

낙동강하굿둑 통합관리를 위한 3차원 고정식 유량 측정 자료를 이용한 하굿둑 개도 방류량 산정 기법 개발

강두기·서용재*·임경모**·박병우***†

(주)현진E&C

*부산대학교 토목공학과

**부산광역시 도시계획국

***부산대학교 토목공학과

A Study on the Development of a method for estimating the amount of gate opening discharge in estuary using the three-dimensional fixed measurement of flow data for Integrated Nakdong-river estuary management

Kang, Dukee·Seo, Yongjae*·Lim, Kyoungmo**·Park, Byeong Woo***†

Hyunjin E&C

*Department of Civil Engineering, Pusan National University

**Urban Planning Bureau, Busan Metropolitan City

***Department of Civil Engineering, Pusan National University

(Received : 27 January 2022, Revised : 9 February 2022, Accepted : 9 February 2022)

요약

최근 낙동강 하구의 통합물관리를 위한 다양한 노력과 연구가 진행되고 있다. 그러한 연구 중 하나로 3차원 고정식 초음파 유속계를 이용한 수문별 개도 방류량의 측정이 수행되고 있으나, 개도별 방류량 산정식 도출을 위한 실측 성과를 활용한 수리학적 및 통계적 처리 절차와 기법에 대한 연구는 기초적인 수준에 머물고 있다. 이에 본 연구에서는 3차원 고정식 초음파 유속계 측정자료를 이용한 자료 처리 기법을 개발하여 측정 데이터 기반의 유량계수 산정하고 이를 이용하여 방류량 산정식 개발 적용성을 검토하였다.

핵심용어 : 하구통합관리, 하굿둑, 개도 방류량, ADCP

Abstract

Recently, various efforts and research are being conducted to integrated management of the estuary in Nakdong River. As one of such studies, measurement of opening discharge amount for each floodgate using a three-dimensional fixed ultrasonic flow meter is being conducted, but studies on hydraulic and statistical processing procedures and techniques using actual measurement results for calculating discharge amount by opening remain at the basic level. Therefore, in this study, a data processing technique using three-dimensional fixed ultrasonic flow meter measurement data was developed, the flow coefficient was calculated based on the measured data, and the applicability of the discharge amount calculation formula development was reviewed.

Key words : Integrated Estuary Management, Estuary Gate, Estuary Gate Discharge, ADCP

†To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil Engineering, Pusan National University Doctor Course
E-mail: pbwmy@kwater.or.kr

- **Kang, Dukee** Hyunjin E&C / Ph.D, CEO, (dookee@nwater.co.kr)
- **Seo, Yongjae** Department of Civil Engineering, Pusan National University / Ph.D Student (yjseo@nwater.co.kr)
- **Lim, Kyoungmo** Urban Planning Bureau, Busan Metropolitan City / Director General (caesarim@korea.kr)
- **Park, Byeong Woo** Department of Civil Engineering, Pusan National University / Ph.D Student (pbwmy@kwater.or.kr)

1. 서 론

낙동강하굿둑은 낙동강의 최하류단 종점부에 위치한 수문 구조물로 강원도 태백시에서 발원하여 남한 동부권역을 종단하는 최장 하천인 낙동강의 수체를 바다로 방류하기 위한 구조물이다.

낙동강하굿둑의 수문 구조물은 좌안 배수문과 및 교통 개선 등의 목적으로 1987년 11월 좌안배수문이 준공되고, 하류부의 홍수 소통 개선을 위해 2013년 10월 우안 배수문이 준공되어 현재에 이르기까지 운영되고 있다.

하굿둑은 하천의 수체가 바다와 혼합되는 위치로, 상류 유량, 외조위, 저류(Underflow)와 월류(Overflow) 방식 등 수문의 방류 형식, 주수문과 조절수문의 운영, 수문의 개도 높이에 따른 복합적인 수리학적 영향으로 인해 일반적인 수위-유량 관계에 의한 유량 추정이 불가능하다.

이로 인해 기존 하굿둑 방류량 산정식은 정밀한 측정 자료의 한계로 수차례에 걸친 개선과 보완이 이루어져 왔으나, 정량적 측정자료를 이용한 방류량 산정식의 개선 필요성이 지속적으로 제기되어 왔으며, 3차원 고정식 초음파 유속계 측정은 측정 구역의 수심별 유속, 유향을 측정 후 유량으로 환산하는 측정방식이다. 그러나, 상류 유량 및 하류 조위, 하굿둑 개도 높이 등의 영향이 복합적으로 작용하여 와류와 난류 발생 등으로 인해 이상치 및 변동이 매우 심하여 자료 처리가 매우 복잡하다.

본 연구에서는 하굿둑의 배수문에 3차원 고정식 초음파 유속계에서 측정된 자료를 분석하여 상하류 수위차, 조위, 수문 개도높이 등의 영향을 복합적으로 받는 감소하천 배수 구조물에서의 유량 산정을 위한 3차원 고정식 초음파 유속계 측정자료 처리 기법을 개발하였다.

2. 관련 선행연구

『최선호, 윤종성, 허동수(2016.12 K-water) 4대강 사업 후 낙동강 수계 보-하굿둑 영향분석 및 운영개선방안 연구 용역 보고서(1, 2차년도)』에서는 표면 부자와 주요 지점별 초음파 유속계를 통해 유량을 계측하였으나, 하구에서 구포 구간은 조위에 지배적으로 받는 감소하천의 영향으로 물수지를 통한 방류량 산정에는 하굿둑 수문에서 조차에 따른 실시간 방류 측정해야 할 필요성이 제기되었다.

기존에 하굿둑 교량 상단과 수문 전·후를 바지선을 이용하여 초음파 유속과 기계식 유속계를 측정 실시한 바가 있으나, 수문방류시 바지선 안전과 교량 상단 초음파 유속계가 turbulence로 인해 오차발생이 커 지속하지 못한 점이 있다

낙동강하굿둑의 준공 이후 고정식 유속 측정 장비를 활용한 수문 유량 측정의 수행은 2020년 연구가 최초이며, 2021년 2차년도까지 데이터를 수집 전처리, 데이터 마이닝을 통해 유의미한 자료를 확보 중에 있다.

3. 연구 목적 및 방법

3.1 연구 목적

본 연구에서는 상류 유량, 하류 조위의 영향을 받는 하천 하구에 3차원 고정식 초음파 유속계를 설치하여 취득한 측정자료를 수리학적 및 통계적으로 처리하는 기법을 개발하고 이를 낙동강하굿둑에서의 수문 방류량 산정에 적용하여 그 적용성을 평가하고자 하였다.

3.2 연구 방법

본 연구에서는 낙동강하굿둑을 대상으로 3차원 고정식 초음파 유속계를 이용하여 연속 유속 및 유향 측정자료를 획득하고, 취득한 원시 자료(Raw data)를 수리학 및 통계학적 기법을 활용하여 방류량 산정에 적합하게 처리하는 절차를 정의하였다.

연구 절차를 통해 처리된 유속 및 유향 측정 성과를 이용하여 개도별 방류량 산정식의 개발 및 기존의 낙동강하굿둑 수문 운영에 사용되고 있는 방류량 산정식과의 비교 및 개선 정도를 정량적으로 평가하여 제시하고자 한다.

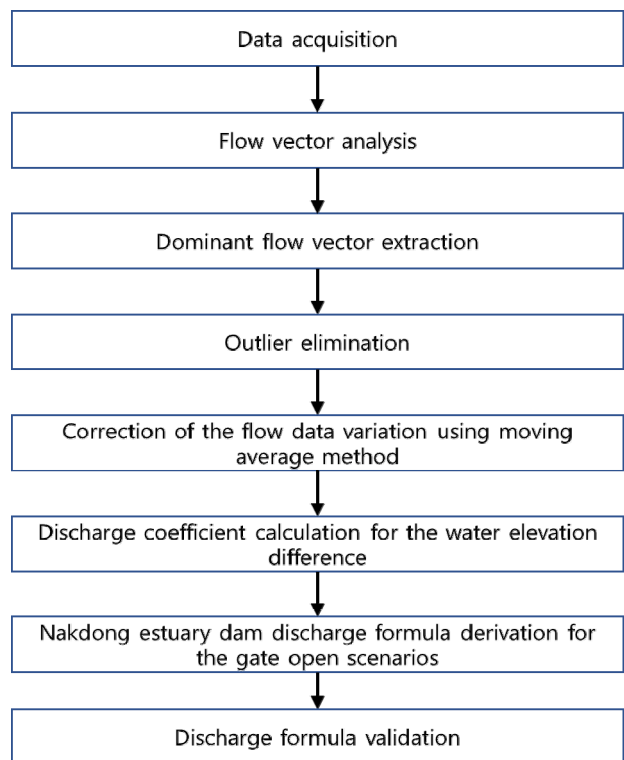


Fig. 1. Flowchart of the research.

4. 본 론

4.1 고정식 측정 장비를 이용한 하굿둑 방류량 측정

기존의 하굿둑에서 진행된 낙동강하굿둑 실증실험(1~2차, '19년)에서 기존 수문 운영에 활용되고 있는 수문 개도

-방류량 공식이 특정 구간에서는 방류량이 과소 산정된다 는 결과에 따라 방류량 산정 정밀화의 필요성이 대두되었고, 이를 해결하기 위해 낙동강하굿둑 수문 개도-방류량 정확도 개선방안 연구 용역(20년~21년)이 시행되어 수문 (주, 조절 수문) 및 형식(월류, 저류)별 초음파 유속계를 활용한 연속 측정을 수행하였다.

4.1.1 측정 대상 구간

본 연구에서 낙동강하굿둑 수문개도-방류량 정확도 개선 방안 연구용역에서 측정된 성과중 낙동강하굿둑 좌안 배수문 에 위치한 #3, #5 #6 주수문의 측정 성과를 활용하여 분석하 였으며 측정 대상 구간의 위치는 다음 그림(Fig. 2)과 같다.

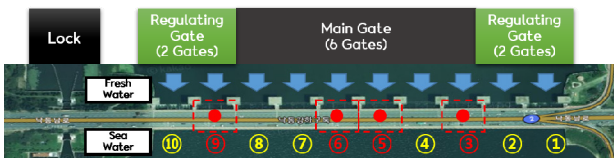


Fig. 2. The drainage gate of Nakdong river estuary & ADCP installment location

* 대상위치 선정배경 : 현재 수행중인 하굿둑 기수생태복원 수문개방(#9) 중복을 피해, 수문선정(수문제원 L=47.5m, H=9.2m, radial gate)

4.1.2 사용 측정 장비 및 측정 경계조건

측정에 활용된 초음파 유속계 장비는 Teledyne RDI사의 Sentinel V20으로 제원 및 측정의 경계조건은 다음 그림 (Fig. 3)과 표(Table 1, 2)와 같으며, 대규모 방류 또는 수 문 폐쇄시 발생하는 고유속에 견딜 수 있으며, 부유물에 의 한 파손 발생이 안 되는 구조를 원칙으로 하고, 해수에



Fig. 3. Acoustic Doppler Current Profiler (TRDI, SENTINEL V20).

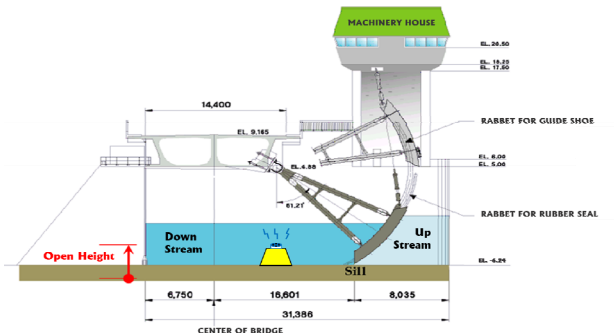


Fig. 4. Flow rate measuring equipment installation sectional view.

Table 1. ADCP Flowmeter specifications

Technical Specifications		
Depth Cell Size	0.25m ~ 6.0m	
Range	Wide 18.0m/Narrow 22.6m ~ Wide 26.9m/Narrow 32.0m	
Velocity Accuracy	0.3% of the water velocity relative to the ADCP ± 0.3cm/s	
Velocity Resolution	0.1cm/s	
Velocity Range	± 5m/s (default); ± 20m/s(max)	
Standard Sensors	Temperature	-5°~ 45°
	Compass	Accuracy 2° RMS, Resolution 0.1°, Max. Dip Angle 85°
	Tilt	Pitch Range ±90°, Roll Range ±180°, Accuracy 2° RMS
	Pressure Sensor	Range 300m, Resolution 0.1°

Table 2. Flowmeter measurement boundary conditions

Time Interval	10 min
Frequency	1,000 kHz
Variables	Temperature(°C) Pressure Direction(°) Depth(m) Velocity(m/s)
Boundary Conditions	- Number of pings : 30 - Ping interval : 10 sec - Magnetic deviation : -7.79° - Sensor height : 0.52m - Cell size : 0.25m - Blank distance 0.01m
Operation Period	- Data Memory : 3,901 days - Battery : 118.4 days
Post-Process	Salinity (PPT)

강한 재질로 구성, 고정 측정 후 다른 수문으로 이동 및 설 치가 용이한 프레임을 제작하여 하류 수문 바닥보호공 중 심에 설치하였다.(Fig. 4)

4.2 측정자료 수집 및 분석

3차원 고정식 초음파 유속계를 통해 측정된 자료를 이용 하여 조위의 영향을 받는 수문에서의 방류량을 산정하기 위하여 수리학적 및 통계적으로 처리하는 절차는 연속 측 정 유속 및 유량 자료 취득, 유량 벡터의 분석을 통한 지배 유량 추출, 이상치 제거, 자료 변동치 조정 과정을 거쳐 측 정자료 기반의 유량 계수를 산정하고 이를 이용하여 방류 량 산정식을 개발하는 과정을 포함한 절차로 구성된 다.(Fig. 1)

우선, 본 연구에서는 낙동강하굿둑 좌안 배수문 중 측정 대상 수문 하상에 3차원 고정식 초음파 유속계를 설치하여 개도 운영에 따른 연속 유속 및 유량 자료를 취득하였다

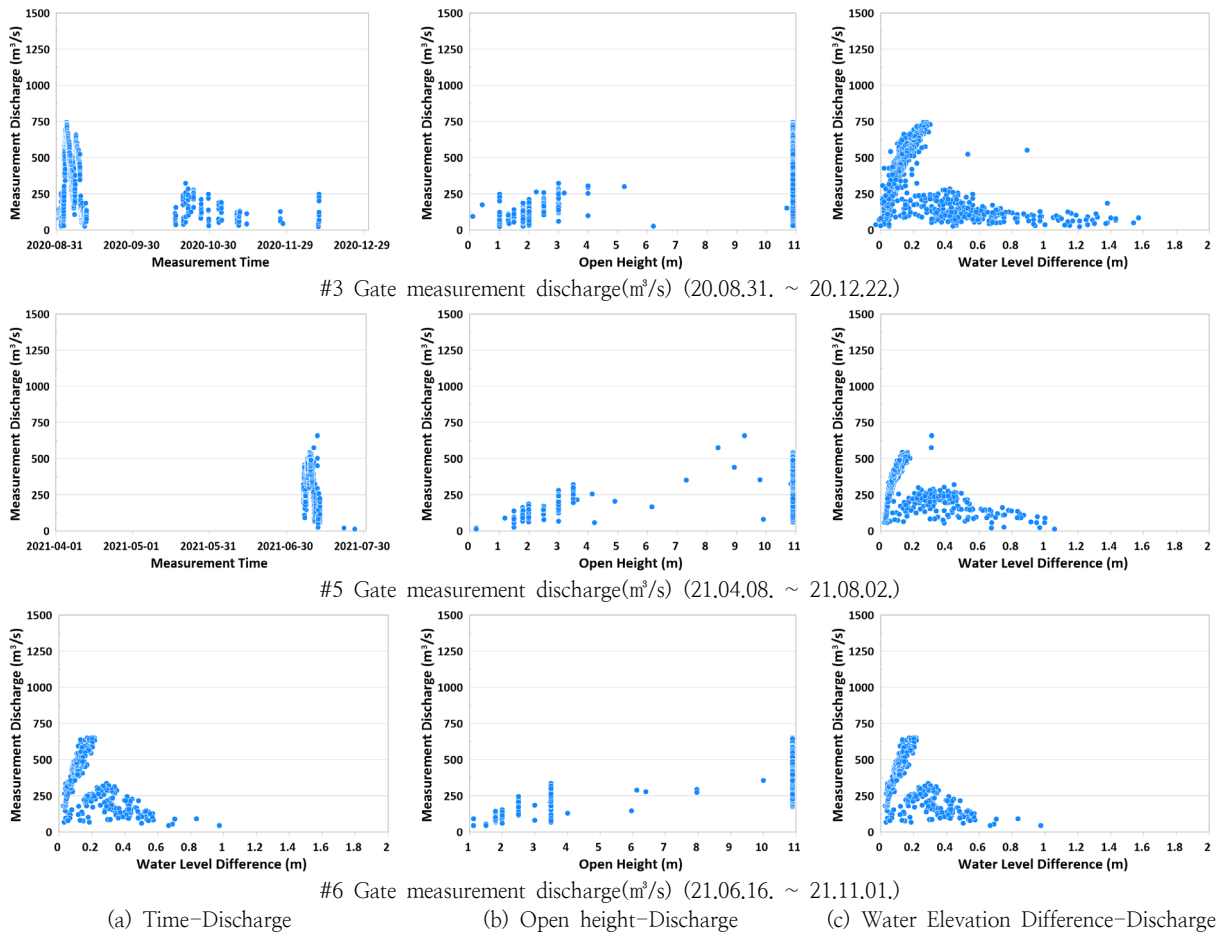


Fig. 5. Analysis of the flows and estuary gate open height/upper and lower water elevation difference.

(Fig. 5). 유속 및 유량자료는 층(Layer)별 3차원 자료로써 Fig.5는 수문별(#3, #5, #6) 측정 기간별(2020.08.31.~2020.12.20.; 2021.04.08.~2021.08.02.; 2021.06.16.~2021.11.01.) 측정 유량 자료로써 (a)는 시간별 측정 유량 자료를 나타내며, (b)는 수문 개도 높이에 따른 측정 유량 자료를 나타낸다. (c)는 수문 직상류 및 하류 조위와의 수위차별 측정유량을 나타내고 있다. 여기서, 수문 개도 높이(b) 및 상하류 수위차(c)에 따른 방류량은 매우 큰 변동을 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 동일한 수문 개도 높이라도 상류의 유량, 조위가 상승시 및 하강시 등 수리적 영향을 받아 매우 큰 변동을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한, 상하류 수위차가 적은 구간은 상승추세를 보이고 있으나 상하류 수위차가 큰 경우에는 일정한 경향성을 원자료로부터는 확인하기 힘들다.

취득한 원시 자료의 장비로 인해 발생한 오차 데이터를 소거하고, 측정 유량 벡터를 활용해 구간별 도수분포를 그려 최빈 지배유향 구간을 산정해 데이터를 추출하였다(Fig. 6). 이때 지배유향의 추출은 변동치가 매우 큰 3차원 측정자료 중 방류량에 직접적인 영향을 미치는 유향 벡터를 추출하기 위한 일차적인 목적이 있으며, 또한 하굿둑의 평면적인 수리적인 거동을 파악하기 위함에도 그 목적이 있다. Fig. 6은 #3 주수문의 유향 벡터의 분포를 나타내고 있는데 여기서의 지배 유향은 170°~180° 사이에서 형성되고 있음을 확

인할 수 있다. 정상적인 흐름의 경우 지배 유향은 정확히 180°를 기준으로 좌우 대칭형으로 분포하여야 하나 #3 주수문은 중앙보다 좌측에 위치하고 있어 방류시 평면적인 편향 정도를 정량적으로 파악할 수 있다. 이와 반대로 중앙보다 우측에 위치하는 수문의 경우에는 180° 보다 큰 구간에서 지배적인 유향분포를 보이고 있음을 추정할 수 있다. 즉, 낙동강하굿둑의 #3 주수문은 방류시 수류의 방향이 약 5° 정도 좌측으로 편향되어 방류되고 있음을 확인할 수 있다.

#5, #6 주수문의 측정 데이터 역시 이러한 유향분포를 분석하여 지배 유향을 추출하고 이를 중심으로 160°~190° 구간의 유향 벡터를 선별하고 그 외 구간의 유향 벡터는 방류시 난류 및 와류의 영향과 일정 정도의 해수유입에 따른 영향으로 인한 유향성분으로서 이를 제외하고 방류량 분석을 수행하였다.

이렇게 추출, 선정된 지배 유향 구간 측정자료를 이용하여 방류량 산정식의 유량계수를 산정한 후 산정된 유량 계수를 통계적 기법을 활용하여 유량계수의 이상치(Outliers)를 제거하였다(Fig. 7). 이상치는 측정자료의 불확실성, 난류 및 와류의 영향 등으로 인한 요소로써 이를 제거하기 위한 기준은 평균을 기준으로 상하위 25%를 제거하였으며, Fig. 7은 이상치 제거 전후의 측정자료 기반 유량 계수를 도식적으로 나타낸 것이다.

낙동강하굿둑 수문 방류 형식은 저류(Under-flow)와 월

류(Over-flow) 방식으로 운영되고 있다. 본 연구에서는 저류방식의 방류량 산정식 개발을 위한 3차원 고정식 초음파 유속계를 이용한 측정자료를 분석하였다. 이때, 저류 방류량 산정식은 Table 3과 같이 상하류 수위차, 방류 수문의 폭, 수문 개도 높이에 따른 함수이며, 결국 유량 계수를 정확히 도출하는 것이 가장 중요한 과제이다.

이상치를 제거한 측정 자료를 활용하여 상하류 수위차와 유량계수의 관계 곡선을 작도 후 유량계수의 편차 축소 및

추세 확보를 위해 이동평균(Moving Average) 기법을 활용해 상하류 수위차-유량계수의 편차를 보정하였다. Fig. 8은 상하류 수위차에 따른 유량 계수 산정 과정을 도식화하여 나타낸 것으로 (a)는 측정자료 기반의 유량 계수를 수위차별로 나타낸 것이며 (b)는 편차를 축소하여 일반화하여 회귀식을 도출하는 과정을 나타내고 있다. 이때 상하류 수위차 구간별 변동치를 조정하기 위하여 이동평균 기법을 이용하여 분석하였다.

본 연구에서 개발된 절차를 이용하여 측정자료 기반의 유량

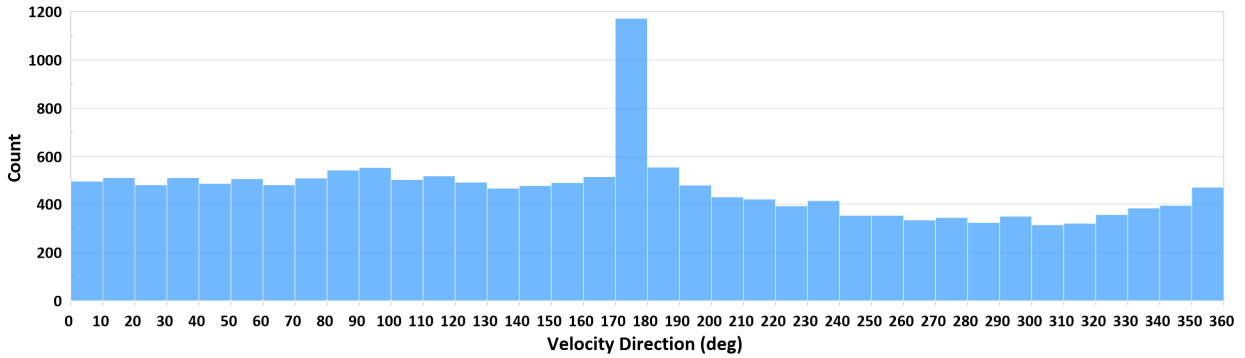


Fig. 6. Flow vector analysis and selection of the dominant vectors.

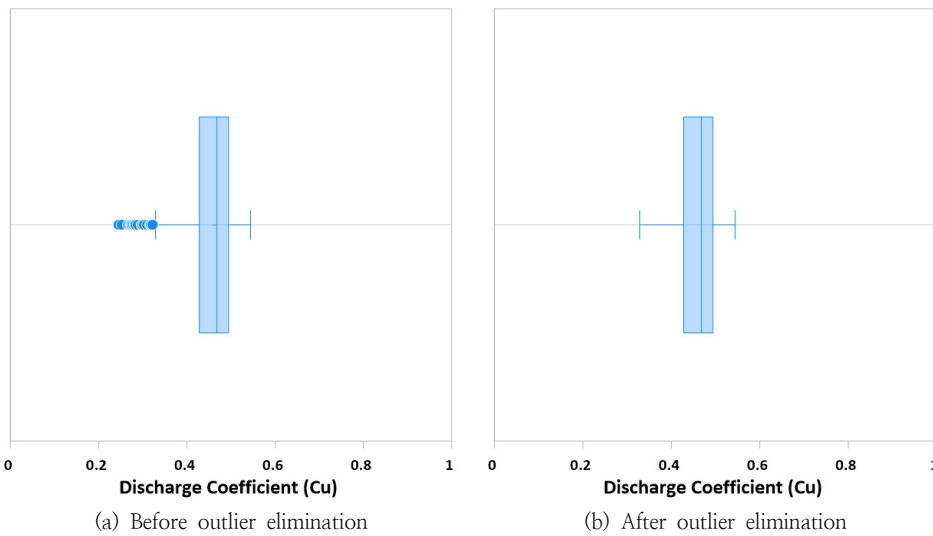


Fig. 7. Outlier elimination.

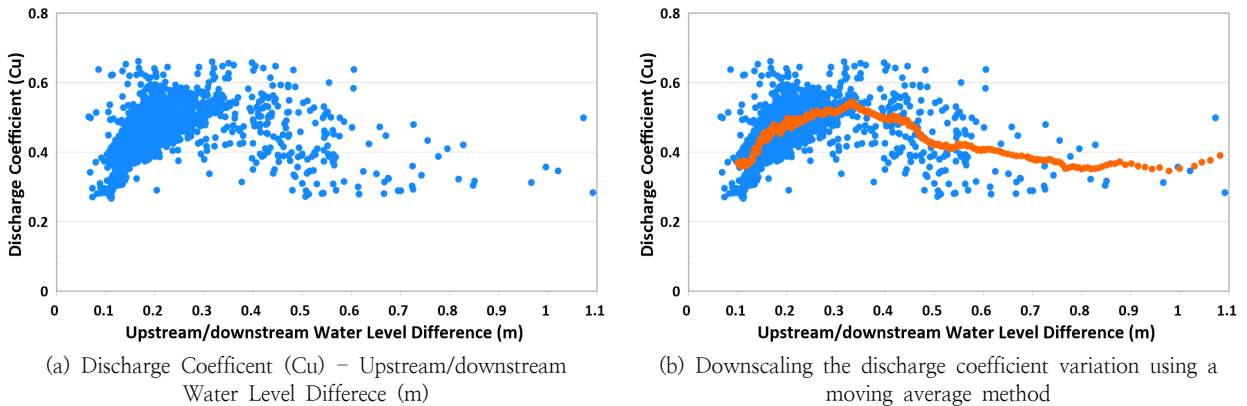


Fig. 8. Discharge coefficient regression calculation.

계수 산정식을 개발하고 이를 이용하여 상하류 수위차별, 수문 개도 높이에 따른 낙동강하굿둑 방류량 산정식을 도출하는 절차를 설명하였다. 낙동강하굿둑처럼 상류의 유량 및 수위 영향, 상하류 수위차 영향, 저류 및 월류 등 방류방식, 개도높이 등 수리시설물 운영 조건, 하류 조위의 변동을 동시에 고려할 수 있는 방류량 산정식을 개발하는 것은 매우 복잡한 과정을 거쳐야 하며, 증장기적으로 지속적인 측정을 통하여 지속적으로 보완, 개선해 나가야 정확도 높은 하굿둑 방류량을 정량적으로 산정할 수 있을 것이다.

측정은 고정식 측정의 한계가 있으므로 이동식 측정 등 다양한 측정방식을 이용하여 상호보완하여야 하며, 수문별 및 개도 높이별, 평상시와 홍수기, 외조위의 상승기와 하강기 등 거동양상을 종합적으로 고려하여 측정을 수행하고 이를 기반으로 정도 높은 수문 운영관리 기준을 마련하여야 한다.

4.3 유량계수 및 방류량 산정식 개발

본 연구에서 개발한 3차원 고정식 초음파 유속계 측정자료 분석 기법을 이용하여 수위차 구간에 따라 상하류 수위차-유량계수 회귀식을 도출(Table 2)하고, 이를 수문 방류량 계산식(저류)에 적용하여 측정자료 기반 개도별 방류량 산정식을 개발하였다(Table 3).

Table 2는 본 연구에서 개발한 상하류 수위차에 따른 유량 계수 산정 회귀식을 나타내고 있다. 수문의 방류 형식은 전절에 기술한 바와 같이 저류(Under-flow) 방식이며, 수문 개도 높이는 0.5~10.0m 범위, 상하류 수위차는 자료 측정 기간 동안에 형성된 하굿둑 직상류 및 하류 조위차로써 0.00~1.10m 범위를 나타내고 있다. 본 연구에서 도출된 유량계수 관계식은 Table 3과 같다.

또한, 측정 방류량 자료와 금회 도출한 유량식을 통해 산정된 방류량을 직상류 지점인 구포수위관측소 지점의 홍수기 유량과 비교하여 그 결과를 Fig. 9에 도시하였다. 직상류인 구포 유량 역시 배수 영향 구간에 위치한 수문관측소 지점으로 자료의 신뢰도가 높지는 않지만, 본 검토 대상 하굿둑 직상류에 위치하여 홍수기에는 그 경향성은 동일 할 것으로 판단하여 비교, 검토를 수행하였다. 이를 통하여 본 연구에서 개발된 방류량 산정식을 평가하고자 하였다.

홍수기 구포 유량과 측정 유량의 선형적인 상관계수(R^2)는 0.87이며, 금회 산정한 방류량 산정식을 통해 산정한 유량과 상관계수(R^2)는 0.79로써 측정자료와 비교하여 상관계수(R^2)가 0.08 차이를 보이고 있다. 그러나, 이는 구포지점 유량의 불확실도, 측정 유량자료의 한계 등으로 인한 차이로 특정하여 평가하기에는 한계를 가진다. 이에 대해서는 향후 지속적인 측정과 구포유량 산정식의 개선 및 보완, 하굿둑 측정자료의 정밀도 향상 등을 통해서 평가할 수 있을 것이다.

본 연구는 3차원 고정식 초음파 유속계의 측정자료를 하구에 위치한 수리구조물의 방류량 산정에 이용하기 위해 자료 분석 절차를 체계적으로 개발하고 그 적용성을 평가하는 연구에 중점을 두어 수행하였다. 본 연구를 통해 기존 측정방식의 한계 및 향후 개선방향을 결론에서 제시하였다.

Table 3. The regression equation of discharge coefficient according to water level difference in main gate.

Gate Type	Main
Discharge Type	Underflow
Open height(a) range	0.5m ≤ a ≤ 10.0m
Water level difference(dH) range	0.00m < dH ≤ 1.10m
The regression equation of discharge coefficient	$CU = 4.268502246 \cdot dH^6 - 12.53094394 \cdot dH^5 + 9.509738772 \cdot dH^4 + 4.830818569 \cdot dH^3 - 9.642321114 \cdot dH^2 + 3.888073579 \cdot dH + 0.03996276909$

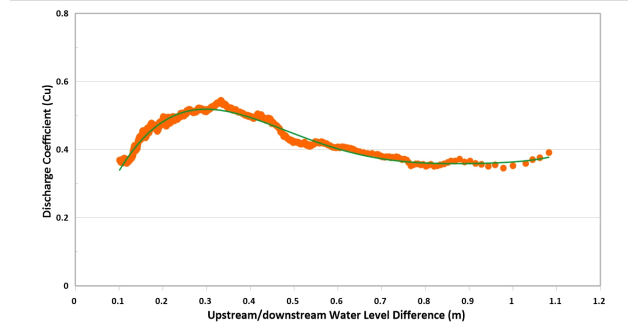


Table 4. Gate opening-Discharge Equation developed by the measurement of fixed ADCP data in the left bank side estuary gate.

Gate opening-Discharge Equation in this study	
$Q = C_u B a \sqrt{2g(dH)}$	
Variables	
Q	Discharge (m ³ /s)
C _u	Discharge coefficient
B	Gate width(m)
a	Gate open height(m)
g	Acceleration of gravity (9.81m/s ²)
dH	Upstream/downstream water level difference (h _f - H _s , m)
h _f	Upstream water level(EL,m)
h _s	Sea water level(EL,m)
H _s	Converted sea water level (EL,m) (h _s + Δh + δ)
Δh	Density difference correction level (m) $((\gamma_s h_s - \beta a(\gamma_s - \gamma_f)) / \gamma_f) - h_s$
δ	Error in measuring instruments, etc. (δ ≈ 0.02m)
γ _s	Sea water unit weight(kg/m ³)
γ _f	fresh water unit weight(kg/m ³)
β	Correction efficient (1/3 < β < 1/2)

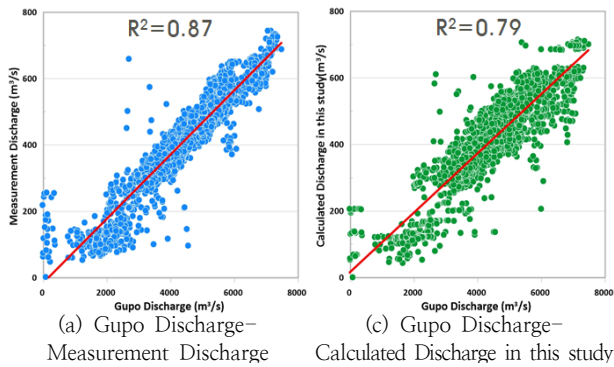


Fig. 9. Data validation using upstream flow measurement data

5. 결 론

본 연구를 요약하면 다음과 같다.

3차원 고정식 초음파 유속계를 통해 측정된 자료를 이용하여 조위의 영향을 받는 수문에서의 방류량을 산정하기 위하여 수리학적 및 통계적으로 처리하는 절차는 연속 측정 유속 및 유량 자료 취득, 유량 벡터의 분석을 통한 지배 유량 추출, 이상치 제거, 자료 변동치 조정 과정을 거쳐 측정자료 기반의 유량 계수를 산정하고 이를 이용하여 방류량 산정식을 개발하는 과정을 포함한 절차로 구성된다.

개발된 자료 수집 및 분석 절차를 통해 개발된 유량 계수 및 방류량 산정식을 이용하여 직상류 지점인 구포 수위관 측소 지점의 홍수량을 이용하여 그 정도를 평가하여 제시하였다. 검토 결과, 홍수기 구포 유량과 측정 유량의 선형적인 상관계수(R^2)는 0.87이며, 금회 산정한 방류량 산정식을 통해 산정한 유량과 상관계수(R^2)는 0.79로써 측정자료와 비교하여 상관계수(R^2)가 0.08 차이를 보이고 있다. 이는 직상류 구포지점 유량의 불확실도, 측정 유량자료의 한계 등으로 인한 영향을 평가할 수 있다.

본 연구를 통해 도출된 향후 개선방향은 1) 지속적인 측정을 통한 방류량 산정식 개선; 2) 고정식 측정과 병행하여 이동식 측정, 위성을 이용한 유량 측정 등을 통해 상호 검증, 보완 필요; 3) 구포 유량 산정식의 개선 및 보완; 4) 향후 AI 기술을 이용한 방류량 산정식 개발 등의 향후 노력과 조사 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 ‘낙동강하굿둑 수문개도-방류량 정확도 개선 방안 연구’ 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Kim Tae-Woo, Yang Hyen-Soo, Park Byeong-Woo, Yoon Jong-Sung(2017) “A Study on the Hydraulic Characteristics of DownStream Area by the Discharge at the Changnyeong-Haman Weir”, *Proceedings of the Conference of The Korean Society of Ocean Engineers*, [Korean Literature]
- Kim Tae-Woo, Yang Hyun-Soo, Park Byeong-Woo, Yoon Jong-Sung (2017) “An Analysis of Characteristics of Seasonal Variation in Salinity according to Effluent Flow in Nakdong River Estuary barrage ~ Changyeong-Haman Weir Section by using the Existing Observatory Network”, *Proceedings of the Conference of The Korean Society of Ocean Engineers*, [Korean Literature]
- Park Byeong-Woo(2017), “Integrated Water Management Plan for the Nakdong River Estuary”, *Proceedings of the Conference of The Asia International Water Week (AIWW)*, [English Literature]
- Park Byeong-Woo(2018), “A Study on Investigation of Salinity Variation on the upper Hydraulic characteristics of Nakdong River Estuary Bank”, *Master’s paper, Pusan National University, Pusan, Korea*, [Korean Literature]
- Choi Sun-ho, Yoon Jong-seong, Huh Dong-soo (2016), “After the Four Rivers Project, Nakdong River Water System Weir-Estuary Bank Impact Analysis and Operational Improvement Plan Research Service Report”, *K-water*, [Korean Literature]
- Park Byeong-Woo(2017), “Integrated Water Management System for the Nakdong River Estuary” Master Plan, *K-water*, [Korean Literature]
- K-water(2015), “Nakdong River Estuary Bank Operation and Management Manual”, [Korean Literature]
- K-water(1988), “Nakdong River Estuary Bank Construction Report”, [Korean Literature]