

확률론적 이론을 이용한 종단면에서의 단방향 이동거리에 관한 연구

김성률¹, 문지현¹, 전해성¹, 서종철¹, 추연문^{2*}

¹부산대학교 사회환경시스템공학과

²부산대학교 생산기술연구소

A Study on the One-Way Distance in the Longitudinal Section Using Probabilistic Theory

Seong-Ryul Kim¹, Ji-Hyun Moon¹, Hae-Sung Jeon¹, Jong-Chal Sue¹, Yeon-Moon Choo^{2*}

¹Dept. of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

²Research Institute of Industrial Technology, Pusan National University

요약 유속은 수리학적 구조물을 운영 관리하는데 필수적인 요소임에도 불구하고 경제적, 인력적 이유로 인해 유량, 유속 측정이 충분히 이루어지지 않고 있다. 또한, 홍수기에 하천의 유속을 산정하는데 사용되는 공식은 Chezy와 Manning 등류 공식으로 일반적으로 등류가 아닌 자연하천에 이 공식을 그대로 사용하는 것은 문제가 있다. 이에 따라 본 연구는 측정치와 경험적인 방법으로 유량과 유속을 다른 수리학적 요소로 나타내는 방법이 아닌 이론적 방법으로 유속에 접근하였다. 이전의 기존 유속 공식과 분포식의 한계를 엔트로피 이론으로 해결한 Chiu (1987)의 연구를 따라 개수로의 유속을 엔트로피 이론에 근거하여 전개하였고 효용성을 검증하기 위해 지점의 유속이 측정된 수로의 데이터를 활용하여 식을 검증하였다. 이동거리의 R²값은 0.9993, 유속의 R²값은 0.8051~0.9483으로 예측치가 실제 적용 가능함을 확인하였다. 식을 활용하면 실제 유속 측정을 여러 지점에서 매시간 하지 않아도 특성 인자를 통해 시간에 따라 이동하는 하천의 유속과 이동지점을 동시에 구할 수 있고 실시간 유속이 필요하지만 빈번한 실측이 불가능한 홍수기의 유속 산정이 가능하다. 이를 활용하여 하천의 수평·수직거리를 이용해 제작되는 하천 종단면도에 활용 가능하며 GIS와 연계하여 하천 특성인자의 정확성을 높일 수 있을 것으로 판단된다. GIS의 공간 모델에 하천의 거리와 유속 정보를 결합해 홍수기의 경보·예측 시스템에 활용이 가능할 것으로 보인다.

Abstract To use a hydraulic structure effectively, the velocity of a river should be known in detail. In reality, velocity measurements are not conducted sufficiently because of their high cost. The formulae to yield the flux and velocity of the river are commonly called the Manning and Chezy formulae, which are empirical equations applied to uniform flow. This study is based on Chiu (1987)'s paper using entropy theory to solve the limits of the existing velocity formula and distribution and suggests the velocity and distance formula derived from information entropy. The data of a channel having records of a spot's velocity was used to verify the derived formula's utility and showed R² values of distance and velocity of 0.9993 and 0.8051~0.9483, respectively. The travel distance and velocity of a moving spot following the streamflow were calculated using some flow information, which solves the difficulty in frequent flood measurements when it is needed. This can be used to make a longitudinal section of a river composed of a horizontal distance and elevation. Moreover, GIS makes it possible to obtain accurate information, such as the characteristics of a river. The connection with flow information and GIS model can be used as alarming and expecting flood systems.

Keywords : Velocity, Shannon Entropy, Open Channel, Natural River, Moving Distance

*Corresponding Author : Yeon-Moon Choo(Pusan Nat'l Univ.)

email: chooyean@naver.com

Received October 15, 2020

Accepted December 4, 2020

Revised November 13, 2020

Published December 31, 2020

1. 서론

1.1 연구배경

하천의 유속은 하천의 수리학적 흐름을 결정하는 중요한 요소로 정확한 유속을 아는 것은 수리학적 구조물을 설계 및 관리, 이용하는 과정에 필수적이다. 특히 우리나라는 여름철에 집중적인 강우로 홍수와 가뭄 등의 자연재해를 매년 겪어 이런 자연재해의 피해를 줄이고 효과적으로 수리 구조물을 관리하기 위해서는 실제 하천을 흘러가는 유량과 유속을 정확히 알아야 한다. 하지만 유속을 측정하기 위해 기술이 발달함에도 불확실성이 높으며 관측지점과 횡수가 부족하거나 관측시설의 유지가 이루어지지 않아 국내의 수자원 기본 자료가 매우 부실한 실정이다[1].

하천의 유속을 구하는 대표적인 공식은 Chezy 공식, Manning 공식, Darcy-Weisbach 공식으로 유속을 수심과의 함수로 나타내었다 (David M. Bjerklie et al.)(2). 이 공식들은 등류에서 일반적으로 통용되지만, 실험을 거쳐 실제와 비슷한 값이 나오도록 만들어진 반경험식이며 시간과 장소와 관계없이 유속이 일정한 등류의 공식으로 한계점이 있다. 자연하천은 일반적으로 등류가 아니지만 이외에 통용되는 공식이 없어 하천의 유속을 구하는 데에도 사용되는 실정이다. 측정하기가 힘든 하천의 유량과 유속을 산정하기 위해 지표 유속과 단면 평균유속의 관계를 수립해 단면 평균유속으로 유량을 구하는 지표유속법 (Rantz, 1982)이 개발되었고[3] 이후 최근 미국에서는 음향 도플러 유속계(ADCP)를 개발하여 자연하천의 표면 유속을 측정해 하천 단면의 평균 유속과 유속분포를 측정하는 방법을 사용한다. 이외에 유량을 수위에 대한 식으로 나타내어 산정하는 수위-유량관계법이 개발되어 사용되었지만, 관계식을 유도하기 위해 많은 양의 측정이 필요할 뿐만 아니라 유량변동, 하상변동 등의 변화에 따라 변하기 때문에 지속적인 유량 산정이 힘들다. 이에 따라 유속을 직접 측정하려는 연구도 진행되었다. 하지만 부자를 투하하여 유속을 구하는 부자법은 표면유속만 측정이 가능하며 부표가 장애물을 만나면 정확한 유속 측정이 불가능하고 측정 거리가 제한적이다. 이처럼 하천의 다양한 형상으로 유속의 변화가 커 정확한 유속을 산정하는 것이 힘들며 기존의 측정으로 유도된 유량과 유속의 관계나 수심과 유량, 유속의 관계식은 순식간에 유량이 급변하는 홍수기에 적용하는 데는 많은 어려움이 있다. 따라서, 측정을 통한 유량이나 수심에 대한 함수로 유속을 나타내 유속을 산정하는 방법이 아닌

이론으로 유도된 유속산정이 필요하다.

Chiu (1987)은 기존의 흐름 방향 유속분포식의 한계를 극복하기 위해 최초로 엔트로피 이론을 수리학에 적용하여 2차원 유속 공식, 최대 유속과 평균유속과의 관계를 나타내었다[4]. 이후 수리학과 수문학에 엔트로피를 적용하는 연구가 이루어져 2007년 이찬주 등은 엔트로피에 기초해 자연하천에서 유속 분포식의 적용성을 분석하였고[5], 2010년 김치영은 Chiu의 2차원 유속분포식을 이용하여 하천 유량 산정을 위한 유속분포법 개발 및 적용성을 검증하였다[6]. 2012년 박민규 등은 Chiu 유속분포를 이용하여 자연하천에서의 흐름 특성과 유속분포의 매개변수가 가지는 관계를 살펴보았다[7]. 그리고 2020년 권창현은 Chiu의 2차원 유속분포공식을 통한 평균 유속산정에서 가장 중요한 엔트로피 매개변수 M을 측정이 가능한 지형학적 인자만을 활용해서 산정하여 실측 데이터로 검증하였다[8]. 이렇게 자연하천에 정보 엔트로피 이론을 이용하여 유량, 유속 등을 산정하고 적용성을 평가하는 연구가 이루어지고 있다. 기존의 엔트로피 이론을 기반으로 한 연구들은 모두 유속에만 국한된 연구로 본 연구는 유속과 거리를 같이 구할 수 있는 식을 제시한다. 또한, 제시된 식은 수평 수직거리를 통해 고려하는 하천중단면도 제작에 활용될 수 있으며 이를 GIS의 공간분석과 비교하면 더욱 정확한 측정값을 얻어 결과치의 정확성을 높일 수 있다. GIS는 공간정보를 활용하여 전산화된 데이터베이스 관리시스템으로 지리정보를 컴퓨터를 이용해 공간화시켜 문제를 해결하는 시스템이다. GIS는 현재 토목, 교통, 환경 등 다양한 분야에 사용되며 최근에는 2005년 김수기의 GIS를 이용하여 소하천 유역 관리를 위한 지형 특성 인자를 구한 연구[9]와 2003년 정관수의 GIS를 이용해 건천화 하천의 특성을 분석하는 연구[10]와 같이 하천의 특성 인자를 구하기 위해 GIS 자료를 활용한 연구가 활발히 이뤄지고 있다. 2012년 유희준은 GIS를 기반으로 하천 경사를 산정하였으며[11] 2000년 최철관은 하천 유량 관리를 위해 GIS 하도 단면을 구축하였다.

2. 이론적 배경

2.1 비선형 회귀분석

회귀분석은 독립변수 X_i 와 종속변수 Y_i 의 관계를 나타내는 통계적 방법이다. 회귀분석을 시행하면 독립변수에 대한 종속변수가 일정한 패턴을 가지고 변하는데 이 회

귀선이 직선에 가까울 경우 선형회귀분석이라 하며 2차 곡선, 초월함수 등 고차곡선의 식으로 나타나면 비선형회귀분석이라 한다. 본 연구에서는 시간 t 에 대한 수평거리 x 의 식을 독립변수 X_i 를 시간 t 로 가지고 종속변수 Y_i 를 x 좌표로 설정한 비선형 회귀 모델로 둔다. t, x 에 실측치를 대입하여 비선형 회귀분석을 실행해 종속변수 Y_i 가 실측치와 오차가 가장 적게 되도록 만드는 매개변수 λ 를 산정한다.

2.2 정보 엔트로피 이론

정보 엔트로피는 Shannon (1948)이 도입한 개념으로 정보에 대한 신뢰성을 나타낸다. 정보 이론에서 엔트로피는 확률변수에 대한 불확실성을 나타내는 척도이며 연속적인 상태변량 x 에 대한 확률밀도함수를 $P(x)$ 라 하면 엔트로피 H 는 다음과 같이 정의된다[9].

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

$P(x)$ 는 정보의 상태변량 x 에 대한 확률을 나타내고 $\ln \frac{1}{P(x)}$ 는 정보의 양을 나타낸다. 이는 정보의 양이 많으면 신뢰성이 낮고 정보의 양이 적으면 신뢰성이 높아 정보의 양과 신뢰성은 반비례하기 때문이다. $P(x)$ 는 확률로 총구간에 대한 적분한 값은 반드시 1이 되어야 하고 상태변량 x 와 이에 대한 확률 $P(x)$ 를 곱한 것을 총구간에 대해 적분하면 평균값 \bar{x} 를 구할 수 있다. 이 두 가지 조건은 엔트로피 H 에 대한 제약조건으로 사용되며 Eq. (2), (3)으로 나타낸다.

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

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

정보 엔트로피 이론을 하천에 적용하면 하천의 유속과 고도 등 지형학적 인자를 구할 수 있다. Fig. 1과 같이 축을 설정하여 x 좌표가 하천에서 수평거리를 나타내도록 한다. 이렇게 설정하면 하천의 수리학적 변수에 대한 엔트로피 식을 작성할 수 있고 자연 상태는 엔트로피가 최대가 되며 무질서한 방향으로 흘러감에 따라 최대화된 엔트로피를 따르는 확률 $P(x)$ 을 구해 이를 통해 유속 u_x 의 식을 구할 것이다.

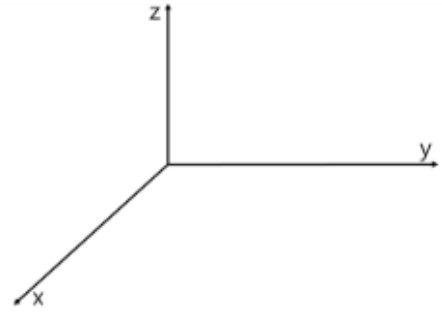


Fig. 1 x, y, z coordinates

2.3 GIS

GIS(Geographic Information System)은 공간정보를 사용한 전산화된 데이터베이스 관리시스템으로 점, 선, 면, 입체 모형으로 지형적 특성 자료를 공간적 기준에 맞추어 분석 및 처리할 수 있다. GIS의 주요 기능으로는 공간자료처리, 공간자료분석, 수치 지형분석, 망 구조 분석이 있다. 수치 지형분석을 사용하면 등고선이나 단면도, 3차원 입체영상을 제작할 수 있다.

등고선이나 단면도에 사용되는 거리정보를 본 연구의 매개변수 산정과정에 활용한다면 더 정확한 결과를 얻을 수 있으며 공간적 의미가 있는 GIS에 실시간의 유속과 거리 개념을 더해 시간에 따른 지리정보를 얻을 수 있을 것이다.

3. 수평거리 및 유속 공식 개발 및 검증

3.1 수평 유속 공식 개발

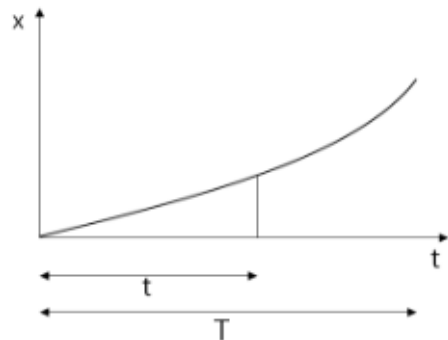


Fig. 2. x distance by time

Fig. 2는 시간에 따른 x 의 위치변화를 나타낸 그래프로 t 는 임의의 시간, T 는 상류부에서 하류부까지 물이 도달하는 도달시간을 나타낸다. 이런 흐름에서 초기 점의 유속은 $u_{x,t=0} = \delta_x$ 이며 종점의 유속은 $u_{x,t=T} = \mu_x$ 이다. 하천유역은 하천의 x 축의 유속이 u_x 인 시스템으로 시스템의 상태변수를 u_x 라 하면 유역의 엔트로피는 확률로 정의할 수 있다. $P(u_x)$ 를 하천의 x 축의 유속 u_x 인 확률밀도함수라 하면 하천유역의 엔트로피 H 는 Eq. (4)와 같다.

$$H_x = - \int_{\delta_x}^{\mu_x} P(u_x) \ln P(u_x) du_x \quad (4)$$

첫 번째 제약 조건식으로는 Eq. (2)의 상태변량 x 대신 하천의 x 축의 유속 u_x 를 사용하여 나타낸 Eq. (5)이며 두 번째 제약 조건식은 확률의 총합이 1이라는 정의를 사용한 Eq. (6)이다.

$$\overline{u_x} = - \int_{\delta_x}^{\mu_x} u_x P(u_x) du_x \quad (5)$$

$$\int_{\delta_x}^{\mu_x} P(u_x) du_x = 1 \quad (6)$$

엔트로피 H 가 최대가 되는 확률밀도함수 $P(u_x)$ 를 라그랑주 승수법을 이용해 구해보면 확률밀도함수 $P(u_x)$ 를 Eq. (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(u_x) = e^{\lambda_{x_1} + \lambda_x \cdot u_x - 1} \quad (7)$$

여기서, λ_x 와 λ_{x_1} 는 엔트로피 H 가 제약 조건식을 만족 하면서 최대가 되게 하는 라그랑주 승수이다. λ_{x_1} 을 구하기 위해 확률밀도함수 $P(u_x)$ 를 제약 조건Eq. (6)에 대입하면 라그랑주 승수 λ_{x_1} 은 Eq. (8)과 같이 결정된다.

$$e^{\lambda_{x_1} - 1} = \frac{\lambda_x}{e^{\lambda_x \mu_x} - e^{\lambda_x \delta_x}} \quad (8)$$

Eq. (7)의 확률밀도함수 $P(u_x)$ 에 λ_{x_1} 을 소거하기 위해 Eq. (8)의 λ_{x_1} 을 대입하면 확률밀도함수 $P(u_x)$ 는 Eq. (9)와 같다.

$$P(u_x) = e^{\lambda_x + \lambda_x u_x - 1} = \frac{\lambda_x}{e^{\lambda_x \mu_x} - e^{\lambda_x \delta_x}} e^{\lambda_x u_x} \quad (9)$$

상태변량 u_x 에 따른 확률밀도함수 $P(x)$ 를 누적한 수가 확률분포함수는 Fig. 2를 참고하여 구할 수 있다. 시간이 지남에 따라 유속 u_x 는 증가하는 형태를 띠므로 임의의 시간 t 에서 유속이 u_x 보다 작거나 같은 값을 가질

확률은 t/T 이고 유속 u_x 의 수가 확률분포함수 $F(u_x)$ 는 Eq. (10)과 같으며, 유속 u_x 의 확률밀도함수 $P(u_x)$ 는 Eq. (11)과 같다.

$$F(u_x) = \frac{t}{T} \quad (10)$$

$$P(u_x) = \frac{dF(u_x)}{du_x} = \frac{dF(u_x)}{dt} \frac{dt}{u_x} = \frac{1}{T} \frac{dt}{du_x} \quad (11)$$

하천의 x 축의 유속 u_x 을 구하기 위해 Eq. (7)의 확률 밀도함수 $P(u_x)$ 를 Eq. (11)에 대입하면 Eq. (12)과 같다.

$$\int e^{\lambda_x u_x} du_x = \frac{e^{\lambda_x \mu_x} - e^{\lambda_x \delta_x}}{\lambda_x} \frac{1}{T} \int dt \quad (12)$$

Eq. (12)를 적분하여 유속 u_x 에 대해 정리하면 Eq. (13)과 같다.

$$u_x = \frac{1}{\lambda_x} \ln \left[\frac{t}{T} (e^{\lambda_x \mu_x} - e^{\lambda_x \delta_x}) + e^{\lambda_x \delta_x} \right] \quad (13)$$

3.2 수평거리 공식 개발 및 매개변수 산정

임의의 시간 t 에서 유속 u_x 인 지점에서의 x 축의 좌표는 $u_x = dx/dt$ 로 나타낼 수 있다. 이 식을 정리하여 dx 에 대해 나타내면 Eq. (14)과 같다.

$$dx = u_x dt \quad (14)$$

Eq. (14)의 u_x 에 Eq. (13)을 대입해 적분하면 Eq. (15)를 얻을 수 있다.

$$dx = \frac{1}{\lambda_x} \ln \left[\frac{t}{T} (e^{\lambda_x \mu_x} - e^{\lambda_x \delta_x}) + e^{\lambda_x \delta_x} \right] dt \quad (15)$$

$$e^{\lambda_x \mu_x} - e^{\lambda_x \delta_x} = A \quad (16)$$

$$x = \frac{1}{\lambda_x} \left[\frac{T}{A} (e^{\lambda_x \delta_x} + \frac{A}{T} t) \ln (e^{\lambda_x \delta_x} + \frac{A}{T} t) - \frac{T}{A} (e^{\lambda_x \delta_x} + \frac{A}{T} t) + C \right] \quad (17)$$

$t=0$ 일 때 $x=0$ 이라 하면 적분상수 C 를 구해 대입하면 시간 t 에서 x 축으로 떨어진 좌표를 Eq. (18)과 같이 구할 수 있다.

$$x = \frac{1}{\lambda_x} \left[\frac{T}{A} (e^{\lambda_x \delta_x} + \frac{A}{T} t) \ln (e^{\lambda_x \delta_x} + \frac{A}{T} t) - t - \frac{T e^{\lambda_x \delta_x} \lambda_x \delta_x}{A} \right] \quad (18)$$

연구에서 제시된 x 는 특정 시간과 유하시간, 시작점과 종점의 유속에 대한 정보가 있다면 하천이 가진 특정한 λ_x 값과 같이 x 가 산정된다. λ_x 가 산정되면 Eq. (18)

을 사용하여 특정 시간의 유속을 구할 수 있다. 본 연구는 임의의 시간에 대한 각 축에 대한 유속을 실측하지 않고 구할 수 있는 공식을 제시한다.

3.3 이론식 검증

3.3.1 실측 데이터

본 연구에서 제시된 식이 유속과 거리를 정확하게 예측하는지 검증하기 위해 Song(1994)[13] 데이터를 사용하였다. 식을 검증하기 위해선 각 지점의 거리와 그 지점의 유속이 필요하며 데이터는 10m의 수로에 D1, D2, D3, D4, D5, D6 지점의 1초부터 59초까지 각 지점의 수심과 수로에 흐르는 유량을 알 수 있다. 데이터에서 수심과 폭 길이를 곱해 유량이 흐르는 단면적을 알아내고 유량과 단면적이 같은 관계식 $Q=AV$ 로부터 각 지점의 특정 시간에 흐르는 유속을 알아내었다. 이 데이터를 활용하여 측정치와 예측치의 거리와 유속을 비교하면 이론식이 어느 정도의 정확도를 가지는지 알 수 있다. 정확도 판정은 모델이 데이터에 얼마나 적합한지 판단할 때 사용되는 R^2 를 사용하였다.

3.3.2 실측치와 결과값 비교

초기 유속($x=0$ m일 때의 유속), 종점 유속($x=8.57$ m일 때의 유속), 유하시간, 6개의 단면을 지나가는 시간을 구해 이를 바탕으로 Eq. (18)을 사용하여 수평거리 x 를 계산한다. 계산한 수평거리 x 를 SPSS 25와 SYSTAT 6.0의 비선형 회귀분석을 통해 매개변수 λ_x 를 산정한다. λ_x 는 각 초에 대해서 다른 값이 나오기 때문에 1초부터 37초까지 19개의 λ_x 를 산정하였으며 산정된 매개변수 λ_x 를 Eq. (13)에 적용하여 u_x 를 구하였다.

수평거리 x 의 실측치와 예상치를 비교하였을 때, R^2 값은 0.9993으로 나왔으며 x 값을 실측치, y 값을 예상치로 갖는 점들을 찍어 회귀선을 얻은 결과 회귀선의 기울기는 0.9877로 나왔다. 직선의 기울기가 1과 비슷할수록 예상치가 실측치와 비슷함을 의미해 수평거리 x 는 실측치와 매우 유사하게 나왔음을 확인할 수 있다. u_x 의 예상치-실측치 그래프의 기울기는 0.9277로 비슷한 결과를 얻었다. Eq. (13)을 사용하여 구한 각 시간에 대한 x 축 유속은 Fig. 5부터 Fig. 23까지와 같다.

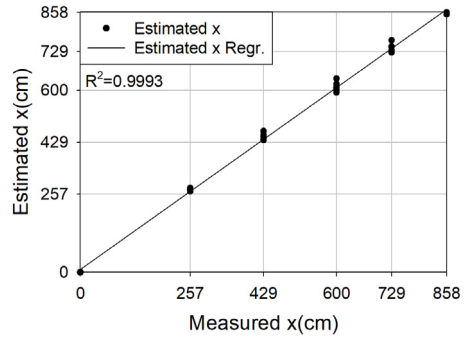


Fig. 3. Contrast of distance

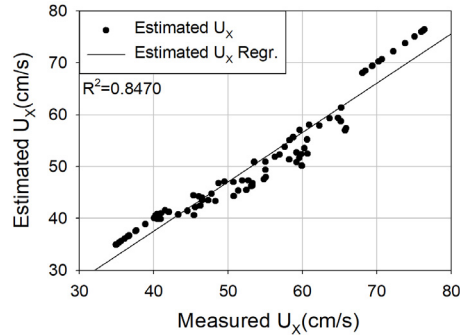


Fig. 4. Contrast of velocity

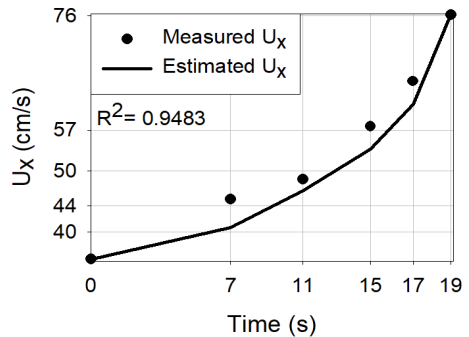


Fig. 5. Estimated and measured velocity(1s)

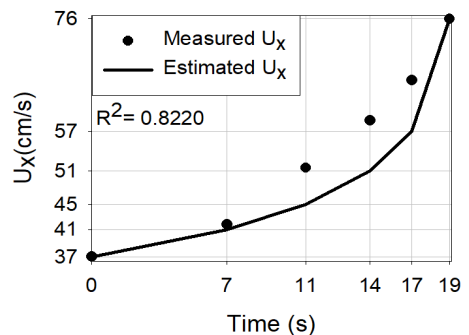


Fig. 6. Estimated and measured velocity(3s)

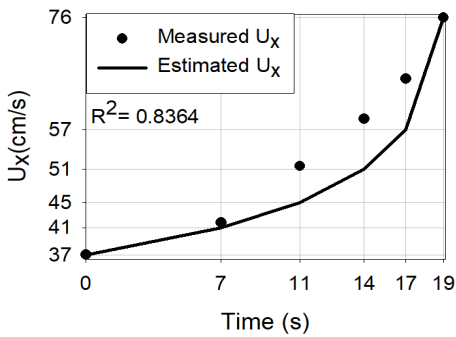


Fig. 7. Estimated and measured velocity(5s)

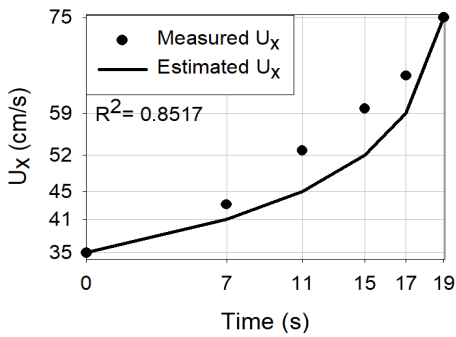


Fig. 8. Estimated and measured velocity(7s)

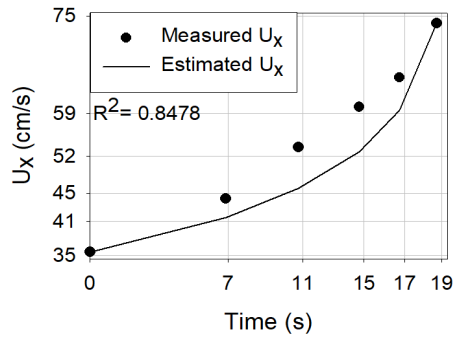


Fig. 9. Estimated and measured velocity(9s)

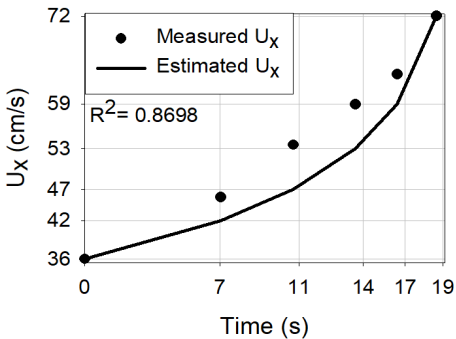


Fig. 10. Estimated and measured velocity(11s)

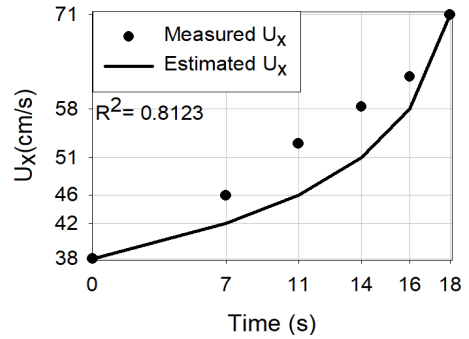


Fig. 11. Estimated and measured velocity(13s)

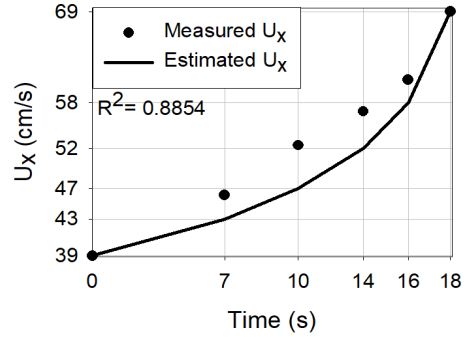


Fig. 12. Estimated and measured velocity(15s)

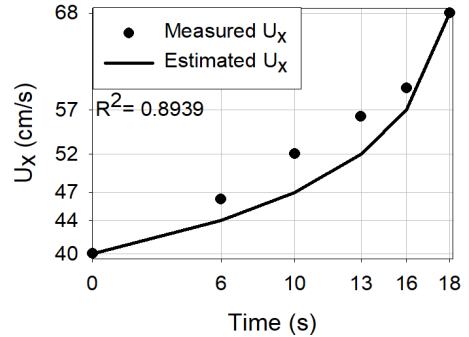


Fig. 13. Estimated and measured velocity(17s)

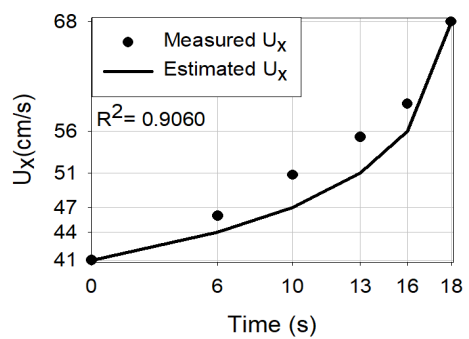


Fig. 14. Estimated and measured velocity(19s)

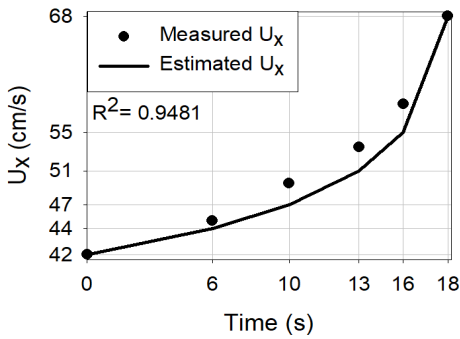


Fig. 15. Estimated and measured velocity(21s)

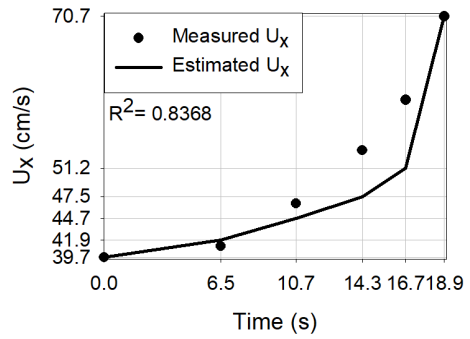


Fig. 19. Estimated and measured velocity(29s)

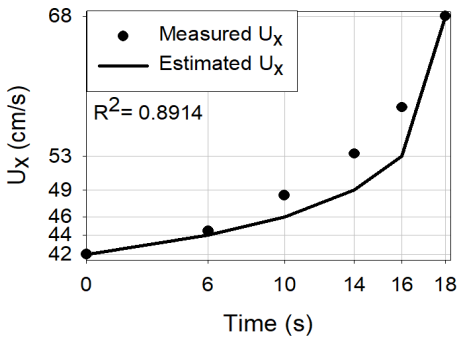


Fig. 16. Estimated and measured velocity(23s)

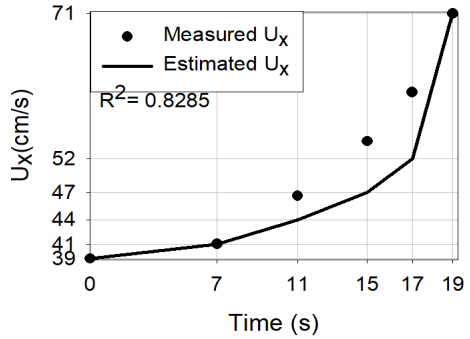


Fig. 20. Estimated and measured velocity(31s)

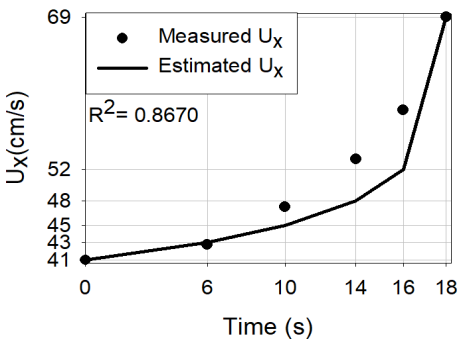


Fig. 17. Estimated and measured velocity(25s)

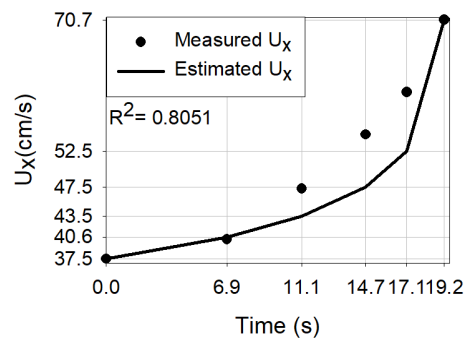


Fig. 21. Estimated and measured velocity(33s)

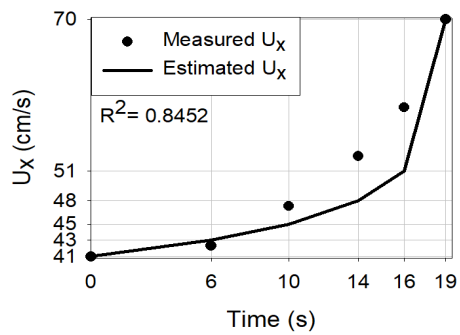


Fig. 18. Estimated and measured velocity(27s)

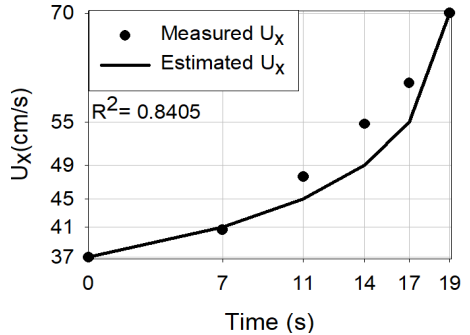


Fig. 22. Estimated and measured velocity(35s)

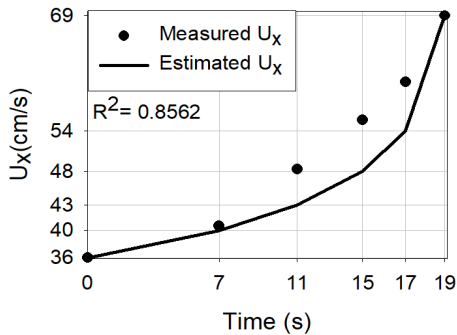


Fig. 23. Estimated and measured velocity(37s)

3.3.3 결과치 분석

각 지점의 유속을 구해 연구에서 제시된 유속과 이동 거리의 식에 적용한 결과 이동거리의 R^2 는 0.9982~0.9997로 나타났으며 유속의 R^2 는 0.8051~0.9483으로 상관계수가 높게 나왔으며 이를 통해 실제 하천이나 개수로의 유속에 적용할 수 있음을 알 수 있다.

하지만 본 논문에서 사용된 데이터는 각 지점의 정확한 유속이 아닌 유량과 단면적의 관계로 얻은 유속을 사용한 한계점이 있다. 유량은 각 구간의 유량이 아닌 수로 전체의 평균 유량이기 때문에 유량이 급증한 시간의 유속은 실제 지점의 유속보다 크거나 작게 산정된 부분이 있으며 각 지점에 물의 흐름이 도착하는 시간이 실제 측정 이루어진 시간과 일치하지 않아 가장 근접한 시간 데이터 2개의 평균의 유량과 수심을 사용하여 실제 유속과 오차가 생겼다. 이에 따라 각 지점의 정확한 유속데이터가 주어진 다양한 실험실 수로와 실제 하천의 실측자료를 사용해 본 연구가 진행된다면 더 높은 정확도를 보일 것으로 판단된다.

4. 결론

수자원 구조물을 활용하는 데 있어서 유속은 매우 중요하다. 하지만 부정류의 신뢰성 있는 유속 공식이 없어 통용되는 등류 공식을 사용하거나 수심이나 유량의 식으로 유속을 산정해왔다. 따라서 본 연구에서는 확률적인 엔트로피 이론을 바탕으로 부정류의 시간에 따라 이동한 지점의 유속과 거리를 동시에 구할 수 있는 공식을 제안하였고 이론식에 포함된 매개변수를 실제 데이터와 비교하여 산정하였다. 산정된 매개변수를 통해 흐름의 초기 유속, 종점 유속, 유하시간만 알면 이동한 지점의 유속을

알 수 있으며 이를 식의 효용성을 Song의 실측한 개수로 실험 자료로 검증하였다. 관측치와 이론치를 비교해본 결과 거리의 상관계수는 0.99대를 보였으며 유속의 경우 상관계수가 모두 0.80보다 높아 높은 상관도를 보임을 확인했다.

본 연구의 식을 이용하면 유량의 변동이 커 예측하기가 힘든 부정류나 홍수기의 유속과 이동거리를 하천이나 수로가 가진 대표 매개변수를 이용하여 실측하지 않아도 실시간으로 구할 수 있다. 하지만 식에서 유속과 거리를 구하는 데 필요한 매개변수 λ_x 는 시간에 따라 값이 변해 실제 바로 적용하기에는 힘든 한계점이 있다. 이는 여러 시간의 데이터에 대해 다중회귀분석을 시행하여 대표 매개변수를 산정하면 하천이나 수로의 모든 시간에 적용 가능한 식을 구할 수 있으며 이를 통해 추후 홍수 시의 시간의 흐름에 따라 유속을 예측해 피해를 최소화하도록 구조물을 활용하는 데 사용될 수 있다. 추가로 유속과 거리를 x축에만 적용하는 것이 아닌 Fig. 1의 z축에 적용하여 식으로 하천의 고도를 산정한다면 수평과 수직거리로 하천의 종단면도를 작성할 수 있으며 이를 GIS의 공간분석 정보와 비교하여 정확한 고도와 거리를 얻어 하천의 더 정확한 흐름 정보를 얻을 수 있다.

GIS는 지리정보시스템으로 다양한 지형자료를 기존 모형과 연계를 하여 모형의 결과를 가시적으로 나타내는데 사용된다. 본 연구는 시간에 따라 흐름이 변하는 부정류의 이동거리와 그 지점의 유속을 실측이 아닌 하천 특성 인자로 구할 수 있게 함으로 GIS와 본 연구를 결합하면 공간적 모델에 시간의 개념을 도입할 수 있다. GIS 지형 모델에 기상청이나 낙동강 유역의 수위 자료를 통해 얻은 유속과 이동거리의 정보를 입력한다면 수문 정보에 따른 공간 모델을 얻을 수 있고 이 과정을 홍수기에 시행한다면 홍수기 수위에 따른 고도나 지형 값에 따른 홍수 경보 및 예보에 활용할 수 있을 것으로 예상된다. 현재 GIS는 돌발홍수 경보나 범람구역 예측 분야에 사용하기 위한 연구가 이뤄지고 있지만, 물의 흐름을 분석하기보다 침수지역의 고도와 경사 등 지형학적 요소만으로 분석이 이루어지고 있다. 따라서 본 연구의 식을 GIS 분석 요소에 결합한다면 공간 특성만으로 홍수를 예측하는 것이 아닌 물의 흐름까지 고려한 예측이 가능할 것이다.

References

[1] T. H. Choo, "A Method of Discharge Measurement

- using the Entropy Concept (I) - Based on the Maximum Velocity -, *Journal of Korean society of civil engineers*, Vol.43, No.3, pp.496, Jul. 2002.
- [2] M. B. David, L. D. Stanley, "Comparison of Constitutive Flow Resistance Equations Based on the Manning and Chezy Equations Applied to Natural Rivers", *Journal of Water Resources Research*, Vol.40, No.11, pp.1~7, Nov. 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1029/2004WR003776>
- [3] Rantz et al, U.S. Geological Survey water-supply paper, Research report, U.S. Geological Survey, USA, pp. 285-388.
- [4] C. L. Chiu, "Entropy and probability concepts in Hydraulics, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol.113, No.5, pp. 583-599, May. 1987.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1987\)113:5\(583\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1987)113:5(583))
- [5] C. J. Lee, I. W. Seo, C. W. Kim, W. Kim, "Application of Chiu's Two Dimensional Velocity Distribution Equations to Natural Rivers", *Journal of the Korea Water Resources Association*, Vol.40, No.12, pp.957-968, Dec. 2007.
DOI: <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2007.40.12.957>
- [6] C. Y. Kim, *Development of Velocity Profile Method for Streamflow Estimation and Its Applicability*, Ph.D Dissertation, Inha University, pp. 1-8, 2010.
- [7] M. K. Park, C. S. Uhm, Y. S. Song, M. J. Park, "Natural River Flow Characteristics Using Chiu Velocity Distribution", *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.12, No.4, pp.209-214, Aug. 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2012.12.4.209>
- [8] C. H. Gwon, *A Study on the Estimation of Entropy Parameters for Estimating Mean Velocity in Natural Streams*, Master's thesis, Pusan National University, pp.48-49, 2020.
- [9] S. K. Kim, *A Study on the Topographical Characteristics for Management of Small River Basins Using GIS*, Master's thesis, Chonnam National University, pp. 1-6, 2005.
- [10] K. S. Jeong, H. S. Cho, J. Y Kim, M. P. Sim, "Analysis of Drying Streams Characteristics Using a GIS", *Journal of the Korea Water Resources Association*, Vol.36, No.6, pp.1083-1095, Dec. 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2003.36.6.1083>
- [11] H. J. Yoo, D. S. Kim, "Development of a GIS-based Method for Estimating and Representing Stream Slopes Along the River", *Journal of the Korea Water Resources Association*, Vol.36, No.6, pp.612-612, May 2012.
- [12] C. E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication", *Bell System Technical Journal*, Vol.27, No.3, pp. 379-423, Jul. 1948
DOI: <https://doi.org/10.1145/584091.584093>
- [13] T. Song, "Velocity and turbulence distribution in non-uniform and unsteady open channel flow", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.122, No.3 Mar. 1996.
DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1996\)122:3\(141\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1996)122:3(141))
- [14] T. H. Choo, D. G. Ko, S. J. Lee, "Estimation of Discharge Using Mean Velocity Equations", *Journal of Korean water resources association*, Korea Water Resources Association, Vol.43, No.3, pp. 265-273, Mar. 2010.
- [15] T. H. Choo, S. J. Lee, S. W. Park, R. S. Oh, "Estimation of Rivers Discharge by Probabilistic Velocity Function Considering Hydraulic Characteristics", *Journal of Korean society of civil engineers*, Vol.29, No.6B, pp.537-542, Nov. 2009.
- [16] H. J. Yang, *Formula for Calculating Mean Velocity in Mountain Streams Using the Salt-dilution Method*, Ph .D. Dissertation, Seoul University, pp.1-5, 2018
- [17] J. C. Seo, *A Study on the Estimation of River Discharge in the Flood Season Using the Chezy's Equation*, Ph .D. Dissertation, Busan University, pp.1-5, 2020.
- [18] M. G. Noh, *A study on equilibrium state of velocity using the entropy concept*, Ph .D. Dissertation, Busan University, pp.1-3, 2008.
- [19] Y. S. Cho, D. K. Lee, H. Kim, M. W. Won, "Determination of Stream Longitudinal Elevation from Entropy", *Journal of Korean society of civil engineers*, No.10, pp. 2142-2147 Oct. 2003.
- [20] M. W. Jeon, D. K. Lee, "Estimation of Stream Geomorphological Characteristics based on the Informational Entropy", *Journal of wetlands research*, Vol.11, No.2, pp.89-98, Jan. 2009.

김 성 루(Seong-Ryul Kim)

[정회원]



• 2016년 9월 ~ 현재 : 부산대학교
사회환경시스템공학과 박사과정

<관심분야>

토목공학, 수공학, 하천공학

문 지 현(Ji-Hyun Moon)

[준회원]



- 2018년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 토목공학전공 학사과정

<관심분야>
토목공학, 수공학

추 연 문(Yeon-Moon Choo)

[정회원]



- 2018년 2월 : 고려대학교 건축사 회환경공학과 (공학박사)
- 2018년 2월 ~ 2018년 9월 : 고려대학교 방재연구소 연구교수
- 2018년 10월 ~ 2020년 8월 : 부산대학교 BK21+사업단 계약교수
- 2020년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 생산기술연구소 연수연구원

<관심분야>
토목공학, 수공학, 정보엔트로피이론

전 해 성(Hae-Sung Jeon)

[정회원]



- 2019년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

<관심분야>
토목공학, 수공학

서 종 철(Jong-Chal Sue)

[정회원]



- 2020년 2월 : 부산대학교 산업대학원 토목공학전공 (공학석사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학과 박사과정

<관심분야>
토목공학, 수공학