

河床의 經年變化에 따른 水位-流量 關係曲線의 解析

—漢江 人道橋地點을 中心으로—

An Analysis on the Stage-Discharge Relation Curve with the Temporal Variation of the River Bed

—at Indogyo Station of the Han River—

鄭	興	秀*
Cheong,	Heung	Soo
李	元	煥**
Lee,	Won	Hwan
李	在	浚***
Lee,	Jae	Joon

Abstract

The stage-discharge relation curve (rating curve) is the basic formula in hydrologic analysis. It plays an important role in converting to the discharge from available flood water level data including the daily mean stage.

However, the river induces a cross section change at the gauging station because of the composed material of the river bed and three processes of the stream flow; i.e., erosion, transportation, and sedimentation. Rating curve has to be revised according to the temporal variation of the river bed due to the those factors.

In this study, the basic rating curve is developed with respect to the current river bed to convert the existing rating curves and also to seize the hydraulic and geometric characteristics for the temporal variation of the river bed, relationships among the basic rating curve and the existing rating curves, water level, cross sectional area, and flow velocity are analyzed.

Indogyo station, which is not only the key station of the Han river but also greatly changed the river bed after completion of the Han river development plan during the year 1983 to 1986, was chosen for the study.

In this study, the river bed is assumed in a dynamic equilibrium condition. The basic rating curve is developed using hydrologic data of the physical year of 1987. For a given discharge, relationships for conversion of previous data, stage and velocity, the

* 정회원 · 건설부 국립건설시험소 토질시험과장

** 정회원 · 연세대학교 공과대학 교수

*** 정회원 · 경기대학교 공과대학 강사

current one are formulated.

To verify the usefulness of the relationships, stage-cross sectional area and stage-velocity formula are also derived. Both hydrologic method using continuity equation and statistical method by the rating curve are compared and checked, then the validation of the both are positively shown.

要 旨

본 연구에서는 하상이 경년별로 변화함에 따라 발생하는 수위—유량 관계곡선의 오차를 보완코자 현 하도상태에 대한 기준 수위—유량 관계곡선을 개발하여 일원화시키고, 과거의 하상상태와 경년별로 작성되어 왔던 수위—유량 관계곡선들과의 관계 및 수위, 단면적, 유속 등에 대한 수리기하학적 특성을 분석하였다.

연구의 대상지점으로는 한강 종합개발 사업 이후 하도단면이 크게 변화된 인도교지점을 택하였으며 개발 이후의 현 단면(1987년)을 동적평형 상태로 가정하여 분석을 진행하였다. 1987년도의 유량측정 자료를 이용하여 기준 수위—유량 관계곡선을 개발하고, 과거의 실측유량값을 현 상태하에서의 유량으로 환산하였을 때 얻어지는 수위(환산수위)와 과거수위와의 관계 및 환산유속과 과거유속간의 관계 그리고 수위—통수단면적 관계, 수위—유속 관계 등의 상관식을 유도하여 기왕의 많은 자료들을 앞으로도 활용할 수 있도록 상관해석 하였다.

1. 서 론

하천의 유량자료는 치수와 이수부의 양면에서 볼 때 수자원의 변동상태를 파악할 수 있는 중요한 자료가 된다. 그러나 자연하천에서의 유량측정은 복잡하고도 어려운 과업이기 때문에 항상 측정할 수도 없고, 대표적인 몇 회의 측정자료로서 관측지점의 수위 대 유량을 나타낼 수 있는 수위—유량 관계곡선을 작성하여 수위의 관측만으로서 유량측정을 대신하고 있는 실정이다

자연하천은 하도의 구성물질과 그 위를 흐르는 유수와 상호작용이 어우러져 침식과 퇴적작용이 일어나며 그 결과 수위 및 유량관측 지점에 단면변화가 발생하게 된다. 이러한 하상변동이 경년별로 진행이 되면 과거에 수립된 수위 대 유량의 관계는 적합하지 않게 되어 새로운 수위—유량 관계곡선의 유도가 필요하게 된다. 그러므로 일정한 기간이 경과하면 하천의 수위—유량 관계곡선은 횡단면 측량성과와 유속측정 성과를 이용하여 재수립되고 있으나 안정하도가 가까운 하상이 되면 더 이상의 변화는 일어나지 않게 될 것이다.

본 연구에서는 한강 종합개발 사업으로 인하

여 종전의 하도단면이 크게 변화되었으므로 현재의 인도교 횡단면에 적용되는 새로운 수위—유량 관계곡선을 개발하고, 이 수위—유량 관계곡선(rating curve)을 기준 수위—유량 관계곡선으로 하여 과거 수로정비전에 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) 한강 종합개발 사업이후 새로이 형성된 인도교 수위 관측지점에서 측정된 유량측정성과를 바탕으로 하여 새로운 수위—유량 관계곡선을 유도한다.
- 2) 새로 유도된 수위—유량 관계곡선을 기준 수위—유량 관계곡선으로 한다.
- 3) 현 하도 상태하에서의 수리기하학적 특성을 파악하기 위하여 수위 대 유속 관계식을 유도한다.
- 4) 과거 하상상태가 각각 다른 경우에 측정되었던 유량측정 성과중에서 유량자료는 현 하도상태에서 동일하게 발생된 것으로 보고 과거 수위를 현 단면 상태하의 수위로 환산

하여 과거와 현재의 수위 관계를 정년별로 분석한다.

- 5) 현재 기준으로 환산된 수위와 단면적 및 유속과의 관계로 부터 유량을 산정하여 과거 유량과의 일치도를 분석함으로써 본 연구 방법의 타당성을 검증한다.
- 6) 이상의 성과를 요약 정리하여 과거의 유량 측정 자료를 일원화시킨다.

또한 본 연구 수행과정에서의 제한사항 및 기본 가정은 다음과 같다.

- 1) 인도교 수위 관측지점은 한강 종합개발 사업의 준공으로 계획 하상고가 평형하상고까지 굴착되어 안정하도에 이른 것으로 가정한다.
- 2) 한강 종합개발 사업 준공 후 1년이 경과된 1987 년도의 하도를 동적 평형상태에 도달한 것으로 보고 1987 년도의 유량측정 성과를 기준으로 한다.
- 3) 해석수법은 통계학적인 방법이므로 회귀분석 등에 사용된 자료의 제한 때문에 사용범위가 제약을 받는다.

2. 현황 및 기본자료

본 연구의 대상지점으로는 한강 유역의 주요 관측지점(key station)인 인도교 수위 관측소를

택하였으며, 인도교 지점은 과거 골재채취와 준설 등의 인공적인 하도변화와 세굴, 퇴적 등의 자연적인 하도변화를 거치면서도 장기간의 수위 및 유량자료를 보유하고 있어 해석에 비교적 적합한 지역으로 판단되었다. 또한 1982년부터 1986년까지 시행된 한강 종합개발 사업으로 인해 대표적인 하도단면의 변화가 이루어졌으며, 행주 잠언 및 충주댐의 준공에 따른 유하량의 증가로 인해 과거 유하량 기록자료와는 근본적으로 다른 자료에 대한 동질성(homogeneity)의 결여를 내포하게 되는 것으로 사료되는 바, 현재 상태를 기준으로 과거의 유하량 자료를 환산하여 홍수량 빈도해석, 갈수량 빈도해석 및 유황 분석 등에 활용할 수 있도록 하여야 하며, 이러한 연구는 하천 계수계획 및 하천 종합개발 계획 등으로 인하여 과거의 하천상황과 급격하게 변모된 지점에 대해서는 추후 계속되어야 할 것이다.

2.1 인도교 수위 관측소의 경년별 하상변동 상황

인도교 수위 관측소의 경년별 하상단면의 변화를 파악하기 위하여 과거 1963년부터 1987년까지 측정된 횡단면 형상을 그림 1에 나타내었으며, (1, 3, 4, 5, 6)이 횡단면 측정성과를 기준으로 각 변곡점의 좌표를 중심으로 단면을 분할하여 수위별 통수 단면적을 산정하였으며 이를 도시

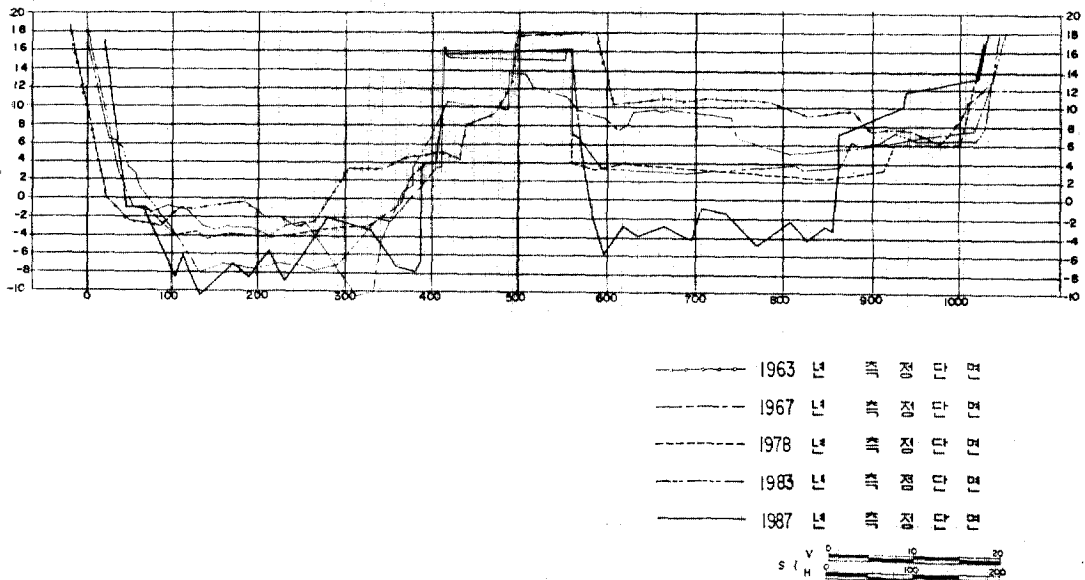


그림 1. 인도교 지점의 경년별 횡단면 변화 비교도

하상정비로 증지도 우안측 단면이 상당히 깊이 굴착됨으로서 커다란 단면변화를 나타낸 것으로 사료된다. 이 단면 변화를 1983 년도의 하상상태를 기준으로 단면적의 변화율을 나타내면 표 1 과 같다. 표 1 에서 1987 년도의 단면적 변화율을 보면 El. 3.0m이하의 저수위에서는 70% 이상의 증가를 보여 한강 종합개발 사업의 저수로 굴착에 의한 영향이 큼을 알 수 있다.

표 1. 1983 년도 하상상태를 기준으로한 경년별 단면적의 변화율 (단위: %)

수 위 (El.m)	1963	1967	1978	1983	1987
0.0	-67.5	-30.6	-39.9	0.0	71.5
1.0	-59.5	-25.5	-33.0	0.0	75.2
2.0	-53.6	-22.0	-28.3	0.0	76.9
3.0	-49.2	-19.5	-22.5	0.0	77.2
4.0	-48.4	-23.4	-17.1	0.0	64.9
5.0	-47.3	-27.0	-12.2	0.0	53.9
6.0	-45.8	-28.0	-9.0	0.0	45.5
7.0	-45.5	-28.1	-7.2	0.0	36.6

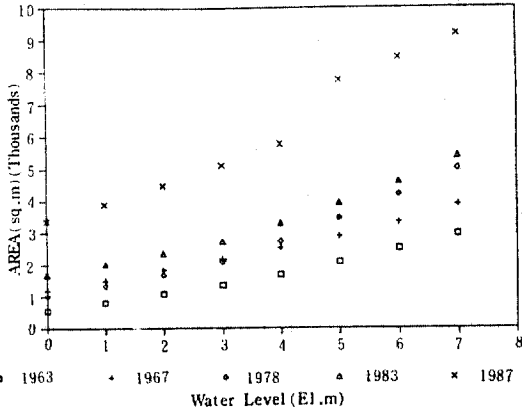


그림 2. 각 조사년도별 수위 대 단면적

하면 그림 2 와 같다.

그림 2 에서 보면 인도교지점의 단면적은 경년별로 증대되고 있음을 알 수 있으며 이 원인으로서는 연도별로 볼 때 1963 년~1978 년의 15년 간은 증지도의 건립을 위한 인위적인 하상굴착과 유수에 의한 세굴현상 등으로 생각되며, 1983 ~1987 년의 기간은 한강 종합개발 사업에 의한

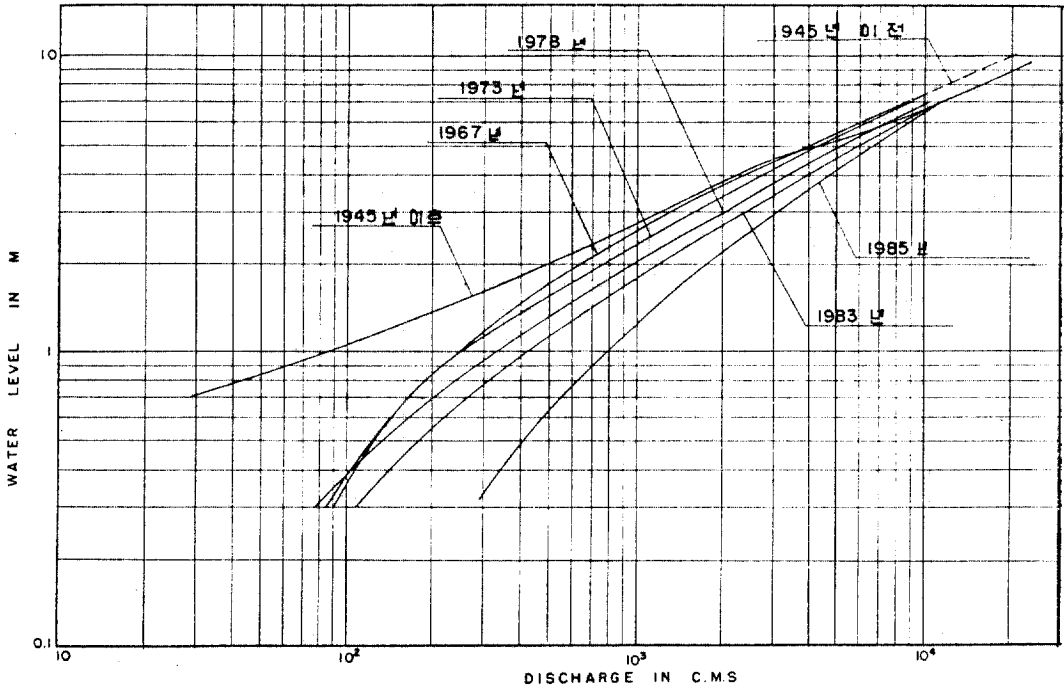


그림 3. 인도교 지점에 대한 기왕의 수위-유량 관계곡선

2.2 인도교 수위 관측소의 수위—유량 관계 곡선 변동상황

인도교 지점의 유량측정 성과를 이용하여 경년별 수위—유량 관계곡선식은 건설부의 주관하에 발표되어져 왔으며, 이를 도시하면 그림 3과 같다^(2,3,4,5,9).

2.3 인도교 수위 관측소의 유량측정 자료

인도교 지점의 유량측정 성과는 주로 건설부가 주관하여 실시되어 왔으며, 매년 수회에 걸쳐 유량조사를 통해 얻어진 결과를 한국수문조사연보 및 홍수량 측정조사보고서에 수록하여 왔다.

본 연구에서는 현 단면(1987년기준)하의 수위—유량 관계곡선을 개발하여 기존 rating curve를 설정하고, 과거의 유하량 기록자료를 현 단면하의 자료로 환산하는 기법을 다루고 있으므로, 기본자료인 1987년도 유량 측정자료는 홍수량 측정조사 보고서에서 추출하였으며⁽⁶⁾, 1964년~1986년까지의 유량 측정자료는 한국수문조사연보 등에서 추출하였다^(2,4,5).

3. 수위—유량 관계곡선의 개발

3.1 기준 수위—유량 관계곡선

한강 종합개발사업이 준공됨에 따라 한강 하류부는 평형하상고까지 하상이 굴착되어 수위대 통수단면적이 상당히 증가하게 되었으며 저수로 정비와 초지, 고수부지의 조성등 하도단면의 복단면화가 이루어져 새로운 수위—유량 관계곡선의 수립이 불가피하다.

본 절에서는 인도교 지점을 중심으로 한 한강 하류부가 안정하도에 가까운 평형하천 상태를 유지할 것으로 가정하여, 1987년도 유량측정 자료를 사용하여 수위—유량 관계곡선을 유도하기로 하며 수위—유량 관계곡선식의 기본식으로는 다음의 세가지 경우를 택하여 검토하였다.

$$Q^{1/2} = aH + b \quad (1)$$

$$Q = aH^n \quad (2)$$

$$Q = a_0 + a_1H + a_2H^2 + \dots + a_nH^n \quad (3)$$

식 (1), (2), (3)을 기본형으로 하여 각각의 회귀계수 및 상관계수를 최소자승법⁽⁷⁾을 이용하여 추정하였으며, 저수유량 및 고수유량에 대한 적합도를 고려하여 기본식형 (2)를 인도교

지점에 대한 수위—유량 관계곡선식으로 결정하였으며 이를 그림 4에 도시하였다.

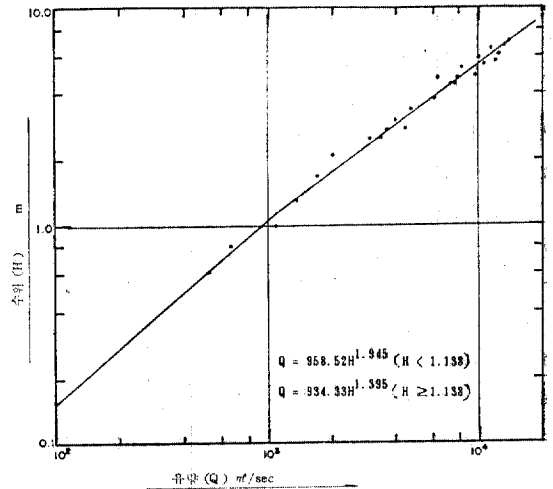


그림 4. 인도교 지점에 대한 수위—유량 관계곡선 (1987년)

3.2 과거 수리특성량과 환산 수리특성량간의 관계 분석

(1) 수위

수위는 하천의 개수계획 수립시나 홍수의 규모를 파악하는 척도가 되는 수문량으로서 유수량과 달리 항시 측정되고 있다. 그러나 수위 관측지점의 횡단면의 변화와 상·하류 구간의 하상경사의 변화등으로 인하여 경년별로 동일한 유량에 대하여도 자기 상이한 수위를 보이게 된다.

본 절에서는 기왕의 유량측정 성과로서 기록된 수위자료를 현 단면상태하의 수위로 환산하기 위하여 3.1절에서 개발된 기준 수위—유량 관계곡선을 이용하였다.

하천 단면에 대한 기하학적인 특성이 변한다고 볼 때 그 단면에서의 유량에는 변화가 없다고 간주한다. 즉, 과거 유량의 실적이 현 단면하에서도 동일한 규모의 유량을 나타낸다고 생각하여 기준수위로 환산하였다. 과거에 관측된 수위를 H , 유량을 Q 라 하고, 이 유량 Q 에 대한 현 단면 상태(1987년도 단면)에서의 수위를 H' 이라 할 때 수위와 유량간의 관계는 다음

식으로 나타낼 수 있다.

$$Q=f(H) \quad (4)$$

$$Q=g(H') \quad (5)$$

여기서, H ; 과거의 수위(m)

Q ; 과거의 유량(CMS)

H' ; 현재의 수위(m)

f, g ; 함수

식(4)와 식(5)의 좌변은 동일하므로 식(5)로부터 식(6)이 얻어진다.

$$H'=g^{-1}Q \quad (6)$$

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

$$H'=I(H) \quad (7)$$

여기서, I ; 함수

따라서 기왕의 유량측정 자료와 3.1 절의 기준 수위—유량 관계곡선식으로 부터 식(6)에 의해 현 상태하의 수위 H' 을 구한 후의 수위 H 와 식(7)에 의해 함수관계를 분석하였다. 이와같은 방법으로 구한 H' 과 H 의 관계식을 표 2에 수록하였다.

그림 5는 1975~1979년에 대한 과거수위와 현 상태하의 수위관계를 도시한 것이다.

(2) 유속

하천 단면의 수리기하학적 특성과 유속과의 관계를 검토하기 위하여 1987년도에 측정된 기준 자료를 바탕으로 유속과 수위와의 관계를 검

표 2. 동일유량에 대한 과거수위(H)와 환산수위(H')간의 관계식

년 도	$H'-H$ 관계식	상 계 관 수
1964	$H'=0.31847H^{1.9986}$	0.9980
1966	$H'=0.22904H^{1.6120}$	0.9849
1967	$H'=(0.26605+0.28849H)^2$	0.9973
1968	$H'=(0.30872+0.27324H)^2$	0.9920
1978	$H'=-2.4123+1.2015H$	0.9987
1979	$H'=0.34444H^{0.5248}$	0.9722
1982	$H'=0.53223H^{1.2023}$	0.9951
1986	$H'=-0.26689+0.71762H$	0.9778
1964~1968	$H'=(0.29468+0.27798H)^2$	0.9953
1975~1979	$H'=(0.32075+0.30372H)^2$	0.9963
1980~1983	$H'=(0.39042+0.32010H)^2$	0.9901
1985~1986	$H'=0.05910+0.66361H$	0.9358
1964~1982	$H'=(0.36001+0.27644H)^2$	0.9900

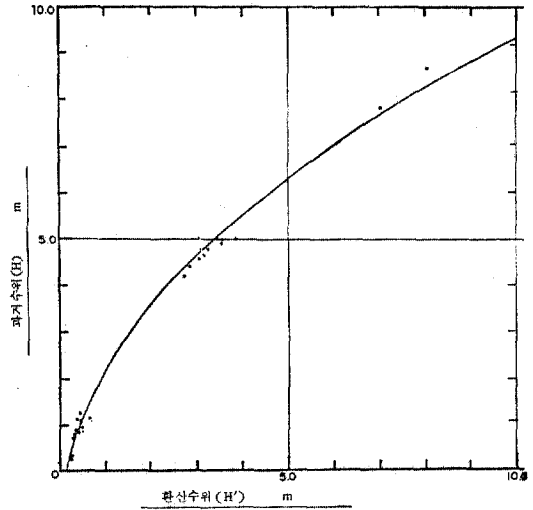


그림 5. 동일유량에 대한 과거수위(H)와 환산수위(H')의 관계도(1975~1979)

토하였다.

Manning의 평균 유속공식을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} = fR^a \quad (8)$$

여기서, R ; 경심

a, f ; 계수

하폭이 수심에 비해 상당히 넓은 경우, 경심 R 은 수심 h 로 대치시킬 수 있으므로, 유속과 수심(또는 수위)의 함수 관계가 성립된다. 즉,

$$V = aH^n \quad (9)$$

여기서, H ; 수위(m)

V ; 평균유속(m/sec)

a, n ; 계수

1987년도에 측정된 유속과 수위를 이용하여 계수 a, n 을 최소자승법으로 추정하였으며, 그림 6은 수위와 유속간의 이원화한 관계를 도시한 것이다.

식(9)의 관계를 이용하면 과거 유속에 대한 현 상태하의 유속관계를 추론할 수가 있다. 과거 수위를 H , 유속을 V 라 하고, 현 상태로 환산된 수위를 H' , 유속을 V' 라 하면 다음 관계가 성립된다.

$$V' = a(H')^n \quad (10)$$

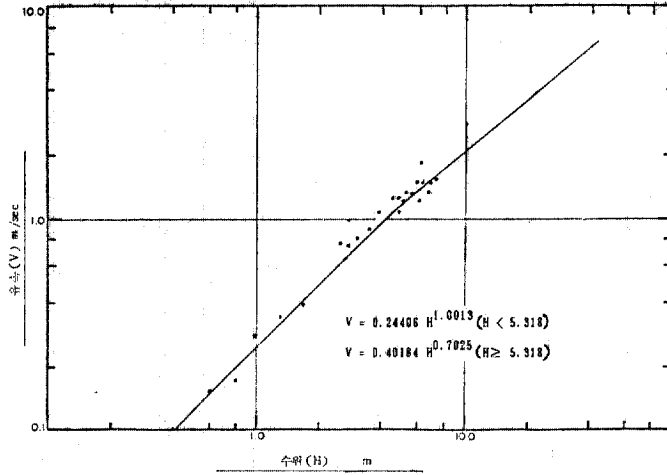


그림 6. 인도교 지점에 대한 수위-유속 관계곡선(1987년)

즉, 식(6)으로 구한 현 상태하의 수위 H' 을 식(10)에 대입하면 현 상태하의 유속 V' 이 얻어지며, 과거유속 V 와 현 상태로 환산된 유속 V' 과의 관계를 검토할 수 있다.

표 3은 과거 유속과 현 상태하의 유속간의 관계식을 수록한 것이며, 그림 7은 1975~1979년에 대한 V 와 V' 의 관계를 도시한 것이다.

표 3. 동일유량에 대한 과거 유속(V)과 환산 유속(V')간의 관계식

년 도	$V'-V$ 관계식	상 관 수
1964	$V'=(0.19528+0.56208V)^2$	0.9944
1966	$V'=0.09110+0.70251V$	0.8724
1967	$V'=0.58444V^{1.128}$	0.9922
1968	$V'=(0.15226+0.57699V)^2$	0.9325
1978	$V'=(0.47930+0.40602V)^2$	0.9994
1979	$V'=0.00235+0.68629V$	0.9993
1982	$V'=0.82876V^{0.9994}$	0.9962
1986	$V'=0.62422V^{0.8795}$	0.9989
1964~1968	$V'=0.61187V^{1.1210}$	0.9758
1975~1979	$V'=-0.03517+0.83406V$	0.9985
1980~1983	$V'=(0.21606+0.71681V)^2$	0.9875
1985~1986	$V'=0.61684V^{0.8730}$	0.9989
1964~1982	$V'=-0.00684+0.72555V$	0.9709

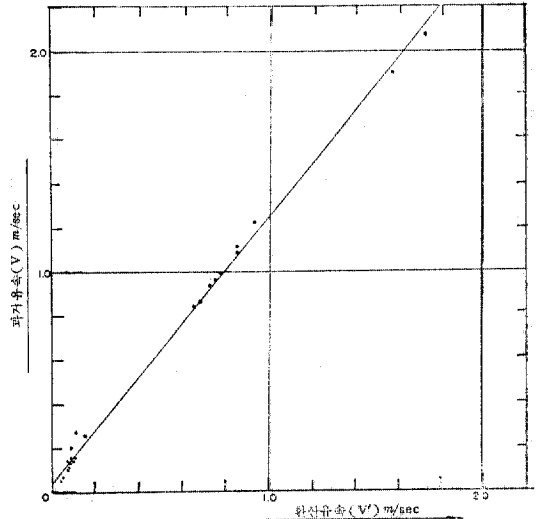


그림 7. 수위-유속 관계식에 의한 과거유속(V)과 환산유속(V')의 관계도(1975~1979)

3.3 기준 수위-유량 관계곡선의 검정

수위-유량 관계곡선식에 의해 임의 수위에 대한 유량을 구하는 방법은 일종의 통계학적인 접근방법으로서 이의 검정을 위해서는 하천유량에 대한 연속 방정식을 검토해 볼 필요가 있다. 즉,

$$Q=AV \quad (11)$$

여기서, A : 단면적(m^2)

V : 평균유속(m/sec)

식(11)에서 $A=f(H)$, $V=g(H)$ 이므로 이를 고려하면 식(11)을 다음과 같이 쓸수 있다.

$$Q=f(H) \cdot g(H) = I(H) \quad (12)$$

즉 식(12)는 통계학적인 방법으로 구한 수위—유량 관계곡선과 같으며, 식(11)은 수리학적인 방법에 의해 표현되는 연속 방정식이다.

본 연구에서는 과거 유량이 현 상태에서 유하하게 될 때 그에 대응되는 수위 및 유속, 단면적 등 수리학적인 특성을 규명하는 것이므로, 여기에서는 과거 유량과 현상태하로 환산된 수위 및 유속을 이용하여 산정된 유량을 서로 비교하여 본 방법의 적용성을 검토하였다.

현 상태하에서의 유량을 수리학적인 방법으로 산정하기 위하여 먼저 현 단면하의 수위별 통수 단면적을 검토하여 표 4 와 같은 식으로 나타내었다.

표 4. 수위와 통수 단면적간의 관계식(1987년)

수위(H)—단면적(A)관계식	적용범위	상관계수
$A=(57.991+4.47H)^2$	$H < 4.5$	$r=0.9974$
$A=(68.157+3.97H)^2$	$H \geq 4.5$	$r=0.9999$

과거 유량과 산정유량을 비교하기 위한 절차는 다음과 같다.

- i) 과거유량을 현재유량으로 본다. (Q)
- ii) 현재유량에 대응되는 수위(H')를 기준 수위—유량 관계곡선으로부터 구한다.
- iii) 수위 H' 에 대한 현 상태하에서의 유속 V' 을 구한다.
- iv) 수위 H' 에 대한 현 상태하에서의 단면적 A' 을 구한다.
- v) A' 과 V' 을 서로 곱하여 산정유량 Q_s 를 구한다.
- vi) Q 와 Q_s 를 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 수리학적인 방법으로 구한 산정유량을 비교하기 위하여 그 결과를 그림 8에 도시하였다. 그림 8은 수위—유속 관계식을 2원화한 식에 의한 산정유량을 나타낸 것으로서 그림 8을 보면, 그림 6을 수위—유속 관계로 사용한 경우가 훨씬 정도가 높음을 알 수 있고 특히 1,500 CMS 이하의 저수유량과 9,000 CMS 이상의 고수유량의 경우에는 과거 실측유량과 산정유량이 거의 일치됨을 볼 수 있어 본 방법의 적용성이 입증되고 있다. 그러나 1,500~6,000 CMS에서는 그림 8의 산정유량이 약간 작게 나타나 이 부근 유량에 대해서는 수위—유속 관계식이 보완되어야 할 것으로 사료된다.

이상의 결과로부터 기준 수위—유량 관계곡선식, 수위—통수 단면적 관계식, 수위—유속 곡선식을 활용하면 과거의 유량측정 자료를 현 상태하의 자료로 환산할 수 있다.

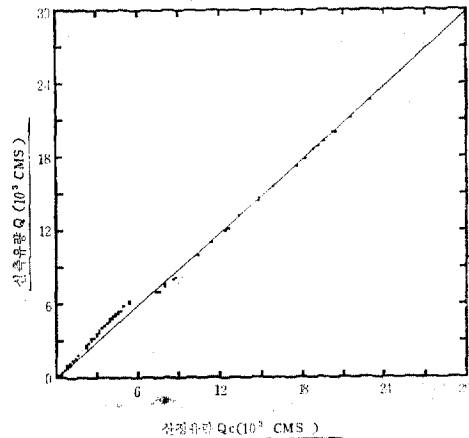


그림 8. 수위—유속 관계식에 의한 산정유량(Q_c)과 실측유량(Q)의 비교

4. 비교고찰

자연적인 하상변화 또는 인위적인 하상변화로 인해 야기되는 자연하천의 횡단면 및 하상경사의 변화는 수위—유량 관계곡선의 수정을 요하게 할 뿐만 아니라 각종 수리학적 특성인자들에 게도 큰 영향을 미치게 된다. 이와 같은 상황에서 수집된 수위, 유량자료들은 경년별로 불배 동일자료에 대한 동질성이 결여된 자료집단이 될 가능성이 높아 확률 홍수량 및 갈수량 해석

에 수정없이 이용될 경우에는 합리적인 결과를 산출시킬 수 없게 될 것이다. 그러므로, 하상의 경년별 변화에 대응하는 기준 수위—유량 관계 곡선 및 수리특성량의 환산기준은 하천공학 및 수문학의 분야에서 큰 의미를 갖는다.

본 연구에서는 이상과 같은 관점에서 한강 종합개발 사업 이후 하상이 급격히 변화된 인도교 지점을 대상으로 하여 해석을 실시하였으며 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 기준 수위—유량 관계곡선의 유도에 기본 자료로 이용된 1987 년도의 유량 측정자료는 시간적으로는 비교적 분산측정이 잘 이루어져 계절적인 하천유량의 변동은 고려할 수 있었던 것으로 판단되나, 고수유량에 대한 측정의 기회가 적어 고수위에 대한 적용에는 주의하여야 할 것이다. 그러나, 2원화시킨 수위—유량 관계곡선에 의해 변화시킨 과거의 유량 측정자료가 수위—유속 관계식을 2원화시킨 경우에 거의 같은 일치도를 보여 기준 수위—유량 관계곡선의 외삽이 큰 무리없이 사용될 수 있음을 간접적으로 입증할 수 있었고, 수위—단면적 관계식은 하도단면이 한강 종합개발 사업이후 저수로와 고수부지가 뚜렷이 구분된 복단면으로 되었기 때문에 4.5m 부터 급격한 변화가 나타나 이 수위를 기준으로 하여 역시 2원화시켜 유도하였다. 그러나, 기왕에 측정된 유량측정 성과의 자료수가 비교적 적었고 매년 유량측정이 시행되지 못하였을 뿐만 아니라 측정시의 정도가 의심스러운 정도의 결과치도 많이 나타나서 해석에 어려움이 있었다. 특히 유량의 측정은 수위와 유속을 측정하여 이루어지고 있는데, 수위에 따른 단면적의 영향보다는 유속의 오차에 따라 상당한 양의 오차가 발생되기 때문에 유속의 정확한 측정이 대단히 중요한 문제가 된다. 홍수파의 전파에 의해 수위가 상승 또는 하강될 때의 유속의 변화는 동일 수위에 대해서도 크게 나타나므로 유량측정의 시기도 이를 잘 고려하여 설정하여야 한다.

한편, 기왕의 주요 홍수에 대한 인도교 지점 수위 관측자료를 현 하도상태 하에서의 수위로 환산해 보기 위하여, 1918 년 부터 1986 년 까지의 주요 홍수자료를 수집하였다.

인도교 지점은 수위표의 영점표고가 1962 년

까지 2.47m이던 것이 1963 년 부터 1.97m 로 변경되었으므로 이를 고려하여 1962 년 이전의 관측수위에 0.5m를 가산하였다. 매년 최대 홍수 자료는 관측수위와 이를 이용하여 수위—유량 관계곡선으로 부터 구한 유량으로서, 유량측정 성과로 얻어진 유량과는 약간 상이한 값을 보일 수가 있다. 그러므로 본 장에서는 유량측정 성과로 부터 얻어진 과거수위와 환산수위간의 해석 (표 2)과 별도로 해석하였다.

매년 최대 홍수시의 유량이 현 하도상태에 도래하였을 때의 환산수위를 기준 수위—유량 관계곡선으로 부터 구한 후, 과거수위(H)와 환산수위(H')간의 관계를 검토하였으며, 이를 그림 9에 도시하였다. 그림 9의 관계에 적합한 최적식은 다음과 같이 얻어졌다.

$$H' = 0.35699H^{1.3814}, r = 0.9937 \quad (13)$$

여기서, H' : 기왕의 주요홍수에 대한 환산수위 (m)

H : 기왕의 주요홍수에 대한 관측수위 (m)

r : 상관계수

그림 9에서 보면 환산수위는 과거수위에 비해 상당히 감소하였음을 알 수 있고, 4.0~9.0m의 범위에서 특히 큰 변화를 보이고 있다. 그러나 과거수위 10.8m(유량은 약 26,000 CMS) 이상의 경우에는 환산수위가 과거수위 보다 더 커지고 있는데, 이는 한강 종합개발로 인한 저수로 부분의 확장과 하상경사의 감소에 따른 영향

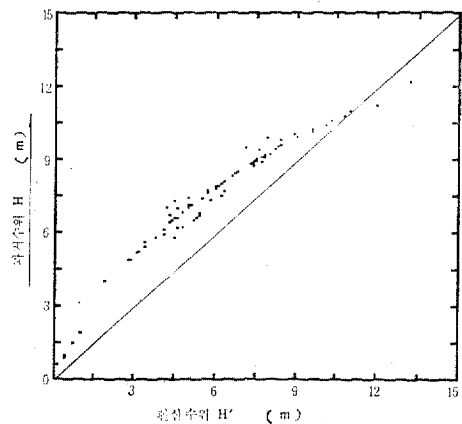


그림 9. 기왕의 주요홍수에 대한 과거수위(H)와 환산수위(H')의 관계도(1918~1984)

표 5. 기왕의 최고 홍수위 및 주요 홍수위에 대한 환산수위

순 위	년 월 일	홍 수 량 (CMS)	과거홍수위 (H:m)	환산수위 (H':m)
1	1925. 7. 18	34,400	12.26	13.275
2	1972. 8. 19	30,000	11.25	12.034
3	1984. 9. 2	26,571	11.03	11.031
4	1965. 7. 16	26,000	10.80	10.860
5	1966. 7. 26	25,900	10.78	10.830

으로 사료된다. 기왕의 주요홍수위에 대한 환산수위는 표 5에 수록되어 있다.

환산수위와 그림 6의 수위—유속 관계식과 표 4의 수위—통수 단면적 관계식을 이용하여 연속 방정식에 의한 유량을 산정하였으며, 이를 과거유량과 비교하기 위하여 그림 10에 도시하였다. 그림 10에서 보면 그림 8에서와 같은 상황으로 과거유량과 산정유량이 거의 일치하고 있어 주요 홍수위에 대한 환산수위의 적합함을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 약 10.80m 이상의 고수위에서는 통수 단면적의 증대와 하상경사의 감소영향이 복합적으로 작용하여 수위의 증대현상이 발생되나, 이의 주요원인으로서는 통수 단면적의 영향 보다 하상경사의 감소에 따른 유속의 감소영향이 크기 때문인 것으로 사료되며, 그 이하의 수위에서는 저수로의 확장에 따른 통수 단면적의 증대에 따른 수위의 저하현상이 일어남을 알 수 있다.

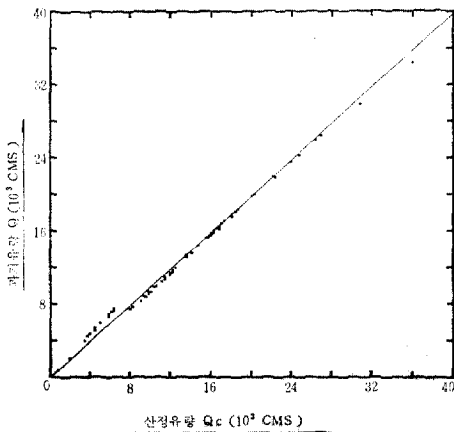


그림 10. 기왕의 주요홍수에 대한 산정유량(Qc)과 과거유량의 비교

5. 결 론

본 연구는 하상이 경년별로 변화함에 따라 발생하는 수위—유량 관계곡선의 오차를 줄이기 위하여 새로운 수위—유량 관계곡선을 개발하여 일원화하는 내용으로서, 기존 수위—유량 관계곡선과 기왕의 수위—유량 관계곡선간의 관계 및 수위, 유속, 단면적등 수리기하학적인 특성을 분석하였는 바 얻어진 성과는 다음과 같다.

- 1) 한강 종합개발 사업이후 하도 단면에 큰 변화가 발생한 인도교 수위 관측지점에 대한 새로운 수위—유량 관계곡선을 개발하였으며, 이를 안정하도(평형 하상고)로 계획된 구간의 기존 수위—유량 관계곡선으로 채택하였다.
- 2) 과거의 하상상태에 경년별로 측정된 기왕의 유량 측정성과를 현 상태하의 수리량으로 환산하여 과거수위와 현재수위, 과거유속과 현재유속간의 상관식을 도출하였다.
- 3) 통계학적인 방법으로 확립된 수위—유량 관계곡선식과 수리학적인 유량 산정방법을 비교하기 위하여 수위—단면적 관계식, 수위—유속 관계식을 개발하고 이들로부턴 산정유량을 구하여 실측 유량과 비교검토하였으며, 만족스러운 정도의 일치도를 얻어 본 방법의 타당성을 확인하였다.
- 4) 기존 수위—유량 관계곡선식과 수위—유속 관계식은 고수위와 저수위에 따라 2원화시킨 경우가 훨씬 높은 정도를 나타냄으로서 홍수시와 갈수시의 유량에 대한 하상계수가 매우 큰 우리나라 하천의 특수성을 간접적으로 파악할 수 있었다.
- 5) 본 연구결과로부터, 저수로 하상고의 저하와 통수 단면적의 증대에 의한 하도계획은 계획 홍수량에 가까운 홍수시(인도교의 경우는 25,000 CMS 이상)에는 홍수위의 변화에 큰 영향을 미치지 않으므로 하천정비 기본계획 수립시에 이러한 사항을 고려함이 바람직할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 건설부, 한강 하상변동 조사 보고서 I~V, 1963

- ~1967.
2. 건설부, 한국 수문조사 년보, 1964~1986.
 3. 건설부, 한국 하천 조사서, 1974.
 4. 건설부, 한강 하천정비 기본계획 보고서, 1978.
 5. 건설부, 홍수량 측정조사 보고서, 1983, 1987.
 6. 서울특별시, 한강 수로 측량 용역 보고서, 1986~1987.
 7. 조원철, 이재준, "직교합수를 이용한 최소 자승법의 정밀도 향상에 관한 연구", 대한토목학회논문집 제 6권 제 4 호, pp.43~52, 1986.12.
 8. 吉川秀夫, 改訂 河川工学, 朝倉書店, 1980.
 9. 朝鮮 總督府, 朝鮮 河川 調査書 附表, 昭和 4 年 8 月.
 10. Biswass, A.K., *History of Hydrology*, North-Holland, Amsterdam, 1970.
 11. Buchanan, J.J. and W.P. Somers, "Stage Measurement at Gaging Stations", Tech. of Water Resource Investigations, USGS, Chapter A7, book3, 1968.
 12. Buchnan, J.J. and W.P. Somers, "Discharge Measurement at Gaging Stations", Tech. of Water Resource Investigations, USGS, Chapter A8, book3, 1969.
 13. Chow, V.T., *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1964.
 14. Corbett, D.N. et al., "Stream Gaging Procedure", Water Supply Paper 888, USGS, 1943.
 15. Dawdy, D.R., "Depth-Discharge Relations in Alluvial Streams-Discontinuous Rating Curves", Water Supply Paper 1498C, USGS, 1961.
 16. Draper, N.R. and H. Smith, *Applied Regression Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., New York, p.407, 1981.
 17. Dyer, A.J., "River Discharge Measurement by the Rising Float Technique", *Jour. of Hydrology*, Vol. 11, pp.201~212, 1970.
 18. Herschy, R.W., "New Methods of River Gauging", in Rodda, J.C. (ed.), *Facets of Hydrology*, Wiley, Chichester, pp.119~161, 1976.
 19. Lacey, G., "Stable Channels in Alluvium", *Proc. Inst. of Civil Engineers*, 229, 1929.
 20. Linsley, R., M. Kohler, and J. Paulhus, *Hydrology for Engineers*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1975.
 21. Manning, R., "On the Flow of Water in Open Channels and Pipes", *Trans. Inst. Civil Engineers Ireland*, Vol. 20 : 161, 1891.
 22. Pickup, G. and W.A. Rieger, "A Conceptual Model of the Relationship between Channel Characteristics and Discharge", *Earth Surface Processes*, Vol. 4, pp.37~42, 1979.
 23. Raudkivi, J.A., Loose., *Boundary Hydraulics*, Pergamon Press' p.331, 1967.
 24. Richards, K., *Rivers-Form and Process in Alluvial Channels*, Methuen and Co., London, 1982.
 25. Rouse, H. and I. Simon, *History of Hydraulics*, Ames, Iowa State University, 1957.
 26. Simons, D.B. and M.A. Stevens, and J.H. Duke, Jr., "Predicting Stages on Sand Bed Rivers", *Jour. of Waterways, Harbour and Coastal Engrg. Div.*, ASCE, Vol. 99, pp.231~244, 1973.

(接授 ; 1988. 7. 9)