

# 표면유속을 이용한 하천유량 측정기법 개선

## Application of Discharge Measurement Method using Entropy

김영성\* · 양재린\*\* · 추태호\*\*\* · 고익환\*\*\*\*

Kim, Young Sung · Yang, Jae Rin · Choo, Tae Ho · Ko, Ick Hwan

### 1. 서론

하천의 유량은 용수 공급 목적의 이수 관리나 하천 정비 및 제방축조와 관련된 치수 관리에 가장 중요한 물리량이다. 또한 수질 환경 문제에 있어서도 중요한 변수이다. 하천 유량 측정 업무는 1960년대 말의 다목적 댐 건설 및 유역 조사 사업, 치수 사업 등과 더불어 수행되어 왔는데, 홍수 유량 측정은 여전히 큰 어려움으로 남아 있다.

공사의 실무자들은 현재 사용하고 있는 프로펠러 유속계-권양기 체계로서 하천의 홍수 유량을 측정하는데 큰 어려움을 느끼고 있으며, 대청댐 상류 이원이나 소양강댐 상류 원통 등에 설치된 cable way 조차도 운영하는데 애로를 느끼고 있다. 국내에서는 대체로 홍수 유량 측정 업무에 부자를 사용하고 있는 것을 보면 홍수 유속 측정에 뾰족한 대안이 최소함을 잘 나타내고 있다. 이러한 실정을 감안하여 수자원연구소에서는 우리나라의 하천 여건에 적합한 전자파표면유속계를 1993년 말부터 개발하여 1999년 상품화시켰었다. 이제 전자파표면유속계를 보다 효율적으로 이용하고자 엔트로피 기법을 이용하여 한 유량측정지점에서 유속이 가장 빠른 측선의 표면유속만을 측정하여 유량을 계산하는 기법을 소개코자 한다.

### 2. 엔트로피를 이용한 유속측정의 기본 개념

엔트로피를 이용한 유속측정은 기존의 다년간의 유량측정 성과를 이용하여 단면전체의 평균유속과 최대유속 사이의 관계에서 한 단면의 엔트로피 파라미터  $M$ 을 결정한다. 하천의 횡단면은 이 엔트로피 파라미터에 대응하는 평형상태에 도달하려하고, 또한 이 평형상태를 지속적으로 유지하려고 하기 때문에 이 엔트로피 파라미터  $M$ 값이 결정되면 최대유속이 발생하는 지점에서의 유속측정만으로 평균유속을 구할 수 있고 이로부터 간단히 유량을 측정할 수 있다는 것이다. 또한 엔트로피개념에 의하면 한 지점에 대한 엔트로피 파라미터  $M$ 이 결정되면 최대유속 발생측선에서 표면유속의 측정만으로 단면전체의 유량을 쉽게 구할 수 있다.

엔트로피 개념을 이용하여 최대유속의 발생지점 및 지형학적 형상에 관계없이 이론적으로 2차원 유속분포를 완전하게 나타내고 그 타당성이 입증된 Chiu의 유속공식으로부터 표면유

\*정회원 · 한국수자원공사 수자원연구소 연구원 · 042-860-0320(E-mail:yskim@kowaco.or.kr)  
\*\*한국수자원공사 수자원연구소 수자원연구부 · 선임연구원 · 042-860-0321(E-mail:jyang@kowaco.or.kr)  
\*\*\*정회원 · 한국수자원공사 수자원연구소 · 공학박사 · 042-860-0306(E-mail:thchoo@kowaco.or.kr)  
\*\*\*\*한국수자원공사 수자원연구소 수자원연구부장 · 공학박사 · 042-860-0311(E-mail:ihko@kowaco.or.kr)

속을 이용한 유속공식을 유도하고 이를 이용하여 효과적인 유량측정방법을 제시하고자 한다.

### 3. 표면유속을 이용한 유량 계산 이론

#### 가. 표면유속으로부터 최대유속의 유도

Chiu의 2차원 유속공식은 식(1)과 같다(Chiu, 1995; Choo, 1998).

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

여기서  $M$  : 엔트로피 계수,  $u$  : 수로단면에 공간적으로 분포된 시간평균유속,  $u_{\max}$  : 최대유속  
식(1)을 표면유속에 대하여 표현하면

$$u_{surf} = \frac{u_{\max}}{M} \ln \left[ 1 + (e^M - 1) \frac{\xi_{surf} - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0} \right] \quad (2)$$

식 (1), (2)식에서  $\xi$ 는 다음 식(3)과 같이 표현된다.

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

여기서  $D$  : 하천단면 상에서 최대유속이 발생하는 지점의 수심,  $y$  : 하상으로부터 임의의 지점까지의 거리,  $h$  : 최대유속이 발생하는 지점의 수표면에서부터의 거리

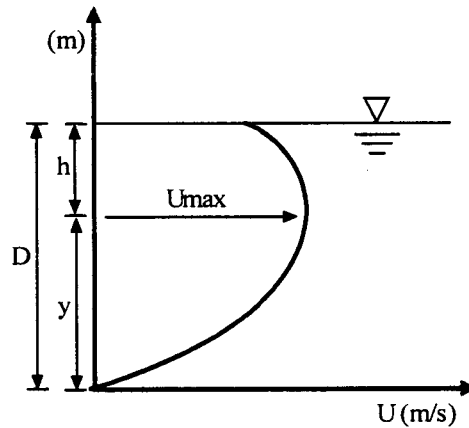


그림 1. 좌표상 D, h, Y의 관계

식(3)을  $\xi_{\max}$  및  $\xi_{surf}$ 에 대해서 표현하면 다음과 같다.

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

$$\therefore y = D - h \quad (5)$$

$$\xi_{surf} = \frac{D}{D-h} \exp \left( 1 - \frac{D}{D-h} \right) \quad (6)$$

여기서  $\xi_0 = 0$ 과 식(4)를 식(2)에 대입하면

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

이고, 식(7)을 정리하면

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

식(6)을 식(8)에 대입하면

$$\frac{D}{D-h} \exp\left(1 - \frac{D}{D-h}\right) = \frac{\exp\left(\frac{u_{surf}}{u_{max}} \cdot M\right) - 1}{e^M - 1} \quad (9)$$

식(9)에서  $u_{surf}$ 는 측정된 표면유속 값이고  $u_{max}$ 는 구하고자 하는 값이다.

#### 나. h값의 산정

평균유속이 발생하는 지점의  $\xi$ 값인  $\xi_m$ 은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\xi_m = \frac{\exp[M \cdot e^M (e^M - 1)^{-1} - 1] - 1}{e^M - 1} \quad (10)$$

또, 식(3)에서

$$\xi_m = \frac{y_m}{D-h} \exp\left(1 - \frac{y_m}{D-h}\right) \quad (11)$$

여기서,  $y_m$  : 평균유속발생지점의 y값

식(10) = 식(11) 이고,

$$y = e^{-1} \cdot D \quad (12)$$

이므로

$$\frac{e^{-1} \cdot D}{D-h} \exp\left(1 - \frac{e^{-1} \cdot D}{D-h}\right) = \frac{\exp[M \cdot e^M (e^M - 1)^{-1} - 1] - 1}{e^M - 1} \quad (13)$$

식(13)에서 h를 구하고 그 값과 측정치인  $u_{surf}$ 를 식(9)에 대입하면  $u_{max}$ 를 산정할 수 있다. 즉, 측정된 표면유속( $u_{surf}$ )으로부터 최대유속( $u_{max}$ )를 유도해 낼 수 있다.

#### 다. 최대유속과 평균유속과의 관계 및 유량 산정

평균유속과 최대유속은 식 (14)와 같은 관계가 있다(Chiu, 1995).

$$u_{mean} = \phi \cdot u_{max} \quad (14)$$

여기서,

$$\phi = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \quad (15)$$

표면유속으로부터 구해진 최대유속을 식(14)에 대입하면 평균유속( $u_{mean}$ )을 구할 수 있고 이를 단면적에 곱해서 유량을 계산할 수 있다.

#### 4. 엔트로피기법에 의한 표면유속을 이용한 유량계산

표면유속에서 최대유속을 산정하는 식을 유도하여 엔트로피 파라미터 M을 알고 있는 지점에서 표면유속만을 측정하여 유량을 계산할 수 있는 이론을 유도한 결과로부터 유량계산 프로그램을 작성하여 손쉽게 유량을 계산할 수 있도록 하였다.

먼저 표면유속을 이용하여 유량을 계산하는 Flow chart는 그림 2 (a)와 같다. 그림 2 (a)에서 최대유속 발생위치의 수심 h의 계산은 그림 2 (b)의 Flow Chart와 같은 순서를 따른다. 그림 2 (a)에서 최대유속  $u_{max}$ 의 계산은 그림 2(c)의 Flow Chart와 같은 순서에 의하여 한다. 이를 이용하여 표면유속을 이용하여 유량을 계산하는 프로그램을 작성하였다.

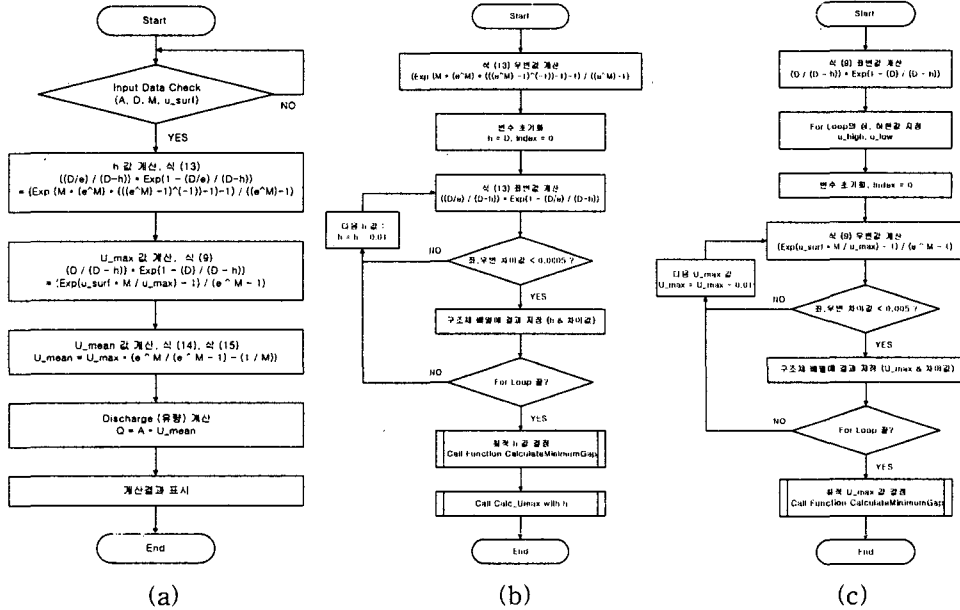


그림 2 엔트로피를 이용한 유량계산 Flow Chart  
 (a) Q 계산과정 (b) h값 계산과정 (c) U\_max값 계산과정

유량계산프로그램을 실행하면 그림 3과 같은 창이 열리며 여기에 입력값 - 단면적, 수심, 그 지점의 엔트로피 계수, 표면유속 -을 입력하고 "START"버튼을 누르면 그 단면의 최대 유속, 단면전체 평균유속, 유량이 계산되어 디스플레이 된다. 여기서 엔트로피 계수 M은 과거 수개년의 유량측정 자료로부터 얻은 값을 이용한다.

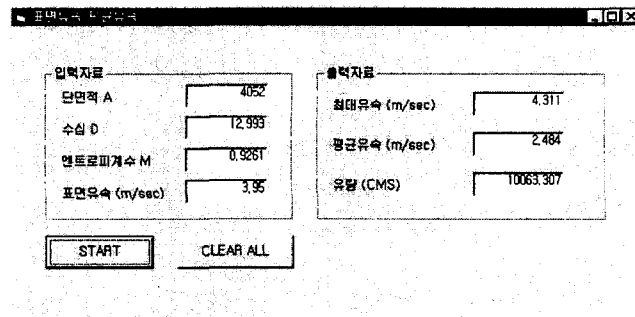


그림 3. 프로그램 수행결과

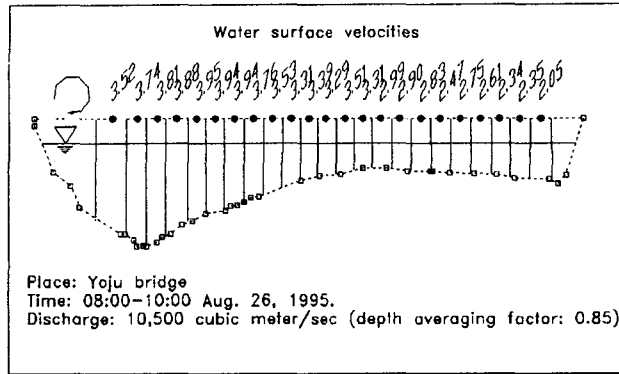


그림 4. 여주대교지점의 유속분포

엔트로피 개념에 의한 표면유속을 이용한 유량산정 프로그램을 적용하기 위하여 엔트로피 M값의 산정 결과가 양호하고 표면유속 측정 자료가 있는 여주대교 지점에서 표면유속을 이용하여 유량을 계산하였다. 여주대교지점에 대해서는 1995년 홍수기에 전자파표면유속계를 이용하여 30m 간격으로 유속을 측정한 자료를 사용하였다(그림 4).

당시의 최대 표면유속은 3.95m/s이며, 최소 표면유속은 2.05m/s, 당시 충주댐 방류량이 8,503 m<sup>3</sup>/s이었다. 그 당시 수위는 8.74m로 여주대교지점의 수위-유량관계식인 식 (16)을 이용하여 유량을 계산한 결과 10,417 m<sup>3</sup>/s이다.

$$Q = 18.543 \times (h + 0.09295)^{2.962} \quad (16)$$

실제 전자파표면유속계로 측정한 유량은 10,500 m<sup>3</sup>/s이었고, 엔트로피 개념에 의하여 최대 유속 발생지점의 표면유속을 이용하여 유량을 산정한 결과 10,065 m<sup>3</sup>/s로 측정유량의 96%에 이른다(표 1). 여주대교지점에 대한 적용결과를 볼 때 엔트로피 M값을 이용한 유량측정 기법이 국내 하천에의 적용가능함을 확인하였다.

2000년도에 금강유역 유량측정을 시행한 지점인 회덕과 유성지점에 대해서도 각 지점에 대한 엔트로피 M값을 계산하고, 전자파표면유속계를 이용하여 측정한 표면유속을 이용하여 유량을 계산하고 이를 회덕과 유성지점에서 실측한 유량과 비교하였다. 그 결과 회덕지점의 경우 엔트로피 개념에 의한 표면유속으로부터 계산한 유량이 실측유량의 79~82%에 이르고 있다. 여주대교 지점과 비교하여 계산유량과 실측유량의 차이가 크게 나는 이유는 엔트로피 M값 산정에 문제가 있었던 것으로 판단된다. 즉, 회덕지점의 경우 불규칙한 하천단면으로 인하여 유속측정시 오차가 많이 발생하였고, 그러한 결과가 M값 산정에 영향을 미친 것으로 판단된다.

유성지점의 경우 전자파표면유속계로 측정한 표면유속을 엔트로피 개념에 의한 유량산정 프로그램에 입력하여 유량을 계산한 결과, 계산유량은 실측유량의 88~93%에 이르고 있다. 유성지점의 경우 과거 유량측정 기록이 없고 2000년도부터 유량측정을 시작한 신규지점이기 때문에 엔트로피 M값 산정에는 1년의 자료를 이용했을 뿐이다. 따라서 최대유속발생지점에서 표면유속을 이용하여 계산한 유량이 실측값과 10% 정도의 오차를 보이고 있지만 추후 지속적인 유량측정을 통한 정밀검증이 필요하다.

표 1. 측정에 의한 유량 vs. 엔트로피를 이용한 계산유량 비교표

지점 (M값)	일시	단면적 (m <sup>2</sup> )	측정에 의한 유량		엔트로피 M을 이용한 유량			백분율 (엔트로피 /측정) (%)	비고	
			평균 유속 (m/s)	유량 (CMS)	표면 유속 (m/s)	최대 유속 (m/s)	평균 유속 (m/s)			유량 (CMS)
여주대교 (0.9261)	'95.08.26 08:00 - 10:00	4,052	2.669	10,500	3.95	4.311	2.484	10,065.168	96	
회덕지점 (원촌교) (0.0852)	'00.07.23 07:40 - 08:14	452.157	1.538	695.326	2.270	2.487	1.261	570.170	82	
	'00.07.23 10:37 - 11:04	514.590	1.551	798.228	2.285	2.503	1.269	653.015	82	
	'00.07.23 12:03 - 12:28	584.405	1.705	996.551	2.425	2.656	1.347	787.194	79	
	'00.07.23 14:15 - 14:31	625.323	1.770	1,106.617	2.535	2.777	1.408	880.455	80	
	'00.07.23 17:03 - 17:15	689.860	1.829	1,261.971	2.695	2.952	1.497	1,032.720	82	
유성지점 (만년교) (1.6114)	'00.07.23 08:30 - 09:00	216.253	1.951	421.860	2.565	2.786	1.752	378.875	90	
	'00.07.23 10:00 - 10:22	214.646	1.813	389.072	2.410	2.618	1.646	353.307	91	
	'00.07.23 11:24 - 11:47	223.520	1.923	429.856	2.475	2.688	1.690	377.749	88	
	'00.07.23 13:48 - 13:58	217.420	1.970	428.285	2.675	2.905	1.827	397.226	93	
	'00.07.23 15:35 - 15:45	268.051	2.082	557.955	2.790	3.030	1.905	510.637	91	
	'00.07.23 18:25 - 18:40	263.709	1.976	521.029	2.650	2.878	1.810	477.313	92	

## 5. 결론

엔트로피 이론을 이용한 유량측정기법을 국내의 주요하천에 적용하여 유량을 계산하여 이를 실측한 유량과 비교하였다. 그 결과 기존에 유량측정 성과가 양호하여 엔트로피 M값 산정이 정확하게 산정된 지점인 여주대교지점의 경우 계산한 유량이 실측유량과 거의 동일한 결과를 보여주었다. 반면 금강유역의 회덕지점의 경우에는 하상이 불규칙하고 과거에 유량측정결과가 양호하지 않아서 엔트로피 M값 산정에 영향을 주어 유량계산 결과가 실측값과 20% 정도의 차이를 보이고 있다. 유성지점의 경우에는 기존의 유량측정 성과가 없어 2000년도 유량측정 성과만을 이용하여 엔트로피이론을 적용한 결과 계산유량과 실측유량 사이의 오차가 10% 정도이었다. 이와 같이 3개의 지점에 엔트로피를 이용한 유량측정기법을 적용한 결과 그의 유량측정에의 적용가능성은 확인되었다. 향후 엔트로피를 이용한 유량측정 기법의 실무적용을 위해서는 보다 정확한 유량측정 자료를 축적하여 안정적인 엔트로피 M값을 적용할 수 있는 토대가 마련되어야 한다.

## 6. 참고문헌

- Chiu, C.-L. and Chairil A. Abidin Said. "Maximum and mean velocities and Entropy in open-channel flow" Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. Vol. 121, No.1, pp.26-35, 1995.
- Choo Tai Ho."An Efficient Method of Discharge Measurement in Sandy Rivers." Ph.D. Dissertation, Dep. of Civ.& Envir. Engrg., Univ. of Pittsburgh, Pittsburgh, 1998.