

# ADCP를 활용한 하천의 2차원 유속분포 측정 연구

## A Study on Measurement of Two-dimensional Velocity Distribution in River using ADCP

유민욱\*, 김영도\*\*, 류시완\*\*\*, 서일원\*\*\*\*  
Min wook Yoo, Young Do Kim, Si wan Lyu, Il Won Seo

### 요    지

ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)는 유수의 흐름을 방해하지 않으면서 물 속으로 일정 주파수의 초음파를 전송하고, 부유하는 입자들에 의해 산란되어 돌아오는 반향을 수집, 도플러효과를 이용하여 유속을 측정하는 장비이다. ADCP는 하천을 횡단하면서 순간적인 유속을 측정하므로 시간평균한 평균유속과의 차이가 발생하지만 1초에 1회 이상의 빠른 속도로 연직유속분포를 수집하면서 이를 공간적으로 평균함으로써 순간유속이 갖는 변동성을 완화시키는 특징을 갖는다.

본 연구에서는 ADCP를 활용하여 사행하천에서 수평방향 2차원 유속분포를 측정하고자 하였다. 만곡부가 교호적으로 나타나는 사행하천의 흐름구조는 매우 복잡하다. 특히 주 흐름의 수직인 단면에 나선형의 2차류가 관찰되는데, 이는 원심력과 횡방향의 수면경사 및 난류의 상호작용으로 발생된다. 주 흐름의 유속과 다른 분포를 나타낸다. 본 연구에서는 이찬주 등(2005)이 제시한 공간평균기법과 이동경로 수정을 통하여 측선별 2차원 유속분포를 측정하여 기 개발된 RAMS(서울대학교, 2007)를 적용하고 이를 검증하기 위한 자료를 확보하고자 하였다.

핵심용어 : ADCP, 유속측정, 사행하천, 만곡부, 2차류

### 1. 서 론

국내 지표수자원의 60%를 차지하는 하천수의 지속적인 개발을 위해서는 하천의 흐름, 유사, 오염물 거동을 정확하게 해석하는 것이 필수적이다. 국내의 경우 하천에서 흐름, 유사, 오염물 거동해석은 주로 1차원적인 측면에서 수행되어 왔으나, 실제하천의 거동은 매우 복잡하고 다차원적이다. 특히 국내 하천특성상(낙동강, 금강 등) 취수장 주변의 유로변경, 퇴사문제 등으로 인한 하천수 취수의 문제를 공학적으로 해결하기 위해서는 2차원 하천수질 해석시스템을 이용한 정확한 수질모의가 필요하다. 따라서 지속적이고 친환경적인 하천수 개발을 위해서는 하천의 2차원적인 거동 해석이 필수적이다. 국내에서는 자연 하천의 흐름 특성인 복단면 사행 하도의 흐름을 해석하기 위한 연구가 최근에 들어 시작되었다. 한건연 등(1994)은 ‘홍수터를 가진 사행하천의 부정류 해석’ 연구를 통해서 1차원 흐름에서 사행과 저수로와 고수부 간의 흐름 교환을 고려한 해석을 수행하였으며, 윤세의 등(1990)은 ‘만곡수로에서의 곡률반경에 변화에 따른 흐름 특성’ 연구를 통해서 곡률반경에 대한 하폭비 변화에 따른 만곡수로 흐름특성을 2차원 수치모형을 통하여 검토하였다. 정재욱과 윤세의(1998)는 ‘만곡수로에서 하상재료 변화에 따른 흐름과 하상변동 특성에 관한 실험적 연구’를 통하여 모래와 안트라사이트를 이용하여 만곡부에서의 세균현상을 관찰하였다. 최성욱과 정영훈(2002)은 ‘복복단면 개수로 흐름의 난류 모델링’ 연구에서 비선형  $k-\varepsilon$  모형을 이용하여 복복단면에서의 이차류를 모의하였다. 이러

\* 비회원 · 인제대학교 환경공학부 석사과정 · E-mail : ooki4@hanmail.net

\*\* 정회원 · 인제대학교 환경공학부 조교수 · E-mail : ydkim@inje.ac.kr

\*\*\* 정회원 · 창원대학교 토목공학과 조교수 · E-mail : minilite@saram.changwon.ac.kr

\*\*\*\* 정회원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수 · E-mail : seoilwon@snu.ac.kr

한 수치적 연구들은 주로 직선형의 복단면 하도에 대한 것이 주종을 이루고 있다. 사행 하도에서의 흐름 특성에 관한 연구는 여러 가지 실험적인 연구를 통해 수행되었다. 윤세의 등(1990), 정재욱과 윤세의(1998) 등의 연구는 단일한 만곡부(bend)를 갖는 만곡 수로에서의 실험을 수행하였으며, 성기훈(2004)은 직사각형 및 자연형 단면을 갖는 2회의 만곡부로 이루어진 수로에서의 실험을 통해 2차류 특성을 상세히 고찰하였다. 이 두한 등(2003)은 기존에 국내에서 이루어진 복단면과 사행이 결합된 복단면 사행수로의 실험적 연구를 수행하였다.

서낙동강은 수문을 개방하지 않을 경우 유량이 거의 없으며 상류의 대저수문과 하류의 녹산수문의 조절에 의해서만 유량이 발생하는 정체성 조절하천이다(경남지역환경기술개발센터, 2007). 수문의 조절은 남해와 접하고 있는 녹산수문의 조위 및 기상조건에 따라 결정된다. 수문 개방 시에도 상류의 대저수문을 개방하여 발생한 유량이 하류의 녹산수문에 영향을 미치는 약 두 시간이 지나야 하류 녹산수문을 개방하며 그에 따라 유량 및 유속도 달라진다. 따라서 비정상 상태의 서낙동강의 유속 및 유량을 측정하기에 대하천 유속계에 의해 유속면적법은 많은 시간적 제약이 발생하게 된다.

ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)는 유수의 흐름을 방해하지 않으면서 물속으로 일정 주파수의 초음파를 전송하고, 부유하는 입자들에 의해 산란되어 돌아오는 반향을 수집, 도플러효과를 이용하여 유속을 측정하는 장비이다. 일정 시간동안 한 지점에서 연속적으로 점유속을 측정하는 일반적인 유속계와는 달리 ADCP는 기본적으로 순간 유속을 측정한다. 따라서 하천을 가로지르며 ADCP로 측정한 유속 자료는 수십 초 이상의 연속측정으로 얻어지는 시간평균 유속 자료와는 차이가 존재하며 다양한 시간 규모에서 나타나는 난류의 영향을 반여하지 못하는 것으로 알려져 있다. 그러나 ADCP는 한 지점의 유속이 아닌 일정한 수심 범위의 유속을 측정하고 공간적으로 이를 평균함으로써 시간적 순간성을 보완하는 특성을 갖고 있다.

본 연구에서는 이와 같은 ADCP를 활용하여 사행하천에서 수평방향 2차원 유속분포를 측정하고자 하였다. 만곡부가 교호적으로 나타나는 사행하천의 흐름구조는 매우 복잡하며, 특히 주 흐름의 수직인 단면에 나선형의 2차류가 관찰되는데, 이는 원심력과 횡방향의 수면경사 및 난류의 상호작용으로 발생된다. 따라서 주 흐름의 유속과 다른 분포를 나타내며, 이는 오염물질의 횡적 혼합거동에도 중요한 영향을 미친다. 본 연구에서는 이찬주 등(2005)이 제시한 공간평균기법과 이동경로 수정을 통하여 측선별 2차원 유속분포를 측정하여 기 개발된 2차원 하천모의시스템인 RAMS(서울대학교, 2007)를 적용하고, 이를 검증하기 위한 실측자료를 확보하고자 하였다.

## 2. ADCP의 측정 원리

ADCP는 물 속으로 일정 주파수의 초음파를 전송하고, 부유하는 입자들에 의해 산란되어 돌아오는 반향을 수집, 도플러 효과를 이용하여 유속을 측정한다. 유사한 원리의 ADV나 LDA가 아주 작은 체적에 집중하여 높은 주파수로 반향을 수집하는 것과는 달리 ADCP는 큰 체적에서 반향되는 초음파를 수집하고 이를 수십에 따라 일정깊이별로 정리하여 수십별 유속 분포를 만들어낸다. 그러므로 각기 다른 발생기에서 나온 음파들의 환산각이 클수록, 수심이 깊어질수록 더 큰 체적에서 자료가 수집되는 특성을 갖는다(그림 1 참조).

일정 시간동안 한 지점에서 연속적으로 점유속을 측정하는 일반적인 유속계와는 달리 ADCP는 기본적으로 순간유속을 측정한다. 따라서 하천을 가로지르며 ADCP로 측정한 유속자료는 수십 초 이상의 연속 측정으로 얻어지는 시간평균 유속자료와는 차이가 존재하며 다양한 시간 규모에서 나타나는 난류의 영향을 반영하지 못하는 것으로 알려져 있다. 그러나 그림 1에서처럼 ADCP는 한 지점의 유속이 아닌 일정한 수심범위의 유속을 측정하고 공간적으로 이를 평균함으로써 시간적 순간성을 보완하는 특성을 갖고 있다.

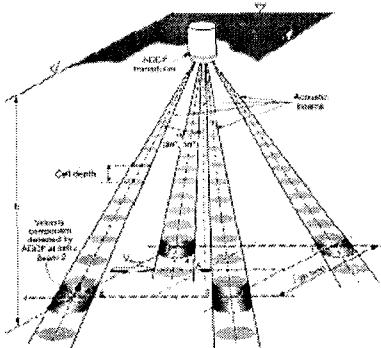


그림 1. Sampling principle of ADCP  
(Muste et. al., 2004b)

ADCP는 기기의 특성상 하천 단면 전체에서 유량을 측정할 수 없는 한계를 지니며 측정 가능한 영역은 그림 2와 같다. ADCP가 유속을 측정하기 위해서는 음파 송수신기가 수면 아래 잠겨 있어야 하며 ADCP로부터 아래로 일정 거리까지는 정상적인 신호를 받기 위해 음파의 간섭 등의 효과를 차단하므로 이로 인해 수면 부근의 공백거리가 발생하는데 이는 저주파 ADCP일수록 크게 나타난다. 또한 음파가 송수신기에서 발생하여 하상으로 전달될 때 음파의 환산각이 아닌 빗겨간 방향으로 일부 음파가 전달되므로 정상적인 음파에

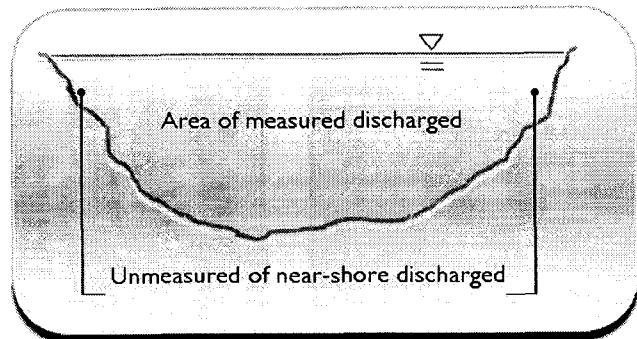


그림 2. Measured and estimated areas of ADCP  
(Simpson, 2001)

비해 일찍 하상에 도달되어 강한 반사파를 발생시켜 하상 부근의 유속 측정시 노이즈가 발생하는 측면 효과가 존재 한다. 이로 인해 ADCP는 하상 부근의 일정 깊이를 측정할 수 없게 된다. ADCP가 작동하는 최소 수심보다 얕은 양안 부근에서는 측정이 불가능하다는 특징이 있다. 그런데 ADCP는 이러한 측정 불가능 영역을 측정된 유속 자료를 이용하여 추정한다. 따라서 ADCP는 측정한 유량과 추정한 유량을 합산하여 하천 단면의 유량을 계산하는 것이다.

### 3. 2차원 유속분포 측정 결과

2차원 유속분포는 서낙동강 강동교 지점에서 총 4회에 걸쳐서 측정 하였으며 ADCP를 무선조종방식의 소형보트인 Q-Boat에 장착하여 하천을 횡단하며 유속을 측정 하였다. ADCP는 RDInstrument사에서 제공하는 WinRiver 프로그램으로 유량을 계산하게 되는데 이 프로그램의 양상을 기능을 이용하여 ADCP가 측정한 CASE 별 약 400~900개의 프로파일 유속을 10개로 평균하였다.

그림 3. 4회 측정에 대한 2차원 유속 분포

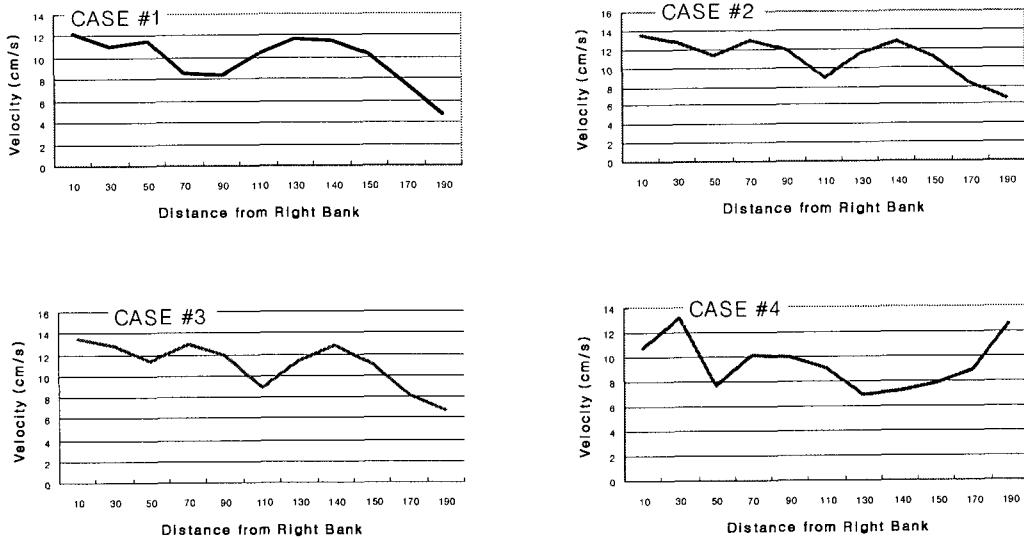


그림 3은 CASE별 2차원 유속분포를 나타낸 그래프이다. 수표면 유속 성분을 이용하여 도시한 2차원 유속분포 그래프이므로 유속의 변동이 심하게 나타났으며 수심이 낮고 유속이 느린 서낙동강의 특성상 변동이 더 크게 나타난 것으로 사료된다. 다만 CASE 1, 2, 3은 비슷한 유속분포를 나타내고 있으며 CASE 4는 다른 형태의 유속분포를 나타내고 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 ADCP를 이용하여 현장에서 취득한 유속 자료를 공간평균기법을 도입하여 필터링함으로써 편차를 줄여 유속 자료를 추출하였다. 유속이 느리고 수심이 낮은 서낙동강의 수표면 유속이 바람의 영향을 많이 받아 그 편차가 가중되는 경향을 보이며 일반적인 하천에서의 2차원 유속분포와는 다른 유속분포를 보였다. ADCP는 하천을 가로지르며 1초에 1회 이상 연속적으로 연직유속분포를 측정하여 하천의 2차원 유속분포를 일목요연하게 제시할 수 있다. 차후 다른 유속계를 이용한 결과와 적절히 비교된다면 ADCP를 이용하여 측정한 하천의 2차원 유속분포 자료는 하천 흐름 해석 및 수치 모의에 기초 자료로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 과학기술부 특정기초 연구비 지원(과제번호:R01-2006-000-11027-0; 과제명: 연안수질환경 개선을 위한 하천-해양 통합 해석기술 개발)으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- 경남지역환경기술개발센터 (2007), 서낙동강 대저수문과 녹산수문 운영시 유량 및 수질 모니터링, 인제대학교 낙동강유역환경센터 연구보고서.  
 이찬주, 김원, 김치영, 김동구. (2005a), ADCP를 이용한 유속과 유량 측정, 수자원학회지, pp. 811 ~ 824.  
 이찬주, 김동구, 김치영, 김원. (2005b), 국내 하천에서 ADCP에 의한 하천유량측정의 적용성과 효율성 검토, 한국수자원학회학술대회지, 한국수자원학회05학술발표회논문집, pp. 1133 ~ 1137.

서일원, 최성욱, 김영환, 백정오. (2004), 하천흐름 및 하상변동 해석 기술 개발, 서울대학교, 과학기술부, pp. 11~35.

Adler, M. and Nicodemus, U. (2001). "A new computer model for evaluation of data from acoustic doppler current profiler(ADCP)." Physics and Chemistry of the Earth(C), Vol. 26, No. 10-12, pp. 7111-715

Mueller, D. S. (2002). "Field assessment of acoustic-doppler based discharge measurement." Hydraulic Measurement & Experimental Methods, ASCE-IAHR Joint conference, Estes Park, CO(CD-ROM)

Gordon, R. L. (1989). "Acoustic measurement of river discharge." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 115, No. 7, pp. 925-936

RDI. (2003). Winriver User's Guide International Version, RD Instruments, San Diego, CA

Simpson, M. R. (2001) Discharge measurements using s board-band acoustic doppler current profiler, US Geological Survey Open-File Report 01-1