

회전식유속계와 ADCP를 이용한 연직유속분포 측정 및 평균유속 산정에 관한 연구

A Study on Mean Velocity Computation from Vertical Velocity
Distribution Measurements using Flow Meter and ADCP

강기호*, 배영대**, 이세건***

Ki-Ho Kang, Young Dae Bae, Se Gun Lee

요 지

자연하천에서 단위구간(측선)의 연직선상 평균유속산정을 위한 일반적인 측정방법으로는 표면유속법, 1점법, 2점법, 3점법, 4점법, 5점법, 6점법, 연직 유속분포법 등이 있으며, 본 연구에서는 지난 1년간 낙동강유역 이안, 신풍, 성덕(무계), 성덕(보현)지점에서 회전식유속계로 측정한 유속자료를 이용하여 측선별 연직분포곡선을 작성한 후 측정지점 횡단면상 수심이 얇은 양안과 상류 제약조건(수풀 또는 돌출된 바위 등)으로 인해 측선의 흐름이 왜곡되는 지점을 제외한 측선별 연직유속분포곡선을 평균하여 지점별 대표 연직유속분포곡선을 작성하였다.

지점별 대표 연직유속분포 곡선을 작성하여 평균유속을 산정한 값을 기준으로 하천유량 측정 시 일반적 평균유속 산정방법인 1, 2, 3점법 및 표면유속법에 대한 변동계수를 분석한 결과 1점법은 0.064, 2점법은 0.027, 3점법은 0.043, 표면유속법은 0.126으로 1, 2, 3 점법에서는 지점별 변화가 비교적 작게 나타났으며 표면유속법에서는 유량측정 지점별 변화가 큰 것으로 나타났다.

또한, 낙동지점에서 ADCP를 이용한 유량측정시 수집된 측선별 연직유속분포자료를 이용, 측정지점의 유량별 대표 연직유속분포 곡선을 작성, 실제 하천유량측정에 널리 쓰이고 있는 평균유속 측정방법을 비교 분석하였다.

분석결과, 1점법에서는 평균유속대비 1.076, 2점법에서는 1.026, 3점법에서는 1.051로서 2, 3점법이 대체로 양호한 결과를 보이며 이는 Hulsing 등의 연직유속분포곡선을 이용하여 계산한 1점법에서 1.020, 2점법 1.010, 3점법 1.015의 결과 추세와도 일치하였다.

핵심용어 : 연직유속분포곡선, 평균유속산정, 유속 측선, 표면유속보정계수

1. 서 론

하천 유량측정의 가장 대표적인 방법인 유속-면적법에서 하천 유량은 일반적으로 하천단면을 단위구간으로 나누어 단위구간의 면적과 각 단위구간의 평균유속을 곱한 단위구간 유량의 합으로 구해진다. 여기서 단위구간(측선)의 평균유속은 여러 수심에서의 측정유속을 이용하여 구하지만 몇 개의 유속측정만으로도 측선의 평균유속과 측정유속과의 관계에 의해 근사적으로 산출될 수 있는데, 일반적으로 단위구간의 연직선상 평균유속 산정을 위해 1점법, 2점법, 3점법, 4점법, 5점법, 6점법, 표면유속법 등을 사용한다. 하지만 자연하천의 유속분포는 수로의 단면형과 불규칙성, 경계

* 정회원 · 한국수자원공사 수자원관리처 하천관리팀 · E-mail : kangkiho@kwater.or.kr

** 정회원 · 한국수자원공사 조사기획처 수자원조사팀 · E-mail : nept21@kwater.or.kr

*** 한국수자원공사 조사기획처 수자원조사팀 · E-mail : xenox2@naver.com

면의 조도, 표면장력, 유량 등에 의하여 복잡한 양상을 나타낸다.

여기에서는 먼저 지난 1년간 낙동강유역의 5개 조사지점에서 회전식유속계로 측정한 유속자료를 이용하여 측정지점의 측선별 연직유속분포곡선을 작성한 후, 측정지점 횡단면상 수심이 얕은 양안과 상류 제약조건(수풀 또는 돌출된 바위 등)으로 인해 측선의 흐름이 왜곡되는 지점을 제외한 측선들의 연직유속분포곡선을 평균하여 대표 연직유속분포곡선을 작성하였다.

또한, ADCP의 측정성과를 이용하여 작성한 측정지점의 유량별 대표 연직유속분포 곡선을 활용하여 실제 하천유량측정에 널리 쓰이고 있는 평균유속 산정방법들을 비교 분석하였다.

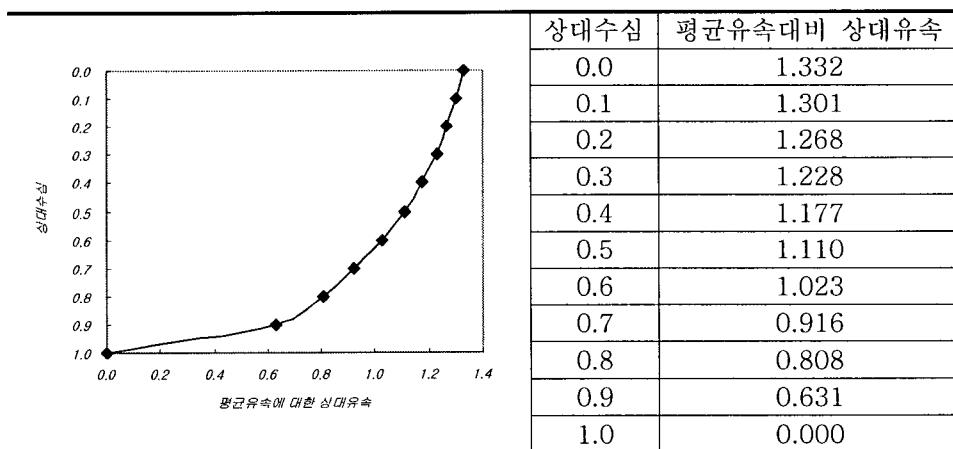
2. 자연하천의 연직유속분포곡선 작성

2.1 회전식 유속계

2.1.1 연직유속분포곡선 작성

지난 2005년 낙동강수계 낙동, 이안, 신풍, 성덕(무계), 성덕(보현) 등 5개지점에서 시행된 유량 측정 자료 중 측선별로 정밀(5point 이상)하게 측정된 유속측정 자료를 이용, 분석대상 지점의 측선별 연직유속분포곡선을 작성하여 【작성예, 표 1】 연직유속분포법에 의해 산정된 평균유속을 기준으로 각 평균유속 산정방법별 상대오차를 분석 【표 2】 하였다.

표 1. 이안지점 대표연직유속분포곡선



2.1.2 연직유속분포곡선 분석

지점별 대표 연직유속분포곡선을 작성하여 평균유속을 산정한 후 이를 기준으로 하천유량 측정시 일반적 평균유속 산정방법인 1, 2, 3점법 및 표면유속법에 대한 변동계수 분석결과, 【표2】와 같이 1점법은 0.064, 2점법은 0.027, 3점법은 0.043, 표면유속법은 0.126로 1, 2, 3 점법에서는 지점별 변화가 비교적 작게 나타났으며 표면유속법에서는 유량측정 지점별 변화가 큰 것으로 나타났다.

그리고 대표 연직유속분포곡선을 이용하여 표면유속보정계수를 산정 결과 【표 2, 3】과 같이 하천규모가 커질수록 표면유속이 평균유속에 비해 작아지는 추세를 보이며, 표면유속보정계수가 0.63으로 나타난 성덕 보현천 지점(측정 수심이 40cm정도로 얕고 하상에 호박들이 산재해 흐름이

왜곡되는 것으로 판단됨)을 제외하면 0.75 ~ 0.90 정도의 분포를 보였다. 따라서 홍수기 유량측정에서 있어 효율적이고, 사용에 안전한 전자파표면유속계, LSPIV(Large-scale Particle Image velocimetry)등의 장비를 사용할 경우 지점별 표면유속보정계수의 산정이 필요할 것으로 판단된다.

표 2. 지점별, 평균유속산정방법별 평균유속(연직유속분포곡선)에 대한 상대유속

구 분	낙동	이안	신풍	성덕 (보현)	성덕 (무계)	평 균	표준 편차	변동 계수	Hulsing 등	비 고
1점법	0.983	1.023	1.102	1.008	1.143	1.052	0.068	0.064	1.020	
2점법	1.062	1.038	1.059	1.021	1.098	1.056	0.029	0.027	1.010	
3점법	1.022	1.031	1.080	1.015	1.120	1.054	0.045	0.043	1.015	
표면법	1.213	1.332	1.206	1.598	1.226	1.315	0.166	0.126	1.160	
표면유속 보정계수	0.82	0.75	0.83	0.63	0.82	0.80	-	-	0.86	=1/표면법

$$※ 평균 = \mu_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, 표준편차(표준집단) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2}, COV(X) = \delta_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x}$$

표 3. 지점별 표면유속보정계수

하천명	지 점	표면유속 보정계수	하천명	지 점	표면유속 보정계수
보현천	성덕(수락1교)	0.63	낙동강	낙동(낙단교)	0.82
무계천	성덕(무명교)	0.82	낙동강	왜관(구 왜관칠교)	0.80 ~ 0.85
병보천	신풍(상사4교)	0.83	낙동강	고령교(구 고령교)	0.85 ~ 0.90
이안천	이안(상우교)	0.75	낙동강	적포교(적포교)	0.85 ~ 0.90
이안천	이안(구 이안교)	0.75 ~ 0.80	낙동강	진동(남지교)	0.85 ~ 0.90
낙동강	사벌(상풍교)	0.80 ~ 0.85			

※ 사벌, 왜관, 고령교, 적포교, 진동은 2004년 조사성과 활용

2.2 ADCP

2.2.1 연직유속분포곡선 작성

연직유속분포곡선의 작성은 ADCP 장비특성상 실측구간이 많아질 수 있도록 하폭과 수심이 비교적 큰 낙동지점 ADCP 유량측정에서 수집된 측선별 연직유속분포자료중 수심이 비슷한 하천 중심부 60% 구간의 단위 연직유속분포 자료를 평균하여 수심별(8 ~ 9개) 대표 유속을 산정한 후 2 차 곡선형으로 연직유속분포곡선을 작성하였다. 【그림 1,2, 표 4】 이 때, ADCP를 이용하여 측정된 연직유속분포는 순간적인 유속을 수집한 자료이므로 수평방향 5개 셀을 평균한 값을 적용하여 순간 유속이 갖는 변동성을 완화 하였다. 그리고 자연하천에서 연직유속분포곡선은 수위변화 즉 유량의 크기에 따라 그 특성이 달라지므로 유량에 따른 연직유속분포 변화를 분석하였다.

2.2.2 연직유속분포 곡선 분석

각 유량별 최대유속 지점의 수면으로부터 위치는 【그림 1, 2】에서와 같이 유량 131.5(m³/s)에서는 0.4h, 286.3(m³/s)는 0.2h, 552.0(m³/s)에서 0.2h지점으로 유량이 커질수록 최대유속지점이

낙동지점 유량별 유속분포 변화 비교

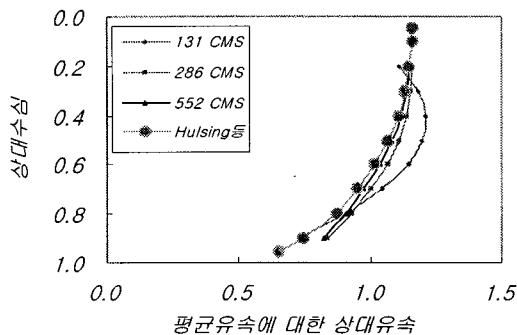


그림 1. 유량별 평균유속에 대한 상대유속

낙동지점 유량별 유속분포 변화 비교

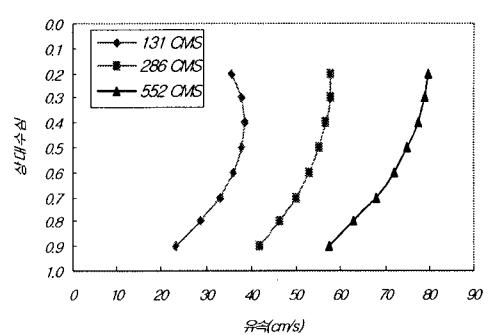


그림 2. 유량별 대표유속분포 변화

표 4. 유량별 평균유속에 대한 상대유속분포

상대수심	평균유속에 대한 상대유속				비 고	
	Hulsing 등	유량별				
		131.5(m³/sec)	286.3(m³/sec)	552.0(m³/sec)		
0.05	1.160	-	-	-		
0.10	1.160	(1.002)*	(1.145)*	(1.144)*		
0.20	1.149	1.114	1.158	1.147		
0.30	1.130	1.184	1.156	1.137		
0.40	1.108	1.212	1.140	1.115		
0.50	1.067	1.199	1.109	1.081		
0.60	1.020	1.144	1.064	1.035		
0.70	0.953	1.048	1.004	0.977		
0.80	0.871	0.910	0.929	0.907		
0.90	0.746	0.731	0.840	0.824		
0.95	0.648	-	-	-		

수면 근처로 이동하는 경향을 보이며, 측정 자료의 수심별 유속 분산이 작아지는 것으로 나타났다. 이는 ISO 748 규정의 무작위 오차의 개별 불확실도 중 측정시간에 따른 불확실도 요소가 유속이 커질수록 작아지는 점을 감안 할 때 자연하천의 물리적인 현상을 잘 반영한 것으로 판단된다.

자연하천의 유량측정에서 평균유속산정을 위해 일반적으로 이용하는 1점법, 2점법, 3점법을 적용 하였을 경우, 유량별 평균유속에 대한 상대유속 정도를 분석한 결과 【표 5】 , 1점법에서는 평균유속대비 1.076, 2점법에서는 1.026, 3점법에서는 1.051로 나타나 2, 3점법이 대체로 양호한 결과를 보이며 이는 Hulsing 등의 연직유속분포곡선을 이용하여 계산한 1점법에서 1.020, 2점법 1.010, 3점법 1.015의 결과 추세와도 일치하였다.

4. 결 론

자연하천의 가장 대표적인 유량측정 방법인 유속-면적법에서, 측선의 평균유속산정방법은 유량측정결과의 불확실도에 중요한 영향을 미치는 요소이다.

표 5. 유량별 평균유속에 대한 상대유속비교

유량별(m ³ /sec)		연직유속분포법	1점법	2점법	3점법	비 고
131.5	평균유속(cm/s)	31.805	36.137	32.252	34.195	
	상대유속	1.000	1.135	1.013	1.074	
286.3	평균유속(cm/s)	50.378	52.959	51.996	52.477	
	상대유속	1.000	1.051	1.032	1.042	
552.0	평균유속(cm/s)	69.003	71.858	71.260	71.559	
	상대유속	1.000	1.041	1.033	1.037	
Hulsing 등		1.000	1.020	1.010	1.015	
상대유속 평균		1.000	1.076	1.026	1.051	

특히 홍수기 유량측정에 유용하게 이용되는 전자파표면유속계를 이용한 표면유속법의 경우 개별요소에 대한 불확실도가 15%로 연직유속분포곡선을 고려한 표면유속보정계수 산정은 유량측정 자료의 신뢰도 향상에 중요한 요인이다.

따라서, ADCP와 달리 측선상 몇 개의 점유속을 측정하는 회전식 유속계, 전자기식(마그네틱) 유속계, 전자파표면유속계, 부자등은 측정장비의 정확도도 중요하지만 이러한 성과를 이용한 평균 유속 산정의 중요성은 더더욱 크다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 기존의 평균유속 산정에 대한 기준 및 연구성과를 회전식 유속계와 ADCP 장비를 이용하여 국내의 다양한 하천에 직접 적용하여 비교 검증한 결과, 일반적인 추세는 유사하나 하천규모에 따라 또는 동일 하천에서도 유량규모별로 변화됨을 알 수 있다.

따라서, 하천규모 및 형상, 유량규모등에 관계없이 획일적인 평균유속 산정공식 적용은 유량측정값의 불확실도를 증가시키는 요인이 될 수 있어, 본 연구성과를 활용하여 측정 지점별특성에 적합도록 평균유속을 산정하여 할 것이다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (2004). 하천 유량측정 지침.
- 건설교통부 (2004). 수문관측 매뉴얼.
- 한국수자원공사 (2004, 2005). 낙동강유역 주요하천 수자원·환경 기초조사 보고서.
- 한국수자원공사 (2005). 수자원 기초조사 관련 기술 및 장비평가 보고서.
- Hulsing, Harry, Smith, Winchell, and Cobb, E. D. (1966). *Velocity-head coefficients in open channels*. U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1869-C, p. 7.
- International Standards Organization (1968). *Liquid flow measurement in open channels by velocity area methods*. ISO Recommendation R748, Geneva, p. 34.rado.