

수위-유량 관계곡선을 이용한 경년별 수리특성량 변동에 관한 연구
-낙동강 적포교(赤浦橋) 및 진동(津洞) 지점을 중심으로-
A Study on the Temporal Variation of Hydraulic Characteristics
by the Stage-Discharge Relation Curve
-at Jeokpogyo, Jindong of the Nakdong River-

이 재 준* / 설 지 수** / 곽 창 재***
Lee, Jae Joon / Seol, Ji Su / Kwak, Chang Jae

Abstract

In this study, the stage-discharge relation curve made in 2006 is selected with standard curves to seize the hydraulic and geometric characteristics for the temporal variation of the river bed. The relationships among the standard stage-discharge relation curve and the existing stage-discharge relation curves, water level, cross sectional area, and flow velocity are analyzed. Jeokpogyo and Jindong which are the key station of Nakdong river are chosen for the study, with respect to the current river bed to convert the existing stage-discharge curves. The relationships for conversion of previous data, between water level and flow velocity are got. Also the relation equation between water level and cross sectional area and water level, flow velocity are derived. These conversion relationships shows good agreement between observed values and estimated values. It will be very useful to convert past hydraulic quantitations to current one.

keyword : stage-discharge relation curve, variation of river bed, relation equation of water level-flow velocity.

요 지

본 연구에서는 하상이 경년별로 변화함에 따라 발생하는 수위-유량 관계곡선의 오차를 보완하기 위해 최근(2006년)의 수위-유량 관계곡선을 기준으로 채택하여 일원화시키고, 과거의 하상상태와 경년별로 작성되어 왔던 수위-유량 관계곡선들과의 관계 및 수위, 단면적, 유속 등에 대한 수리기하학적 특성을 분석하였다. 연구 대상지점으로는 낙동강의 주요지점인 적포교와 진동 지점을 택하였으며, 과거의 실측 유량값을 최근(2006년)하에서의 유량으로 환산하였을 때 얻어지는 수위(환산수위)와 과거수위와의 관계 및 환산유속과 과거유속간의 관계 그리고 수위-통수단면적 관계, 수위-유속 관계 등의 상관식을 도출하여 기왕의 많은 자료들을 활용할 수 있도록 상관해석을 실시하였다.

* 교신저자, 국립금오공과대학교 토목환경공학부 교수
Corresponding Author, Professor / Ph.D., School. of Civil and Environmental Engrg., Kumoh National Institute of Technology, 1 Yangho-dong, Gumi, Gyeongbuk 730-701, Korea
(e-mail: jhb365@kumoh.ac.kr)
** 국립금오공과대학교 대학원 토목공학과 석사과정
Graduate Student / School. of Civil Engrg., Kumoh National Institute of Technology, 1 Yangho-dong, Gumi, Gyeongbuk 730-701, Korea
*** 국립금오공과대학교 대학원 토목공학과 박사과정
Doctoral Student / School. of Civil Engrg., Kumoh National Institute of Technology, 1 Yangho-dong, Gumi, Gyeongbuk 730-701, Korea

1. 서 론

하천의 유량자료는 치수와 이수의 양면에서 볼 때 수자원의 변동 상황을 파악할 수 있는 중요한 자료가 된다. 그러나 자연하천에서의 유량측정은 복잡하고 어려운 작업이기 때문에 항상 측정할 수 없고, 대표적인 몇 회의 측정 자료를 토대로 수위-유량 관계곡선을 작성하여 수위의 관측으로 유량을 산출하는 실정이다. 현재 국토해양부와 한국수자원공사 산하의 전국 5대강 유역의 376개소에서 수위와 유량 관측을 시행하고 있는데, 대부분의 수위관측소에서 작성한 수위-유량관계곡선은 관측수위에 대한 유량의 자료를 회귀분석을 통하여 구해지고 있으나 이는 수위범위에 따라 다른 형태의 수위-유량 관계곡선식이 적용된다는 문제점이 있다.

수위-유량 관계곡선은 하천단면에서 정기적인 하천 수위와 이에 상응하는 유량을 동시에 측정하여 수위와 유량간의 관계를 규명하는 곡선으로 수자원의 변동 상황을 파악할 수 있는 중요한 자료로 이용되고 있다. 하지만 주요 수위 관측지점을 제외하고는 매년 수위-유량 관계곡선을 재작성하지 않고 있으므로, 세굴과 퇴적 또는 식생의 성장과 홍수 시 급격한 유량과 유속의 증가 등의 이유로 발생하는 자연하천 하상의 변화 양상이 충분히 고려되지 못하는 실정이다. 따라서 하상의 변화에 따라 수위-유량 관계곡선의 변동성을 파악하고 최근 시점을 기준으로 한 환산수위와 환산유량을 구할 필요가 있다.

1.1 국내·외 연구동향

수위-유량관계에 대한 연구는 19세기부터 시작되었다. 그리하여 20세기 전반부에는 많은 기술적 발전을 이룩하였다. 이러한 발전에도 불구하고 정작 수위-유량 관계곡선식의 형태 및 물리적 의미와 기존방법의 문제점에 대한 연구는 많지 않다. 현재 지수형태의 수위-유량 관계곡선식은 가장 널리 알려져 있고, 하나의 지수식으로 특정지점의 유량을 분석할 수 없을 경우에는 수위를 여러 구간으로 구분하여 각각의 구간에 각기 다른 지수식을 적용하고 있다(ISO 1998).

Dickinson (1967)은 편미분에 의한 영유량 수위를 찾는 방법을 제시하였고, Dyer (1970)는 Rising float 에 의하여 하천유량을 측정하는 기법을 제안하였으며, Pickup and Ringer (1979)는 수로의 특성과 유량간의 관계를 밝히는 개념적 모형을 개발하였다. El-Jabi *et al.* (1992)는 조수간만의 차가 수위-유량관계에 어떤 영

향을 끼치는가에 대해 연구하였고, Smart (1992)는 수위-유량관계의 불연속성에 관해 연구하였다. Hershy (1995)와 ISO (1998)는 수리적 방법, 수학적 방법, 도해적 방법 및 수치적 방법을 제시하였으며, Tillery *et al.* (2001)은 수위-유량 관계에 대한 잠정적인 오류에 대해 논의하였다.

국내에서는 정홍수 등(1988)은 수리학적 특성을 이용하여 한강 인도교 수위관측소의 수위-유량 관계곡선을 검정하였고, 노재경과 이한구(1999)는 대청댐 유역의 수문관측소의 예시를 통하여 수위-유량 관계식의 수문학적 검증방법 유출률, 수문곡선, 댐 유입량과 비교, 유역면적별 일정기간별 유출량 등을 비교하였고, 추태호 등(2000)은 감조하천에서 수위에 따른 유량관계곡선식에 영향을 미치는 변수들을 찾아 새로운 식을 제안하였다. 이한구(2003)는 결정계수를 최대화하는 방법으로 solver를 이용하는 방법을 제시하였고, 김삼은 등(2007)은 수위-유량관계곡선식을 이용하여 곡선식 불확실도 및 평수시, 홍수시, 상하류 유량비교와 연간 유출률을 산정한 결과 신뢰성 있는 수위-유량관계곡선식 개발하였다.

1.2 연구방법

본 연구에서는 낙동강의 주요지점인 적포교(赤浦橋)와 진동(津洞)지점에 대한 2006년의 수위-유량 관계곡선이 하상의 변화에 따라 어떻게 변동되는지를 파악해 보고, 이 수위-유량 관계곡선(Stage-Discharge Relation Curve)을 기준 수위-유량 관계곡선으로 하여 과거 경년별 하상상태에 따라 작성되어 왔던 수위-유량 관계곡선들과의 관계 및 수위, 단면적, 유속 등 수리기하학적 특성을 분석하는 데 그 목적이 있다.

본 연구에서 수행된 연구 진행방법은 다음과 같다.

- 1) 낙동강의 주요지점인 적포교와 진동 수위 관측지점에서 측정된 수위와 유량자료를 바탕으로 하여 먼저 2006년에 수립된 수위-유량관계곡선을 기준 수위-유량관계곡선으로 채택한다.
- 2) 2006년 하상상태 하에서의 수리기하학적 특성을 파악하기 위하여 과거수위와 환산수위와의 관계식, 과거유속과 환산유속과의 관계식을 도출한다.
- 3) 과거 하상상태가 각각 다른 경우에 측정되었던 유량측정 성과 중에서 유량자료는 2006년 하상상태에서 동일하게 발생된 것으로 보고, 과거수위를 2006년 단면 상태하의 수위로 환산하여 과거와 현재의 수위 관계를 경년별로 분석한다.
- 4) 2006년 하상상태에서 환산된 수위와 단면적 및 유

속과의 관계로부터 유량을 산정하여 과거유량과의 값을 비교한다.

- 5) 이상의 성과를 요약 정리하여 과거의 유량측정 자료를 일원화시킨다.

2. 현황 및 기본자료

2.1 적포교와 진동 지점의 경년별 하상변동 상황

적포교와 진동 지점의 경년별 하상단면의 변화를 파악하기 위하여 과거 1990년부터 2006년까지 측정된 횡단면 형상을 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다(국토해양부, 1990~1999, 2003, 2006). 횡단면 측량성과를 기준으로 각 변곡점의 좌표를 중심으로 단면을 분할하여 수위별 통수 단면적을 산정하여 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었으며, 2006년 하상상태를 기준으로 한 경년별 단면적의 증감율을 Table 1과 Table 2에 수록하였다.

Fig. 3과 Fig. 4, Table 1과 Table 2에서 보면 알 수 있듯이 적포교와 진동 지점의 단면적은 경년별로 증대되고 있는데, 이러한 원인은 유수에 의한 침식작용과 세굴현상, 하상의 인위적인 굴착 등이 일어나, 두 지점의 단면적이 증대된 것으로 사료된다.

2.2 적포교와 진동 지점의 수위-유량 관계곡선 변동상황

적포교와 진동 지점의 유량측정 성과를 이용하여 경

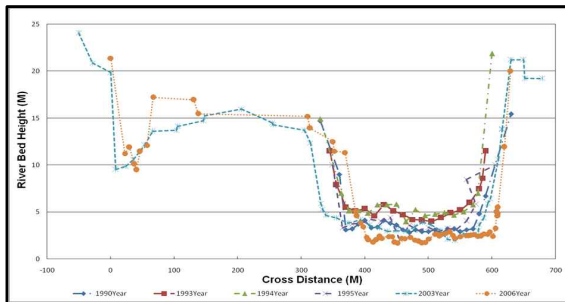


Fig. 1. Temporal Change Shape of Cross Section at Jeokpogyo

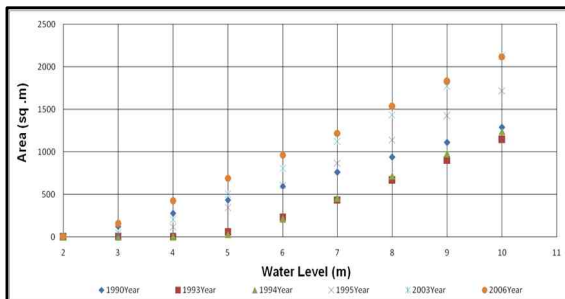


Fig. 3. Relationship between Water Level and Cross Sectional Area at Jeokpogyo

년별 유도된 수위-유량 관계곡선식은 국토해양부의 주관하에 발표되어져 왔으며, 이를 도시하면 Fig. 5와 Fig. 6과 같다.

3. 수위-유량 관계곡선의 해석

자연하천에서는 일반적으로 수면경사가 일정하지 않고 횡단면이 불규칙적인 형상으로 이루어졌기 때문에 수위-유량 관계곡선을 수리적인 계산에 의하여 결정한다는 것은 사실상 불가능하며, 실제로는 수위와 유량관측의 결과를 도시하여 여러 점을 적당한 근사곡선으로 연결하여 사용한다. 따라서 모든 수위에 하나의 수위-유량관계곡선식을 적용시키기는 것은 무리가 있다.

본 절에서는 2006년도의 수위-유량 관계곡선을 기준 수위-유량 관계곡선으로 채택하고, 과거 수리특성량과 환산 수리특성량의 관계를 분석하여 2006년 단면 상태에서 수위별 통수 단면적을 검토한 후, 분석과정에서 산정된 유량과 실측유량의 비교를 통하여 기준 수위-유량 관계곡선을 검증하고자 한다.

3.1 과거 수리특성량과 환산 수리특성량간의 관계 분석

3.1.1 수위

수위는 하천의 개수계획 수립 시 홍수의 규모를 파악하는 척도가 되는 수문량으로 유수량과 달리 항시 측정되고 있다. 그러나 상·하류 구간의 하상경사의 변화

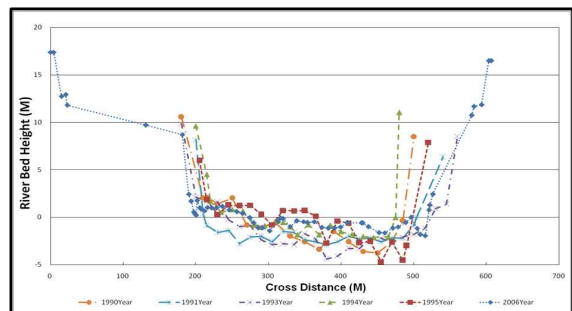


Fig. 2. Temporal Change Shape of Cross Section at Jindong

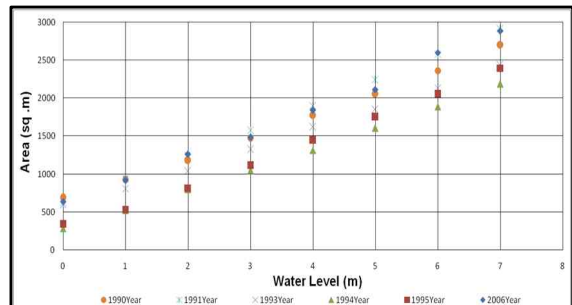


Fig. 4. Relationship between Water Level and Cross Sectional Area at Jindong

Table 1. The Change of Cross Sectional Area for 2006 Year's River Bed at Jeokpogyo (%)

Water Level (m)	1990	1993	1994	1995	2003	2006
3	-19.6	-	-	-94.4	-71.2	0.0
4	-34.0	-	-	-72.1	-50.9	0.0
5	-37.4	-91.9	-95.7	-50.1	-27.7	0.0
6	-38.2	-76.5	-78.1	-37.0	-16.3	0.0
7	-37.5	-64.3	-62.7	-28.7	-7.7	0.0
8	-38.8	-56.6	-53.3	-25.5	-6.3	0.0
9	-39.2	-50.8	-46.6	-22.1	-2.8	0.0
10	-39.3	-46.1	-41.4	-18.9	0.1	0.0

Table 2. The Change of Cross Sectional Area for 2006 Year's River Bed at Jindong (%)

Water Level (m)	1990	1991	1993	1994	1995	2006
0	-1.58	-1.58	-5.76	-55.17	-46.75	0.0
1	1.81	1.81	-11.60	-43.09	-41.68	0.0
2	-0.66	-0.66	-17.56	-36.74	-35.12	0.0
3	6.15	6.15	-10.64	-29.22	-24.96	0.0
4	3.26	3.26	-12.20	-28.66	-21.51	0.0
5	5.86	5.86	-12.56	-24.15	-17.07	0.0
6	-0.73	-0.73	-17.93	-27.34	-20.96	0.0
7	0.98	0.98	-15.53	-24.18	-16.94	0.0

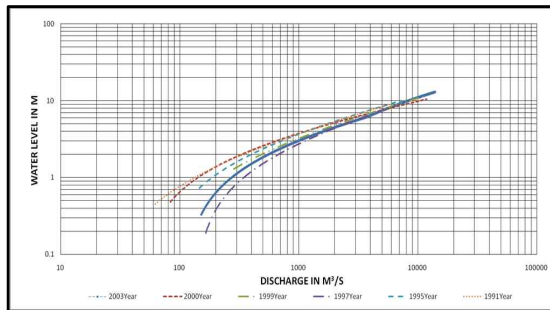


Fig. 5. Existing Stage-Discharge Relation Curves at Jeokpogyo

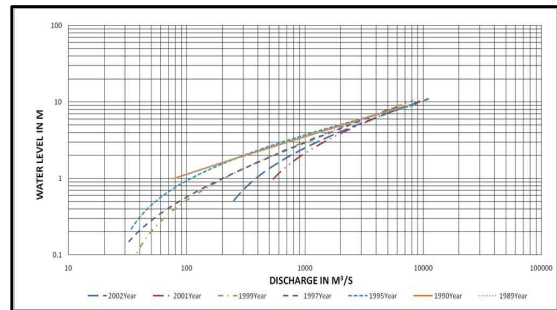


Fig. 6. Existing Stage-Discharge Relation Curves at Jindong

로 인하여 경년별로 동일한 유량에 대하여도 각각 상이한 수위를 보인다.

본 절에서는 기왕의 유량측정 성과로서 기록된 수위 자료를 2006년 단면상태 하의 수위로 환산하기 위하여 기준 수위-유량 관계곡선으로 채택된 2006년의 수위-유량관계곡선을 이용하였다.

본 연구에서는 하천단면에 대한 기하학적인 특성이 변하여도 그 단면에서의 유량에는 변화가 없다고 가정한다. 즉, 과거에 측정된 유량이 현 단면 하에서도 동일한 값을 나타낸다고 가정하여 기준수위로 환산하였다. 과거에 관측된 수위를 H , 유량을 Q 라 하고, 이 유량 Q 에 대한 2006년도 단면 상태에서의 수위를 H' 이라 할 때 수위와 유량간의 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = f(H) \quad (1)$$

$$Q = g(H') \quad (2)$$

여기서, H : 과거 단면의 수위(m)

Q : 과거의 유량(m³/s)

H : 현재 단면의 수위(m)

f, g : 함수

Eq. (1)과 Eq. (2)의 좌변은 동일하므로 Eq. (3)이 얻어진다.

$$H = g^{-1}Q \quad (3)$$

또한, $g(H) = f(H)$ 이므로 H 과 H' 를 다음과 같은 함수관계로 가정한다.

$$H = I(H') \quad (4)$$

여기서, I : 함수

따라서 기왕의 유량측정 자료와 기준 수위-유량 관계곡선식으로부터 Eq. (3)에 의해 현 상태하의 수위 H' 을 구한 후 과거 관측수위 H 와의 Eq. (4)에 의해 함수 관계를 분석하였다. 이와 같은 방법으로 구한 H' 과 H

의 관계식을 Table 3과 Table 4에 수록하였다. Fig. 7과 Fig. 8은 적포교(2003년) 및 진동(2002년)에 대한 과거 수위와 환산수위의 관계를 도시한 것이다.

3.1.2 유속

하천 단면의 수리기하학적 특성과 유속과의 관계를 검토하기 위하여 2006년도에 측정된 기준 자료를 바탕으로 Manning의 평균 유속공식을 이용하여 유속과 수위와의 관계를 검토하였다.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (5)$$

$$= f R^a$$

여기서, R : 경심

a, f : 계수

하폭이 수심에 비해 상당히 넓은 경우, 경심 R은 수심 h로 대치시킬 수 있으므로, 유속과 수심(또는 수위)의 함수 관계가 성립된다. 즉,

$$V = a(H)^n \quad (6)$$

여기서, H : 수위(m)

V : 평균유속(m/s)

a, n : 계수

적포교 지점은 2003년, 진동 지점은 2002년에 측정된 유속과 수위를 이용하여 계수 a, n을 최소자승법으로 추정하였으며, Fig. 9와 Fig. 10은 수위와 유속간의 이원화된 관계를 도시한 것이다.

Eq. (6)의 관계를 이용하면 과거 유속에 대한 현 단면 상태하의 유속관계를 추론할 수가 있다. 과거 수위를 H, 유속을 V라 하고, 현 단면 상태로 환산된 수위를 H', 유속을 V'라 하면 다음 관계가 성립된다.

$$V' = a(H')^n \quad (7)$$

즉, Eq. (3)으로 구한 현 상태하의 수위 H'을 Eq.

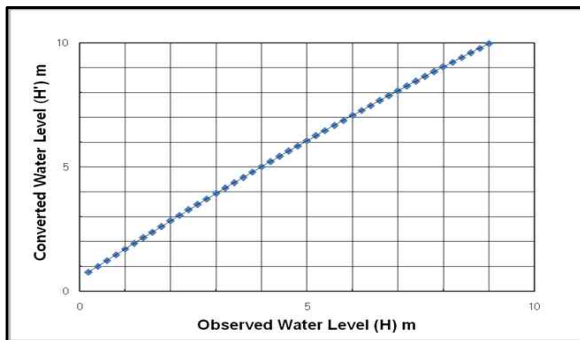


Fig. 7. The Relation between Observed Water Level and Converted Water Level under the Reference Year at Jeokpogyo (2003)

(7)에 대입하면 현 상태하의 유속 V'이 얻어지며, 과거유속 V와 현 상태로 환산된 유속 V'과의 관계를 검토할 수 있다.

Table 5와 Table 6은 과거 유속과 현 상태하의 유속간의 관계식을 구하여 수록한 것이며, Fig. 11과 Fig. 12는 적포교(2003년) 및 진동(2002년)에 대한 과거유속과 환산유속의 관계를 도시한 것이다.

3.2 기준 수위-유량 관계곡선의 검증

수위-유량 관계곡선식에 의해 임의 수위에 대한 유량을 구하는 방법의 검증을 위해서는 하천유량에 대한 연속방정식을 통하여 검토해 볼 필요가 있다.

$$Q = AV \quad (8)$$

여기서, A : 단면적(m²)

V : 평균유속(m/s)

Eq. (8)에서 $A = p(H)$, $V = q(H)$ 이므로 이를 고려하면 Eq. (8)을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Q = p(H) \cdot q(H) = w(H) \quad (9)$$

즉, Eq. (9)는 통계학적인 방법으로 구한 수위-유량 관계곡선과 같으며, Eq. (8)은 수리학적인 방법에 의해 표현되는 연속방정식이다.

본 연구에서는 과거 유량이 현 단면 상태에서 유하하게 될 때 그에 대응되는 수위 및 유속, 단면적 등 수리학적인 특성을 규명하는 것이므로, 여기에서는 과거 유량과 2006년 단면 상태 하에서 환산된 수위 및 유속을 이용하여 산정된 유량을 서로 비교하여 본 방법의 적용성을 검토하였다. 2006년 단면 상태 하에서의 유량을 수리학적인 방법으로 산정하기 위하여 먼저 현 단면하의 수위별 통수단면적을 검토하여 Table 7과 Table 8로 나타내었다.

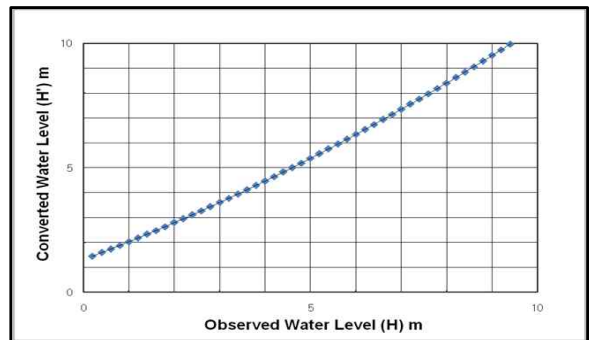


Fig. 8. The Relation between Observed Water Level and Converted Water Level under the Reference Year at Jindong (2002)

Table 3. The Relation Equation between Observed Water Level and Converted Water Level under the Reference Year at Jeokpogyo

Year	H-H' Relation Equation	Coefficient of Determination
1987	$H' = -0.0244H^2 + 1.3208H - 0.8229$	0.9967
1990	$H' = -0.02H^2 + 1.2301H - 0.399$	0.9979
1991	$H' = -0.0155H^2 + 1.1688H - 0.3031$	0.9982
1993	$H' = -0.0107H^2 + 1.095H - 0.0764$	0.9983
1995	$H' = -0.031H^2 + 1.1075H - 1.0036$	0.9987
1998	$H' = -0.0017H^2 + 0.9893H + 1.1368$	0.9975
1999	$H' = -0.014H^2 + 1.1896H - 0.9307$	0.9984
2000	$H' = 0.0421H^2 + 0.6769H + 0.2447$	0.9968
2003	$H' = -0.014H^2 + 1.1733H + 0.537$	0.9993

Table 4. The Relation Equation between Observed Water Level and Converted Water Level under the Reference Year at Jindong

Year	H-H' Relation Equation	Coefficient of Determination
1989	$H' = -0.0212H^2 + 1.1999H - 0.9687$	0.9953
1990	$H' = 0.0214H^2 + 0.8549H + 0.7855$	0.9942
1991	$H' = 0.0224H^2 + 0.8987H + 0.7324$	0.9920
1993	$H' = 0.0487H^2 + 0.6668H + 0.811$	0.9872
1995	$H' = 0.0502H^2 + 0.6272H + 1.1274$	0.9878
1997	$H' = 0.0057H^2 + 0.8831H + 1.3199$	0.9980
1998	$H' = -0.0006H^2 + 0.7577H + 1.8539$	0.9992
1999	$H' = 0.033H^2 + 0.6745H + 1.5459$	0.9929
2001	$H' = 0.0136H^2 + 0.8134H + 2.1007$	0.9934
2002	$H' = 0.0245H^2 + 0.6909H + 1.3152$	0.9973

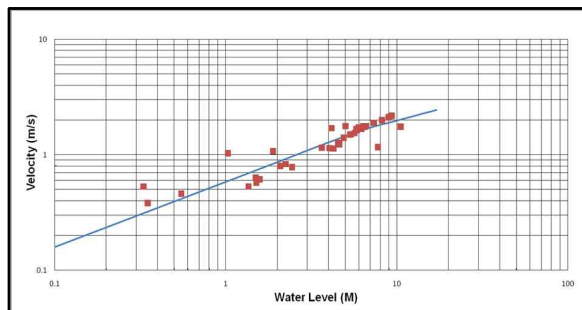


Fig. 9. The Relation between Water Level and Velocity at Jeokpogyo (2003)

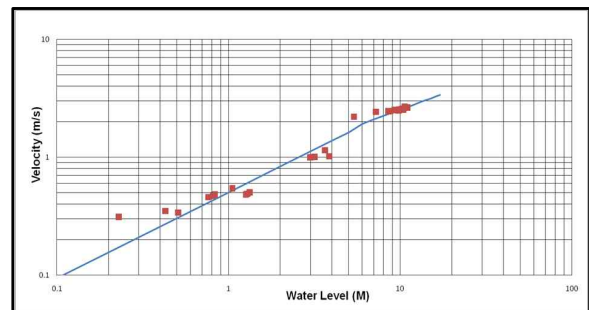


Fig. 10. The Relation between Water Level and Velocity at Jindong (2002)

과거 유량과 산정유량을 비교하기 위한 절차는 다음과 같다.

- 1) 과거유량을 현재유량으로 본다. (Q)
- 2) 현재유량에 대응되는 수위 H'를 기준 수위-유량 관계곡선으로부터 구한다.
- 3) Eq. (6)을 적용하여 수위 H'에 대한 2006년 단면 상태 하에서의 유속 V'을 구한다.
- 4) Table 7과 Table 8에 수록된 수위와 통수단면적을 적용하여 수위 H'에 대한 2006년 단면 상태 하에서의 단면적 A'을 구한다.
- 5) 연속방정식을 이용하여 산정유량 Qc를 구한다.

- 6) 과거유량 Q와 산정유량 Qc를 비교하여 지정오차 이내에 들면 수리기하학적인 특성이 특정한 범칙에 의하여 유지됨을 알 수 있고, 본 방법의 타당성이 입증된다.

이상의 방법으로 구한 실측유량(과거유량)과 수리기하학적인 특성변화를 나타낸 관계식들을 이용하여 수리학적 방법으로 구한 산정유량을 비교하기 위하여 그 결과를 Fig. 13과 Fig. 14에 도시하였다.

Fig. 13과 Fig. 14는 수위-유속 관계식을 이원화한 식에 의한 산정유량을 나타낸 것이다. 그림에서 직선은 산정유량과 실측유량이 동일한 값을 나타낼 때 연결한

Table 5. The Relation Equation of Past Estimated Velocity and Converted Estimated Velocity under the Specified Year at Jeokpogyo

Year	V-V' Relation Equation	Coefficient of Determination
1987	$V' = 1.1463 V^{0.7650}$	0.9493
1990	$V' = 1.1194 V^{0.8053}$	0.9492
1991	$V' = 1.0714 V^{0.8842}$	0.9795
1993	$V' = 1.0175 V^{0.9729}$	0.9948
1995	$V' = 0.1442 V^2 + 0.6912 V + 0.3098$	0.9998
1998	$V' = -0.1091 V^2 + 1.5486 V - 0.7281$	0.9996
1999	$V' = -0.1955 V^2 + 1.6931 V - 0.6381$	0.9993
2001	$V' = -0.1420 V^2 + 1.2755 V - 0.0598$	0.9997
2003	$V' = 0.0257 V^2 + 1.0476 V - 0.2716$	0.9997

Table 6. The Relation Equation of Past Estimated Velocity and Converted Estimated Velocity under the Specified Year at Jindong

Year	V-V' Relation Equation	Coefficient of Determination
1989	$V' = -0.1299 V^2 + 1.4759 V - 0.5293$	0.9999
1990	$V' = -0.1195 V^2 + 1.4361 V - 0.5052$	0.9999
1991	$V' = -0.1156 V^2 + 1.4012 V - 0.4816$	0.9998
1993	$V' = -0.1512 V^2 + 1.47 V - 0.4214$	0.9998
1995	$V' = -0.0878 V^2 + 1.4508 V - 0.5673$	0.9995
1997	$V' = -0.059 V^2 + 1.4528 V - 0.7506$	0.9999
1998	$V' = -0.0891 V^2 + 1.7365 V - 1.1722$	0.9997
1999	$V' = -0.0891 V^2 + 1.7365 V - 1.1722$	0.9997
2001	$V' = 0.1859 V^2 + 0.8768 V - 0.6512$	0.9984
2002	$V' = -0.0257 V^2 + 1.3102 V - 0.5782$	0.9981

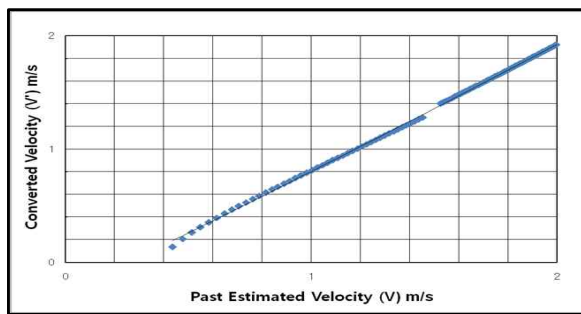


Fig. 11. The Relation between Past Estimated Velocity and Converted Velocity under the Specified Year at Jeokpogyo (2003)

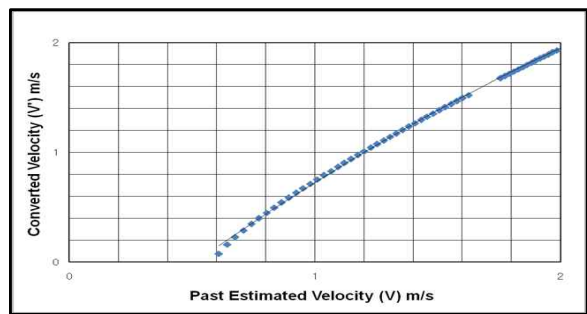


Fig. 12. The Relation between Past Estimated Velocity and Converted Velocity under the Specified Year at Jindong (2002)

선이며, 두 지점 모두 산정유량이 과거 실측유량과 거의 일치하여 매우 유사함을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 기준 수위-유량 관계곡선식, 수위-통수 단면적 관계식, 수위-유속 곡선식을 활용하면 과거의 유량측정 자료를 현 상태하의 자료로 환산할 수 있을 것이다.

4. 비교고찰

자연적인 하상변화 또는 인위적인 하상변화로 인해 발생하는 자연하천의 횡단면 및 하상경사의 변화는 수

위-유량 관계곡선 수정의 필요성이 요구된다. 이와 같은 상황에서 수집된 수위, 유량 자료들만으로는 합리적인 결과를 도출시킬 수 없게 될 것이다. 따라서 하상의 경년별 변화에 따른 기준 수위-유량 관계곡선 및 수리특성량의 환산기준은 수공학 분야에서 큰 의미를 갖는다.

본 연구에서는 낙동강 하천정비기본계획과 자연적인 현상으로 하상이 변화된 적포교 및 진동지점을 대상으로 하여 해석을 실시하였으며 비교적 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 과거자료의 부족과 실측된

Table 7. The Relation between Water Level and Cross Sectional Area at Jeokpogyo

Area Relation Equation	Application Range	Coefficient of Determination
$A = 60.7466H^2 - 105.2577H + 345.4024$	$0.32 < H \leq 2.04$	0.9711
$A = 35.8410H^2 - 4.6445H + 252.9564$	$2.04 < H \leq 6.90$	0.9990
$A = 92.1403H^{1.6934}$	$6.90 < H \leq 11.26$	0.9987

Table 8. The Relation between Water Level and Cross Sectional Area at Jindong

Area Relation Equation	Application Range	Coefficient of Determination
$A = 13.8470H^{3.2069}$	$1.66 \leq H \leq 2.75$	0.9992
$A = 3.0898H^2 + 267.4958H - 388.0162$	$2.75 < H \leq 11.10$	0.9996
$A = 9.5068H^{2.3839}$	$11.10 < H \leq 12.28$	0.9999

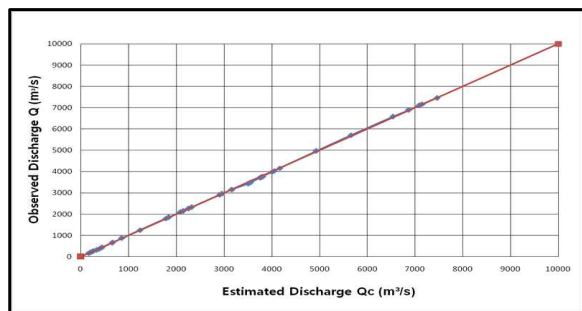


Fig. 13. The Comparison of Observed Discharge with Estimated Discharge by the Water Level-Velocity at Jeokpogyo

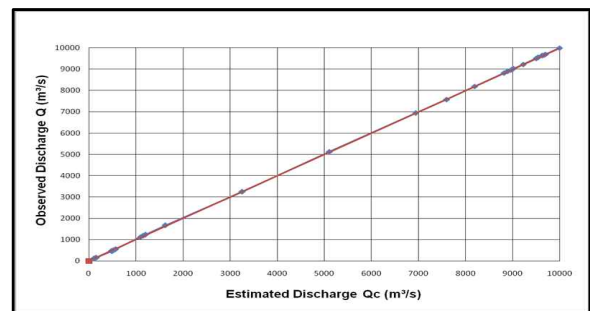


Fig. 14. The Comparison of Observed Discharge with Estimated Discharge by the Water Level-Velocity at Jindong

값의 결함 등으로 인하여 수위와 단면적 관계의 오차보다는 유속의 오차에 따라 결과에 상당한 영향을 끼치는 것과 정확한 측정이 요구됨을 알 수 있었다.

한편, 기왕의 주요 홍수위에 대한 적포교 및 진동 지점의 관측 자료를 2006년 단면 상태 하에서의 수위로 환산하기 위하여, 1986년부터 2006년까지의 주요 홍수자료를 수집하였다. 매년 최대 홍수자료는 관측수위와 이를 이용하여 수위-유량관계곡선으로부터 구한 유량으로, 유량측정 성과로 얻어진 유량과는 약간 상이한 값을 보일 것이다. 따라서 본 장에서는 유량측정 성과로부터 얻어진 과거수위와 환산수위간의 분석을 시행하였다.

Table 9. The Relation between Converted Water Level and Past Water Level

Position	Relation Equation	Coefficient of Determination
Jeokpogyo	$H' = 1.8295H^{0.7611}$	0.9927
Jindong	$H' = 1.5264H^{0.8306}$	0.9868

매년 최대 홍수시의 유량이 현 하도상태에 도래하였을 때의 환산수위를 기준 수위-유량 관계곡선으로부터 구한 후, 환산수위(H')와 과거수위(H)간의 관계

를 검토하였으며, 이를 Fig. 15와 Fig. 16에 도시하였다. Fig. 15와 Fig. 16의 관계에 적합한 최적식은 Table 9와 같다.

여기서, H' : Converted Water Level (m)

H : Past Water Level (m)

Fig. 15와 Fig. 16에서 보면 환산수위는 과거수위에 비해 증가됨을 알 수 있고, 두 지점 모두 약간의 변화를 보이고 있다. 기왕의 주요홍수위에 대한 환산수위는 Table 8과 Table 9에 수록하였다.

Tables 8과 Table 9에서 보면 환산수위가 과거수위보다 높아졌을 뿐만 아니라, 저수위~중수위 범위에서 환산수위와 과거수위간의 차가 더 커짐을 알 수 있다. 그 이유는 낙동강하천정비계획에 따른 저수로 부분의 확장 과 하상경사의 감소에 따른 영향으로 사료된다. 과거수위와 환산수위의 관계식과 수위-유속 관계식, 수위-통수 단면적 관계식을 이용하여 연속방정식에 의한 유량을 산정하였으며, 주요홍수위에 대한 환산수위의 관계식이 적합함을 검증하고, 산정된 유량과 실측유량의 비교한 결과를 도시하여 Fig. 17과 Fig. 18에 나타내었다.

Fig. 17과 Fig. 18에서 보듯이 적포교와 진동 지점의 과거유량과 산정유량이 거의 일치하고 있어 주요 홍수

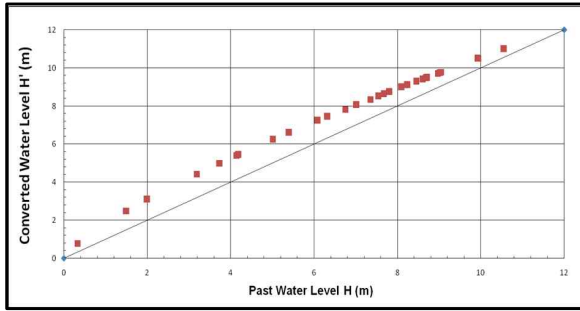


Fig. 15. The Relation between Converted Water Level and Past Water Level at Jeokpogyo

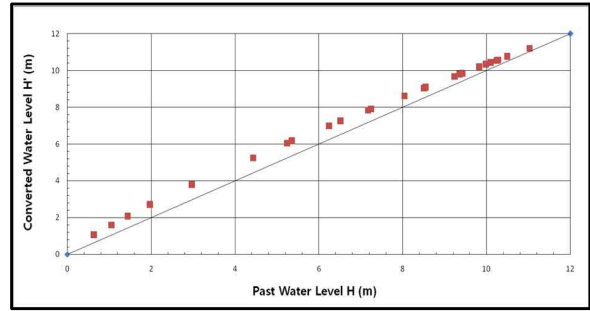


Fig. 16. The Relation between Converted Water Level and Past Water Level at Jindong

Table 10. The Converted Water Level of Historical Flood Water Level at Jeokpogyo

Rank	Year	Discharge(m ³ /s)	Historical Flood Water Level (m)	Converted Water Level (m)
1	1999	10,849.0	9.93	10.50
2	2000	7,695.5	9.94	10.51
3	2003	7,460.5	10.55	10.99
4	1997	6,846.8	8.6	9.41
5	1995	4,106.4	7.67	8.62

Table 11. The Converted Water Level of Historical Flood Water Level at Jindong

Rank	Year	Discharge (m ³ /s)	Historical Flood Water Level (m)	Converted Water Level (m)
1	2002	11,147.0	11.02	11.20
2	2000	9,207.6	10.25	10.55
3	1999	9,020.9	10.49	10.75
4	1998	5,849.2	10.46	10.73
5	1997	6,804.3	8.81	9.3

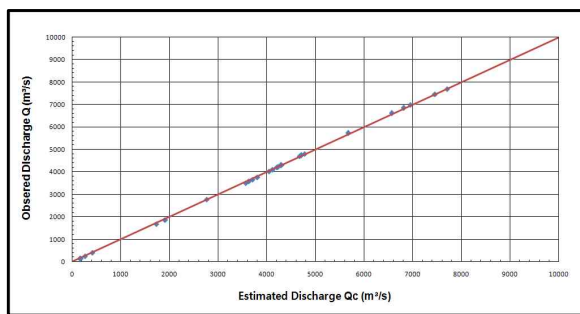


Fig. 17. The Comparison between Observed Discharge and Estimated Discharge for Historical Flood at Jeokpogyo

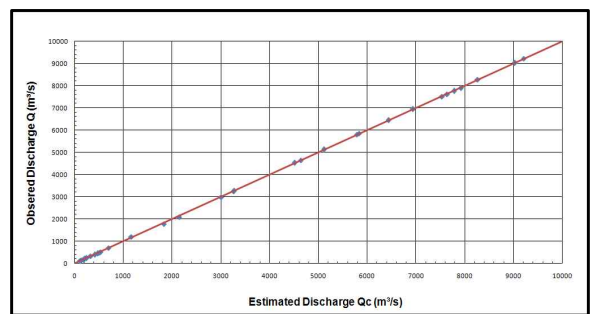


Fig. 18. The Comparison between Observed Discharge and Estimated Discharge for Historical Flood at Jindong

위에 대한 환산수위 관계식의 적합함이 재차 검증되었다.

5. 결론

본 연구는 하상이 경년별로 변화함에 따라 발생하는 수위—유량 관계곡선의 오차를 줄이기 위하여 기준 수

위—유량 관계곡선과 기왕의 수위—유량관계곡선간의 관계 및 수위, 유속, 단면적 등 수리기하학적인 특성을 분석한 것으로서, 얻어진 주요 성과는 다음과 같다.

- 1) 과거의 하상상태에 경년별로 측정된 기왕의 유량 측정성과를 2006년 단면 상태의 수리량으로 환산

하여 과거수위와 현재수위, 과거유속과 현재유속 간의 관계식을 도출하였다.

- 2) 적포교와 진동 지점에서 2006년 단면상태 하의 환산수위가 과거수위보다 더 높게 나타났고, 반대로 환산유속은 과거유속보다 낮게 나타났다.
- 3) 유량측정 성과로부터 얻어진 과거수위와 환산수위 간의 관계를 검토한 결과, 환산수위가 과거수위보다 높게 나왔는데, 이는 저수로 부분의 확장과 하상경사의 감소에 따른 영향으로 사료된다.
- 4) 기왕의 수위-유량관계곡선식과 수리학적인 유량산정방법을 비교하기 위하여 수위-단면적 관계식, 수위-유속 관계식을 개발하고 이들로부터 산정유량을 구하여 실측유량과 비교하였으며, 매우 만족스러운 결과를 얻었다.

본 연구의 결과는 매년 수행이 어려운 수위-유량곡선의 작성지점이나 하도의 특성상 수시로 하상이 변화하는 지점에 유용하게 이용될 것이며, 지속적인 연구를 통해 하상변동이 고려된 수위-유량곡선의 작성에도 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 교육인적자원부가 출연한 2004년 NURI 사업(04-아-C-35)에 의한 방재전문인력양성사업단의 2008년도 산학협동연구과제의 연구 성과로서, 지원해 준 방재전문인력양성사업단에 감사드립니다.

참고 문헌

국토해양부 (2003). 낙동강수계 본류 유량측정조사 보고서.

국토해양부 (2006). 낙동강수계 본류 유량측정조사 보고서.

국토해양부 (1990). 낙동강수계 홍수량 측정조사 보고서.

국토해양부 (1991). 낙동강수계 홍수량 측정조사 보고서.

국토해양부 (1993). 낙동강수계 홍수량 측정조사 보고서.

국토해양부 (1994). 낙동강수계 홍수량 측정조사 보고서.

국토해양부 (1995). 낙동강수계 홍수량 측정조사 보고서.

국토해양부 (1997). 낙동강수계 홍수량 측정조사 보고서.

국토해양부 (1998). 낙동강수계 홍수량 측정조사 보고서.

국토해양부 (1999). 낙동강수계 홍수량 측정조사 보고서.

국토해양부 (1986). 낙동강 유량 측정조사.

김삼은, 강규상, 정찬용, 임혁진, 김형섭, 정성원 (2007). “2006년도 낙동강본류 5개 지점 수위-유량관계곡선식 검증.” **한국수자원학회 2007년도 학술발표회 논문집**, pp. 1814-1818.

노재경, 이한구 (1999). “수위-유량 관계식의 수문학적 검증.” **한국수자원학회 학술대회논문집, 한국수자원학회 1999년도 학술발표회 논문집**, pp. 75-80.

이한구 (2003). “사용자설명서 수문자료상시평가프로그램/Rating 개발시스템.”, 한국수자원공사.

정홍수, 이원환, 이재준 (1988). “하상의 경년변화에 따른 수위-유량 관계곡선의 해석.” **대한토목학회 논문집**, 제8권, 제3호, pp. 61-70.

추태호, 김현식, 김만식, 김철구 (2000). “감조하천에서 수위-유량관계곡선식에 관한 연구.” **한국수자원학회 논문집**, Vol. 33, No. S1, pp. 535-540.

Dickinson, W. T. (1967). “Accuracy of Discharge Determinations.” *Hydrology Paper* No. 20, Department of Civil Engineering, Colorado State University, pp. 54.

Dyer, A. J. (1970). “River Discharge Measurement by the Rising Float Technique.” *Journal of Hydrology*, Vol. 11, pp. 201-212.

El-Jabi N. and G. Wakim and S. Sarraf (1992). “Stage-Discharge Relationship in Tidal Rivers.” *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 118, No. 2, March/April 1992, pp. 166-174.

Herschy, R. W. (1995). *Streamflow Measurement*. Second Edition, E & FN Spon, London, UK, pp. 524.

ISO (1998). “Measurement of Liquid Flow in open Channels- Part 2; Determination of the Stage-Discharge Relation.” *ISO1100-2: 1998(E)*, pp. 25.

Smart, G. M.(1992). “Stage-Discharge Discontinuity in Composite Flood Channels.” *Journal of Hydraulic Research JHYRAF*. Vol. 30, No. 6, pp. 817-833.

Pickup, G. and W. A. Rieger (1979). “A Conceptual Model of Relationship between Channel Characteristics and Discharge.” *Earth Surface Processes*, Vol. 4, pp. 37-42.

Tillery A.C. and J.V. Phillips and J.P. Capesius (2001). “Potential Errors Associated with Stage-Discharge Relations for Selected Streamflow-Gaging Stations, Maricopa County, Arizona.” *Water Resources Investigations Report*. United States Geological Survey. Vol. 4224, No. 66 pp. 2001.

논문번호: 09-077	접수: 2009.06.29
수정일자: 2009.08.28	심사완료: 2009.08.28