

ADCP를 이용한 유량측정

○김 원*·윤 광 석*·김 동 구**·차 준 호**

1. 서 론

하천의 유량자료는 수위, 우량 등과 함께 수문 해석을 위해 매우 중요하다. 유량자료는 수자원을 정확히 파악하기 위해 가장 중요한 자료이기 때문에 측정을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 그러나 유량측정은 다른 수문관측과는 달리 변동성이 크고 오차의 범위가 커서 실제 활용에 많은 한계가 있는 것도 사실이다. 수위나 우량의 경우에는 현장에 설치된 장비에 의해 측정되기 때문에 유량에 비해 측정이 수월한 편이다. 유량은 유속계를 이용하여 현장에서 인력으로 직접 측정되기 때문에 현장의 측정조건, 측정하는 사람의 기술적 숙련도 등에 따라 크게 변화할 수 있는 요소를 가지고 있다. 더구나 홍수시 유량측정의 경우에는 비가 내리는 경우가 많고 야간에 유량측정이 이루어지는 경우가 많아서 불확실성은 더욱 커지게 된다.

또한 유량자료는 대부분의 경우 연속적인 자료획득이 곤란하기 때문에 수위-유량관계를 이용하여 수위를 유량으로 환산한다. 이와 같은 수위-유량관계는 현장의 조건이 변화하지 않는다는 가정하에서 이루어지는 것이므로 실제 현장에서 발생하는 변화를 고려할 수 없는 한계가 있다.

이와 같이 유량자료는 그 중요성에 비해 실제 측정 및 활용에서 발생하는 불확실성이 크고 많은 인력, 시간, 비용을 필요로 한다. 현대 과학기술의 발달과 더불어 하천유량측정 분야에서도 첨단장비들이 개발되고 있다. 유량측정을 위한 첨단장비들의 개발방향은 무인화, 자동화, 비접촉 등이다.

ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)는 최근에 하천유량측정을 위해 활용되고 있는 장비로서 대상단면에 대한 3차원 유속측정이 가능하고 자동적으로 유량측정이 가능하여 매우 효율적인 장비로 평가받고 있다. ADCP는 1980년대부터 해양흐름 측정장비로 사용되기 시작하였으며 1994년부터 하천측정용으로 확대되고 있다(Sontek, 2002). 일본의 경우에도 최근에 ADCP에 의한 유량측정방법에 대한 연구가 수행되고 있다(建設省土木研究所, 2000). 미국의 경우에도 대하천의 홍수유량측정을 위해 ADCP를 활용하고 있다(Admiraal and Demisie, 1995). 국내에서는 한국건설기술연구원에서 한강의 유량측정을 위해 사용한 바 있다(한국건설기술연구원, 1998).

본 연구에서는 ADCP를 이용한 유량측정방법에 대해서 살펴보았다.

2. 기본이론

ADCP는 수중에 초음파를 발사해서 산란체에서의 반사파 도달시간과 도플러효과에 의한 주파수의 차이로부터 유속의 연직분포를 단시간에 구하는 관측기기이다. 그림 1과 그림 2는 ADCP의 측정원리를 나타내는 그림이다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원

3. ADCP를 이용한 유량측정

본 연구에서는 두가지 형태의 ADCP를 이용하여 흐름특성이 다른 현장의 유량측정을 실시하였다.

3.1 ADCP를 이용한 한강 하구 유량측정

한강하구의 유량측정을 위해 사용한 ADCP는 미국 RD Instrument사의 600kHz ADCP이다. 이 장비는 보트에 연결해야만 사용할 수 있다.

한강하구의 경우 조석의 영향으로 인해 유속이나 유량의 변화가 매우 심한 구간이다. 또한 하폭이 매우 넓어 유량측정에 많은 시간이 필요하다. 이와 같은 구간에서 기존방법에 의해 유량측정을 하는 것은 많은 한계가 따르게 된다. ISO 2425는 감조하천의 유량측정에 대한 규정인데 기존 방법으로는 빠르게 변화하는 감조하천의 유량을 측정하는 것에 많은 한계가 있으므로 자동화된 방법을 사용하도록 권하고 있다.

본 연구에서는 한강하구의 유량측정을 위해 신곡 수중보 하류쪽에서 ADCP를 활용하였다. 표 1은 유량 측정결과를 나타내고 있다. 측정된 유량을 살펴보면 역류가 발생하는 경우에도 잘 측정이 이루어진 것을 알 수 있다. 또한 대상지점의 하폭이 약 1,200m인데도 불구하고 실제 유량측정을 위해 소요된 시간은 약 20분 정도로 나타나 매우 신속하면서도 효율적으로 유량측정이 가능함을 알 수 있다.

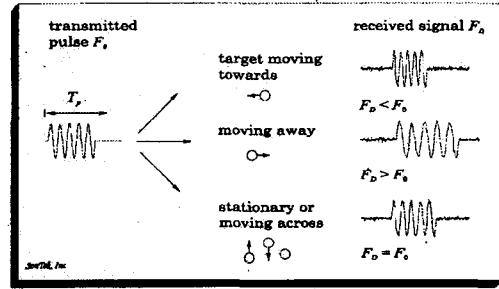


그림 1. ADCP 측정원리

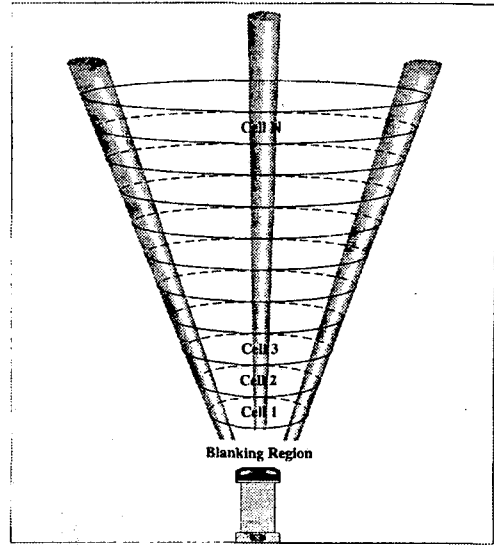


그림 2. ADCP를 이용한 3차원 측정원리

표 1. 유량측정결과

측정번호	측정시간	측정방향	측정유량 (cms)	팔당댐방류량 (cms)	비고
1	10:00 ~ 10:17	좌안 → 우안	-1,619	310	역류
2	10:44 ~ 11:01	우안 → 좌안	+264	310	
3	11:06 ~ 11:24	좌안 → 우안	+1,055	310	
4	11:47 ~ 12:08	우안 → 좌안	+1,492	310	
5	13:58 ~ 14:13	우안 → 좌안	+1,091	310	
6	14:13 ~ 14:26	좌안 → 우안	+1,175	310	

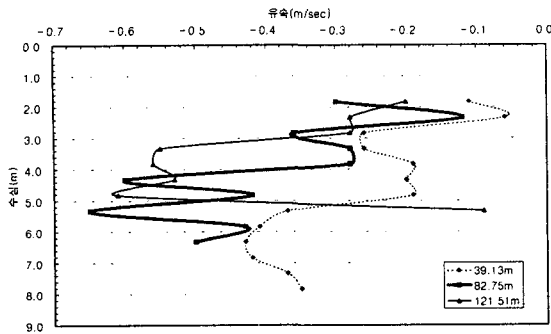


그림 3. 수심별 유속분포(측정번호 1)

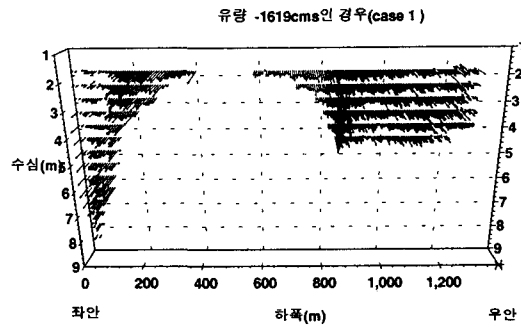


그림 4. 3차원 유속분포(측정번호 1)

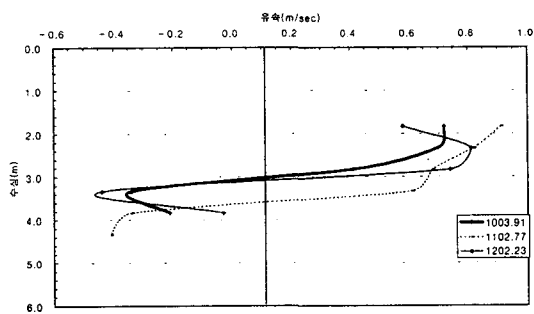


그림 5. 수심별 유속분포(측정번호 3)

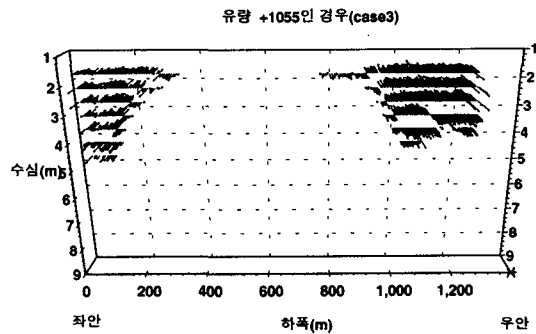


그림 6. 3차원 유속분포(측정번호 3)

그림 5와 그림 6은 대상지점의 유속분포를 나타내는 것으로 종횡단 방향의 유속변화를 알 수 있다. 조석에 의해 흐름의 변화가 매우 심한 경우에는 그림에서 보는 바와 같이 수면쪽에서는 양의 유속이, 하상쪽에서는 음의 유속이 나타난다. 또한 하폭방향에 따라서도 음의 유속과 양의 유속이 동시간에 나타나고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 ADCP를 이용할 경우 조석의 영향으로 인해 변화가 심한 유량을 신속하게 측정해야 하는 경우, 흐름의 종횡단 변화가 필요한 경우 등에서 매우 효율적으로 유량측정이 가능하다.

3.2 ADP를 이용한 단천 유량측정

단천의 유량측정을 위해 사용한 ADCP는 미국 Sontek사에서 개발한 ADP로서 주요 사양은 다음과 같다.

- 주파수 : 5MHz
- 측정범위 : 0.15-2.15m
- 유속측정범위 : $\pm 10\text{m/sec}$
- 유속해상도 : 0.1cm/sec
- 유속정확도 : $\pm 1\%$, $\pm 0.5\text{cm/sec}$
- 측정가능온도 : $-5 \sim 45^\circ\text{C}$
- 셀크기 : 수직방향 10cm

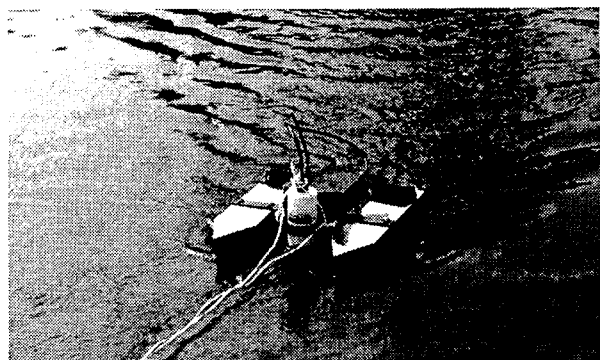


그림 7. Sontek사에서 개발한 ADP

이 장비는 기존 ADCP에 비해 여러 가지 장점이 있다. 우선 자체에 부체가 설치되어 있어 보트에 장착하지 않고도 수월하게 유량측정을 할 수 있다. 또한 기존 장비에 비해 매우 가볍기 때문에 장비 운영이 수월한 면이 있다. 또 측정데이터를 무선송신하여 노트북 컴퓨터에 실시간으로 나타나기 때문에 측정결과를 실시간으로 파악할 수 있는 장점이 있다. 그림 8은 ADP에 의해 측정된 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 수심방향으로 10cm의 셀을 형성하고 이 셀에 대한 3차원 유속을 기본으로 평균 유속을 나타내고 있다.

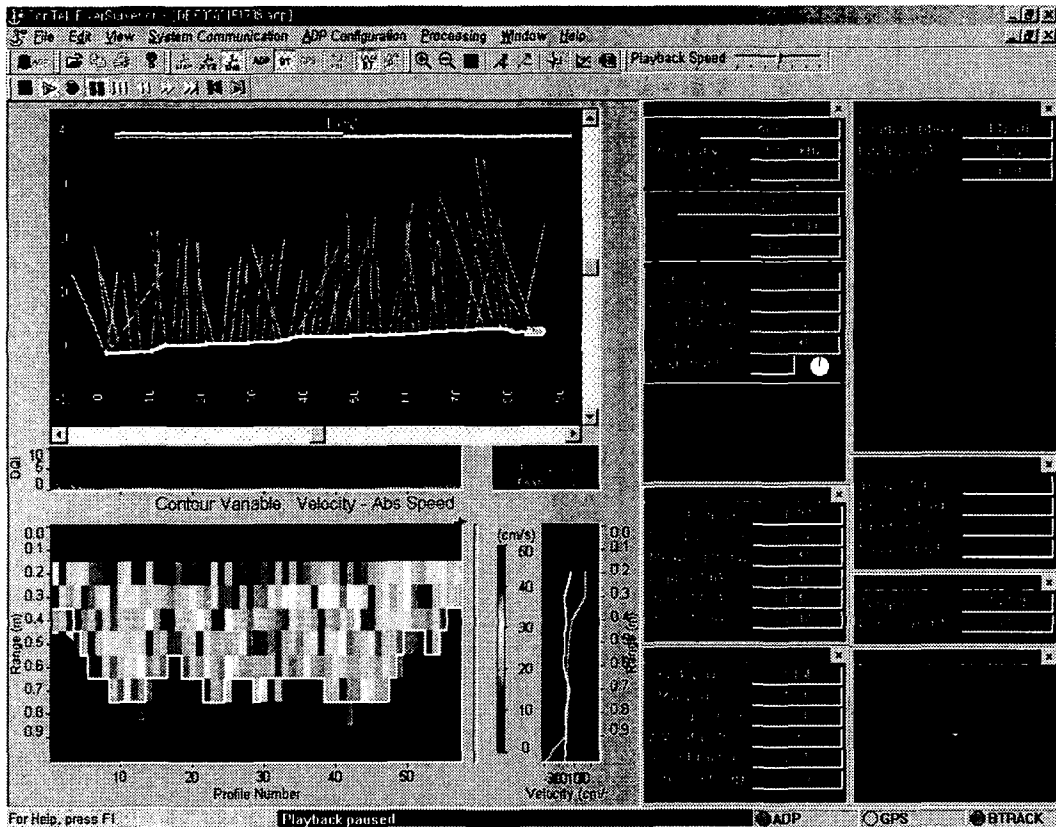


그림 8. ADP에 의한 측정결과

표 2는 10회에 걸친 유량측정결과를 나타낸 것이다. 우선 가장 먼저 나타나는 부분이 우안에서 좌안으로 측정된 경우와 좌안에서 우안으로 측정된 경우가 일정하게 차이가 발생한다는 것이다. 아직까지 정확하게 어떤 이유에서 방향에 따라 유량값이 차이가 나는지는 파악하지 못한 상태이다. 각 방향별의 유량자료를 살펴보면 매우 일정하게 유량이 나타나는 것을 알 수 있다. 우안에서 좌안, 좌안에서 우안 두 경우 모두 5회 측정값에 대한 표준편차가 1.9%로 나타났는데 이것은 매우 정확하게 유량을 측정하고 있음을 나타내는 것으로 볼 수 있다.

표 2. ADP에 의한 탄천 유량측정 결과

우안 → 좌안				좌안 → 우안			
측정번호	시작시각	수위(m)	유량(cms)	측정번호	시작시각	수위(m)	유량(cms)
1	14:26	0.76	15.9	2	14:38	0.76	14.1
3	14:49	0.76	15.6	4	14:58	0.76	13.9
5	15:08	0.76	15.1	6	15:14	0.76	13.4
7	15:20	0.76	15.6	8	15:30	0.76	13.9
9	17:37	0.77	15.4	10	17:45	0.76	13.7
우안→좌안 유량 평균			15.5	좌안 → 우안 유량 평균			13.8
우안→좌안 유량 표준편차			0.29(1.9%)	좌안 → 우안 유량 표준편차			0.26(1.9%)
전체 유량평균				14.7cms			
전체 유량 표준편차				0.94(6.4%)			

3.3 ADCP에 의한 유량측정의 장점 및 한계

ADCP에 의한 유량측정의 장점은 다음과 같이 정리할 수 있다.

① 정확성

ADCP는 전체 대상단면에 대한 3차원 유속을 측정하여 유량을 계산하기 때문에 매우 정확한 유량값을 측정할 수 있다. 탄천 유량측정 결과에서와 같이 일정한 방향에 대한 유량의 표준오차가 1.9%에 불과할 정도로 매우 정확하게 유량을 측정할 수 있는 것으로 나타났다. 동일 시간에 기존 유량측정방법(마그네틱 유속계)에 의해 측정된 유량값은 10.20cms로 나타났는데 ADP에 의한 측정결과와 많은 차이를 보여주고 있다.

표 3. 방법간 유량측정 결과 비교

측정방법	유량(cms)	측정시간	비고
마그네틱 유속계	10.20	약 1시간	
초음파 유량계	13.90	즉시	10초단위 108개 자료 평균
ADP	13.09	약 5분	10회 평균

② 효율성

ADCP는 매우 빠른 시간내에 유량측정이 가능하다. 탄천 하구 유량측정 대상지점의 하폭이 90m인데 기존 유량측정 방법을 사용할 경우 유량측정에 약 1시간이 소요되지만 ADP는 5분만이 소요되어 매우 신속하게 유량측정이 가능하다.

③ 인력절감

ADCP에 의해 유량을 측정할 경우 최소 1인만으로도 유량측정이 가능하다.

ADCP의 한계는 다음과 같이 정리할 수 있다.

① 부유물

부유물이 많이 있는 경우에는 측정장비와 부딪힐 수 있으므로 측정에 한계가 발생한다.

② 대유량 측정의 한계

ADCP의 측정원리는 어떤 일정 구간의 흐름이 일정하다고 가정해서 유속을 산출하는 것이므로 대유량시에 발생하는 난류조건 하에서는 측정 정확도가 저하할 가능성이 있다(建設省, 1999).

③ 고비용

현재 ADCP의 가격은 2,000~4,000만원으로 기존 유속계에 비하면 비싼 편이다.

4. 결론

본 연구에서는 하천유량측정에 대한 ADCP의 적용성을 분석하였다. 실제 하천에 적용한 결과 ADCP는 매우 정확하게 유량을 측정할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 유량측정에 소요되는 시간도 기존 방법에 비해 매우 짧게 나타나 ADCP에 의한 유량측정의 효율성을 파악할 수 있었다. ADCP는 하천유량측정을 정확하면서도 빠른 시간내에 효율적으로 실시할 수 있는 반면 부유물이 많은 경우, 대유량 측정의 경우 등에서 아직까지 몇가지 한계가 있는 것으로 조사되었다.

하천에서 정확하고 풍부한 유량자료에 대한 수요가 앞으로 계속해서 늘어날 것으로 기대되는 상황에서 첨단장비를 이용하여 정확하고 효율적으로 유량을 측정할 수 있는 방법을 개발하는 것은 매우 중요하다. 앞으로 국내외적으로 유량측정을 위한 첨단장비에 대한 연구가 지속적으로 이루어질 것으로 기대되고 있다.

5. 감사의 글

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

6. 참고문헌

한국건설기술연구원, 1998, 신곡수중보의 영향 및 흐름특성 조사, 건기연 98-097.

Admiraal, D., and Demissie, M., 1995, Velocity and discharge measurements at selected locations on the Mississippi river during the great flood of 1993 using an Acoustic Doppler Current Profiler.

Sontek, 2002, Sontek ADP Technical Documentation

建設省, 1999, 洪水流量観測の高度化に関する研究, 第52回 建設省技術研究會報告特輯

建設省 土木研究所, 2000, 超音波ドップラー流速プロファイラーの河川流量観測への應用に関する研究報告書