



## A study on the estimation of river water intake using the operating time of the pumping station

Baek, Jongseok<sup>a</sup> · Kim, Chiyoun<sup>b</sup> · Cha, Jun-Ho<sup>c</sup> · Song, Jaehyun<sup>d\*</sup>

<sup>a</sup>Associate Researcher, Hydrological Survey Department, Korea Institute of Hydrological Survey, Goyang, Korea

<sup>b</sup>General Manager, Hydrological Survey Department, Korea Institute of Hydrological Survey, Goyang, Korea

<sup>c</sup>General Manager, Han River Flood Control Office, Ministry of Environment, Seoul, Korea

<sup>d</sup>Ph.D. Course, Department of Civil Engineering, Inha University, Incheon, Korea

Paper number: 19-091

Received: 14 November 2019; Revised: 26 November 2019; Accepted: 26 November 2019

### Abstract

Water management agencies under the Ministry of Environment produce and accumulate qualified basic data for major rivers. However, the integrated management of the river water has been weak since the artificial water circulation process, such as the intaking and drainage of agricultural water, has not been examined in the basin, which includes many agricultural land. In this study, a study was conducted on how the power usage method (operating time method) based on the running time can be applied and improved among indirect flow rate measurement methods used to investigate flow rates collected by the riverside for agricultural water purposes, and thus the resultant data of high reliability can be obtained at low cost. The operation time method is suitable for small-scale water pumping stations where it is difficult to secure real-time power supply data. The reliability of the data was verified through the correlation analysis with the actual flow rate, and it was found that the flow rate calculated by the operation time method reflecting the level of the stream to which the inlet of the pumping station is connected can be reasonably matched with the actual flow rate. In addition, it was confirmed that the investment cost at the time of initial installation of the facility was highly efficient by generating qualified flow data at low cost through comparison with direct flow rate measurement methods. If flow data is secured by applying the operation time method to large and small water farms located along the riverside, it is expected that more quantitative and integrated stream water management will be possible.

**Keywords:** River water use, Water intake, Operation time method, Pumping station

## 양수장의 가동시간을 이용한 하천수 취수량 산정방안 연구

백종석<sup>a</sup> · 김치영<sup>b</sup> · 차준호<sup>c</sup> · 송재현<sup>d\*</sup>

<sup>a</sup>한국수자원조사기술원 하천조사실 전임연구원, <sup>b</sup>한국수자원조사기술원 하천조사실 실장, <sup>c</sup>환경부 한강홍수통제소 실장,

<sup>d</sup>인하대학교 토목공학과 박사과정

### 요 지

환경부 산하 물관리 기관들은 주요 하천을 대상으로 양질의 기초 자료를 생산 및 축적하고 있다. 하지만 농경지를 많이 포함한 유역에서는 농업용수의 취수와 배수 등 인공적인 물의 순환 과정이 정량적으로 조사되지 못하고 있어 하천 수량의 통합적인 관리가 부진한 실정이다. 본 연구에서는 농업용수를 목적으로 하천변에서 취수되는 유량의 조사를 위해 사용되는 간접 유량 계측방법 중 가동시간에 따른 전력량법(가동시간법)을 적용 및 개선하여 저비용으로 높은 신뢰도의 결과자료를 얻을 수 있는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 가동시간법은 실시간 전력량 자료의 확보가 어려운 소규모 양수장에 적용하기 적합하다. 실측 유량과의 상관성 분석을 통해 자료의 신뢰성을 검증한 결과, 양수장의 흡입구가 연결된 하천의 수위를 반영하여 가동시간법으로 산정한 유량은 실측 유량과 상당히 일치하는 결과를 얻을 수 있는 것으로 확인되었다. 또한 본 연구에서는 최초 설비 설치 시에 대한 투자 비용을 직접 유량 계측방법들과의 비교를 통해 저비용으로 양질의 유량자료를 생성하여 높은 효율성을 가지는 것으로 확인하였다. 가동시간법을 하천변에 위치한 크고 작은 양수장에 적용하여 유량 자료를 확보한다면, 보다 정량적이고 통합적인 하천수 관리의 시행에 있어 많은 영향을 미칠 수 있을 것이다.

**핵심용어:** 하천수, 취수, 가동시간법, 양수장

\*Corresponding Author. Tel: +82-31-929-0824

E-mail: k6zero@kihs.re.kr (J. Song)

## 1. 서론

유역의 안정적이고 지속적인 하천수 관리를 위해서는 수문학적 물순환 과정에서의 접근이 필요하다. 물순환은 크게 자연계와 인공계의 개념으로 구분할 수 있는데, 자연계 물순환이란, 강우에서부터 증발산, 지표면 침투 및 침투, 유출 등 자연에서 순환되는 일련의 물의 흐름을 말한다. 인공계 물순환은 상수도, 농업용수 등 인간의 수요에 의해 유역의 내·외부 하천에서 용수를 취수하고, 여러 목적으로 사용한 후 재이용 및 하천으로 배수되는 과정의 반복을 의미한다. 인공계 물순환 중 생활용수와 관련해서는 많은 연구가 이루어져 수요자들이 어려움 없이 사용할 수 있는 반면, 농업용수와 관련해서는 취방류 유량의 미계측과 같이 조사와 연구가 미진하여 안정적인 하천수량의 관리가 어려운 상황이다.

홍수통제소에서는 정량적인 하천수 관리를 위해 「하천법 시행령[시행 2019. 2. 15.]」을 기준으로 농업용수 8,000 m<sup>3</sup>/day 이상을 취수하는 사용자에 대해 계측시설을 설치하고, 취방류수량의 기록을 보관 및 제출하도록 고시하고 있으나, 농가에서는 계측기기의 설치 비용에 대한 부담 등의 이유로 기준 규모 이하의 시설에서는 하천수량 사용 보고가 잘 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 실제로 2017년말 하천수 허가현황에 의하면 대상 시설 863건 중 510건이 계측기기의 설치가 이루어지지 않았고, 미설치 510건 중 404건이 농업용수 취수시설이었다. 이는 하천수 사용자 보고량의 상당 부분이 신뢰도가 낮음을 의미하며, 정확한 하천수 이용 현황을 확인하기 위한 대안이 필요함을 시사한다.

일부 시험하천이나 주요 측정지점의 경우 전자파 및 초음파 유속계와 같은 직접 유량 계측방법을 사용하고 있고, 대부분의 하천수 사용 보고대상 취수시설은 토출구쪽 수로에 수위계를 설치하여 수위의 변화에 따른 유량을 산정하고 있다. Song et al. (2019)은 전라북도 완주군의 만경강 일대에 직접 유량 계측방법 중 도플러방식 초음파유속계(V-ADCP)를 적용하여 유량 계측을 수행하였고, Chiu의 2차원 유속분포를 적용하여 수로 단면 전체에 대한 무차원 유속분포를 연구하였다. 또한, 전력량법과 같은 간접 계측방법을 적용하여 유량을 산정하는 지점도 있으나, 연구결과물도 소개된 경우가 드물다. Kim (2014)은 경기도 여주시의 양수장을 대상으로 관개기시의 취수량을 전력사용량으로 산정할 수 있는 방법을 연구하였고, 전력량과 유량 간의 선형적인 상관관계식을 통해 실측유량에 근사한 결과를 도출하였다. 직접 유량 계측방법의 경우, 계측 시설의 구입과 설치에 대한 비용이 수백만 원에서 수천만 원 규모의 투자가

필요하여 대규모 취수시설이 아닌 소규모의 일반 농가에는 많은 부담이 따르게 된다. 이에 비해 전력량법의 경우 전력량 계측설비만 갖추게 되면, 소규모 투자로 신뢰도가 높은 자료를 제공받을 수 있다. 하지만 한국전력공사에서는 전력사용 신청에 따라 고압과 저압으로 구분하여 계량기를 설치해주는 데, 압에 따라 계량기의 검침능력에 차이가 있다. 고압전력 사용자에게는 i-Smart (<https://pccs.kepco.co.kr/iSmart/>) 사이트를 통해 15분 단위 시계열 전력사용량 자료를 공급하고 있고, 저압전력 사용자에게는 계량일에 따른 계량기 현장 검침으로 사용한 전력량을 월단위로 청구하고 있어, 하천변에 위치한 일반적인 소규모 양수장의 경우, 전력량을 확인하기 어려운 문제가 있다.

본 연구에서는 시계열 전력량 자료의 확보가 어려운 소규모 양수장을 대상으로, 가동시간과 펌프의 제원만으로 유량을 산정할 수 있는 방법을 연구하였다. 그리고 산정한 유량이 펌프의 전원이 켜지고 꺼짐에 따라 일정한 유량만 산정되어 실측 유량과 상이할 것을 고려하여 펌프장의 외수위, 즉 하천의 수위를 고려한 유량 산정식을 적용하여 보다 정확한 값을 산정할 수 있도록 관계식을 개선하였다. 이와 같은 연구를 통해 소규모 양수시설에서도 고가의 설비 투자 없이, 실측에 근사한 유량을 산정하여 신뢰도 높은 하천수 보고량을 제출할 수 있게 되어, 보다 안정적이고 통합적인 하천수 관리에 도움이 될 것으로 기대한다.

## 2. 연구방법

본 연구는 하천수의 통합적인 관리를 위해 농업용수로 취수되는 유량의 적정 조사 기법 제안과 정확도 개선에 목적을 두고 있다. 연구 순서로, 우선 기존의 전력량법 산정식 사용의 한계와 문제점을 검토하고, 가동시간과 펌프의 제원에 따라 유량을 산정할 수 있는 수정식을 제안하였다. 그리고 가동시간에 따라 산정한 유량과 실측 유량과의 오차에 대한 보정을 위해 양수장의 외수위를 고려한 개선식을 적용하여 결과의 신뢰도 향상을 고려하였다. 이후 결과의 상관성 분석을 통해 개선식의 유량 신뢰도를 확인하고, 타 방법과의 경제성 비교를 통해 낮은 투자비용이 들어가는 점을 상기하고자 한다.

### 2.1 대상 지점 현황

대상 지점은 전라북도 완주군 고산면 남봉리에 위치하고 있는 남봉양수장으로, 한국농어촌공사 전주완주임실지사에서 관리하고 있고, 만경강 상류 좌안에서 취수하여 남봉리 일

대 농경지 300,000 m<sup>2</sup>에 관개하고 있다. 남봉양수장은 Fig. 1 과 같이 상류방향 700 m 지점에 어우보가 위치하고 있고, 최상 류에는 대아 및 경천 저수지가 위치하고 있어 평상시에는 일 정 하천수위를 유지하지만, 강우 발생에 따라 수위의 변동이 발생한다. 남봉양수장은 11 HP 규모의 수중축류 펌프 1대로 250 mm 구경의 송수관을 통해 하천수를 취수하고 있고, 흡입 구와 토출구의 고저차인 전양정은 7.6 m 수준의 소규모 양수 시설로서, 실시간 전력사용량 자료를 확인할 수 없고, 월단위 총 사용량만 확인이 가능하기 때문에, 기존의 전력량법 사용 에 어려움이 있는 지점이다.

남봉양수장은 취수량 확인을 위해 펌프 송수관의 토출구 에 전자기 유량계를 설치하여 10분 단위 유량 자료를 확보하 고 있고, 가동시간법 적용을 위해 펌프 가동시간을 1분단위로 실시간 기록하고 있다. 양수장의 외수위인 만경강 상류의 수 위는 남봉양수장 펌프 직하류에 압력식 수위계를 설치하여 수위 변동 자료로 활용하였다. 전자기 유량계는 Fig. 2와 같이 Kometer 사의 KTM-800 제품을 사용하였고, 0.5% 오차범위 내에서 측정이 가능하여 자료의 신뢰도를 확보할 수 있었다.

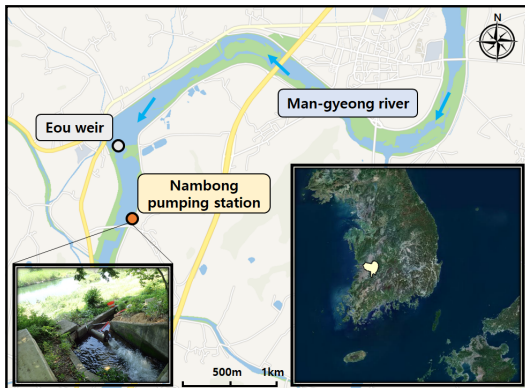


Fig. 1. Target location



(a) Electromagnetic flow meter (b) Pressure-type water level meter

Fig. 2. Measuring instrumentation

압력식 수위계는 In-situ 사의 Level Troll 400 제품을 설치하 여 자료를 확보하였다.

### 2.2 기존의 전력량법

간접 유량 측정방법 중 전력량법은 양수장의 펌프 운영에 따른 전력사용량과 펌프의 제원에 따른 변수를 고려하여 유량 을 산정하는 방법이다. 전력량법은 Eq. (1)과 같이 펌프의 제 원에 따른 변수들을 상수  $k$ 로 표현하여 전력사용량과 유량이 선형적인 관계성을 가지고 있다고 정의하는데, 이 식을 통해 유량을 산정하기 위해서는 전력사용량의 확보가 필수 선결되 어야 한다.

$$Q_P = kP \tag{1}$$

여기서,  $Q_P$ 는 전력량법에 의한 하천수 취수량(m<sup>3</sup>/min),  $k$ 는 기 울기,  $P$ 는 전력사용량(kW)이다. 실시간 전력사용량은 한국 전력공사의 스마트 그리드 사업에 의해 제공되는 자료로서, 고 압은 자체변압기를 사용하는 지점이고, 저압은 한전에서 직 접 전기를 공급받되, 계량기당 499 kWh/month 이하의 전력 을 사용하는 지점을 말하는데, 본 연구의 소규모 양수장은 월 별 전력 사용량이 20 kWh 내외로 청구되고 있어, 저압전력에 해당하고 실시간 전력사용량 자료를 공급받지 못한다. 이와 같이 전력사용량은 대규모 양수장과 같이 고압의 전력 사용자 에 한해 15분 단위 사용량 자료를 공급하고 있고, 대부분의 소 규모 양수장은 전력량계를 통해 자료를 직접 확인하거나, 월 별 고지서를 통해 확인해야 하기 때문에 실시간 사용량 자료 확보에 어려움이 있어, 소규모 양수장에서는 전력량법을 통 해 하천수 취수량을 확인하기에는 한계점이 존재한다.

### 2.3 가동시간법

가동시간법은 양수장의 전력사용량 확인이 어려울 경우, 펌프의 운영 시간을 기록하여 관계식을 통해 유량을 산정하는 방법으로, 하천변에서 농업용수를 목적으로 하천수를 취수 하는 양수장 중 한국전력공사에서 고전압 사용자에게만 제공 하는 실시간 전력사용량 확인이 어려운 소규모 양수장에서 유량을 산정하기에 적합한 간접 유량 측정방법이다. 가동시 간법은 전력량법과 유사하지만, 펌프가 운영되고 있는 시간 동안은 제원에 따라 항상 같은 유량만을 상정하기 때문에, 실 시간 전력사용량에 따라 산정되는 유량이나, 실측 유량과는 상이하게 동일한 값만 생성한다는 한계가 있다. 가동시간법 은 정확도 측면에서 분명한 한계가 존재하지만, 농가에서 취 수하는 하천수량을 저비용으로 취득할 수 있다는 관점에서

는, 일정수준의 신뢰도만 확보될 수 있다면 실효성 있는 유량 산정 접근 방식으로 판단할 수 있을 것이다.

가동시간법에 의한 하천수 취수량을 산정하기 위한 산정식은 농림축산식품부의 양배수장펌프설계(MAFRA, 2018) 매뉴얼에서 제공하는 Eq. (2)의 식을 이용하였다.

$$Q_{O1} = \left( \frac{\eta_P \eta_g \eta_e}{K \gamma H (1+R)} \right) P_O \quad (2)$$

여기서,  $Q_{O1}$ 는 가동시간법에 의한 하천수 취수량( $m^3/min$ ),  $\eta_P$ 는 펌프의 효율,  $\eta_g$ 는 기어 감속기의 전달효율,  $\eta_e$ 는 유체계수의 전달효율,  $K$ 는 단위환산에 따른 일정 상수,  $\gamma$ 는 물의 비중,  $H$ 는 펌프 전양정(m),  $R$ 은 원동기의 여유계수,  $P_O$ 는 펌프의 제원에 따른 전력사용량(kW)이다. Eq. (2)의 가동시간법과 전력량법의 가장 큰 차이점은 전력사용량  $P$ 의 입력값이다. 전력량법에서는  $P$ 의 입력값에 실시간 전력사용량을 시계열로 입력하여 시계열 하천수 취수량을 산정하게 되고, 가동시간법에서는 양수장 펌프 전동기의 마력에 따른 전력사용량 고정값을 입력하게 된다.  $\eta_P$ 는 250 mm 관에 해당하는 0.69를 입력하였고,  $\eta_g$ 는 하천수 보고 유량과 실제 사용한 전력량으로 산정한 1.22,  $\eta_e$ 는 고정값 0.96을 입력하였다.  $K$ 는 kW로 환산할 경우 고정값 0.164를 입력하게 되어 있고,  $\gamma$  역시 1의 고정값으로 설정하였다.  $R$ 은 10~20%의 여유율을 설정하게 되어 있는데, 중간값인 15%를 설정하였다.

## 2.4 하천수위를 고려한 가동시간법

가동시간법은 하천수를 취수하는 흡입구와 방류하는 토출구의 높이차인 양정고가 일정하게 입력하게 되어, 실제 하천의 상황에 따른 취수량 변동을 표현하지 못할 수 있다. 하천의 수위가 높아지게 되면, 유압이 높아져 동일한 펌프 출력으로 더 많은 유량을 취수하게 되고, 반대로 하천의 수위가 낮아지면, 유압이 낮아져 같은 상황에서 낮은 유량을 취수하게 될 수 있다. 그리고 하천의 수위에 따라 이미 흡입 수위가 달라지기 때문에, 전양정의 높이도 변화하게 된다. 이러한 하천의 변동 상황에 따른 양수장의 변수를 고려한 Baek et al. (2019)의 연구방법을 참고하여 가동시간법에 하천의 수위를 고려할 수 있는 식을 Eq. (3)과 같이 표현하였다.

$$Q_{O2} = \left( \frac{\eta_P \eta_g \eta_e}{K \gamma (H - H_s) (1+R)} \right) P_O \quad (3)$$

여기서,  $Q_{O2}$ 는 하천수위를 고려한 가동시간법에 의한 하천수 취수량( $m^3/min$ ),  $H_s$ 는 하천의 수위(m)이다.

## 2.5 타 방법과의 경제성 비교

본 연구에서는 소규모 하천수 취수 지점을 대상으로 비교적 낮은 투자비용이 소요되는 간접 유량 계측방법으로도 직접 유량 계측방법으로 계측한 유량과 근사한 결과를 얻을 수 있다는 점을 강조하려고 한다. 일반적인 투자비용 대비 효과를 계측방법별로 비교하였다. 다만, 이번 연구의 비교 대상들의 경우, 계측기기 초기 구매 비용 요인만 상이할 뿐이라는 점에서 각각의 계측방법별로 상당한 격차가 있을 것으로 고려한다.

비교대상으로는 하천수를 취수량을 계측할 수 있는 정형화된 기존의 방법들을 고려하였다. 직접 유량 계측방법으로는 수로의 유속과 면적을 통해 유량을 산정하는 수위-유량관계 방법과, 유속 계측설비를 설치하여 유량을 산정하는 전자파 표면 유속계, 초음파 유속계, 그리고 관의 말단부에 유량계를 설치하여 직접적인 값을 계측하는 방법을 선정하였다. 간접 유량 계측방법으로는 앞서 소개한 가동시간법을 고려하여, 총 5개의 계측방법별 유량자로 획득 대비 투자 비용을 확인하였다.

비용요인은 초기 설치비용과 유지관리비용으로 구분하여 고려할 수 있는데, 실제 시험하천 운영시의 초기 설치비용에 비해 유지관리비용이 미미하다고 판단하여 초기 설치시의 비용만을 고려하였다.

초기 설치비용은 자재비, 경비, 노무비 등으로 구분될 수 있는데 본 연구에서는 자재비만을 고려하였고 경비와 노무비는 모든 비교 대상들이 비슷한 인력과 출장 횟수 등이 투입될 것으로 판단하여 생략하였다. 결과적으로 비교대상별 초기 설치비용 차이는 자재비에서 구분되어지고 비교대상별 유속계와 수위계 구매 비용에 따라 결과가 상이할 것으로 판단한다.

대상 지점 인근의 만경강 상류 시험하천 유역에서 현장 구축 시 투입된 금액을 기준으로 계측방법별 비용을 설정하였는데 수위-유량관계식의 경우에는 회전식 유속계(프라이스AA)와 압력식 수위계에 대해 고려하였고 전자파 유속계는 유속 및 수위의 측정으로 유량을 산정하는 RQ-30 기기를 고려하였다. 초음파 유속계는 유속 및 수위 측정으로 유량을 산정하는 기기인 V-ADCP (Vertical-Acoustic Doppler Current Profiler), 전자기 유량계는 관 유량 측정기기인 KTM-800, 가동시간법은 압력식 수위계 설치를 고려하여 구매 비용을 산정하였다.

## 3. 결과 분석

### 3.1 가동시간법에 의한 유량 산정

대상 지점의 양수관 토출구에 전자기 유량계를 설치하여 2019년 7월 1일부터 9월 11일까지 관개기간동안의 10분 단위 유량을 계측하였다. 펌프 가동시 약간의 변동성을 포함하

고 있으나, 대체적으로  $0.085 \text{ m}^3/\text{s}$  규모의 하천수를 취수하는 것으로 확인되었다. 전자기 유량계에서 계측된 유량을 기준 유량으로 설정하여 가동시간법에 의해 산정된 유량과의 분석을 수행하였다.

가동시간법은 펌프를 운영하는 시간동안 소모되는 전력량과 양정하는 유량간의 선형적인 상관관계를 이용한 방정식으로, 본 절에서는 앞서 소개한 가동시간법과 하천 수위를 고려한 가동시간법을 통해 유량을 산정하였고, 기준유량으로 선정한 전자기 유량계로 계측한 자료와 비교하여 값의 정확도와 경향성을 확인하였다. 전자기 유량계에 의해 계측된 기준유량은  $Q_m$ , 가동시간법에 의해 산정된 유량은  $Q_{O1}$ , 하천수위를 고려하여 가동시간법으로 산정한 유량은  $Q_{O2}$ , 하천수위는  $H_s$ 로 Fig. 3에 도식화하였다. 가지적인 구분 효과를 위해 그래프의 y축 유량구간  $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서  $0.075 \text{ m}^3/\text{s}$ 까지를 스케일 조정하였다. 세 가지 유량산정 방법 모두  $0.080 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서  $0.090 \text{ m}^3/\text{s}$  정도의 범위 내에서 유량이 산정되었고, 각 방법별 최대  $0.005 \text{ m}^3/\text{s}$  이하의 오차범위를 가지는 것으로 확인하였다.

기준유량은 10분 단위 실측 자료이므로 그래프 상 값의 진동이 발생하고 펌프 가동시간 동안은 일정한 값을 보이고 있으나 두 가지의 경우에서 유량의 변화가 확인되었다. 첫 번째는 가동시간 동안의 평균값에 비해 최초 가동시의 유량이 높은 것을 확인할 수 있었는데, 이는 물리적인 요인으로 펌프 운영이 정지된 상황에서 가동하게 되면 계측하는 유량의 값이 약간 상승할 수 있고 강우에 의한 협잡물 제거 등으로 효율이 변화할 수 있다. 두 번째는 하천의 수위변화에 따라 유량이 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 7월 초순에는 하천수위가 1 m 이상으로 고수위를 유지하는 것에 비해 7월 중순에는 수위가 0.7 m에서 0.8 m 수준으로 낮아졌고, 유량 역시  $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$  정도 감소하는 것으로 확인되었다. 그리고, 수위가 급변하는 7월 22일과 8월 21일의 경우, 기준유량이 급격하게 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

가동시간법에 의해 산정된 유량은 양수장이 운영되는 기간에는 항상 일정한 값으로 산정되었다. 하천수위의 변동을 고려하여 유량을 산정한 경우에는 하천의 수위에 따라 유량의

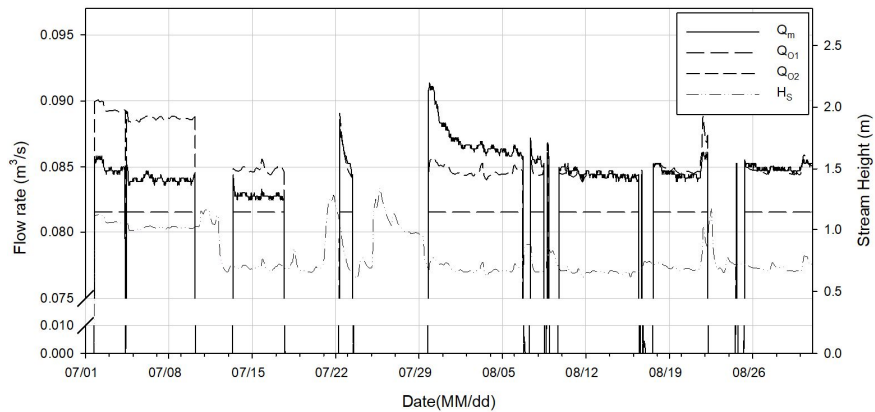


Fig. 3. Time series flow rate data by calculation method

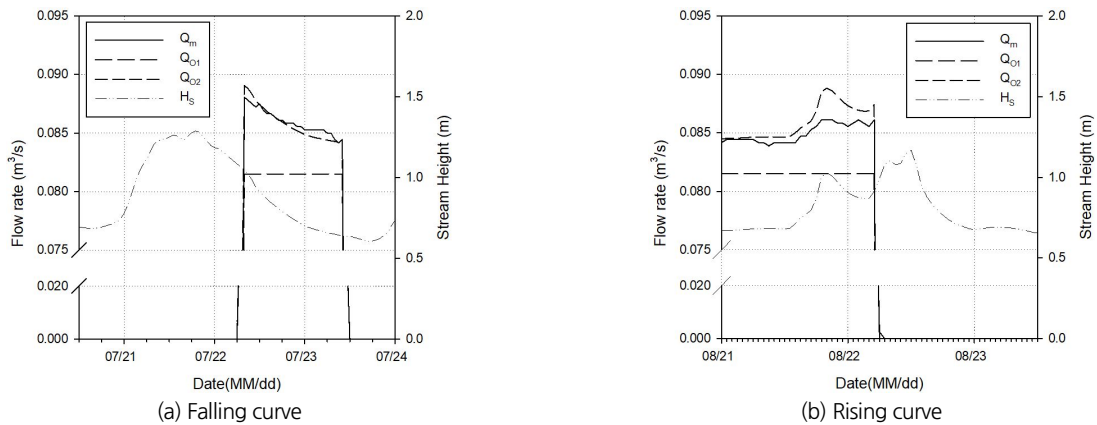


Fig. 4. Flow rate data by section

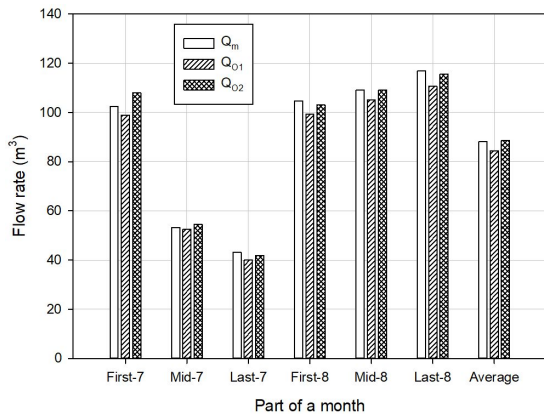


Fig. 5. Flow rate data by section

변화를 확인할 수 있었는데, Fig. 4와 같이 7월 초순의 고수위 구간에서는 0.089 m<sup>3</sup>/s 정도의 유량이 확인되었고, 나머지 평수위 구간에서는 0.085 m<sup>3</sup>/s 정도의 유량이 산정되었다. 특히 7월 22일의 수위 하강시와 8월 21일의 수위 상승시 유량이 급격하게 변하는 것을 확인할 수 있었고, 이 때의 기준유량 역시 하천수위를 고려한 가동시간법과 같은 경향성을 나타내었다. 이로 미루어봤을 때, 실제 농업용수로의 유량 자료로 설정한 기준유량과 하천수위를 고려한 가동시간법의 상관성이 높다고 추정할 수 있다.

기준유량을 100%로 설정하고 전체기간에 대해 총유량 분석을 수행한 결과, 가동시간법은 95.68%, 하천수위를 고려한 가동시간법은 99.51%가 산정되어 두 계측방법 모두 높은 신뢰도를 확인할 수 있었고, 특히, 하천수위를 고려하였을 때, 3.83%의 개선효과를 보이는 것으로 확인할 수 있었다. 7월, 8월을 10일 단위의 초순, 중순, 말로 구분하여 Fig. 5와 같이 총량을 분석하였다. 7월 초순과 중순의 경우는 하천의 고수위에 영향을 받아 유량의 차이가 발생함을 제외하고는 전체적으로 하천의 수위를 고려한 가동시간법이 기준유량에 근사한 결과를 얻는 것으로 확인할 수 있었다.

### 3.2 상관성 분석

기준유량 대비 가동시간법과 하천수위를 고려한 가동시간법으로 산정한 유량의 상관성을 비교 분석하였다. 산정된 자료를 바탕으로 전체구간과 수위가 급변하는 7월 22일 하강곡선, 8월 21일 상승곡선으로 구분하여 분석하였다. 상관성 분석 방법으로는 기준 대비 백분율 차이 분석과 평균 제공근 오차를 이용한 기준 대비 변동성 분석을 적용하였다. 백분율 차이와 평균 제공근 오차 분석을 통해 가동시간법의 하천수위 고려 유무에 따른 유량 자료의 정확도와 신뢰성 차이를 확인하였다. 이상의 분석방법으로 가동시간법이 하천의 취수량 자료 분

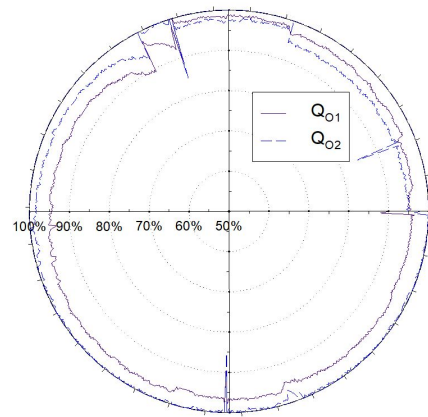


Fig. 6. Percent difference by calculation method

석시 직접 유량 계측방법으로 얻을 수 있는 자료에 상당하는 양질의 자료를 확보할 수 있는지에 대한 연구를 수행하였다.

#### 3.2.1 백분율 차이(Percentage difference)

가동시간법의 하천수위 고려 유무에 따라 산정되는 각각의 유량이 기준유량과의 오차범위를 확인하기 위해 백분율 차이 분석 방법을 수행하였다. 백분율 차이 분석은 서로 다른 변수의 기준 변수 대비 오차를 기준 변수의 평균에 나누어 백분율로 나타내는 분석 방법이다. 본 연구의 기준 변수는 기준 유량이고 가동시간법에 의해 산정된 각각의 변수를 분석하여 Fig. 6과 같이 표현하였다. 원그래프 외곽선이 기준유량을 의미하고, 기준유량 대비 백분율 차이만큼을 그래프로 확인할 수 있다. 그래프의 12시 방향에서부터 시계방향으로 시계열 순서임을 고려할 때, 하천의 수위가 고수위를 유지한 1분위를 제외하고는 하천수위를 고려한 가동시간법이 기준유량에 근사한 결과를 산정한 것으로 확인되었다.

전체구간을 대상으로 가동시간법에 의해 산정된 유량과 기준유량과의 백분율 차이는 95.94%로 산정되었고, 하천수위를 고려한 가동시간법에 의해 산정된 유량과 기준유량과의 백분율 차이는 97.80%로 확인되었다. 하천수위를 고려하였을 때, 1.86% 정도 정확도가 개선되어 기준유량과의 상관성이 높아지는 것으로 확인되었다.

수위 급변구간 중 하강곡선에서는 가동시간법에 의해 산정된 유량과 기준유량과의 백분율 차이는 94.85%로 산정되었고, 하천수위를 고려한 가동시간법에 의해 산정된 유량과 기준유량과의 백분율 차이는 99.16%로 확인되어 하천수위를 고려하였을 때, 4.31% 개선되는 것으로 확인되었다. 수위 급변구간 중 상승곡선에서는 가동시간법에 의해 산정된 유량과 기준유량과의 백분율 차이는 95.32%로 산정되었고, 하천수위를 고려한 가동시간법에 의해 산정된 유량과 기준유량과

의 백분율 차이는 98.28%로 확인되어 하천수위를 고려하였을 때, 2.96% 개선되는 것으로 확인되었다. 전반적으로 하천수위를 고려하였을 때, 실측 유량에 가까운 유량 산정 결과를 확보하였는데, 특히 수위의 변화가 급한 구간에서 정확도가 더 높아지는 것을 확인하였다.

3.2.2 평균 제공근 오차(RMSE)

평균 제공근 오차를 통해 기준유량과 산정된 유량과의 상호간 편차를 확인하고, 기준유량으로부터의 이격정도를 확인하여 변동성을 확인하였다. 전체구간에서는 기준유량의 평균인 0.054 m<sup>3</sup>/s에 비해 가동시간법은 0.0031 m<sup>3</sup>/s의 평균 제공근 오차가 산정되어 기준유량의 평균 대비 5.61%의 변동성을 가지는 것으로 확인되었다. 하천수위를 고려하였을 때는 0.0020 m<sup>3</sup>/s의 평균 제공근 오차가 산정되어 기준유량의 평균 대비 3.70% 변동성을 가지는 것으로 확인되었다. 하천수위

를 고려하였을 때, 정확도가 개선되어 기준유량과의 상관성이 높아지는 것으로 확인되었다.

수위 급변구간 중 하강곡선에서는 기준유량의 평균에 비해 가동시간법은 0.0046 m<sup>3</sup>/s의 평균 제공근 오차가 산정되어 기준유량의 평균 대비 5.39%의 변동성을 가지는 것으로 확인되었고, 하천수위를 고려하였을 때는 0.0009 m<sup>3</sup>/s의 평균 제공근 오차가 산정되어 기준유량의 평균 대비 1.04% 변동성을 가지는 것으로 확인되었다. 수위 급변구간 중 상승곡선에서는 기준유량의 평균에 비해 가동시간법은 0.0041 m<sup>3</sup>/s의 평균 제공근 오차가 산정되어 기준유량의 평균 대비 4.84%의 변동성을 가지는 것으로 확인되었고, 하천수위를 고려하였을 때는 0.0018 m<sup>3</sup>/s의 평균 제공근 오차가 산정되어 기준유량의 평균 대비 2.07% 변동성을 가지는 것으로 확인되었다. 전반적으로 하천수위를 고려하였을 때, 기준유량에 근사한 결과를 확보하였는데, 특히 수위의 변화가 급한 구간에서 정확도가 더 높아지는 것을 확인하였다. 이상의 상관성 분석 결과는 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Correlation analysis by section

Classification	Application method			
	Percent difference (%)	RMSE		
		Result (m <sup>3</sup> /s)	Variability (%)	
Overall season	Q <sub>m</sub> -Q <sub>O1</sub>	95.94	0.0031	5.61
	Q <sub>m</sub> -Q <sub>O2</sub>	97.80	0.0020	3.70
Falling curve	Q <sub>m</sub> -Q <sub>O1</sub>	94.85	0.0046	5.39
	Q <sub>m</sub> -Q <sub>O2</sub>	99.16	0.0009	1.04
Rising curve	Q <sub>m</sub> -Q <sub>O1</sub>	95.32	0.0041	4.84
	Q <sub>m</sub> -Q <sub>O2</sub>	98.28	0.0018	2.07

3.3 타 방법과의 경제성 비교 결과

본 장에서의 계측방법별 경제성 비교는 동일한 유량을 산정할 수 있는 여러 계측방법 중 가장 적은 비용이 소요되는 유량 계측방법을 선정하는 것이다. 앞서 설정한 비용요인을 요약하면, 상대적으로 미미한 비용인 유지관리비용 등을 제외하고 총 비용 중 대부분을 차지하는 초기 계측기기 구매비용만으로 비용요인을 고려하였고, 모두 같은 유량 자료를 취득할 수 있다는 점에서 계측방법별 대비 구매비용 비교를 수행하였다. 초기 계측기기 구매 비용으로는 남봉양수장이 포함된 만경강 상류 시험하천의 구축 비용을 적용하여 Table 2와 같은 금액으로 산정하였다. 수위-유량 관계방법은 유량 측정시 흔히 사용되는 SonTek 사의 Flow Tracker 유속계와 In-situ 사의 Level Troll 400 압력식 수위계 비용으로 산정하였다. 전자파 유속계는 Sommer 사의 RQ-30, 초음파 유속계는 Teledyne 사의 V-ADCP, 전자기 유량계는 Kometer 사의 KTM-800, 가동시간법은 In-situ 사의 Level Troll 400 압력식 수위계의 비용으로 산정하여 비교하였다. 백만 원대의 가동시간법에 비

Table 2. Initial costs by case

Classification	Cost (KRW)
H-Q rating	8,140,000
Microwave water surface current meter	18,000,000
Acoustic doppler current profiler	24,000,000
Electromagnetic flow meter	3,080,000
Operation time method	1,640,000

Table 3. Relative comparison of initial costs by case

Classification	H-Q rating	Microwave water surface current meter	Acoustic doppler current profiler	Electromagnetic flow meter	Operation time method
H-Q rating	-	221 %	295 %	38 %	20 %
Microwave water surface current meter	45 %	-	133 %	17 %	9 %
Acoustic doppler current profiler	34 %	75 %	-	13 %	7 %
Electromagnetic flow meter	264 %	584 %	779 %	-	53 %
Operation time method	496 %	1,098 %	1,463 %	188 %	-

해 직접 계측방법은 높은 비용이 투입되는 것으로 조사되었다. 계측방법별 경제성 비교는 Table 3과 같이 가동시간법이 타 방법 대비 7~53%의 저렴한 비용으로 확인되었다.

초기 설치비용에 한정하여 산정하였고, 간접 유량 계측방법인 가동시간법에 비하여 직접 유량 계측방법들은 투자비용이 높은 것으로 확인되었다. 투자비용이 적게는 2배에서 많게는 10배 이상 차이가 나는 것으로 산정되었고, 직접 유량 계측방법을 적용하게 된다면, 한정된 예산으로 수요가 필요한 모든 지역에 유량 계측시설을 보급하기 어려울 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 하천변에 위치한 소규모 양수장에서 취수하는 유량을 산정할 수 있는 간접 유량 계측방법인 가동시간법의 적절성에 대한 연구를 수행하였다. 가동시간법은 펌프의 운영시간 동안의 전력사용량과 펌프의 제원을 고려하여 유량을 산정하는 방법으로서, 전력량법과 접근방식이 같으나, 소규모 양수장에서 실시간 전력사용량 자료를 확보할 수 없을 경우, 대안의 방법으로 적용할 수 있는 방법이다. 일반적으로 직접 유량 계측방법으로의 적용이 신뢰할 수 있는 자료라는 인식이 높긴 하나, 수백 혹은 수천만 원에 이르는 고가의 장비들을 수많은 하천수 취수 시설물에 적용할 수 없는 현실적인 어려움이 있다. 따라서, 일정수준의 자료 신뢰도만 확보된다면, 저비용으로 유량 계측 시스템 구축이 가능한 가동시간법과 같은 간접 유량 계측방법이 효율적일 것으로 판단된다.

가동시간법을 통해 산정된 유량은 펌프의 운영 유무에 따라 0값과 펌프의 마력에 비례하는 일정한 값, 단 두 개의 값만 생성할 수 있어, 실측 유량의 변동성을 표현하지 못한다는 단점이 있다. 그러나, 양수시설의 흡입구가 위치한 하천의 수위를 반영한 가동시간법을 적용한다면, 보다 실제 현상을 반영한 결과를 얻을 수 있다. 만경강 상류에 위치한 남봉양수장을 대상으로 가동시간법을 적용한 결과, 대상기간 동안 자료의 백분율 차이는 95.94%, 실측 유량 대비 변동성 5.61%로 산정되어 높은 정확도를 가지는 것으로 확인이 되었다. 하천수위를 고려하여 가동시간법을 적용한 경우에는 백분율 차이 97.80%, 실측 유량 대비 변동성은 3.70%로 일반 가동시간법에 비해 약 2% 정도 씩 개선된 결과를 얻을 수 있었다. 특히, 하천수위가 급변하는 하강곡선과 상승곡선 구간에서 더 높은 상관성을 확인할 수 있었다. 소규모 양수장에서의 하천수 취수량이 전체 하천수 변동량에 비해 지배적이지 않을 것임을 감안하고, 하천수위를 고려한 가동시간법을 적용한다면, 하천 수량의 정량적인 관리를 위해 충분히 유효한 자료를 확보할 수 있을 것으로 판단한다.

초기 구매 비용을 통해 소요되는 예산을 비교한 결과, 직접 유량 계측방법들은 적게는 3백만 원에서 많게는 2천4백만 원 규모의 초기 투자 비용이 필요하다. 또한, 이외의 예산이 추가로 소요되나 정량화하기 어려워 비교대상에 넣지 않았다. 수위-유량관계곡선식의 경우에는 안정된 곡선식을 얻기까지 수차례 현장 측정을 통해 소요되는 추가 예산이 있고, 이외의 직접 유량 계측방법들도 유량 자료가 안정화되기까지 수차례의 현장 보정작업이 필요하기 때문에 많은 추가 비용이 필요하다. 그리고 유지관리를 위한 전기비용과 통신비용 등을 고려할 때, 국내 하천변에 분포한 수많은 양수장 시설에 계측 시설을 설치하여 양질의 자료를 얻는다는 것은 매우 어려운 일이라고 판단된다. 이에 반해, 가동시간법은 예산이 충분하지 않을 경우에도 하천수위를 측정하기 위한 수위계 구매 없이 양수장의 가동시간 만으로도 일정 수준의 신뢰도 있는 유량 자료를 얻을 수 있고, 하천 수위 측정시 보다 정확한 결과를 얻을 수 있기 때문에 하천수의 통합적인 관리 시스템 마련을 위해서 현실적인 대안이라고 고려할 수 있다. 추후 시험유역을 확장하여 소규모 양수장에 가동시간법을 적용하는 연구를 확대하면 보다 신뢰도 높은 하천수량 관리에 도움이 될 것으로 기대한다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 19AWMP-C140010-02).

#### References

- Baek, J.S., Kim, C.Y., Cha, J.H., and Song, J.H. (2019). "A study on the applicability of power usage method for the analysis of river water intake." *Journal of Korea Water Resources Association*, Korea Water Resources Association, Vol. 52, No. 12, pp. 975-984.
- Kim, D.H. (2014). *A study on determining river water usage through the analysing of real-time power data*. Mater's thesis, University of Incheon, pp. 15-20.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (2018). *Pump design for Pumping station*. KDS 67-30-20, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Korea, pp. 20-23.
- 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*, Korea Water Resources Association, Vol. 52, No. 1, pp. 83-96.