

ORIGINAL ARTICLE

엔트로피 개념을 이용한 제주도 상시하천의 평균유속분포 추정

양세창 · 양성기^{1)*} · 김용석¹⁾

제주특별자치도의회, ¹⁾제주대학교 토목공학과

Mean Velocity Distribution of Natural Stream using Entropy Concept in Jeju

Se-Chang Yang, Sung-Kee Yang^{1)*}, Yong-Suk Kim¹⁾

Jeju Special self-governing provincial council, Jeju 63119, Korea

¹⁾Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

Abstract

We computed parameters that affect velocity distribution by applying Chiu's two-dimensional velocity distribution equation based on the theory of entropy probability and acoustic doppler current profiler (ADCP) of Jungmun-stream, Akgeun-stream, and Yeonoe-stream among the nine streams in Jeju Province between July 2011 and June 2015. In addition, velocity and flow were calculated using a surface image velocimeter to evaluate the parameters estimated in the velocity observation section of the streams. The mean error rate of flow based on ADCP velocity data was 16.01% with flow calculated using the conventional depth-averaged velocity conversion factor (0.85), 6.02% with flow calculated using the surface velocity and mean velocity regression factor, and 4.58% with flow calculated using Chiu's two-dimensional velocity distribution equation. If surface velocity by a non-contact velocimeter is calculated as mean velocity, the error rate increases for large streams in the inland areas of Korea. Therefore, flow can be calculated precisely by utilizing the velocity distribution equation that accounts for stream flow characteristics and velocity distribution, instead of the conventional depth-averaged conversion factor (0.85).

Key Words : ADCP, Chiu, Entropy, Kalesto

1. 서론

최근 빈번히 발생하는 자연재해 피해의 원인 중 수재해가 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 발생 빈도와 규모도 점진적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 따라서 기후변화의 영향에 의한 국지적·지역적 하천유출 특성을

파악하여 치수 목적의 하천치수체계 구축과 이수 목적의 운영·관리대책수립이 필요하다. 특히 기초 홍수수문성분 자료인 하천 유량자료의 지속적인 관측과 적절한 분석이 수행되어야만 지역특수성을 고려한 치수·이수 목적의 효율적인 수자원대책을 수립할 수 있다.

제주도는 우리나라 최다우 지역으로써 연평균 강우량이

Received 28 January, 2019; Revised 22 May, 2019;

Accepted 31 May, 2019

*Corresponding author: Sung-Kee Yang, Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea
Phone : +82-64-754-3451
E-mail : skyang@jejunu.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

※ 본 논문은 2018년도 제주대학교의 박사 학위논문의 축약본(일부)입니다.

약 2,061 mm에 달하지만 투수성이 높은 화산암질의 지질구조로 인해 전체 143개의 하천(지방 2급 하천 60개소, 소하천 83개소) 중 9개소의 상시하천을 제외한 모든 하천이 평상시 물이 흐르지 않는 건천을 형성하고 있다(Yang, 2007). 이러한 수문환경은 우리나라 내륙지방과는 매우 상이하거나 특이하여 특수지역으로 분류하기도 한다. 대부분의 하천은 한라산을 중심으로 경사가 급한 남·북부 사면의 제주시와 서귀포시를 중심으로 분포하고 있으며, 상대적으로 경사가 완만한 동·서부지역은 하천 발달이 매우 빈약한 특징을 나타낸다(Yang et al., 2011).

기존의 하천 유량조사를 위한 유속측정방법에는 평수기 시 프로펠러 회전식 및 전기식 유속계를 활용한 도섭법이 이용되고 있으며, 홍수기에는 부자를 이용한 유속관측 등 주로 접촉식 유속측정결과를 하천단면에 적용하여 유량으로 산정하는 방법이 활용되고 있다. 그러나 현장관측 과정에서 많은 인력과 시간이 요구되며 측정방법과 측정시간에 따른 오차발생 문제와 홍수 유출 시에는 관측자의 안전에 위험이 있어 상황에 따라 적용 불가능한 단점도 있다. 따라서 이를 해결하기 위해 비접촉식 유속측정방법으로 보다 간편하고 정밀하게 유속을 측정할 수 있는 장비개발과 측정방법을 개선하려는 많은 연구들이 수행되고 있다(Kim et al., 2011).

비접촉식 유속측정 방법으로 관측된 유속은 관측 지점의 표면유속을 나타내고 있어 유량으로 산정하는 과정에서 평균유속으로 변환하는 과정이 필요하다. 이 과정에서 하천의 규모 및 상류부 굴곡부의 영향 등 하천 흐름 특성과는 관계없이 일률적으로 수심평균유속환산계수인 0.85를 표면유속에 적용하도록 제시되고 있어 하천 흐름의 특성을 반영한 타당성과 개선이 필요하다.

자연하천과 같은 개수로의 수직유속분포는 유속관측 지점의 횡방향 단면형상과 하도를 구성하는 조도계수 특성, 상류지점의 굴곡부 등의 영향을 받으므로 하천의 특성에 따라 각기 다르며, 하천별·단면별 매우 상이한 유속분포를 보인다.

전자파를 이용한 비접촉식 유속관측기법으로 표면유속을 관측하여 유량으로 환산하는 과정에서 일률적인 수심평균유속환산계수의 적용에 대한 적정성 및 신뢰성에 대한 문제와 평균유속의 대표치에 대한 검토가 필요하다. 특히, 하천의 실측 유속자료 부족으로 인해 하천단면의

유속분포를 모의하는 연구는 매우 부족하며, 자연하천의 정밀한 흐름 측정과 하천유량의 산정과정에 대한 고찰도 필요하다.

이 연구에서는 2011년 7월 22일부터 2015년 6월 5일까지 제주도 남부에 위치한 9개 상시하천 중 중문천, 악근천, 연외천을 대상으로 월 1~2회 음향 도플러 유속계(Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)를 활용한 하천현장 유속관측 자료와 엔트로피 확률기법을 이론적 기초로한 Chiu-2차원 유속분포식을 이용하여 흐름 특성에 관여하는 매개변수를 추정하였다. 또한 하천의 횡단면 유속분포 구간에서 추정된 매개변수를 검증하기 위해 하천현장에서 표면영상유속계(Surface Image Velocimeter, SIV)를 활용하여 유속 및 유량을 산정하고 동 시간에 관측된 ADCP의 관측유량과 비교·검토하였다. 연구대상 하천의 유속분포 특성을 고려한 정밀도 높은 유량을 산정하기 위하여 유속분포식과 기존 수심평균환산계수(0.85)에 의한 산정유량을 비교·분석하고, ADCP 실측 유속자료의 표면유속과 평균유속 회귀계수에 의한 산정유량을 비교·분석하고 검증하였다.

2. 연구 방법

2.1. 연구대상 하천

연구대상 지역의 상시하천 분포 현황은 전체 9개 상시하천 중 제주도 지역 2개소(광령천, 옹포천) 하천을 제외한 7개소 하천(창고천, 예래천, 중문천, 강정천, 악근천, 연외천, 동홍천)이 주로 서귀포 지역에 위치하고 있으며, 이들 상시하천은 강수가 중산간 지역에서 대부분 지하수로 함양되어 하류부에서 기저유출형태로 발생하고 있다(Kim et al., 2014). 이중 제주도 중서귀 지역의 3개소 하천(중문천, 악근천, 연외천)을 중심으로 2011년 7월 22일부터 2015년 6월 5일까지 연구대상 하천을 대상으로 최신관측 장비인 ADCP를 활용하여 하천별로 관측지점을 동일하게 관측을 수행하였으며 하천별 흐름특성에 관계되는 엔트로피계수를 산정하는데 적용하였다.

2.2. 관측자료

2.2.1. ADCP 현장 실측자료 구축

특정 하천의 흐름 조건에 관계되는 매개변수(Chiu-2차원 유속분포식의 관련 매개변수)를 추정하기 위해

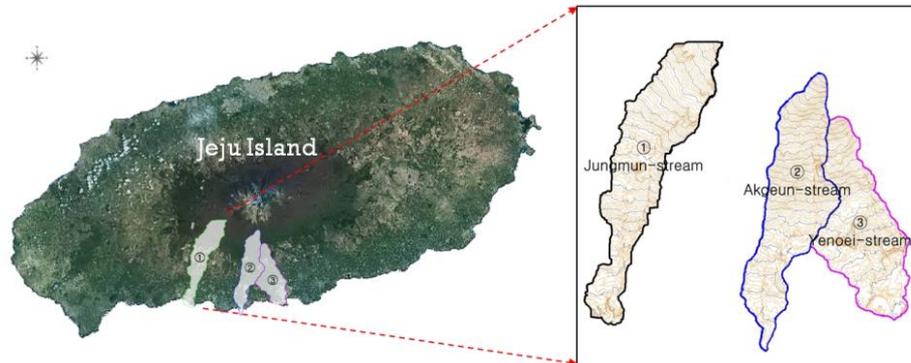


Fig. 1. Map of basin for this study in Jeju Island.

Table 1. Geological features of the studied basin

Stream	Drainage area (km ²)	Basin length (km)	Average width (km)	Shape factor
Jungmun basin	26.29	12.89	2.29	0.16
Akgeun basin	22.99	17.37	1.32	0.08
Yeonoel basin	19.46	9.06	2.14	0.24

2011년 7월 22일부터 2015년 6월 5일까지 제주도 남부 지역에 위치한 중문천, 악근천, 연외천을 대상으로 ADCP를 활용하여 동일 관측지점의 지속적인 유속 및 유량을 측정하였다. 관측된 ADCP 자료는 Chiu-2차원 유속분포식을 자연하천에 적용하는 과정에서 해당하천의 유속분포를 분석하고 매개변수를 추정하는데 사용된다.

이 연구에서는 대상하천을 대표하는 유속분포를 모의하기 위해 SonTek사의 River Surveyer M9 ADCP를 사용 관측기간 동안 동일지점을 대상으로 정밀한 관측을 실시하였다. 관측에 사용된 M9 ADCP의 장비특징은 저수심과 고수심에 사용하도록 설계되었으며 센서 부의 수심측정기를 별도로 장착한 9개의 빔으로 구성되어있다 (SonTek, 2010).

Fig.3은 관측기간 동안의 일강우량과 연구대상 하천별 ADCP관측 유량을 나타낸다. 2011년과 2012년에는 6월에서 10월까지 약 9회의 대규모 집중호우와 태풍 내습의 영향이 많은 이유로 수위 및 유량이 전반적으로 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 상대적으로 강우빈도가

적은 11월부터 다음해 5월까지의 수위 및 유량이 감소하는 경향을 나타냈다. 반대로 2013년에는 제주도의 극심한 가뭄의 영향으로 평년에 비해 수위가 30~50% 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 2014년에는 3회의 집중호우와 3회의 태풍 내습의 영향으로 2012년도와 유사한 수위 및 유량결과를 나타내고 있으며, 전체적으로 해당년도의 강우빈도에 따라 수위 및 유량이 직접적으로 영향을 나타내는 것으로 보인다. 강우빈도에 따라 상시하천의 수위 및 유량변동에 직접적인 영향을 미치는 수문학적 특징은 향후 해당 지역의 이수 및 치수에 대한 계획 수립 시 이러한 지역특성을 고려할 필요성이 있다.

2.2.2. 표면영상유속계(SIV) 관측 자료

ADCP 실측자료를 활용하여 Chiu-2차원 유속분포식에 관계되는 매개변수를 추정하고 검증에 의해 표면영상 유속계(SIV)를 활용하였다. 표면영상유속계(SIV)로 관측된 표면유속을 평균유속으로 환산하는 과정에서 기존의 방법인 0.85를 적용하여 산정한 유량과 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하여 산정된 평균유속을 적용한 유량 결과를 비교하고 동시간에 관측한 ADCP의 유량관측결

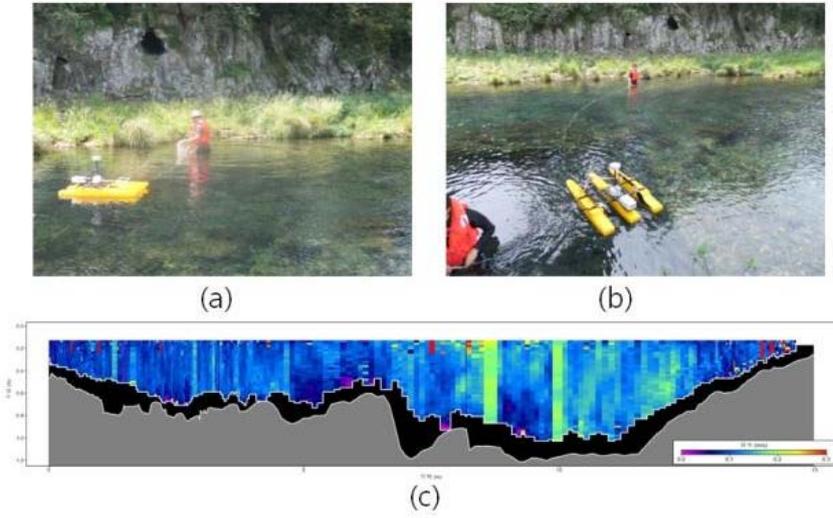


Fig. 2. Application point of the ADCP in study area; a), b) Photos of the field application; c) Applied to cross-section of ADCP.

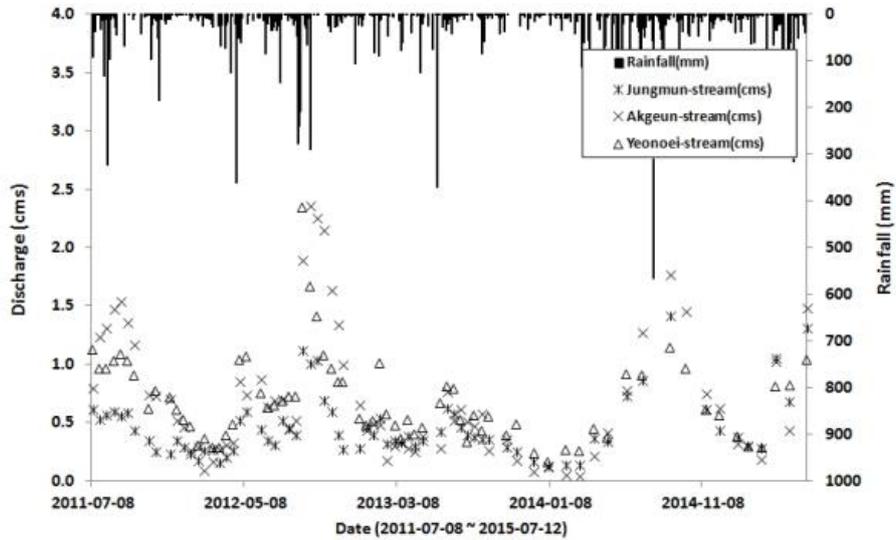


Fig. 3. Rainfall and discharge observation of stream.

과와 비교하였다.

2.3. Chiu-2차원 유속분포식

Chiu-2차원 유속분포식을 실제 자연하천에 적용하는 과정에서 관계식에 관련되는 매개변수를 추정하기 위해 ADCP의 단면 유속분포자료를 분석하였다. 제주도 상시

하천의 흐름특성을 분석하기 위해 Chiu-2차원 유속분포식을 적용하는 이유는 특정 하천 단면의 유속분포 특성으로부터 단면평균유속을 유도과정이 실험단면 뿐만 아니라 불규칙한 자연하천에서의 적용성과 효율성이 인정되고 있기 때문이다. Chiu-2차원 유속분포식에 관계되는 매개변수 중 특정 하천단면에서 엔트로피계수(M)는



Fig. 4. Observation point (Yeoneoi-stream); a) State of the usual flow; b) Using tracer-particle.

일정하다고 가정할 수 있으며 표면유속 또는 최대유속을 이용하여 평균유속으로 유도할 수 있다(Lee et al., 2007, Kim et al., 2008, Choo et al., 2010).

Chiu-2차원 유속분포식을 표면유속의 관계로 유도하면 다음 식 (1)과 같이 정리할 수 있다(Choo, 1999).

$$u_{surf} = \frac{u_{max}}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{\xi_{surf} - \xi_0}{\xi_{max} - \xi_0} \right] \quad (1)$$

여기서 M 은 해당 하천단면의 고유한 특성을 나타내는 엔트로피 계수이며, u 는 수로단면의 공간적인 시간평균 유속, u_{max} 는 최대유속, ξ 는 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 제시되는 식으로 나타낸다.

Chiu-2차원 유속분포식에서 엔트로피 계수 M 은 해당 하천의 유속분포의 동질성을 결정하며 유도식은 다음의 식 (2)와 같다.

$$\Phi(M) = \frac{\bar{u}}{u_{max}} = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \quad (2)$$

여기서 $\Phi(M)$ 은 최대유속과 평균유속의 비율을 나타내며 엔트로피 계수의 함수이다. 즉 해당 하천의 유속분포에 대한 특성 함수를 의미한다. 이 식을 적용하여 ADCP의 실측자료를 이용하여 역으로 M 을 계산한다. 또한, 유속의 공간적 분포를 모델링하기 위해 다음 식 (3)을 사용하였다(Chiu, 1989).

$$\xi = \frac{y}{D-h} \exp\left(1 - \frac{y}{D-h}\right) \quad (3)$$

여기서 u_{surf} 는 수표면 유속, ξ_{surf} 는 수표면 유속이 발생하는 곳의 ξ 값을 나타내며, 계산에 필요한 ξ_{surf} 및 ξ_{max} 는 각각 식 (4), 식 (5)와 같다(Choo, 2006).

$$\xi_{max} = \frac{y}{D-h} \exp\left(1 - \frac{y}{D-h}\right) = 1 \quad (\because y = D-h) \quad (4)$$

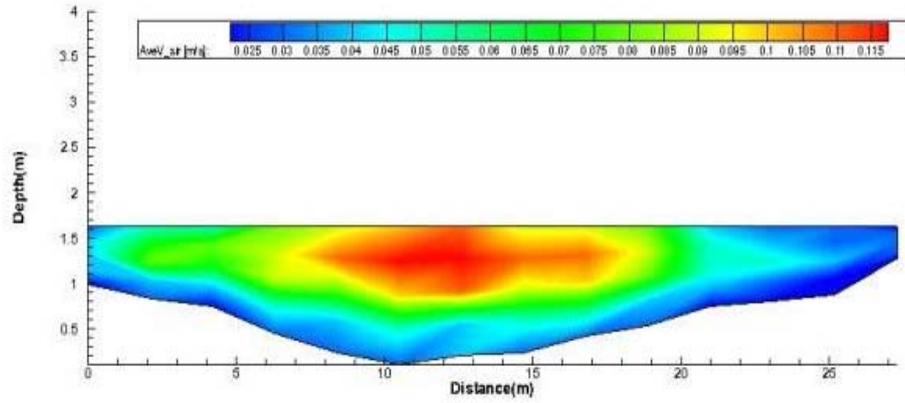
$$\xi_{surf} = \frac{D}{D-h} \exp\left(1 - \frac{D}{D-h}\right) \quad (5)$$

따라서 하상 바닥에서의 $\xi_0 = 0$ 과 식 (4)을 식 (1)에 대입하면 다음과 같은 식 (6)을 얻을 수 있으며, ξ_{surf} 항으로 정리하면 식 (7)과 같다(Choo, 2006).

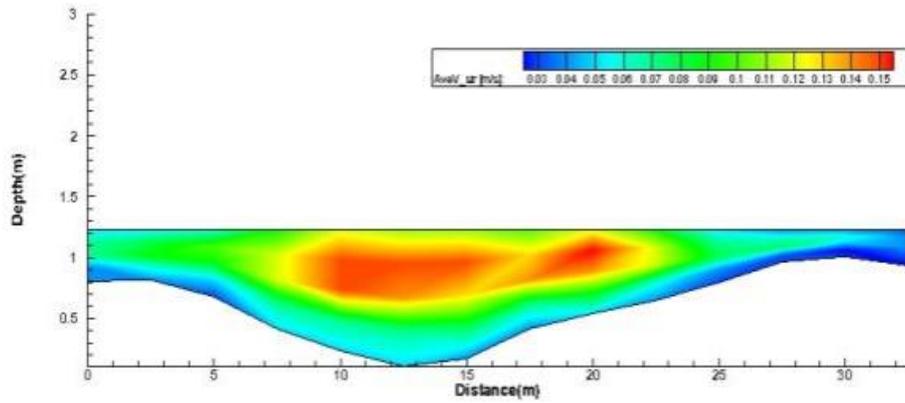
$$u_{surf} = \frac{u_{max}}{M} \ln [1 + (e^M - 1) \cdot \xi_{surf}] \quad (6)$$

$$\xi_{surf} = \frac{\exp\left(\frac{u_{surf}}{u_{max}} \cdot M\right) - 1}{e^M - 1} \quad (7)$$

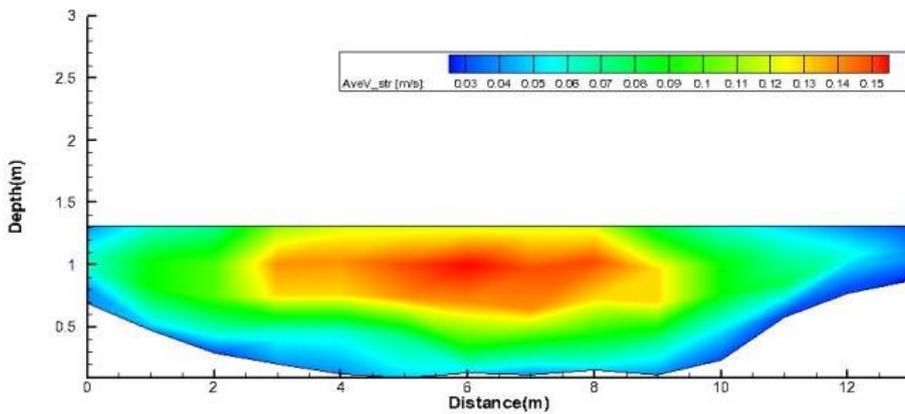
위와 같이 산정된 식 (7)을 식 (5)에 대입하여 정리하면 표면유속으로부터 최대유속을 구할 수 있는 식 (8)을 구할 수 있다(Choo, 2006).



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Analysis result of flow velocity distribution (2011~2015year average); a) Jungmun-stream b) Akgeun-stream, c) Yenoei-stream.

Table 2. Analysis result of average flow characteristics (2011~2015year average)

Stream	Average water depth (m)	Average surface velocity (m/s)	maximum velocity (m/s)	minimum velocity (m/s)
Jungmun	1.6318	0.0629	0.1214	0.0178
Akgeun	1.2320	0.0782	0.1596	0.0227
Yenoeci	1.3132	0.0829	0.1668	0.0247

Table 3. Result of parameter calculation for the study stream

Stream	$\Phi(M)$	M	ξ_{surf}
Jungmun	0.7026	3.1136	0.4620
Gangjung	0.7381	3.3459	0.4375
Akgeun	0.7021	2.7413	0.4124
Yenoeci	0.7173	3.0597	0.4200

$$\frac{D}{D-h} \exp\left(1 - \frac{D}{D-h}\right) = \frac{\exp\left(\frac{u_{surf}}{u_{max}} \cdot M\right) - 1}{e^M - 1} \quad (8)$$

또한 평균유속과 최대유속의 관계는 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다(Chiu, 1995).

$$\bar{U} = \Phi \cdot u_{max} \quad (9)$$

위의 유도식을 적용하여 해당 하천의 Chiu-2차원 유속분포식에 관계되는 특성 매개변수를 추정하고 관측된 표면유속을 이용하여 최대유속을 산정한 다음 각각 평균유속으로 변환하여 중간단면법을 적용하여 유량을 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 평균유속분포 특성 및 해석

Fig. 5는 2011년부터 2015년까지 총 72회로 관측된 ADCP 데이터를 전체 평균하여 관측 횟수에 부합되는 연구대상 하천의 대표 유속분포를 나타낸다. 이 같은 결과는 72회 관측 횟수에 부합(2011년~2015년)되는 중문천 ADCP 관측지점을 대표(평균산출)하는 흐름 특성으로써 관련 데이터를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 엔트로피계수(M)와 유속의 공간적 분포를 모델링하기

위해 제시되는 ξ_{surf} 를 추정하는데 적용된다.

3.2. 실측자료 비교·분석에 의한 매개변수의 적정성 검토

Chiu-2차원 유속분포식을 자연하천에 적용하는 과정에서 연구대상하천의 흐름특성 및 유속분포를 나타낼 수 있는 매개변수 추정과정이 매우 중요하다. 본 연구에서는 ADCP 실측자료를 활용하여 년도별 평균 최대유속과 평균유속을 분석하고 엔트로피 계수(M)를 산정한 결과와 ξ_{surf} 를 추정하였다. 연구대상하천(중문천, 약근천, 연외천)을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 매개변수를 추정한 결과는 다음과 같다(Table 3).

중문천을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식에 적용되는 매개변수의 추정 결과를 검증하기 위해 관측기간의 ADCP 표면유속자료와 Chiu-2차원 유속분포식에 산정된 표면유속결과를 비교한 결과는 R^2 이 0.9267로 높은 상관결과를 나타냈다. 또한 약근천과 연외천의 R^2 가 각각 0.8677, 0.8988로 나타났으며, 이러한 결과는 연구대상하천을 대상으로 Chiu-2차원 유속분포식을 적용하는 과정에서 ADCP 실측자료를 활용하여 추정한 매개변수의 평균값 사용에 대한 타당성을 나타낸다(Fig. 6).

3.3. 자연하천의 현장유량 검증

Chiu-2차원 유속분포식에 관계된 하천 매개변수의 추정을 위해 연구대상 하천의 ADCP 실측자료를 활용하였다. 추정된 매개변수의 현장 적용성 확인을 위해 연구대상 하천의 동일 관측지점에서 표면영상유속계(SIV)를

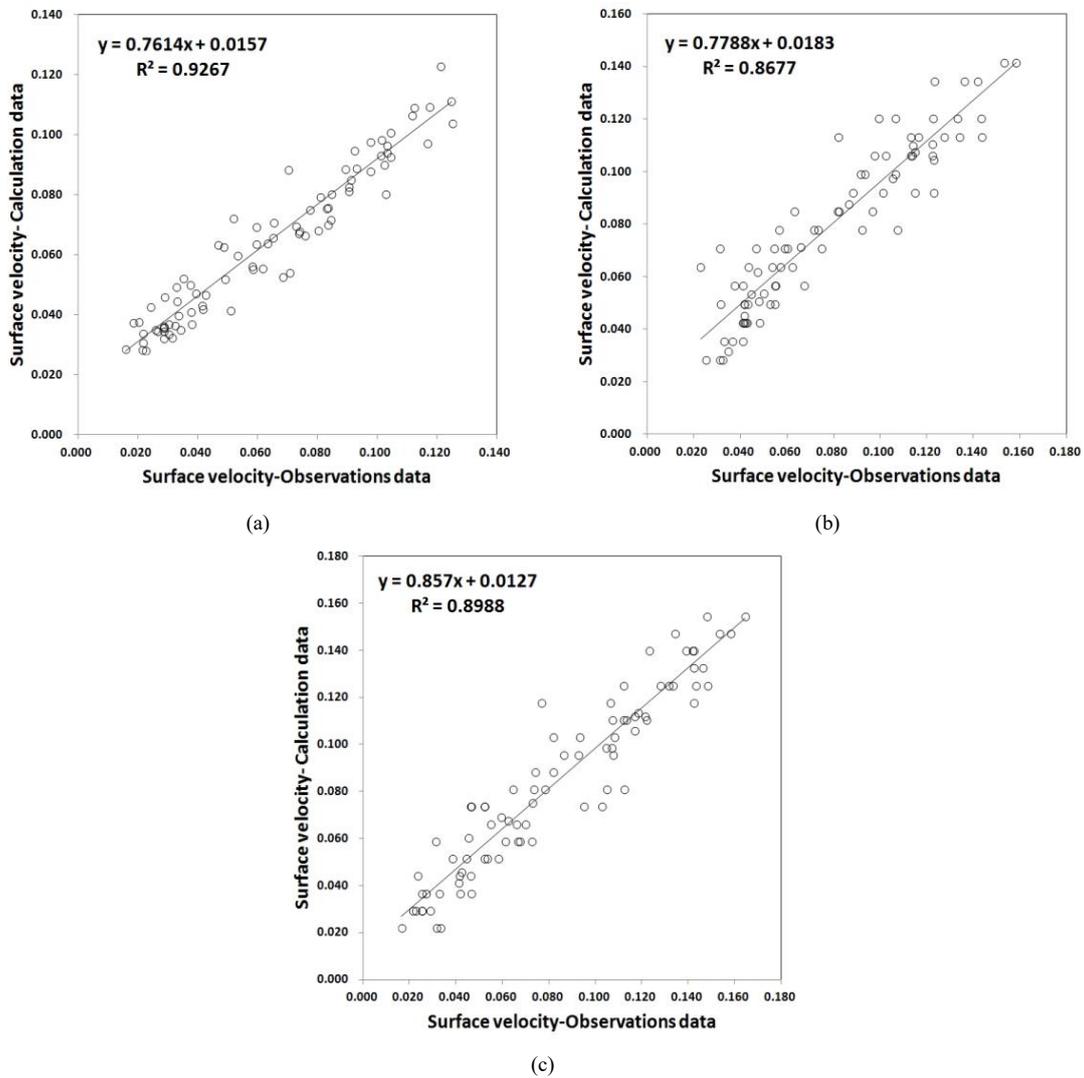


Fig. 6. One-to-one relationships of velocity measurement between the observation data and the calculation data; a) Jungmun-stream b) Akgeun-stream, c) Yenoei-stream.

적용하여 유량을 산정하고 동시에 ADCP에 의한 실측유량을 비교·분석하였다. 이 과정에서 표면영상유속계(SIV)로 산정된 각 하천의 표면유속에 기존 수심평균유속환산계수(0.85)를 적용하여 산정한 유량과 실측자료의 표면유속·평균유속의 회귀계수를 적용한 산정유량과 비교·분석하여 오차를 산정하였다.

중문천의 ADCP에 의한 실측유량은 평균 0.7348 m^3/s 로 관측되었으며, 표면영상유속계로 분석된 표면유

속에 기존 수심평균유속환산계수(0.85)를 적용하여 산정한 유량은 0.6424 m^3/s 로 ADCP 실측유량과 12.57%의 오차를 나타냈다. 또한 동일한 표면유속에 표면유속·평균유속 회귀계수를 적용하여 산정한 유량은 0.6896 m^3/s 로 산정되었으며 ADCP 실측유량과 오차는 6.14%를 나타냈다. 중문천의 하천 흐름특성을 고려한 Chiu-2차원 유속분포식에 의해 산정된 유량은 0.7090 m^3/s 로 산정되었으며 ADCP 실측유량과 오차

Table 4. Comparison of ADCP discharge, depth-averaged velocity conversion factor(0.85) and regression coefficient calculated discharge

Observation point	ADCP		Using *0.85 Discharge (m ³ /sec)	Using *coefficient Discharge (m ³ /sec)	Using *Chiu Discharge (m ³ /sec)
	Discharge (m ³ /sec)	Average Discharge (m ³ /sec)			
Jungmun-stream	0.681	0.7348	0.6424	0.6896	0.7090
	0.746				
	0.780				
	0.732				
Akgeun-stream	0.733	0.7323	0.5819	0.6755	0.6780
	0.764				
	0.648				
	0.784				
Yenoiei-stream	0.625	0.6765	0.5592	0.6267	0.6404
	0.677				
	0.758				
	0.646				

Table 5. Comparison of error rate of estimation discharge

Observation point	Discharge error rate		
	ADCP / *0.85	ADCP / *Regression coefficient	ADCP / *Chiu
Jungmun-stream	12.57%	6.14%	3.51%
Akgeun-stream	20.53%	7.74%	7.41%
Yenoiei-stream	17.33%	7.36%	5.33%

은 3.51%를 나타냈다.

악근천의 ADCP에 의한 실측유량은 평균 0.7323 m³/s로 관측되었으며, 수심평균유속환산계수(0.85)와 표면유속-평균유속 회귀계수를 적용한 산정유량과 Chiu-2차원 유속분포식의 산정유량은 각각 0.5819 m³/s, 0.6755 m³/s, 0.6780 m³/s로 ADCP 실측유량과 비교 시 20.53%, 7.74%, 7.41%의 오차율을 나타냈다.

연외천의 ADCP에 의한 실측유량은 평균 0.6765 m³/s로 관측되었으며, 수심평균유속환산계수(0.85)와 표면유속-평균유속 회귀계수를 적용한 산정유량과 Chiu-2차원 유속분포식의 산정유량은 각각 0.5592 m³/s, 0.6267 m³/s, 0.6404 m³/s로 ADCP 실측유량과 비교 시 17.33%, 7.36%, 5.33%의 오차율을 나타냈다.

연구대상 하천의 ADCP 실측유량과 표면영상유속계로 분석된 표면유속을 Chiu-2차원 유속분포식에 적용하

여 산정한 유량과의 오차율은 평균 4.58%를 나타냈으며, 기존 수심평균유속환산계수(0.85)를 적용한 산정유량과 표면유속-평균유속 회귀식을 적용한 오차율은 각각 평균 16.01%, 6.02%로 분석되어 다른 유량산정방법에 비해 하천의 흐름특성을 고려한 유속분포식의 산정유량이 가장 작은 오차율을 나타냈다. 특히 기존 수심평균유속환산계수(0.85)를 적용한 산정유량이 평균 16.01%를 나타내고 있으므로 일률적인 수심평균환산계수(0.85)의 적용은 지양할 필요가 있으며 하천 흐름특성과 유속분포를 고려한 유속분포식을 적용할 필요가 있다.

4. 결론

제주도 상시하천인 중문천, 악근천, 연외천을 대상으로 2011년 7월 22일부터 2015년 6월 5일까지 ADCP에

의한 실측 유속자료를 이용하여 Chiu-2차원 유속분포에 관여하는 매개변수를 추정하고 검증하였다. 또한, 유속 분포식과 기존 수심평균환산계수(0.85) 및 ADCP 실측에 의한 표면유속과 평균유속 회귀계수에 의한 산정유량을 비교·분석하였다.

ADCP에 의한 단면평균 유속분포를 분석하고 Chiu-2차원 유속분포식의 매개변수를 산정한 결과는 중문천의 엔트로피계수(M)가 3.1136, 약근천 2.7413, 연외천 3.597으로 산정되었으며, ADCP 실측자료에 의한 하천별 최대유속(u_{max})과 평균유속(\bar{u})을 분석하고 엔트로피계수(M)와 등유속선 형상 매개변수(ξ_{surf})를 Chiu-2차원 유속분포식에 적용한 결과, 유속분포식에 의해 산정된 표면유속(u_{surf})과 ADCP의 표면유속과의 R^2 는 중문천 0.9267, 약근천 0.8677, 연외천 0.8988로서 매우 높은 상관성을 보였다.

ADCP 유속자료에 의한 유량과 기존 수심평균유속 환산계수(0.85)를 적용한 산정유량의 오차율은 평균 16.01%, 표면유속·평균유속 회귀계수를 적용한 산정유량과 오차율은 평균 6.02%, Chiu-2차원 유속분포식을 적용한 산정유량과의 오차율은 평균 4.58%로서 비교적 작게 나타났다.

비접촉식 유속계에 의한 표면유속을 평균유속으로 산정 시 적용방법에 따른 오차율은 국내 내륙지역의 대하천에 적용할 경우 더 크게 나타날 수 있다. 따라서 표면유속에 의한 유량산정 시 기존의 일률적인 수심평균환산계수(0.85)의 적용은 지양하고, 하천의 흐름특성과 유속분포를 고려한 유속분포식이 활용되어야 보다 정밀한 유량을 산정할 수 있다.

향후 자연하천에서 홍수유출시 난류성 흐름특성과 관련한 매개변수 추정과정과 홍수량산정에 대한 연구와 독립된 하천의 흐름특성 및 유속분포에 관계되는 매개변수의 정량화에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

REFERENCES

- Chiu, C. L., 1987, Entropy and probability conception hydraulics, *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(5), 583-599.
- Chiu, C. L., 1988, Entropy and 2-D velocity distribution in open channels, *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(10), 783-756.
- Chiu, C. L., 1989, Velocity distribution in open channel flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, 115(5), 576-594.
- Choo, T. H., 2002, A Method of Discharge Measurement using the Entropy Concept(Based on the Maximum Velocity), *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 22(4B), 495-505.
- Choo, T. H., Je, S. J., 2006, A Study on the maximum velocity and the surface velocity, *Journal of the Korea Contents Association*, 4(1), 351-355.
- Kim, S. J., Ryu, K. G., Youn, B. M., 2011, Real-time discharge measurement of the river using fixed-type surface image velocimetry, *Magazine of Korea Water Resources Association*, 44(5), 377-388.
- Muste, M., Vermeyen, T., Hotchkiss, R., Oberg, K., 2007, Acoustic Velocimetry for Riverine Environments," *Journal of Hydraulic Engineering*, 115, 925-936.
- RDI, 1996, Acoustic Doppler Current Profilers-Principle of operation, a practical primer. San Diego, CA, Instruments.
- SonTek, 2010, Doppler Velocity Log for ROV/AUV Applications, *SonTek Newsletter*, 6(1), SonTek, SanDiego, CA.

-
- 양세창, 제주특별자치도의회 정책자문위원
yangsechang@gmail.com
 - 양성기, 제주대학교 토목공학과 교수
skyang@jeju.ac.kr
 - 김용석, 제주대학교 제주수자원연구단 연구원
janggoon2904@naver.com