

# 감조하천의 유량산정을 위한 유속지수법의 적용

## Application of the Velocity Index Method for Discharge Computation in Tidal River Basin

송재현\*, 이석호\*\*, 김치영\*\*\*, 이진원\*\*\*\*, 정성원\*\*\*\*\*  
Jae Hyun Song, Suk Ho Lee, Chi Young Kim, Jin Won Lee, Sung Won Jung

### 요 지

조위영향을 받는 감조하천에서는 조위변화의 주기적인 특성으로 인해 일반적인 수위와 유량의 관계가 성립하기 어렵기 때문에 최근 ADVM(Acoustic Doppler Velocity Meter) 또는 UVM (Ultrasonic Velocity Meter)과 같은 자동 유량측정 기법을 통한 연속유량측정이 이루어지고 있다. 한강대교 수위관측소는 대표적인 감조구간으로 이러한 문제를 해결하기 위해 ADVM 방식의 자동유량측정시설이 설치되어 운영 중에 있으며, H-ADCP 센서를 통해 측정된 유속을 Chiu의 무차원단면유속분포법을 이용하여 유량을 계산한다. 이는 최대유속을 유량산정의 지표로 하여 유량을 계산하는 방법으로, 본 연구에서는 한강대교 자동유량측정시설의 측정성능을 이용하여 유속지수법과 무차원유속분포법에 의해 산정된 유량을 비교하였고, 앞의 방법들을 검증하기 위하여 2008년 ADVM을 이용한 이동보트법으로 측정된 유량과 비교하였다.

**핵심용어 :** 유속지수법, 자동 유량측정, ADVM

### 1. 서론

일반적으로 하천에서 발생하는 수위-유량 관계는 대부분 단일 직선의 형태로 단순하게 나타나기 보다는 하천의 지형적 요건, 하천 흐름의 특성 등에 의해 매우 복잡한 형태로 나타난다. 특히, 조위영향을 받는 감조하천에서는 조위의 규모에 따른 주기적인 특성으로 인해 수위와 유량이 비선형적 관계를 갖기 때문에 현재까지 적용된 단순 수위-유량관계곡선식으로는 연속유량을 정확히 산정할 수 없다. 이러한 감조하천에서는 유속지수법을 이용한 유량산정방법이 널리 이용되고 있다. 유속지수법은 수위 기록을 통한 수위-면적관계로부터 흐름 단면적을 구하고, 임의의 영역에서 측정된 유속과 단면 평균유속과의 선형관계로부터 평균유속을 산정하여 유량을 계산하는 방법이다. 최근 우리나라에서도 하천 유량의 효율적인 측정을 위해 초음파유속계나 유속지수법과 같은 실시간 하천 유량측정 방법들이 도입되고 있으며(김창완 등, 2004; 김치영 등, 2006), 한강대교, 통일대교 및 하동 지점과 같은 감조하천 구간의 수위관측소에 ADVM(Acoustic Doppler Velocity Meter) 또는 UVM(Ultrasonic Velocity Meter) 방식을 이용한 자동유량측정 기법이 적용되어 연속적인 측정이 이루어지고 있다.

한강대교는 ADVM 방식을 이용한 자동유량측정시설이 이용되고 있는데, 더 넓은 영역의 측정을 위해 수중에서 H-ADCP 센서가 회전하면서 유속을 측정한다. 이러한 측정방식을 고려하여 유량산정에는 일반적인 유속지수법이 아닌 Chiu(1995)가 제안한 엔트로피 유속분포식을 이용한 무차원 유속분포법이 이용되고 있다. 이 방법은 일반적인 지표유속법과는 달리 최대유속을 유량산정의 지표로 하여 유량을 계산하는 방법으로, Chiu(1988)가 엔트로피 개념을 적용하여 유도한 무차원 단면유속분포를 도입한 방법이다. ADVM으로부터 측정된 유속과 무차원 단면유속분포를 회귀분석하여 최대유속을 산정하고 산정된 최대유속을 지표유속을 유량을 계산한다.

본 연구에서는 한강대교 자동유량측정시설의 측정성능의 검토를 위해 여러 각도로 회전하는 H-ADCP 센서를 이용하여 각 회전각도의 측정된 셀별 유속값을 분석하고, 비교적 안정적인 측정이 이루어진 회전각도의 셀별 유속측정값을 지표로 유속지수법을 적용하여 유량을 산정하였다. 산정된 결과를 Chiu의 무차원유속분포법에 의한 유량산정결과와 비교하였으며, 한주기에 대해 이동ADCP법을 이용해 실측한 유량측정값과 비교하였다.

\* 정희원 · 유량조사사업단 연구개발실 연구원 · E-mail : k6zero@kict.re.kr  
\*\* 정희원 · 유량조사사업단 유량조사실 한강그룹 그룹장 · E-mail : esoco@kict.re.kr  
\*\*\* 정희원 · 유량조사사업단 연구개발실 실장 · E-mail : cy\_kim@kict.re.kr  
\*\*\*\* 정희원 · 유량조사사업단 유량조사실 실장 · E-mail : jwlee@kict.re.kr  
\*\*\*\*\* 정희원 · 유량조사사업단 단장 · E-mail : swjung@kict.re.kr

## 2. 대상지점 현황

한강대교 지점은 한강유역을 대표하는 홍수에보지점이며, 1918년부터 현재까지 연속적인 수위관측을 수행하고 있는 한강수계의 대표적인 수위관측소이다. 조석의 영향을 받는 감조하천 구간으로 조위 영향으로 기존의 측정방법으로는 정확한 측정이 어렵고, 신뢰성 있는 수위-유량관계를 개발하기 어렵기 때문에 2005년 수문조사선진화 계획의 일환으로 2001~2005년 ‘한강유역 수자원 시험장비의 설치 및 운영’의 5단계 사업을 통해 도플러방식 초음파 유속계(Acoustic Doppler Velocity Meter, ADVM) 방식의 자동유량측정시설이 설치 및 운영 중에 있다(건설교통부, 2006). 한강대교에 설치된 ADVM 방식의 자동유량측정시설은 수로가 노들섬에 의해 분리되기 때문에 남단(P3), 북단(P12) 교각의 수중에 상류방향으로 설치되어 있으며, ADVM 센서는 2축회전식의 수중모터를 이용하여 각각의 센서가 회전하면서 유속을 측정한다(센서별 Pan : 125°, 235°; Tilt : 160° ~ 215°, 최대 측정셀 1,240개).

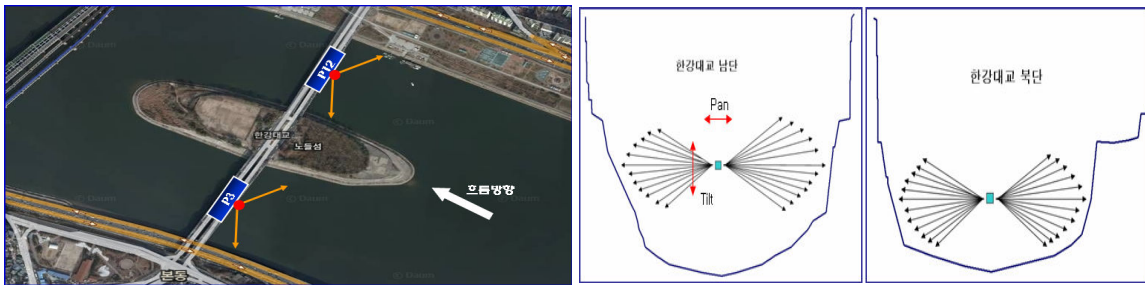


그림 1. 한강대교 지점 운영 현황

## 3. 유속지수법의 적용

### 3.1 수위면적관계 개발

유속지수법에 의한 유량산정을 위해 수위에 따른 면적을 나타내는 관계를 수립해야 한다. 이러한 수위-면적관계를 개발하는 방법으로는 식으로 표현하는 방법이 있고, 각 수위에 따른 면적을 미리 표로 만들어 두고 측정된 수위에 따라 면적을 읽어오는 방법이 있다. 일반적으로 자연하천에서는 수위-면적관계의 정확성을 향상하기 위해 수위-면적관계 표를 이용한다. 그림 2와 3은 횡단면과 이를 통해 계산된 수위-면적 관계를 도시한 것이다.

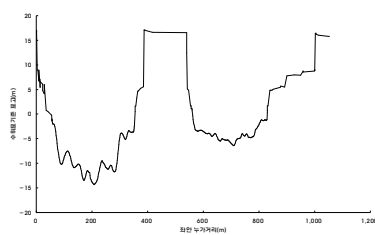


그림 2. 한강대교 지점 횡단면

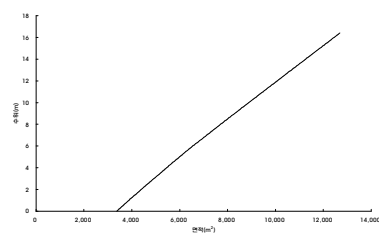
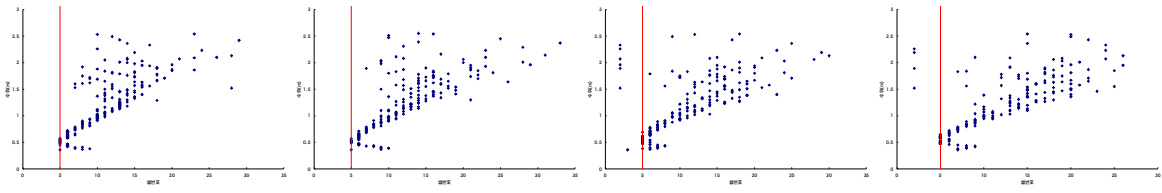


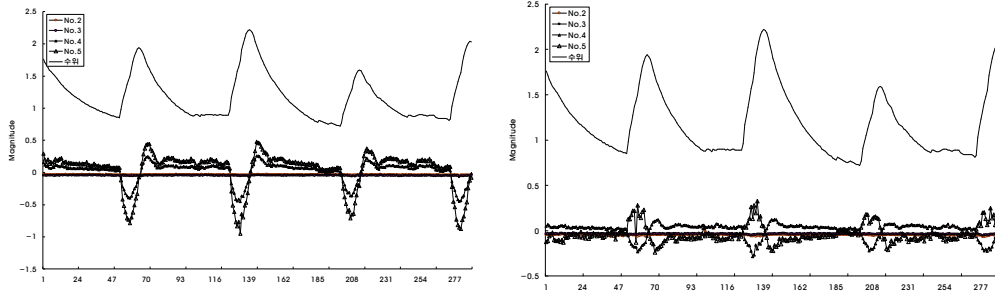
그림 3. 수위-면적 관계

### 3.2 유효한 셀 분석

한강대교 지점은 남단과 북단으로 ADVM이 설치되어 있고, 이 중에서 가장 긴 거리를 측정할 수 있는 수평각(Tilt : 180°) 셀유속을 선정하였다. 또한, 수평각 셀유속 중에서 최소한 어느 수위에서도 가장 좋은 신호강도(신호강도의 변화가 8% 이내)를 나타내는 유효한 셀까지를 그림 4와 같이 분석하였다. 그 다음 측정된 셀유속의 패턴이 수위변화와 동일한 경향을 나타내는 셀을 그림 5와 같이 분석하였다. 이와 같이 대표성을 가지는 셀은 Pan이 125°일 경우 4, 5번, Pan이 235°일 경우에는 4번이었고, 남단과 북단 모두에서 동일한 경향을 나타내었다.



(a) 남단 Pan : 125° (b) 남단 Pan : 235° (c) 북단 Pan : 125° (d) 북단 Pan : 235°  
 그림 4. 수위에 따른 유효한 셀 분석



(a) Pan : 125° (b) Pan : 235°  
 그림 5. 대표성을 가지는 셀 분석

### 3.3 셀유속의 필터링과 유속지수 적용

앞서 대표성을 가지는 셀유속은 결측 또는 노이즈를 포함하고 있기 때문에 보완이 필요하다. 따라서, 측정된 셀 유속이 결측되었을 경우와 앞, 뒤의 유속보다 10% 이상 오차가 발생할 경우에는 선형보간을 하였고, 필터링 전·후 비교는 그림 6과 같다.

한강대교 지점은 남단과 북단으로 나뉘어 유속이 측정되기 때문에 유속지수 또한 남단과 북단 유속을 하나의 유속으로 표현해야 하며, 서해안의 조석영향으로 대부분의 자연하천과는 달리 평균유속과 유속지수가 선형관계(linear relationship)를 나타내지 않는다. 따라서, 유속지수는 남단과 북단유속을 조합하는 식 (1)을 사용하고, 평균유속과 유속지수의 관계식에서는 조석영향에 따른 수위변화 효과를 고려하기 위하여 식 (2)와 같이 수위를 추가 매개변수로 하는 식을 사용하였다.

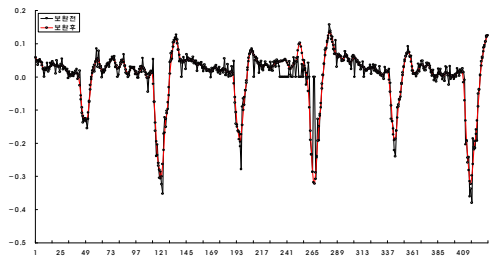


그림 6. 필터링 전·후 비교

$$V_{index} = a \times V_{south} + b \times V_{north} + c \quad (1)$$

$$V_{mean} = V_{index} \times (d + e \times stage) + f \quad (2)$$

여기서,  $V_{mean}$ 은 횡단면의 평균유속,  $V_{index}$ 는 ADVM에 의해 측정된 유속지수,  $a \sim f$ 는 상수이다.

그림 7은 유속지수-평균유속 관계 적용에 이용된 자료와 관계식을 도시한 것이다.

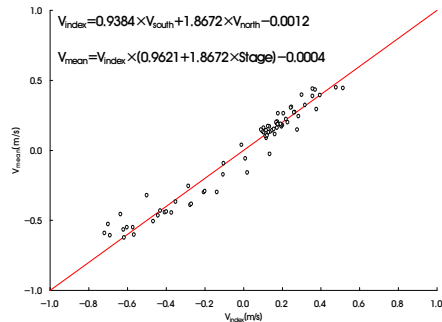
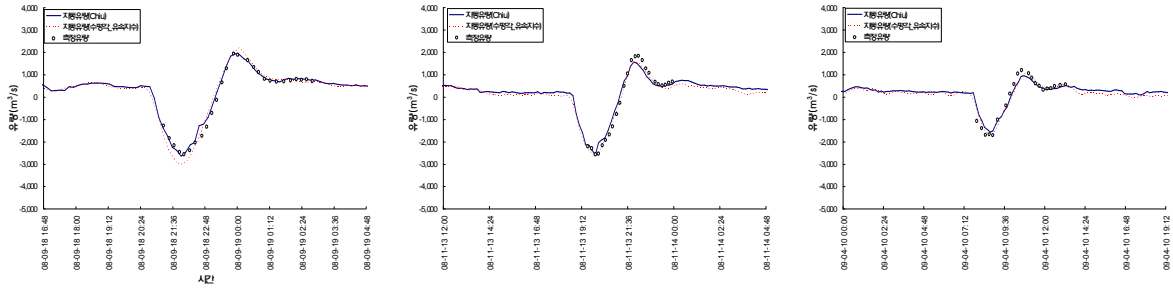


그림 7. 유속지수-평균유속 관계

#### 4. 결과 분석

현재 한강대교 지점에서는 2차원 유속분포를 모의할 수 있는 Chiu의 엔트로피 유속분포식을 적용하여 유량을 계산하고 있다. 이렇게 개발된 유량산정방법과 본 연구에서 개발한 유속지수법 그리고 검증측정유량을 서로 비교하였으며, 그 결과는 그림 8과 같다.



(a) 2008년 9월 18~19일 (b) 2008년 11월 13~14일 (c) 2009년 4월 10일  
 그림 8. 검증측정유량-자동유량(Chiu)-자동유량(유속지수) 비교

그림 8에서 보는바와 같이 검증측정유량과 자동유량(Chiu, 유속지수)은 서로간의 시차가 발생하고 있다. 이것은 검증측정이 한강대교 상류 약 800m에서 측정이 이루어짐에 따라 밀물시기에는 조위의 영향이 하류부에서 먼저 발생되고, 썰물시기에는 반대로 발생하기 때문이다. 이로 인하여 연속자료에 대한 정확도 평가는 수행하기 어렵기 때문에 밀물과 썰물시기 발생하는 첨두유량에 대한 평균 상대오차를 분석하였다. 그 결과 자동유량(Chiu)과 자동유량(유속지수)은 밀물시기에는 평균 6.2%와 5.9%, 썰물시기에는 평균 18.7%와 12.1%를 나타내었다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 감조영향을 받는 구간인 한강대교 지점 자동유량측정시설의 유량산정결과를 검토하기 위해 유속지수법 및 무차원단면유속분포법을 적용하고, 이를 검증유량 측정과 비교, 분석하였다. 유속지수법의 적용을 위해, 자동유량측정시설에서 측정되는 ADVM의 셀 자료에서 유효한 셀 분석과 유효한 셀 중에서 실제 흐름과 유사한 대표성을 가지는 셀 분석을 통하여 가용할 수 있는 셀 자료의 유속자료를 이용하였다. 또한, 결측치의 보완 및 노이즈 제거를 위해 10분 간격의 연속자료에 대해 전-후 유속값의 10% 이상 오차가 발생할 경우 선형보간으로 필터링하여 자료를 보완하였다. 또한 보완된 자료로부터 유속지수법을 적용하여 산정된 유량을 검증측정유량값과 비교한 결과, 밀물과 썰물시기 첨두유량의 평균 상대오차가 각각 5.9%와 12.1%로 유사한 값을 보였으며, 현재 적용되어있는 Chiu의 엔트로피 유속분포식과 상호보완적인 방법으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

향후 더욱 상세하게 유효한 셀 분석을 통하여 수위에 따른 셀 제한을 할 수 있는 방법과 측정 자료의 보완 측면에서 보다 정밀한 필터링 방법을 적용한다면 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. Chiu, C.-L. (1988). "Entropy and 2-D velocity distribution in open channels." Journal of Hydraulic Engineering., ASCE, Vol. 114, No. 7, pp. 738-756.
2. Chiu, C.-L. and Said, C. A. A. (1995). "Maximum and mean velocities and entropy in open hannel flow." Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 121, No. 1, pp. 26-35.
3. 건설교통부(2006). 한강유역 수자원 시험장비의 설치 및 운영보고서:(4·5단계).
4. 국토해양부(2008). 2008년도 유량조사 보고서(III):한강유량측정.
5. 국토해양부(2008). 2008년도 자동유량측정시설 구축 및 운영 보고서.
6. 김창완, 이민호, 정상화, 민인홍(2004). "초음파유량계를 이용한 실시간 하천유량측정". 2004년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, CD.
7. 김치영, 김원, 이찬주, 김동구(2006). "유속지수법을 이용한 자동유량측정". 2006년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, CD.