

감조하천 유량측정 기법 연구

김치영* 윤광석** 황승룡* 김원***

1. 서론

하구 감조부에서의 유량측정은 기존 유량측정과 원칙적으로 다른 점은 없다. 그러나 하구 감조부에서는 조석의 영향으로 시시각각 수위와 유량이 변동하므로 기존 방법으로는 유량측정이 매우 곤란하다. 또한 유량을 수위만의 함수로 표현할 수 없으므로, 연속한 유량값을 구할 수가 없는 한계가 있다. 따라서 기존 유속면적법과 다른 새로운 측정 방법을 도입할 필요성이 있다.

감조 하천의 수위는 12시간 30분을 주기로 변동한다. 조위 거동에 의한 하구에서의 수위변화는 하도에 배수영향을 미치는 원인이 된다. 이는 수위만을 변화시킬 수 있고, 수위 뿐 아니라 흐름의 방향까지 변화시킬 수 있다. 또한 한 단면에서 모든 흐름방향이 바뀔 수도 있고, 밀도 차이로 인해 일부분의 흐름만을 변화시킬 수도 있다. 이러한 원인으로 수위-유량 관계 곡선을 루프를 그린다. 이와 같이 배수 효과가 나타나는 하천에 대해서 경사를 추가적인 매개변수로 이용하여 수위-경사-유량관계를 수립하여 유량을 산출하거나 연속적인 유속을 측정하여 수위-유속-유량관계를 수립하여 유량을 산출한다.(USGS, 1982)

2. 감조하천 유량측정 기법

감조하천 유량측정 기법으로는 ① 기존 유속-면적법을 일부 개선하여 유량측정 시간을 감소시키고, 수위 변동 등을 고려할 수 있는 방법, ② 이동 보트법 ③ ADCP ④ 초음파 유속계(Ultrasonic method)를 이용하는 방법 ⑤ 전자기 방법(Electromagnetic method) ⑥ 부정류 모형을 이용한 방법 등이 있다.

우리나라의 유량측정 기준에는 이러한 조석흐름에 대한 유량측정 방법을 별도로 규정하고 있지 않은 반면 ISO는 감조하천 유량측정 방법에 대한 비교적 자세한 기준을 제시하고 있는데 특히 유속계 측정에 의한 유속-면적법에 많은 부분을 할애하고 있다. 유속측정 방법은 일반적인 유속-면적법과 동일하나 감조하천에서는 시간에 따른 흐름 양상의 변화가 크기 때문에 측정시간이 중요하다. 따라서 일반적인 하천의 유량측정에서 규정하고 있는 여러 가지 기준들은 무시된다. 단지 한 측선에서의 유속 변동의 복잡성을 고려하기 위하여 6점법 사용을 권장하고 있으며, 최소 3점법 이상 측정할 것을 규정하고 있다. 측정시간동안 흐름 변동에 대한 고려를 위하여 수면으로부터 바닥으로 측정하고 다시 수면을 측정하여 유속보정을 시행하도록 하고 있다. 다음은 측선에서의 유속보정식이다.

$$V_{na} = V_n + \frac{V_1 - V_r}{V_r} \frac{t_n - t_1}{t_r - t_1} V_n \quad V_m = \frac{1}{r-1} (V_{1a} + V_{2a} + \dots + V_{(r-1)a})$$

여기서, t_1 : 1번째 측정(수면)에서의 측정시간

t_n : n번째 측정에서의 측정시간

t_r : 수면에서 반복 측정시간

V_1 : 1번째 측정(수면)에서의 측정 유속

V_n : 시간 t_n 에서의 측정 유속

V_r : 수면에서 반복 측정 유속

V_{na} : 측정 유속 V_n 의 보정 유속

V_m : 보정 유속의 평균

$r-1$: 한 측선에서의 측정수

유속계 측정에 의한 유속-면적법은 감조하천에서 유량측정시 많은 인력이 소요되고, 장비가 투입됨에 따라 경제적 비용이 크다는 단점을 지니고 있다. 초음파 방법은 순류와 역류에 관계없이 관측이 가능하고, 연

* 한국건설기술연구원 수자원환경부 연구원

** 한국건설기술연구원 수자원환경부 선임연구원

*** 한국건설기술연구원 수자원환경부 수석연구원

속적인 관측이 가능하며, 수심에 따라 수 개의 층으로 설치할 경우 유속분포가 복잡한 하천에서도 유량을 획득할 수 있다. 하지만 측정할 수 있는 강폭에 한계가 있고, 수은 및 염분의 연직분포가 있으면 음선의 굴절로 정확성이 떨어지는 단점이 있으며, 부유사농도가 1000 mg/l 이상이면 측정이 불가능할 수 있다. 전자기 방법은 보다 간단한 흐름 측정방법을 쓰기가 어렵거나 수초의 성장이 활발한 흐름에 주로 사용되지만 염수척기가 발생하는 곳이나 수중에서의 전기 전도도가 급격하게 변화하는 지점에서는 사용이 제한된다. 한편 ADCP는 수심이 깊은 쪽에서 이용하기 쉬우므로 감소하천에 유리하고 측정시간이 짧아 효율적으로 사용하는 것이 가능하다. 하지만 감소부 유량을 연속적으로 측정할 수 없다는 한계가 있다.



그림 1 ADCP를 이용한 유량측정

3. ADCP를 활용한 감소하천 흐름특성 분석

감소하천 흐름특성 분석을 위해 신곡수중보 하류, 성수대교, 성산대교 지점 측정에는 RD instrument사의 600kHz ADCP를 이용하였다. 그리고 전류지점 측정에는 1200kHz ADCP를 활용하였다. ADCP는 도플러 효과에 의한 주파수 차이로부터 유속을 계산한다. 셀단위로 3차원 유속이 측정되며, 단시간에 측정이 가능하다. 정확한 유속을 획득할 수 있다는 장점이 있는 반면 홍수측정이 곤란하고 작은 수심에서는 측정이 불가능하며, 국내 하천에서 적용성 검증이 아직 부족하다는 단점을 지니고 있다.

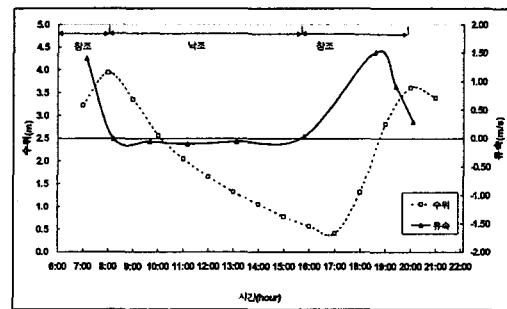


그림 2 고정지점 연속 유속측정(전류)

그림 2는 조석 한 주기동안 연속 유속측정을 시행한 것이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 창조 시간은 작으나 유속은 1.5m/s 이상으로 낙조에 비하여 유속이 매우 큼을 알 수 있다. 그림 3~그림 6는 신곡하류부 측정된 결과의 유속분포를 나타낸 것으로 중평단 방향의 유속 변화를 알 수 있다. 조석의 변화가 심한 경우 수면유속은 양의 방향의 유속이 하상부근에서는 음의 방향의 유속이 나타난다.

표 1 신곡 수중보 하류부 측정결과

Case	측정시작 시간	유량 (cms)	팔당댐 방류량
Case 1	10:00	-1,619	310
Case 2	10:44	269	310
Case 3	11:06	1,055	310
Case 4	11:47	1,492	310
Case 5	13:58	1,091	310
Case 6	14:13	1,175	310

표 2 전류지점 측정결과

Case	측정시작 시간	유량	팔당댐 방류량
Case 1	8:05:40	292	118
Case 2	9:04:00	1308	123
Case 3	9:58:00	1325	177
Case 4	11:01:00	1231	736
Case 5	13:40:00	724	781
Case 6	16:25:00	289	800
Case 7	16:59:00	113	738
Case 8	17:50:00	-1607	738

표 1은 신곡 수중보 직하류부에서 횡단 측정된 결과이고, 표 2는 전류지점에서 측정된 결과이다. 그림 7은 신곡 수중보 직하류부에서 ADCP를 이용하여 6회에 걸쳐 측정된 결과를 수위와 함께 도시한 결과이다. 그리고 그림 8은 전류에서 8회에 걸쳐 측정된 결과를 수위와 함께 도시한 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 창조시에는 창조시간이 짧은 반면 큰 유량이 유입되는 것으로 나타났으며, 낙조 초기에 큰 수면경사로 인해 큰 유량이 빠져나가고 낙조가 진행되면서 점점 유량이 작아져 정조에 이르는 것으로 나타났다.

두 측정결과에서 볼 수 있는 것처럼 측정 조석 주기동안 시간단위로 매우 큰 유량차이를 보이고 낙조에서 정조를 거쳐 창조 혹은 그 반대의 시간이 그리 길지 않기 때문에 신속한 측정이 이루어져야 함을 알 수 있다. 따라서 유속-면적법에 의한 유량측정이 곤란함을 알 수 있으며, 초음파법 등 연속적인 유량을 획득하는 방법을 선택하거나 ADCP 등을 이용하여 유량을 측정하는 것이 바람직 할 것이다. 유속-면적법에 의해 측정

이 수행될 경우 여러 개 측정탑에 의한 동시 측정이 필요하여 경제적 비용이 증가하게 된다.

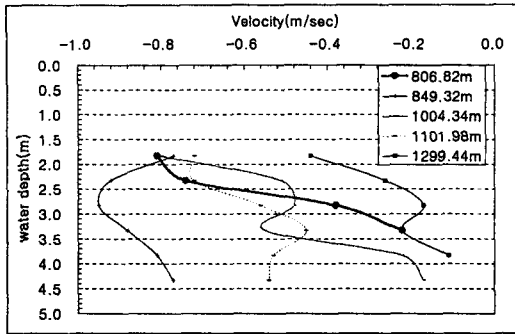


그림 3 수심별 유속분포(신곡하-Case1)

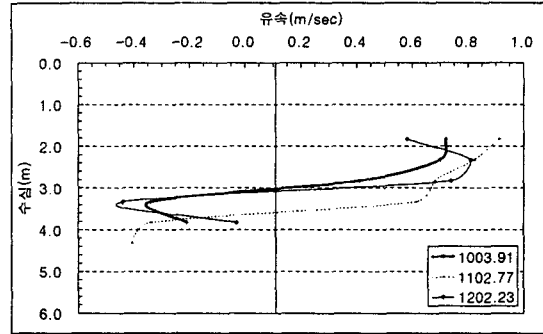


그림 4 수심별 유속분포(신곡하-Case 3)

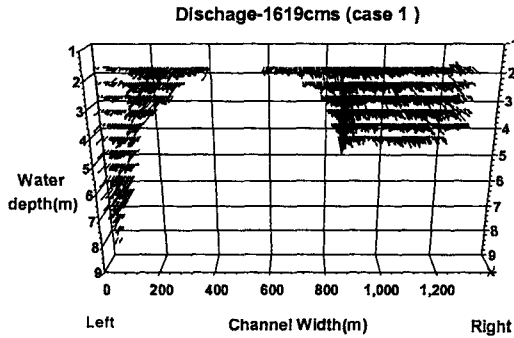


그림 5 3차원 유속분포(신곡하-Case 1)

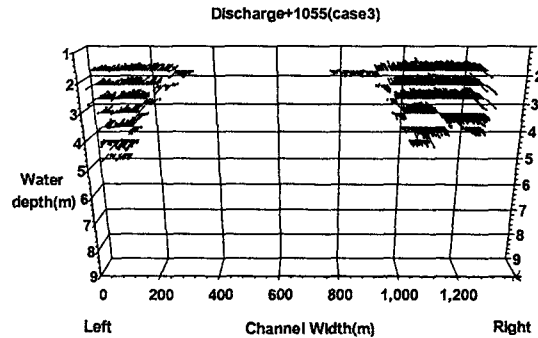


그림 6 3차원 유속분포(신곡하-Case 3)

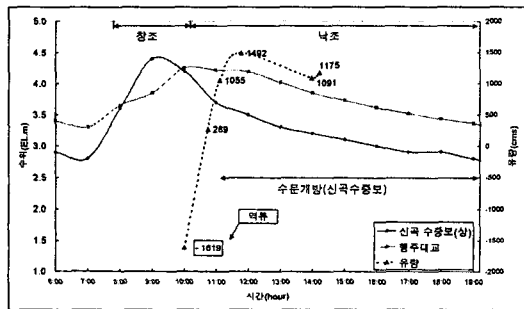


그림 7 신곡수중보 직하류 유량측정결과

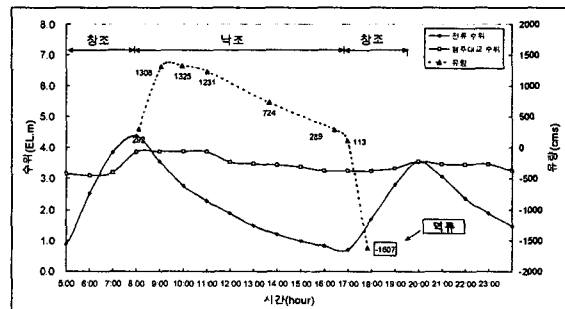


그림 8 전류지점 유량측정 결과

그림 9는 측정된 유량과 수위관계를 그린 것이다. 신곡수중보 지점에 비하여 수위변동폭이 큰 전류지점의 루프크기가 크게 나타났다. 이 결과는 수치모형을 통해 $\frac{dh}{dt}$ 분석을 시행한 이을래(2002)의 결과와 동일한 결과이다.

4. ADCP 및 유속-면적법에 의한 측정결과 비교

표 4는 성수대교와 성산대교 지점에서 ADCP와 1차원 유속계 측정에 의한 유속-면적법에 의한 측정결과이다. 1차원 유속은 프로펠러 유속계와 전자기 유속계를 사용하여 2점법으로 측정하였다. ADCP 측정시 PC 운용자 1명과 보트 운전자 1명 등 2명이 소요되었고, 유속면적법 측정시에는 유속계 운용자 2명, 기록자 1명, 보트 운전자 1명 등 총 4명 소요되었다. 그리고 ADCP 측정시 1회 측정시 10분 ~ 15분 소요된 반면 유속면적법은 측선수에 따라 소요되는 시간은 다르지만 보통 120분 정도 소요되었다.

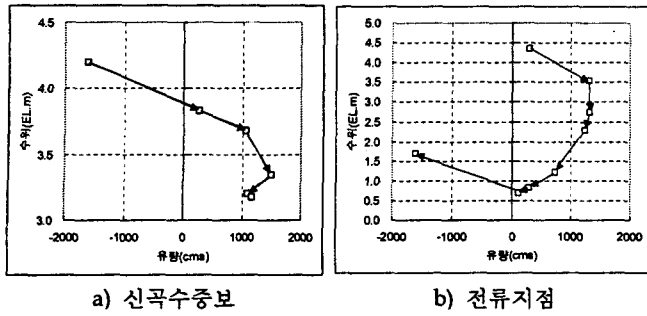


그림 9 하천의 수위-유량관계

그림 9는 측정된 결과를 한강대교 수위, 잠실수중보 방류량과 함께 나타낸 것이다. 먼저 성수대교 측정결과 ADCP에 대한 유속면적법의 편차(%)는 33%를 나타냈다. 한편 성산대교의 경우 편차 크기가 매우 커 170%의 편차를 나타냈다. 이는 한강대교 수위가 감소하면서 유출량이 저하된 측면과 구조물에 의한 간섭에 따른 유량 측정 오차가 증폭되면서 나타난 것으로 사료된다. 전체적으로 보아 유속-면적법이 크게 나타나는데 그 원인은 구조물에 의

한 흐름영향과 조석의 영향에 의한 것으로 유추되나 원인에 대한 분석은 추후에 체계적으로 이루어져야 할 것이다.

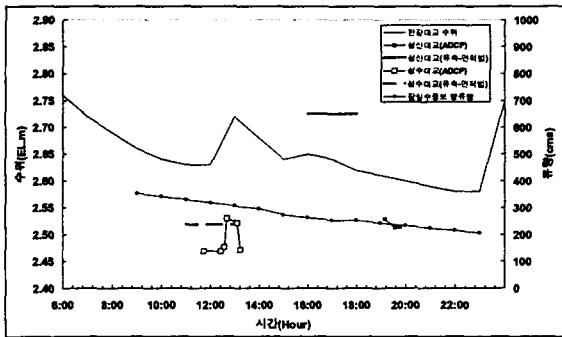


그림 9 일반 유속계 및 ADCP 측정결과

표 4 1차원 유속계 및 ADCP 측정결과

측정 지점	측정시간	유량(cms)		편차 ADCP × 100 %
		ADCP	유속면적법	
성수대교	11:44	137.9	237.6	33
	12:26	137.4		
	12:34	152.5		
	12:41	259.8		
	13:06	242.5		
	13:13	142.5		
	평균	178.7		
성산대교	19:11	257.3	651.5	170
	19:35	225.6		
	19:47	228.7		
	평균	237.2		

5. 결론

본 연구에서 감조하천의 유량측정 기법을 조사하고, ADCP로 유량측정을 시행하여 조석흐름 특성을 파악하였으며, 1차원 유속계 측정과 ADCP 측정을 비교하였다. 전류지점과 신곡수중보 하류에서 측정이 수행되었으며, 측정결과 조석에 따라 흐름 특성이 크게 변하는 것을 알 수 있었다. 때문에 감조하천 유량측정시 가장 중요한 것은 신속한 측정이 이루어져야 한다는 것이며, 조석의 영향을 크게 받는 구간에서는 최소한 1시간 이내에 측정되어야 한다는 것을 알 수 있었다. 이러한 이유로 기존 유속-면적법에 의한 유량측정은 시간이 많이 소요되어 측정이 매우 곤란하여 많은 경제적 비용이 소요되는 단점이 있다. 반면 ADCP는 유량측정에 소요되는 시간이 기존 방법에 비해 매우 짧고, 정확한 유량을 측정할 수 있어 매우 효율적인 것으로 나타났다.

6. 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 2-1-1)에 의해 수행되었다.

7. 참고문헌

한국수자원학회(2002) 하천설계기준
 이을래, 김원(2002) 수리학적 영향인자를 고려한 수위-유량관계곡선의 분석, 대한토목학회 학술발표회 논문집
 建設省/全日本建設技術協會(1996) 水文觀測
 WMO(1980) Manual on stream gauging : Vol 1, Vol2
 USGS(1982) Measurement and Computation of Streamflow-Computation of Discharge : Vol 2
 ISO(1999) ISO2425 : Measurement of Liquid flow in open channels under tidal conditions