

ADCP 측정자료 분석을 위한 후처리 프로그램

A post-processing program for analysis of ADCPs

이혜은¹⁾, 이찬주²⁾, 김동구³⁾, 김원⁴⁾

Hea Eun Lee, Chan Joo Lee, Dong Gu Kim, Won Kim

요 지

본 연구에서는 ADCP 측정자료를 효율적으로 활용할 수 있도록 ADCP 이동측정법 자료의 후처리 프로그램을 개발하였다. 먼저, 측정된 ensemble과 방위별 유속으로 표시되던 단면유속분포를 한 눈에 알아볼 수 있도록 좌표를 정리하고 주흐름방향 유속을 출력하는 등, Sontek과 RDI 자료 취득 소프트웨어의 ascii 파일을 사용자가 쉽게 알아보고 가공할 수 있도록 변형하였다. 또한, 기존 ADCP 사용과 관련하여 발표된 screening 및 smoothing 기법을 적용하여 유효한 유속자료를 선별하고 단면의 평균 흐름에 근접한 유속자료를 제공하도록 하였다. 멱함수를 이용한 외삽으로 측정불가역의 유속 및 유량을 추정하였으며, 총 53개 측정자료의 유량을 추정한 결과 ADCP 소프트웨어가 제공하는 유량과 평균 1.33 %의 오차를 보였다. 마지막으로, 정리된 ADCP 자료로부터 하천의 주요 수리학적 특성을 추정하도록 하여 하천단면을 횡단하는 간단한 ADCP 측정만으로도 많은 시간과 노력을 들여 측정하던 하천의 특성을 신속히 파악할 수 있도록 하였다.

핵심용어: ADCP, screening, smoothing, 측정불가역 유속 추정, 수리학적 특성

1. 서론

최근 하천의 흐름측정에 있어 첨단 기술이 융합된 자동유량측정방법이 각광받고 있다. 그 중 기존의 측정 장비들에 비해 유속 및 유량 정보를 빠르고 간편하게 획득할 수 있는 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)의 활용도가 점차 높아지고 있다. Sontek과 RDI는 ADCP 자료의 취득 및 재생 (playback)을 위하여 WinRiver, RiverSurveyor 와 같은 소프트웨어를 제공하고 있어, ADCP 사용자는 흐름측정 시 자료취득 소프트웨어에 의해 계산된 유량 및 단면 정보를 바로 알 수 있다. 하지만 측정된 자료를 목적에 맞게 사용하기 위해서는 소프트웨어가 제공하는 수치들의 계산 원리에 대한 이해가 선행되어야 한다. 또한, ADCP law data는 기존의 후처리 프로그램에서 제공하는 정보 이외의 잠재적인 정보를 포함하고 있으므로, 필요에 따라 측정된 자료를 원하는 형태로 가공할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 ADCP 측정자료를 효율적으로 활용할 수 있도록 ADCP 이동측정법 자료의 후처리 프로그램을 개발하였다. 프로그램의 개발에는 2002년부터 2008년까지 ADCP로 측정된 115개 단면 유속 및 유량자료를 사용하였다. Sontek과 RDI의 ADCP 자료취득 소프트웨어에서 생성 가능한 ascii 파일을 사용자가 쉽게 알아보고 가공할 수 있

1) 정회원 · 한국건설기술연구원 하천-해안항만연구실 연구원 E-mail: nunari@kict.re.kr

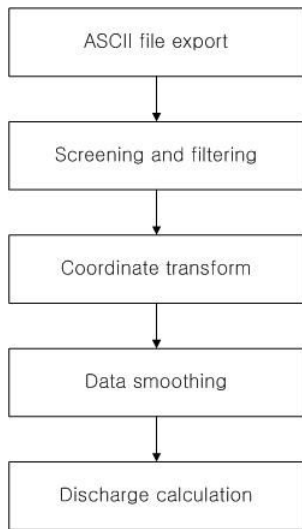
2) 정회원 · 한국건설기술연구원 하천-해안항만연구실 연구원 E-mail: cOgnitum@kict.re.kr

3) 정회원 · 한국건설기술연구원 하천-해안항만연구실 연구원 E-mail: kimdg@kict.re.kr

4) 정회원 · 한국건설기술연구원 하천-해안항만연구실 책임연구원 E-mail: wonkim@kict.re.kr

도록 변형하였다. 또한, 기존 ADCP 사용과 관련하여 발표된 screening 및 smoothing 기법을 적용하여 단면의 평균 흐름에 근접한 유속자료를 제공하도록 하였다. 보트의 이동경로를 주 흐름 방향에 직각이 되도록 보정하고, 단면 내 모든 유속 자료의 주 흐름 방향 성분으로 정렬하였다. 외삽을 통하여 측정불가역의 유속 및 유량을 추정하였으며, 이렇게 추정된 유량을 ADCP 소프트웨어가 제공하는 유량과 비교하였다. 마지막으로, 정리된 ADCP 자료로부터 하천의 주요 수리학적 특성을 추정하도록 하여 하천단면을 횡단하는 간단한 ADCP 측정만으로도 많은 시간과 노력을 들여 측정하던 하천의 특성을 신속히 파악할 수 있도록 하였다.

2. 후처리 프로그램의 기능



본 연구에서 개발한 프로그램은 그림 1과 같은 과정을 통하여 ADCP 측정자료를 후처리 한다. 이때, 후처리 각 단계에서 ADCP 측정 유속이 어떻게 주 흐름 방향으로 정리되며, 시간적, 공간적으로 averaging 되는지 살펴볼 수 있도록 하였으며, 각 단계의 처리 내용 및 결과는 다음과 같다.

2.1 유효 유속 자료 선별

그림 1. 후처리 과정

ADCP 이동측정법에서 공백거리 (blanking distance)와 측면효과 (side-lobe effect)로 인하여 좌·우 하안부근, 수면, 그리고 하상 근처에 측정불가역이 존재한다. 그 중 하상 근처 측정불가역은 측면효과 (side-lobe effect)를 받는 구간으로, 교란된 신호에 의해 측정된 유속이 출력되므로 유효한 cell의 경계를 명확히 할 필요가 있다. 확산각 20°의 ADCP로 측정한 임의의 ensemble은 바닥으로부터 약 6%의 깊이가 측면효과를 받는 것으로 알려져 있다 (RDI, 2003). 본 연구에서는 측정된 유속 자료에서 측면효과를 받는 영역의 유속자료를 제거함으로써, 각 ensemble 별로 유효한 cell의 범위를 결정하였다.

한편, ensemble 내의 유속 벡터들은 macroscale turbulence에 지배되며 종종 불규칙적인 하상에 의한 편차를 보인다. 또한, bin size, ensemble averaging, ADCP의 움직임 등에 의한 내·외부적 오차를 포함하고 있다. 그러므로, 앞서 언급한 유효 cell의 유속자료 중 일부는 이상치로서 제거 대상이 된다. 이상치 제거의 방법 중 하나로 Dinehart와 Burau (2005)은 ensemble 별로 2.5σ 표준편차 범위를 초과하는 유속을 제거하고, ensemble 내에서 상·하 3개 cell 유속을 평균하였다. 본 연구에서는 한 단면에서 측정된 전체 유속의 3σ 범위를 초과하는 경우 그 유속을 상·하·좌·우 cell의 유속을 사용하여 대체하는 방법으로 이상치를 제거하였다.

2.2 주 흐름 방향에 따른 좌표계 변환

ADCP 이동측정법 자료에서 각 cell의 유속은 east, north, up 방향 성분으로 나누어 제공되는데, 이 방향별 유속성분이 하천의 흐름 측정에 의미있는 유속자료가 되기 위해서는 주 흐름 방향 유속과 횡방향 유속으로 구분되어야 한다 (Kim 등; 2005). 따라서, 유효 cell들의 유속을 east, north, up 방향 성분별로 합하여 주 흐름 방향을 결정하였다. 또한, ADCP로 하천을 횡단하며 흐

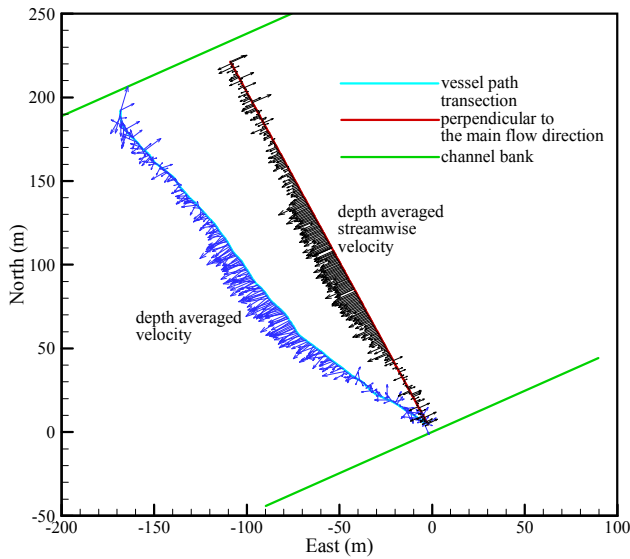
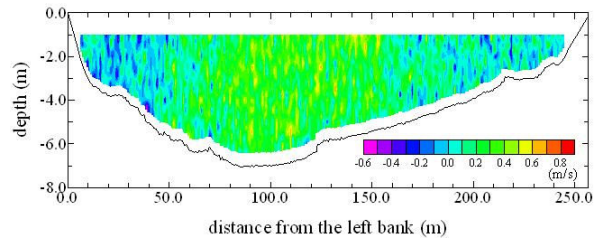
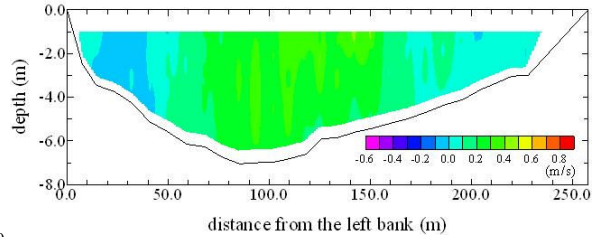


그림 2. 주 흐름 방향에 따른 측정 단면의 보정



(a) screening과 filtering 후



(b) smoothing 후

그림 3. 측정 단면의 주 흐름 방향 유속분포

를 측정하는 경우 보트가 하천의 흐름에 수직하게 직선으로 횡단하기는 어려우므로 ADCP 측정 후 단면 유속분포를 살펴보기 위해서는 단면 자체를 먼저 정의해주어야 한다. 이를 위해 유효 cell의 평균 흐름방향에 수직한 단면을 기준으로 하여 모든 ensemble의 측정 위치와 그 유속을 이 단면에 투영시켰다. 그림 2는 보트의 이동 경로와 주 흐름 방향에 수직하게 정의된 새 단면이다.

2.3 유속자료의 보정 (smoothing)

본 연구에서 개발한 프로그램의 목적 중 하나는 단면의 전반적인 유속분포를 살펴보는 것이지만, RDI 단일 ensemble의 측정된 유속은 순간유속이기 때문에 매우 noisy하고 해당 위치의 평균 흐름을 대표할 수 없다 (Rennie와 Church, 2007). 이에 인접한 ensemble과의 횡방향 공간평균을 통해 해당 위치의 유속 분포를 예측하는 방법이 사용되고 있다 (Rennie와 Church, 2007; Kim et al.; 2005). 이러한 횡방향 공간평균을 적용하기 위해서는 한 가지 전제조건이 있는데 곧 ADCP를 느린 속도로 운용해야 한다는 것을 의미한다. 그렇지 않으면 인접한 프로파일 사이에 유속이 실제로도 큰 차이가 날 가능성이 있으며 공간평균기법은 이 경우 실제 유속을 강제적으로 보정하는 결과를 낳게 된다 (이찬주 등, 2004). 본 연구에서는 RDI를 이용한 측정의 경우 단면의 너비, 측정된 ensemble 수 등에 따라 횡방향 평균할 ensemble 수를 1개 이상의 홀수로 조정할 수 있도록 하였으며, 측정되는 ensemble 수가 상대적으로 적은 Sontek 측정 자료의 경우 인접한 3개 ensemble을 이동평균 하였다. 또한, RDI와 Sontek 모두 연직방향으로는 상·하 3개 cell을 이동평균 하도록 하였다. 그림 3은 RDI 측정 자료의 공간평균기법 적용 전·후 단면 유속 분포이다. 그림 3 (a)는 30 filtering을 거친 유효 cell의 유속분포로, noisy한 순간유속의 특성을 보이며, 그림 3 (b)는 11개 ensemble의 횡방향 평균 후 유속분포로, 그림 3 (a)에 비해 평균흐름에 가까운 유속분포를 보인다.

2.4 유량 산정

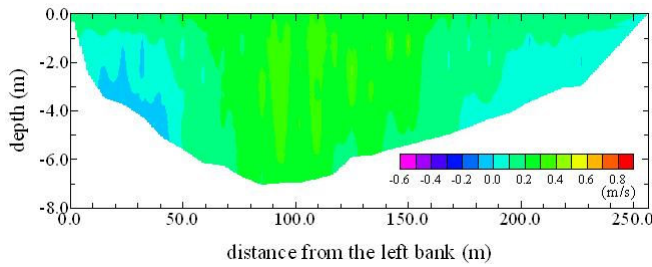


그림 4. 측정 불가역 유속 추정

측정 불가역의 경우 각 ensemble마다 1/6 지수의 멱함수를 구하여 유속을 추정하였다. Sontek 과 RDI의 ADCP 자료취득 소프트웨어와 마찬가지로 보트의 진행한 영역의 누가 유량을 살펴볼 수 있도록 하였다. 이를 통해 그림 4와 같은 측정 불가역 유속 추정 결과를 얻었으며, 이 방법을 통해 45개 RDI 측정 자료와 8개 Sontek 측정 자료의 유량을 산정한 결과 자료취득 소프트웨어의 유량에 비해 평균 1.33 % 작은 유량을 갖는 것으로 나타났다. 자료취득 소프트웨어와의 오차가 큰 경우는 대체로 보트의 경로가 하천 횡단면에서 크게 벗어난 경우, 측정 영역 내에 유효하지 않은 cell이 다수 포함된 경우, 전체 단면중에 측정 불가역의 비율이 높은 경우 등을 들 수 있다.

2.5 하천의 기타 특성자료 출력

단면유속분포와 유량 산정 외에 본 프로그램에서는 수심평균유속을 출력하도록 하였고, 수심평균유속은 필요에 따라 smoothing 전과 후, 외삽 전과 후로 나누어 살펴볼 수 있도록 하였다. 또한, 최대유속, 평균유속과 같은 유속자료 외에 하상 횡단면 자료, 하폭, 최대 수심, 운변의 길이, 하폭-수심비와 같은 단면 특성도 나타내도록 하였으며, Re , Fr , 전단유속과 같은 주요 수리학적 특성도 계산하도록 하였다.

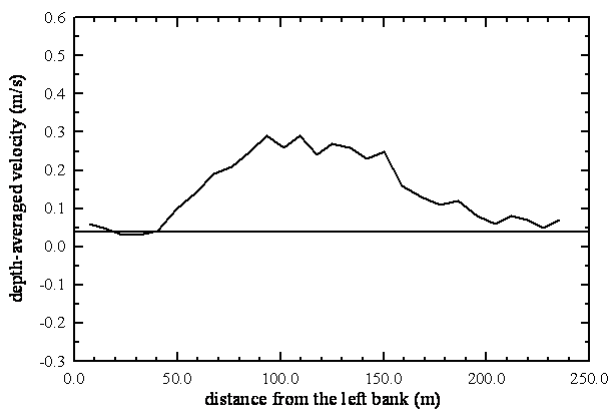


그림 5. 수심평균유속 (smoothing 후, 외삽 후)

cpd cp050412_005t	
204.2000	!... ADCP 측정유량
197.6106	!... 계산유량 (m ³ /s)
1213.2710	!... 계산단면적 (m ²)
249.3770	!... 운변 (m)
4.8652	!... 동수반경 (m)
7.0500	!... 최대수심 (m)
36.5621	!... 하폭/수심
0.1629	!... 평균유속 (m/s)
0.4487	!... 최대유속 (m/s)
0.0362	!... shear velocity (m/s)
6.0000	!... power_law m (m/s)
792417.3	!... Reynolds number (m/s)
0.0236	!... Froude number (m/s)

그림 6. 기타 출력자료

3. 결론

하천의 유속 및 유량 정보를 빠르고 간편하게 획득할 수 있는 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)의 장점을 살려, 그 측정 자료를 사용자의 목적에 맞게 활용할 수 있도록 ADCP 이동측정법 자료의 후처리 프로그램을 개발하였다. 먼저, 자료취득 소프트웨어에서 ensemble 번호

와 방위별 유속으로 출력되던 단면유속분포를 단면의 좌표와 주흐름방향 유속으로 출력하여 한 눈에 보기 쉽도록 개선이 이루어졌다. 또한, 기존의 연구에서 언급되었던 screening, filtering, smoothing 기법을 적용하여 단면의 평균 흐름에 근접한 유속자료를 제공하도록 하였다. 1/6 지수의 power law를 통해 ADCP 측정불가역을 추정된 후 계산된 유량을 ADCP 소프트웨어가 제공하는 유량과 비교하였으며, 그 오차는 평균 1.33 %로 나타났다. 그 외에, 단면의 수심평균유속, 단면특성자료, Re , Fr , 전단유속 등을 계산함으로써, 간단한 ADCP 측정만으로도 많은 시간과 노력을 들여 측정하던 하천의 특성을 신속히 파악할 수 있도록 하였다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(2-1-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 이찬주, 이두한, 김명환 (2004). "ADCP를 이용한 하천 유속 자료의 추출." 2004년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, CD-ROM.
2. Colin D. Rennie and Michael Church (2007). "ADCP shear stress and bedload transport in a large wandering gravel-bed river." *XXXII IAHR congress*, Venice, Italy.
3. Colin D. Rennie (2008). "Uncertainty of ADCP spatial velocity distribution." 6th International Symposium on ultrasonic doppler method for fluid mechanics and fluid engineering, Prague, Czech republic.
4. Dongsu Kim, Marian Muste, and Larry Weber (2005). "Development of new ADCP post-processing and visualization capabilities." *XXXI IAHR congress*, Seoul, Korea.
5. Dongsu Kim, Marian Muste, Larry Weber (2007). "Software for assessment of longitudinal dispersion coefficients using acoustic-doppler current profiler measurements." *XXXII IAHR congress*, Venice, Italy.
6. Muste, M., Yu, K., and Spasojevic, M. (2004a). "Practical aspects of ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics; Part I: moving-vessel measurements." *FlowMeasurementandInstrumentation*, 15, 1-16.
7. R.L. Dinehart and J.R. Burau (2005). "Repeated surveys by acoustic Doppler current profiler for flow and sediment dynamics in a tidal river." *Journal of Hydrology*, 314, 1-21.
8. RDI (2003). *WinRiver User's Guide International Version*, RD Instruments, San Diego, CA.