최대유속과 표면유속에 관한 연구

A Study on the Maximum Velocity and the Surface Velocity

추태호, 제성진
부산대학교

Choo Tai Ho, Je Sung Jin
Pusan Univ.

요약

본 연구의 목적은 모든 하천에서 표면유속만을 이용하여 유량측정을 용이하게 할 수 있는 효과적이고 유용한 측정방법을 개발하는데 있다. 본 연구로 다음과 같은 중요한 결과를 얻었다. 1) 자연하천은 엔트로피 M값에 대응하여 평형상태를 유지하는 경향이 있으며, 2) 표면유속을 이용하여 산정된 계산치와 실측을 비교한 결과 상당히 좋은 일치를 보여주었으며, 3) 하천단면에서 최대유속이 발생하는 지점에서의 표면유속을 이용하여 유량을 산정하는 공식을 개발하였으며, 실측치와 비교한 결과 그 적용성을 확인하였다.

Abstract

The purpose of this study is to develop an efficient and useful equation of discharge measurement which can calculate easily discharge using only the surface velocity in both channels and rivers. The research results show: (1) Natural river have a propensity to establish and maintain an equilibrium state the corresponds to a value of the entropy parameter M; (2) Velocity distribution estimated by the method using surface velocity was compared with that of actual survey. It shows fairly close agreements between the estimated and the observed; (3) Developed equations for calculating the discharge using the surface velocity at the spot of the maximum velocity in a river section were established and show that the method of using fairly acceptable. An entropy based method for determining the discharge using only surface velocity in the rivers has been developed. The method presented is also efficient and applicable in estimating the discharge in high flows during the flood season that are very difficult or impossible to measure before, due to technical or theoretical reasons.

I. 서 론

국내에서 대체로 홍수 유량 측정업무에 부자를 사용하고 있는 것을 보면 홍수 시 측정에 확실한 대안이 없음을 잘 나타내고 있다. 이는 유량측정결과를 기초로 작성된 수위-유량관계식에 대한 의존도가 너무 크고, 이론적인 접근을 소홀히 한데서 기인한다.

특히, 기존의 거의 모든 유속공식이 평균유속 공식을 산정하는데 맞추어 이루어 진 것이 현실이다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고 보다 안전하고 편리하게 홍수 시 유량을 측정할 수 있는 방법을 모색하고 신뢰성 있는 유량 자료를 획득 할 수 있는 방안을 제시하였다.

이를 위하여 통계분야에서 사용되는 엔트로피 개념을 도입한 Chiu의 2차원 유속공식(1986~1995)을 이용하였으며, 실제 하천자료를 이용하여 그 신뢰성 및 적용가능성을 검증하는데 주목적이 있다.

Ⅱ. Chiu의 유속공식

Chui에 의하면 아래와 같이 임의 점에서 2차원 유속공식을 유도할 수 있다. (Chui, 1986~1995).

$$\mu = \frac{\mu_{max}}{M} \ln\left[1 + (e^{M} - 1)\frac{\xi - \xi_0}{\xi_{max} - \xi_0}\right] \qquad (1)$$

여기서, M : 통상 엔트로피 계수라고 함

μ : 수로단면에 공간적으로 부포된 시간평균 유속

μ_{max} : 최대유속

또한, 1차원 수직 평균유속은 식 (1)을 0에서 D까지 적분하면 다음과 같다.(Choo,1990).

$$\overline{\mu}_V = \frac{1}{M}\ln\left[1+(e^M-1)\frac{\xi-\xi_0}{\xi_{max}-\xi_0}\right]dy \quad (2)$$

2차원 평균유속은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\overline{\mu} = \int_0^{\mu_{max}} up(\mu)du = \Phi\mu_{max} \quad (3)$$

여기서, $p(\mu)$: 유속 확률밀도함수

여기서, $\Phi = \frac{e^M}{e^M-1} - \frac{1}{M}$ (4)

식 (3)은 2차원 평균유속 공식이며, 식 (1)은 임의 점에서의 2차원 유속 공식으로 유용한 공식들이다.

만약 주어진 하천의 M값이 결정된다면 필요한 최대유속만을 측정할 수 있다면 필요한 평균유속과 이에 대응한 유량을 쉽게 산정할 수 있는 큰 장점이 있다. 또한 임의점에서의 2차원 유속공식인 식 (1)은 주어진 단면에서 최대유속과 엔트로피 M 값만 산정할 수 있다면, 그 단면이 갖고 있는 전체 유속분포 형태를 나타낼 수 있는 장점을 갖고 있다.

1점법, 2점법 및 3점법에 의하여 측정된 점 유속이 있다면, 이 데이터와 식 (1)과 식(3)을 이용하여 그 단면의 2차원 평균유속을 산정 할 수 있음을 의미한다.(Choo, 1990).

통상 개수로에서는 최대유속이 수표면 아래에서 자주 일어나는 것은 주지의 사실이다. 따라서 유속의 공간적 분포를 모델링 하기 위하여 다음과 같은 식을 사용하였다.(Chiu, 1989).

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

여기서, D : 하천단면상 최대유속 발생 지점의 수심.

h : 수표면서 최대유속이 발생지점까지 거리.

y : 하상으로부터 임의지점까지의 거리.

III. 최대유속과 표면유속의 관계

Chiu의 2차원 유속공식을 표면유속만의 관계로 유도하면, 식(1)의 2차원 유속공식은 다음과 같이 정리할 수 있다. (Choo, 1999).

$$\mu_{surf} = \frac{\mu_{max}}{M}\ln\left[1+(e^M-1)\frac{\xi_{surf}-\xi_0}{\xi_{max}-\xi_0}\right] \quad (6)$$

여기서, μ_{surf}:수표면유속

ξ_{surf}:수표면 유속이 발생되는 곳의 ξ값{식(5) 참조}

여기서, 필요한 ξ_{surf} 및 x_{surf}는 식 (5) 으로부터 정리하면 각각 다음과 같다.

$$\xi_{max} = \frac{D-h}{D-h}\exp\left(1-\frac{D-h}{D-h}\right) = 1 \quad (7)$$

$$\because y = D-h \quad (8)$$

$$\xi_{surf} = \frac{D}{D-h}\exp\left(1-\frac{D}{D-h}\right) \quad (9)$$

따라서 표면유속에 대하여 표현하기 위하여, 하상 바닥에서의 $\xi_0 = 0$과 식 (7)를 식(6)에 대입하면 다음과 같은 식(10)을 얻을 수 있다.

$$\mu_{surf} = \frac{\mu_{max}}{M}\ln[1+(e^M-1)\cdot\xi_{surf}] \quad (10)$$

다시 식 (10)을 ξ_{surf}항으로 정리하면 아래와 같다.

$$\xi_{surf} = \frac{\exp(\frac{\mu_{surf}}{\mu_{max}}\cdot M)-1}{e^M-1} \quad (11)$$

위와 같이 산정된 식 (11)을 식(9)에 대입정리하면 표면유속으로부터 최대유속을 구할 수 있는 식 (12)를 구할수 있다.

$$\frac{D}{D-h}\exp(1-\frac{D}{D-1}) = \frac{\exp(\frac{\mu_{surf}}{\mu_{max}}\cdot M)-1}{e^M-1} \quad (12)$$

여기서, M, D는 각각 엔트로피 계수와 수심

μ_{surf}는 측정된 표면유속값

μ_{max}는 구하고자 하는 하천단면의 최대유속 값

h는 구하고자 하는 하천단면의 매개변수 값

측정된 표면유속값 μ_{surf}만 가지고는 필요한 최대유속값 μ_{max}을 식(12)에서 알 수 있듯이 매개변수 h는 상수 값이 아니라 유속분포형태에 따라서 변하는 변수 값이기 때문에 이에 대한 산정식이 추가로 필요하다.

Ⅳ. 매개변수 h 값의 산정

(1) 매개변수 h가 0일때 : ($\mu_{surf} = \mu_{max}$)

식(12)을 이용하여 최대유속값 μ_{max}을 산정한다.

(2) 매개변수 h가 -값 일때 : ($\mu_{surf} \neq \mu_{max}$, 최대유속이 수면 위에 발생할때)

식 (6)에 $\xi = \xi_m$을 대입하여 다음과 같이 구할 수 있다 (Chiu, 1989).

$$\frac{\xi_m - \xi_0}{\xi_{max} - \xi_0} = \frac{\exp[Me^M(e^M - 1)^{-1} - 1] - 1}{e^M - 1} \tag{13}$$

여기서 $\xi_{max} - \xi_0 = 1$과 $\xi_0 = 0$을 식 (13)에 대입정리하면, ξ_m(평균유속이 발생하는 지점의 ξ 값)은 다음 식으로 나타낼수 있다.

$$\xi_m = \frac{\exp[Me^M(e^M - 1)^{-1} - 1] - 1}{e^M - 1} \tag{14}$$

또한, 식 (3)으로부터 ξ_m은 식 (15)과 같이 재정리할 수가 있다.

$$\xi_m = \frac{y_m}{D-h}\exp\left(1 - \frac{y_m}{D-h}\right) \tag{15}$$

여기서, y_m는 평균유속발생지점의 y값으로 최대유속이 수표면 위에 발생되는 경우에는 아래와 같은 관계가 성립됨을 증명하였다.(Chiu, 1989).

$$y_m = e^{-1} \cdot D \tag{16}$$

따라서 매개변수 h는 수심의 함수임으로, 식 (16)을 식(15)에 대입하고, 그 결과를 식(14)에 대입정리하면,

식(17)와 같이 최대유속이 수표면 위에 발생되는 경우의 매개변수 h값을 산정할 수 있는 식을 얻을 수 있다.(Choo)

$$\frac{e^{-1} \cdot D}{D-h}\exp\left(1 - \frac{e^{-1} \cdot D}{D-h}\right) = \frac{\exp[Me^M(e^M - 1)^{-1} - 1] - 1}{e^M - 1} \tag{17}$$

그러므로 식 (16)에서 h를 구하고, 그 결과와 실측된 표면유속 μ_{surf}을 식 (12)에 대입하면 최대유속 μ_{max}을 산정할 수 있다.

(3) 매개변수 h가 +값 일 때 : ($\mu_{surf} \neq \mu_{max}$, 최대유속이 수면 아래에 발생할때)

이 경우에는 매개변수 h값을 직접 구할 수가 없어, 시산법에 의해 산정하였으며, 아래와 같이 정리하였다.

주어진 단면에서 단면표면유속이 발생되는 지점은, 식(6)에 수 표면에서의 조건인 $\xi = \xi_{surf}$를 대입하면 식 (18)같이 정리 요약된다(Choo, 1999).

$$\frac{\xi_{surf} - \xi_0}{\xi_{max} - \xi_0} = \frac{\exp[\frac{U_{surf}}{U_{surf}} \cdot M] - 1}{e^M - 1} \tag{18}$$

여기서 $\xi_{surf} = \frac{D}{D-h}\exp\left(1 - \frac{D}{D-h}\right)$ (19)

따라서 필요한 매개변수 h값은 식(12), 식(17) 식(13)과 (18)를 동시에 만족하여 구하면 된다.

Ⅴ. 표면유속, 최대유속, 평균유속과 유량과의 관계

표면유속 또는 최대유속과 평균유속의 관계는 식(12)와 같이 나타낼수 있다.(Chiu, 1995).

$$\overline{U} = \phi \cdot \mu_{max} \quad (20)$$

$$\text{여기서} \quad \phi = \frac{e^{M}}{e^{M}-1} - \frac{1}{M} \quad (21)$$

따라서, 매개변수 h가 0일 경우에만 표면유속을 최대 유속(U_{surf}=U_{max})대신에 사용하면 된다.

그 외 경우에는 표면유속으로부터 산정한 최대유속을 식(20)에 적용하여 평균유속을 구하고 여기에 하천의 단면적을 곱하여 필요한 유량을 계산한다.

Ⅵ. 실제하천에 적용

본 연구의 목적은 하천에서 엔트로피 파라매타 M, 표면유속 μ_{surf}과 기본적인 수리량인 D만을 가지고 평균유속 $\overline{\mu}$을 산정하여 필요한 유량 Q을 산정하는데 있다.

이를 위해 시험실과 현장에서 정밀법에 의해서 측정된 기 자료를 사용하여 그 적합성 여부를 분석하였다.

Ⅵ-ⅰ. 유속분포 검증

유속분포의 적합성을 위해서, 기존의 점 유속 자료에서 다음과 같은 절차로 표면유속을 산정하여 이용하였다.

1) 정밀법으로 취득된 점 유속들을 식(1)과 식(5)에 대입, μ_{max}와 M을 계산한다.

2) 산정된 μ_{max}와 M을 식 (6)에 대입하여 필요한 μ_{surf}을 산정한다.

앞에서 언급하였듯이 매개변수 h값의 산정에는 3가지 경우가 있어, 각각에 대한 h값을 산정한 후 필요한 최대유속을 계산하면 유속분포에 필요한 모든 값이 계산된다.

Ⅵ-ⅱ. 유량 검증

유량산정의 타당성을 확인하기 위하여 남한강의 여주 대교지점의 실측자료를 가지고 위의 언급된 방법으로 산정된 값과 비교분석을 시행하였다.

여주대교지점에 대해서는 1995년 홍수기에 전자파 표면유속계를 이용하여 30m 간격으로 유속을 측정한 자료를 사용하였다.

당시의 최대 표면유속은 3.95m/s였으며, 최소 표면유속은 2.05m/s로 나타났다. 또한 충주댐 관리단에서 관측된 댐 방유량은 8,503m^3/s 이었다.

그 당시 수위는 8.74m로 여주대교지점의 수위-유량관계식인 식(22)을 이용하여 그 당시 유량을 계산한 결과 10,417m^3/s 이다.

$$Q = 18.543 \times (h + 0.09295)^{2.9062} \quad (22)$$

또한 실제 전자파 표면 유속계로 측정한 유량은 10,500m^3/s 이었고, 엔트로피 개념에 의하여 최대유속 발생지점의 표면유속을 이용하여 유량을 산정한 결과는 10,065m^3/s로 나타나 실제 측정유량의 96%에 이르렀다.

따라서 추후 정밀법에 의한 지속적인 유량측정을 통한 정밀검증이 필요하다.

Ⅶ. 결 론

본 연구의 목적은 하천에서 엔트로피 파라메타 M, 표면유속 μ_{surf}와 기본적인 수리량인 D만을 가지고 평균유속 $\overline{u}$를 산정하여 유량 Q를 산정하여 실측자료와의 비교분석을 통해 엔트로피 개념을 이용해 산정된 표면유속으로부터 평균유속의 타당성을 검증하는데 있다.

이를 위하여 전 단계인 유속분포의 적합성을 확인하기 위하여 현장에서 정밀법에 의해서 측정된 기 자료를 사용하여 그 적합성 여부를 분석하여 이를 검증하였다.

또한 실측자료와의 비교분석을 통해 엔트로피 개념을 이용해 산정된 표면유속으로부터 평균유속의 타당성을 검증하는데, 우리나라의 유량측정지점중 대표적인 지점으로 한강수계의 여주대교 지점에 대한 과거 유량측정 성과를 이용하여 엔트로피 개념을 이용해 산정된 표면유속으로부터 평균유속의 타당성을 검증하였다.

따라서 기존의 관례화된 유량측정 기법을 좀 더 발전시키기 위해서는 최신유량측정기법 중 하나인 엔트로피 개념을 이용한 유량측정방법 중 표면유속을 이용한 평균유속 산정방법을 홍수기 뿐 아니라 갈. 평수기에도 그 적용성을 검토할 필요가 있겠다.

기존의 유량측정 방법처럼 하천단면을 세분하여 유속을 측정할 필요가 없어 예산 및 인력을 절감할 수 있으며, 홍수량 계측시 매우 유용하게 활용할 수 있다.

▌참 고 문 헌▐

[1] 건설교통부, 금강홍수통제소(1989) 금강유역 유량측정조사(부록).
[2] 건설교통부, 금강홍수통제소(1994) 금강수계 홍수량 측정조사(부록).
[3] 건설교통부(1995) 금강수계 주요지점 유량측정조사(부록).
[4] 건설교통부(1996) 금강수계유량측정조사보고서(부록).
[5] 건설교통부, 금강홍수통제소(1997, 1998, 2000) 금강수계유량측정조사보고서(부록).
[6] 건설교통부, 한강홍수통제소(1997) 한강하류 유량측정보고서(부록).
[7] 건설교통부, 한강홍수통제소(1998,1999) 남한강유역 유량측정조사보고서(부록)
[8] 추태호외 2인(1999)Entropy 개념에 의한 유량측정기법(최대유속을 중심으로), 한국수자원학회 학술 발표회 논문집. pp.599-606.