

하천수 사용량 계측을 위한 개수로에서의 직접 계측방법 비교 연구

백종석¹ · 김치영² · 이기성³ · 강현웅¹ · 송재현^{3*}

¹한국수자원조사기술원 하천조사실 전임연구원

²한국수자원조사기술원 하천조사실 책임연구원

³인하대학교 토목공학과 박사과정

A Comparative Study on Direct Instrument Methods in Open Channel for Measuring River Water Usage

Jongseok Baek¹, Chiyong Kim², Kisung Lee³, Hyunwoong Kang¹, and Jaehyun Song^{3*}

¹Associate Researcher, Hydrological Survey Department, Korea Institute of Hydrological Survey, Goyang, Korea

²Principal Researcher, Hydrological Survey Department, Korea Institute of Hydrological Survey, Goyang, Korea

³Ph.D. Course, Department of Civil Engineering, Inha University, Incheon, Korea

요약

지속가능한 하천수 관리를 위해서는 연속적이고 정확한 하천수 사용량 계측자료가 필요하다. 하천수 사용지점별로 적용가능한 계측 방법이 상이하나, 일정규모 이상의 주요 개수로 지점에서는 보다 정밀한 직접 계측방법이 요구된다. 하천수 사용자는 사용량 계측을 위해 적절한 직접 계측방법을 선정해야 하는데, 이에 대한 표준 및 검증 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 만경강 상류의 시험유역에 직접 계측방법인 수위-유량관계법, 초음파법, 전자파법을 적용하였고, 계측방법별로 산정된 유량자료간의 절대오차 비교를 통해 계측자료의 정확도를 비교 평가하였다. 점단위 산정유량 비교시 초음파법이 실측값에 가장 근사한 결과를 보였다. 연속적인 계측을 통해 일단위와 월단위의 총량을 비교하였고, 초음파법과 전자파법이 정확도가 높은 것으로 나타났다. 본 연구의 결과를 토대로 초음파법과 전자파법이 수위-유량관계법에 비해 비교적 높은 비용이 투입되는 것을 감안하여 하천수 사용시설의 중요도에 따라 적절한 직접 계측방법을 선정할 수 있기를 기대한다.

핵심용어: 개수로, 유량, 직접 계측방법, 하천수 사용

ABSTRACT

Continuous and accurate instrument of river water usage is needed for sustainable river water management. Although the instrument methods applicable to each point of use of river water are different, more precise direct instrument methods are required at the point of major open channel. Users of river water should select appropriate direct instrument methods to measure usage, but there is a lack of standards and verification research. In this study, the H-Q rating curve method, ultrasonic method, and microwave method were applied directly to the test basin in the upper basin of Mangyeong river, and the accuracy of measurement data was evaluated by comparing absolute error between discharge data calculated by instrument method. When comparing the calculated discharge of point units, the ultrasonic method showed the best results of the actual measurement. Through continuous instrument, the sum of the daily and monthly units was compared, and the ultrasonic and microwave methods were shown to be highly accurate. Based on the results of this study, it is hoped that the appropriate direct measurement method can be selected according to the importance of the river water use facility, considering that the ultrasonic method and the microwave method are relatively costly compared to the water level-flow relationship method.

Keywords: Open channel, Discharge, Direct instrument method, River water usage

*Corresponding author: Jaehyun Song, k6zero@kihs.re.kr ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1836-4745>

Received: 6 October 2020, Revised: 1 November 2020, Accepted: 17 November 2020



1. 서론

안정적이고 지속적인 물의 수요와 공급을 유지하기 위해서는 유역단위의 정량적인 물관리가 필요하다. 인공계 물순환으로 표현할 수 있는 이수 측면에서의 물관리는 하천수를 공급하는 대상과 사용하는 대상의 정보를 확보하는 것에서부터 시작된다. 하천수 공급은 자연적인 강수량을 제외하고는 댐, 저수지, 보 등 인공적인 구조물에 의해 공급량이 조정되는데, 관련 정보는 유관기관에서 시스템상으로 제공하고 있다. 반면에, 하천수 사용과 관련한 정보는 하천수 사용자 개인의 신고에 의존하고 있어, 정보의 취합과 관리가 어려운 상황이기 때문에 하천수 사용자의 사용량을 정확하게 계측할 필요가 있다.

본 연구에서는 비교적 계측 시설 설치 및 운영이 활성화되어 있는 생활·공업용수를 제외하고, 현황 파악에 어려움이 있는 농업용수의 하천수 취수량 계측방법에 대한 연구를 수행하였다. 「하천법」 제 52조 및 같은법 시행령 제60조, 시행규칙 제29조에 따르면, 하천수 사용 허가를 득한 8,000 m³/일 이상의 농업용수 사용자는 매월 5일까지 사용계획과 매월 25일까지 사용실적을 홍수통제소장에게 통보할 의무가 있다. 하지만, 하천수 사용량 계측방법에 대한 표준이나 검증이 미흡하여 정확한 하천수 사용자료의 집계가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

하천수 사용량 계측방법은 시설물의 종류에 따라 구분되는데, 양수장, 취수장 등 관을 이용한 도수 방식과 취수보 등의 개수로로 통해 도수하는 방식이 있다. 이 중 농업용수 목적의 수리시설물의 경우, 개수로로 통해 하천수를 도수하는 경우가 많다. 개수로에서 적용가능한 일반적인 직접 계측방법으로는 수위-유량관계법, 초음파법, 전자파법 등이 있다.

일반적으로 실제 현상을 대변하는 자연유량을 계측하는 가장 정확한 방법으로는 현장 유량측정이 사용되고 있다. 현장 유량측정은 기계식 계측기기를 통해 단면의 유속을 계측하여 유량을 산정하는데, 회전식, 전자기식, 초음파식 유속계를 이용하여 점단위의 현장 유량측정을 수행한다. 계측한 점단위 유량은 수위와 유량간의 상관관계식을 이용하여 연속적인 유량을 산정하는데, 한국수자원조사기술원은 수문조사보고서(ME, 2019)를 통해 전국 214개 유량측정 지점에서 수위-유량관계곡선식(H-Q rating curve, H-Q)을 제공하고 있고, 총 4,696호의 유량측정 중 87.0% 이상이 초음파 계측기기를 사용하여 도섭법, 보트법 등으로 유량을 산정하고 있다.

초음파법은 도플러 방식(Acoustic Doppler Velocity Meter, ADV)과 이동시간차 방식(Ultrasonic Velocity Meter)으로 구분되는데, 해당지점의 수로에 계측기기를 설치하여 초음파의 송·수신 정보 변화를 통해 연속적인 유속 계측 및 유량을 산정한다. 초음파법은 미국지질조사국(United States Geological Survey, USGS)에서 대상지점의 유속 계측방법과 단면의 일부, 국소 측정영역으로 전체 단면의 평균 유속을 산정할 수 있는 지표유속법(Index Velocity Method, IVM) 등을 소개하고, 계측에서부터 유량자료의 생산까지의 전체 처리과정을 제시하였다(USGS, 2012). Song et al.(2019)은 도플러 방식 연직방향 초음파유속계(Vertical-Acoustic Doppler Current Profiler, V-ADCP)를 이용하여 개수로에서의 유량자료를 산정하였고, 수위-유량관계곡선식, 지표유속법으로 산정한 유량자료의 비교를 통해 초음파법의 정확도를 검증하였다.

전자파법은 비접촉식 계측방법으로 수로 외부에서 수표면에 전자파를 송·수신하여 표면유속을 계측할 수 있고, 환산계수나 지표유속법을 통해 유량을 산정한다. 기존의 전자파법은 홍수기에 한하여 점단위 계측을 통해 수위별 유량을 산정하는 방식이었다(Lee et al., 1997; Kim et al., 2014; Kim et al., 2015). Baek et al.(2020)은 개수로에 전자파 표면유속계(Microwave Surface Current Meter, MWSCM)를 고정 설치하여 연중 연속적인 표면유속을 계측하였고, 지표유속법을 이용해 유량을 산정하였다.

본 연구에서는 연중 항시 하천수를 사용하는 지점을 선정하여 일반적으로 개수로에서 사용되고 있는 수위-유량관계법, 초음파법, 전자파법 등의 직접 계측방법을 적용하였고, 계측방법별 자료의 정확도와 장·단점 비교를 수행하였다. 직접 계측방법별로 계측한 점단위, 일단위, 월단위 자료를 토대로 산정한 유량자료간의 비교를 통해 하천수 사용자가 정량적인 하천수 사용량 계측을 위해 적용할 직접 계측방법에 대한 검증을 수행하였다.

2. 연구방법

본 연구는 개수로를 통해 취수되고 있는 하천수의 정량적인 계측방법 선정을 위해 수위-유량관계법, 초음파법, 전자파법 등 3가지의 직접 계측방법을 적용하였다. 직접 계측방법별로 산정한 유량자료의 정확도를 검증하기 위해 대상지점에서 18회의 현장 실측을 수행하였고, 실측값과 직접 계측방법별로 산정한 유량자료를 비교하여 직접 계측방법별 정확도와 계측 유효성을 검토하였다. 계측한 자료로 계측방법별 유량을 산정하였고, 산정유량의 점단위, 일단위, 월단위 절대오차 비교를 통해 직접 계측방법간의 정확도 비교를 수행하였다.

2.1 대상지점 현황

본 연구의 대상지점은 전라북도 완주군 고산면 어우리 어우보에 위치한 농업용 개수로로서, 농업용수 목적의 하천수 사용허가량이 1,619,000 m³/day인 만경강 유역의 대표적인 하천수 사용지점이다. 수로는 콘크리트 형태의 Fig. 1과 같은 직사각 단면(2 m × 13 m) 인공 개수로이고, 단면변화, 식생 등의 통제 특성 변화가 적어 비교적 정확한 유량을 계측할 수 있는 지점이다. 수로는 계절별 수요에 따라 취수량에 변동이 있으나, 수위 기준 약 0.30 m에서 0.90 m까지, 유량 기준 약 1.00 m³/s에서 15.00 m³/s까지 다양한 범위에서 연중 상시 취수하고 있다.

대상지점 수로에 위치한 교량에 전자파 표면유속계(MWSCM)를 설치하여 비접촉시 전자파법을 적용하였고, 전자파 표면유속계가 계측하는 국소적인 수표면 수직하단에 초음파 유속계(V-ADCP)를 설치하여 초음파법을 적용하였다. 그리고 같은 단면을 대상으로 수위-유량관계법을 적용하여 총 3가지 직접 계측방법을 통해 산정된 유량자료의 분석을 수행하였다.

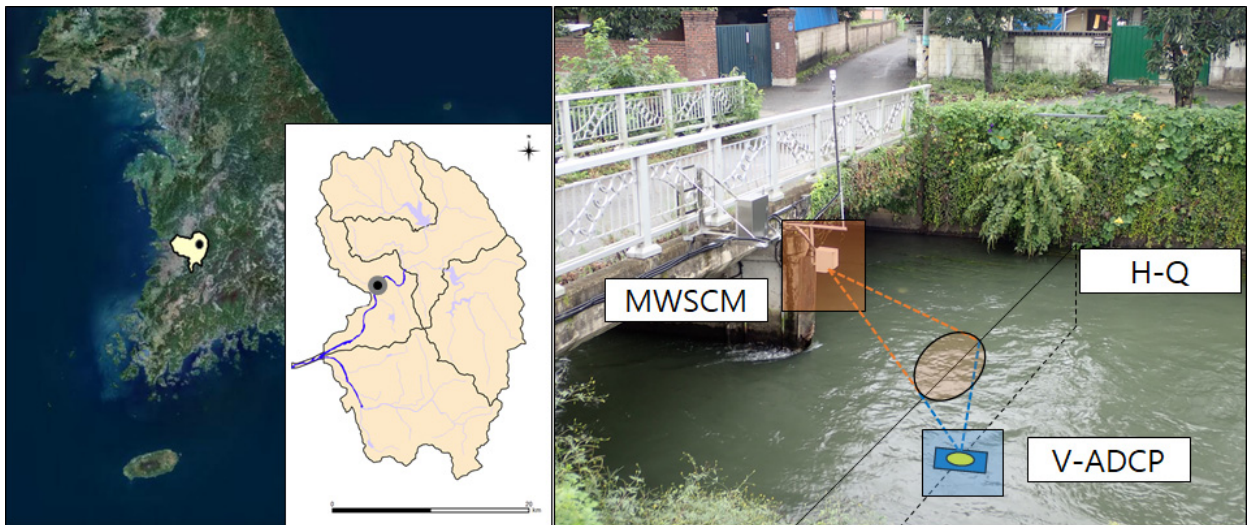


Fig. 1. Target location and instrument application

2.2 수위-유량관계법

수위-유량관계법은 수위에 의한 단일한 함수로 유량을 산정하는 기본적인 직접 계측방법이다. 하상이 안정적인 인공수로와 같은 곳에서는 수위와 유량의 관계가 일정하기 때문에, 한 번의 관계곡선식 개발로 안정적인 유량자료를 산정할 수 있다. 수위-유량관계곡선식은 일반적으로 Eq. (1)과 같이 지수형의 곡선식으로 표현된다.

$$Q = a(h - b)^c \quad (1)$$

여기서, Q 는 유량, a 와 c 는 회귀상수, b 는 하천의 흐름이 0인 수위(Gauge height of zero flow, GZF), h 는 수위이다.

대상지점 수위를 관측하는 단면에서의 수위와 이에 대응하는 유량 간의 관계를 이용하여 2017년 2월부터 2020년 4월까지 총 18회의 유량 현장측정을 통해 수위-유량관계곡선식을 개발하였다. 저수위시 계측장비는 휴대용 초음파 유속계(Acoustic Doppler Velocity, ADV)를 이용해 도섭법으로 측정하였고, 중·고수위시는 초음파 유속계(Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)를 이용해 보트법 등으로 0.40 m 이하의 저수위 총 9회, 0.40 m 이상의 중·고수위 총 9회를 측정하여 Table 1과 같이 정리하였다. 단면 전체구간을 측정하였기 때문에, 단면을 대표할 수 있는 평균유량으로 판단할 수 있다. 대상지점에서 측정한 수위와 유량자료간의 관계를 이용해 Eq. (2)와 같이 수위-유량관계곡선식을 개발하였다.

$$Q = 18.741(h - 0.100)^{1.650} \quad (2)$$

여기서, Q 는 유량, h 는 수위이다.

Table 1. Results of measured discharge at target location

Instrument No.	Date	Water level (m)	Area (m ²)	Measured discharge (m ³ /s)	Measuring equipment
1	2017-02-10 11:00	0.29	3.27	1.20	ADV
2	2017-03-10 09:10	0.32	3.66	1.63	ADV
3	2017-06-10 09:50	0.71	8.72	8.40	ADCP
4	2017-08-01 15:00	0.62	7.55	5.99	ADV
5	2017-10-20 10:40	0.33	3.79	1.14	ADV
6	2017-11-10 09:00	0.34	3.92	1.34	ADV
7	2018-02-08 12:50	0.26	2.88	1.11	ADV
8	2018-04-23 16:00	0.50	6.00	5.46	ADCP
9	2018-08-02 06:20	0.80	9.89	9.75	ADCP
10	2018-10-25 13:50	0.29	3.27	1.24	ADV
11	2018-12-20 10:00	0.52	6.26	5.51	ADV
12	2019-03-13 11:00	0.37	4.31	2.15	ADV
13	2019-06-20 13:50	0.80	9.89	12.04	ADCP
14	2019-06-26 10:30	0.83	10.28	11.98	ADCP
15	2019-07-03 15:10	0.72	8.85	8.57	ADCP
16	2019-07-24 13:40	0.69	8.46	8.35	ADCP
17	2019-09-25 08:50	0.34	3.92	1.79	ADV
18	2020-04-16 17:30	0.27	3.01	1.30	ADV

2.3 초음파법

대상지점의 수로 하단에 도플러 방식 연직방향 초음파 유속계(V-ADCP)를 설치하여 수로바닥에서부터 수표면까지의 연직방향 셀단위 유속분포를 측정하였다. 초음파 유속계를 이용한 방법은 수로에서 흐름단면의 전체 평균유속을 측정하지 않고, 단면의 부분영역을 측정하기 때문에, 측정유속이 단면 전체의 평균유속을 대표하거나, 측정유속-평균유속간의 상관관계를 수립할 수 있는 지표유속법(IVM)을 통해 유량을 산정할 수 있다.

대상지점의 초음파 유속계는 2017년 2월 이후 지속적인 측정과 검증을 거쳐 운영 중에 있다. 초음파 유속계로 측정한 지

표유속과 평균유속은 Table 2와 같다. 지표유속법은 측정장비를 통해 측정된 국소면적의 지표유속과 단면 전체의 평균유속 간의 관계를 통해 평균유량을 산정하는 식은 Eq. (3)과 같다.

$$\bar{u} = su_i + c \tag{3}$$

여기서, \bar{u} 는 평균유속, u_i 는 지표유속, s 는 곡선식의 기울기, c 는 상수이다.

지표유속법을 이용해 Eq. (4) 및 Eq. (5)와 같이 초음파 유속계로 측정된 지표유속을 단면의 평균유속으로 환산하는 공식을 개발하였다. 대상지점의 저수위와 중·고수위시 유속의 분포가 상이하여 수위 0.40 m 미만에서는 Eq. (4)와 같이 저수위 지표유속식, 수위 0.40 m 이상에서는 Eq. (5)와 같이 중·고수위 지표유속식을 개발하였다.

$$\bar{u} = 1.120u_i - 0.345 \tag{4}$$

$$\bar{u} = 0.760u_i - 0.056 \tag{5}$$

여기서, \bar{u} 는 평균유속, u_i 는 지표유속이다.

Table 2. Index velocities and mean velocities

Instrument No.	Index velocity for V-ADCP (m/s)	Index velocity for MWSCM (m/s)	Mean velocity (m/s)
1	0.573	-	0.367
2	0.668	-	0.445
3	1.205	-	0.963
4	1.121	-	0.793
5	0.479	-	0.301
6	0.534	-	0.342
7	0.597	-	0.385
8	1.093	-	0.910
9	1.245	-	0.986
10	0.582	-	0.379
11	1.161	-	0.880
12	0.748	-	0.499
13	1.287	1.343	1.217
14	1.258	1.329	1.165
15	1.062	1.139	0.968
16	1.263	1.206	0.987
17	0.651	0.760	0.457
18	0.589	0.597	0.432

2.4 전자파법

일반적으로 전자파법은 홍수기시 점단위의 측정으로 활용되고 있으나, 현장 고정용 연속측정이 가능한 Sommer 사의 RQ-30 전자파 표면유속계를 설치하여 자료를 계측하였다. 대상지점에 설치한 RQ-30 기기의 센서는 12° 각도로 고정하여 수표면에 전자파를 송수신하고, 24 GHz대의 주파수 측정이 가능하다. 그리고 최소 3 mm 이상의 파고에서 측정이 가능하고, 1% 내의 오차범위를 가지고 있다.

전자파법은 수표면에 송수신된 전자파의 도플러 효과로 국소적인 표면의 유속을 측정할 수 있다. 도플러 효과는 파원과 운동하는 물체 사이에 발생하는 상대적인 주파수 차이로, Eq. (6)의 식과 같이 주파수 차이를 통해 유속을 측정할 수 있다.

$$f_d = \frac{2v}{\lambda} \cos\theta \quad (6)$$

여기서, f_d 는 도플러 주파수, v 는 운동하는 물체의 속도, λ 는 전파의 파장, θ 는 운동하는 물체의 속도방향과 파장의 진행방향간의 사잇각이다.

대상지점의 전자파 표면유속계는 2019년 3월 21일 설치 이후 연속적인 자료를 측정하고 있으며, 2019년 6월 20일 이후에 측정된 6회의 실측값을 통해 검증이 수행하였다. 초음파 유속계로 계측한 지표유속과 평균유속 자료는 Table 2와 같고, Eq. (3)의 식을 이용해 지표유속으로 환산유속을 산정하였다. 전자파법은 단면의 전체 유속을 계측하지 않고, 수로의 일부 국소적인 표면유속을 측정하기 때문에, 계측자료로 실제 단면의 평균 유속을 대변할 수 있는 지표유속법을 통해 평균유량을 산정할 수 있다. 전자파법을 이용해 Eq. (7)과 같이 전자파 표면 유속계로 측정된 지표유속을 단면의 평균유속으로 환산하는 공식을 개발하였다.

$$\bar{u} = 1.093u_i - 0.290 \quad (7)$$

여기서, \bar{u} 는 평균유속, u_i 는 지표유속이다.

3. 결과 분석

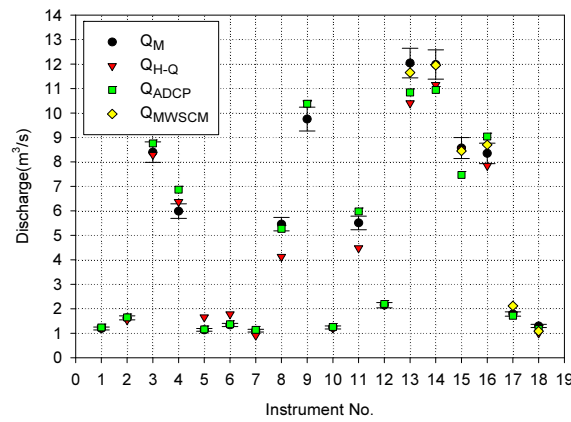
3.1 점단위 유량산정 결과

Table 1에 정리된 18회의 실측유량을 기준으로 설정하고, 동일한 시간에 계측한 수위-유량관계법, 초음파법, 전자파법의 계측값으로 산정한 유량을 비교하여 Table 3과 같이 절대오차로 분석하였다. 절대오차값으로 비교를 수행하였고, 전체자료의 실측유량 대비 수위-유량관계법은 11.84%, 초음파법은 5.86%, 전자파법은 7.28%의 오차가 발생하였다. 수위에 따라 구분하였을 때, 저수위에서는 실측유량 대비 수위-유량관계법 14.28%, 초음파법 3.13%, 전자파법 17.30%으로 나타났고, 중·고수위에서는 실측유량 대비 수위-유량관계법은 9.40%, 초음파법은 8.59%, 전자파법은 2.28%의 오차가 발생하였다.

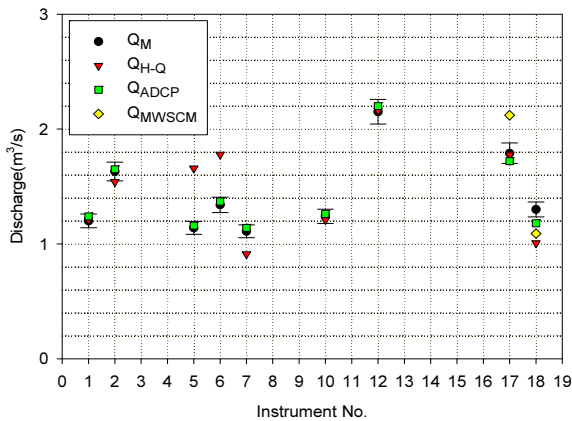
전체기간의 계측방법별 비교를 수행한 결과, 초음파법이 평균 5.86%의 오차로 실측유량에 가장 근사한 유량을 산정하는 것으로 확인되었고, 저수위에서는 초음파법이 평균 3.13%, 중·고수위에서는 전자파법이 평균 2.28%로 나타났다. 전체기간, 저수위, 중·고수위시의 계측방법별 점단위 유량자료 비교를 Fig. 2와 같이 나타내었고, QM은 실측유량, QH-Q는 수위-유량관계법, QADCP는 초음파법, QMWSCM은 전자파법으로 산정한 유량이다. 실측유량을 기준으로 비교하였기 때문에, 실측유량값에서 10% 오차범위를 그래프 상에 표시하였다.

Table 3. Comparison of point units by instrument method

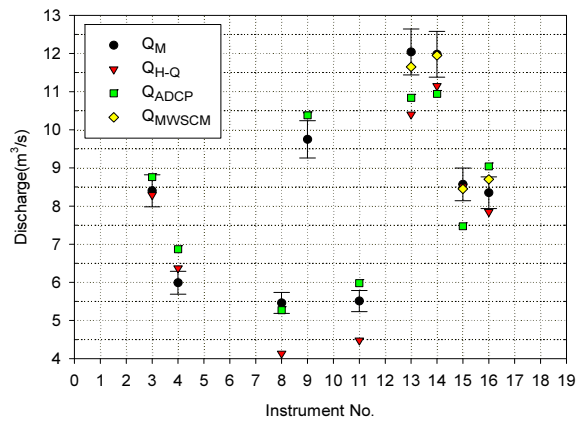
Instrument No.	Water level (m)	Measured Discharge (m ³ /s)	H-Q		V-ADCP		MWSCM		
			Discharge (m ³ /s)	Absolute error (%)	Discharge (m ³ /s)	Absolute error (%)	Discharge (m ³ /s)	Absolute error (%)	
Low - water level	1	0.29	1.20	1.21	0.82%	1.24	3.30%	-	-
	2	0.32	1.63	1.54	5.46%	1.65	1.20%	-	-
	5	0.33	1.14	1.66	45.46%	1.16	1.80%	-	-
	6	0.34	1.34	1.78	32.75%	1.37	2.20%	-	-
	7	0.26	1.11	0.91	17.91%	1.14	2.70%	-	-
	10	0.29	1.24	1.21	2.43%	1.26	1.60%	-	-
	12	0.37	2.15	2.16	0.49%	2.20	2.30%	-	-
	17	0.34	1.79	1.78	0.62%	1.72	3.90%	2.12	18.40%
	18	0.27	1.30	1.01	22.54%	1.18	9.20%	1.09	16.20%
Average			-	14.28%	-	3.13%	-	17.30%	
High - water level	3	0.71	8.40	8.29	1.30%	8.76	4.30%	-	-
	4	0.62	5.99	6.37	6.36%	6.87	14.70%	-	-
	8	0.50	5.46	4.13	24.32%	5.27	3.50%	-	-
	9	0.80	9.75	10.40	6.71%	10.38	6.50%	-	-
	11	0.52	5.51	4.48	18.72%	5.98	8.50%	-	-
	13	0.80	12.04	10.40	13.59%	10.84	10.00%	11.65	3.20%
	14	0.83	11.98	11.15	6.93%	10.94	8.70%	11.95	0.30%
	15	0.72	8.57	8.52	0.63%	7.47	12.80%	8.45	1.40%
Average			-	9.40%	-	8.59%	-	2.28%	
Total average			-	11.84%	-	5.86%	-	7.28%	



(a) Total data



(b) Low-water level data



(c) High-water level data

Fig. 2. Comparison of discharge data by instrument method

3.2 일단위 유량산정 결과

계측방법별 일단위의 총량적인 하천수 사용량 비교 분석을 수행하였다. 수위-유량관계법, 초음파법, 전자파법 등 3가지 계측방법의 일단위 산정유량 비교를 위해 3가지 자료를 모두 확보하고 있는 13번부터 18번까지 6개의 자료를 비교분석하였다. 6개 점단위 계측한 일자의 10분단위 계측자료를 일단위로 합산하여 일단위 유량을 산정하였다. 일단위 유량산정의 경우, 점단위시 가장 실측유량에 근사하다고 판단한 초음파법을 기준유량으로 설정하였고, 초음파법 산정유량 대비 수위-유량관계법과 전자파법의 비교결과를 Table 4와 같이 절대오차로 분석하였다.

기준유량인 초음파법 대비 수위-유량관계법은 평균 8.62%, 전자파법은 평균 6.62%의 오차가 발생하여 수위-유량관계법에 비해 전자파법이 조금 더 높은 정확도를 보였으나, 일단위의 유량을 합산하여 총량적인 비교를 수행하였을 때는 수위-유량관계법이 1.35%, 전자파법이 6.56%의 오차가 발생하여 수위-유량관계법이 조금 더 정확도가 높은 것으로 나타났다.

Table 4. Comparison of daily units by instrument method

Instrument No.	Date (YYYY-MM-DD)	H-Q		V-ADCP	MWSCM	
		Discharge (m ³)	Absolute error (%)	Discharge (m ³)	Discharge (m ³)	Absolute error (%)
13	2019-06-20	899,062	5.75%	953,901	1,023,306	7.28%
14	2019-06-26	957,039	1.84%	939,706	1,028,596	9.46%
15	2019-07-03	735,247	15.69%	635,520	723,216	13.80%
16	2019-07-24	646,555	13.29%	745,690	730,940	1.98%
17	2019-09-25	153,693	1.54%	151,362	155,392	2.66%
18	2020-04-16	82,635	13.62%	95,666	91,294	4.57%
Average		-	8.62%	-	-	6.62%
Total		3,474,231	1.35%	3,521,845	3,752,744	6.56%

3.3 월단위 유량산정 결과

계측방법별 월단위의 총량적인 하천수 사용량 비교 분석을 수행하였다. 일단위 계측방법과 동일하게 초음파법을 기준유량으로 설정하여 수위-유량관계법과 전자파법을 비교하였다. 13번부터 18번까지 6개의 자료 계측기간인 2019년 6월부터 2020년 4월까지 총 11개의 계측방법별 월단위 산정유량을 Table 5와 Fig. 3과 같이 정리하였다.

Table 5. Comparison of monthly units by instrument method

Date (YYYY-MM)	H-Q		V-ADCP	MWSCM		
	Discharge (m ³)	Absolute error (%)	Discharge (m ³)	Discharge (m ³)	Absolute error (%)	
2019-06	26,086,078	13.68%	30,220,090	28,658,132	5.17%	
2019-07	19,795,151	6.30%	21,126,093	19,420,738	8.07%	
2019-08	22,176,454	18.81%	27,314,416	27,851,178	1.97%	
2019-09	7,260,905	19.39%	9,007,867	8,582,586	4.72%	
2019-10	3,631,703	3.64%	3,768,882	3,134,291	16.84%	
2019-11	3,072,682	6.18%	3,274,946	3,215,875	1.80%	
2019-12	3,558,881	13.71%	4,124,416	4,014,348	2.67%	
2020-01	3,079,439	12.51%	3,519,669	3,501,694	0.51%	
2020-02	2,635,820	11.86%	2,990,353	3,125,647	4.52%	
2020-03	2,788,397	5.56%	2,952,710	3,321,681	12.50%	
2020-04	4,791,011	9.71%	5,305,989	5,580,778	5.18%	
Average		-	11.03%	-	-	5.81%
Total		98,876,521	12.96%	113,605,431	110,406,948	2.82%

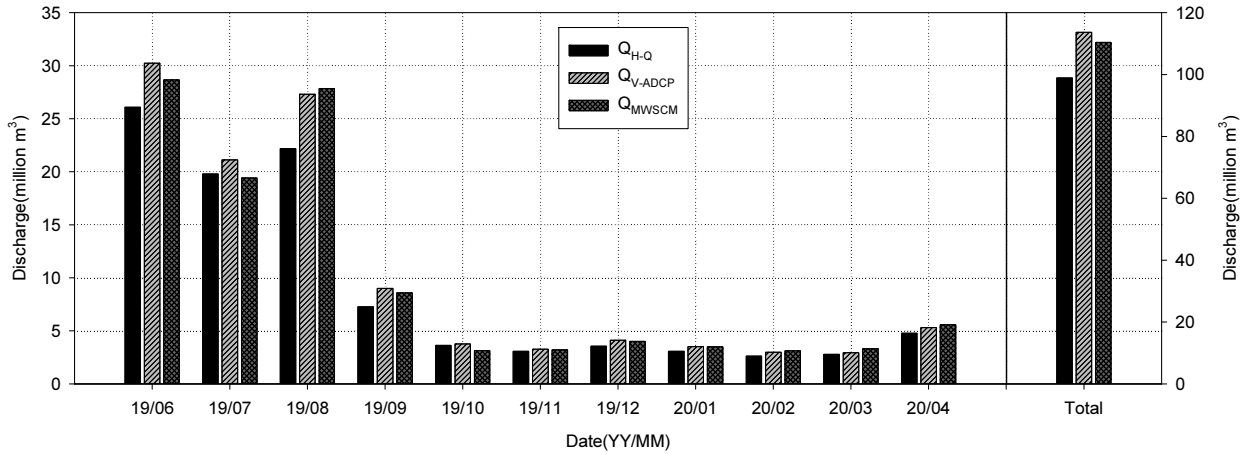


Fig. 3. Comparison of monthly units by instrument method

계측방법별 월별 하천수 사용량을 비교하였을 때, 기준유량인 초음파법 대비 수위-유량관계법은 평균 11.03%, 전자파법은 평균 5.81%의 오차가 발생하여 전자파법이 조금 더 높은 정확도를 나타냈다. 전체기간의 총량을 기준으로 비교하였을 때, 기준유량인 초음파법 대비 수위-유량관계법은 평균 12.96%, 전자파법은 평균 2.82%의 오차가 발생하여 전자파법이 높은 정확도를 가지는 것으로 계측되었다.

4. 결론

본 연구에서는 정량적인 하천수 사용량 계측을 위해 수위-유량관계법, 초음파법, 전자파법 등 일반적인 직접 유량 계측방법의 비교 연구를 수행하였다. 일반적으로 실제현상을 대변한다고 판단하는 점단위의 현장 유량측정을 기준값으로 설정하고 계측방법별 산정유량의 결과를 비교하였다. 점단위 산정유량 비교를 통해 가장 근사한 유량을 산정할 수 있는 계측방법을 선정하고, 일단위와 월단위의 총량적인 비교를 수행하여 계측방법별 하천수 사용량 계측시 발생할 수 있는 오차를 산정하였다. 기준유량으로 설정한 실측값에서도 측정 상황에서의 불확실성이 존재할 수 있고, 3가지 계측방법 모두 여러 변수들에 의한 불확실성이 존재하여 정확한 하천수 사용량 계측이 이루어진 것으로 단정할 수는 없으나, 최선의 방법으로 계측하여 계측방법별 비교를 수행하였다.

점단위 실측유량 자료와 계측방법별 산정유량간의 절대오차를 통해 비교하였을 때, 저수위시 수위-유량관계법 14.28%, 초음파법 3.13%, 전자파법 17.30%로 초음파법이 가장 근사한 결과를 나타내는 것으로 확인되었고, 중·고수위시에는 수위-유량관계법 9.40%, 초음파법 8.59%, 전자파법 2.28%로 전자파법이 가장 높은 정확도를 나타내는 것으로 산정되었다. 전체 측정을 고려한 실측유량 대비 평균오차는 수위-유량관계법 11.84%, 초음파법 5.86%, 전자파법 7.28%로 초음파법이 가장 높은 정확도를 나타내었다.

점단위 실측유량을 계측한 일자의 일단위 유량을 계측방법별로 비교하였다. 점단위 비교 분석시 가장 높은 정확도를 나타낸 초음파법을 기준유량으로 설정하고 수위-유량관계법과 전자파법을 절대오차로 비교하였다. 일별 평균오차는 수위-유량관계법 8.62%, 전자파법 6.62%로 전자파법이 조금 더 높은 정확도를 보였으나, 일단위를 합산한 총량의 비교에서는 수위-유량관계법 1.35%, 전자파법 6.56%로 수위-유량관계법의 정확도가 높은 것으로 나타났다.

월단위 계측방법별 산정유량은 기준유량인 초음파법 대비 수위-유량관계법과 전자파법의 절대오차를 비교하였다. 월별 평균오차는 수위-유량관계법 11.03%, 전자파법 5.81%, 전체기간의 유량을 합산한 총량의 비교에서는 수위-유량관계법 12.96%, 전자파법 2.82%로 전자파법이 높은 정확도를 보이는 것으로 나타났다.

하천수 사용자는 매월 일단위의 사용실적을 홍수통제소에 통보하게 되어 있는데, 본 연구에서 적용한 직접 계측방법인 수위-유량관계법, 초음파법, 전자파법은 일정 수준 이상의 정확도를 가지는 것으로 나타났고, 하천수 사용량을 집계하는데 적절한 유량 계측방법으로 판단된다. 비용의 측면에서는 초음파법과 전자파법이 수위-유량관계법에 비해 시설비가 높게 산정되나, 정확도가 높은 자료를 얻을 수 있어 주요 하천수 사용시설에서의 적용이 필요할 것으로 사료되고, 수위-유량관계법은 초음파법과 전자파법에 비해 낮은 비용으로 일정수준 이상의 정확도를 가질 수 있어 비교적 중요도가 낮은 하천수 사용시설에서의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20AWMP-C140010-03).

References

- Baek, J. S., Kim, C. Y., Lee, K. S., Kang, H. W., and Song, J. H. (2020). Application of Microwave Water Surface Current Meter for Measuring Agricultural Water Intake. *Journal of Korea Water Resources Association*. KWRA. 53(12): 1071-1079.
- Kim, Y. S., Noh, J. W., and Choi, G. S. (2014). Development of Microwave Water Surface Current Meter for General Use to Increase Efficiency of Measurements of River Discharges. *Korean Journal of Ecology and Environment*. KJEE. 47(3): 225-231.
- Lee, S. H., Kim, W. G., and Kim, Y. S. (1997). Practical Aspects of Microwave Surface Velocity Meter Applied to Measurements of Stream Discharges. *Journal of Korea Water Resources Association*. KWRA. 30(6): 671-678.
- Ministry of Environment (ME). (2019). *Hydrological Annual Report in Korea*. Sejong: Ministry of Environment.
- Song, J. H., Park, M. H., Cha, J. H., and Kim, C. Y. (2019). Applicability Evaluation of Velocity Profile Method by V-ADCP Measuring Real-time River Water Use. *Journal of Korea Water Resources Association*. KWRA. 52(1): 83-96.
- United States Geological Survey. (2012). *Computing Discharge Using the Index Velocity Method*, South Carolina: United States Geological Survey. pp. 35-59.

Korean References Translated from the English

- 김영성, 노준우, 최광순 (2014). 하천유량측정의 효율성 향상을 위한 범용 전자파표면유속계 개발. *생태와 환경*. 47(3): 225-231.
- 백종석, 김치영, 이기성, 강현웅, 송재현 (2020). 농업용수 사용량 계측을 위한 전자파 표면유속계의 적용. *한국수자원학회*. 53(12): 1071-1079.
- 송재현, 박문형, 차준호, 김치영 (2019). 실시간 하천수사용량 계측을 위한 V-ADCP 유속분포법의 적용성 평가. *한국수자원학회*. 52(1): 83-96.
- 이상호, 김우구, 김영성 (1997). 전자파 표면 유속계의 하천 유량 측정에 관한 실용성. *한국수자원학회*. 30(6): 671-678.
- 환경부 (2019). *수문조사보고서*. 세종시: 환경부.