

감조하천에서의 저수위 유량산정 다중회귀식 개발

이상진[†] · 류경식 · 이배성 · 윤종수*

한국수자원공사 수자원연구원

*국립환경과학원 낙동강 물환경연구소

Development of Regression Equation for Water Quantity Estimation in a Tidal River

Lee, Sang Jin[†] · Ryoo, Kyong Sik · Lee, Bae Sung · Yoon, Jong Su*

Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

*Nakdong River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research

(Received 26 January 2007, Accepted 4 May 2007)

Abstract

Reliable flow measurement for dry season is very important to set up the in-stream flow exactly and total maximum daily load control program in the basin. Especially, in the points which tidal current effects are dominant because reliability of the low measurement decrease. The reliable measuring methods are needed. In this study, we analysis the water surface elevation difference of water surface elevation. Quantity relationship to consider tidal currents in these regions. It is known that tidal current effects from Nakdong river barrage are dominant in Samrangjin measuring station. We developed multiple regression equation with water surface elevation, quantity, and difference of water surface elevation and compared these results water measured rating curve. All of these regression equation including linear regression equation and log regression equation fits better measured data them existing water surface elevation quantity line and Among three equations, the log regression equation is best to represent the measured the rating curve in Samrangjin point. The log regression equation is useful method to obtain the quantity in the regions which tidal currents are dominant.

keywords : Multiple regression analysis, Rating curve, River maintenance flow, Tidal river, Total load control program (TLCP)

1. 서론

수공구조물이나 하천의 치수계획, 수자원의 이용 및 효율적 관리를 위해서는 수문분석의 기본이 되는 정확한 유량자료의 취득이 무엇보다 중요하다. 과거에는 홍수관리의 측면에서 홍수시 유량자료의 확보에 주력하였으나, 최근에는 용수공급·배분 문제와 수질·생태를 고려한 하천유지유량에 대한 관심이 커지면서 저수위의 정확한 유량자료 또한 매우 중요한 수문자료 중 하나가 되었다. 특히 하천의 수질관리는 유역 오염총관리제도가 주축을 이루어 수행되고 있으며, 이를 위해 적정 하천유지유량을 산정하여 활용하고 있어 이수기시의 정확한 유량관측은 수자원 및 환경적 측면에서 매우 중요하다. 그런데 직접 유량을 측정하고, 수위-유량곡선을 개발함에 있어서 조석의 영향을 받는 지점에서의 저수위 유량자료의 수집 및 분석에는 많은 어려움이 있다. 감조하천에서의 유량곡선식은 통상 유량측정시간을 만조시간과 간조시간으로 구분하고, 수위-유량곡선을 만조식과 간조식 그리고 이의 합산에 의한 중간식으로 개발하

는 것이 일반적이다. 그러나 이 방법은 실제 적용된 예를 찾아보기 어려울 뿐만 아니라 실제 감조하천에서는 조석류와 하천류의 혼합에 의한 역류가 많이 발생하여 수위와 유량간의 뚜렷한 상관관계가 나타나지 않는 경향이 있다. 미지질조사국(USGS, 1982)에서는 배수 효과가 나타나는 하천에 대해 매개변수로 경사를 추가하여 수위-경사-유량관계를 수립한 후 유량을 산출하거나 연속적인 유속을 측정하여 수위-유속-유량관계를 수립하도록 권장하고 있다.

Chow(1986)는 지베단면이 수위관측소의 위치로서 가장 적합하고, 지베단면에서 수위-유량곡선을 개발하는 것이 가장 효과적이라고 하였다. 그러나 대부분의 수위관측소는 교량 등과 같은 수리구조물에 설치되어 있어 유량측정 단면을 Chow가 제시한 지베단면으로 제한하는 것은 어렵다. 또한 Dickinson(1967)은 하천의 유량자료가 부정확하게 되는 원인중 하나로 조석과의 상류전파로 단파(Bore)가 형성되어 수위-유량관계를 개선할 필요가 있으며, 특히 하구의 영향을 직접 받는 하천구간에서는 조석의 영향 때문에 단순히 수위와의 관계만을 이용하여 산정한 유량자료는 실제 수문자료로 활용할 수 없다고 제안한 바 있다. 한편 Godin(1985)은 이러한 하구의 영향을 받는 감조구간의 수위와 유량을 예측하기 위해서는 하천유량과 조석과의 상호영향

[†] To whom correspondence should be addressed.
sjlee@kwater.or.kr

을 고려한 다변수 함수가 필요하다고 주장하였으며, 실제 감소하천구간에 대해 다변수함수를 이용하여 수위-유량관계식을 개선한 바 있다. 이와 같이 조석의 영향을 받는 지점에서 측정된 수위 및 유량성가를 보다 효율적으로 활용하기 위해서는 다중변수의 도입이 절실히 요구되고 있으며, 이에 추 등(2000)은 낙동강 감소구간에서의 유량을 수위와 조석에 의해 발생하는 상·하류 간의 수위차를 독립변수로 하는 다중회귀식을 개발하였고, 이 등(1994)과 조 등(2000)은 조위의 영향이 보다 큰 저수위구간에서의 수위-유량관계곡선을 개선한 바 있다. 감소하천구간에서의 유량측정 방법에 대한 기준은 ISO(1999)에서 제시하고 있으며, 특히 유속계 측정에 의한 유속-면적법을 중점으로 다루고 있다. 그러나 아직까지 우리나라의 유량측정 기준에는 이러한 조석흐름에 대한 유량측정 방법을 별도로 규정하고 있지 않는 실정이다.

본 연구에서는 이와 같이 수위-유량의 관계만으로 해석하기 어려운 감소구간에서 수위와 유량과의 관계 외에 제3의 변수인 조위를 고려한 수위차를 이용한 수위-수위차-유량관계곡선을 개발하여 기존식과 비교·분석함으로써 배수영향을 받는 감소구간에 대한 유량자료의 신뢰도 향상과 기구측 자료의 활용성을 확보하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 대상지점 분석

2.1.1. 지점선정 및 수문자료 분석

대상지점으로 선정된 삼랑진지점은 하구둑의 배수 및 조위의 영향을 받는 복잡한 수리현상이 발생하는 지점(Fig. 1

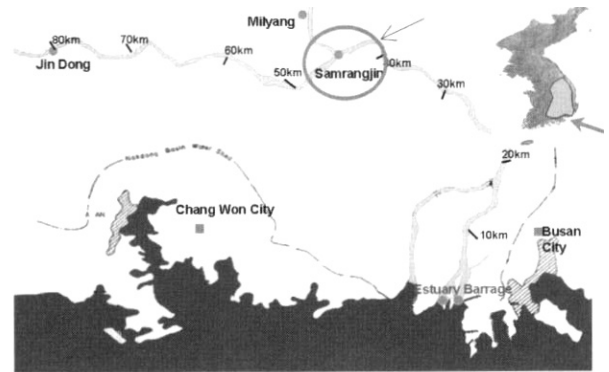


Fig. 1. Location of Samrangjin gauging station.

참조)으로 우안 상·하류가 복단면 형태를 보이고 있고 하상이 다소 불규칙하다. 본 연구에서는 이 지점에서의 수문 실측자료를 활용하여 수위와 조위, 유량과 수위차 등의 상관관계를 분석하였으며, 조위의 영향을 받지 않는 인근 지류지점인 밀양수위표지점과 비교·평가하였다.

분석에 사용된 측정자료는 2005년도 밀양, 삼랑진 수위 관측소지점에서 이수기 기간(1~5월 및 10~12월)동안에 측정된 유량자료를 사용하였다. 이때 사용된 저수위 유량자료는 조위영향을 고려하여 간조시 영향을 미치는 시간대로 선별된 것이며, 조위는 낙동강하구에 위치한 명지조위 관측소자료를 사용하였다. 수위차는 수위와 조위를 수위의 기준인 수위표의 영점표고와 조위의 기준인 기본수준면의 육상표고를 사용하여 환산한 차를 구하여 나타내었다. Table 1은 각 지점에서의 유량측정성과와 조위 및 수위차를 나타낸 것이다. 일반적으로 수위-유량관계곡선식을 산정하기 위하여 이수기와 홍수기에 각각 지점별로 10~20회 이내로

Table 1. Water surface elevation, quantity, and difference of water surface elevation

Milyang gauging station				Samrangjin gauging station			
Water level (m)	Discharge (cms)	Tide (m)	Difference of water level (m)	Water level (m)	Discharge (cms)	Tide (m)	Difference of water level (m)
0.80	6.88	0.11	0.84	0.658	271.81	-0.14	0.798
0.79	4.46	-0.06	1.00	0.663	163.15	0.25	0.413
0.80	6.63	0.29	0.66	0.683	175.72	0.03	0.653
1.00	25.24	0.30	0.85	0.683	166.55	0.11	0.573
0.95	18.87	-0.01	1.11	0.703	196.34	-0.11	0.813
1.08	36.62	0.25	0.98	0.733	99.57	0.54	0.193
0.98	21.70	-0.02	1.15	0.743	262.67	0.15	0.593
0.89	13.28	0.56	0.48	0.743	133.70	0.36	0.383
0.95	18.56	0.08	1.02	0.748	319.36	0.26	0.488
0.83	7.99	0.33	0.65	0.753	147.80	0.52	0.233
0.88	10.67	0.19	0.84	0.753	161.58	0.29	0.463
0.96	24.19	0.12	0.99	0.763	169.71	0.48	0.283
1.55	101.72	0.58	1.12	0.768	440.93	0.31	0.458
0.88	13.84	0.18	0.85	0.773	270.80	0.26	0.513
1.81	50.12	0.23	1.73	0.776	554.30	0.19	0.586
0.99	20.86	0.29	0.85	0.813	91.94	0.72	0.093
0.94	16.55	0.25	0.84	0.823	352.51	0.18	0.643
0.84	5.26	0.55	0.44	0.853	615.40	0.41	0.443
0.80	4.64	0.25	0.70	0.868	263.48	0.57	0.298

관측하는데, 본 연구에서는 이시기 저수위구간에서 25회 이상 유량을 관측하였으나, 그 중 조위와 상관성이 상대적으로 낮거나 신뢰성이 떨어진다고 판단되는 몇몇 회수는 제외시켰으며, Table 1에서 보는 바와 같이 최종적으로 총 19개의 관측유량자료를 이용하였다.

2.1.2. 상관분석

조위의 영향을 받는 삼랑진지점에서 유량, 수위, 조위, 수위차의 상관정도를 파악하기 위한 상관분석결과는 Fig. 2 및 Table 2와 같다. Fig. 2는 Table 1의 각 지점별 수위, 유량, 조위, 수위차와의 상관성을 분석한 그래프로써 각 성분별 상관성이 어느 정도 인지를 시각적으로 표현한 것으로 이를 바탕으로 자료의 분산정도를 확인하고 그 결과(상관계수)를 Table 2에 나타내었다. 분석결과 조위에 영향을 받지 않는 밀양지점은 유량에 대한 수위의 상관계수가 0.825로 상관성이 높게 나타났다. 그러나 삼랑진지점에서 유량에 대한 수위, 조위, 수위차의 상관계수는 각각 0.438, -0.162, 0.321로 유량과 수위와의 상관은 낮은 것으로 분석되었으며, 조위에 대한 수위차의 상관계수는 -0.972로 강한 음의

상관이 있는 것으로 분석되었다. 또한 수위에 대한 수위차의 상관계수는 -0.433로 밀양지점(0.830)과 비교해 볼 때 두 변수간의 상관성이 낮고, 오히려 유량과 수위차와의 상관도가 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 또한 기존 수위-유량 관계 곡선식인 Table 3에 대해 산정된 유량 결과는 Fig. 3에 도시된 바와 같이 수위가 높은 홍수기의 경우

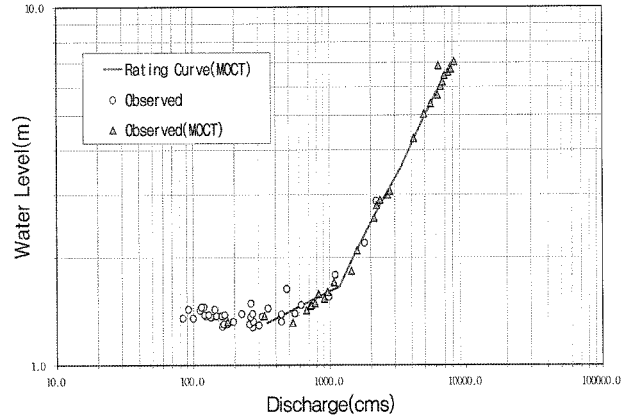


Fig. 3. Rating curve at Samrangjin gauging station.

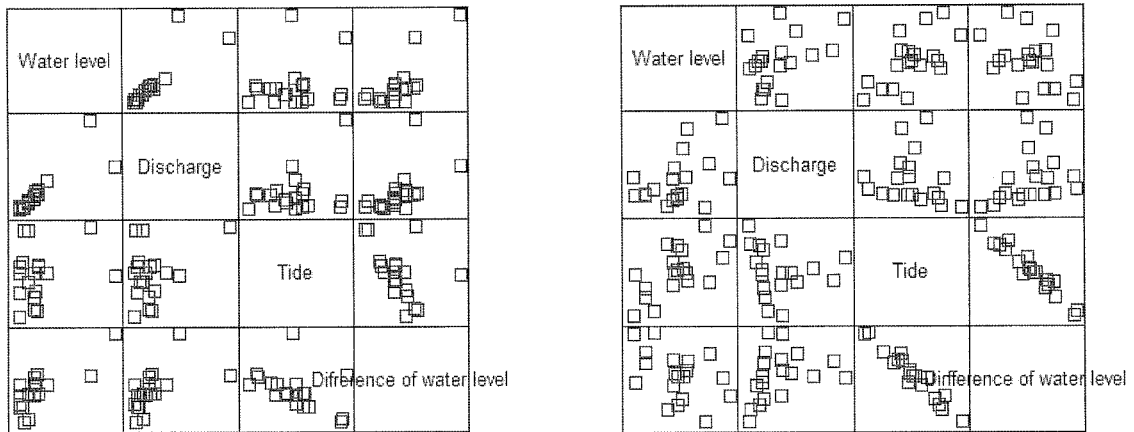


Fig. 2. Correlation graph among water surface elevation, quantity, and difference of water surface elevation.

Table 2. Correlation analysis among water surface elevation, quantity, and difference of water surface elevation

	Milyang gauging station				Samrangjin gauging station			
	Water level (m)	Discharge (cms)	Tide (m)	Difference of water level (m)	Water level (m)	Discharge (cms)	Tide (m)	Difference of water level (m)
Water level (m)	1.00	0.825	0.139	0.830	1.00	0.438	0.633	-0.433
Discharge (cms)	0.825	1.00	0.260	0.583	0.438	1.00	-0.162	0.321
Tide (m)	0.139	0.296	1.00	-0.437	0.633	-0.162	1.00	-0.972
Difference of water level (m)	0.830	0.583	-0.437	1.00	-0.433	0.321	-0.972	1.00

Table 3. Rating curve at Samrangjin gauging station

Water level	Range of water level	Rating curve	Using data (year/number)
Low	1.31 ≤ h ≤ 1.66	Q = 1.175 × (h + 0.75) 7.870	2004/29 2005/40
Middle	1.66 < h ≤ 3.57	Q = 181.301 × (h + 1.00) 1.915	
High	3.57 < h ≤ 12.27	Q = 228.244 × (h + 1.50) 1.651	

를 제외하고 배수위 영향을 받는 평수위 이하에서는 실측치와 추정치 간에 상당한 차이를 나타내어 저수위 이하 배수영향을 받는 경우에 신뢰도가 저하되는 것으로 분석되었다. 따라서 유량을 수위와 수위차의 함수로 나타내는 다중회귀식을 개발하는 것이 적절한 것으로 판단하였다.

2.2. 다중회귀식 개발

2.2.1. 기본 이론

일반적으로 유량(Q)과 수위(H)의 관계는 식 (1)과 같이 측정오차가 작은 수위를 독립변수로 하고 유량을 종속변수로 하여 지수형의 회귀식으로 나타낸다.

$$Q = a(H+c)^b \tag{1}$$

여기서 a, b, c는 회귀계수이고 단면의 특성을 나타내는 값이다.

회귀분석에서 독립변수의 수를 증가시키면 독립변수가 종속변수에 기여하는 바가 없더라도 회귀식의 결정계수가 증가하는 경향이 있으므로 독립변수의 선택에 주의가 필요하다. 조석의 영향을 받는 지점의 유량을 수위와 수위차(D)를 포함하는 다중회귀식으로 나타내면 식 (2)와 같은 형태로 가정할 수 있다.

$$Q = a + b_0H + b_1D \tag{2}$$

또한 유량과 수위의 관계에 있어서는 지수형의 회귀식이 적용성이 높다는데 착안하면 식 (3)과 같은 지수형의 다중회귀식을 가정할 수 있다.

$$Q = a(H+c_0)^{b_0}(D+c_1)^{b_1} \tag{3}$$

여기서 a, b₀, b₁, c₀, c₁은 회귀계수이며 식 (3)의 양변에 log를 취하면 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\log Q = \log a + b_0 \log(H+c_0) + b_1 \log(D+c_1) \tag{4}$$

식 (4)의 좌·우항을 식 (5a)~식 (5d)로 치환한 후 식 (6)과 같이 나타내면, 식 (3)은 식 (6)과 같은 다중선형회귀식의 형태가 된다.

$$Q' = \log Q \tag{5a}$$

$$a' = \log a \tag{5b}$$

$$H' = \log(H+c_0) \tag{5c}$$

$$D' = \log(D+c_1) \tag{5d}$$

$$Q' = a' + b_0H' + b_1D' \tag{6}$$

여기서 a, b₀, b₁은 최소자승법으로 구하며, c₀, c₁은 임의로 다수 선택하여 회귀분석을 한 후 최적값을 찾는 시행착오법으로 구한다. 다중회귀식의 일반 형태인 식 (2)를 해석하기 위해서는 식 (7)과 같은 다중선형회귀모형을 만족해야 한다.

$$Q = a + b_0H + b_1D + \epsilon \tag{7}$$

여기서 ε은 잔차이며, 식 (7)로부터 식 (8) 및 식 (9)와 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$E(Q) = a + b_0H + b_1D + E(\epsilon) \tag{8}$$

$$\text{Var}(Q) = \text{Var}(\epsilon) \tag{9}$$

여기서 E(Q), E(ε)는 각각 Q, ε의 기대치이고 Var(Q), Var(ε)는 분산이다. 잔차의 평균 E(ε)과 분산 Var(ε)은 식 (10) 및 식 (11)과 같이 주어진다. 여기서 Gauss-Markov의 조건을 따라 잔차는 서로 비상관이고, 평균이 0이며, 분산이 독립변수에 의존하지 않는 상수로서 σ²으로 가정하는 것이 필요하다.

$$E(\epsilon) = \sum \epsilon_i / n \tag{10}$$

$$\text{Var}(\epsilon) = \sum \epsilon_i^2 / (n-3) = \sigma^2 \tag{11}$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 다중회귀식의 적용

전절의 질차에 따라 유량자료를 종속변수로 하고 수위와 수위차를 독립변수로 하는 다중회귀식을 Table 4와 같이 제안하였다. 여기서 Q, H, D는 각각 유량, 수위, 수위차이며, 신뢰수준은 95%이다. 분석 결과 Table 4 및 Fig. 4에서와 같이 회귀식 (I)~(III)의 회귀계수 a, b₀, b₁은 각각의 유의확률이 유의수준 0.05를 만족하고, 결정계수는 각각 0.513 0.701, 0.701로 나타났으며, F비는 유의수준 0.05의 임계값인 4.46을 만족한다. Fig. 4는 유량에 대한 수위 및 수위차의 오차 분석 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

3.2. 수위-유량관계곡선식 비교

다중회귀식 및 유속지수법 적용에 따른 오차의 정도를 파악하기 위해서, 실측유량과 각 수위-유량곡선식에 의한 계산유량 및 실측유량과 계산유량간의 오차로부터 RMSE (Root Mean Square Error)를 계산하여 Table 5에 나타내었다. RMSE는 식 (12)와 같다.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_1)^2}{n}} \tag{12}$$

여기서 Q_o 및 Q₁는 각각 관측유량과 계산유량이며, n은 측정회수를 나타낸다.

Table 4. Equation by multiple regression analysis

Equation type	Coefficient	Estimate	Error	T Statistic	P Value
I) $Q = a + b_0H + b_1D$	a	-1291.4	396.2	-3.259	0.0049
	b_0	1760.0	479.6	3.670	0.0021
	b_1	473.8	145.9	3.248	0.0050
	R_2	0.513	-	-	-
	Standard error	108.6	-	-	-
	F Ratio	8.429	-	-	-
II) $Q = aH^{b_0}D^{b_1}$	a	1682.7	1.442	20.298	7.62e-13
	b_0	4.562	10.162	4.530	0.0003
	b_1	0.823	1.406	5.556	4.27e-05
	R_2	0.701	-	-	-
	Standard error	0.134	-	-	-
	F Ratio	18.76	-	-	-
III) $Q = a(H+c_0)^{b_0}(D+c_0)^{b_1}$ ($c_0=0.02$)	a	1794.73	1.462	19.682	1.22e-12
	b_0	4.416	9.506	4.517	0.0004
	b_1	0.756	1.368	5.574	4.19e-05
	R_2	0.701	-	-	-
	Standard error	0.134	-	-	-
	F Ratio	18.81	-	-	-

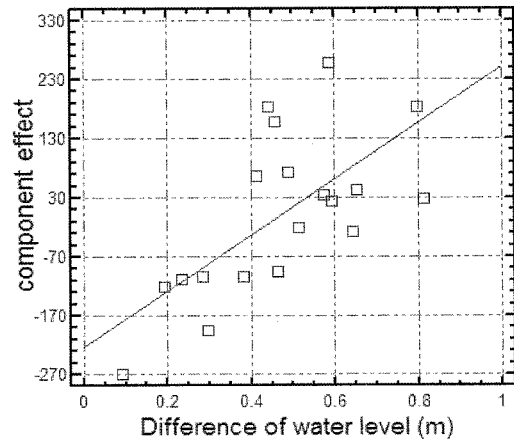
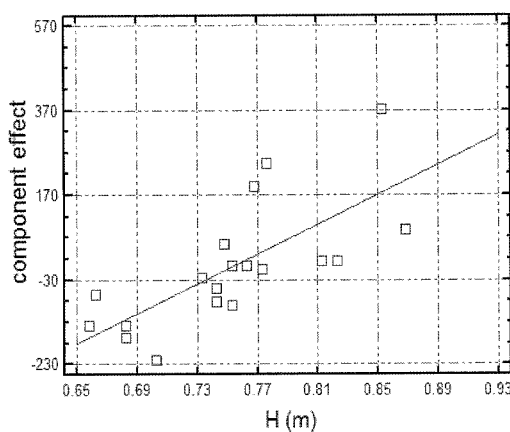


Fig. 4. Component residual plot for discharge by multiple regression analysis.

수위-유량관계 곡선식의 비교결과, Table 5와 같이 기존 및 신규 수위-유량관계곡선식의 RMSE는 264.82 및 137.1 이고 수위차를 고려한 다중회귀분석에 의한 식 (I)~식 (III)의 RMSE는 각각 99.75, 94.32, 93.98로서 크게 개선된 결과가 도출되었으며, 또한 기존 수위-유량관계곡선식은 실측유량의 10.4~2.62배의 크기로 나타났으나 다중회귀식을 적용한 결과 0.73~1.37배의 크기로 감소하였다. 따라서 본 연구의 대상지점인 삼랑진 지점에 대해서는 지수식 형태인 식 (III)이 가장 적합한 것으로 판단된다.

4. 결론

수위-유량의 관계만으로 해석하기 어려운 감조구간에서 수위와 유량과의 관계 외에 제 3의 변수인 조위를 고려한 수위차를 이용한 수위-수위차-유량관계곡선을 개발하여 적

용성을 검토하였다. 대상지점인 삼랑진수위관측소는 배수위 영향을 받는 평수위 이하에서 실측치와 기존 수위-유량관계곡선식간에 상당한 오차가 있는 것으로 분석되었다.

유량, 수위, 조위, 수위차의 상관분석을 실시한 결과 밀양 지점에서는 유량에 대한 수위의 상관계수가 0.825로 상관성이 비교적 높게 나타난 반면, 삼랑진지점에 대한 상관계수는 0.438로 상대적으로 낮게 분석되어 유량자료를 종속 변수로 하고 수위와 수위차를 독립변수로 하는 다중회귀식을 제안하였다. 다중회귀 분석결과 회귀계수 a , b_0 , b_1 은 각각의 유의확률이 유의수준 0.05를 만족하고, 결정계수는 0.513~0.771로 나타났으며, F비는 유의수준 0.05의 임계값인 4.46을 만족하였다. 다중회귀식 적용에 따른 오차의 정도를 파악하기 위해서, 실측유량과 계산유량간의 RMSE를 계산한 결과 기존식에 의한 계산유량의 RMSE는 246.82이지만 다중회귀식들의 경우는 99.75~93.98로 오차가 감소

Table 5. Root mean square error of discharge difference

Difference of water level (m)	Discharge (cms)				
	Rating curve (Old)	Rating curve (New)	Multiple regression equation (I)	Multiple regression equation (II)	Multiple regression equation (III)
0.09	39.49	357.24	183.54	92.71	89.05
0.64	41.52	375.63	461.73	480.97	476.14
0.81	22.24	150.15	331.08	284.25	279.60
0.59	27.54	226.45	297.24	282.23	281.19
0.80	17.36	62.95	244.77	207.01	203.97
0.51	32.20	282.93	312.14	300.09	300.32
0.65	19.94	111.57	220.07	208.08	206.80
0.23	29.02	245.35	144.28	139.11	141.38
0.57	19.94	111.57	182.17	186.87	186.71
0.59	32.62	287.61	350.89	339.53	338.06
0.46	31.38	273.56	277.28	265.39	266.67
0.44	48.18	430.40	419.77	416.81	417.78
0.30	51.84	457.54	377.47	325.71	329.11
0.49	28.27	235.91	256.29	247.90	248.74
0.28	30.58	264.18	185.57	173.36	176.04
0.19	26.12	207.49	90.12	105.38	106.91
0.41	17.85	72.71	71.16	124.65	125.97
0.38	27.54	226.45	197.75	196.98	199.11
0.46	29.02	245.35	253.25	244.73	245.95
RMSE	264.82	137.10	99.75	94.32	93.98

하는 것으로 분석되었다. 또한 기존 수위-유량관계곡선식에 의한 유량은 실측유량의 10.4~2.62배로 매우 상이한 결과를 보이고 있으나 다중회귀식들에 의한 유량은 0.73~1.37 배로 양호한 결과를 보이며, 다중회귀식들 중에서는 지수회귀식이 가장 좋은 결과를 나타낸 것으로 분석되어 향후 감소구간에서의 유량계산시 활용도가 높을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 관측자료의 상관분석으로 기존의 방법보다 오차를 감소시켜 정확성을 증대시킨 것으로 의미가 있다고 판단되며, 향후에는 유속지수를 활용한 방법 등 다양한 분석기법을 동원하여 감소구간의 유량값을 분석하는 연구가 수행되어야 하며, 장기적인 측면에서의 하구유입량(삼랑진지점~하구둑)과 수문방류량을 비교·평가하여 감소구간의 유량관측의 신뢰도를 정량적으로 분석하는 등의 연구가 추가로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 이재형, 황만하, 섬진강 하류부에서의 수위-유량관계에 관한 연구, *한국수문학회지*, 27(4), pp. 115-121 (1994).
- 조홍제, 황재호, 문성준, 태화강 감소부의 저수위 수위-유량곡선 개선, *한국수자원학회논문집*, 33(5), pp. 635-645 (2000).
- 추태호, 김현식, 김만식, 김철구, 감소하천에서의 수위-유량관계곡선식에 관한 연구, *한국수자원학회 2000년도 학술발표회 논문집*, pp. 535-540 (2000).
- Chow, *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, Singapore, pp. 70-74 (1986).
- Dickinson, W. T., Accuracy of discharge determination, Hydrology paper No. 20, Colorado State Univ., Fort Collins, Colo. (1967).
- Godin, G., Modification of river tides by the discharge, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng.*, 3(2), pp. 257-275 (1985).
- ISO, ISO2425, *Mesurement of Liquid flow in open channels under tidal conditions* (1999).
- USGS, *Mesurement and Computation of Streamflow-Computation of Discharge* (1982).