

# 수로경사가 변화하는 실험실수로에서의 최대유속과 평균유속과의 관계에 관한 연구

추태호\*, 옥치율\*, 이승관\*\*, 제성진\*\*

\* 부산대학교 산업토목학과 조교수, 교수

\*\* 부산대학교 산업토목학과 석사과정

## A Study on Maximum and mean velocity Relationships in laboratory flumes with Varied Channel Slopes

Choo, Tai Ho / Ok, Chi Youl

Lee, seoung Kwan / Je, Sung jin

### 요 약

정확하고 신뢰성 높은 유량 자료는 수자원의 정량적인 계획과 관리에 필수적이다. 이를 위하여 Chiu는 기존의 결정론적인 흐름 방향 유속분포식의 한계를 극복할 수 있는 방법으로 확률통계에서 사용되는 엔트로피 개념을 이용한 3차원 유속분포 식을 제안하였고, 이를 실험실 데이터와 자연하천에 적용하여 신뢰성과 정확성을 지속적으로 증명하여, 마침내 이에 대한 활용성이 매우 크게 대두되어 Chiu의 유속공식을 적극적으로 사용하고 있는 실정이다. 그러나 지금까지 이론적인 유속 분포식을 검증하기 위하여 단면 형상이 일정한 직사각형이나 사다리꼴 등의 실험수로에서부터 불규칙한 단면 형상을 갖는 자연 하천에 대한 적용을 거의 이루고 있는 실정이나, 하상경사가 변하는 경우에도 엔트로피 파라미터(M)가 이에 대응하여 평형상태에 도달하려고 하는지에 대한 연구는 전무하다.

본 연구에서는 하상경사를 임의로 변경 가능한 실험수로를 선택하여 정밀법에 의한 유속측정을 실시하였다. 같은 지점의 같은 단면에서 하상경사( $\theta$ )가 0.00069부터 0.019034까지 28번의 경사변화를 주고 각 경사마다 유량을 측정하여 28개의 유량측정 데이터를, Chiu의 엔트로피 유속공식에 적용하여, 평균유속과 최대유속 사이의 관계가 선형관계, 즉 하상경사가 변하는 경우에도 엔트로피 파라미터(M)가 이에 대응하여 평형상태에 도달함을 증명하였다.

### 1. 서론

인류는 한정된 수자원을 효율적으로 이용 보전하기 위하여 지구상의 물을 관찰하고 이를 활용하기 위한 각종 시설물을 건설하는 등 온갖 지혜를 모아왔다.

현재 수문관측 및 자료관리와 관련하여 국내의 기술 수준은 외국의 기술 선진국에 비하여 뒤지지는 않다고 생각하는 일부 기술자들의 의견도 있기는 하나, 우리 나라와 같이 연간 편중된 강수와 최근의 반복되는 가뭄의 발생과 같은 독특한 수문현상을 갖고

있는 특수 상황을 감안할 때 현재와 같은 수준의 수문관측 및 자료관리 기술은 미흡한 점이 많다고 할 수 있다.

또한 그나마 관측된 수자원 기초자료에 대한 자료관리 및 정보 교환의 미흡으로 합리적인 물 관리 체계 구축에 어려움을 겪고 있으며, 이 치수 및 수자원개발 사업추진이나 시설운영을 위한 문제 해결 등 당면 현안 사안에 대한 근시안적인 대처로 수자원 전반에 걸쳐 공히 필수적인 수자원 기초조사에 대하여는 연구개발 투자나 전문 인력 양성을 등한시 해왔다.

따라서 본 연구에서는 새로운 확률 기법의 이론적 바탕에 근거한 효과적인 유량측정 및 분석방법을 제시하고, 하상경사를 임의로 변경 가능한 실험수로를 선택하여 취득한 실측자료를 이용하여 그 신뢰성과 적용성을 검증하는데 주목적이 있다.

### 2. Chiu의 이론적 배경

본 연구에서 사용된 Chiu의 일반적인 유속 분포식, 즉 등유속선  $\xi$ 에서 유속  $u$ 를 나타내는 유속 분포식은 식(1)과 같으며, 이와 관련된 자세한 유도 과정은 1998년 Chiu의 ASCE 발표논문과 추태호(2002)의 논문을 참고하기 바란다.

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

식 (1)은  $M$ 을 매개변수로 갖는 개수로 단면에서의 2차원 유속분포에 관한 일반 공식이다. 즉, 단면상에서 특정 등유속선  $\xi$ 상에 있는 모든 유속은 식 (1)에 의해 계산될 수 있다.

또한, 엔트로피 유속 분포식의 주요 구성요소는 유속분포의 동질성을 결정하는 수리학적 매개변수  $M$ 으로 식 (2)과 같이 표현된다. 이는 2차원 평균유속을 계산하는데도 사용된다.

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

여기서  $\phi(M)$ 은 최대유속과 평균유속의 비율을 나타낸다. 역으로,  $M$ 을 계산하기 위해  $\bar{u}$ 와  $u_{max}$ 가 필요하다. 본 연구에서는 실험실 실측자료를 이용하여  $\bar{u}$ 와  $u_{max}$ 를 계산하였다.

### 3. 실험장치

Chiu의 유속분포식을 실험실데이터에 적용하기 위해서는 매개변수의 추정과 검증이 필요하다. 본 연구에서는 전자과표면유속계로 실측한 표면유속과 실험실용 C-500A 유속계로 실측한 점유속데이터를 사용하여 매개변수를 추정하고 검증하였다.

본 연구에서는 개수로 실험장치와 전자과 표면유속계, 실험실용 C-500 유속계를 사용하여 연구에서 필요한 많은 점 유속자료를 취득하였다.

실험에 사용한 개수로 Fig 1에서와 같이 길이 7.23m와 폭이 0.25m인 규격이 있으며 개수로 실험장치의 흐름은 저수조에 물을 펌프로 고수조로 올린다음 고수조에서 1차 정온수조와 연결된 삼각웨어를 유하하여 2차 정온수조로 흘러 최대한 안정화된 물이 개수로로 유하하여 저수조로 낙하하는 순서로 되어있다.

점유속계와 전자과표면유속계의 측정지점은 개수로의 5.5m 지점에서 측정하였으며, 낙하하는 물의 영향을 받지않는 지점으로 선정하였다.

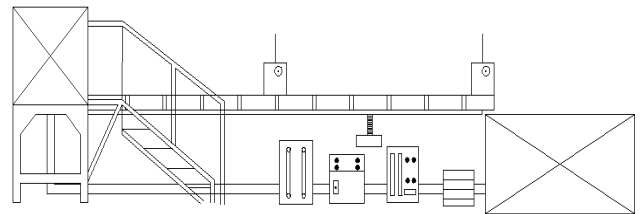


Fig 1 개수로 실험장치

측정된 유속 자료는 두 가지 목적으로 활용하였다. 첫째, 주요매개변수들인  $M$ ,  $h$ ,  $U_{max}$ 을 산정하기 위해 점 유속을 이용하였고, 이를 통해서 얻어진  $U_{max}$ 와 실측된 점유속으로부터 등유속선도를 작성하여 그 단면의 실측평균유속  $\bar{u}$ 을 산정하는데 사용하였다. 둘째, 엔트로피  $M$ 의 평형상태 유지여부에 활용하였다.

### 4. 적용과 결과

#### 4.1 매개변수 $U_{max}$ 산정

엔트로피 파라미터인  $U_{max}$  및  $M$ 의 산정 과정은 Fig 2에 보인 바와 같다. 첫 번째 단계는 실측 점유속 자료를 이용하여 그 측정횟수의  $M$ ,  $h$ ,  $U_{max}$ 을 산정한다, 산정된 파라미터 중 최대유속인  $U_{max}$ 만을 선정하였다. 두 번째 단계는 실측된 점 유속으로 등유속선도를 그리고 그 측정횟수의 평균유속을  $\bar{u}$ 을 산정한다. 마지막으로 산정된 최대유속과 평균유속을 그래프나 계산을 통해 평형상태지수인 엔트로피  $M$  값을 추정하는 것이다.

최대유속은 최대유속이 발생하는 지점에서 측정된 3개 이상의 유속 샘플을 이용하여 산정하는 방법으로 앞의 식 (1) 풀어서 통계프로그램인 SYSTAT를 사용하여 그 측정횟수의  $U_{max}$ 값을 산정하였다.

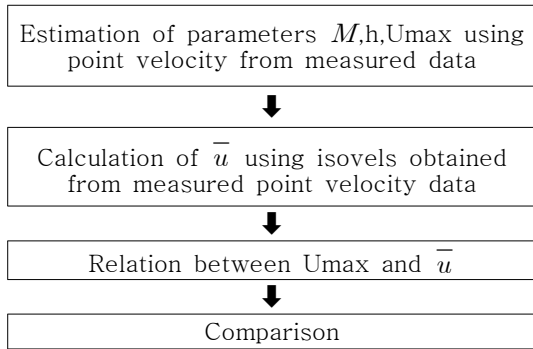


Fig 2. Procedure for the application of entropy-based velocity distribution

4.2 최대유속발생위치 h 산정

매개변수 h는 값이 0이 아닐 경우에는 최대유속이 수표면 아래와 위에서 발생되며 h값이 0인 경우에는 최대유속이 수 표면에 발생하는 경우로 최대유속이 표면유속과 같아짐을 알 수 있다. 따라서 매개변수 h 값 세가지 경우로 나누어서 산정하였다.

(A) 경우 : 최대유속이 수표면 아래에 발생하는 경우

$$u = \frac{u_{max}}{M} \ln \left[ 1 + (e^M - 1) \frac{y}{D-h} \exp \left( 1 - \frac{y}{D-h} \right) \right] \quad (3)$$

(B) 경우: 최대유속이 수표면에 발생하는 경우

$$u = \frac{u_{max}}{M} \ln \left[ 1 + (e^M - 1) \frac{y}{D} \exp \left( 1 - \frac{y}{D} \right) \right] \quad (4)$$

(C) 경우 : 최대유속이 수표면 위에 발생하는 경우

$$u = \frac{u_{max}}{M} \ln \left[ 1 + (e^M - 1) \frac{y}{D-h} \exp \left( 1 - \frac{y}{D-h} \right) \right] \quad (5)$$

4.3 매개변수 M산정

매개변수 M은 엔트로피 유속분포의 유일한 수리학적 매개변수로서 단면의 최대유속과 평균유속의 관계를 나타낸다. 또한 한 지점에서는 유량과 수심이 변화하더라도 일정한 값을 갖는 것으로 알려져 있다 (Chiu와 Said, 1995). 자연하천은 임의적인 외력이나 자연의 인위적 변형을 하지 않는 한 하천의 그 횡단면은 이 엔트로피 파라미터에 대응하는 평형상태에 도달하려하고, 또한 이 평형상태를 지속적으로 유지하려고 하기 때문에 이 엔트로피 파라미터 M값이 결정되면 최대유속이 발생하는 지점에서의 유속측정만으로 평균유속을 구할 수 있고 이로부터 간단히 유량을 측정할 수 있다는 것이다. 또한 엔트로피개념에 의하면 한 지점에 대한 엔트로피 파라미터 M이

결정되면 최대유속 발생지점에서 표면유속의 측정만으로 단면전체의 유량을 쉽게 구할 수 있다.

이렇게 구해진 최대유속과 평균유속을 선형회귀분석하여  $\phi(M)$  값을 산정하였다. 식 (2)에 의하면  $\phi(M)$ 은 최대유속과 평균유속의 비를 의미하므로 Fig. 3에서 선형회귀식의 기울기가 된다. Fig. 3은 전체 측정된 28개 자료에 대한 최대유속과 평균유속의 관계를 나타낸 그래프이다.

Fig. 3에서 회귀식의 기울기  $\phi(M)$ 은 약 0.567이다. 이 값을 식 (2)에 대입하면 M값으로 1.0183을 구할 수 있다. 이러한 결과는 인공수로인 경우도 임의적인 외력이나 인위적 변형을 하지 않는 한 하상경사의 변화에도 불구하고 이 엔트로피 파라미터 M값에 대응하는 평형상태에 도달하려하고, 또한 이 평형상태를 지속적으로 유지하려고 하는 경향이 있음을 증명하였다.

Relationship between  $U_{max}$  and  $U_{Mean}$  at Hydraulic Lab.

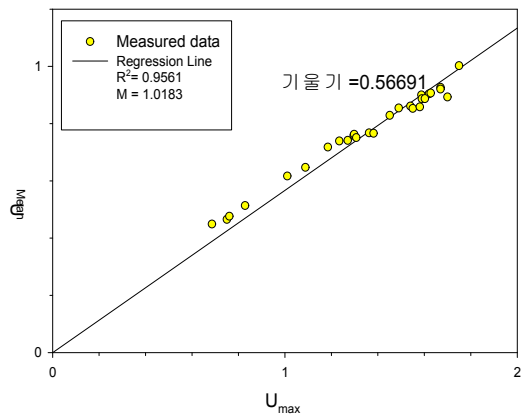


Fig 3. 최대유속과 평균유속의 비

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 Chiu의 엔트로피 유속분포식을 하상경사가 변하는 실험실 수로에 적용하였으며 그 결과 자연계의 평형상태를 나타내는 파라미터인 M값이 일정함을 증명하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Chiu의 유속공식과 관련된 기존의 많은 연구에서 그 신뢰성과 정확성이 증명된 것처럼 수로경사가 변화하는 개수로 수조에서 실측한 점유속 자료와 Chiu의 공식을 이용한 유속분포가 매우 잘 일치함을 증명하였다.

2. 수로경사가 변화하는 실험실 수로에서 그 주어진 단면에서의 M값은 최대유속과 평균유속과의 선형 관계를 보여주고 있으며, 이는 이론식 (1)을 실제 측정된 자료를 이용하여 최대유속과 평균유속과의 이론적인 선형관계를 증명하였다.

### 참고문헌

- [1] 추태호(2002) “엔트로피 개념에 의한 유량측정 기법(Ⅱ) - 표면유속을 중심으로-,” 대한토목학회논문집, 제22권 4B호, pp. 507-515
- [2] Chiu, C-L.(1987) "Entropy and probability concepts in Hydraulics," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 113(5), pp. 583-599
- [3] Chiu, C-L.(1988) "Entropy and 2-D velocity distribution in open channels," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 114(10), pp. 738-756
- [4] Chiu, C-L.(1989) "Velocity distribution in open channel flow," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 115(5), pp. 576-594