

**표면유속을 이용한 하천유량측정에 있어서 기존  
수심평균유속환산계수의 적정성 검토**  
Appropriateness Check of the Existing Depth-averaged Velocity Conversion  
Factor in River Discharge Measurement Using Surface Velocity

김영성\*, 양재린\*\*  
Youngsung Kim, Jaerheon Yang

.....  
**요 지**

전자파표면유속계를 이용한 홍수유속측정에 있어서 수심평균유속환산계수로 0.85를 표면유속에 일률적으로 적용하도록 제시하고 있다. 그 동안 이의 적절성 여부에 대한 논의가 꾸준히 지속되어져 왔다. 이에 전자파 표면유속계를 개발하고 상품화하여 보급시킨 개발 주체의 입장에서 이에 대한 검증을 시도하였다. 이의 검증을 위해서 가장 중요한 것은 정해진 측정지점의 유량측정시각의 정확한 유량을 파악해야 함은 필수조건이다. 하지만 유량측정지점의 유량의 참값은 알기는 참으로 어려운 일이다. 이에 지금까지는 댐의 방류량을 참값이라고 가정을 하고 여러 가지 기기를 이용한 유량측정을 실시하여 각 기기의 측정오차를 비교하는 기준유량으로 댐방류량을 이용하였다. 따라서 본 연구에서는 방류량의 정확성 파악에 의하여 수심평균유속환산계수의 적정성 여부를 검토하고자 하였다. 또한 이에 대한 이론적인 접근의 방법으로서 유속분포곡선식으로부터 수심평균유속환산계수를 산정하여 이를 기존에 표면유속을 평균유속으로 환산하기 위해서 적용하였던 계수와 비교를 하였다.

기존의 수심평균유속환산계수로 이용한 0.85에 대한 이론적인 검증을 위해서 Power law형의 유속분포식으로부터 수심평균유속환산계수를 유도한 결과 하상의 재료에 따라 0.833 (거친 하상)~0.875 (부드러운 하상)의 범위에 분포하였다. 이는 환산계수로 이용하고 있는 0.85는 유속분포가 크게 변동하지 않은 경우에 수심평균유속을 환산하는데 이용함에 무리가 없음을 보여준다. 기존의 대청댐 방류량을 이용한 수심평균유속환산계수를 산정한 결과를 분석한 결과 환산계수가 0.828~0.868의 범위에 분포하고 있다. 즉 기존의 수심평균유속환산계수로 이용을 하고 있는 0.85와 비교했을 때  $\pm 3\%$ 의 오차를 보이고 있음을 알 수 있다. 대청댐 방류량에 대한 검증을 위해서 여러 가지 기기를 이용한 동시 유량 측정을 실시하였고, 전자파표면유속계로 측정된 표면유속에 기존의 수심평균유속환산계수 0.85를 적용했을때의 유량산정 결과를 다른 방법에 의한 측정 결과 및 방류량과 비교를 실시하였다. ADCP 측정은 유량조사사업단과 한국수자원공사 충청지역본부의 도움을 받아 실시하였는데, 유량조사사업단은 9회 측정하여 평균한 유량이 242.0 cms, 충청지역본부에서는 6회 측정하여 평균한 결과가 234.6 cms이었고, 전자파표면유속계로 측정된 표면유속을 이용하여 산정한 유량이 249.0 cms이었으며, 동시유량 측정당시 방류량은 242 cms이었다. ADCP를 이용한 유량측정에 있어서, 각 측정시의 유량측정 오차가 최대 20% 까지 나타나고 있다. 반면 대청댐의 발전 방류량은 거의 일정한 수준을 유지했던 것을 감안할 경우 유량측정 기간에 하류의 조정지댐으로 인한 배수효과의 영향으로 ADCP를 이용한 유량측정값에 변동이 발생한 것으로 추측된다. 전반적으로 부자를 제외하고는 사용된 유량측정 방법들이 거의 동일한 값을 보임을 알 수 있다. 또한 표면유속에 기존의 환산계수를 적용하여도 유량산정이 다른 방법과 유사하게 산정됨을 알 수 있다.

**핵심용어:** 전자파표면유속계, 표면유속, 수심평균유속환산계수, 방류량, ADCP, 부자

\* 김영성, 한국수자원공사 Kwater-연구원 수자원연구소 책임연구원 [yskim@kwater.or.kr](mailto:yskim@kwater.or.kr)

\*\* 양재린, 한국수자원공사 Kwater-연구원 수자원연구소 책임연구원 [iyang@kwater.or.kr](mailto:iyang@kwater.or.kr)

## 1. 서론

이동식 전자파표면유속계를 이용한 홍수유량의 산정을 위해서 임의의 유량측정지점에서 측정된 표면유속 값에 수심평균유속환산계수 0.85를 적용하여 그 지점의 평균유속을 계산하고 있다. 이로 인해 각 지점에서 흐름조건 및 기상학적으로 요인으로 인한 이 계수의 변동성을 고려하지 않은 상태로 유량을 산정하게 되어 각 조건을 고려한 유량측정을 할 수 없는 실정이다. 수심평균유속환산계수 0.85는 홍수기 표면부자를 사용시, 수심평균유속을 환산하기 위해서 적용하는 계수로 이동식 전자파표면유속계를 적용시에도 동일한 계수를 적용하고 있다(건설교통부, 2004).

전자파표면유속계를 이용한 홍수유속측정에 있어서 수심평균유속환산계수로 0.85를 표면유속에 일률적으로 적용하도록 제시하고 있다. 그 동안 이의 적절성 여부에 대한 논의가 꾸준히 지속되어져 왔다. 이에 전자파 표면유속계를 개발하고 상품화하여 보급시킨 개발 주체의 입장에서 이에 대한 검증을 시도하였다. 이의 검증을 위해서 가장 중요한 것은 정해진 측정지점의 유량측정시각의 정확한 유량을 파악해야 함은 필수조건이다. 하지만 유량측정지점의 유량의 참값은 알기는 참으로 어려운 일이다. 이에 지금까지는 댐의 방류량을 참값이라고 가정을 하고 여러 가지 기기를 이용한 유량측정을 실시하여 각 기기의 측정오차를 비교하는 기준유량으로 댐방류량을 이용하였다. 따라서 본 연구에서는 방류량의 정확성 파악에 의하여 수심평균유속환산계수의 적정성 여부를 검토하고자 하였다. 또한 이에 대한 이론적인 접근의 방법으로서 유속분포곡선식으로부터 수심평균유속환산계수를 산정하여 이를 기존에 표면유속을 평균유속으로 환산하기 위해서 적용하였던 계수와 비교하고자 하였다.

## 2. 유속분포곡선으로부터의 수심평균유속환산계수의 산정

수심에 따른 유속의 변화를 나타내는 유속분포식은 멱함수형과 로그함수형으로 나뉜다. 멱함수(power law)형 유속분포식을 이용해서 하상의 상태에 따른 수심평균유속환산계수를 산정하면 다음과 같다.

멱함수(power law)형 유속분포식:

$$\frac{u}{U_0} = \left(\frac{z}{\delta}\right)^{1/c} \quad (1)$$

여기서  $U_0$ = 표면유속,  $\delta$ = 수심,  $z$ = 임의의 깊이

$c$ = 바닥이 부드러운 (smooth) 경우 7, 거친 (coarse) 경우 5, 일반적으로 6

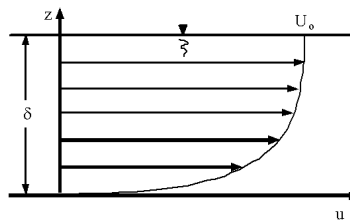


그림 1. 멱함수(power law)형 유속분포 곡선

평균유속과 수심별 유속의 관계로부터 다음의 식을 얻는다.

$$VA = \int_A u dA \quad (2)$$

하상이 매끄러운 경우인  $c=7$ 에 대하여, 식 (1)을 식 (2)에 대입하여 정리하면

$$V = \frac{7}{8} U_0 = 0.875 U_0 \quad (3)$$

평균유속은 표면유속에 환산계수 0.875를 곱하면 된다는 것을 알 수 있다. 같은 방식으로 바닥의 재질이 거친 경우인  $c=5$ 를 대입한 경우

$$V = \frac{5}{6} U_0 = 0.833 U_0 \quad (4)$$

로 환산계수가 0.833임을 알 수 있다.

일반적인 하상인 경우  $c=6$ 를 대입한 경우

$$V = \frac{6}{7} U_0 = 0.857 U_0 \quad (5)$$

로 환산계수가 0.857임을 알 수 있다. 따라서 수심평균유속환산계수  $f$ 는 하상의 조도에 따라서 0.833~0.875 범위에서 변화함을 알 수 있다. 단 이때 수심평균유속환산계수는 바람의 영향이 없는 상태를 고려한 것으로 흐름이 평형상태의 등류를 대상으로 한다. 즉 하상재료에 관계없이 표면유속을 이용하여 평균유속을 환산하는 경우, 계수로 0.85를 이용하여도 그로 인하여 발생하는 오차는  $\pm 3\%$  이내임을 알 수 있다.

### 3. 현장측정을 통한 기존의 수심평균유속환산계수를 이용한 유량측정의 정확성 분석

#### 3.1 기존의 분석 결과

표면유속을 측정하고 이를 이용한 평균유속의 산정에 있어서는 앞에서 살펴본 바와 같이 환산계수 0.85를 적용한다. 이에 전자파표면유속계의 현장적용시 일률적으로 0.85를 적용하도록 제시하였다.

기존의 이를 이용한 유량측정 성과로는 1990년대 중후반 전자파표면유속계의 상품화에 앞서, 전자파표면유속계로 측정한 표면유속에 0.85를 적용하였을 때 측정한 유량이 실제의 유량과 얼마나 잘 일치되는지를 조사한 바 있다. 이 조사에서는 대청댐의 방류량을 유량 참값으로 가정하고, 댐 직하류의 교량 위에서 표면유속을 측정하고, 물표면의 전자파 반사지점에 대한 횡단측량 성과를 이용하여 유량을 계산하였다(표 1). 측정당시가 평·갈수기로 댐의 발전방류시 유량이 하천에 흘러보내지고 있어 홍수기와 같은 고유속의 흐름조건( $V > 2$  m/s)을 만족하는 상황에서 유속측정이 되지 못하였다. 그렇지만 발전방류량이 최대일 경우 유속은 1.2 m/s 내외에 이르러 고유속에 준하는 조건에서 표면유속을 측정할 수 있다. 당시의 발전방류량이 240 cms 내외로 두 대의 발전기를 이용한 발전이 이루어졌음을 짐작할 수 있다. 기본적으로 1대의 발전기가 가동될 경우 방류량이 대략 120 cms에 이른다. 각각의 유량측정 case별로 표면유속 환산계수를 산정한 결과 0.851~0.868의 범위에 분포하고 있었다. 대청댐 직하류 대청교 지점의 하상재료가 자갈로 덮여 있음을 감안한다면 이론적인 유속분포공식을 적용할 경우에도 하상의 조도가 거친 상태의 계수를 적용해야 한다. 식 (4)에서 알 수 있는바와 같이 하상의 조도가 거친 경우, 유속분포식으로부터 산정한 수심평균유속환산계수 값이 0.833으로, 이 값이 대청댐 직하류에 적용되어 질 수 있는 환산계수로 판단된다. 다만 이 계수에서는 바람이나 유속의 빠르기, 수위의 증감 등을 고려하지 않은 점은 감안되어야 한다. 현장의 유량측정을 통해서 산정한 수심평균유속 환산계수 값이 유속분포식으로부터 산정한 값과 비교하여 최대 0.035의 차이를 보이고 있고 또 0.85와 비교하였을 경우 0.018의 차이를 보인다. 즉 이는 표 2.3과 같이 기존의 계수 0.85가 실측에 의한 계수 및 유속 곡선식에 의해 산정한 계수와 비교하여 2% 내외의 오차를 가질 수 있음을 의미한다. 물론 오차의 크기는 흐름조건, 하상조건, 유속조건에 따라 달라질 수 있다.

표 1. 10월 23일 ~ 11월 8일 유량 측정 결과 (한국수자원공사, 1997)

날짜	측정 방향	최대유속 (m/s)	최소유속 (m/s)	방류량 (m <sup>3</sup> /s)	계산유량 (m <sup>3</sup> /s)	환산계수 f
10. 23	상류	1.260	0.356	245	285	0.859
11. 04	상류	1.177	0.521	240	276	0.868
11. 05	상류	1.120	0.641	236	277	0.851
11. 06	상류	1.068	0.742	234	271	0.864
11. 07	상류	1.159	0.781	244	295	0.828
11. 08	상류	1.158	0.665	238	278	0.857

### 3.2 급변의 유량측정을 이용한 수심평균유속환산계수의 산정

표 1에서 보는 바와 같이, 발전방류시에 산정한 수심평균유속환산계수는 0.85를 중심으로 0.828~0.868의 범위에 분포하고 있다. 이에 대해 유속분포식으로부터 산정한 계수는 0.833으로 계산이 되고 이는 기존에 수심평균유속환산계수로 이용하는 0.85와 비교하였을때에 2.0% 작다 (표 2). 또한 댐방류량을 이용하여 산정한 계수도 -2.6~2.1%범위의 오차를 보이고 있다.

표 2. 수심평균유속환산계수의 비교(한국수자원공사, 2009)

	유속분포식	유량측정값	기존 계수
계수	0.833	0.828~0.868	0.85 (Reference)
오차 (%)	-2.0	-2.6~2.1	

본 연구에서는 기존의 수심평균유속환산계수의 산정시에 참값으로 가정하였던 방류량에 대해서 여러 가지 방법을 이용해서 실측을 함으로써 이에 대한 분석을 하고자 하였다. 이를 위하여 기존에는 동시 유량측정을 실시하여 비교하지 못했던 방류량에 대해, 방류시 전자과표면유속계, ADCP 및 봉부자를 이용하여 동시유량측정을 실시함으로써 기준유량으로 이용한 방류량에 대한 정확성 검증을 실시하였다. 또한 홍수기 유량측정 방법으로 국토해양부에서 적용하고 있는 봉부자 측정방법과 전자과표면유속계를 이용한 측정방법을 동시에 실시함으로써, 각 측정방법의 장단점에 대한 상호비교도 현장에서 실시하였다.

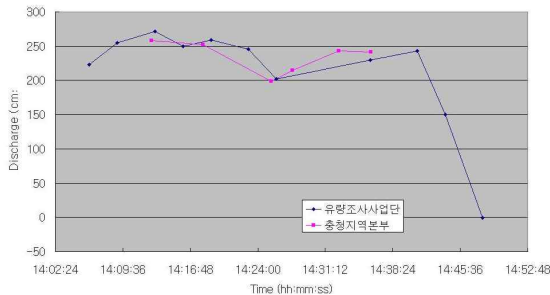


그림 2. ADCP를 이용한 유량 측정 결과

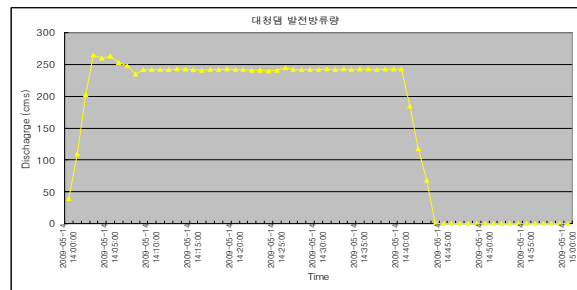


그림 3. 여러 가지 유량측정방법의 동시 유량측정 비교시 대청댐 방류량 분포

대청댐의 시간별 발전방류량과 비교시 ADCP를 이용한 유량 측정 결과가 20%의 범위에서 변화하고 있음을 알 수 있다(그림 2). 이에 대한 정확한 검토는 이루어지지 않아서 그 원인을 파악하는 것은 불가능하다. 다만 하류의 조정지댐으로 인한 배수위 영향으로 인하여 대청댐 직하류의 본댐에서 조정지 댐 사이의 구간이 흐름이 변화하고 있는 것으로 추측된다.

동시유량측정비교에 있어서 주된 관심사는 부자측정법과 전자과표면유속계를 이용한 유량측정의 정확성의 비교이었다. 홍수기에 유량측정방법으로 국토해양부에서는 부자측정법을 이용하고 있고, 우리 한국수자원공사에서는 전자과표면유속계를 적용하도록 하고 있다. 동시유량측정 비교를 통한 각 방법의 장단점을 파악하여 홍수기에 신뢰도 높은 유량측정 Tool을 실무자에게 제공하는 기회로 삼고자 하였다. 먼저 봉부자의 경우 이의 측정을 위하여 유량조사사업단에서 대청교 하류의 부자 측정단면에 대한 횡단측량을 실시하였다. 대청교상의 정해진 측선에 대해서 봉부자를 투하하였으나, 흐름중간의 사수역(dead zone)에 부자가 걸려 그 지점에 정체되어 있어 부자측정이 이루어지지 않았다.

전자과표면유속계를 이용한 유속측정은 교량 상에서 20 m 간격으로 좌안에서 우안방향으로 측정을 진행하였고, 교량위에서 상류측으로 전자과표면유속계를 향하게 하여 유속측정을 실시하였다. 측정결과에 따르면

최대유속 1.09 m/s가 좌안에서 100 m 지점에서 형성되었고, 우안측에서 최소유속이 0.27 m/s가 측정되었다. 각 방법으로 측정된 유량을 비교하면 다음 표3과 같다.

**표 3. 각 방법의 동시 유량측정 결과 비교**

	방류량	ADCP (유량조사사업단)	ADCP (충청지역본부)	전자파 표면유속계	부자
유량(cms)	242	242.07	234.60	249.0	
오차 (%)		0.0	-3.1	2.9	
비고	Reference	9회 측정	6회 측정	1회 측정	측정불가

각 방법에 의한 유량측정 성과를 비교하면, 유량조사사업단이 ADCP로 측정된 성과가 방류량과 가장 잘 일치하는 것으로 나타났다. 충청지역본부에서 측정된 유량 측정결과는 3%의 오차를 보였으나 이는 유량측정 오차상으로는 아주 작은 수치라고 판단된다. 전자파표면유속계의 경우에는 댐방류량과 2.9 %의 오차를 보였지만 전반적으로 방류량과 거의 일치하는 결과를 보인다. 이는 부자측정법이 측정의 단점 즉, 사수역이나, 하상지형 등의 영향으로 인해서 원하는 측선을 흘려가지 못하는 점으로 인한 유속측정시의 오차를 고려했을 경우, 전자파표면유속계의 오차는 기준유량과 거의 일치하는 것으로 볼 수 있다.

#### 4. 결론

기존의 수심평균유속환산계수로 이용한 0.85에 대한 이론적인 검증을 위해서 Power law형의 유속분포식으로부터 수심평균유속환산계수를 유도한 결과 하상의 재료에 따라 0.833 (coarse bed)~0.875 (smooth bed)의 범위에 분포하였다. 이는 환산계수로 이용하고 있는 0.85는 유속분포가 크게 변동하지 않은 경우에 수심평균 유속을 환산하는데 이용함에 무리가 없음을 보여준다. 대청댐 방류량에 대한 검증을 위해서 여러 가지 기기를 이용한 동시 유량 측정을 실시하였고, 전자파표면유속계로 측정된 표면유속에 기존의 수심평균유속환산계수 0.85를 적용했을때의 유량산정 결과를 다른 방법에 의한 측정 결과 및 방류량과 비교를 실시하였다. ADCP 측정은 유량조사사업단과 충청지역본부의 도움을 받아 실시하였는데, 유량조사사업단은 9회 측정하여 평균한 유량이 242.0 cms, 충청지역본부에서는 6회 측정하여 평균한 결과가 234.6 cms이었고, 전자파표면유속계로 측정된 표면유속을 이용하여 산정한 유량이 249.0 cms이었으며, 동시유량 측정당시 방류량은 242 cms이었다. ADCP를 이용한 유량측정에 있어서, 각 측정시의 유량측정 오차가 최대 20% 까지 나타나고 있다. 반면 대청댐의 발전 방류량은 거의 일정한 수준을 유지했던 것을 감안할 경우 유량측정 기간에 하류의 조정지댐으로 인한 배수효과의 영향으로 ADCP를 이용한 유량측정값에 변동이 발생한 것으로 추측된다. 전반적으로 부자를 제외하고는 사용된 유량측정 방법들이 거의 동일한 값을 보임을 알 수 있다. 또한 표면유속에 기존의 환산계수를 적용하여도 유량산정이 다른 방법과 유사하게 산정됨을 알 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. 건설교통부, (2004). 수문관측매뉴얼, 건설교통부.
2. 한국수자원공사, (1997). 전자파표면유속계를 사용한 홍수유량관측 시스템에 관한 연구, 한국수자원공사.
3. 한국수자원공사, (2009). 표면유속을 이용한 유량측정의 정확성 향상방안 (1차년도), 한국수자원공사.