

## 유사가 있는 경우와 수로경사가 변화하는 경우의 최대유속과 평균유속과의 관계에 관한 연구

추태호<sup>1\*</sup>

### A Study on Maximum and Mean Velocity Relationships with Varied Channel Slopes and Sediment

Tai-Ho Choo<sup>1\*</sup>

**요약** 본 연구에서는 수자원 기초자료 중 매우 중요하고 효과적인 유량측정방법을 위해 가장 먼저 결정하여야 할 평균유속을 어떻게 결정할지를 제안코자 하며, 이를 위하여 현재까지 가장 널리 응용되고 있는 평균유속공식인 Manning공식과 최근에 그 효용성이 입증된 Chiu의 유속공식과의 상호관계에 대하여 분석 검토하여, 수로경사가 변화하는 경우나 유사유무에 관계없이 주어진 단면에서의 엔트로피 값, 즉 평형상태를 유지하려는 경향이 있음을 증명하였다. 따라서 인공수로에 관련된 간단한 수리입력 자료만 있다면 그동안 취득하기 어려운  $u_{max}$ 와 전체유속분포 산정에 매우 유용하게 사용될 수 있다고 사료된다.

**Abstract** This study proposes how to decide mean velocity which is one of the very important and efficient discharge measurement in water resources area. In order to achieve this goal, Chiu's velocity distribution equation recently developed from the probability and entropy concepts is used to establish, analyze and compare a linkage between the mean velocity obtained from the Manning's equation which is well known in the world. Besides, it becomes clear that a channel cross section also has a propensity to establish and maintain an equilibrium state that can be measured and classified by a function of entropy M, ratio of mean and maximum velocities irrespective of including sediment or varied channel slope. Therefore, The linkage to be established in this study can be used to compute the cross sectional velocity distribution with the maximum velocity.

**Key Words** : Entropy M, Linkage, Equilibrium state, Maximum and Mean Velocity Relationships.

### 1. 서론

산업의 발달과 도시화 및 기상이변으로 인한 극심한 가뭄과 대홍수로 인하여 지구 전체는 물로 인한 재난을 반복하여 겪고 있는 실정이다. 이에 인류는 한정된 수자원을 효율적으로 이용하고 보전하기 위하여 지구상의 물을 관찰하고 이를 활용하기 위한 각종 시설물을 건설하는 등 온갖 지혜를 모아왔다.

수자원을 효율적으로 이용하려는 노력의 일환으로 첫 번째로 시도한 것은 물 순환과정에서 이루어지는 강수와 하천수, 그리고 지하수 등에 대한 정량적 조사와 정성적 분석 및 성분의 특성을 이해하는 것이었다. 즉 이러한 일

련의 노력들을 수문조사라고 할 수 있다.

현재 수문관측 및 자료관리와 관련하여 국내의 기술 수준은 외국의 기술 선진국에 비하여 뒤지지는 않다고 생각하는 일부 기술자들의 의견도 있기는 하나, 우리나라와 같이 년 간 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.

현재의 수자원 기초조사는 관측지점 및 측정횟수의 부족, 관측시설의 노후화, 측정 자료의 부족 및 관측의 소홀, 수문자료 관리기술 및 체제의 불충분, 물관리 기술개발의 미흡 등으로 데이터에 대한 신뢰도가 저하된 실정이다. 더욱 심각한 것은 이러한 데이터의 신뢰도에 대하여 문제의 심각성을 갖지 못하고 있다는 점이다.

따라서 본 연구에서는 수자원 기초자료 중 매우 중요

<sup>1</sup>부산대학교 산업토목학과 조교수

\*교신저자: 추태호(thchoo@pusan.ac.kr)

하고 효과적인 유량측정방법을 위해 가장 먼저 결정하여야 할 중요한 평균유속에 대하여 제안코자 하며, 이를 위하여 현재까지 가장 널리 응용되고 있는 평균유속공식인 Manning공식과 최근에 그 효용성이 입증된 Chiu의 유속 공식과의 상호관계에 대하여 집중적으로 분석 검토하여, 하상경사가 변화하는 경우나 유사유무에 관계없이 주어진 단면에서의 엔트로피 값, 즉 평형상태를 유지하려는 경향이 있음을 증명하였다.

## 2. 이론

현재까지 가장 널리 응용되고 있는 평균유속공식은 Chezy 공식, Manning공식 등이 있다. 이러한 이론적 등류공식은 수로단면의 이론적인 유속분포를 기초로 하여 유도되었다. Chezy 공식은 일찍이 1769년 프랑스의 토목기사 Antoine Chezy 가 최초로 유도한 등류공식인 이른바 Chezy 공식은 통상 아래와 같이 표시된다.

$$\bar{U} = C\sqrt{RS_f} \quad (1)$$

여기서,  $\bar{U}$  평균유속, R 동수반경,  $S_f$  에너지경사, C는 Chezy계수로 저항계수이다.

Manning공식은 아일랜드 토목기사 Robert Manning이 최초 1889년 12월 4일 아일랜드 토목학회의 논문에 이 공식을 제안했고, 후에 이 논문은 1890년 미국토목학회에 게재되었다. 이 공식은 최초에는 아주 복잡한 형태였으나 그 후 많은 연구가들의 노력으로 지금같이 간소화하여 식(2)와 같은 형태로 되었다.

$$\bar{U} = \frac{\psi}{n} R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

여기서, n은 Manning의 n이며,  $\psi$ 은 English system일 때는 1.49이며, SI system일 때는 1이다.

본 연구에서는 Manning과 Chiu공식을 이용하여 실무에 적용하여 수자원조사 시 그 활용도를 높일 수 있는 방안을 고려했다. Manning 공식은 간단한 입력자료로부터 하천의 가장 필요한 평균유속을 손쉽게 산정할 수 있는 공식이며, Chiu 유속공식은 많은 논문에서 증명하였듯이 수로바닥에서부터 수표면까지 전체유속분포를 잘 표현해 줄 수 있는 2차원공식이다.

따라서 본 연구에서는 이들의 장점을 최대한 활용하여, 간단한 수리학적 입력자료로부터 전체 유속분포를 표현하는데 그 목적이 있다. 그러나 지금까지 실증적으로

Chiu공식과 Manning공식을 비교분석하였던 논문은 Chiu(1989)<sup>8)</sup>와 Choo(1990)<sup>9)</sup>의 논문에서 언급된 것이다. Chiu(1989)는 Manning과 Chiu의 연결고리로 제시한 F(M)을 이용하여 수심에 비해 하천 폭이 매우 큰 광폭수로에 적용하였으며, Choo(1990)는 F(M)과 수로형상과의 관계를 이용하여 수심에 비해 하천 폭이 적은 수로에 적용하여 좋은 결과를 얻었으나, 지금까지의 연구는 몇 개의 한정된 Data만을 이용한 연구결과로 그 한계성을 갖고 있었다. 최근에 고덕구 등(2007)<sup>15)</sup>은 Brooks(1954)<sup>1)</sup> 자료를 이용하여 연결고리로 제시한 F(M)식의 효용성을 증명하였으나, 유사유무에 관계없이 주어진 단면에서의 엔트로피 값, 즉 평형상태를 유지하려는 경향은 증명하지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 추태호 등(2007)<sup>14)</sup>과 Brooks(1954)<sup>1)</sup>가 심층적으로 시행한 실험실 실측자료를 사용하여 Manning과 Chiu의 연결고리로 제시한 F(M)과 Manning의 n, R(동수반경), I(수로경사)와 같은 입력자료만을 가지고도, 단면의 전체유속분포를 잘 표현할 수 있으며, 동시에 수로경사가 변화하는 경우나 유사유무에 관계없이 주어진 단면에서의 엔트로피 값, 즉 평형상태를 유지하려는 경향이 있음을 증명하였다.

Chiu의 엔트로피 유속분포식에 관한 자세한 유도과정은 Chiu(1978, 1983, 1986, 1987, 1988, 1989, 1992, 1995)<sup>3)-11)</sup> 논문이나 추태호(1999, 2002)<sup>12)-13)</sup>의 논문을 참조하기 바란다. 관련논문에 의하면 개수로 유속의 엔트로피 함수는 식(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$H(u) = \int_0^{u_{\max}} p(u) \ln p(u) du \quad (3)$$

여기서,  $u$ 는 수로단면에 공간적으로 분포된 시간평균 유속,  $u_{\max}$ 는 최대유속,  $p(u)$ 는 유속의 확률밀도함수이다. 이 엔트로피의 최대화를 위한 제약조건들은 아래와 같다.

$$\int_0^{u_{\max}} p(u) du = 1 \quad (4)$$

$$\int_0^{u_{\max}} up(u) du = \bar{U} = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

제약조건들인 식(4)와 식(5)를 식(3)에 대입하여 유속의 확률밀도함수를 구하면 다음과 같다.

$$p(u) = e^{\lambda_1 - 1} e^{\lambda_2 u} \quad (6)$$

여기서,  $\lambda_1$ 과  $\lambda_2$ 는 Lagrange multipliers이다.  $\lambda_1 - 1$ 과  $\lambda_2$

를  $a_1$ 과  $a_2$ 로 치환 식(7)와 같다.

$$p(u) = e^{a_1} e^{a_2 u} \quad (7)$$

식(7)과 (엔트로피계수)  $M = a_2 U_{\max}$ 을 식(4)와 식(5)에 대입 식(8)을 얻을 수 있다.

$$U_{\max} e^{a_1} = \frac{M}{(e^M - 1)} \quad (8)$$

그리고 식(7)과 (엔트로피계수)  $M = a_2 U_{\max}$ 을 식(5)에 대입 정리하면, 2차원 평균유속공식인 식(9)을 얻을 수 있다.

$$\bar{U} = \int_0^{u_{\max}} up(u) du = u_{\max} \left[ \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \right] \quad (9)$$

식(8)에 식(9)를 대입 정리하면 식(10)과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{U} e^{a_1} &= \left[ \frac{M}{e^M - 1} \right] \left[ \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \right] \\ &= (e^M - 1)^{-1} [M e^M (e^M - 1)^{-1} - 1] \end{aligned} \quad (10)$$

한편, 점성전단응력은 수로경계(운변)를 따라 발달하며, 수로경계에 직각으로 유체의 점성과 유속기울기의 합인 식(11)로 표현된다.

$$\tau_0 = \mu \left[ \frac{du}{dy} \right]_{y=y_0} = \mu \left[ \frac{1}{h_\xi} \right] \left[ \frac{du}{d\xi} \right]_{\xi=\xi_0} \quad (11)$$

여기서  $\tau_0$ 는 x,y,z좌표계로  $y$ 가  $y_0$  일때나,  $\xi, \eta$ 좌표계로  $\xi$ 가  $\xi_0$  일때의 경계 전단응력,  $\mu$ 는 유체의 점성계수,  $h_\xi$ 는 Scale 계수이며, 평균 전단응력은 식(12)과 같다.

$$\bar{\tau}_0 = \mu \left[ \frac{1}{h_{\xi_0}} \right] \left[ \frac{du}{d\xi} \right]_{\xi=\xi_0} = \rho g R S_f \quad (12)$$

여기서  $\bar{h}_{\xi_0}$ 는 수로경계면에 따른  $h_\xi$ 의 평균값, 수로 경계면에 따른 유속기울기(즉, 유속기울기는  $\frac{du}{d\xi}$ 을  $h_\xi$ 에 의하여 나눈것임)의 변화는  $h_\xi$ 에 의하여 조절된다. Chiu(1978~2002)논문으로부터, 유속의 확률밀도함수와 공간적 분포와의 관계를 나타내는 식(13)을 얻을 수 있다.

$$\frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0} = \int_0^u p(u) du \quad (13)$$

(13)으로부터  $\frac{du}{d\xi}$ 을 산정하면 식(14)와 같다.

$$\begin{aligned} \frac{du}{d\xi} &= \frac{1}{[\xi_{\max} - \xi_0] P(u)} \\ &= \frac{1}{[\xi_{\max} - \xi_0] \exp^{a_1 + a_2 u}} \end{aligned} \quad (14)$$

여기서 수로경계면에서  $\frac{du}{d\xi}$ 는  $([\xi_{\max} - \xi_0] e^{a_1})^{-1}$ 이며,

$\xi_{\max} = 1$  그리고  $\xi_0 \ll \xi_{\max}$  이므로  $\frac{du}{d\xi}$ 는 대체로  $e^{-a_1}$ 과 같다. 따라서 식(12)은 식(15)과 같이 다시 정리할 수 있다.

$$e^{a_1} = \frac{\mu}{h_{\xi_0} \rho g R S_f} \quad (15)$$

식(15)을 식(10)에 대입 정리하면, 식(16)과 같이 정리된다.

$$\bar{U} = \left[ \frac{M}{e^M - 1} \right] \left[ \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \right] \left[ \frac{\bar{h}_{\xi_0} g R S_f}{\nu} \right] = \frac{\bar{h}_{\xi_0} g R S_f}{\nu F(M)} \quad (16)$$

$$F(M) = (e^M - 1) [M e^M (e^M - 1)^{-1} - 1]^{-1} \quad (17)$$

여기서  $F(M)$ 은 Chiu의 유속분포공식의 파라메타인  $M$ 의 함수로서 유속분포패턴을 나타낸다.

Chiu공식과 Manning공식과의 관계로부터  $F(M)$ 식을 산정하는 방법에는 식(18) 및 식(19)에 의하는 방법과 식(20) 및 식(21)에 의하는 방법이 있다. 본 연구에서는 두 번째 방법에 의하여 산정된  $F(M)$ 식을 이용하여 Manning의 평균유속과 수로 단면내 유속의 공간적 분포사이의 연결고리를 산정하였다.

1) 첫 번째 방법에서는 측정된 일반적인 수리량 ( $Q, R, S_f$ )을 가지고 Manning의 조도계수( $n$ ) 또는 평균유속( $\bar{U}$ )을 직접 산정하는데 다소 어려움이 있다.

$$\bar{U} = \frac{\psi}{n} R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} = u_{\max} \left[ \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \right] = u_{\max} \theta(M) \quad (18)$$

$$n = \frac{\psi R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}}}{u_{\max}} \left[ \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \right]^{-1} \quad (19)$$

2) 두 번째 방법은 Manning의 조도계수( $n$ ) 또는 최대 유속( $U_{\max}$ )을 추정하거나 실측할 필요가 없이, 기본

수리량(Q,R,S<sub>f</sub>)만 가지고도 Manning의 조도계수(n) 또는 평균유속( $\bar{U}$ )을 손쉽게 산정할 수 있다.

$$\bar{U} = \frac{\psi}{n} R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} = \frac{\bar{h}_{\xi_i} g R S_f}{\nu F(M)} \quad (20)$$

$$n = \frac{F(M) \nu \psi}{\bar{h}_{\xi_i} g R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}}} \quad (21)$$

이를 재정리하며 식(22)나 식(23)같이 Manning의 평균 유속과 수로 단면 내 유속의 공간적 분포사이의 연결고리 역할을 해주는 식이 된다.

$$F(M) = \frac{[\bar{h}_{\xi_i} g n R^{\frac{1}{3}} S_f^{\frac{1}{2}}]}{\nu \psi} \quad (22)$$

$$F(M) = \frac{[\bar{h}_{\xi_i} g n^2 \bar{U}]}{\nu \psi^2 R^{\frac{1}{3}}} \quad (23)$$

### 3. 사용자료

본 연구에서는 추태호 등(2007)<sup>14)</sup>과 Brooks(1954)<sup>1)</sup>가 심층적으로 시행한 실험실 실험자료를 사용하였다. 수로 경사가 변화하는 경우와 유사가 포함 측정된 자료 및 관련 수리량은 표 1과 표 2에 각각 정리하였으며,

표 1. 실험 자료 및 수리량<sup>14)</sup>

RUN#	D	S	U <sub>max</sub>	M	h	U <sub>mean</sub>	F(M)	Φ(M)
1	.092	.00069	0.686	3.71	.05	0.45	.007	.76
2	.09	.001379	0.751	2.01	.05	0.47	.067	.66
3	.08	.002069	0.761	1.80	.04	0.48	.092	.64
4	.075	.002759	0.829	2.44	.03	0.51	.036	.69
5	.067	.003448	1.011	1.60	.03	0.62	.126	.63
6	.065	.004138	1.089	1.74	.03	0.65	.100	.64
7	.06	.004828	1.185	1.38	.03	0.72	.184	.61
8	.058	.005517	1.235	1.22	.03	0.74	.242	.60
9	.057	.006207	1.271	2.26	.02	0.74	.046	.67
10	.055	.006897	1.296	2.84	.03	0.76	.021	.71
11	.053	.007586	1.298	2.46	.02	0.76	.035	.69
12	.052	.008276	1.308	2.59	.02	0.75	.029	.69
13	.051	.008966	1.363	3.60	.02	0.77	.008	.75
14	.05	.009655	1.382	3.87	.02	0.77	.005	.76
15	.049	.010345	1.452	5.11	.02	0.83	.001	.81
16	.048	.011034	1.490	5.06	.02	0.85	.001	.81
17	.047	.011724	1.540	2.28	.02	0.86	.045	.68
18	.046	.012414	1.580	1.82	.02	0.87	.090	.64

19	.045	.013103	1.582	4.90	.02	0.90	.002	.80
20	.044	.013793	1.581	2.72	.01	0.86	.024	.70
21	.043	.014483	1.590	2.68	.01	0.89	.025	.70
22	.042	.015172	1.621	3.46	.01	0.90	.009	.74
23	.041	.015862	1.603	6.48	.01	0.89	.000	.85
24	.04	.016552	1.628	17.0	.00	0.91	.000	.94
25	.039	.017241	1.670	18.6	.00	0.93	.000	.95
26	.038	.017931	1.670	8.89	-.02	0.92	.000	.88
27	.037	.018621	1.700	20.4	-.03	0.89	.000	.95
28	.036	.019034	1.750	14.8	-.01	1.00	.000	.93

여기서, 표 1은 수로경사(θ) 0.00069부터 0.019034까지 28번의 경사변화를 주고 각 경사마다 유속을 측정하여 28개의 유속측정 데이터를 나타내며, 표.2는 Run2에서 Run7까지는 유사입경(D<sub>s</sub>)이 0.159mm인 경우이고, Run21에서 Run27-1까지는 유사입경(D<sub>s</sub>)이 0.103mm인 경우이며 관련 수리량 등을 함께 요약 정리하였다. 보다 자세한 내용은 추태호 등(2007)<sup>14)</sup>과 Brooks(1954)<sup>1)</sup> 논문을 참조하기 바란다.

표 2. 실험 자료 및 수리량<sup>14)</sup>

RUN#	D	온도	h	M	U/U <sub>max</sub>	F(M)	F(M)	M
2	.284	17.0	0.01	5.58	0.82	57.35	110	6.39
3	.243	22.0	0.05	4.73	0.80	29.83	144	6.71
4	.236	12.5	0.62	6.73	0.85	145.8	81.9	6.02
6	.195	21.0	0	6.39	0.84	110.1	81.7	6.02
7	.243	31.5	0.05	4.98	0.81	36.01	133	6.62
21	.236	25.0	1.24	6.97	0.86	177.5	97.7	6.24
29	.280	25.2	1.19	6.99	0.86	181.4	111	6.40
29-1	.280	25.2	0.12	5.03	0.81	37.5	137	6.66

### 4. 결과

첫째 수로경사가 변화하는 경우로 그림 1에서 기울기, 즉  $\Phi(M)$  은 약 0.567이며, 이 값을 식 (18)에 대입하면  $M$  값으로 1.0183을 구할 수 있고, 이 값을 식 (17)에 대입하면  $F(M)$  값으로 2.977을 얻을 수 있다. 이러한 결과는 임의적인 외력이나 인위적 변형을 하지 않는 한 하상경사의 변화에도 불구하고 이 엔트로피 파라미터  $M$  값에 대응하는 평형상태에 도달하려는 경향이 있음을 의미하는 것이다.

둘째 유사가 포함된 경우로 그림 2에서 기울기, 즉  $\Phi(M)$  은 약 0.858이며,  $M$  값으로 7.021을  $F(M)$  값으로 185.64를 얻을 수 있다. 이러한 결과는 임의적인 외력이나 인위적 변형을 하지 않는 한 유사유무에 관계없이 엔트로피 파라미터  $M$  값에 대응하는 평형상태에 도

달하려하고, 또한 이 평형상태를 지속적으로 유지하려고 하는 경향이 있음을 의미하는 것이다. 위의 경우는 일반적인 홍수의 실제상황과 매우 유사하기 때문에 기존의 이론식이 규명하지 못한 한계성을 극복하고 실제 하천에 그대로 적용할 수 있음을 의미하는 매우 흥미로운 결과로 사료된다.

따라서 일반적인 하천에서 간단한 수리량만 가지고도 그 단면을 대표하는  $M$  값을 산정할 수 있으며, 이를 통하여 필요한 평균유속 등을 손쉽게 구할 수 있음을 의미한다. 이는 추후 수자원 기초자료 중 가장 중요한 유량, 특히 홍수 시 실시간 유량을 측정할 수 있는 이론적인 도구로 사용될 수 있음을 아울러 의미하는 것이다.

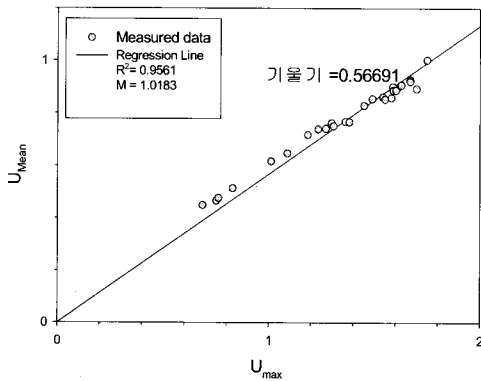


그림 1.  $U_{max}$ 와  $U_{mean}$  관계(수로경사변할때)

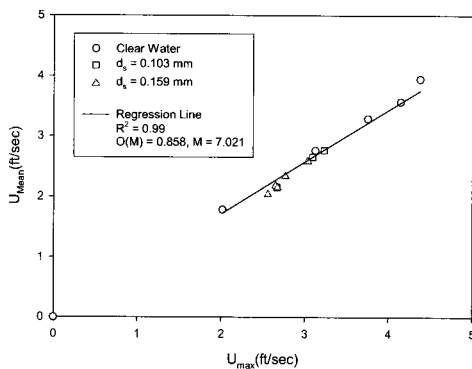


그림 2.  $U_{max}$ 와  $U_{mean}$  관계(유사 포함된 경우)

### 5. 결론

본 연구에서는 아주 간단한 입력자료 만을 가지고도, 수로수직단면의 전체유속분포를 잘 표현할 수 있고 동시에 수로경사가 변화하는 경우나 유사유무에 관계없이 주

어진 단면에서의 엔트로피 값, 즉 평형상태를 유지하려는 경향이 있음을 증명하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 기존의 많은 연구에서 그 신뢰성과 정확성이 증명된 것처럼 추태호 등(2007)<sup>14)</sup>과 Brooks(1954)<sup>1)</sup>연구 등의 실측한 자료와 Chiu공식을 이용한 결과가 매우 잘 일치함을 검증하였다.
2. 최근에 추태호 등(2007)<sup>14)</sup>이 실측한 수로경사( $\theta$ ) 0.00069부터 0.019034까지 28번의 경사변화를 주고 측정한 경우에도 이러한 하상경사의 변화에도 불구하고 엔트로피 파라미터  $M$  값에 대응하여 평형상태에 도달하려는 경향이 있음을 증명하였다.
3. 과거 Brooks(1954)<sup>1)</sup>가 심층적으로 시행한 유사가 포함된 경우, 즉 유사입경( $D_s$ )이 0.159mm인 경우와 0.103mm인 경우에서도 유사유무에 불구하고 엔트로피 파라미터  $M$  값에 대응하여 평형상태에 도달하려는 경향이 있음을 증명하였다.
4. 수로경사가 변화하는 경우와 유사가 포함된 경우는 일반적인 홍수의 실제상황과 매우 유사하기 때문에 기존의 이론식으로는 규명하기 어려운 것으로 알고 있었다. 그러나 본 연구 결과는 이러한 한계성을 극복하고 실제 하천에 그대로 적용할 수 있음을 의미하는 것으로 매우 흥미로운 결과로 사료된다.
5. 따라서 일반적인 하천에서 간단한 수리량만 가지고도 그 단면을 대표하는  $M$  값을 산정할 수 있으며, 이를 통하여 필요한 평균유속 등을 손쉽게 구할 수 있음을 의미한다. 이는 추후 수자원 기초자료 중 가장 중요한 유량, 특히 홍수 시 실시간 유량을 측정할 수 있는 이론적인 도구로 사용될 수 있음을 의미하는 것이다.

### 참고문헌

- 1) Brook, N. H(1954) "Laboratory studies of the mechanics of streams flowing over a movable bed of fine sand." Ph.D. Thesis, California Institute of Technology, Pasadena, California. 1954
- 2) Chow, V. T(1959) "Open channel hydraulics." McGraw-Hill book company, pp. 98-135, 1959.
- 3) Chiu, C-L(1978) "Three-dimensional open channel flow." Journal of Hydraulic Division, ASCE, 104(8), pp. 1119-1136.
- 4) Chiu, C-L.(1983) "Computation of 3-D flow and shear in open channels," Journal of Hydraulic Engineering,

ASCE, 109(11), pp. 1424-1440.

- 5) Chiu, C-L.(1986) "Structure of 3-D flow in rectangular open channels," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 112(11), pp. 1050-1068.
- 6) Chiu, C-L.(1987) "Entropy and probability concepts in Hydraulics," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 113(5), pp. 583-599
- 7) Chiu, C-L.(1988) "Entropy and 2-D velocity distribution in open channels," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 114(10), pp. 738-756
- 8) Chiu, C-L.(1989) "Velocity distribution in open channel flow," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 115(5), pp. 576-594
- 9) Choo, T. H(1990) "Estimation of energy and momentum coefficients in open channel flow by Chiu's velocity distribution equation." M. S. Thesis, Dep. of Civ. Engrg., Univ. of Pittsburgh, Pittsburgh, 1990.
- 10) Chiu, C-L., Murray, D. W.(1992) "Variation of velocity distribution along nonuniform open-channel flow," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 118(7), pp. 989-1001
- 11) Chiu, C-L., Said, C. A. A.(1995) "Maximum and mean velocities and entropy in open-channel flow," Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 121(1), pp. 26-35
- 12) 추태호 등(1999)"낙동강하구둑 방류량 산정방법개선" 한국수자원공사, WRR1-WR-99-3보고서.
- 13) 추태호(2002) "엔트로피 개념에 의한 유량측정 기법(Ⅱ) - 표면유속을 중심으로-" 대한토목학회논문집, 제22권 4B호, pp. 507-515.
- 14) 추태호 등(2007) "하상경사가 변하는 실험실 수로에 Chiu 유속분공식의 적용성에 관한 연구," 한국수처리학회지, 제15권 2호, pp. 73-79.
- 15) 고덕구 등(2007) "기본적인 수리학적 자료에 의한 유속의 공간적 분포 특성," 한국산학기술학회논문지, 제8권 6호, pp. 1560-1565.

## 추 태 호(Tai Ho Choo)

[정회원]



- 1984년 2월 : 경희대학교 토목공학과(공학사)
- 1990년 12월 : 미국 피츠버그대학교 토목공학과(공학석사)
- 1998년 12월 : 미국 피츠버그대학교 토목환경공학과(공학박사)
- 1984년 2월 ~ 2002년 9월 : 한국수자원공사 재직
- 2002년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 산업토목학과 조교수

<관심분야>

수리학, 방재공학, 상하수도공학, 수자원공학.