

자연하천 유량산정 프로그램 개발

Development of a Stream Discharge Estimation Program

이 상 진* · 황 만 하** · 이 배 성*** · 고 익 환****

Lee, Sang Jin · Hwang, Man Ha · Lee, Bae Sung · Ko, Ick Hwan

Abstract

In this study, we developed a program to estimate discharge efficiently considering major hydraulic characteristic including water level, river bed, water slope and roughness coefficient in a natural river. Stream discharge was measured at Gongju gauge station located in the down stream of the Daechung Dam during normal and dry seasons from 2003 to 2004. The developed model was compared with the results from the existing rating curve at T/M gage stations, and was used for runoff analyses. Evaluating the developed river discharge estimation program, it was applied during 1983-2004 that base flow separation method and RRFS (Rainfall Runoff Forecasting System) which is based on SSARR (Streamflow Synthesis And Reservoir Regulation).

The result presents the stage-discharge curve creator range at the Gong-ju is overestimated by approximately 10-20%, especially at the low stage. It is attributed to the hydraulic characteristics at the study. The discharge simulated by the RRFS and base flow separation, which is calibrated using the measurement at the early spring and late fall season during relatively dry season, shows the least errors. The coefficient of roughness at Gongju station varied with the high and low water level.

Keywords : Roughness coefficient, Rating curve, SSARR, Long-term run-off

I. 서 론

유역 수자원의 효율적인 관리 및 배분을 위해서는 세밀한 강우-유출관계의 규명이 무엇보다 중요하다. 이를 위해서는 먼저 하천 유출지점의 정확한 유량정보가 획득되어야 하며, 장기간에 걸쳐 신뢰성 있는 유량자료의 확보는 더욱 중요한 사항이다.

수공구조물이나 하천의 치수계획, 수자원의 이용·관리를 위해서는 홍수량의 크기 또는 첨두홍수량의 규모를 결정함에 있어서도 유량자료는 매우

* 한국수자원공사 수자원환경연구소
** 한국수자원공사 수자원환경연구소
*** 한국수자원공사 수자원환경연구소
**** 한국수자원공사 수자원환경연구소
* Corresponding author. Tel.: +82-42-860-0431
Fax: +82-42-860-0349
E-mail address: sjlee@kowaco.or.kr

중요하다. 하천의 홍수터 설계 등에 있어서 침투홍수량이 실제 유량보다 크다면 홍수빈도분석 결과는 홍수량을 과대 추정하게 될 것이고 이에 따라 구조물은 과대설계가 될 것이다. 이렇듯 유량자료의 획득은 수자원분야에서 매우 중요한 일임에도 불구하고, 기존의 “실측에 의한 유량산정”으로는 신뢰도가 높은 유량자료를 얻는데 많은 어려움이 있다. 이러한 문제점의 해결방안의 하나로 하천단면의 지형정보와 수리학적 특성을 이용하여 유량을 모의할 수 있는 도구가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 유량관측을 통해 하천의 적절한 단면조도계수를 추정하고, 측정된 하천단면과 수위를 이용하여 유량을 산정하는 방안을 연구하였다. 이러한 유량산정 기법은 평상시 유출상황에 대해서 기본적인 하천의 수리학적 정보와 수위만을 이용하여 유량획득이 가능하게 할뿐만 아니라, 홍수범람 분석시 많은 비용과 시간을 절약할 수 있으며, 기존 수위-유량 곡선 관계의 신뢰도를 평가하는데 유효한 방법이 될 것으로 판단된다. 본 연구에서는 신뢰도가 높고 객관성이 확보된 유량자료를 확보하기 위하여 공주지점을 대상으로 하천 단면 및 연속적인 수위자료와 유량측정 성과를 사용하여 유량규모별 단면 조도계수를 추정하여 계산된 결과와 실측값 및 기존 수위-유량관계 곡선식을 비교·분석하고, 프로그램 검증을 위하여 과거 21년간 수문자료를 사용하여 SSARR 모형을 기반으로 한 유역유출시스템(RRFS)의 결과와 비교하였다.

II. 단면조도계수를 이용한 유량산정

조도계수는 하천 종횡단면 자료로 표현될 수 없는 하천의 모든 형태적 특성과 하상, 제방, 고수부지 등의 표면 특성을 나타내는 유일한 변수이다. 따라서 조도계수는 특정한 식에 의해 단순히 결정되지 않고 대상 하천의 특성에 따라 경험에 의해 적절히 산정된다.

하천의 조도계수를 간접적으로 추정한 국내연구

로 김원 등(1995)은 한강 하류부(팔당댐-인도교) 구간의 하도에 대한 Manning 조도계수를 1차원 부정류 모형인 NETWORK모형을 이용하여 산정하였으며, 이정규와 이창현(2004)은 FLDWAV 모형 내의 수정 Newton-Raphson 방법을 이용하여 높은 정확도를 가진 조도계수를 구하고 한강하류부(팔당댐-전류)에 적용하여 유량에 대한 지수함수식으로 표현되는 조도계수 산정식을 제안하였다. 또한 이상호와 강신욱(2001)은 DWOPER 모형을 기반으로 한 부정류모형을 개발하여 낙동강 하도 3개 지점(현풍, 고령교, 화원)의 수위를 관측하고, 제약전역최적화 기법을 통하여 적절한 조도계수를 추정하고 유량을 산정한 바 있다.

앞선 연구에서 추정된 단면조도계수는 주로 홍수 유출 수문곡선의 추정이나 하도의 홍수량을 분석하는데 이용된다. 일반적으로 단면조도계수를 이용한 하천의 유량 산정기법은 유량측정이 불가능한 지역이나 유량측정 시설물이 설치되어 있지 않아 고수위 및 홍수위 측정이 곤란한 지역의 수위를 유량으로 환산하고자 할 때, 하천특성과 홍수조사에 의해서 유량을 산정하는 방법이다. 이러한 유량산정기법은 통상 경사면적법(slope-area method)과 유사하며, 주로 하천횡단면과 수면경사 등을 이용한다. 이 방법은 일차원 점변류의 정상류 방정식에 근거하고 있다. 실제 자연하천에서의 흐름은 비정상류이나 이러한 비정상류의 변화는 일반적으로 실무적으로는 작게 취급할 수 있기 때문에 흐름의 상태를 정상류로 가정해도 대개의 경우 충분한 정확도를 얻을 수 있다. 이때 유량은 대상하천의 하도 특성, 수면경사, 그리고 Manning식에 기초한 조도계수 등을 바탕으로 한 등류방정식을 기본으로 하여 추정된 조도계수를 사용하여 산정된다(Dairymple and Benson, 1967; Barnes and Davidian, 1967).

에너지 보존법칙(Bernoulli equation)과 질량보존방정식(Manning's equation)으로 구성된 기본방정식을 Fig. 1과 같은 임의 하천구간의 두 단면에 적용하여 단면사이에 흐르는 유량을 산정하는 과정

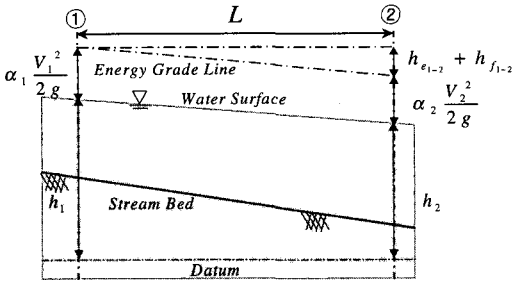


Fig. 1 Energy equation at the reach

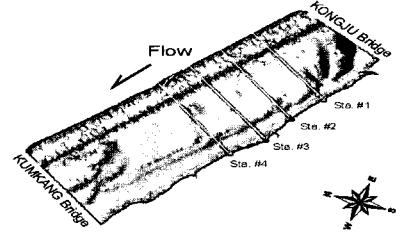


Fig. 2 Reach at Gongju's gauging station

은 다음과 같다.

Figure 1의 단면 1과 단면 2 사이에 에너지 보존 법칙을 적용하면 다음 식 (1)과 같은 에너지 방정 식으로 표현된다.

$$h_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{f_{1-2}} + h_{e_{1-2}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, h_1 과 h_2 는 단면 1과 2지점에서 수위이며, V_1 과 V_2 는 각 단면의 평균유속이다. g 는 중력가속도이며, h_f 는 마찰손실, h_e 는 흐름의 수축이나 확대에 의한 에너지 손실수두이다.

에너지보정 계수 α 는 하천횡단면을 하나의 단면으로 취급할 경우에 1.0으로 가정된다.

III. 자연하천 유량산정

1. 대상지점

공주 T/M수위표 지점을 기준으로 유량측정하기에 적합한 지점을 선정하고 선정된 유량측정 단면에 대한 중·횡단 측량을 실시하였다. 공주수위표의 상하류 하천을 따라 유수의 흐름이 안정적이며 수로의 형상이 직선에 가깝고 접근성이 용이한 곳을 우선적으로 선정하였으며, 하도의 폭이 비교적 좁아 유속측정이 수월한 곳을 선정하였다. 또한, 선정된 구간에서 150 m 간격으로 4개의 유량측정

단면을 선정하였다. Figure 2에서 보는 바와 같이 선정된 구간의 최상류 단면과 최하류 단면에는 기포식 수위계를 설치하여 연속적 수위관측을 실시하며, 중간 두 단면에서는 수위표를 이용한 간이수위계를 설치하여 유량측정시 보조수위표로 사용하였다. 선정된 단면에 대한 측량은 약 500 m에 달하는 하천 횡단면에 대해 각 단면별로 유량측정과 동시에 실시하였으며, 측량 결과는 Figure 3과 같다. 또한 선정구간에서 하도의 형상 및 하천의 경사를 살펴보기 위해 하천의 중단 측량을 좌·우안에서 각각 실시하였다. 하상의 상태는 전 구간에 걸쳐 잔자갈 및 모래가 주를 이루며 좌안은 일부 하천정비가 이루어 졌으며 우안은 모래언덕으로 유하폭은 하류부로 갈수록 완만하게 넓어진다.

2. 대상 지점의 수리학적 특성

하천의 수위와 유량 특성을 결정짓는 물리적 현상은 대부분 단면통제(section control)와 하도통제(channal control)로 나누어 설명할 수 있는데, 전자는 하천의 어느 특정 단면이 보통 갈수시에 수위-유량관계를 통제함을 말하는 것으로 자연적으로 생성된 자갈언덕이나 인공적으로 설치된 보가 이에 해당되며, 후자는 보통 홍수시에 하류 하도의 만곡이나 조도계수 등 통수능에 수위-유량관계가 통제됨을 의미한다.

공주 T/M수위표 지점은 Photo 1에서 보는 것과 같이 평·갈수기시 흐름을 차단하여 원활한 통수능

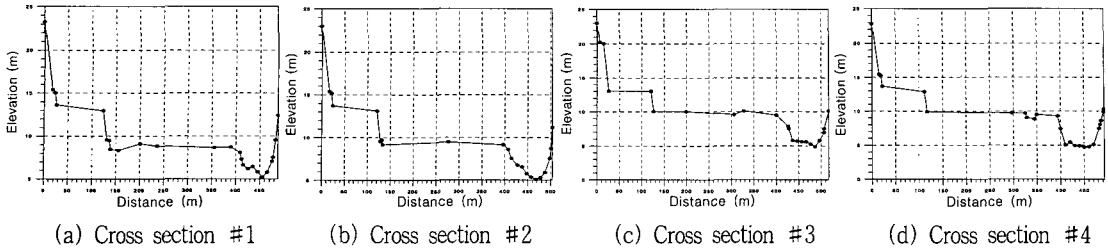


Fig. 3 Channel survey near Gongju gauging station(2003)

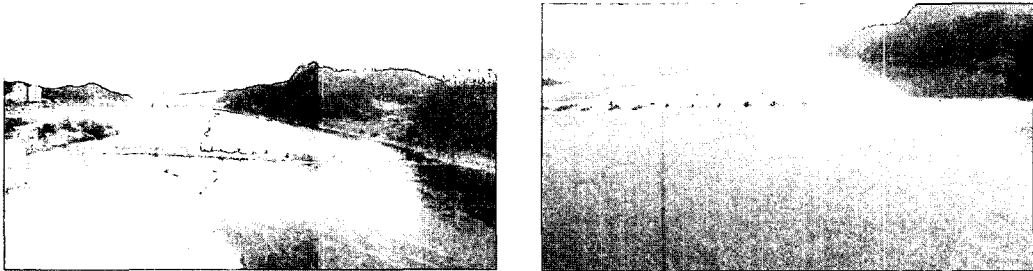


Photo 1 Hydraulic structure near Gongju T/M gauging station

을 방해하고 있다. 이와 같이 유량통제가 천이되는 수위이하에서 T/M수위표 지점에서의 평·갈수기시 유량측정성과는 부정확할 수 있으며, 이는 수위-유량관계 곡선식의 신뢰도를 저하시키는 원인이 된다고 판단된다.

3. 수위 및 유량측정

연속적 수위관측을 위하여 각 단면의 좌안 암반에 수위계를 설치하였다. Figure 2에서와 같이 단면 1과 단면 4에는 독일 OTT의 기포식 압력수위계(Orphimedes)를 설치하여 매시간 간격으로 수위를 측정하였으며, 단면 2와 단면 3에는 간이 수위표를 설치하여 보조수위표로 이용할 수 있게 하였다. 또한 기포식 압력수위계의 영점 및 간위수위표의 영점에 대한 표고값을 수준측량을 통하여 정하여 수위의 독치를 표고값으로 환산하여 그 수면경사를 계산할 수 있도록 하였다. 각 단면에 설치된 수위계의 영점표고는 1단면 EL. 7.061 m, 2단면 EL. 7.024 m, 3단면 EL. 7.066 m, 4단면 EL.

6.967 m이다.

연구 대상구간인 공주지점의 유하폭은 약 80 m 전후이고 단면의 최저 수심이 약 2 m이상으로 직접 도하에 의한 유량측정이 불가능하여 각 단면을 횡단하는 케이블을 설치하고 케이블을 따라 보트를 이용해 도하를 하며 유속을 측정하였다. 유속측정기는 영국 Valeport사의 프로펠러식 하천유속계인 BFM-002를 사용하였으며 횡단구간을 약 12~18개의 구간으로 나누어 유속측정과 함께 수심을 측정하였다. 유속측정은 3점법을 실시하는 것을 원칙으로 하였으며, 유속측정시 최소 3회 이상 측정하여 점 유속측정에 의한 오차를 최대한 줄이고자 하였다. 유속측정자료를 바탕으로 유량환산은 중간단면법에 의한 방법을 사용하였다. 또한, 유속측정계의 정확도 검증을 위해 건설기술연구원의 유속계 검정을 실시하여 기계오차를 보정하였다.

제1단면과 제4단면에 설치한 기포식 수위계를 통해 매시각의 수위를 측정하여 이를 표고로 환산하여 도시하면 Figure 4와 같고, 단면 1과 단면 4의 수위차를 함께 도시하였다. 또한, 연구 대상구간 인

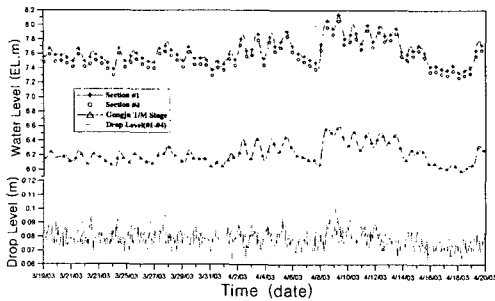


Fig. 4 Variation of cross section and drop level

근에 있는 공주수위표와 유량측정지점간의 수위변동성향을 비교분석 하기 위해 Figure 4에 각 관측지점의 수위 변화 양상을 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 현재 유량측정지점과 공주수위표 지점간의 수위의 변동은 거의 일치하며, 수위변동에 따라 수위차도 함께 변화됨을 알 수 있다. 저수위에서 고수위로 수위가 증가할수록 두 단면간의 수위차도 증가하여 본 연구 수행기간 중 최대 0.12 m의 수위차를 보였다.

연구 대상지점인 공주지점에서의 유량측정은 수위의 변동을 고려하여 2003년부터 2004년까지 2년간 총12회 실시하였다. T/M수위는 유량측정과 동일한 시각의 공주수위표의 T/M수위에 의한 유량 환산 값이다. 수위-유량관계식은 금강유량측정보고서(건설교통부, 2002)의 2002년 식 $Q = 39.365(H + 0.379)^{2.260}$, ($H = h + 0.5$)을 사용하였다. 본 연구대상 전 단면(1~4 단면)에서의 유량측정(37.38~167.5 CMS)이 비교적 잘 이루어졌으나, 연구대상 지점 인근에 있는 공주 T/M수위 관측소의 수위-유량관계식에 의해 산정된 유량(58.21~188.3 CMS)과는 상당한 차이를 보였다.

4. 기존 수위-유량곡선의 신뢰도 평가

금강분류의 공주 T/M 수위표지점은 1915년 관측을 개시하였고, 1962년 자기수위로 1980년 현재의 금강대교로 이설하였으며, 1982년 12월과 2000년 5월 영점수위를 조정하여 현재 영점표고는

EL. 5.662 m이다. 1983년부터 2002년까지 약 20년간의 유량실측자료를 분석하여 기존의 수위-유량곡선의 신뢰도 평가를 위하여 한국수자원공사에서 개발한 Hydro Toolkit(Rating 개발 시스템)을 이용하여 수위-유량곡선식을 개선하였다. 이 프로그램은 하천의 물리적 특성(GZF, 하천흐름의 천이구간 등)을 고려하여 수문자료의 상시 모니터링을 통한 자료의 신뢰도 향상 및 유량측정자료를 이용하여 수위유량관계식을 개발하기 위한 것으로 실시간 물관리 DB에 접속하여 수문자료의 평가를 통한 오결측자료를 상시 검보정하고, 검보정된 자료를 관리하는 기능을 제공한다. 모형수행을 위해 사용한 기존의 수위-유량관계 곡선식과 Hydro Toolkit을 이용한 수위유량관계식의 도해적 비교를

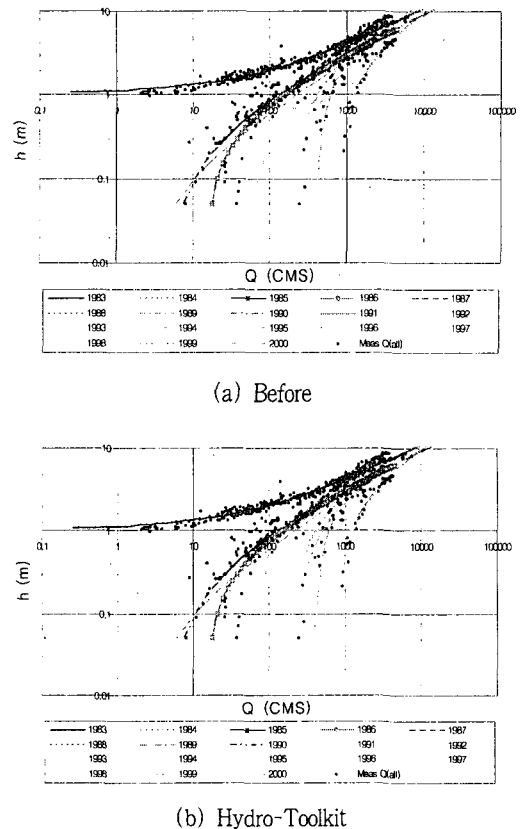


Fig. 5 Rating curves at Gongju T/M gauging station (1983~2000)

위해 각 년도의 수위-유량관계 곡선식을 유량측정 성과와 함께 도시하였다. Figure 5(a)에서와 같이 기존의 수위-유량관계 곡선식은 년도별 유사성이 결여된 양상으로 저수위와 고수위간의 곡선의 불연속적인 부분도 일부 년도에서 나타나고 있다. Figure 5(b)는 Hydro Toolkit을 이용하여 개선된 수위-유량관계곡선식을 비교하여 도시한 것으로 파년도 자료의 도해적 해석을 통한 수위유량자료의 사용으로 년도별 관계식간의 유사성을 확보하고자 하였다. 그러나 전반적으로 기존의 수위-유량관계 곡선식을 Hydro Toolkit에 의해 개선했음에도 불구하고 저수위와 고수위간의 관계식의 연속성을 갖지 못하고 있으며, 또한 수위유량 관측성과와의 비이상적인 대응을 보여주고 있다. 특히 저수위부분 자료의 분산이 커서 갈수량구간의 신뢰도는 여전히 낮아 기존 유량측정 성과자료만을 사용한 수위-유량관계 곡선의 개선은 한계가 있는 것으로 판단되었다.

IV. 유량산정 프로그램의 적용

1. 단면조도계수의 추정

본 연구에서 개발된 프로그램의 중요한 수리학적 특성인자는 수위정보와 단면의 조도계수이다. 수위 정보는 각 단면에 설치된 수위계를 통하여 얻을 수 있으나, 단면조도계수는 하상의 피복상태와 유량의 규모 등을 고려하여 적당한 값을 추정하여야 한다.

Table 1과 Table 2는 2003년부터 2004년까지 2년간 총12회 유량측정을 실시한 결과로부터 도출된 단면조도계수를 나타낸 것으로 본 연구에서는 각 단면에 설치된 수위계를 통하여 얻은 수위자료와 관측유량자료를 이용하여 Figure 6과 같은 산정과정을 통해 최적의 조도계수를 추정하였다. 단면조도계수를 이용한 유량산정시 분석대상지역을 각 단면의 수위표를 기준으로 구성되는 6개 구간으로 구분하여 각 구간별 수면경사에 따른 유량산정

결과를 분석하였다. 분석결과 각 구간별로 관측유량과 최소의 오차를 갖는 단면조도계수는 0.034~0.040으로 추정되었으며, 분석대상 전유량에 걸쳐 낮은 정도의 오차(0.90~5.75CMS)를 나타내는 단면 구성으로는 1~4 단면 구간인 것으로 나타났다. 물론 일부 유량에서는 1~2 단면 및 3~4 단면으로 구성된 모의 유량에서 실측치와 거의 일치하는 것으로 나타났으나, 단면 2와 단면 3에 설치된 수위표는 단면 1과 단면 4의 기포식 수위계의 보조수위표 역할을 목적으로 설치한 목자판 수위표로 연속수위관측이 불가능함에 따라, 연속적인 유량산정을 하기 위해 본 연구에서는 최종 단면구성 구간으로 1~4 단면 구간을 시스템을 구성하였다. 이와 같은 단면구성으로 하여 본 연구에서 개발된 프로그램의 구성도를 살펴보면 Figure 7과 같다.

Figure 8은 2004년도의 공주 T/M 관측소의 홍수기 유량실측성과 자료를 추가하여 추정된 단면조도계수를 수위별로 도시한 것이다. 추정된 단면조도계수는 고수위일수록 감소하는 일반적인 자연하천의 변화양상을 나타내었다. Figure 9는 유량의 증가에 따라 조도계수가 변화하는 경향을 반영한 그래프이다. 유량 실측시 신뢰도가 결여된다고 판단되는 두 번의 관측결과를 제외하고는 Figure 9에서 보는바와 같이 유량 2,500 CMS를 기준으로 유량규모에 따라 조도계수가 크게 변화하는 것으로 추정되었다. 본 연구에서 산정한 유량규모에 따른 조도계수 추정식은 $n_1 = 0.0654Q^{-0.1316}$ (저수위구간) 과 $n_2 = 0.4019Q^{-0.3260}$ (고수부지구간)으로, $R^2 = 0.9$ 이상의 높은 상관도를 가지는 단면조도계수 회귀식을 도출하였다. 유량 2,500CMS는 Figure 10에서와 같이 하천의 고수부지이상인 고수위부분으로 나누어지는 천이영역으로 유량규모에 따른 단면조도계수 변화구간을 나타낸다.

자연하천 유량산정시 수위정보 및 조도계수와 더불어 중요한 인자는 단면자료이다. 일반 자연하천에서 하상은 흐름에 의해 매 순간 변하게 되며 특히 유속이 크게 발생하는 홍수기를 전후로 변화폭

Table 1 Estimation of discharge and roughness coefficient for 2003

Reach	2003-03-04				2003-03-20				2003-03-31				2003-04-16				2003-05-13			
	Drop	Cal. (CMS)	Obs. (CMS)	Error	Drop	Cal. (CMS)	Obs. (CMS)	Error	Drop	Cal. (CMS)	Obs. (CMS)	Error	Drop	Cal. (CMS)	Obs. (CMS)	Error	Drop	Cal. (CMS)	Obs. (CMS)	Error
1~2	0.043	104.8	108.85	-4.05	0.043	65.0	63.05	1.95	0.043	60.0	58.65	1.35	0.046	55.2	53.00	2.2	0.046	164.9	167.2	-2.30
2~3	0.037	124.1		15.25	0.034	77.9		14.85	0.024	62.5		3.85	0.024	56.1		3.1	0.037	176.3		9.10
3~4	0.015	105.7		-3.15	0.012	63.3		0.25	0.012	60.5		1.85	0.009	47.5		-5.5	0.018	161.3		-5.90
1~3	0.079	112.5		3.65	0.076	69.8		6.75	0.067	60.9		2.25	0.070	55.5		2.5	0.082	169.7		2.50
2~4	0.052	117.7		8.85	0.046	73.0		9.95	0.037	61.8		3.15	0.034	53.3		-0.3	0.055	170.9		3.70
1~4	0.094	111.3		2.45	0.088	68.8		5.75	0.079	60.8		2.15	0.079	54.4		1.4	0.101	168.1		0.90
n	0.034				0.039				0.038				0.039				0.033			

* Error = Calculated Discharge - Observed Discharge

Table 2 Estimation of discharge and roughness coefficient for 2004

Reach	2004-04-22				2004-06-03				2004-06-18				2004-10-28			
	Drop	Cal. (CMS)	Obs. (CMS)	Error	Drop	Cal. (CMS)	Obs. (CMS)	Error	Drop	Cal. (CMS)	Obs. (CMS)	Error	Drop	Cal. (CMS)	Obs. (CMS)	Error
1~2	0.043	49.9	49.90	0.00	0.046	59.9	55.42	4.48	0.049	141.3	143.05	-1.75	0.027	71.7	64.9	6.80
2~3	0.034	49.8		-0.10	0.027	52.2		-3.22	0.027	149.2		6.15	0.046	68.4		3.50
3~4	0.012	42.8		-0.71	0.015	55.1		-0.32	0.024	157.4		14.35	0.012	65.2		0.30
1~3	0.076	49.9		0.00	0.073	56.6		1.18	0.076	144.5		1.45	0.073	70.5		5.60
2~4	0.046	47.6		-2.30	0.043	53.2		-2.22	0.052	152.2		9.15	0.058	67.2		2.30
1~4	0.088	48.7		-1.20	0.088	56.4		0.98	0.101	146.9		3.85	0.085	69.7		4.80
n	0.040				0.039				0.032				0.039			

* Error = Calculated Discharge - Observed Discharge

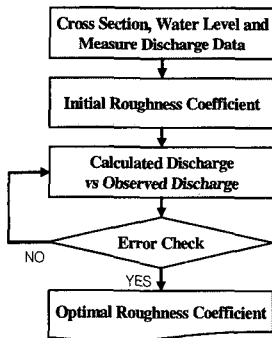


Fig. 6 Flow chart of roughness coefficient estimation

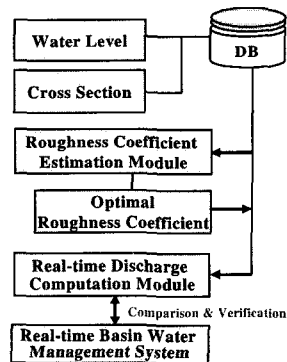


Fig 7 Schematic diagram of discharge estimation

이 커지게 된다. 따라서, 단면조도계수를 이용한 유량산정시 정확한 유량값을 산정하기 위해서는 홍수

기를 전후로 정확한 하천측량이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 연구대상유역인 공주지점을 대상으

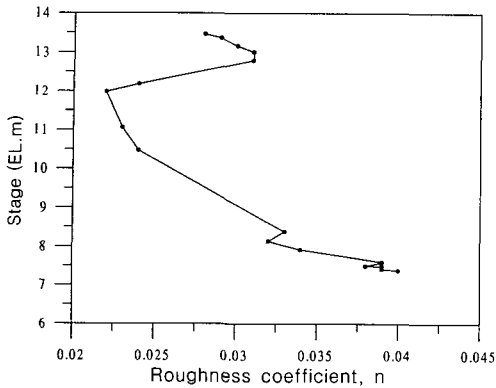


Fig. 8 Roughness coefficient with water level variation

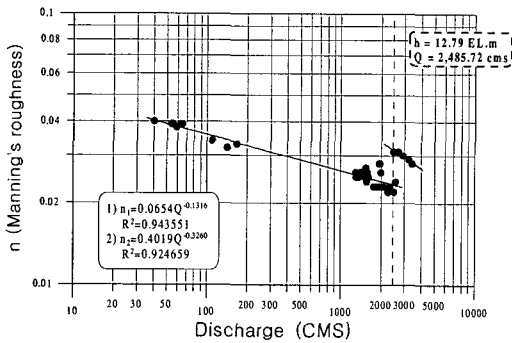


Fig. 9 Roughness coefficient with discharge

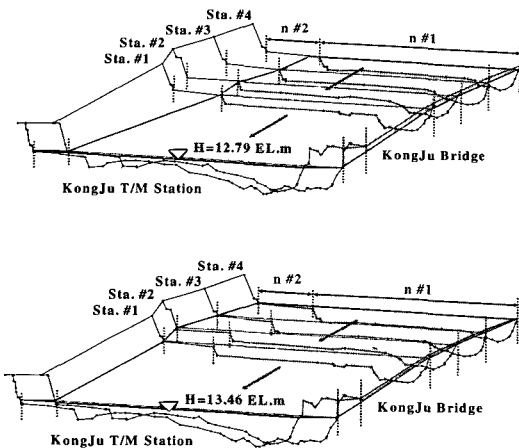


Fig. 10 Region of roughness coefficient variation (high & low water level)

로 정확한 하천측량을 실시하였으며, 측량결과는 Figure 11과 같다. Figure 11에서 보는 바와 같이

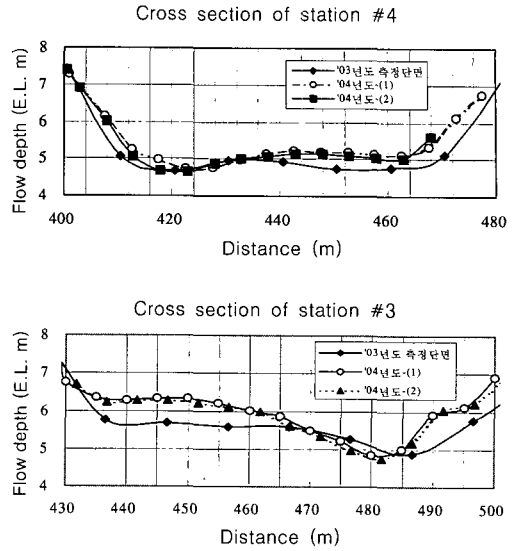


Fig. 11 Cross sectional variation

연구대상 총 4단면 중 평상시 유속이 가장 작은 제 4단면의 지형이 유속이 비교적 큰 제3단면에 비해 적게 변화되는 것을 알 수 있었다. 또한, 제3단면과 제4단면의 일부 구간에서 퇴적과 침식이 일어났고 취심 하상고가 이동한 것을 알 수 있었으며, 홍수기를 전후로 하상변동 폭이 커짐을 알 수 있었다.

2. 결과 비교 및 분석

Figure 12는 앞서 추정된 조도계수를 이용하여 산정된 유량과 기존의 금강수계 유량측정조사 보고서(건설교통부, 2002)에서 산정한 수위-유량곡선을 함께 도시한 것이다. Figure 12에서 보는 바와 같이 본 연구에서 산정한 유량이 실측치에 근사한 값을 모의하는 것으로 나타났다. 또한, 측정을 실시한 0.4 m~1.12 m의 전 구간에 걸쳐 수위-유량곡선식 환산 유량값이 실측값에 비하여 다소 과다하게 산정되었으나 홍수량이 커질수록 실측값에 근접하는 양상을 나타내었다. Figure 13은 수위자료를 이용하여 연속적인 유량자료가 얻어지는 일례를 나타낸 것으로 공주 T/M 수위관측소의 수위-유량관계식에 의한 환산 유량과 계산유량 결과와 비교하

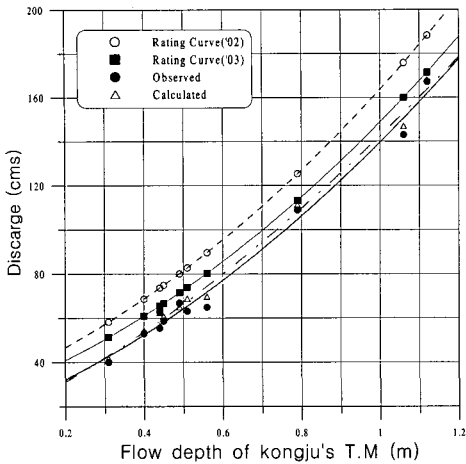


Fig. 12 Comparison with observed & calculated discharge ('03-'05)

다. 또한, 공주 T/M 수위관측소의 수위-유량관계식에 의한 환산유량은 일정한 증감비율로 수문곡선의 상승부와 하강부를 나타내는 반면, 본 연구에서 개발한 프로그램을 이용할 경우 실제 자연하천에서 발생하는 Loop 형태의 수문곡선을 보다 근사하게 나타내었다. 연속유량 계산시 연구대상지점인 공주 지점의 제1단면의 수위변화는 EL. 7.605 m~EL. 8.255 m, 제4단면의 수위변화는 EL. 7.507 m~EL. 8.122 m으로 연구대상기간 중 동일한 수위에 대하여 측정된 자료와 비교 분석하였고 결과는 Table 3과 같으며, 측정유량 값과 계산유량 값은 약 8 CMS 정도의 낮은 오차를 보였다.

V. 산정 유출량 검증

1. 장기유출량 분석

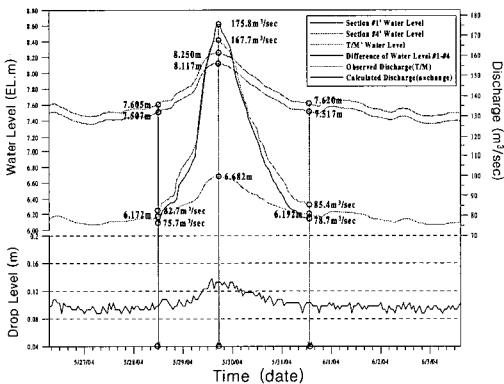


Fig. 13 Continuous discharge estimation ('04 5/28 11:00 ~ '04 5/31 14:00)

하천에서 관측된 유량자료를 장기간에 걸친 유출 성분으로 분리하면, Figure 14의 유량자료의 유출 성분 분류 및 모식도에서 보는 바와 같이 크게 3가지로 나타낼 수 있다. 즉, 어떤 출구지점의 관측유량(Q_{ob})은 회귀수(αQ_e), 상류유입량(Q_{up}) 및 관측강우-유출량(βQ_{Rain})의 성분으로 구분된다. 여기서, 회귀수(αQ_e)란 유역 및 하도내 용수이용량의 회귀수를 의미하고, 상류유입량(Q_{up})은 상류 유출 제어지점의 관측유량으로 대청댐 방류량을 의미하고, 관측강우-유출량(βQ_{Rain})은 유역내 강우

였으며, 이와 같이 본 연구에서 개발된 프로그램을 활용하면 연속수위에 따른 유량자료 확보가 가능하

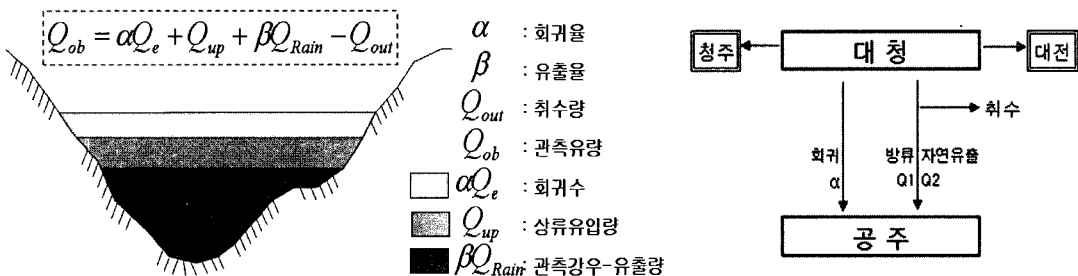


Fig. 14 Classification of runoff factors of discharge data, and its schematic diagram

에 의한 자연유출량을 의미한다. 검증지점의 정확한 유출율을 산정할 수 있다면, 관측자료의 연속성 및 신뢰도를 파악하는 척도를 제공할 수 있다.

본 연구에서는 이와 같은 정량적인 개념을 이용하여 과거 21년간(1983년~2004년) 수문기초자료를 유출성분별로 분리하여 대청댐-공주구간의 강우-유출분석을 하였다. 여기서 사용된 수문기초자료는 대청댐 방류량, 대전 및 청주권 취수량, 강우에 의한 자연유출량, 공주관측유량 등으로 각 성분별로 생성된 일자료를 이용하여 공주지점의 월별, 분기별, 년도별 유출량과 비교·분석하였다. 취수량 자료는 금강수계 하천수 사용실태 조사 및 하천유지유량산정 보고서(건교부, 1999)와 대청댐 관리연보(한국수자원공사, 2004) 등의 용수이용현황자료를 이용하였다.

Figure 15는 공주지점의 월별산출합계로 분석된 관측강우-유출량과 총강우-유출량의 관계를 나타내고 있다. 관측강우유출량은 공주지점 관측유량에서 대청댐의 방류량과 취수량을 배제한 순수 유출량으로 공주지점의 유출율은 53.2%인 것으로 분석되었으며, 이는 수자원장기종합계획보고서(건설

교통부, 2000)의 55%와 비슷한 유출양상을 나타내고 있다.

2. 유출모형 검증

유역유출분석을 위해 수문모형을 이용하면 비교적 자료기간이 길고 관측밀도가 높은 강우량으로부터 유출량을 모의하여 산정할 수 있다. 유출분석은 일단위, 또는 주간, 순간, 월간 및 연단위의 유출을 연속적으로 모의하여야 하며, 이와 같은 목적의 수문모형도 많이 개발되어 왔으나, 국내에서 사용되어 온 모형으로는 미국 공병단의 SSARR, 미국 기상청의 NWSRFS 또는 NWS-PC, 개념적 모델인 TANK, 그리고 DAWAST 모형 등을 대표적으로 들 수 있다. 본 연구의 상위 과제로서 21세기 프론티어 사업의 일환으로 수행중인 '유역 물관리 운영기술 개발' 과제를 통해, SSARR 모형을 기반으로 한 유역유출시스템인 RRFs를 개발하여 현재 적용성 검토중이며, 강우,온도와 같은 기상학적 입력자료외에, 14개 소유역별 생활용수, 공업용수 및 농업용수 수요량 자료를 산정하여 유출 모의를 위한 입력자료로 활용하여 유출모형의 매개변수를 보정하였다.

3. 결과분석

과거 21년간 수문자료를 활용하여 앞서 기술된 장기유출량 분석결과와 RRFs에 의한 모의유출량, 그리고 기존 공주관측유량의 분기별 분석 결과는 Figure 16과 같다. 기존관측유량과 RRFs로 모의된

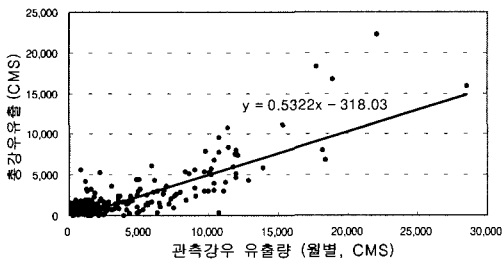


Fig. 15 Relationship between the observed rainfall-runoff and the total rainfall-runoff

Table 3 Comparison with observed & calculated discharge at the similar water level

No.	Comparison with observed water level (EL.m)								Comparison with discharge (CMS)		
	Measured discharge				Estimated discharge				Observed	Calculated	Error
	#1	#4	Drop	Date	#1	#4	Drop	Date			
1	7.63	7.55	0.08	'04 10/28	7.63	7.53	0.10	'04 5/31	65.03	73.00	-7.97
2	7.92	7.83	0.09	'03 03/04	7.92	7.81	0.11	'04 5/30	110.00	118.50	-8.50

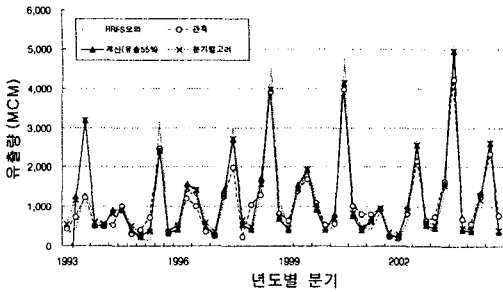


Fig. 16 Variation with runoff quarterly

유출량과 장기유출분석에 의한 결과는 저유량부분 및 최고유량부분을 제외하고는 전반적으로 근사한 것으로 분석되었다.

Figure 17은 RRF5 모의유출량(1983~2004) 과 기존 공주관측유량(1983~2004) 및 개발된 프로그램에 의해 도출된 모의유량(2003~2004)을 분기별로 분석하여 계절별 유량편차를 확인할 수 있도록 하였다. 여기서 '계산(유출55%)'은 이 구간의 평균유출율이 55%로 가정한 후 장기유출량을 산정한 것이며, '분기별 고려'는 장기유출량 분석시 도출된 유출율(1분기: 78%, 2분기: 39.9%, 3분기: 49.9, 4분기: 69.8%)를 적용한 것이다.

분석결과 3분기(홍수기)에는 유역유출모의 및 계산된 유출량 모두 보다 근사하게 관측유량을 모의하였으나, 평·갈수위로 대표되는 1·4분기에서는 개발된 프로그램으로 산정한 유량값이 가장 적은 오차를 보임에 따라, 이를 실시간으로 운영할 경우 보다 양질의 유량자료가 생산될 수 있을 것으로 판단된다.

VI. 결론 및 향후 계획

자연하천의 기본적인 수리학적 정보와 하천단면의 조도계수를 추정하여 연속적인 유량산정이 가능한 프로그램을 개발하여 공주지점을 대상으로 적용한 본 연구의 결과는 다음과 같다.

1. 수위자료 등 기본적인 수리학적 정보를 활용하여 유량을 산정하는 프로그램을 개발하여 자연하

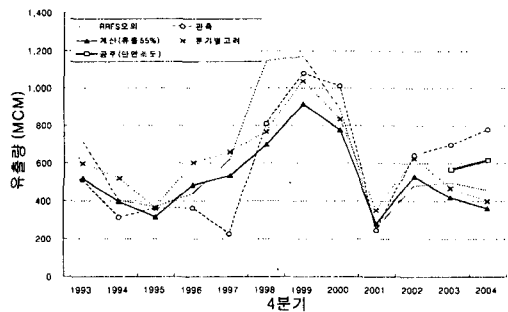
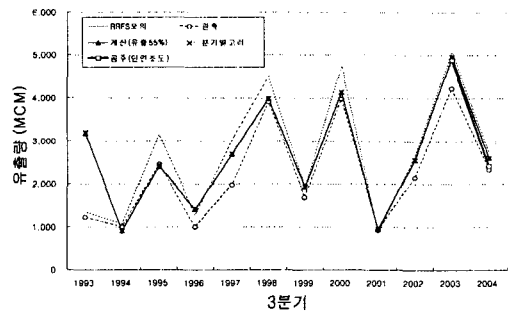
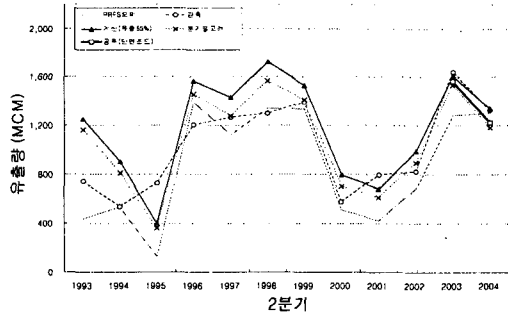
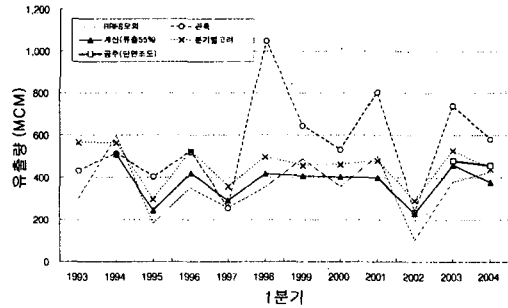


Fig. 17 Yearly variation with runoff quarterly at Gongju T/M gauging station

천 유량자료의 연속적인 획득이 가능토록 하였다.

2. 기존 수위-유량관계곡선식을 분석한 결과 공

주 T/M수위표 지점은 저수위 구간에서 일부 과대평가(10~20%)된것으로 나타난 것은 대상지점의 공간적 수리특성에 의한 것으로 판단되며 개발된 유량산정 프로그램과 SSARR모형을 기반으로 한 유역유출모의시스템(RRFS) 검증으로 이를 확인하였다.

3. 공주지점의 유량과 조도계수와의 상관관계를 분석하여 유량 2,500CMS를 중심으로 유량규모에 따라 저수위 구간과 고수위구간(고수부지)으로 구분하여 단면조도계수의 회귀식을 도출하였다.

4. 수위-유량관계곡선식에 의한 환산유량과 개발된 프로그램을 적용한 모의유량을 비교한 결과 개발된 프로그램이 실제 자연하천에서 발생하는 Loop 형태의 수문곡선을 근사하게 모의하는 것으로 분석되었다.

5. 과거 22년간(1983~2004) 수문자료를 기초로 RRFS모의와 유출성분을 분리하는 기법을 활용하여 장기 유출량을 정량적으로 계산한 결과 평·갈수위로 대표되는 1·4분기에서는 개발된 프로그램으로 산정한 유량값이 가장 적은 오차를 나타내었다.

향후 공주지점은 ADCP설치에 의한 유량관측 등 다양한 방법을 동원한 수문 모니터링을 지속적으로 실시하여 연구성과의 신뢰도를 높힐 예정이다.

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호: 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Benson, M. A. and Dalrymple, T., 1967, General field and office procedures for

indirect discharge measurements: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book3, chap. A1, pp. 30.

2. Dalrymple, T. and Benson, M. A., 1967, Measurement of peak discharge by the slope-area method: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 3, chap. A2, pp. 12.

3. Kim, W., Kim, Y. S., Woo, H. S., 1995, Estimation of Channel Roughness Coefficients in the Han River Using Unsteady Flow Model, *Korea Water Resources Association*, **28(6)**, pp. 133-146

4. KOWACO, 2004, Annual Report of Daechung Multi-purpose Dam Management (in Korean). Daejeon Korea.

5. Lee, J. K., Lee, C. H., 2004, Estimation of Roughness Coefficient in Downstream Part of the Han River Using a Hydraulic Flood Routing Model, *Korea Society of Civil Engineers*, **24(1B)**, pp. 25-32

6. Lee, S. H., Kang, S. U., 2001, Stream Discharge Estimation by Hydraulic Channel Routing and Stage Measurement, *Korea Water Resources Association*, **34(5)**, pp. 543-549

7. MOCT, 1999, Investigation into the Stream Flow Usage in Geum River Basin and Estimation of Maintenance Flow (in Korean).

8. MOCT, 2001, Water Vision 2020, Document of Ministry of Construction and Technology (in Korean).

9. MOCT, 2002, Report of Monitoring the Stream Discharge in Geum River Basin (in Korean).

10. USACE, 1991, SSARR User manual, North Pacific Div., Portland.