prediction of the Width Function for Wi-stream Basin (BYEUNGCHUN)

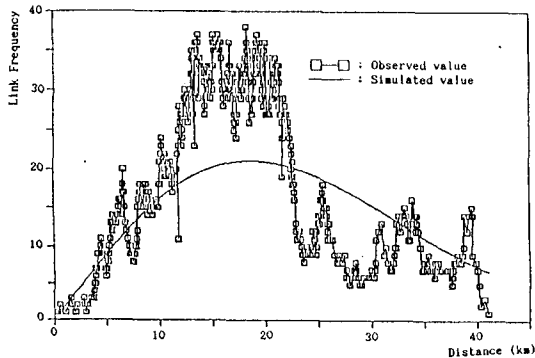


Fig.7 Random Model Prediction of the Width Function for Wi-stream Basin (MUSEUNG)

3.2.4 주하천 유로연장과 유역크기(유역면적)와의 관계

주하천 유로연장 L 은 거리함수의 중요한 인자로서, 식(11)과 같은 유역면적 A 와의 상관관계는 오랫동안의 관심사였다.

[표1]의 실측자료를 이용하여 계수 a,d를 결정한 결과 식(21)과 같으며 상관도는 Fig.8에 도시하였다.

$$L = 0.807 A^{0.67} \quad (21)$$

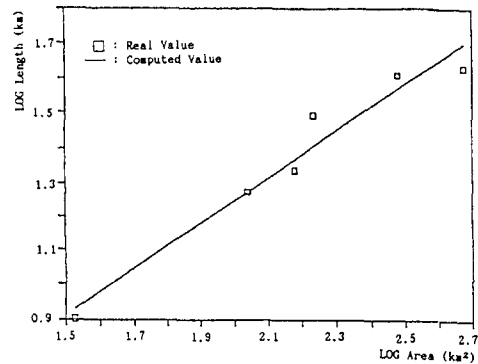


Fig.8 Relationship of Mainstream Length and Area

1987년 Mesa⁷ 등은 Shreve의 link분류법을 이용한 해석적 방법을 시도하였으며, 상관관계는 2.2.1절에서 제시한 식(13)과 같다.

경험공식인 식(21)과 이론해인 식(13)의 적용성을 실측한 자료와 비교검토한 결과는 [표3]에 수록하였다. [표3]에서 보이는 바와 같이 이론식인 식(23)은 M이 작은 동곡지점을 제외하면 비교적 적용성이 높고, 회귀식인 식(35)는 전체적으로 다소 높은 결과를 준다.

<표 3> 주하천 유로연장의 추정치 비교

유역	주 하 천 유 로 연 장					
	실측치	추정치 식(21)	오차 (%)	실측치	추정치 식(13)	오차 (%)
동곡	8.0	8.5	6.3	8.0	14.72	84.0
고노	18.9	18.77	0.7	18.9	22.87	21.0
미성	30.9	25.29	18.2	30.9	30.28	2.0
병천	40.65	36.99	9.0	40.65	39.62	3.6
효령	42.83	49.91	15.1	42.83	48.91	14.2
무성	21.8	21.8	6.6	21.8	27.50	26.1

3.3 지형학적 순간단위도

3.2절에서 논의한 바와같이 분석대상 유역의 규모 M가 비교적 클때 거리함수 N(x)는 식(6)과 같은 Weibull분포를 따른다.

Weibull분포를 이용한 지형학적 순간단위도인 식(20)의 강우-유출현상에 대한 재현성을 검토하기 위해 평균유로 속도를 0.1-1.0m/sec로 변화시켜 각 유역의 응답함수를 계산하였다.

위천대표시험유역 6개 수위관측지점에서 1984-1988년 동안 실측된 총 40개의 주요 홍수수문곡선으로부터 유도된 단위도와 Weibull 분포를 이용한 지형학적 순간단위도인 식(20)으로부터 합성된 단위도를 비교하였다. 대표적으로 동곡과 효령지점의 비교결과를 Fig. 9-10에 도시하였으며, Fig. 9-10에서 보이는 바와 같이 재현성이 비교적 낮은 것으로 판단되었다.

이는 확률밀도함수로 선택된 Weibull 분포함수가 해석적 방법으로 거리함수로 유도되었지만 집중호우에 의해 순간적으로 상승하는 유출수문곡선을 재현하는 데는 부적절한 것으로 사료된다. 앞으로 거리함수뿐만 아니라 수문응답의 재현성이 뛰어난 다른 분포형의 확률밀도함수로서 추가적인 연구가 필요함을 확인하였으며 이에 대한 연구가 진행중에 있다.

무엇보다도 본 연구성과의 중요성은 물리적, 해석적방법으로 유도된 거리함수를 이용함으로써 하천유역 특성의 정량적 지형법칙 해석 및 유출해석에 물리적 타당성을 부여한데 있다.

평균유출속도의 변화는 순간단위도에 상당한 영향을 끼침을 알수 있었다. 따라서 기존의 시불변

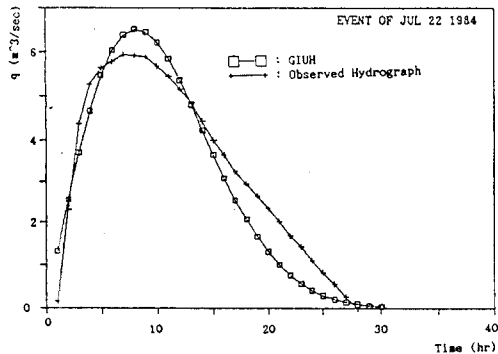


Fig.9 Comparison of Unit Hydrograph (DONG KOK)

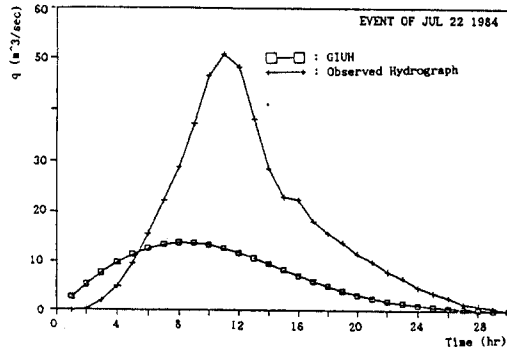


Fig.10 Comparison of Unit Hydrograph (HYO REUNG)

적인 한 유역에서 대표단위도나 합성단위도로서는 각 호우사상에 대하여 유출해석을 한다는 것은 무리임을 알 수 있었으며, 이의 결과는 시변적인 단위도 해석의 필요성을 의미한다.

4. 결 론

본 연구는 유역단위로서 하도망의 지형학적 특성을 이용한 유출해석 방법으로 지형학적 순간단위도에 대해 검토하였다.

지형학적 순간 단위도의 유도를 위해 link 분류법에 의한 거리함수를 사용하였다. 해석적으로 유도된 거리함수와 지형학적 순간단위도의 적용성을 검토하기위해 위천대표 시험 유역에 적용하였던바 거리함수는 비교적 잘 일치됨을 확인할 수 있었으나 지형학적 순간단위도는 유출의 재현성이 낮음을 확인하였다.

본 연구를 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1)기하학적 link길리와 자연 link 길리는 유역이 클때 지수분포나 감마분포를 따른다.
- (2)내부 link 길리와 전체 link 길리는 모든점에서 약 7%의 오차를 보인다. 따라서 ' $\mu_1 = \mu_2$ '의 가정에 대한 타당성이 비교적 높다고 사료되며, 실용적인면에서 기하학적 link길리를 자연 link 길리로 대치할 수 있다.
- (3)식(11)로 표현되는 하천유로연장과 면적과의 관계는 $L = 0.807A^{0.4}$ 이며, 식(13)을 이용한 계산치와 실측치는 유역크기 M이 클 때 경험공식의 적용성이 높음을 알 수 있다.
- (4)이론적으로 유도된 거리함수의 확률밀도 함수

인 Weibull 분포를 위천대표시험구역의 6개 관측 점을 기준으로 확인한 결과, 유역크기 M가 작은 동곡지점을 제외한 고노, 효령, 무성 및 병천지점등은 그 적용성이 높았으며, 이는 유도된 거리함수의 기본가정인 유역크기 M가 충분히 커야 한다는 조건과 잘 일치한다.

(5) Weibull 분포함수로 나타나는 거리함수를 사용한 지형학적 순간단위도는 유출현상의 재현성이 낮았으며, 다른 분포형의 거리함수에 대한 추가적 연구의 필요성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 1989년도 울산대학교 교내연구지원으로 수행되었으며 이에 감사드린다.

참 고 문 헌

1. Cheng, B.L., A Study of Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph. Ph. D Thesis, University of Illinois, 1982.
2. Gupta, V.K., Waymire, E. and Rodriguez-Iturbe, I., On Scales, Gravity and Network Structure in Basin Runoff, Scale problems in Hydrology, Reidel, pp.159-184, 1986.
3. Gupta, V.K. and Wang, C.T., A Representation of an Instantaneous Unit Hydrograph from Geomorphology, Water Resources Research, Vol.17, No.3, pp.545-554, 1981.
4. Gupta, V.K. and Mesa, O.J., Runoff Generation and Hydrologic Response via Channel Network Geomorphology, Journal of Hydrology, 1987.
5. Gupta, V.K. and Waymire, E., Statistical Self-Similarity in River Network Parameterized by Elevation, Water Resources Research Vol.25, No.3, pp.463-476, 1989.
6. Kirkby, M.J., Tests of the Random Network Model and Its Application to Basin Hydrology, Earth Surface processes, Vol.1, pp.197-212, 1976.
7. Mesa, O.J. and Mifflin, E.R., On the Relative Role of Slope and Network Geometry in Hydrologic Response, Scale Problems in Hydrology Reidel, pp.1-18, 1986.
8. Mesa, O.J., On the Main Channel Length-Area Relationship for Channel Network, Water Resources Research, Vol.23, No.11, pp.2119-2122, 1987.
9. Rodriguez-Iturbe and Valdes J.B., The Geomorphologic Structures of Hydrologic Responses, Water Resources Research Vol.15, No.6, pp.1422-1434, 1979.
10. Rodriguez-Iturbe, A Rainfall-Runoff Analysis of Geomorphologic IUH, Water Resources Research Vol.15, No.6, pp.1421-1434, 1979.
11. Rodriguez-Iturbe, Discharge Response Analysis and Hydrologic Similarity: The Interrelation Between the Geomorphologic IUH and the Storm Characteristics, Vol.15, No.6, pp.1435-1444, 1979.
12. Ross, R.L., Nash Model Relation to Morton order Ratio, Water Resources Research, Vol.20, No.7, pp.914-920, 1984.
13. Smart, J.S., Channel Networks, Advances in Hydroscience Vol.8, pp.305-346, Academic Press, 1972.
14. Troutman, B.M. and Karliger, M.R., On the Expected Width Function for Topologically Random Channel Networks, Journal of Applied Problems, Vol.21, pp.836-849, 1984.
15. Troutman, B.M., Unit Hydrograph Approximations Assuming Linear through Topologically Random Channel Networks, Water Resources Research Vol.21, No.5, pp.743-754, 1985.
16. Troutman, B.M., Averaging Properties of Channel Network using Methods in Stochastic Branching Theory, Scale Problems in Hydrology, Hydrology Reidel, pp.185-216, 1986.
17. Wang, C.T., A Geomorphologic Synthesis of Nonlinearity in Surface Runoff, Water Resources Research Vol.17, No.3, pp.545-554, 1981.
18. Waymire, E. and Gupta, V.K., On the formation of an Analytical Approach to Hydrologic Response and similarity at the Baniu Scale, Journal of Hydrology, Vol.65, pp.95-123, 1983.
19. 건설부, "국제 수문 개발 계획(IHP)대표유역 조사 보고서", 1982-1988.