

規模問題를 考慮한 水文應答의 解析: 2. 적용 및 분석 Hydrologic Response Analysis Considering the Scale Problem: Part 2. Application and Analysis

성 기 원* · 선 우 증 호**
Seong, Kee Won · Sonu, Junggho

Abstract

The application and analysis for the scale considering GIUH model proposed by the authors in this issue have been performed for the Ieemokjung sub-basin in the Pyungchang basin one of IHP representative basin in Korea. Scales of topographic maps for model application and fractal analysis are 1:25,000, 1:50,000 and 1:100,000. The ratio between successive scales is therefore constant. Link lengths were measured using a curvimeter with the resolution of 1mm. Richardson's method was employed to have fractal dimension of streams. Apparent alternations of parameters were found in accordance with variations of map scale. And this tendency could mislead physical meanings of parameters because model parameters had to preserve their own value in spite of map scale change. It was found that uses of fractal transform and Melton's law could help to control the scale problem effectively. This methodology also could emphasize the relationship between network and basin to the model. To verify the applicability of GIUH proposed in this research, the model was compared with the exponential GIUH model. It is proven that proposed 2-parameter gamma GIUH model can better simulate the corresponding runoff from any given flood events than exponential GIUH model. The result showed that 2-parameter gamma GIUH model and fractal theory could be used for deriving scale considered IUH of the basin.

요 지

해상도를 고려하는 GIUH 모형에 대한 적용과 분석을 평창강 유역의 소유역인 이목정유역에 대하여 수행하였다. 모형의 적용과 Fractal 분석을 위해 1:25,000, 1:50,000 그리고 1:100,000 축척의 지도를 이용하였다. 따라서 축척간의 비율이 일정한 값을 갖는다. 링크의 길이는 해상도 1mm의 구장기를 이용하였고 Fractal 차원은 Richardson 방법을 사용하였다. 지도의

* 한국건설기술연구원 수자원연구실

** 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수

축척에 따라 매개변수들의 현저한 변화를 발견하였으며 이러한 경향은 매개변수의 물리적 의미를 상실하게 한다. 그런데 Fractal 변환과 Melton의 지형법칙은 이러한 규모문제를 효과적으로 조정해주는 역할을 할 수 있다. 그리고 이 방법은 하도망과 유역간의 연관성을 모형에 반영할 수 있는 장점이 있다. 이 연구에서 제안한 GIUH의 적용성을 검증하기 위해 지수형 GIUH 모형과 비교하였다. 그 결과 제안된 2모수 gamma GIUH 모형이 좋은 재현성을 보였다. 따라서 Fractal 이론을 도입한 2모수 gamma GIUH 모형은 축척을 고려하는 IUH를 유도하는데 있어서 적절하다고 할 수 있다.

1. 序 論

1.1 研究의 目的 및 方法

본 연구는 성기원과 선우중호(1995)가 제안한 해상도를 고려하는 GIUH 모형을 유역에 적용하고 그 결과를 분석하고자 한다. 모형의 민감도를 평가하였으며 매개변수 추정은 Rosenbrock(1960) 방법을 사용하였다. 그리고 여러 형태의 목적함수를 비교 평가하여 목적함수와 모형 그리고 최적화 방법 사이에 있을지도 모르는 수학적 연관을 배제하도록 하여 합리적인 결과를 도모하였다. 본 연구의 대상유역은 국제수문개발계획 대표유역 중 평창강 유역내에 있는 이목정 소유역에 적용하였다.

2. 本 論

2.1 模型의 紹介

GIUH모형은 사면과 하도망이라는 현저히 구분되는 유출구조로 유역의 유출을 분리하고 각각을 하도망응답모형 그리고 사면응답모형이라하여 적절한 분포함수에 적용하고 유출특성을 지형인자에 연관짓는 모형이다. 본 연구에서는 하도망모형을 구성하는데 있어서 모형성분인 폭함수를 Fractal 이론에 적용하여 작성하였다. 그리고 Fractal제어를 위한 방법으로 Melton(1968)의 지형법칙을 이용하였다. 그리고 이 법칙을 통해 유역의 자기상사성이 모형에 반영되도록 하였다. 하도망모형의 추적함수로 일반형 확산근사모형을 사용하여 관성항의 영향이 고려되도록 하였으며 사면모형을 적용하

는데 있어서는 2모수 gamma분포모형을 채택하고 또한 유원위치함수를 정의함으로써 유역내 수계 발달의 정도가 폭함수에 가중치로 작용하도록 하였다.

2.2 媒介變數의 推定과 敏感度分析

2.2.1 媒介變數 推定方法

강우-유출모형의 매개변수를 추정하는 방법으로 Rosenbrock방법을 선택하여 최적화에 사용하였다. 그런데 Diskin과 Simon(1977)은 문제의 종류와 모형 그리고 목적함수 사이에는 수학적 어떤 연관이 있기 때문에 최적화를 위하여 단일목적함수를 사용하는 것은 불합리하며 그보다는 다른 종류의 목적함수도 같이 평가하여 객관적으로 우수한 목적함수를 사용하도록 추천하고 있다. 본 연구에서는 그들이 평가하였던 12가지의 목적함수 중에서 강우-유출구조에 적합하다고 평가한 3가지의 목적함수와 HEC-1 모형에서 사용하는 침투부 가중형 목적함수를 실제 자료에 적용하여 평가한 후 최적치를 제공하는 순위를 부여하여 가장 우수한 목적함수를 선택하였다. 이 4가지 목적함수와 순위를 Table 1에 수록하였다.

계산결과 O_1 과 O_4 는 목적함수로 선정하는데 있어서 우열이 없었다. 그러나 본 연구에서는 모형에 의한 계산값이 침투부에서 보다 잘 모의되도록 O_4 를 목적함수로 선택하였다.

2.2.2 媒介變數의 敏感度分析

본 연구의 모형은 모두 5개의 매개변수를 가지고 있다. 이 중 2개는 사면응답모형에 속해있고 나머지 3개는 하도망응답모형의 매개변수이다. 먼저

Table 1. Comparison of Objective Functions Objective Function

Objective function	Source	Rank of Objective function
$O_1 = \sum (y_i - x_i)^2$	Diskin	1
$O_2 = [\{ N \sum (y_i - x_i)^2 \}^{\frac{1}{2}}] / \sum y_i$	Diskin	4
$O_3 = [\sum (y_i - x_i)^2] / [\sum (y_i - \bar{y})^2]$	Diskin	3
$O_4 = \sum (y_i - x_i)^2 [(y_i + \bar{y}) / (2\bar{y})]$	HEC-1	1

\bar{y} : average of observed runoffs
 y : observed runoffs
 x : runoffs generated by the model
 N : number of data

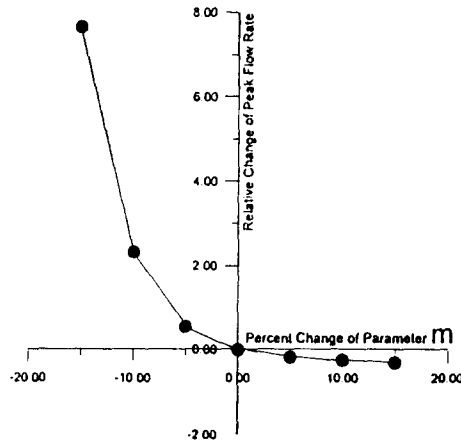


Fig. 1. Sensitivity of Peak Discharge for Parameter m

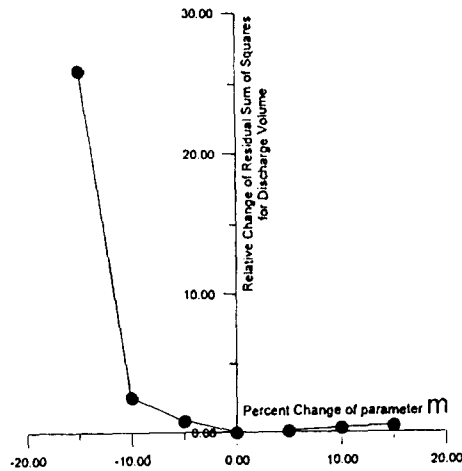


Fig. 2. Sensitivity of Residual Sum of Squares for Parameter m

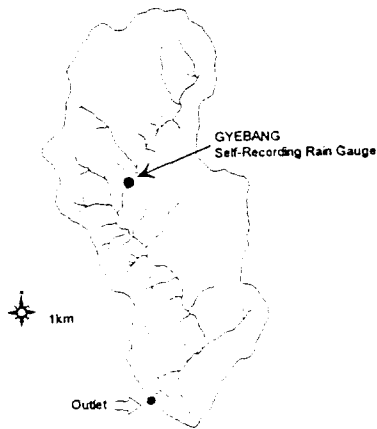


Fig. 3. leemokjung Subbasin

폭합수와 유원위치함수의 비율인 π 는 0%, 10%, 20% 등 몇개의 값만 사용하면 쉽게 적절한 값을 찾을 수 있으므로 별 문제는 없다. 그리고 하도망 응답모형의 매개변수인 유속 등은 자료만 충분하였다면 추정해야 할 매개변수에서 제외시킬 수가 있다. 이와같은 절차로 인하여 최적화가 필요한 매개변수는 사면응답 모형의 형상모수인 m 과 규모모수의 역수인 y 로 압축되었다. 이 매개변수 가운데 상대적으로 민감도가 큰 m 의 백분율 변화에 대한 침투유량과 유량에 대한 잔차제곱합의 상대적 민감도를 도시한 것이 Fig. 1과 Fig. 2이다.

2.3 模型의 適用

2.3.1 對象流域 概況

본 연구의 대상유역은 평창강 유역의 소유역 가운데 하나인 이목정유역으로 東沙川을 유출의 경로로 이용하는 지역이다. 이목정유역의 면적은 55.9 km²이며 유역의 북동부 최상류 지역에 위치하고 있다. 그리고 유역의 경사는 0.34401 rad으로 대단히 가파른 유역이다. 유역의 형상과 하도망의 분포를 Fig. 3에 도시하였다.

2.3.2 降雨-流出資料의 收集

Thiessen 다각형 분석을 통한 관측소별 가중치의 분석결과 이목정유역을 지배하는 우량관측소는 계방관측소이며 가중치는 1로서 이 관측소 하나의

우량이 이목정유역의 강우를 대표한다고 조사되었다. 그리고 유량에 대하여 1983년부터 측정조사되어 분석된 수위-유량관계곡선을 이용하였다.

2.3.3 流域分析과 Fractal 理論을 이용한 最適河道網의 構成

강우-유출과정의 분석에 필요한 지형학적 인자 가운데 하도망과 개별하도의 길이를 얻고 Fractal 해석을 위해 3가지의 축척에 대한 지도를 이용하였다. 길이 측정은 정밀도를 높이기 위해 1 mm의 해상도를 갖는 디지털 방식의 구장기를 사용하여, 면적은 Auto Cad를 이용하여 얻었는데 면적은 축척의 변화와 무관하다는 Hjelmfelt(1988)와 Tarboton 등(1988)의 견해대로 각 축척에서 55.9 km²으로 측정되었다.

지도의 기본축척으로 1:50,000의 지형도를 이용하였다. 그리고 Fractal차원의 산정을 위해 이 축척보다 2배의 해상도를 갖는 1:25,000의 지형도와 1/2배의 해상도인 1:100,000의 지형도를 이용하였다. 그런데 1:100,000의 지형도는 제작되지 않기 때문에 1:50,000의 지형도를 정밀한 복사기를 이용하여 50%로 축소복사 함으로써 얻을 수 있었다. 이와 같은 복사를 이용한 Fractal 분석기법은 Hjelmfelt(1988)가 시도한 방법이다. 이 방법의 신뢰성은 복사의 정밀성에 의존함은 자명하다. 그런데 정밀도가 보장이 된다면 복사방법을 이용한 분석이 해당축척의 지도를 직접 분석하는 것에 비하여 다른 장점을 가지고 있다고 판단된다. 왜냐하면 해상도가 떨어지는 지도를 분석해보면 하도망의 표기가 정밀하지 않고 작은 하도의 경우 의도적으로 생략되거나 짧게 표시되는 것이 발견되는데 이것은 Fractal분석에 장애가 되기 때문이다.

본 연구의 대상유역인 이목정 유역은 모두 89개의 링크로 구성된 하도망을 가지고 있다. 따라서 외부 링크의 갯수(=유원의 갯수)는 45개이며 내부 링크는 44개가 된다. 1:50,000과 1:25,000 그리고 1:100,000* (실제 1:100,000의 지형도가 아니므로 이를 구별하기 위하여 첨자 ‘*’를 사용함) 등의 지형도를 통해 분석한 유역의 특성을 나타내는 지표들 중 주하천유로연장, 링크 길이의 총합 등은 Table 2와 같이 축척에 따라 변화함을 보

Table 2. Comparison of Geomorphological Parameters at Different Scales

Scale	1:25,000	1:50,000	1:100,000*
Main Stream Length L(km)	16.750	15.275	14.100
Sum of Links Z(km)	53.125	48.400	43.800
Drainage Density D(km ⁻¹)	0.9498	0.8654	0.7831
Average Hillslope Runoff Length L _h (km)	0.5264	0.5778	0.6385

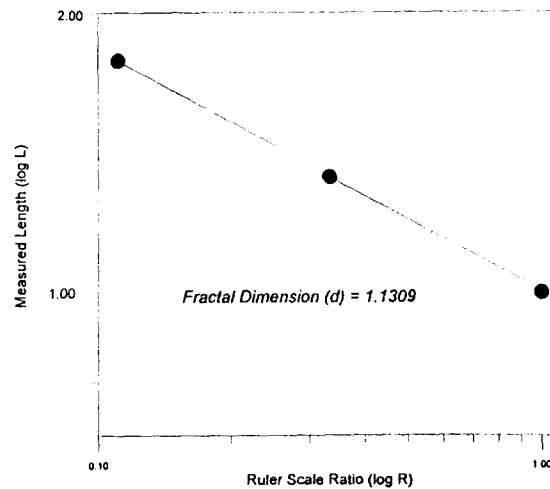


Fig.4. Influence of Map Scale on Main Stream Length at leemokjung Subbasin

여주고 있다.

하도의 Fractal차원을 구하기 위하여 주하천유로연장과 측정자의 크기의 상관관계를 log-log 용지에 도시하고 (Fig. 4) 이 점들을 회귀분석을 할 경우 하도의 Fractal차원은 1.1309이라는 값을 얻었다.

그런데 이 값은 우리 나라 중소하천 유역의 유로연장의 평균 Fractal 차원인 1.1738 (성기원과 선우중호, 1995)에 비해 미소하게 작다. 이로부터 얻어진 Fractal 차원을 이용하여 식 (1)을 통해 링크의 길이를 얻을 수가 있다.

$$L_{exact} = NR^d \quad (1)$$

여기서 L_{exact} 는 측정거리, N 은 측정자 사용횟수, R 은 측정자의 절대길이이며, d 는 수렴을 위한 지

수이다.

그런데 이 식들로 부터 얻어지는 극한값은 물리적인 의미가 없는 값이다. 왜냐하면 이 극한값은 개념적인 의미를 갖고 있는 것이기 때문이다. Mandelbrot(1983)도 해안선을 따라 길이를 측정할 때 그 길이는 무한하다 라는 가설을 비슷한 개념으로 설명한 바 있다. 그러나 지도에서 하도를 표시하는 청색선은 극한 값에 가까운 정밀도로 측정되거나 도시된 것은 물론 아니기 때문에 지도를 이용하여 극한값을 얻는다는 것은 무의미하며 무엇보다도 유역규모의 수문구조를 모형화하는 과정에서 극한값은 전혀 고려할 가치가 없는 계산치이다. 따라서 식 (1)은 해상도에 의존하지 않는 물리적이거나 경험적인 정보를 이용하여 조절되거나 제어되어야 한다. 그런데 Fractal측정에 의한 하도의 제어는 하도와 사면간의 명백한 관계를 통해서만

이루어져야 한다. 성기원과 선우중호(1995)가 언급한 바와 같이 본 연구에서는 Fractal하도의 제어를 위해 자기상사성을 표현하면서 하도와 사면 간의 구조적인 연관성을 밝히는 유일한 경험공식인 Melton의 공식을 이용하였다. 이 식을 Horton의 지형법칙과 결합하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{\omega=1}^{\omega} N_{\omega} / A_{\omega} = 0.694D^2 \quad (2)$$

여기서 N_{ω} 는 ω 차 하도의 갯수, D 는 배수밀도(km^{-1})이며, A_{ω} 는 전체 유역면적(km^2)이다.

계산결과에 의한 하도빈도(F)는 $1.02 \times 10^{-6} \text{ m}^{-2}$ 이고 추정하도망의 총길이는 67,418.22 m였다. 한편 연구에서 기본 축척으로 사용한 1:50,000의 지도에서의 1mm는 실제거리로 환산하면 50m이고 1:25,000의 지도에서는 25 m의 실제거리를 의미한다. 그런데 이들의 해상도로 총 하도망의 길이

를 측정할 경우 Melton의 법칙에 부합하는 값을 얻을 수가 없었다. 그래서 식 (3)으로 표시되는 Fractal 상사법칙을 이용한 축척의 임의 변경을 시도하여 해상도의 상승을 유도하였다.

$$L_2 = L_1 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{(1-d)} \quad (3)$$

여기서 L_2 는 측정자의 크기가 R_2 일 경우의 측정길이 $[L]$ 이며, L_1 은 측정자의 크기가 R_1 일 경우의 측정길이 $[L]$ 이다.

그 결과 측정자의 실제 길이가 4 m 즉 가상적으로 1:4,000의 지도를 1mm의 해상도로 측정할 때 얻는 길이가 Melton의 법칙에 의한 하도망의 길이와 거의 일치하였다. 축척과 총 하도망의 길이를 Table 3에 수록하였다.

그리고 축척에 대한 폭함수의 변화를 Fig. 5에 비교하였다. 그림에 나타나듯이 축척에 따라 유역 내 하도망의 분포가 현저히 달라짐을 알 수 있다.

Table 3. Measured and Calculated Fractal Network Length

Map Scale	1:50,000	1:25,000	1:4,000*
Ruler Size in Actual Dimension, (m)	50	25	4
Network Length (m)	48,400	52,964	67,212

* Scale based on Fractal Geometry

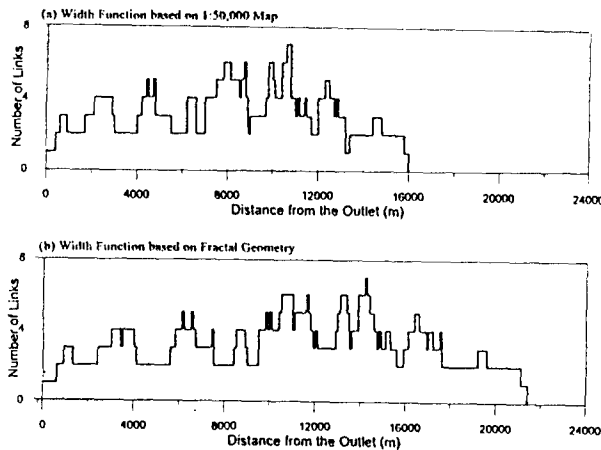


Fig. 5. Influence of Fractal Transformation to Width Function

2.3.4 河道網 應答模型에 대한 入力資料의 檢討

유역규모의 응답해석을 바탕으로 할 경우 하도망 내의 흐름 전체를 대표하는 유속이란 실제로는 있을 수 없는 개념적인 값에 가깝다. 본 연구에서는 대표유속을 운동과속과 유속간의 관계로부터 도출하고자 하였다. 유역의 공간적인 운동과속의 변화 분포는 유속의 경우보다 미미하다. 특히 Surkan (1969)과 Beven(1979)은 이러한 연구를 바탕으로 하도망 추적함수로 운동과속모형을 사용하기도 하였다. 그런데 대상유역의 수위관측소 상류에는 수위를 측정하는 상설장치나 임시 관측기록도 없다. 따라서 하류수위관측소의 수위자료로부터 운동과속을 구하고 이를 다시 유속으로 환산하는 방법을 채택하였는데 운동과의 진행방향이 하류방향이라서 상류의 그것과 동일하다는 가정을 세우기는 무리가 있으나 운동과속의 변화범위의 기준값을 제공하는 정성적 지표로서의 가치는 충분하다고 본다. 등류상태에서의 Chezy의 유속공식은 다음과 같다.

$$V_o = 0.552CR^{1/2} S_o^{1/2} \quad (4)$$

여기서 0.552는 SI 단위에서의 계수, C 는 Chezy 계수, R 은 동수반경(m)이며, S_o 는 바닥경사이다.

그런데 단위폭을 갖는 하도에 대하여 식 (4)로부터 유량에 관한 공식인 식 (5)를 얻을 수 있다.

$$q_n = 0.552Cy^{3/2} S_o^{1/2} \quad (5)$$

여기서 y 는 수리수심(m)이다. 따라서 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$V_k = \frac{\partial q_n}{\partial y} = \frac{3}{2} V_o \quad (6)$$

여기서 V_k : 운동과속 (m/sec)이다.

그리고 Tawatchai와 Manhandar(1985)는 그들의 확산근사모형에 적용한 방법과 유사하게 검증 자료들의 홍수시작시간 24 시간 이전부터 홍수 직전까지의 수심을 평균하여 가장 자주 나타나는 수심을 등류수심 대신 사용하였다. 그 결과 약 0.5

m의 수심을 얻을 수 있었다. 현장관측 결과 하도의 평균 Manning의 조도계수는 0.05 정도로 평가되었으며 이 결과 Chezy계수는 17.8로 계산되었다. 따라서 운동과속은 약 1.5 m/sec가 되고 식 (6)에 의하여 유속은 약 1 m/sec의 값을 갖는 것으로 평가되었다. 따라서 Froude수는 약 0.4가 된다. 본 연구에서는 모형의 추정 및 검증과정에서 이 유속을 유역 하도망의 대표유속으로 사용 하였다.

3. 模型의 適用과 結果

본 연구의 진행과정과 마찬가지로 연구의 적용 및 분석에 있어서도 두가지의 결과를 제시하는 것으로 귀결하고자 한다. 첫째는 기존의 지수분포모형을 개선한 2모수 gamma분포모형의 적용성을 밝히는 것이고, 둘째는 축척의 변화에 의한 최적 매개변수의 변화를 살펴보는 것이다.

3.1 2모수 gamma 分布模型에 대한 媒介變數 推定 및 檢證

이목적 유역의 시우량 그리고 시수위자료 중 모두 7개의 홍수사상을 얻을 수 있었다. 이 가운데 모두 6개의 홍수사상을 매개변수의 추정을 위한 자료로 사용하였다. 그리고 각 사상에 대하여 추정된 매개변수들의 값을 산술평균하여 1개의 홍수사상에 대하여 검증하였다. 이 평균된 매개변수 값은 Table 4에 수록되어 있다.

그리고 추정에 사용된 홍수사상을 일부 도시한 것이 Fig. 6과 Fig. 7이다. 전반적으로 문제없이 매개변수가 추정되었으며 두개의 첨두부를 갖는 사상인 그림의 경우에는 높은 첨두부에서는 약간의 과소한, 낮은 첨두부에서는 미미하게 과대한 추정이 이루어짐을 발견할 수 있다. 이것은 급격한 유량의 변화를 보이는 높은 첨두부분이 완만한 유량의 변화부인 낮은 첨두부와 감쇄부에 비하여 양적으로 적은 비율이기 때문에 목적함수를 최적화하는 기여도가 상대적으로 떨어지기 때문으로 판단된다. 이 외에도 전반적으로 모든 사상에 대하여 첨두시간과 첨두유량을 매우 정확히 모의되고 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 제안한 모형과 비교하기 위하여 지수분포모형의 매개변수를 같은 홍수사상에 대하여 추정하고 검증하여 보았다. 이 경우에 추정된 매개변수를 Table 4에 비교 수록하였으며 추정결과를 Fig. 6과 Fig. 7에 도시하였다. 그림에서 살펴볼 때 지수분포 모형은 모두 계산치의 재현성이 낮으며 침투유량을 매우 과소추정하고 있음을 알 수 있다. 이것은 지수분포모형은 이목정유역과 같은 빠른 사면유출구조를 갖는 유역의 적용에 문제가 있음을 암시하는 것이다. 그리고 추정된 매개변수로

검증한 결과를 '89년 9월 14일 홍수사건에 대하여 도시한 것이 Fig. 8이다. 결과에서 공히 2모수 gamma분포 모형의 재현성이 지수분포 모형보다 우수함을 알 수 있었다. 특히 홍수 초반기의 급격한 유출의 변화를 모의하거나 침투유량을 예측하는데 있어서 현저한 차이를 보여주고 있다. 그런데 결과를 살펴볼 때 두 모형 모두 침투유량을 과소 예측하고 있으며 감쇄부 이후의 유량은 과대 예측하고 있다. 이것은 사상들의 기저유출 분리방법과 수위 및 유량의 관계식에 문제가 있다고 판단된다.

Table 4. Calibrated Parameters in Rainfall-Runoff Model

Flood Event (date)	Total Rainfall (mm)	Effective Rainfall (mm)	Duration (hrs)	2 parameter gamma model		exponential Model
				m	y(hrs)	K (hrs)
'83. 7. 19.	49.8	29.38	9	0.913	31.983	26.345
'83. 8. 23.	39.4	6.52	26	0.918	33.750	26.950
'84. 7. 12.	26.4	7.05	11	0.911	22.130	13.926
'85. 6. 11.	30.2	5.54	35	0.922	19.067	15.634
'85. 7. 12.	57	50.66	49	0.981	15.624	25.000
'86. 8. 1.	48	28.90	14	0.920	41.581	36.063
average				0.928	29.702	23.986

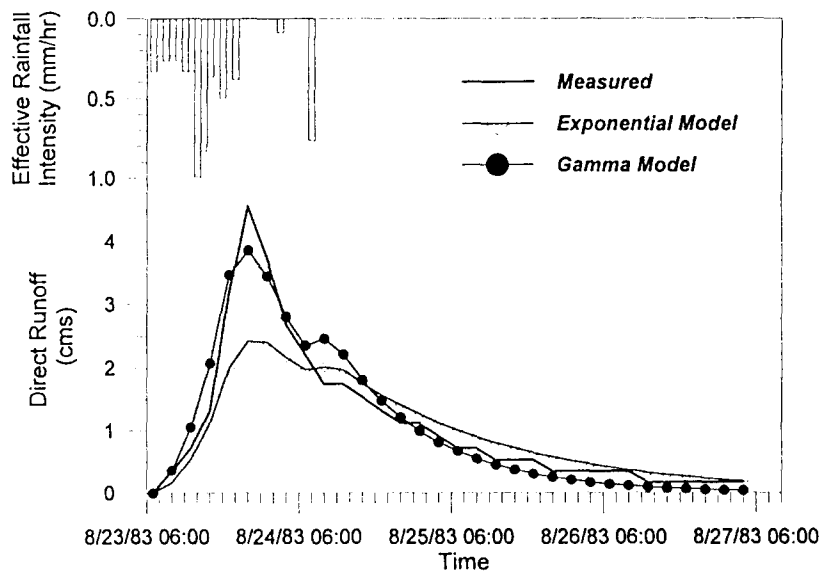


Fig. 6. Discharge Hydrograph in Calibration (Event: '83. 8. 23)

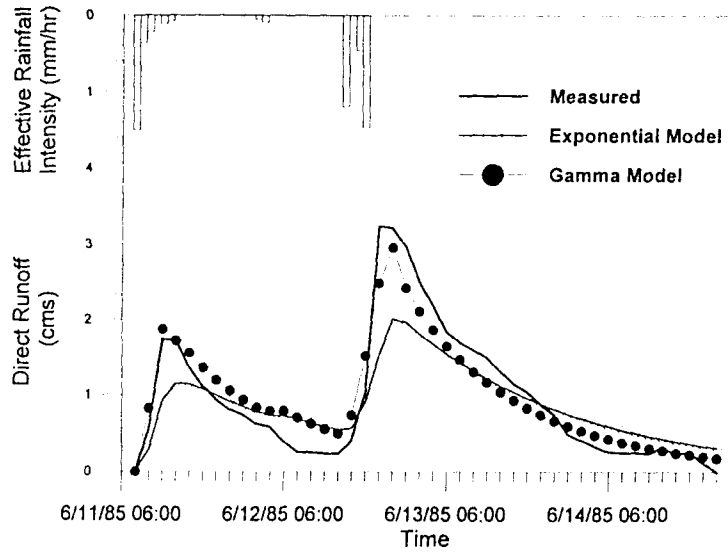


Fig. 7. Discharge Hydrograph in Calibration (Event : '85.6.11)

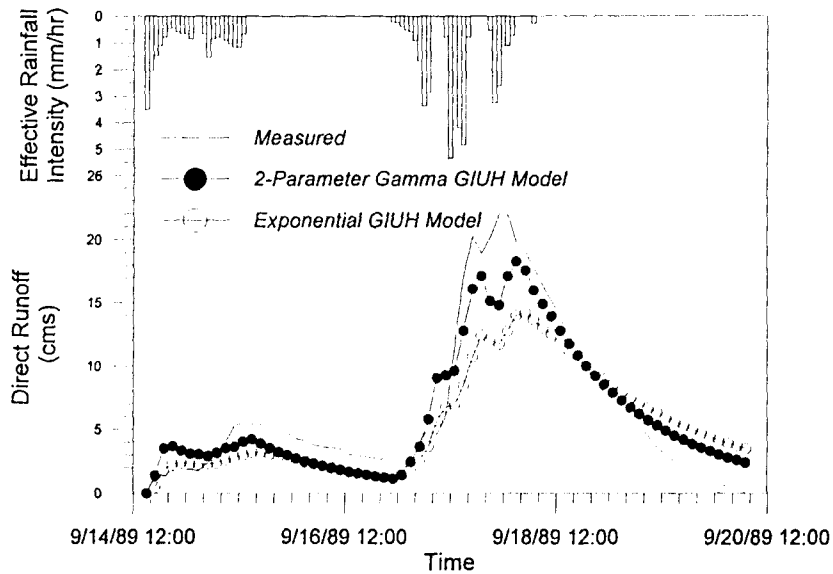


Fig. 8. Discharge Hydrograph in Verification of Rainfall-Runoff Model (Event : '89. 9. 14)

3.2 縮尺의 變化에 對한 應答의 舉動

유역분석에 사용되는 지도 축척의 변화에 따라 지형인자와 수문인자의 영향을 분석하여 보았다.

기본 축척인 1:50,000과 1:25,000 그리고 1:100,000*의 축척을 갖는 지도에서 측정된 하도길이와 Fractal변환에 의해 계산된 하도길이 등을 이용하여 평균사면거리와 사면평균지체시간 그리고 사면 평균유속을 구하였다. 이를 위하여 먼저 각 축척에

Table 5. Optimum Model Parameters at Different Scale

Scale	1:4,000*	1:25,000	1:50,000	1:100,000*
m	0.920	0.938	0.941	0.951
y (hrs)	31.26	29.74	29.20	28.51

* Artificial map scale based on fractal geometry.

Table 6. Hydrogeomorphologic Parameters at Different Scale

Scale	1:4,000*	1:25,000	1:50,000	1:100,000*
<i>Network Length</i> <i>Z(m)</i>	67,200	52,800	48,400	44,200
<i>Drainage Density</i> <i>D(1/km)</i>	1.20	0.94	0.87	0.79
<i>Average Hill Slope</i> <i>Length</i> <i>Lc(km)</i>	0.417	0.532	0.575	0.633
<i>Average Waiting Time</i> <i>T_w(hrs)</i>	28.77	27.89	27.48	27.11
<i>Characteristic Velocity</i> <i>V_n(m/hr)</i>	14.49	19.07	20.92	23.35

서 얻어낸 지형인자, 폭합수를 이용하여 '83년 7월 19일 홍수사상에 대하여 추정된 매개변수의 최적치를 비교한 결과를 Table 5에 수록하였다. Table 5에 나타난 결과를 살펴보면 매개변수들의 민감도를 고려할때 매개변수들의 변화가 큰 것을 알 수가 있다. 그리고 구해진 매개변수들과 지형인자들을 그리고 이로부터 계산된 사면평균지체시간과 사면평균유속을 Table 6에 수록하였다. Table 6에서 나타난 바와 같이 계산된 사면평균유속은 23.35 m/hr에서 14.49 m/hr까지의 큰 변화를 보여주고 있다. Dunne(1978)이 측정한 사면에서의 직접유출 평균이동속도의 범위인 10 500 m/hr에는 모두 포함되므로 일단 물리적으로 납득하기 어려운 결과를 발생시키는 축척은 없다라고 할 수 있다. 그러나 이와 같은 축척의 변화에 대한 매개변수의 변화는 모형의 매개변수에 대한 물리적 의미 부여라던지 지역화분석의 적용 등과 같은 문제에 커다란 영향을 미칠 것은 자명하다. 이에 축척간 수문인자들의 불일치를 극복하기 위해서 제안한 Fractal변환은 유역의 수문지형 특성을 지배하는 축척을 제공하는 지표로 사용될 수 있다는 점에서 본 연구의 의미가 있다.

4. 결 론

본 연구를 통해 얻을 수 있는 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 이목정 유역에 대한 자기상사성의 존재를 확인하였다. Richardson방법을 통해 얻은 이목정 유역의 하도에 대한 Fractal차원은 1.1309였는데 이 값은 우리나라 중소하천 유로연장에 대한 Fractal차원인 1.1738과 거의 일치한다. 따라서 유사한 유역의 수문지형학문제에 Fractal개념을 도입할 필요가 있을 경우 별도의 계산 없이 우리나라 중소하천 유로연장에 대한 Fractal차원을 사용할 수 있다는 가설을 제기할 수 있다.

(2) Melton의 지형법칙으로 Fractal제어를 시도할 경우 가상적으로 약 1:4,000정도 지형도의 자료를 1mm의 해상도로 분석하는 효과를 얻을 수 있었다.

(3) GIUH모형은 하도망의 구성에 의존적인 모형이다. 따라서 수계가 충분히 발달되지 않은 유역에서의 적용성은 상대적으로 떨어진다. 그러나 비록 수계가 발달되어 있더라도 유원위치합수를 통해

가중된 폭함수를 사용하면 응답의 재현성이 향상됨을 확인하였다.

(4) 하도망유속의 민감도가 그다지 높지 않고 강우에 대한 민감도분석의 결과 소유역에서의 응답 거동은 사면에서의 지체분포에 의존함을 알 수 있었다. 따라서 소유역에서의 하도망응답모형은 모형의 효율성을 고려할때 단순한 모형의 적용도 가능하다.

(5) 2모수 γ 분포모형은 사면유출구조를 반영하는 데 있어서 기존의 지수분포모형에 비해 우수하다. 특히 초기의 급격한 유출변화를 모의하는 부분에서 많은 차이를 보여주고 있다. 그런데 2모수 γ 분포모형의 매개변수 중 초기의 유출 형태를 지배하는 매개변수의 변동범위가 다른 매개변수에 비하여 대단히 좁은 것으로 미루어 보아 이 매개변수는 강우나 함수비같은 시변량인자보다는 지형인자와 같은 유역특성인자와 관련을 지을 수가 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 성기원, 선우중호 (1995). "규모문제를 고려한 수문응답의 해석: 1. 모형이론의 유도." 한국수자원 학회지, 제28권, 제4호, pp. 185-194.
- Beven, K. (1979). "On the generalized kinematic routing method." *Water Resources Research*, Vol. 15, No. 5, pp. 1238-1242.
- Diskin, M.H., and Simon, E. (1977). "A Procedure for the selection of objective functions for hydrologic simulation models." *J. Hydrology*, Vol. 34, pp. 129-149.
- Dunne, T. (1978). "Field studies of hillslope flow processes." *Hillslope hydrology*, M. Kirkby, eds., J. Wiley & Sons, pp. 227-293.
- Hjelmfelt, A.T. (1988). "Fractals and the river length-catchment area ratio." *Water Resour. Bull.*, Vol. 24, pp. 455-459.
- Mandelbrot, B.B. (1983). *The fractal geometry of nature*. W.H. Freeman, New York.
- Melton, M.A. (1958). "Geometric properties of mature drainage systems and their representation in an E4 phase space." *J. Geol.*, Vol. 66, pp. 35-54.
- Rosenbrock, H.H. (1960). "An automatic method of finding the greatest or least value of a function." *Computer Journal*, Vol. 3, pp. 175-184.
- Surkan, A.J. (1969). "Synthetic hydrographs: Effects of network geometry." *Water Resources Research*, Vol. 5, pp. 112-128.
- Tarboton, D.G., Bras, R.L., and Rodriguez-Iturbe, I. (1988). "The fractal nature of river networks." *Water Resources Research*, Vol. 24, No. 8, pp. 1317-1322.
- Tawatchai, T., and Manhandar, S.K. (1985). "Analytic diffusion model for flood Routing." *J. Hydraulic Engineering*, Vol. 111, No. 3, pp. 435-454.

(접수: 1995년 4월 18일)