

# 정보엔트로피 개념에 의한 하천 지형특성인자의 산정

전 민 우\*<sup>+</sup> / 이 대 규\*\*

## Estimation of Stream Geomorphological Characteristics Based on the Informational Entropy

Min Woo Jeon\*<sup>+</sup> / Dae Gyu Lee\*\*

**요약** : 본 연구는 하천중단면에 정보엔트로피이론을 적용하여 평균하천경사, 하천경사 및 하천중단고도 결정방법을 제시하였다. 최대화된 엔트로피는 제약조건하에서 일정한 하천중단면의 확률분포를 만들며, 이와 같은 관계를 이용하여 평균하천경사, 하천경사 및 하천중단고도 산정식을 유도하였다. 충북 지방하천 정비기본계획에서 얻은 달천유역의 실측된 지형학적 인자를 사용하여 매개변수를 최소자승법으로 결정하였다. 유도된 평균하천경사와 하천중단고도식을 실제유역에 적용하였으며, 실측치와 잘 일치함을 나타낸다. 본 연구의 결과로부터 평균하천경사와 하천중단고도의 결정에 직접 적용할수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 정보엔트로피, 평균하천경사, 하천중단고도

**Abstract** : This study determines the stream mean slope, stream slope and longitudinal stream profile based on the concept of informational entropy. Maximizing the entropy will make the probability distribution of longitudinal stream profile as uniform as possible while satisfying the constraints. Using this relationships the mean stream slope, stream slope and longitudinal stream profile formulas were derived. The parameters of the applied streams were estimated by the least square method using the geomorphological factors of Dalchon stream basin obtained from Chungcheong Buk-Do local stream consolidation scheme drawings. The comparative investigation was performed between the observed and simulated mean stream slope and longitudinal stream profile, and are in good agreement with the measured data. It is noted that this results can be used in the estimation of stream mean slope and longitudinal stream profile.

**Keywords** : Informatonal entropy, Mean stream slope, Longitudinal stream profile

### 1. 서 론

직선 축적수로 단면의 형상설계를 위한 새로운 접근방법으로 엔트로피(entropy)와 확률의 개념이 발전되어 왔으며, 축적수로의 하상 중단면고도는 최대 엔트로피법칙에 의해 유도될 수 있다. 서로 다른 사용목적에 따라 정의된 수많은 엔트로피개념은 1970년 Wilson에 의해 과학적인 학문으로 연구되었으며, 열역학 이론에 기본을 두고 있는 엔트로피개념은 열역학의 제2법칙에 기초한

열역학 엔트로피, 통계학적 엔트로피, 정보 엔트로피와 같은 세 가지 형태로 정리될 수 있다.

열역학 엔트로피와 통계학적 엔트로피는 물리적 엔트로피에 포함되며, 물리적 엔트로피는 시스템의 특성을 객관적으로 정량화를 할 수 있는 반면에 정보 엔트로피는 정보의 사용을 최대화하여 모형을 구축하는 주관적인 개념의 엔트로피이다. 이러한 물리적 엔트로피와 정보 엔트로피의 구분은 엔트로피의 주제가 수문학 발전과 수자원 이용 측면으로 구별될 수 있다.

+ Corresponding author : minwoo@chungbuk.ac.kr

\* 정희원 · 충북대학교 토목공학부 교수

\*\* 비희원 · 충북대학교 대학원 졸업

Leopold와 Langbein(1962)은 하천의 거동을 연구하기 위하여 물리적 엔트로피개념을 처음 적용하였으며, Yang(1971)은 하천에 대하여 물리적 엔트로피개념을 도입하여 최소 에너지를 소비하는 하천 평균고도법칙을 유도하였다. Singh와 Fiorentino(1992)의 정보 엔트로피개념을 수자원과 수문학의 문제에 광범위하게 적용하였으며, Chapman(1986)은 수문자료의 불확실성에 대한 정량적인 분석을 위하여 정보 엔트로피 개념을 사용하였다. Fiorentino 등(1993)은 하천수계에 대하여 정보 엔트로피와 유역 평균고도사이의 관계를 규명함으로써 하천종단면을 구하여 실측자료와 비교하였고, Claps 등(1996)은 정보 엔트로피개념에 의하여 하천수계의 프랙탈차원을 유도하는 과정에서 Horton의 하천 차수법칙을 적용하였다.

하천 평균경사 결정방법에는 일반적으로 단순경사법, 등면적경사법, 등가경사법 그리고 유역 평균경사는 등고선면적법, 교점법, 측고적분법등에 의하여 결정되고 있으나, 각 방법은 상당한 차이를 보이고 있다(윤용남, 2007). 본 연구에서는 하천종단면에 정보 엔트로피이론을 적용하여 하천 평균경사, 하천경사 및 하천 종단고도 산정식을 이론적으로 유도하였다. 이로부터 발생하는 매개변수의 특성을 파악하였으며 실제하천의 실측자료로부터 최소자승법으로 매개변수를 결정하였다. 제시된 하천 종단고도와 평균 하천경사식을 달천 유역내 7개 하천에 적용하였으며 실측치와 비교 검토하여 적용 가능성을 확인하는데 목적이 있다.

## 2. 정보 엔트로피 이론

수리학적 변수의 확률분포 함수는 특정의 방법으로 변수의 엔트로피를 최대화시킴으로써 결정할 수 있으며, 물리적인 관점에서 볼 때 하천종단면의 최대화된 엔트로피는 제약조건하에서 일정한 하천종단면의 확률분포를 만든다. 따라서, 임의의 하천 종단면과 이에 상응하는 엔트로피의 확률법칙은 일반적으로 제약조건에 달려있으며, 엔트로피에 근거한 접근방법의 가장 중요한 점은 주어진

문제에 대해 어떻게 제약을 할 것인지를 결정하는 것이다.

연속적인 상태변량  $x$ 에 대한 확률밀도 함수를  $P(x)$ 라 하면 엔트로피  $H$ 는 식 (1)과 같이 정량적으로 표현된다.

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} P(x) \cdot \ln P(x) \cdot dx \quad (1)$$

식 (1)로 정의된 엔트로피  $H$ 는 상태변량  $x$ 의 불확실성 또는 임의성을 나타내며,  $P(x) \cdot dx$ 는 상태변량  $x$ 와  $x+dx$ 사이의 확률을 나타낸다. 제약조건식으로서는 상태변량  $x$ 의 평균치를 나타내는 식 (2)와 확률밀도 함수의 적분을 나타내는 식 (3)이 사용된다.

$$\bar{x} = \int_{-\infty}^{\infty} S \cdot P(x) \cdot dx \quad (2)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} P(x) \cdot dx = 1 \quad (3)$$

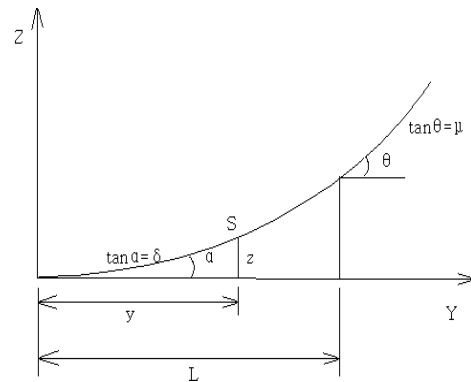


그림 1. 하천종단면도

그림 1은 하천의 종단면도를 나타내며, 초기점으로부터 임의의 수평거리  $y$ 에서의 고도를  $z$ 라고 하천경사를  $S$ 라 한다. 이때 초기점의 경사는  $\tan \alpha = \delta$ 이며 종점  $L$ 에서의 경사는  $\tan \theta = \mu$ 이다. 하천유역을 하천경사  $S$ 인 시스템으로 생각하고 시스템의 상태변수  $x$ 를 하천경사  $S$ 로 정의하

면 유역의 엔트로피는 확률로써 정의할수 있다. P(S)를 하천경사 S인 유역의 확률밀도 함수라 하면 하천유역의 엔트로피 H는 식 (4)와 같다.

$$H = - \int_{\delta}^{\mu} P(S) \cdot \ln P(S) \cdot dS \quad (4)$$

첫 번째 제약조건식으로는 식 (2)의 상태 변량 x 대신 하천경사 S를 사용하여 나타낸 식 (5)이며 두 번째 제약조건식은 일반 확률의 정의를 사용한 식 (6)이다. 엔트로피를 최대화함으로써 하천경사 S에 대한 확률밀도 함수 P(S)를 구할수 있으며, P(S)·d(S)는 상태변량 S의 확률로써 식 (6)과 같다.

$$\bar{S} = \int_{\delta}^{\mu} S \cdot P(S) \cdot dS \quad (5)$$

$$\int_{\delta}^{\mu} P(S) \cdot dS = 1 \quad (6)$$

제약조건식 (5)와 (6)에 미정계수법(method of undetermined coefficients)을 이용하면 정보의 합 I는 식 (7)과 같이 나타나며, I를 최대화하는 확률밀도 함수 P(S)는 식 (8)의 미분방정식을 풀어서 구할수 있다.

$$\int_{\delta}^{\mu} P(S) \cdot dS + \int_{\delta}^{\mu} S \cdot P(S) \cdot dS - \int_{\delta}^{\mu} P(S) \cdot \ln P(S) \cdot dS = I \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial P} (-P \ln P + \lambda \cdot S \cdot P + \lambda_1 \cdot P) = 0 \quad (8)$$

여기서,  $\lambda$  와  $\lambda_1$ 는 Lagrange 승수(multiplier)이다. 식 (8)을 확률 P로써 미분하면 식 (9)와 같이 나타낼수 있으며, 확률밀도함수 P(S)는 식 (10)과 같다.

$$-1 - \ln P + \lambda \cdot S + \lambda_1 = 0 \quad (9)$$

$$P(S) = e^{\lambda_1 + \lambda S - 1} \quad (10)$$

$\lambda_1$ 을 구하기 위해 식 (10)의 확률밀도함수 P(S)를 제약조건식 (6)에 대입하면 식 (11)이 되며, 따라서, Lagrange 승수  $\lambda_1$ 은 식 (12)와 같이 결정된다.

$$\int_{\delta}^{\mu} P(S) \cdot dS = \int_{\delta}^{\mu} S \cdot e^{\lambda_1 + \lambda S - 1} \cdot dS = \frac{e^{\lambda_1 - 1}}{\lambda} \cdot (e^{\lambda \mu} - e^{\lambda \delta}) = 1 \quad (11)$$

$$e^{\lambda_1 - 1} = \frac{\lambda}{e^{\lambda \mu} - e^{\lambda \delta}} \quad (12)$$

식 (10)의 확률밀도함수 P(S)에  $\lambda_1$ 을 소거하기 위하여 식 (12)의  $\lambda_1$ 을 대입하면 확률밀도함수 P(S)는 식 (13)과 같다.

$$P(S) = e^{\lambda_1 + \lambda S - 1} = \frac{\lambda}{e^{\lambda \mu} - e^{\lambda \delta}} \cdot e^{\lambda S} \quad (13)$$

## 2.1 하천 평균경사

식 (5)의 하천 평균경사  $\bar{S}$  에 식 (10)의 확률밀도함수 P(S)를 대입하면 식 (14)와 같다.

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \int_{\delta}^{\mu} S \cdot e^{\lambda_1 + \lambda S - 1} \cdot dS \\ &= e^{\lambda_1 - 1} \int_{\delta}^{\mu} S \cdot e^{\lambda S} dS \end{aligned} \quad (14)$$

계산상의 편의를 위하여 식 (14)의  $\int_{\delta}^{\mu} S \cdot e^{\lambda S} dS$  를 적분하여 정리하면 식 (15)와 같다.

$$\begin{aligned} \int_{\delta}^{\mu} S \cdot e^{\lambda S} dS &= \left[ S \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot e^{\lambda S} \right]_{\delta}^{\mu} - \int_{\delta}^{\mu} \frac{1}{\lambda} \cdot e^{\lambda S} dS \\ &= \frac{\mu}{\lambda} \cdot e^{\lambda \mu} - \frac{\delta}{\lambda} \cdot e^{\lambda \delta} - \frac{1}{\lambda^2} \cdot e^{\lambda \mu} + \frac{1}{\lambda^2} \cdot e^{\lambda \delta} \end{aligned} \quad (15)$$

식 (14)에 식(15)를 대입하면 하천평균경사  $\bar{S}$ 는 식 (16)으로 나타낼 수 있으며, 식 (16)에 식 (12)의  $\lambda_1$ 을 대입하면 식 (17)과 같다.

$$\bar{S} = e^{\lambda_1 - 1} \left( \frac{\mu}{\lambda} e^{\lambda\mu} - \frac{\delta}{\lambda} e^{\lambda\delta} - \frac{1}{\lambda^2} e^{\lambda\mu} + \frac{1}{\lambda^2} e^{\lambda\delta} \right) \quad (16)$$

$$\bar{S} = \frac{\lambda}{e^{\lambda\mu} - e^{\lambda\delta}} \left( \frac{\mu}{\lambda} e^{\lambda\mu} - \frac{\delta}{\lambda} e^{\lambda\delta} - \frac{1}{\lambda^2} e^{\lambda\mu} + \frac{1}{\lambda^2} e^{\lambda\delta} \right) \quad (17)$$

식 (17)의 우변항을 정리하면  $\lambda_1$ 을 소거한 하천평균경사  $\bar{S}$ 는 식 (18)과 같다.

$$\bar{S} = \frac{1}{e^{\lambda\mu} - e^{\lambda\delta}} \left[ e^{\lambda\mu} \left( \mu - \frac{1}{\lambda} \right) - e^{\lambda\delta} \left( \delta - \frac{1}{\lambda} \right) \right]$$

$$= \frac{\mu - \frac{1}{\lambda}}{1 - e^{\lambda(\delta - \mu)}} + \frac{\delta - \frac{1}{\lambda}}{1 - e^{\lambda(\mu - \delta)}} \quad (18)$$

식 (18)의 하천 평균경사  $\bar{S}$ 는 초기점의 경사  $\delta$ , 종점의 경사  $\mu$ , Lagrange승수  $\lambda$ 에 의해 결정되며 하천평균경사  $\bar{S}$ 의 분석을 위하여  $\mu = 0.5$  일 때  $\delta$ 와  $\bar{S}$ 의 관계를 나타내면 그림 2와 같다.  $\lambda$ 값이 커질수록  $\bar{S}$ 는  $\delta$ 의 영향을 받지 않으며,  $\lambda$

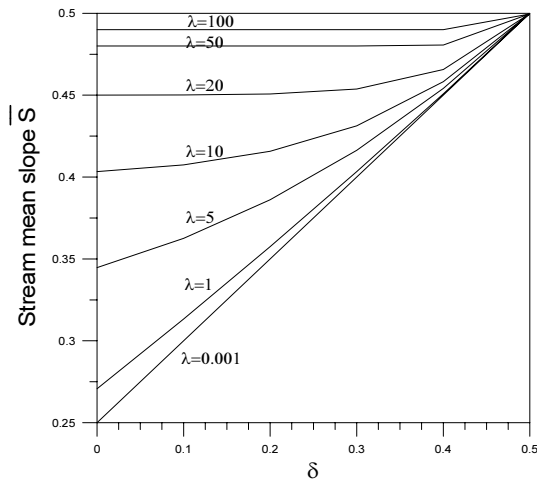


그림 2.  $\delta$ 와  $\bar{S}$ 의 관계 ( $\mu=0.5$ )

가 작으면  $\bar{S}$ 는  $\delta$ 에 의하여 급격히 변화한다.  $\mu=0.5$ 일 때  $\lambda$ 와  $\bar{S}$ 의 관계를 나타내면 그림 3과 같고  $\lambda$ 가 증가할수록  $\bar{S}$ 는 일정한 값에 수렴함을 알 수 있다.  $\delta=0.1$ 일 때  $\mu$ 의 변화에 따르는  $\lambda$ 와  $\bar{S}$ 의 관계를 나타내면 그림 4와 같고  $\mu$ 가 증가할수록  $\bar{S}$ 가 증가하는 것을 알 수 있는데 이는 초기점의 경사와 종점의 경사가 커질수록  $\bar{S}$ 는 증가함을 나타낸다.

## 2.2 하천경사

임의 수평거리  $y$ 에서의 하천경사  $S$ 보다 작거나 같은 값을 가질 확률은  $y/L$ 이며,  $S$ 의 누가 확률 분포함수  $F(S)$ 는 식 (19)와 같으며, 하천경사  $S$ 의 확률밀도함수  $P(S)$ 는 식 (20)과 같다.

$$F(S) = \frac{y}{L} \quad (19)$$

$$P(S) = \frac{dF(S)}{dS} = \frac{dF(S)}{dy} \frac{dy}{dS} = \frac{1}{L} \frac{dy}{dS} \quad (20)$$

하천경사  $S$ 를 구하기 위해 식 (10)의 확률밀도함수  $P(S)$ 를 식 (20)에 대입하면 식 (21)과 같다.

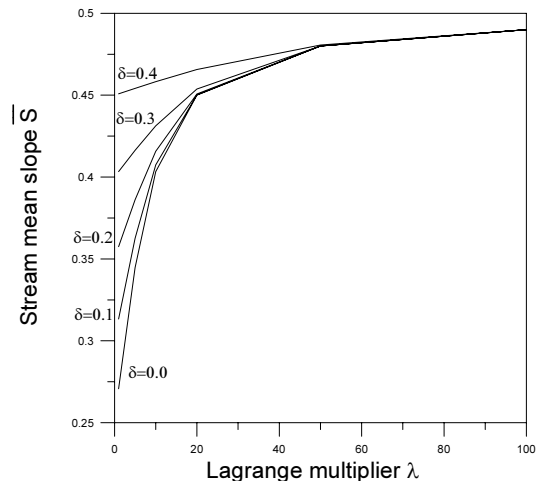


그림 3.  $\lambda$ 와  $\bar{S}$ 의 관계 ( $\mu=0.5$ )

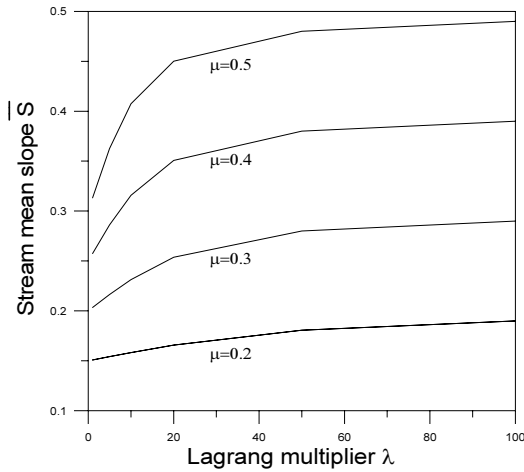


그림 4. λ와  $\bar{S}$ 의 관계 ( $\delta=0.1$ )

$$\int e^{\lambda \cdot S} \cdot dS = \frac{1}{L} \cdot \frac{1}{e^{\lambda_1 - 1}} \int dy \quad (21)$$

식 (21)을 적분하면 식 (22)를 얻으며, 적분상수를 위하여  $y=0$  일때  $S=\delta$  이므로 적분상수  $C = \frac{1}{\lambda} e^{\lambda \delta}$  가 되며, 하천경사 S로 정리하면 식 (23)과 같이 나타낼수 있다.

$$e^{\lambda \cdot S} = \frac{\lambda}{L \cdot e^{\lambda_1 - 1}} \cdot y + e^{\lambda \delta} \quad (22)$$

$$S = \frac{1}{\lambda} \ln \left[ \frac{y}{L} \cdot \frac{\lambda}{e^{\lambda_1 - 1}} + e^{\lambda \delta} \right] \quad (23)$$

$\lambda_1$ 을 소거하기 위하여 식 (12)의  $\lambda_1$ 을 식 (23)에 대입하여 정리하면 하천경사 S는 식 (24)와 같다.

$$S = \frac{1}{\lambda} \ln \left[ \frac{y}{L} (e^{\lambda \mu} - e^{\lambda \delta}) + e^{\lambda \delta} \right] \quad (24)$$

$\lambda$ 의 정량적인 분석을 위하여  $L=1m$  인 가상적인 수로를 가정하여  $\mu=0.5$ ,  $\delta=0.1$  일때의  $y$ 와  $S$ 의 관계를 그림 5에 나타내었다. 그림 5는  $\lambda$  값이 작을수록 하천경사의 종단적 분포는 대각선에 접근함을 보여 주며  $\lambda$  값이 50보다 크면 하천경사는 수평선에 접근함을 알수 있다. 또한 초기점의 경사만  $\delta=0.4$ 로 조건을 다르게 하여  $y$ 와  $S$ 의 관계를 나타내면 그림 6과 같고 그림 5와 비교해 경사가 완만함을 알수 있는데 이는 초기점의 경사와 종점경사의 차가 적을수록 하천의 경사가 완만해짐을 나타낸다.

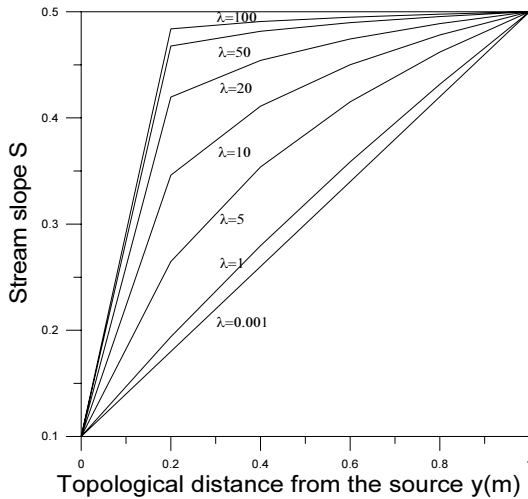


그림 5.  $y$ 와  $S$ 의 관계 ( $\mu=0.5$ ,  $\delta=0.1$ ,  $L=1$ )

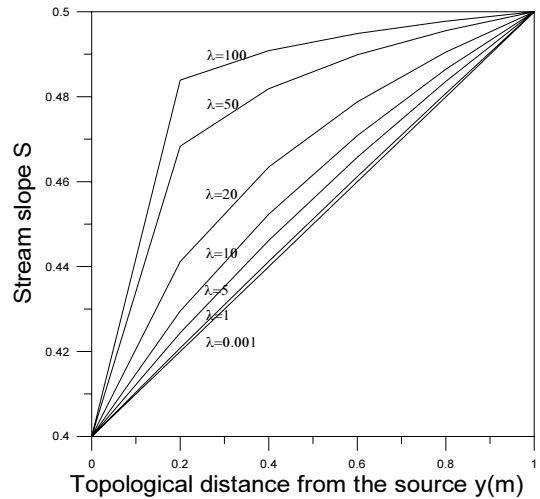


그림 6.  $y$ 와  $S$ 의 관계 ( $\mu=0.5$ ,  $\delta=0.4$ ,  $L=1$ )

### 2.3 하천 종단고도

임의의 수평거리  $y$ 에서 하천종단고도가  $z$ 일 때 임의의 하천경사  $S$ 는  $S = \frac{dz}{dy}$ 로 나타낼수 있다. 따라서 임의의 하천경사  $S$ 를  $dz$ 에 대해 정리하여 식 (24)에 대입하면 식 (25)와 같다.

$$dz = \frac{1}{\lambda} \ln \left[ \frac{y}{L} (e^{\lambda\mu} - e^{\lambda\delta}) + e^{\lambda\delta} \right] dy \quad (25)$$

하천 종단고도  $z$ 를 구하기 위하여 식 (25)를 적분하면 식 (26)과 같이 나타낼 수 있다.

$$z = \frac{1}{\lambda} \left[ \frac{L}{\beta} (e^{\lambda\delta} + \frac{\beta}{L} y) \ln (e^{\lambda\delta} + \frac{\beta}{L} y) - \frac{L}{\beta} (e^{\lambda\delta} + \frac{\beta}{L} y) + c \right] \quad (26)$$

여기서  $\beta = e^{\lambda\mu} - e^{\lambda\delta}$  이며,  $c$ 는 적분상수로서 수평거리  $y = 0$  이면 하천종단고도  $z = 0$  이므로  $c = -\frac{L}{\beta} e^{\lambda\delta} \ln(e^{\lambda\delta}) + \frac{L}{\beta} e^{\lambda\delta}$  이 되어 하천종단고도  $z$ 는 식 (27)과 같다

$$z = \frac{1}{\lambda} \left[ \frac{L}{\beta} (e^{\lambda\delta} + \frac{\beta}{L} y) \ln (e^{\lambda\delta} + \frac{\beta}{L} y) - y - \frac{\lambda \cdot \delta \cdot L}{\beta} e^{\lambda\delta} \right] \quad (27)$$

$\lambda$ 가 하천 종단고도에 미치는 영향을 검토하기 위하여  $\mu = 0.5$ ,  $\delta = 0.1$ ,  $L = 1m$  일때  $y$ 와  $z$ 의 관계를 그림 7에 나타내었다. 그림 7은  $y=0$ ,  $z=0$ 와  $y=L=1m$  일때  $\frac{dz}{dy} = \mu$  인 두개의 경계조건을 갖는 곡선의 하천종단고도  $z$ 를 나타내며,  $\lambda$ 가 충분히 크면 직선의 하천종단고도를 나타내는 반면에  $\lambda$ 가 작아질수록 하천종단면의 곡률은 점차 커진다.

정보 엔트로피에 의한 접근방법에서 주된 매개변수 중 하나는 Lagrange 승수  $\lambda$ 이다.  $\lambda$ 가 Zero

에 접근하는 경우와 무한대에 접근하는 두 가지 경우를 생각할수 있으며, 그림 5로부터 식 (28), 식 (29)를 구할 수 있다.

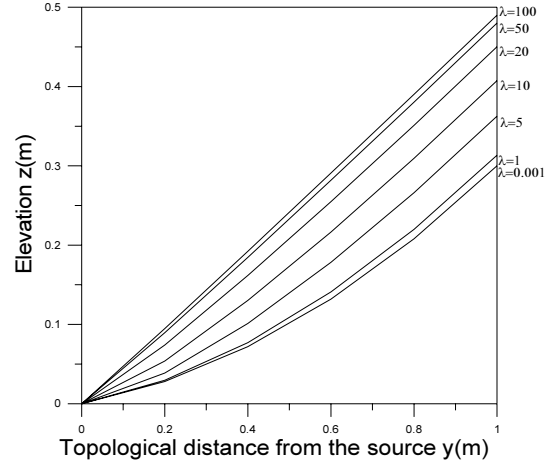


그림 7.  $y$ 와  $z$ 의 관계 ( $\mu=0.5$ ,  $\delta=0.1$ ,  $L=1$ )

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} S = \frac{(\mu - \delta)}{L} y + \delta \quad (28)$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} S = \mu \quad (29)$$

$dz = S dy$  이므로 하천종단고도  $z$ 는 식 (28), 식 (29)를 적분하여 식 (30), 식 (31)로 나타낼 수 있다.

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} z = \frac{(\mu - \delta)}{2L} y^2 + \delta \cdot y \quad (30)$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} z = \mu \cdot y \quad (31)$$

$\lambda$ 가 매우 작아지면 식 (30)과 같은 2차 포물선의 하천종단면을 얻으며  $\lambda$ 가 매우 크면 식 (31)과 같은 1차식이 되는데 이것은 그림 7과 일치하고 있다.  $y=L$ 인 경우, 하천 초기점과 종점의 고도차  $h$ 를 구할수 있으며 식 (30)과 식(31)에  $y=L$ 을 대입하면 식 (32)와 식 (33)과 같다.

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} h = \frac{(\mu - \delta)}{2} L + \delta \cdot L \quad (32)$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} h = \mu \cdot L \quad (33)$$

### 3. 적용

정보 엔트로피를 적용하여 유도한 하천종단고도식과 하천평균경사식의 적용성을 검토하기 위하

여 본 논문에서는 대상유역을 남한강의 제 1지류인 달천의 7개 하천을 선정하였다. 매개변수  $\lambda$ 를 구하기 위해서는 하천 종단면도의 지형학적 인자를 결정해야 한다. 이를 위하여 충청북도 지방하천정비 기본계획에서 하천 종단면도를 획득하여 사용하였으며 본 연구에서 적용한 대상하천의 임의 구간의 하천 종단고도는 표 1과 같고 적용한 대상하천의 초기점 경사  $\delta$ 와 종점경사  $\mu$ 는 표 2와 같다.

표 1. 하천종단고도

(단위 ; m)

하천 거리(m)	감천	인경천	동진천	음성천	오가천	석문동천	설운천
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.46	0.52	0.63	0.81	1.39	0.18	1.23
400	1.70	2.58	1.47	2.12	3.21	1.65	2.73
600	2.83	5.49	3.02	3.65	5.39	3.14	3.73
800	3.70	6.10	3.34	5.39	6.33	3.81	6.48
1000	5.67	7.53	5.11	7.81	7.98	6.85	7.61
1200	7.95	8.31	6.69	10.35	9.82	8.53	9.02
1400	7.70	9.92	7.37	12.75	11.89	12.83	10.86
1600	9.04	11.12	8.94	13.30	13.98	14.23	12.28
1800	10.45	12.10	9.96	14.21	15.39	16.65	14.23
2000	12.08	13.34	12.08	17.14	17.74	19.00	15.33
2200	14.66	14.71	12.88	18.60	19.96	20.96	16.12
2400	14.44	16.62	14.77	20.48	21.53	24.18	17.43
2600	16.37	19.02	15.68	21.88	23.07	26.61	18.18
2800	17.94	20.33	16.51	24.34	25.68	28.02	24.46
3000	18.84	20.96	20.13	26.51	27.75	31.88	26.68
3200	21.30	22.70	21.08	29.41	28.55	33.78	29.93
3400	22.63	23.80	23.18	32.85	32.42	38.73	32.47
3600	25.31	24.96	24.82	34.49	34.10	41.44	34.93
3800	26.97	27.44	25.83	37.15	37.05	46.71	38.70
4000	29.61	29.11	27.64	40.06	39.92	49.56	41.73
4200	32.21	31.68	29.40	44.10	41.23	53.09	46.29
4400	36.95	34.21	32.59	47.75	45.59	60.82	50.71
4600	40.95	35.53	33.72	52.35	49.07	64.84	55.43
4800	45.09	36.61	35.47	56.09	53.22	68.23	-
5000	49.47	39.17	37.52	59.55	56.53	73.90	-

표 2. 하천경사

경사 \ 구역	감천	인경천	동진천	음성천	오가천	석문동천	설운천
초기점경사( $\delta$ )	0.0023	0.0026	0.00315	0.00405	0.00695	0.00090	0.00615
종점 경사( $\mu$ )	0.0219	0.0128	0.01025	0.01730	0.01655	0.02835	0.02360

매개변수  $\lambda$ 는 하천 종단면도의 실측치를 토대로 하천 종단고도  $z$ 를 구하는 식 (27)에 적용하여 실측된 하천 종단고도와 계산된 하천종단고도의 오차제곱합이 최소가 될 때의 값을 구하였으며, 계산된 각 하천의 매개변수  $\lambda$ 값은 표 3과 같다. 매개변수  $\lambda$ 의 평균치는 0.0155로서 하천 평균경사를 구하는 식 (18)에 대입하여 계산한 하천 평균경사  $\bar{S}$ 와 충청북도 지방하천 정비기본계획에서 등가경사법으로 산정된 하천 평균경사  $\bar{S}$ 를 표 4에 나타내었다. 등가경사법에 대한 상대오차는 1.5%~47.1%의 다양한 상대오차를 보여주고 있으나, 본 연구에서 이론적으로 유도된 하천종단고도식은 하천종단을 매우 유사하게 재현할 수 있으므로, 유도된 하천평균경사식은 등가경사법보다 더 합리적인 방법이라 생각된다.

하천 종단고도는 엔트로피를 이용하여 계산된

지형학적 인자로부터 구할 수 있으며 실측된 하천 종단고도와 계산된 하천의 종단고도를 비교한 각각의 하천 종단면도는 그림 8~그림 14에 나타내었다.  $\lambda$ 의 평균치를 사용하여 얻어진 하천종단면은 실측치와 매우 유사하게 표현됨을 알 수 있다.

표 3. Lagrange 승수  $\lambda$

하천명	Lagrange승수 $\lambda$
감천	0.0074
인경천	0.0097
동진천	0.0302
음성천	0.0127
오가천	0.0321
석문동천	0.0100
설운천	0.0064
평균	0.0155

표 4. 하천 평균경사의 비교

평균경사 \ 구역	감천	인경천	동진천	음성천	오가천	석문동천	설운천
등가경사법	0.016400	0.007834	0.008330	0.011910	0.022220	0.014400	0.012990
본연구	0.012099	0.007701	0.006700	0.010678	0.011752	0.014615	0.014880
상대오차(%)	26.2	1.7	19.6	10.3	47.1	1.5	14.5

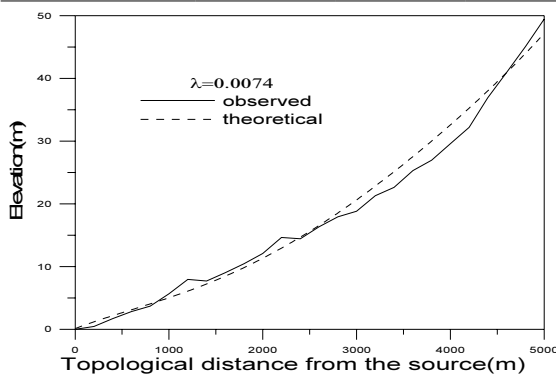


그림 8. 하천종단고도의 비교 (감천)

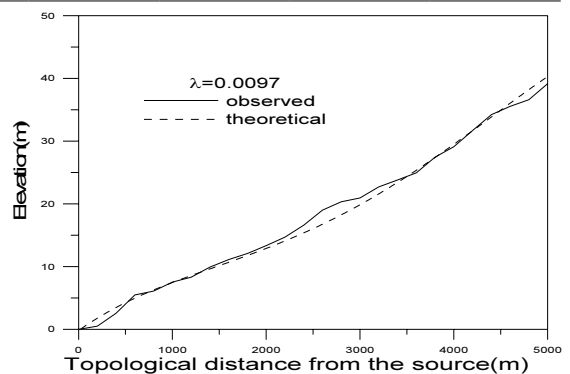


그림 9. 하천종단고도의 비교 (인경천)



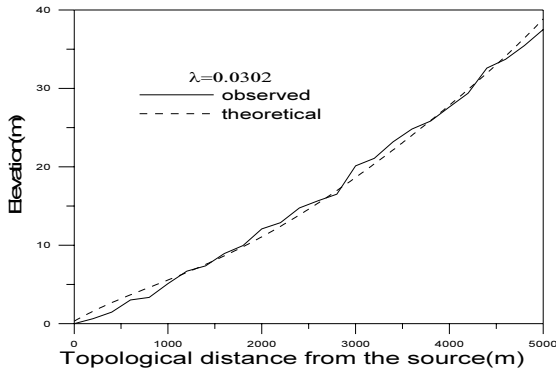


그림 10. 하천중단고도의 비교 (동진천)

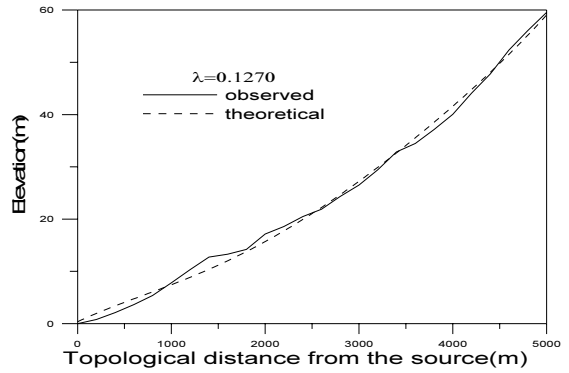


그림 11. 하천중단고도의 비교 (응성천)

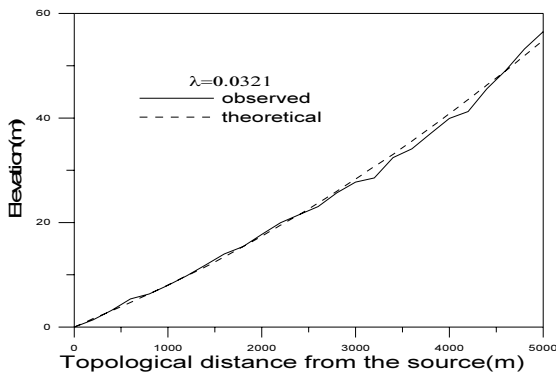


그림 12. 하천중단고도의 비교 (오가천)

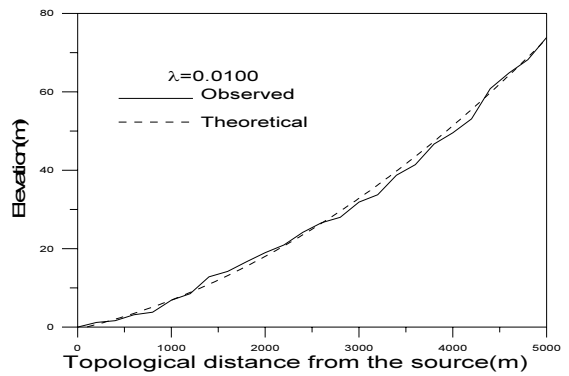


그림 13. 하천중단고도의 비교 (석문동천)

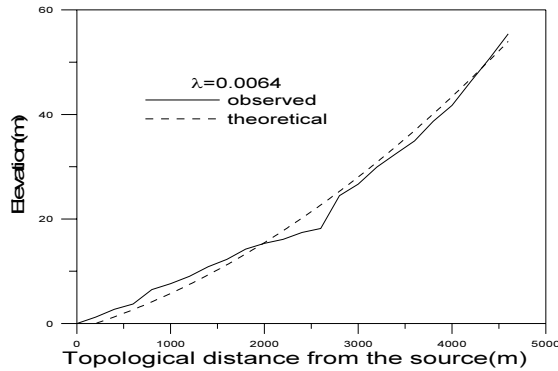


그림 14. 하천중단고도의 비교 (설운천)

## 5. 결 론

본 연구에서는 정보 엔트로피를 이용하여 하천 평균경사, 하천경사 및 하천 중단고도 결정 방법을 제시하고 제시된 하천 중단고도식을 이용하여

달천유역내 실측된 하천평균경사와 하천중단면도를 토대로 하천특성을 나타내는 매개변수를 결정 하였으며 이로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 엔트로피이론을 하천 중단면에 적용하여 유도한 하천 평균경사와 하천경사 및 하천 중

단고도를 구하는 식을 실제하천에 적용한 결과 하천중단고도는 실측치와 유사하게 나타났으며, 엔트로피를 이용한 하천 중단고도의 산정과 하천 평균경사산정 방법은 실제하천의 적용에 유용하리라 생각되며, 유역 평균경사의 산정에도 도움이 되리라 판단된다.

- 2) 매개변수  $\lambda$ 가 커질수록 하천평균경사는 초기점 경사의 영향을 받지 않으며,  $\lambda$ 가 증가할수록 하천평균경사는 일정한 값에 수렴하였다. 또한 종점의 경사가 증가할수록 하천평균경사가 증가하였으며, 이는 초기점 경사와 종점 경사가 커질수록 하천평균경사가 증가함을 의미한다.
- 3) 매개변수  $\lambda$ 가 작을수록 하천경사의 종단적 분포는 대각선에 접근하며,  $\lambda$ 가 50보다 크면 하천경사는 수평선에 접근하였다. 실제하천에 적용한 결과  $\lambda$ 는 0.0321 ~ 0.0064의 범위로 나타났고 평균 0.0155를 나타내었다.

### 감사의 글

이 논문은 2009년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

### 참 고 문 헌

윤용남, 수문학, 청문각, p. 378, 2007.  
 Chapman, T. G., "Entropy as measure of

hydrologic data uncertainty and model performance", J. of hydrol., 85, pp. 111-126, 1986.  
 Claps, P., Fiorentino, M., and Oliveto, G., "Informational entropy of fractal river networks", J. of hydrol., 187, pp. 145-156, 1996.  
 Fiorentino, M., Claps P. and Singh, V. P., "An Entropy-based Morphological Analysis of River Basin Networks," Water Resour. Res., Vol. 29, No. 4, pp. 1215-1224, 1993.  
 Leopold, L. B., Langbein, W. B., "The concept of entropy in landscape evolution", U.S Geol. Surv. Prop. pp. 500-A, 1962.  
 Singh, V. P., Fiorentino, M., "A historical perspective of entropy applications in water resources, in entropy and energy dissipation in water resources, edited by Singh and Fiorentino, Kluwer, Boston, Mass., pp. 21-61, 1992.  
 Wilson, A. G., "The use of the concept of entropy in system modeling, Oper. Res. Q., Vol. 21, No. 2, pp. 247-265, 1970.  
 Yang, C. T., "Potential Energy and Stream Morphology", Water Resour. Res., Vol. 7, No. 2, pp. 311-322, 1971.

- 논문접수일 : 09년 07월 21일
- 심사의뢰일 : 09년 07월 21일
- 심사완료일 : 09년 08월 19일