

감조하천에서의 수위-유량관계

Stage-Discharge Relationship in Tidal Rivers

이재형* , 정 만**, 황만하***

1. 서언

하천과 하구의 수위 변동은 물을 이용하는 사람이나 수공학자의 주요 관심 대상이다. 하구에서 밀물은 정상흐름과 충돌하여 홍수위를 증가시킨다. 이러한 홍수위는 범람지역을 발생하게 되며 결과적으로 재해의 원인이 된다. Georges와 Simon(1984)에 의하면 하구에서의 조석은 대부분 주기적인 경향을 잃게되며 특히 고조에서는 수위의 불연속성이 나타난다. 이러한 조석곡선을 평활화하는 것은 실제적으로 장기간의 조석 예측을 불가능하게 한다. 그러므로 하구의 수위를 예측하기 위해서는 하천유량과 조석과의 상호영향을 고려한 다변수 함수가 필요하다(Godin, 1985).

본 논문은 조석과 하천 유량으로 부터 수위를 산정할 수 있는 다변수 함수를 개발하고 이를 적용할 수 있는지의 여부를 검토하는 것이다. 적용 이론의 검증을 위해 섬진강 하류부에 위치한 송정 및 하동 관측소를 대상으로 분석하였다.

2. 이론적 배경

하천 유량은 유역의 강수에 따른 수문학적 응답의 결과이며 이는 유역의 수문학적인 또는 지형학적인 영향을 받는다. 일반적으로 유량은 유량이 통과하는 단면의 형태보다는 수문학적인 수지 관계에 따라 변하게 되며 연속방정식을 만족해야 한다. 그러나 시간에 따른 수위 변동의 대부분은 유량자체의 직접적인 함수이기 보다는 유량이 통과하는 단면의 기하학적 형상에 달려있다.

*정회원 : 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수

**정회원 : 여수수산대학 해양토목과 부교수

***정회원 : 전북대학교 공과대학 토목공학과 강사

일반적으로 수위관측소에서는 수위를 측정하여 이로부터 다음과 같은 수위-유량관계를 설정한다.

$$Z=f_1(Q) \quad \dots(1)$$

여기서 Q 는 하천유량, Z 는 수위이다. 이와 같은 관계는 수위표 지점의 하천 지형이 변하지 않거나 변화가 거의 없는 곳에서 설정되는 관계식이다. 또한 하천의 수면경사는 흐름 형태에 관계없이 실제적으로 일정하다고 가정한다. 그러나 홍수파가 발생하는 경우에는 하천 유량의 변동에 따라 수면경사가 변화하며, 결과적으로 위와 같은 수위-유량관계를 벗어나게 된다.

Dickinson(1967)는 수위-유량관계식의 부정확성의 요인을 다음과 같이 제시하였다.

1. 수위관측소 지점에서 조절단면의 불안정성. 수위관측소는 그 지점에 대한 장기간의 수위-유량관계가 변화하지 않을때 안정하다고 말할 수 있다. 비록 조절단면이 변화한다 할지라도 이 관계는 좋은 정확성을 갖는다. 폭이 넓은 얇은 하상의 경우에서 하상 변화는 불안정한 수위관측소의 원인이 된다.
2. 수위-유량관계에 영향을 줄수 있는 얼음이나 식생등으로 인한 계절적인 변화의 영향.
3. 홍수파의 급상승과 급하강에 따른 지연효과(Hysteresis Effects). 여기서 유량은 수위와 단면의 기하뿐만 아니라 수면경사와 단면의 조도계수에 따라서도 변한다.
4. 마지막으로 조석작용으로 인한 흐름의 변화로 하구에서의 발생한 일련의 조석파는 상류로 진행하면서 단파(Bore) 등을 형성한다. 이와 같은 상황에서는 수위-유량관계를 수정할 필요가 있다. 이를 위해 (1)식을 다음과 같이 수정한다.

$$Z=f_2(M, Q) \quad \dots(2)$$

여기서 M 은 조위이다. 식(1)에 의한 분석 결과는 ① 고조(High Tide)에서 유량의 과대 추정이 발생할 수 있으며, ② 저조에서(Low Tide) 유량이 과소하게 추정된다. 따라서 감조하천의 수위-유량관계에서는 조석에 의한 영향을 검토하는 것이 중요하다.

식(2)를 풀기 위해서는 어떤 가정이 필요하다. 먼저 3개의 무작위 변수(Random

Variables) 조위(M)와 유량(Q), 수위(Z)는 다음 회귀방정식(Regression Equation)과 같은 선형결합을 만족하는 것으로 가정한다.

$$Z = b_0 + b_1M + b_2Q + \varepsilon \quad \dots(3)$$

여기서 b_0 과 b_1, b_2 는 회귀계수, ε 는 잔차(Residual)이다. 두번째로 조위(M)와 하천유량(Q)에는 측정 오차가 없다고 가정한다. 이는 실제 상황과는 약간 다를 수도 있다. 일반적으로 수문 변수의 측정에서는 기계적인 특성이나 인간의 착오에 의한 불확실성이 내포될 수 있기 때문이다.

식(3)으로부터 다음식을 얻을 수 있다.

$$E(Z) = b_0 + b_1M + b_2Q + E(\varepsilon) \quad \dots(4)$$

그리고,

$$\text{Var}(Z) = \text{Var}(\varepsilon) \quad \dots(5)$$

여기서 $E(Z)$ 과 $E(\varepsilon)$ 는 각각 Z 와 ε 의 기대치이고 $\text{Var}(Z)$ 와 $\text{Var}(\varepsilon)$ 는 각각 Z 와 ε 의 분산(Variiances)이다.

계수 $b_i (i=0,1,2)$ 는 최소자승법(Least Squares Method)을 이용하여 산정할 수 있다. 결과적으로 잔차의 평균 $E(\varepsilon)$ 과 분산 $\text{Var}(\varepsilon)$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$E(\varepsilon) = \frac{\sum \varepsilon_i}{n} = 0 \quad \dots(6)$$

$$\text{Var}(\varepsilon) = \frac{\sum \varepsilon_i^2}{n-3} = \sigma^2 \quad \dots(7)$$

여기서 잔차는 평균이 0이고 분산이 σ^2 을 갖는 정규분포로 가정한다. 그러면 독립변수 $Z=f_2(M,Q)$ 는 평균(μ)이 $(b_0 + b_1M + b_2Q)$ 이고 분산(σ^2)이 잔차의 분산과 같은 정규분포에 접근한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$Z \sim N (b_0 + b_1M + b_2Q, \sigma^2) \quad \dots(8)$$

3. 적용 예

섬진강은 우리나라 4대강의 하나로서 전북 장수에서 발원하여 압록, 구례, 하동을 거쳐 남해안으로 유입하는 유로연장 225.25km의 하천이다. 섬진강 유역내에는 상류부에 섬진강 다목적댐과 하류부에 동북댐 및 보성강댐을 포함하는 주암다목적댐이 건설되어 있으며 이들의 유역면적은 1773.0km²로 섬진강 유역면적 4896.5km²의 36% 정도를 차지한다(산업기지가 발공사).

섬진강 본류부의 수위관측소는 총 8개소이며 주요 수위표 지점에 대한 각 유역면적과 위치 등은 표1에 게재하였다(건설부). 표 1에 나타난 바와 같이 남해안의 조석파는 하동 및 송정 수위관측소까지 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 하동과 송정 수위관측소에 대한 수위-유량관계 분석을 실시하였다. 분석에 필요한 관측 자료는 93년도 수위-유량측정자료(섬진강홍수통제소)와 섬진강 하구에 가장 인접한 T-5 조위관측소의 매시별 조위자료를 이용하였으며, 분석과정에서 다변수 함수의 분석은 SAE를 이용하였다.

표 1 섬진강 본류의 주요 수위관측소

관측소명	관측종류	유역면적(km ²)*	하구로부터거리(km)	조석영향유무	위 치	
					위도	경도
적성	수위	1,350.8	107.90	무	35 - 23 - 47 N	127 - 13 - 19 E
압록	수위	2,447.5	63.00	무	35 - 11 - 42 N	127 - 22 - 36 E
구례	수위	3,805.4	54.50	무	35 - 09 - 44 N	127 - 27 - 20 E
송정	수위	4,255.7	39.60	유	35 - 11 - 13 N	127 - 33 - 32 E
하동	수위	4,603.2	13.60	유	35 - 04 - 00 N	127 - 34 - 35 E
T-5	조위				34 - 57 - 57 N	127 - 45 - 39 E

*섬진강댐 유역면적 763.0km² 와 주암댐 유역면적 1010.0km² 포함.

송정 및 하동 수위관측소에 대한 수위-유량 관계의 분석결과는 표2와 같다. 결과에서 보다 上流에 위치하는 송정 수위관측소의 조위에 대한 계수(b_1)는 0.008로 하동 수위관측소의 0.352보다 작게 나타나고 있으며 유량에 대한 계수(b_2)는 2.588로 하동의 1.039보다 크게 나타나고 있다. 이는 상류로 갈수록 조위의 영향이 작아지며, 유량의 영향은 커짐을 의미한다. 계수 b_0 는 두 관측소 모두 양수(+)로 나타났으며 표에서 보는 바와 같이 상류쪽의 값이

보다 크게 나타났다.

표 2 수위-유량곡선식

지 점	수위-유량곡선식	S. D. E
송 정	$Z = 1.118 + 0.008 M + 2.588Q/1000$	0.3826
하 동	$Z = 0.543 + 0.352 M + 1.039Q/1000$	0.3031

4. 결론

조석파의 영향을 받는 하천에서의 수위-유량관계를 분석하였다. 섬진강 하류부의 하동 및 송정 수위관측소의 수위-유량관계 분석을 통하여 적용성을 검토하였다.

수위-유량관계식의 회귀계수를 보다 정확히 결정하기 위해서는 보다 장기간의 관측자료의 분석이 요구되며 특히 이론에서 언급된 가정의 영향을 최소화하기 위해서는 조위(M)와 하천유량(Q)은 어떤 오차 없이 측정되어야 한다.

참 고 문 헌

1. 건설부, 수자원관리기법개발연구보고서 제1권 별책부록, 한국수문관측소일람, 1989.12
2. 산업기지개발공사, 섬진강 유역 조사보고서, 1987.12
3. 섬진강홍수통제소, 섬진강 유역 유량측정보고서, 1993
4. 한국해양과학기술, 93년도 남해안(T-5) 조위관측자료, 1993
5. Dickinson, W.T. "Accuracy of discharge determination," Hydrology paper no.20, Colorado State Univ., Fort Collins, Colo., 1967
6. Dronkers, J.J. Tidal computation in rivers and coastal waters, North-Holland Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands, 1964
7. Godin, G., "Modification of river tides by the discharge.", J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng., ASCE, III(2), p.257-275, 1985
8. Statistical Analysis for Engineers J. Wesley Barnes, Prentice Hall, Inc. 1988
9. N. El-Jabi, G. Wakim, and S. Sarraf, "Stage-Discharge Relationship in Tidal Rivers", J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Eng., Vol.118, No.2, p.166-174, 1992