

엔트로피를 이용한 흐름분배 알고리즘 해석 Entropy Interpretation On Flow Distribution Algorithms

이 학 수* / 강 창 용** / 김 상 현*** / 정 성 원****

Lee, Hak Su / kang, Chang Yong / Kim, Sang Hyun / Jung, Sung Won

Abstract

The wetness index has been frequently used to describe the spatial distribution of the hydrologic status on the platform of the grid based model such as TOPMODEL and THALES. The statistical and spatial distributions of the wetness index are primarily depend upon the flow determination algorithm. The comparison among various algorithms and the decision making of the application algorithms are desirable. The entropy is used to evaluate the information transfer patterns of the various flow determination algorithm. The Holmgren's H algorithm and the SDFAA algorithm were found to be the better scheme than the other approaches to maximize the information contents of the wetness index

Keywords : Wetness Index, Flow Distribution Algorithm, Entropy

요 지

습윤지수는 TOPMODEL, THALES 등의 수문모형에서 유역수문과정을 기술하는 지표로서 사용되며, 습윤지수의 계산방법과 한계성에 대한 많은 연구가 보고되고 있다. 임의유역에 대한 습윤지수 분포함수는 사용되어지는 흐름분배 알고리즘에 의존하게 되므로, 적절한 알고리즘의 선정과 알고리즘간의 비교가 필요하다. 본 연구에서는 엔트로피 개념을 이용하여 수치고도모형내의 정보가 각 흐름분배 알고리즘에 의해 습윤지수 분포함수로 도출되는 과정에서, 각 흐름분배 알고리즘에 따른 정보이동량을 해석하고 실측된 지표도양수분과의 상관성 검토를 통한 기존 흐름분배 알고리즘들의 고찰을 시도하였다. Holmgren의 구배역급수 알고리즘과 SDFAA 알고리즘은 습윤지수의 정보량 최대화를 위해 가장 적절한 알고리즘으로 판명되었다.

핵심용어 : 습윤지수, 흐름분배 알고리즘, 엔트로피

-
- * 부산대학교 청정공학 협동과정 연구조원
Research Assistant, IETI Pusan National Univ., Pusan, 609-735 Korea
 - ** 부산대학교 환경공학과 석사과정
Research Assistant, Dept. of Environmental Engrg. Pusan National Univ., Pusan, 609-735 Korea
 - *** 정희원, 부산대학교 공과대학 환경공학과 부교수
Associate Professor, Dept. of Environmental Engrg. Pusan National Univ., Pusan, 609-735 Korea
 - **** 선임연구원, 한국건설기술연구원
Senior Researcher, KICT, 411-712, Korea

1. 서론

수치고도모형(Digital Elevation Model, DEM)은 TOPMODEL, THALES, AGNPS, DHSVM, TOPOG 등의 수문모형들이 흐름방향과 흐름분배 결정에 이용할 수 있는 지형정보 데이터로서, 수치고도정보를 이용한 흐름분배는 모형의 입력자료생성을 위한 기본과정이 된다. 분포형 모형에서 수치고도모형은 격자화된 지형의 표현으로서 국소경사와 동질화된 분석영역의 크기, 곡률 등의 지형정보를 제공한다. Beven과 Kirkby(1979)는 수치고도모형에서 계산되는 국소경사와 흐름누적면적을 이용하여 유역내 임의지점의 포화정도를 나타내는 지표로서 습윤지수($\ln(a/\tan\beta)$; a :상부사면 기여면적, $\tan\beta$:지형경사)를 사용하였으며, THALES(Grayson 등, 1992a,b), TOPOG(O'Loughlin, 1986; Vertessy 등, 1993), TOPMODEL(Beven과 Kirkby, 1979) 등의 수문모형에서는 습윤지수를 이용한 수문과정의 해석이 이뤄지며, 또한 습윤지수의 산정과 관련한 해상도의 영향(Zhang과 Montgomery, 1994), 동적 습윤지수에 대한 모의(Barling 등, 1994), 정적 습윤지수의 한계성 고찰(Wigmosta와 Lettenmaier, 1999) 등 습윤지수의 계산과정과 응용에 관련한 많은 연구가 이루어지고 있다. 흐름분배 알고리즘은 복잡한 지형곡곡을 따른 흐름분산 특성을 잘 기술하도록 발전되어 왔는데, 이는 단방향 흐름분배 알고리즘(O'Callaghan과 Mark, 1984), DEMON 알고리즘(Costa-Cabral과 Burges, 1994), 다방향 흐름분배 알고리즘(Quinn 등, 1991), 구배역급수 알고리즘(Holmgren, 1994), SDFAA 알고리즘(김상현 등, 2002) 등의 다양한 알고리즘을 유도하였다. 다양한 흐름분배 알고리즘으로 계산된 습윤지수의 분포함수는 모형내 포화지역, 지표면 흐름, 지하수 흐름의 계산을 위한 기본정보일 뿐 아니라, 유역내 모든 지점의 수문과정을 기술해주는 지표이므로 토양수분의 구조성(organization)과 임의성(randomness)(Western 등, 1999)이 혼재하는 유역수문과정의 기술에 적합한 습윤지수 분포함수의 산정은 필수적인 과정이라 할 수 있다.

엔트로피는 습윤지수와 같은 이산 무작위 변량에 의한 정보량의 측정(Shannon과 Weaver, 1949)에 이용될 수 있으며, 최대정보량을 기술해주는 흐름분배 알고리즘의 선정에 활용될 수 있다. 엔트로피를 이용한 연구로는 TOPMODEL 구조내에서 습윤지수 분포함수 추정에 정보이론을 도입한 Mendicino와 Sole(1997)의 연구와, 격자 해상도 변화에 대한 토양도와 토지이용도

의 정보량 분석에 관한 Kuo 등(1999)의 연구, 최적 강우관측망 개수 산출에 대한 유철상과 정광식(2002)의 연구 등의 다양한 결과가 있지만, 기존 흐름분배 알고리즘들의 비교분석에 대한 엔트로피 해석은 검토되지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 다양한 흐름분배 알고리즘들로 계산한 습윤지수를 엔트로피 개념을 이용하여 해석함을 목적으로 한다.

2. 방법론

2.1 기존 흐름분배 알고리즘

흐름분배 알고리즘은 복잡한 지형을 따른 흐름분산 특성의 정확한 표현에 중점을 둔다. 이의 표현을 위해 제일 처음 개발된 알고리즘은 O'Callaghan과 Mark(1984)에 의해 고안된 단방향 흐름분배 알고리즘(Single Flow Direction Algorithm, *sfd*)으로서 수치고도모형의 각 격자에서의 흐름이 주위 8개 격자중에서 가장 경사가 급한 방향의 격자로 형성된다고 가정하는 알고리즘이다. Quinn 등(1991)의 다방향 흐름분배 알고리즘(Multiple Flow Direction Algorithm, *mfd*)은 *sfd* 알고리즘의 단점인 1차원적 흐름경로 표현의 한계를 해결하기 위하여 고도가 낮은 주위격자들로 흐름을 형성시키는 알고리즘이며 식 (1)로 기술된다.

$$f_i = \frac{L_i S_i}{\sum(L_i S_i)} \quad (1)$$

여기서, f_i 는 대상격자에서 i 격자방향으로의 흐름분배율, S_i 는 i 격자지점으로의 지표면 경사, L_i 는 i 격자에 대한 유효등고선 길이로서, 흐름경로를 따른 흐름폭에 해당한다. Holmgren(1994)은 *mfd* 알고리즘의 급경사 지역에 대한 흐름의 과도한 분산현상을 완화하기 위해 구배역급수(Slope Exponent, h)를 사용하여 상부사면 누적 면적의 분할을 수행하였으며 식 (2)로 표현된다(김상현과 이지영, 1999).

$$f_i = \frac{L_i (\tan\beta)^h}{\sum\{L_i (\tan\beta)^h\}} \quad (2)$$

여기서, β 는 하격자로의 흐름방향각, h 는 구배역급수로서 해당유역에 대해 보정되는 값이다. Costa-Cabral과 Burges(1994)의 Digital Elevation Model Network Algorithm(DEMON)은 모든 격자지점의 국

소 경사각에 의해 형성되는 2차원 흐름관을 따른 흐름분배를 수행하며 등고선 정보를 이용하므로 격자 해상도의 영향을 받지 않는다. 또한 *sfd* 알고리즘의 1차원 경로를 따른 흐름분배를 개선시켰으며, 흐름의 시작점을 점원이 아닌 면으로 고려한 방법으로서, 지형굴곡을 따라 흐름관의 확대와 축소를 기술해 줄 수 있는 알고리즘이다. 김상현 등(2002)의 Spatially Distributed Flow Apportioning Algorithm (*SDFAA*)은 Holmgren (1994)의 구배떡급수(*h*)의 개념과 Quinn 등(1995)의 수로형성면적(Channel Initiation Threshold, *CIT*)의 개념을 이용하여 지형을 따른 흐름이 사면에서의 흐름분산 특성이 수로에서의 흐름수렴과정으로 변화하는 흐름 특성을 기술할 수 있도록 구성한 알고리즘이다. 식 (3)은 *SDFAA* 알고리즘의 공간흐름 분배인자($H_{u,b}$)를 가변수로형성면적($A_{ECIT_{u,b}}$)에 따라 각 격자에 할당하는 식이다.

$$\frac{dH_{u,b}}{dA_{ECIT_{u,b}}} = cA_{ECIT_{u,b}}^n \quad (3)$$

여기서, $H_{u,b}$ 는 I, J 격자지점에서 가변수로형성면적에 따라 공간적으로 변화하는 구배떡급수이며, $A_{ECIT_{u,b}}$ 는 I, J 격자지점의 가변수로형성면적으로서 단위격자 크기에서 수로형성면적(*CIT*)크기까지 변화한다. 계수 c 는 경계조건으로 구할 수 있고, 지수 n 은 해당 유역에서 최적화 되어야 하는 매개변수이다(김상현 등, 2002). 식 (3)에서 구한 $H_{u,b}$ 를 이용한 i 격자방향으로의 흐름분배율은 식 (4)로서 기술된다.

$$f_i = \frac{L_i(\tan \beta)^{H_{u,b}}}{\sum \{L_i(\tan \beta)^{H_{u,b}}\}} \quad (4)$$

2.2 엔트로피를 이용한 습윤지수 분포함수의 불확실성 해석

흐름분배 알고리즘에 의해 결정되는 유역의 습윤지수가 특정모집단을 가지며, 각 흐름분배 알고리즘에 의해 기술되는 습윤지수의 분포가 모집단에 대한 하나의 추정치들이라고 하면, 습윤지수가 가질수 있는 임의의 분포형에 대한 정보가 없는 경우 엔트로피($H(x)$)를 이용한 불확실성의 정량적 평가는 다음과 같다(Kottogoda와 Rosso, 1996).

$$H(x) = - \sum_{i=a}^b p_X(x_i) \ln p_X(x_i) \quad (5)$$

$$\sum_{i=a}^b p_X(x_i) = 1 \quad (6)$$

식 (5)는 이산무작위변량 X 의 확률(p_X)분포가 가지는 엔트로피($H(x)$)량으로서, 이는 X 가 가지고 있는 불확실성, 또는 정보량을 의미한다(Shannon과 Weaver, 1949). a, b 는 X 의 하한과 상한을 의미한다. 식 (5)와 식 (6)을 Lagrangian 함수($L(p, \lambda)$)의 형태로 표현하면 식 (7)로 표현된다. 식 (7)에서 λ 는 Lagrangian multiplier이며 $L(p, \lambda)$ 를 최대화 하는 확률분포함수가 최대정보량을 가지게 되며 이는 $dL(p, \lambda) / dp = 0$ 를 만족하는 것으로서 식 (8)로 기술된다.

$$L(p, \lambda) = - \sum_{i=a}^b p_X(x_i) \ln p_X(x_i) + \lambda \left(\sum_{i=a}^b p_X(x_i) - 1 \right) \quad (7)$$

$$p_X(x) = \exp(-1 + \lambda) \quad (8)$$

식 (8)을 식 (6)에 적용하면 식 (9)로서 표현되는 확률분포함수를 구할 수 있으며, 식 (10)은 식 (9)로서 구한 정보량을 나타낸다. 식 (10)은 습윤지수의 분포범위($b-a$)가 넓어질수록 정보량이 커짐을 의미하며, 이를 만족하는 습윤지수분포를 산출해 주는 흐름분배 알고리즘을 최적 알고리즘으로 표현하고 있다.

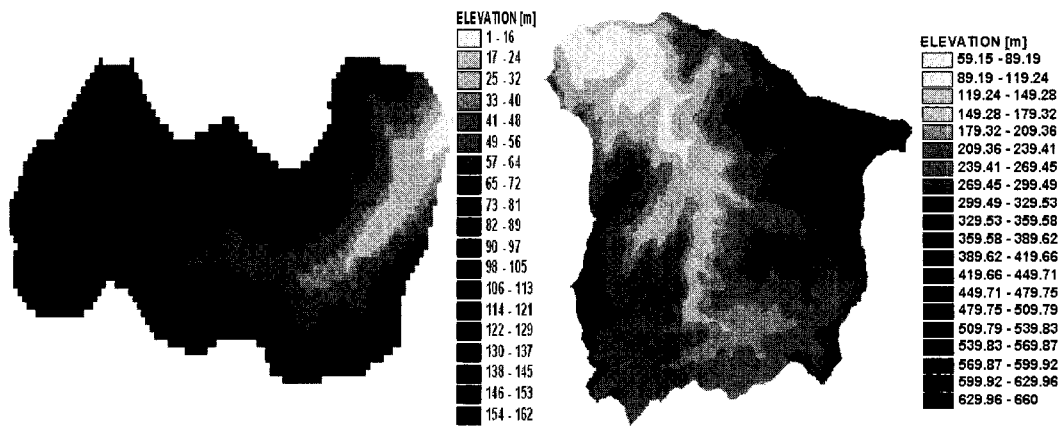
$$p_X(x) = \frac{1}{b-a} \quad (9)$$

$$H(x) = \ln(b-a) \quad (10)$$

식 (9)는 균등분포(Uniform Distribution)가 최대 정보량을 가지는 확률분포함수임을 나타내며, 습윤지수의 분포가 균등분포이면 식 (5)와 식 (10)의 계산결과가 동일해야 함을 의미한다. 그러나, 실제 습윤지수의 분포형을 알지 못하므로, 식 (5)와 식 (10)의 계산 결과는 다르게 산출될 것이며, 최대한 균등분포에 접근하려는 분포형을 도출할 것으로 기대된다. 이는 구조성과 임의성이 동시에 존재하는 유역내에서 임의성을 최대한 반영하는 형태로 습윤지수 분포를 기술함으로 예상되는 결과라 판단한다(Western 등, 1999).

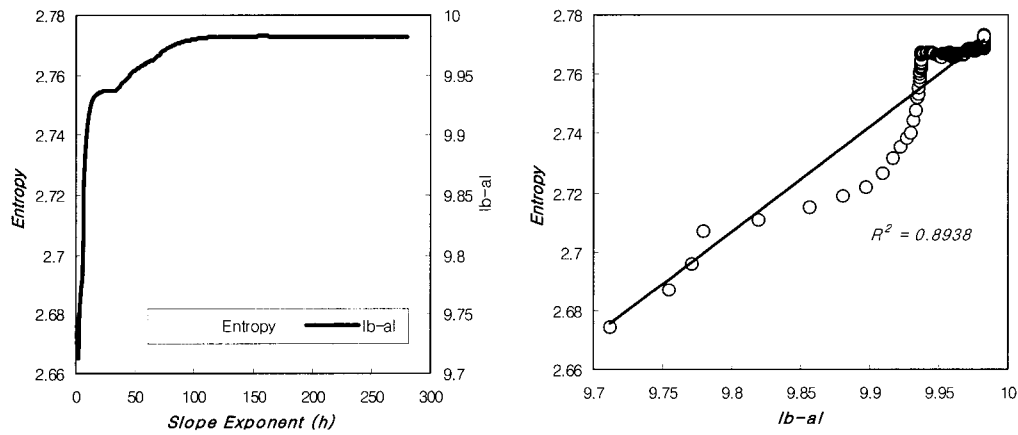
3. 대상유역

본 연구의 대상이 되는 유역은 강원도 삼척시 원덕읍 월천리로 0.286km²의 유역면적에 1%에서 87%의 경사



(a) 월천리 지역의 수치고도모형 (b) 설마천 지역의 수치고도모형

그림 1. 월천리 지역(a)과 설마천 지역(b)의 수치고도모형

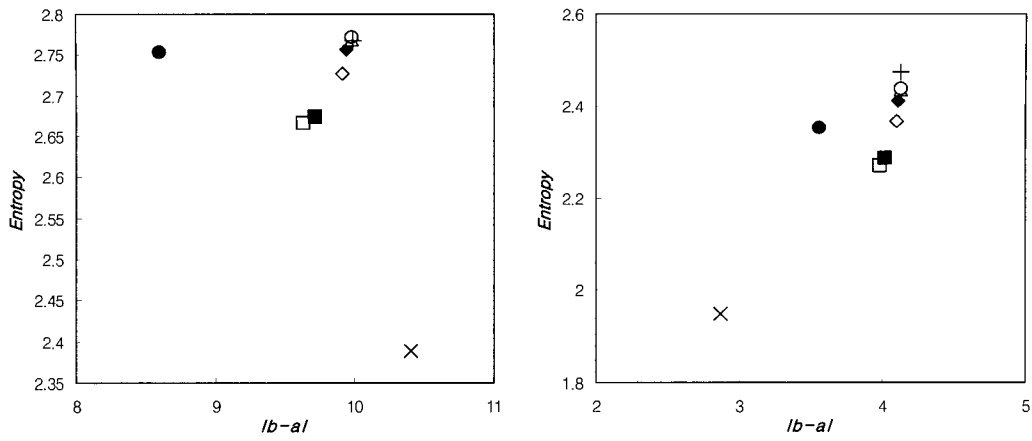


(a) 구배역급수(h) 변화에 따른 $|b-a|$ 와 Entropy의 분포 (b) 구배역급수(h) 변화에 따른 $|b-a|$ 와 Entropy의 상관도

그림 2. 구배역급수(h) 변화에 따른 엔트로피와 $|b-a|$ 의 분석 (월천리 지역)

표 1. 각 흐름알고리즘들로 구한 습윤지수의 엔트로피와 분포범위 (월천리 지역)

흐름 알고리즘	엔트로피	$ b-a $
<i>mfd</i>	2.66713	9.63032
h	2	9.71213
	10	9.90896
	20	9.93578
	100	9.98027
	280	9.98232
<i>sfd</i>	2.75397	8.59341
DEMON	2.38809	10.40000
<i>SDFAA</i> ($n = -50, H_{\max} = 250$)	2.76750	9.98467



(a) 전체유역면적 (b) 수로형성가능지역 제외한 유역면적

그림 3. 각 흐름분배알고리즘들로 구한 습윤지수의 엔트로피와 분포범위 (월천리 유역)
 \square mfd; \blacksquare $h=2$; \diamond $h=10$; \blacklozenge $h=20$; \triangle $h=100$; \circ $h=280$; \bullet sfd; \times DEMON;
 $+ SDFAA(n=-50, H_{max}=250)$

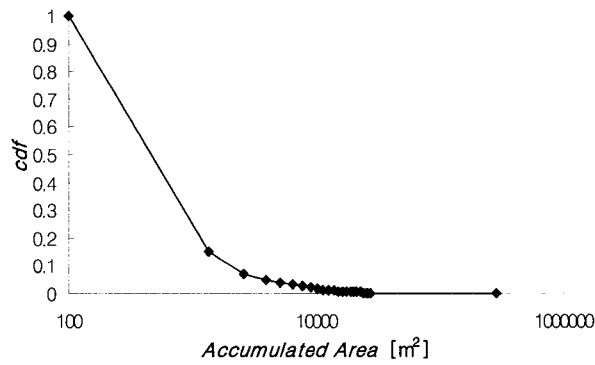


그림 4. 흐름누적면적의 누적분포함수(cdf) (월천리 유역)

표 2. 수로형성가능지역을 제외한 각 흐름알고리즘들로 구한 습윤지수의 엔트로피와 분포범위(월천리 유역)

흐름 알고리즘	엔트로피	$ b-a $
mfd	2.269086	3.98496
h	2	4.01882
	10	4.10026
	20	4.11135
	100	4.12977
	280	4.13061
sfd	2.352888	3.55590
DEMON	1.947827	2.86897
$SDFAA(n=-50, H_{max}=250)$	2.474774	4.13159

도를 가지고 있는 산지유역이다. 연평균 기온은 연최고 24.6°C 연최저 -4.7°C이며, 연평균 1,100 mm의 강우량을 기록하는 월천리 유역은 유역의 출구가 해안과 접해있고, 사면유출흐름의 발달에 대한 관찰과 모의가 용이한 밀폐유역이다. 전체유역의 대부분이 2,000년 4월 화재로 식생이 소멸되었고 토양층도 균일하여 흐름이 지형에만 의존하게 되는 이상적인 사면유출 연구대상 유역이다. 대상유역의 수치고도모형은 한국지리원의 1:5,000 지형도에서 등고선을 디지털화(Digitizing)함으로써 확보될 수 있었고, 공간보간과 격자지형정보전환을 통해 10 m 해상도의 수치고도 분포도를 구축하였다. 본 연구의 다른 대상유역으로써 95년부터 한국건설기술연구원 시험유역으로 운영하고 있는 임진강 하구에서 약 46 km 상류의 경기도 파주시 적성면 마지리와 설마리의 설마천 유역을 선정했다. 위치는 동경 126° 55' 54" ~ 126° 54' 57", 북위 37° 54' 57" ~ 37° 56' 23" 이고, 유역면적 8.5 km², 유로연장 5.8 km, 연평균 강수량은 1,600 mm, 고도는 최저 59 m에서 최고 675 m, 유로경사 2%인 전형적인 급경사 산지 사행하천 지형이며 전형적인 곡류하천이다. 지질은 경기편암 복합체로 구성되고 단층과 엽리가 잘 발달되어 있다(한국건설기술연구원, 1998). 그림 1은 대상유역의 수치고도모형을 나타낸다.

4. 결과 및 고찰

그림 2는 구배역급수(h)에 따른 엔트로피의 경향성을 기술하고 있다. 엔트로피와 $|b-a|$ 는 절대도 0.8938의 양의 상관관계를 가지며, 이는 식 (5)와 식 (10)에 의해 구배역급수 알고리즘에 의한 습윤지수의 분포함수가 균등분포에 근접함을 알 수 있다.

표 1은 각 흐름 알고리즘에서 계산한 엔트로피와 $|b-a|$ 를 나타내며 그림 3으로 표현된다.

그림 2에서 고찰한대로, 표 1과 그림 3에서 구배역급수(h)의 증가에 따라 습윤지수의 엔트로피와 분포범위가 증가함을 알 수 있다. 큰 h 값은 sfd 적 흐름을 유도하는데, 실제 sfd 알고리즘에서는 h 알고리즘에 비해 엔트로피가 적게 산출되었으며, 또한 DEMON 알고리즘에서는 작은 엔트로피에 큰 분포범위를 가지고 있다. 이것은 유역내 혼재하는 임의성과 구조성(Western 등, 1999)중에서 수로에 집중적으로 분포하는 구조적 특성에 따라 유역 흐름분배의 불확실성의 증가를 방해함으로 판단되며, 이에 따라 수로가 형성가능한, 즉, 구

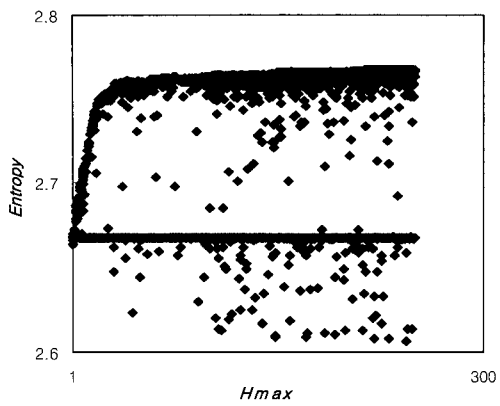
조적인 유역성분을 제외하고 분석해 보겠다.

그림 4는 mfd 로 구한 흐름누적면적의 분포를 나타내며, 전체유역의 약 15%가 흐름의 구조성이 강하게 형성될 수 있는, 즉, 흐름면적이 집중되어 수로가 발달가능한 지역으로 표현되고 있다. 이를 고려하여 표 1과 그림 3의 결과에서 습윤지수의 최대 15% 범위를 제외하고 분석하면 표 2로 기술되며 그림 3(b)에 도시하였다.

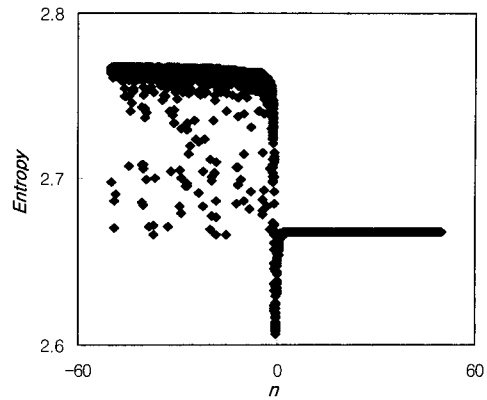
그림 3(b)는 그림 3(a)에 비해 sfd 알고리즘을 제외하고 엔트로피와 분포범위가 비례하는 결과를 나타낸다. 이는 수로지역에 대해서는 임의적인 특성보다 구조적인 흐름특성이 지배적이라고 판단할 수 있으며, 사면지역을 따른 흐름에 대한 최대 엔트로피 분석을 통한 흐름 알고리즘의 도출이 바람직함을 의미할 수 있다. $h=\infty$ 로 고려할 수 있는 sfd 알고리즘에서 엔트로피가 적게 산출되는 것은, 흐름을 단방향으로 고려함으로 인하여 사면을 따른 확산특성을 방해하고, 구조적인 흐름면적 분포를 형성함으로 인해 오히려 불확실성이 줄었다고 고려할 수 있겠다. 또한 DEMON 흐름알고리즘에서 사면을 따른 흐름이 보다 작게 산출됨은 지형경사를 따른 기상 흐름망을 형성함으로 인해서 sfd 에 비해 더욱 구조적인 사면 흐름특성을 유도한다고 볼 수 있다. 이는, sfd 와 DEMON 흐름알고리즘이 mfd 나 구배역급수(h) 알고리즘에 비해 국소적 지형곡곡을 따른 흐름경로를 최대한 고려해주는, 즉 이류(advection)의 영향력을 강하게 반영한 흐름 알고리즘으로서, mfd 나 구배역급수(h)에서 고려해주는 다양한 지형을 따른 흐름확산과 분배를 고려해 주지 않고 있으므로, 물리적인 의미를 지니지 못하는 결과를 도출함으로서, 자연현상의 임의성을 반영하지 못한 결과라 할 수 있다. 이는 수로에서는 구조적인 특성, 사면에서는 임의적인 특성이 지배적이라고 한 Western 등(1999)의 결과와도 배치된다.

h 의 증가에 따라 sfd 적 흐름을 유도하는 구배역급수(h) 알고리즘에 대한 그림 (2)의 분석에서, 엔트로피가 증가하는 것은 사면에서의 흐름특성이 이류지배적이지만 sfd 와 비교시 완전히류지배적으로 해석하는 것은 바람직하지 않으며, 확산과 다방향 흐름에 따른 분배를 고려해 주는 것이 바람직하다고 판단한다.

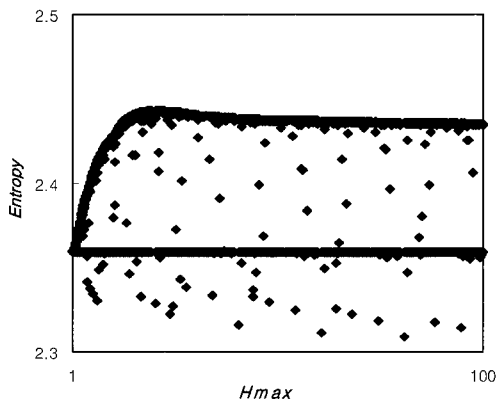
sfd , mfd , 구배역급수(h) 알고리즘은 유역내 흐름 특성을 한가지로 기술하지만, SDFAA 알고리즘은 사면에서의 흐름분산 특성과 수로에서의 구조적 흐름특성을 매개변수 n , H_{max} 로서 제어하여 사면에서 계곡으로 점진적으로 변화하는 흐름특성을 기술할 수 있다.



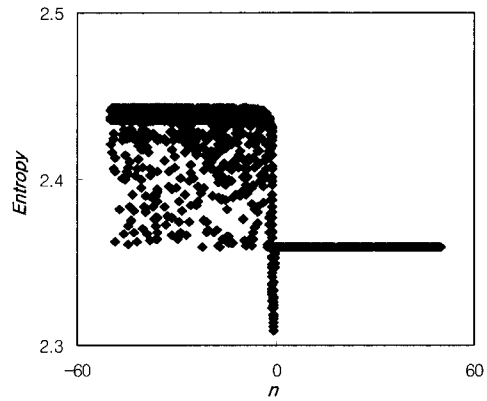
(a) H_{\max} 와 엔트로피 공간 (월천리 구역)



(b) n 과 엔트로피 공간 (월천리 구역)



(c) H_{\max} 와 엔트로피 공간 (설마천 구역)



(d) n 과 엔트로피 공간 (설마천 구역)

그림 5. *SDFAA* 흐름분배 알고리즘의 매개변수 H_{\max} 와 n 에 따른 엔트로피 공간

표 3. 각 흐름알고리즘들로 구한 습윤지수 누적분포함수의 단순선형 회귀분석에 의한 상관도 (월천리 구역)

흐름 알고리즘들	R^2 (전체유역면적)	R^2 (수로형성가능지역 제외한 유역면적)
<i>mfd</i>	0.7955	0.9398
h	2	0.7906
	10	0.7852
	20	0.7860
	100	0.7822
	280	0.7827
<i>sfd</i>	0.7966	0.9688
DEMON	0.6321	0.9511
<i>SDFAA</i> ($n = -50, H_{\max} = 250$)	0.7818	0.9837

표 1과 2, 그림 3에서 *SDFAA* 알고리즘이 다른 알고리즘에 비해 사면에 지배적인 임의성의 기술에 용이함을 알 수 있다.

그림 5는 10,000번의 수치모의를 통한 *SDFAA* 알고리즘의 매개변수(n, H_{max})의 변화에 대한 엔트로피의 변화성을 기술하고 있다. n 과 H_{max} 의 증가는 사면지역에서의 *sfd*적 흐름을 유도한다. 그림 5에서 H_{max} 의 증가는 n 과의 조합으로 넓은 엔트로피의 분포범위와 큰 최대 엔트로피를 기술할 수 있으며, 이는 유역내 흐름특성이 *sfd*화 될 때 엔트로피의 증가를 기술하는 구배역급수(h) 알고리즘에서의 결과와 동일하다. 그림 5(a)와 (b)의 엔트로피의 상한 수렴영역은 작은 n (*sfd*적 흐름)과 큰 H_{max} (*sfd*적 흐름)로서 기술될 수 있는 *SDFAA* 알고리즘의 모의능력을 의미하며, 양의 n (*mfd*적 흐름)값은 또 다른 수렴영역을 형성시킨다. 두 개의 수렴영역은 *SDFAA*로서 기술할 수 있는 한 유역에 대한 두 개의 수문과정의 표현이라고 판단된다. $n=0$ 에서 엔트로피의 전체영역이 표현되고 있다. 이는 식 (3)에서 공간흐름분배인자($H(I, J)$)가 흐름누적면적에 선형적으로 비례하는 경우로서 흐름의 상태가 *mfd*와 *sfd*적 흐름의 전이상태임을 의미하며, 이 경우 유역내 흐름특성의 구조성과 임의성은 H_{max} 로서 기술할 수 있음을 알 수 있다.

사면에서의 지형을 따른 다양한 흐름분산 특성을 수로로 갈수록 일방향 흐름으로 기술할 수 있는, 즉, 흐름의 구조성과 임의성을 기술할 수 있는 *SDFAA* 알고리즘은 다른 알고리즘들에 비해 최대엔트로피가 큰 흐름분배 알고리즘을 도출함을 알 수 있지만, 실제 자연상태의 흐름분산특성과 *SDFAA* 알고리즘, 기타 알고리즘들에 의해 기술된 결과와의 상관성에 대한 검토는 향후과제로 판단된다.

습윤지수의 분포가 균등분포에 접근하려 한다면, 습윤지수의 누적분포함수는 선형화 될 것이며, 이는 표 3의 단순선형 회귀분석을 통한 상관도로서 평가할 수 있다. *SDFAA* 알고리즘과 큰 h 값에 대한 구배역급수(h) 알고리즘의 선형성이 다른 알고리즘의 경우에 비해 우수하지만 전체적으로 비슷한 선형성을 표현하고 있는데, 이는 습윤지수의 공간분포가 어떠한 흐름분배 알고리즘의 경우에서도 균등분포에 접근하려 함을 의미한다고 판단한다.

5. 결 론

본 연구는 엔트로피의 개념을 이용하여 흐름분배 알고리즘들에 의해 계산된 습윤지수 분포함수들의 해석을 시도한 것으로서, 본 연구로 도출할 수 있는 결론은 다음과 같다.

1. 구조성과 임의성이 혼재한 유역을 구조성만으로 기술하는 단방향 흐름알고리즘과 *DEMON* 알고리즘은 다른 알고리즘에 비해 수치고도모형에서 습윤지수 분포함수로의 낮은 정보전달을 나타내었다.
2. 구배역급수 알고리즘과 *SDFAA* 알고리즘은 적절한 매개변수의 선정으로 습윤지수 분포함수가 가지는 정보량을 증대시킬 수 있었다.
3. 수로형성가능지역은 유역의 임의성 해석시 제외하는 것이 바람직하며, 습윤지수 분포함수는 균등분포에 접근함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 김상현, 이지영 (1999) “개선된 지형지수 산정 알고리즘의 적용에 관한 연구.” 한국수자원학회 논문집, 제32권 4호, pp. 489-499.
- 김상현, 이학수, 강창용, 김남원 (2002) “자연하천 형상을 이용한 최적 흐름분배 알고리즘의 개발.” 한국수자원학회 논문집, 제35권 4호, pp. 345-358.
- 유철상, 정광식 (2002) “엔트로피 이론을 이용한 강우관측망 평가; 혼합분포와 연속분포의 적용 비교.” 한국수자원학회 학술발표회, pp. 1257-1261.
- 한국건설기술연구원, (1998) “시험유역의 운영 및 수문 특성 조사·연구”, 연구보고서, 건기연 98-077.
- Barling, R.D., Moore, I.D., and Grayson, R.B. (1994). “A quasi-dynamic wetness index for characterizing the spatial distribution of zones of surface saturation and soil water content.” *Water Resour. Res.*, Vol. 30, No. 4, pp. 1029-1044.
- Beven, K.J., and Kirkby, M.J. (1979). “A physically-based variable contributing area model of basin hydrology.” *Hydrol. Sci. Bull.*, Vol. 24, pp. 43-69.
- Costa-Cabral, M.C., and Burges, S.J. (1994). “Digital elevation model networks (*DEMON*): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas.” *Water Resour. Res.*,

- Vol. 30, pp. 1681-1692.
- Grayson, R.B., Moore, I.D., and McMahon, T.A. (1992a). "Physically based hydrologic modeling, I. A terrain-based model for investigative purposes." *Water Resour. Res.*, Vol. 26, pp. 2639-2658.
- Grayson, R.B., Moore, I.D., and McMahon, T.A. (1992b). "Physically based hydrologic modeling, II. Is the concept realistic?" *Water Resour. Res.*, Vol. 26, pp. 2659-2666.
- Holmgren, P. (1994). "Multiple flow direction algorithms for runoff modeling in grid based elevation models and empirical elevation." *Hydrol. Process.*, vol. 8, pp. 327-334.
- Kottegoda, N.T., and Rosso R. (1996). *Statistics, Probability, and Reliability for Civil and Environmental Engineers*, McGraw-Hill, pp. 115-116.
- Kuo, W., Steenhuis, T.S., McCulloch, C.E., Mohler, C.L., Weinstein, D.A., DeGloria, S.D., and Swaney, D.P. (1999). "Effect of grid size on runoff and soil moisture for a variable-source-area hydrology model." *Water Resour. Res.*, Vol. 35, pp. 3419-3428.
- Mendicino, G., and Sole A. (1997). "The information content theory for the estimation of the topographic index distribution used in TOPMODEL." *Hydrol. Process.*, vol. II, pp. 1099-1114.
- O'Callaghan, J.F., and Mark, D.M. (1984). "The extraction of drainage networks from digital elevation data." *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, Vol. 28, pp. 323-344.
- O'Loughlin, E.M. (1986). "Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis." *Water Resour. Res.*, Vol. 22, pp. 794-804.
- Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., and Planchon O. (1991). "The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models." *Hydrol. Process.*, vol. 5, pp. 59-79.
- Quinn, P.F., Beven, K., and Lamb R. (1995). "The $\ln(a/\tan\beta)$ index : How to calculate it and how to use it within the TOPMODEL framework." *Hydrol. Process.*, vol. 9, pp. 161-182.
- Shannon, C.E., and Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*, The University of Illinois Press, Urbana, pp. 117.
- Vertessy, R.A., Hatton, T.J., O'Shaughnessy, P.J., and Jayasuriya, M.D.A. (1993). "Predicting water yield from a mountain ash forest catchment using a terrain analysis based catchment model." *J. Hydrol.*, Vol. 150, pp. 665-700.
- Western, A.W., Grayson, R.B., Blöschl, G., Willgoose, G.R., and McMahon, T.A. (1999). "Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices." *Water Resour. Res.*, Vol. 35, No. 3, pp. 797-810.
- Wigmosta, M.S., and Lettenmaier, D.P. (1999). "A comparison of simplified methods for routing topographically driven subsurface flow." *Water Resour. Res.*, Vol. 35, No. 1, pp. 255-264.
- Zhang, W. and Montgomery, D.R. (1994). "Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations." *Water Resour. Res.*, vol. 30, pp. 1019-1028.

(논문번호:02-56/접수:2002.08.20/심사완료:2003.03.14)