

자연하천의 유속측정에 의한 수심평균유속환산계수의 산정

Assessment of Depth-averaged Velocity Conversion Factors in a Natural River with Measured Velocities

김영성*, 이현석**, 양재린***, 이요상****

Youngsung Kim, Jaerheon Yang, Hyun-Seok Lee, Yosang Lee

요 지

이동식 전자파표면유속계를 이용한 홍수유량의 산정을 위해서 임의의 유량측정지점에서 측정한 표면유속 값에 수심평균유속환산계수 0.85를 적용하여 그 지점의 평균유속을 계산하고 있다. 이로 인해 각 지점에서 흐름조건 및 기상학적으로 요인으로 인한 이 계수의 변동성을 고려하지 않은 상태로 유량을 산정하게 되어 각 흐름조건을 고려한 유량산정을 할 수 없는 실정이다. 이에 하천 현장에서 표면유속과 수심별유속의 실측 자료를 이용하여 흐름조건에 따른 표면유속과 평균유속의 관계를 파악하고자 하였다. 이를 위하여 용담 수자원시험구역의 동향지점에서 하천을 횡단하며 바닥에서 수표면까지 수심방향으로 0.05 ~ 0.10 m의 간격으로 프로펠러 유속계를 이용하여 정밀법으로 각 수심에서의 유속을 측정하였다. 정밀측정된 수심별 유속을 이용하여 평균유속을 산정하고 이를 수체 (water column)의 가장 최상층에서 측정한 유속을 표면유속으로 가정 한후 이로부터 수심평균유속환산계수를 산정하여 흐름조건에 따른 계수의 변화를 조사하였다.

하천 현장에서 흐름조건에 따른 표면유속과 수심별유속의 정밀측정을 통한 이들 깊이별 유속의 변화여부를 용담수자원시험구역의 동향지점에서 현장조사를 실시하였다. 측정당시 풍속이 느려서 (1.5~3.1 m/s) 바람으로 인한 유속에 미치는 영향이 수심별 유속분포상으로는 거의 나타나지 않았다. 다만 양안에서 평균유속과 표면유속이 역전되는 현상이 발생되었는데 이는 벽면 마찰에 바닥마찰의 영향이 추가됨에 따른 것으로 판단된다. 수심별 유속측정 결과를 전체적으로 분석한 결과 환산계수가 0.632~1.352로 넓게 분포하고 있다. 환산계수가 1.0 이상인 경우는 양안에 인접한 두 지점인데, 이들 두 경우는 유속분포가 이론적인 유속분포와는 상반된 유속이 측정 - 표면유속이 수심평균유속보다 느림 - 되었다. 환산계수가 0.6~0.8 사이에서 형성된 경우는 표면유속이 평균유속보다 25~55% 정도 빠르게 나타나고 있다. 전체 측정결과를 검토해보면, 전반적으로 양안에 인접한 측선에서 표면유속이 평균유속보다 느려지는 현상이 나타나고 있다. 또한 유속이 1.0 m/s 이상인 경우에 0.677~0.790의 환산계수 값을 보이는데 이 경우 수심이 50 cm 이하여서 바닥마찰의 영향이 큰 것으로 판단된다. 다양한 흐름조건별 표면유속과 수심별유속의 측정을 할 수 있는 현장여건 - 유속, 수위 등의 동일흐름 조건에 대해서 -에 많은 부분이 제약되어 이의 정밀분석이 힘든 실정이다. 따라서 이러한 현장측정시의 제약성을 극복하기 위해서 여러 가지 흐름조건을 구현할 수 있는 정밀제어가 가능한 실내실험장치를 이용한 면밀한 분석이 필요하다.

핵심용어: 전자파표면유속계, 프로펠러유속계, 표면유속, 수심별 유속, 수심평균유속환산계수

* 김영성 · 한국수자원공사 Kwater-연구원 수자원연구소 책임연구원 · E-mail : yskim@kwater.or.kr

** 이현석 · 한국수자원공사 Kwater-연구원 수자원연구소 선임위촉연구원 · E-mail : hslee2005@kwater.or.kr

*** 양재린 · 한국수자원공사 Kwater-연구원 수자원연구소 책임연구원 · E-mail : jyang@kwater.or.kr

**** 이요상 · 한국수자원공사 Kwater-연구원 수자원연구소 책임연구원 · E-mail : yslee@kwater.or.kr

1. 서론

한국수자원공사에서는 1993년부터 “대하천유량 자동측정 설비개발”이라는 연구과제로 홍수유량의 정확하고 안전한 측정을 위하여 여러 가지 관련기술을 검토하였고, 그 결과 홍수 유량측정을 위한 최적의 기술로 전자파가 가장 좋은 것으로 결정되어, 이로부터 홍수용 전자파표면유속계 시제품을 개발하였고 이를 지속적으로 개선을 하여 1999년도에 이를 상품화 보급시작한 이후 2009년까지 75대를 사내외에 보급하였다.

전자파표면유속계의 성능개선이 지속적으로 진행되어 그간 보급된 전자파표면유속계의 사용자 편의성 향상을 위하여 2007년도에는 편각측정용 전자파표면유속계 시제품의 개발되었고, 2008년도에는 홍수용 전자파표면유속계의 설치지점이 다른 지점에 비하여 높은 교량인 경우, 이로 인해 전자파의 수신감도가 약해져서 유속측정이 안되는 문제점에 개선하였으며 또한 전자파표면유속계의 유속측정 범위의 한계점이었던 0.5 m/s 이하의 저유속 측정을 위한 저유속용 전자파표면유속계의 시제품 개발이 완료되어 현재 실내시험 및 현장시험을 통하여 시제품을 보완하고 있다.

이동식 전자파표면유속계를 이용한 홍수유량의 산정을 위해서 임의의 유량측정지점에서 측정한 표면유속 값에 수심평균유속환산계수 0.85를 적용하여 그 지점의 평균유속을 계산하고 있다. 환산계수 0.85는 표면부자 측정시에 적용하는 값으로(건설교통부, 2004), 미국 USGS에서도 표면유속을 측정하여 수심평균유속을 산정하기 위하여 이 값을 적용하고 있다(Costa et al., 2000; Rantz, 1982). 이렇듯 환산계수 0.85는 일률적으로 적용되어, 각 지점에서 흐름조건 및 기상학적으로 요인으로 인한 이 계수의 변동성을 고려하지 않은 상태로 유량을 산정하게 되어 각 흐름조건을 고려한 유량산정을 할 수 없는 실정이다. 이에 하천 현장에서 표면유속과 수심별 유속의 실측을 통하여 흐름조건에 따른 표면유속과 평균유속의 관계의 변화추이를 파악하고자 하였다. 이를 위하여 용담 수자원시험구역의 동향지점에서 하천을 횡단하며 바닥에서 수표면까지 수심방향으로 0.05 ~ 0.10 m의 간격으로 프로펠러 유속계를 이용하여 정밀법으로 각 수심에서의 유속을 측정하였다. 정밀 측정된 수심별 유속을 이용하여 평균유속을 산정하고 이를 수체 (water column)의 가장 최상층에서 측정된 유속을 표면유속으로 가정하여 이로부터 수심평균유속환산계수를 산정하여 흐름조건에 따른 계수의 변화를 조사하였다.

2. 수심별 유속측정 및 환산계수 산정을 위한 현장시험

K-water 연구원에서는 양질의 수문인자의 생성을 위하여 용담댐 수자원시험유역을 운영중에 있다. 현장의 흐름조건에 따른 유속분포의 변화여부 파악을 위한 실험장소로 용담댐 수자원시험유역에 위치한 동향지점을 선정하였다. 동향 지점의 특징은 홍수기부터 평·갈수기에 이르는 거의 연중 유량측정이 가능하도록 여러 가지의 장비가 설치되어져 있다. 즉 홍수기의 고유속으로 흐르는 홍수파의 진행 메카니즘을 파악하기 위하여 고정식 전자파표면유속계를 이용한 실시간 홍수유량측정시스템을 설치하여 운용중에 있으며, 평·갈수기의 유량의 측정을 위하여 파살플룸이 설치되어져 운영중에 있다. 또한 동향지점에는 부자식 수위계가 설치된 수위국이 위치해 있다.

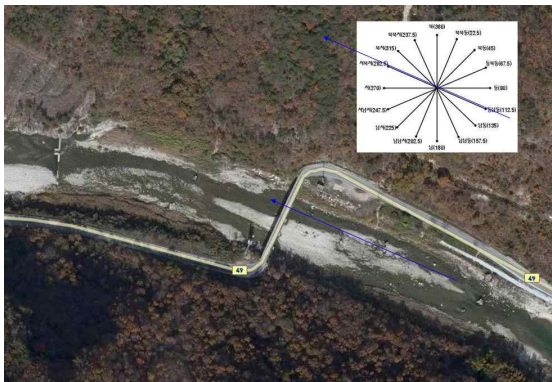


그림 1. 동향지점의 지도상 위치 및 풍향 16방위



그림 2. 수심별 유속 측정

따라서 동향지점에서는 홍수기에는 실시간으로 유속, 유량 및 수위의 변화를 파악할 수 있으며, 갈수기에는

인력의 투입에 의하여 안정적으로 유량을 측정할 수 있다. 이에 동향지점에서 흐름과 관련된 조건의 변화에 따라 수심별 유속이 어떻게 변화하는지 조사하고자 하였다.

현장에서 흐름조건별 수심평균유속환산계수의 산정을 위한 표면유속 및 수심별 유속의 실측은 프로펠러유속계를 이용하였다. K-water연구원에서 보유한 Swoffer사의 Flow Meter 3000의 경우 프로펠러의 직경이 5 cm이므로 수표면에 약 3 cm 깊이의 유속측정이 가능하다. 따라서 현장에서 수심별 유속측정시 깊이가 50 cm 이내인 경우 5~10 cm 깊이로 정밀법으로 수심별 유속을 측정하였다.

측정당시 바람의 세기 및 방향에 관한 자료는 다음 표1과 같다. 측정당시 풍속의 세기가 느려서 흐름에는 영향을 별로 미치지 못할 것으로 판단하였고, 또한 풍향이 흐름의 방향과 45도 내외의 각도를 보이고 있어 그 영향은 더욱 작을 것으로 판단된다.

표 1. 수심별 유속측정 당시의 바람현황

	방위	16 방위	풍속 (m/s)	비고
1차 (8/11 17:00)	247.8	WSW	3.1	10분 평균
2차 (8/12 13:40)	223.7	SW	2.6	
3차 (8/12 16:40)	256.6	WSW	1.5	

3. 수심별 하천유속측정 시험 결과

8월 11일 수심별 유속측정 결과를 분석한 결과 환산계수가 0.632~1.207로 넓게 분포하고 있다. 환산계수가 1.0 이상인 경우는 R-0.5와 L-3 case인데, 두 경우에는 유속분포가 이론적인 유속분포와는 상반된 유속이 측정 - 표면유속이 수심평균유속보다 느림 - 되었을 때 이었다. 환산계수가 0.6~0.8 사이에서 형성된 경우는 표면유속이 평균유속보다 25~58% 정도 빠르게 나타나고 있다(표 2).

표 2. 8월 11일 표면유속 및 수심별 유속측정 결과

Case	표면유속 V_{surf}	평균유속 (V_{ave} , 정밀법)	$V_{0.2H}$	$V_{0.6H}$	$V_{0.8H}$	$V_{3 pt ave}$	환산계수 (V_{ave}/V_{surf})
R-0.5	0.161	0.194	0.176	0.218			1.207
R-1.5	0.311	0.252	0.252	0.252	0.227	0.246	0.812
R-2.5	0.351	0.297	0.334	0.305	0.248	0.298	0.846
R-4.5	0.458	0.289	0.415	0.270	0.116	0.268	0.632
R-6.5	0.502	0.327	0.458	0.301	0.160	0.305	0.652
R-8.5	0.569	0.417	0.539	0.370	0.319	0.399	0.731
R-10.5	0.542	0.379	0.478	0.360	0.301	0.375	0.699
R-12.5	0.428	0.323	0.428	0.295	0.241	0.315	0.756
R-13.5	0.306	0.204	0.285	0.177	0.162	0.200	0.667
R-14.5	0.208	0.185	0.198	0.176			0.890
R-15.5	0.087	0.079	0.085	0.076			0.913
L-1	0.479	0.470	0.477	0.466			0.981
L-1.5	0.938	0.825	0.944	0.739	0.751	0.793	0.880
L-2	1.109	0.876	1.097	0.830	0.683	0.860	0.790
L-2.5	1.221	0.891	1.153	0.798	0.686	0.859	0.729
L-3	0.801	0.891	0.885	0.975	0.942	0.944	1.111

※ R: 우안측 흐름에 대한 흐름의 우측 물끝에서의 거리, L: 좌안측 흐름에 대한 흐름의 우측 물끝에서의 거리

8월 12일 1차 수심별 유속측정 결과를 분석한 결과 환산계수가 0.652~1.351로 넓게 분포하고 있다. 환산계수가 1.0 이상인 경우는 R-0.7, R14.7 및 L-5.5 case인데, 이들 세 경우도 8월 11일 측정결과와 마찬가지로 유속분포가 이론적인 유속분포와는 상반된 유속이 측정 - 표면유속이 수심평균유속보다 느림 - 되었을 때

이었다. 환산계수가 0.6~0.8 사이에서 형성된 경우도 8월 11일과 마찬가지로 표면유속이 평균유속보다 25~53% 정도 빠르게 나타나고 있다(표 3).

8월 12일 2차 수심별 유속측정 결과를 분석한 결과 환산계수가 0.646~1.118로 넓게 분포하고 있다. 환산계수가 1.0 이상인 경우는 R-0.7와 L-6 case인데, 이들 두 경우도 8월 11일 및 8월 12일 1차 유속측정결과와 마찬가지로 유속분포가 이론적인 유속분포와는 상반된 유속이 측정 - 표면유속이 수심평균유속보다 느림 - 되었을 때 이었다. 환산계수가 0.6~0.8 사이에서 형성된 경우도 8월 11일 및 8월 12일 1차와 마찬가지로 표면유속이 평균유속보다 25~55% 정도 빠르게 나타나고 있다(표 4).

전체 측정결과를 검토해보면, 전반적으로 양안에 인접한 측선에서 표면유속이 평균유속보다 느려지는 현상이 나타나고 있다. 또한 유속이 1.0 m/s 이상인 경우에 0.677~0.814의 환산계수 값을 보이는데 이 경우 수심이 50 cm 이하여서 바닥마찰의 영향이 큰 것으로 추측된다.

표 3. 8월 12일 1차 표면유속 및 수심별 유속측정 결과

Case	표면유속	평균유속 (V_{ave} , 정밀법)	$V_{0.2H}$	$V_{0.6H}$	$V_{0.8H}$	$V_{3\ pt\ ave}$	환산계수 (V_{ave}/V_{surf})
R-0.7	0.136	0.145	0.144	0.150	0.143	0.147	1.073
R-1.7	0.302	0.221	0.285	0.212	0.159	0.217	0.733
R-2.7	0.407	0.365	0.424	0.377	0.285	0.366	0.897
R-4.7	0.606	0.395	0.506	0.485	0.165	0.410	0.652
R-6.7	0.656	0.461	0.633	0.477	0.272	0.465	0.702
R-8.7	0.845	0.650	0.811	0.616	0.463	0.627	0.770
R-10.7	0.818	0.545	0.733	0.499	0.362	0.524	0.667
R-12.7	0.719	0.531	0.697	0.508	0.327	0.510	0.739
R-14.7	0.118	0.160	0.146	0.166	0.170	0.162	1.351
R-15.7	0.091	0.077	0.075	0.069	0.082	0.074	0.846
L-1	0.284	0.254	0.284	0.223			0.896
L-2	0.257	0.257		0.257			1.000
L-3	0.775	0.760	0.778	0.781	0.710	0.762	0.980
L-4	1.433	1.054	1.408	0.995	0.637	1.009	0.735
L-5	1.268	1.033	1.243	1.039	0.749	1.017	0.814
L-5.5	0.687	0.703	0.798	0.726	0.539	0.697	1.023

※ R: 우안측 흐름에 대한 흐름의 우측 물끝에서의 거리, L: 좌안측 흐름에 대한 흐름의 우측 물끝에서의 거리

표 4. 8월 12일 2차 표면유속 및 수심별 유속측정 결과

Case	표면유속	평균유속 (V_{ave} , 정밀법)	$V_{0.2H}$	$V_{0.6H}$	$V_{0.8H}$	$V_{3\ pt\ ave}$	환산계수 (V_{ave}/V_{surf})
R-0.7	0.150	0.168	0.161	0.190	0.161	0.176	1.118
R-2.7	0.423	0.384	0.452	0.394	0.329	0.392	0.908
R-4.7	0.657	0.431	0.590	0.470	0.163	0.423	0.655
R-6.7	0.748	0.527	0.720	0.487	0.332	0.506	0.704
R-8.7	0.918	0.713	0.872	0.682	0.544	0.695	0.777
R-10.7	0.835	0.540	0.706	0.491	0.330	0.504	0.646
R-12.7	0.758	0.529	0.709	0.491	0.321	0.503	0.697
R-14.7	0.200	0.173	0.200	0.164	0.141	0.167	0.865
R-15.7	0.126	0.100	0.116	0.082	0.092	0.093	0.793
L-1	0.178	0.178		0.178			1.000
L-2	0.422	0.422		0.422			1.000
L-3	0.400	0.358	0.386	0.341			0.896
L-4	1.085	0.734	0.972	0.676	0.467	0.698	0.677
L-5	1.391	1.093	1.364	1.189	0.682	1.106	0.785
L-6	0.985	1.030	1.072	1.104	0.918	1.049	1.046

※ R: 우안측 흐름에 대한 흐름의 우측 물끝에서의 거리, L: 좌안측 흐름에 대한 흐름의 우측 물끝에서의 거리

4. 결론

하천 현장에서 흐름조건의 변화에 따른 표면유속과 수심별유속의 정밀측정을 통한 이들 깊이별 유속의 변화여부를 용담수자원시험유역의 동향지점에서 현장조사를 실시하였다. 측정당시 풍속이 느려서 (1.5~3.1 m/s) 바람으로 인한 유속에 미치는 영향이 수심별 유속분포상으로는 거의 나타나지 않았다. 다만 양안에서 평균유속과 표면유속이 역전되는 현상이 발생되었는데 이는 벽면 마찰에 바닥마찰의 영향이 추가됨에 따른 것으로 판단된다. 수심별 유속측정 결과를 전체적으로 분석한 결과 환산계수가 0.632~1.352로 넓게 분포하고 있다. 환산계수가 1.0 이상인 경우는 R-0.7과 L-6 case인데, 이들 두 경우는 유속분포가 이론적인 유속분포와는 상반된 유속이 측정 - 표면유속이 수심평균유속보다 느림 - 되었다. 환산계수가 0.6~0.8 사이에서 형성된 경우는 표면유속이 평균유속보다 25~55% 정도 빠르게 나타나고 있다. 전체 측정결과를 검토해보면, 전반적으로 양안에 인접한 측선에서 표면유속이 평균유속보다 느려지는 현상이 나타나고 있다. 또한 유속이 1.0 m/s 이상인 경우에 0.677~0.790의 환산계수 값을 보이는데 이 경우 수심이 50 cm 이하여서 바닥마찰의 영향이 큰 것으로 판단된다. 다양한 흐름조건별 표면유속과 수심별유속의 측정을 할 수 있는 현장여건 - 유속, 수위 등의 동일흐름 조건에 대해서 -에 많은 부분이 제약되어 이의 정밀분석이 힘든 실정이다. 따라서 이러한 현장측정시의 제약성을 극복하기 위해서 정밀제어가 가능한 실험장치를 이용한 실내실험이 필요하다.

참고 문헌

1. 건설교통부, (2004). 수문관측매뉴얼, 건설교통부.
2. Costa, J. E., Spicer, K. R., Cheng, R. T., Haeni, F. P., Melcher, N. B., Thurman, E. M., Plant, W. J., and Keller, W. C. (2000). "Measuring stream discharge by non-contact methods - A proof-of-concept experiment." *Geophysical Research Letters*, 27(4), 553 - 556.
3. Rantz, S. E. (1982). *Measurement and Computation of Streamflow*, Volume 1, Measurement of Stage and Discharge, U.S. Geol. Surv. Water Supply Pap. 2175.