

低層 流速分布에 관한 研究

張 元 一*

Distribution of the Current Speed in the Low Layer

Won-Yil Jang*

〈 目 次 〉

Abstract	4. 유속계산
1. 서 론	5. 결과 및 고찰
2. Logarithmic Method	6. 요 약
3. Friction Velocity	참고문헌

Abstract

Under conditions of neutral stability and steady flow, friction velocity U_* can be determined from logarithmic method and several equations. Using the determined values of U_* , the current speed may be profiled in the low layer.

From the results of the profiled velocity data, the equation of current speed was found as follows :

1. The case of the general grain size - $Y = 11.9701(\text{Log}X)^2 + 2.8767 \text{Log}X$
2. The case of the fine grain - $Y = 10.6428(\text{Log}X)^2 + 2.5189 \text{Log}X$

1. 서 론

해양 혹은 수리학에서의 유속 자료는 물리, 화학, 생물, 지질분야의 각종 분석 및 예측을 위하여 필수적으로 사용되며, 대상지역에서의 유속은 일반적으로 표층, 중층, 저층의 수심별로 전 수심을 고려, 간격을 정하여 유속계로 측정을 하여 해양 혹은 수리학의 기본 자료로 이용한다. 표층과 중층의 유속은 비교적 정확한 자료를 측정을 통하여 얻을 수 있으며 대부분 측정된 값을 차분법을 사용하여 전 수심에 대해 사용하고 있으나, 저층의 유속 특히 1m 이하 저층 유속은 퇴적물의 이동으로 인한 pipe line 등 각종 해양구조물에 미치는 영향을 추정하거나 퇴적물의 이동에 따른 해저의 형태 변화 추정 등 상당히 넓은 분야에서 반드시 필요한 자

*한국해양대학교 교양과정부 교수(물리학 전공)

료이나 1m 이하의 저층 유속은 정확한 측정이 거의 불가능하므로 계산을 통하여 추정된 값을 사용한다.

이제까지 널리 사용되고 있는 저층 유속 추정 방법은 저층 1m 부분에서의 추정 유속 혹은 상층 유속에서 계산된 1m 부분에서의 값을 사용하여 logarithmic method로 계산하고 있다. 이 방법에 의한 결과는 전 수심에 대한 유속분포를 필요로 하는 해양물리학적인 측면과 염분농도, 해양오염 등에 관한 해양화학적 측면에서는 비교적 무리없이 사용될 수 있으나, 퇴적물 이동 등 해양지질학적인 분야에 이 방법을 사용하면 상당한 오차가 발생할 수 있다.

즉, logarithmic method는 전 수심에 대한 차분방법에 중점을 두었기 때문에 바닥에서 중요한 인자로 취급되어야 하는 입자 마찰,저항부분에서는 오차가 발생할 가능성이 많다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 저층 1m 이하의 유속을 조도계수와 퇴적물의 입경을 중심으로 한 shear velocity를 이용하여 계산하는 방법을 제안하여 퇴적물 이동 등 저층 유속을 필요로 하는 각종 계산에서의 오차를 최소화하고자 한다.

2. Logarithmic method

일반적인 수리조건에서 유속의 logarithmic profile은 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$U(Z) = \frac{U_*}{k} \ln(Z/Z_0)$$

상기식에서 Z는 바닥으로부터의 거리, Z₀는 dynamic roughness length, k는 karman's universal constant, U_{*}는 bed shear velocity τ에 대해 (τ/ρ)^{1/2}로 주어지는 friction velocity, ρ는 water density 이다. 또한 상기식을 일반적인 수리학 조건에 적용시키기 위해서, U₁이 바닥으로부터 1m 되는 부분의 유속일때 C₁=(U_{*}/U₁)² 으로 주어지는 nondimensionalised drag coefficient C₁을 사용한다. U₁이 주어진 경계조건에서 10-15cm/s 이고 reynolds number가 10⁵-1.5x10⁵의 값을 가질 때 nondimensionalised drag coefficient C₁은 0.003의 값을 가진다고 알려져 있다.

Logarithmic method에 대해 particle density를 2.65, water density를 1.02, viscosity를 0.01로 하였을 때 1m 부분 유속이 10-15cm/s에서의 shear velocity 와 friction velocity U_{*}는 Table1과 같이 주어진다.

〈Table 1〉 Variation of Shear velocity & Friction velocity from Logarithmic method

VELOCITY-1M	SHEAAR VELOCITY	FRIC. VERLOCITY	VELOCITY-1M	SHEAAR VELOCITY	FRIC. VERLOCITY
10.00000	.30600	.54772	13.00000	.51714	.71204
10.50000	.33737	.57511	13.50000	.55769	.73943
11.00000	.37026	.60249	14.00000	.59976	.76681
11.50000	.40468	.62988	14.50000	.64336	.79420
12.00000	.44064	.65727	15.00000	.68850	.82158

Table 1의 friction velocity U_* 값을 roughness length에 관련된 식에 적용하여 계산한 결과, roughness length Z_0 가 0.0674cm에 해당되는 값으로 주어진다. 참고로 유속이 logarithmic 방법에서 주어진 10-15cm/s 범위 이외의 유속에 대한 계산 결과, 1m의 유속이 0.01cm/s일 경우 friction velocity U_* 는 0.0055cm/s, 1m의 유속이 1cm/s일 경우 friction velocity U_* 는 0.05477cm/s로 주어진다.

또한 1m의 유속이 20cm/s일 경우 friction velocity U_* 는 1.09545cm/s, 1m의 유속이 30cm/s일 경우 friction velocity U_* 는 1.64317cm/s, 1m의 유속이 50cm/s일 경우 friction velocity U_* 는 2.73861cm/s로 주어진다.

3. Friction velocity U_* 계산

바닥에 작용하는 흐름의 소류력(tractive force)은 점성에 의한 전단력이며, 이 전단력이 저항력보다 크게 되면 퇴적물 입자의 유동이 발생하고, 입자의 유동이 시작되는 순간의 소류력을 한계소류력이라 한다. 한계소류력은 입자의 상태에 따라 상이하하며 이에 관하여 많은 연구가 이루어져 왔다. 그 중에서 많이 사용되고 있는 Iwagagi, Schocklisch, Kramer, Indri, Krey공식을 사용하여 입자의 직경이 0.005-0.1cm인 경우 friction velocity U_* 를 각각의 공식으로 계산하여 logarithmic method에 의한 계산 결과와 비교하면 Table 2와 같다.

<Table 2> Friction velocity U_* (particle radius 0.005 - 0.1)

PARTICLE-R.	LOGALITH	IWAGAGI	SCHOCK	KRAMER	INDRI	KREY
.00500	.05477	1.04702	0.19258	0.36708	1.13908	0.78867
.01000	.27386	1.29392	0.32388	0.51913	1.18533	1.11535
.01500	.54772	1.38731	0.4899	0.63581	1.22984	1.36602
.02000	.57511	1.45763	0.54470	0.73417	1.27279	1.57734
.02500	.60249	1.51462	0.64394	0.820.82	1.31434	1.76352
.02700	.65727	1.53478	0.68220	0.85302	1.33060	1.83270
.03500	.65727	1.60479	0.82878	0.97121	1.39374	2.08662
.05000	.68465	1.60479	0.82878	0.97121	1.39374	2.49399
.05000	.68465	1.70625	1.08297	1.16082	1.50499	3.49399
.08000	.71204	2.06391	1.54065	1.46833	1.70587	3.15468
.10000	.73943	2.30752	1.82133	1.64165	1.82757	3.52704

Table 2에서 나타난 바와 같이 입자가 작은 경우(0.027 이하), 즉 roughness coefficient가 0.0674 보다 작은 경우는 Schocklisch 공식의 U_* 값과 logarithmic 방법에 의한 값이 거의 일치하고 있으나 나머지는 logarithmic 방법에 의한 friction velocity 보다 상당히 높은 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 결

과는 logarithmic profile에 관련된 공식에 비해 Iwagagi, Kramer, Indri, Krey, Schocklisch 공식에서 바닥의 조건에 관한 인자인 입자의 입경, 마찰 등을 강조한 결과로 보여진다.

Logarithmic 방법에 의해 계산된 roughness coefficient에 해당하는 입자의 입경은 0.027cm로, 0.027cm에 해당하는 각 공식의 friction velocity를 비교하면, 앞에서 언급한 바와 같이 Schocklisch 공식의 결과 0.68220은 logarithmic method에 의한 0.62988과 거의 비슷한 수치를 나타내고 있다. logarithmic method를 제외한 Iwagagi, Kramer, Indri, Krey 공식에 의한 결과를 비교하면 Iwagagi 공식에 의한 값과 Indri 공식에 의한 값이 비교적 고른 분포의 값을 가지며 그 값도 1.533과 1.330으로 비교적 가까운 수치를 나타내고 있다.

4. 유속 계산

Table 2에 나타난 friction velocity 값을 기초로 하여 입자의 입경 0.005-0.1cm의 범위에서 1m 이하 저층의 유속을 profile한 결과는 다음과 같이 나타난다.

〈그림 1〉 DEPTH - VELOCITY - 1M LOW
PARTICLE_DIAMETER= .0100 ROUGHNESS_COE= .0250

DEPTH	LOGALITH	IWAGAGI	SCHOCK	KRAMER	INDRI	KREY
10.00000	4.10208	19.38115	4.85133	7.77593	17.75461	16.70641
20.00000	4.57664	21.62333	5.41258	8.67552	19.80863	18.63916
30.00000	4.85424	22.93493	5.74088	9.20175	21.01015	19.76975
40.00000	5.05121	23.86552	5.97382	9.57511	21.86264	20.57191
50.00000	5.20398	24.58735	6.15450	9.86471	22.52389	21.19412
60.00000	5.32881	25.17712	6.30213	10.10134	23.06417	21.70250
70.00000	5.43435	25.67576	6.42695	10.30140	23.52096	22.13233
80.00000	5.52577	26.10771	6.53507	10.47470	23.91666	22.50466
90.00000	5.60641	26.48871	6.63044	10.62756	24.26569	22.83308
100.0000	5.67855	26.82953	6.71575	10.76430	24.57790	23.12687

低層 流速分布에 관한 研究

DEPTH - VELOCITY(0m -- 1m) CURVE

	0cm/s	10	20	30	40	50	60	70
100.00	os	r		yd	i			
90.00	os	r		yd	i			
80.00	os	r		yd	i	LOGARITHMIC	-o	
70.00	os	r		yd	i	IWAGAGI	-i	
60.00	os	r		yd	i	SCHOCKLISCH	-s	
50.00	os	r		yd	i	KRAMER	-r	
40.00	s	r		yd	i	INDRI	-d	
30.00	os	r		yd	i	KREY	-y	
20.00	os	r		yd	i			
10.00	s	r		yd	i			

<그림2>

DEPTH - VELOCITY - 1M LOW

PARTICLE_DIAMETER= .0270 ROUGHNESS_COE= .0675

DEPTH	LOGALITH	IWAGAGI	SCHOCK	KRAMER	INDRI	KREY
10.00000	7.87070	19.17794	8.52443	10.65899	16.62657	22.90060
20.00000	8.96220	21.83751	9.70659	12.13717	18.93233	26.07643
30.00000	9.60069	23.39327	10.39811	13.00185	20.28111	27.93417
40.00000	10.05370	24.49709	10.88875	13.61535	21.23808	29.25226
50.00000	10.40508	25.35328	11.26932	14.09121	21.98037	30.27465
60.00000	10.69219	26.05284	11.58027	14.48002	22.58686	31.11001
70.00000	10.93493	26.64431	11.84317	14.80876	23.09965	31.81629
80.00000	11.14520	27.15667	12.07091	15.09352	23.54384	32.42810
90.00000	11.33067	27.60860	12.27179	15.34470	23.93565	32.96775
100.0000	11.49658	28.01286	12.45148	15.56939	24.28613	33.45049

DEPTH - VELOCITY(0m -- 1m) CURVE

0cm/s	10	20	30	40	50	60	70
100.00	os	r		d	i	y	
90.00	os	r		d	i	y	
80.00	os	r		d	i	y	
70.00	os	r		d	i	y	
60.00	os	r		d	i	y	
50.00	os	r		d	i	y	
40.00	s	r		d	i	y	
30.00	os	r		d	i	y	
20.00	os	r		d	i	y	
10.00	os	r		d	i	y	

<그림3> DEPTH - VELOCITY - 1M LOW
 PARTICLE_DIAMETER= .0800 ROUGHNESS_COE= .2000

DEPTH	LOGALITH	IWAGAGI	SCHOCK	KRAMER	INDRI	KREY
10.00000	6.96379	20.18518	15.06769	14.36038	16.68353	30.85294
20.00000	8.19766	23.76167	17.73744	16.90480	19.63958	36.31959
30.00000	8.91942	25.85378	19.29914	18.39320	21.36876	39.51737
40.00000	9.43153	27.33816	20.40719	19.44923	22.59563	41.78623
50.00000	9.82874	28.48953	21.26666	20.26835	23.54727	43.54609
60.00000	10.15329	29.43027	21.96889	20.93762	24.32481	44.98401
70.00000	10.42770	30.22565	22.56263	21.50348	24.98221	46.19975
80.00000	10.66540	30.91464	23.07694	21.99365	25.55168	47.25287
90.00000	10.87506	31.52238	23.53060	22.42602	26.05399	48.18179
100.00000	11.06261	32.06602	23.93641	22.81278	26.50332	49.01274

DEPTH - VELOCITY(0m -- 1m) CURVE

	0cm/s	10	20	30	40	50	60	70
100.00		o	rs	d	i			y
90.00		o	rs	d	i			y
80.00		o	rs	d	i			y
70.00		o	rs	d	i			y
60.00		o	rs	d	i			y
50.00		o	rs	d	i			y
40.00		o	rs	d	i			y
30.00		o	rs	d	i			y
20.00		o	rs	d	i			y
10.00		o	rs	d	i			y

Logarithmic 방법에 의해 계산된 roughness coefficient에 해당하는 입자의 입경보다 작은 입자에 대한 유속 profile은 <그림 1>에서 나타난 바와 같이 Iwagagi, Indri, Krey 공식에 의한 결과가 거의 비슷한 경향을 보이고 있으며, Iwagagi 공식에 의한 결과가 전체적인 면에서 비교적 타당성이 있는 것으로 사료된다. 또한 <그림 1>, <그림 2>에서와 같이 Schocklisch, Kramer 공식에 의한 결과는 유속 profile 방법으로는 적합치 않음을 알 수 있다.

Roughness coefficient가 0.0675 보다 큰 경우는 <그림 3>에서와 같이 Krey 공식에 의한 결과는 1m 부분의 유속이 바닥에 비해 그 변화가 너무 급하므로 적합치 않고 Schocklisch, Indri, Kramer, Iwagagi 공식에 의한 방법이 1m 이하의 저층에서 사용 가능한 유속 profile 형태를 보여주고 있다.

5. 결과 및 고찰

각 공식에 대한 유속 profile 결과를 수식화하기 위해 최소자승법을 사용하여 $Y=A(\log X)^2 + B\log X$ 의 상수 A, B를 계산한 결과는 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Values of A, B for Various Method

METHOD	B MEAN	B BUNSAN	A MEAN	A BUNSAN
LOGARITHMIC	.9850	.1268	3.9685	1.7319
IWAGAGI	2.8767	.2716	11.9701	.6190
SCHOCKLISCH	1.4434	.7101	5.4632	3.7323
KRAMER	1.6453	.4000	6.5205	1.0969
INDRI	2.5189	.0869	10.6428	1.8813
KREY	3.5349	1.8462	14.0092	5.0635

유속 profile을 포물선 방정식으로 표현하기 위한 <Table 3>의 상수 A, B 각 값을 <그림 1>, <그림 2>, <그림 3>의 유속 profile과 관련하여 고찰하면 일반적으로 대부분의 입자에 대해서는 Iwagagi 공식에 의해 계산된 friction velocity를 활용하여 1m 이하 저층의 유속을 계산하는 것이 가장 타당한 방법으로 사료되며 그 식은 $Y = 11.9701(\text{Log}X)^2 + 2.8767 \text{Log}X$ 로 표현할 수 있다.

또한 입자가 작을 경우는 Indri 공식에 의해 계산된 friction velocity를 사용하여도 비교적 큰 오차는 없을 것으로 사료되며, 그 식은 $Y = 10.6428(\text{Log}X)^2 + 2.5189 \text{Log}X$ 로 표현할 수 있다.

6. 요 약

일반적으로 많이 사용하고 있는 유속 profile 방법인 logarithmic method에 의한 friction velocity와 저층에 중심을 둔 각 공식에 의한 friction velocity를 계산하여 비교하고, 그 결과에 따라 유속을 profile 한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 일반적인 조건에서 1m 이하 저층의 유속은 Iwagagi 공식에 의해 friction velocity를 계산하여 유속을 profile 하는 것이 가장 오차가 작은 방법으로 나타났다.
2. 1m 부분의 유속 값으로 1m 이하의 저층 유속을 profile 하는 가장 적합한 공식으로는 $Y = 11.9701(\text{Log}X)^2 + 2.8767 \text{Log}X$ 로 나타낼 수 있다.
3. 입자가 작은 경우는 $Y = 10.6428(\text{Log}X)^2 + 2.5189 \text{Log}X$ 식을 사용하면 유속 profile에서 오차를 최소화 할 수 있다.

참고문헌

1. 유홍선, 김중배, 동일지점에서 장기관측에 의한 낙동강 하구의 순환특성, 한국해양대학 해사기초 구조 논문집, 제3집, p.3-18, 1988.
2. 장원일, 퇴적물 입자의 도약에 관한 연구, 한국해양대학 논문집, 제22집 p.181-194, 1987.
3. A.D.Heathershaw and D.N.Langhorne, Observations of Near-Bed Velocity Profiles and Seabed Roughness in Tidal Currents Flowing over Sandy Gravels, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1988.
4. Dyer, K.R., Estuary Hydrography and Sedimentation, Cambridge University Press, p. 197-225, 1979.
5. Dyer, K.R., Current Velocity Profiles in a Tidal Channel, Geographys. J. Roy. Astronom. Soc. 22, 1970.
6. E. J. Hayter and A. J. Mehta, Modeling Estuarial Coesive Sediment Transport, Coastal Engineering Conference, Vol. III, p. 2985-3000, 1984.
7. R. Garde, Rang Raju, Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems, 1978.
8. Stermberg, R. W. Predicting Initial Motion and Bedload Transport of Sediment Particles in a Shallow Marine Envarinment, in Shelf Sediment Transport, ed. D. J. P. Swift, D. B. Duane & O. H. Pilkey, p. 61-82, 1972.
9. W. G. Mcdougal & R. T. Hudspeth, Longshore Sediment Transport on Dean Beach Profile, Niteen Coastal Engineering Conference, Vol. II, p. 1488-1506, 1984.