

쌍치 수위관측소의 수위-유량관계곡선 안정화를 위한 기초 연구

A Basic Study of Stage-discharge Rating Stabilization at the Ssang-chi Gauging Station

이정주* · 권현한**

Lee, Jeong-Ju · Kwon, Hyun-Han

Abstract

On the Ssang-chi gauging station, the discharge had been measured by the rod float method for the past twelve years. However the shifts of the rating curves are too big to be accepted. The major factors of rating curve variation were reviewed for shift analysis. To estimate the discharge measured by rod float method, two cross sections and their stages are generally required. But, the rating curves had been derived only with the observed depth of gauging station since the cross sections were not available. To correct the errors, the reference rating curve was developed. In this study, the water surface slopes of the curve were simulated by RMA2 model. The historical rating curves were re-developed by the calculated discharges on the base of the water surfaces. The results show that the range of fluctuation decreased and rating curves in recent years are physically reasonable.

Keywords : stage-discharge rating curve, shift analysis, rod float method

요 지

쌍치 수위관측소는 과거 12년 동안 봉부자로 유량을 측정해왔다. 그러나 수위-유량관계곡선의 전이가 수용할 수 없을 만큼 너무 크다. 전이를 분석해 보기 위하여 주요인자들을 검토하였고, 특히 봉부법에 의한 유량 산정을 위해서는 두 단면이 필요하나, 상·하단측선의 관측수위가 없어 수위관측소의 수위만을 사용하여 계산된 오류를 교정하였다. 이를 위해서 기존 수위-유량관계곡선을 작성하였다. 본 연구에서는 기존 수위-유량관계곡선에 대하여 RMA2모형으로 수면곡선을 모의하였다. 이를 바탕으로 기존유량을 재 산정하여 기존 수위-유량관계곡선을 재 작성하였다. 그 결과 전이의 변동 폭이 줄어들었으며 최근의 수위-유량관계곡선이 물리적으로 합당함을 확인하였다.

핵심용어 : 수위-유량관계곡선, 전이분석, 봉부자법

1. 서 론

우리나라의 주요 하천에는 수위관측소가 개설되어 있고 수위-유량관계곡선을 작성해 오고 있다. 대부분이 자연하천에 설치되어 있고 주로 이동상 하천구간이다. 막대한 예산을 투입해서 이러한 측정업무를 실시해 오고 있음에도 수위 유량곡선의 신뢰성이 떨어지는 이유중의 하나는 유량측정 구간의 관리를 소홀히 하고 있는데 기인한다(한국수자원공사, 2002). 본 연구 대상 지점인 쌍치 수위관측소도 그러한 문제를 안고 있다. 이러한 문제는 지수형 모형을 변경하거나 수치 모형을 통해서도 적당 시킬 수 있으나(장기환과 이재형, 2005; 김원 등, 2005) 근본적인 해결책은 아니다.

쌍치 수위관측소가 설치되어 있는 순창군 쌍치면 소재 추

령천 구간은 개수 하천이다. 평형하상을 고려해서 개수한 하천이지만 갈대의 성장상태에 따라서 하상의 조도계수가 변화하고, 또한 갈대를 제거하기 위해 하상을 정비함에 따라서 하상이 변화하는 양상을 보이고 있다. 10여년에 걸쳐 유량측정을 실시해 오고 있음에도 불구하고 수위 유량곡선의 상수나 지수, 영유량수위(Gage Height of Zero Flow) 등이 변하고 있는 불완전 평형 하상의 양상을 띠고 있다. 수위관측소 운영을 원활하게 하기 위해서 하상 정비를 하여도 갈대의 번성을 막을 수 없어 매년 홍수 초기나 저수위 때는 갈대가 직립인 상태에서 측정하게 되고, 중간 수위 때는 갈대가 휘어 있는 상태에서, 홍수 후기나 고수에서는 갈대가 도복되어 있는 상태에서(한국건설기술연구원, 2000) 유량측정을 실시해왔기 때문에 수위-유량관계곡선을 작성할 때 이로

*정희원 · 전북대학교 토목공학과 박사수료 (E-mail : julee@jbn.ac.kr)

**정희원 · 교신저자 · 전북대학교 토목공학과 조교수 (Email : hkwon@jbn.ac.kr)

인한 문제가 발생한다. 이러한 불완전 평형 하상에서의 관측 결과 해석은 수위-유량관계곡선의 안정화를 위해서 필요한 과정이다.

이러한 하천에서는 저수부분에 서식하는 갈대의 무성함 정도에 따라 중·횡단 지배 효과와 영유량수위(GZ.F.)가 변한다. 따라서 수위-유량관계곡선의 상수(C)는 하상 경사나 조도 변화에 따라 전이(Shifts in the Discharge Rating)하고, 지수(N)는 횡단면의 변화에 따라 전이한다. 유량이 흐르지 않는 상태를 나타내는 영유량수위(e) 또한 갈대 서식으로 인한 지체 때문에 변하게 된다. 저수위가 아니라 평수위나 고수위에서도 저수부분의 불안정한 영향이 파급되어 전이(S.D.R.)가 발생한다. 단순히 유속측정오차로 인해서만이 아니라 이러한 불안정하상의 식생과 그로 인한 토사의 침식퇴적으로 인하여 수위-유량관계곡선의 제 상수들이 전이한다(김성문, 2004).

쌍치 수위관측소에서 과거 12년 동안(한국수자원공사, 1993~2004) 봉부자를 이용해 측정된 자료들을 정리하고 분석하여 안정된 수위-유량관계곡선을 작성할 필요가 있고 나아가서는 이 곡선의 불안정 요인을 밝혀내어 예측가능한지를 파악해볼 필요가 있다. 수위 유량 곡선에 영향을 미치는 요소는 무작위 변수, 부정류영향, 측정오차 등의 내적 요인과 합류로 인한 배수영향, 식생 변화, 교량 효과, 하상변동 등의 외적 요소로 나눌 수 있다. 쌍치 수위관측소의 과거 수위-유량관계곡선이 가지고 있는 내적인 불안정 요인에 대한 분석은 선행 연구를 통해 첫째, 수위 유량곡선의 제 상수들에 내재해 있는 변화, 둘째, 수위 기준인 영점 표고와 중·횡단의 상위 등 측량오차, 셋째 영유량수위의 일관성 결여, 넷째, 상·하단측선 수위의 미 관측 등에서 발생했던 것으로 분석되었다(김성문, 2004).

문제는 수위-유량관계곡선의 변화에 가장 큰 영향을 미치는 하상의 변동이 쌍치 수위관측소의 유량 변동 폭을 설명하기에는 그 변화정도가 크지 않다는 것이다. 따라서 본 연구에서는 수위-유량관계곡선의 전이에 영향을 미치는 외적 요인들 중 영유량수위나 영점표고(Scale Offset Height)의 변동, 식생에 의한 조도 변화, 특히 상·하단측선의 수위 미 관측의 영향 등을 고려하여 수위-유량관계곡선의 변동 원인을 분석하고, 외적 변동 원인 제거에 의한 수위-유량관계곡선의 안정화 가능성을 모색하고자 한다.

2. 관측 환경

수위-유량관계곡선 작성에는 시스템상 불가피하게 포함되는 오차, 인위적인 오차, 무작위 오차 등이 포함될 수 있다. 본 장에서는 유량관측환경을 기술함으로써 수위-유량관계곡선의 변동요인으로 작용할 수 있는 대상지점의 공간형태, 하상 상태, 하천시설, 합류, 측정관련 사항들을 확인하였다.

2.1 공간 형상

섬진강 다목적댐 상류에는 2개소의 수위관측소가 있다. 그 중 하나가 쌍치면 소재 쌍계교에 설치되어 있는 쌍치 수위관측소이다.

쌍치 수위관측소의 관리 구역은 상류로 1 km, 하류로

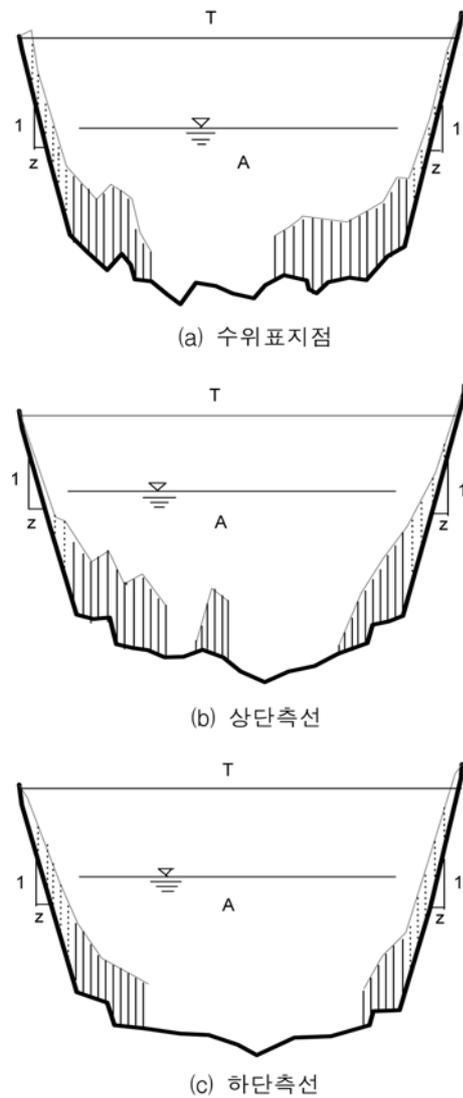


그림 1. 수위표 및 상·하단 측선

2 km이다. 2000년도에 교량을 중심으로 상·하류로 각각 좌·우안에 3개소의 표석을 설치해 놓았다. 교량 직 하류에 수위표측선, 상단측선과 하단측선이 설정되어 있다. 상류 표석 1과 2사이에 보가 있고, 하류 표석 1과 2사이에 양산천 지류가 유입한다. 지류와 본류의 사잇각은 35.63°이다. 측정구간인 수위표 측선과 상·하단 측선의 하폭은 각각 75 m, 79 m, 87 m로 폭이 확장되고 있으며, 완만한 만곡 하천이지만 상·하단 측선구간은 직선에 가깝다. 하류 표석 3과 상류표석 3사이의 6개 횡단에 대해서는 주기적으로 하천 측량을 실시하고 측선에 대해서는 매년 홍수 전후에 측량을 실시한다. 교량 빙 하단 표고는 영점표고에서 4.772 m이고 현재까지의 측정치는 교량 빙 하단을 하회한다. 교량 빙 하단을 만제 기준으로 한다면 평균 단면적은 440.56 m², 평균 윤변은 92.44 m, 평균 동수반경은 4.99 m 등이다. 본 측정구간은 개수된 하천으로 사다리꼴이며 좌안의 제방경사는 평균 1.33, 우안은 1.98로 급한 편이다. 평균 하상경사는 2.41/1000로 완만하다.

2.2 시설 환경

쌍계교의 교량길이는 75 m이며, 교각은 4개, 5경간으로 가 설치되어 있고, 경간 길이는 15 m이다. 수위표는 우안으로부터

두 번째 교각 하류방향에 설치된 철탑 구조물에 부착되어 있다(2009년 7월 6일, 약 700 m 하류에 위치한 운암교로 이설됨). 교대로부터 10 m 지점에 교량과 나란히 상단 측선을 설정하고 이곳으로부터 50 m 하류지점에 하단 측선을, 수위 표를 중심으로 수위표측선을 설정해놓고 있다. 수위표와 상단측선간 거리가 30 m는 확보되어야하나(김양수, 1995) 하폭의 확장과 지류 유입으로 상단측선이 교량과 가까이 설정되어 있다. 수위표 지점으로 부터 309.62 m 상류에 있는 보는 농업용수를 취수하기 위한 시설이며 농번기외에는 수문을 닫아놓고 있고, 홍수기 역시 수문을 닫는다. 보 전체는 광정되어 형태로 축조되어 있으며 8개소에 격판을 끼울 수 있도록 되어 있는 예연웨어가 혼재하는 형태이고, 1 m폭의 격판으로 취수 유량을 조절할 수 있도록 되어 있다. 보의 폭은 80.4 m 이고, 보의 상·하류 낙차가 크지 않아 큰 홍수에는 수중에 잠긴다. 본 연구를 위해서 격판을 새로 설치하여 누수를 방지하고 월류량을 측정하여 수위표지점의 관측유량과 비교하는데 이용하였다.

2.3 측정 환경

본 수위관측소는 섬진강다목적댐의 용수관리와 홍수에보를 위하여 수위를 상시관측하고 유량관측은 평·갈수기와 홍수기로 나누어 실시하여 매년 수위-유량관계곡선을 작성하고 있다. 그 결과를 살펴보면 측량성과들이 매년 다르다는 것을 발견할 수 있다. 우선 수위의 기준이 되는 영점표고가 측량 기관별로 다르다. 즉, 한국수자원공사 219.620 m, 전북대학교는 수자원공사에서 제시한 값을 토대로 221.933 m~219.655 m, 전라북도 219.670 m 등이다. 최근 순창군은 추령천 하천정비기본계획을 수립하면서 본 연구를 위해서 영점표고를 확인 측량하여 220.184 m로 고시하였고, 본 연구에서는 이 값을 채택하였다. 영점표고의 불일치로 인해 중·횡단 측량성과도 매년 상이하다(윤남희, 2005).

쌍치 수위관측소는 수위표를 중심으로 최심하상이 하류로 발달해 있는데, 갈수기에는 수위표 주위로 물웅덩이가 형성되어있고 매년 영유량수위가 다르다(Rantz, 1983). 좁은 저수로 중심을 따라 굽은 자갈과 모래가 분포해 있고, 양안은 고수부지라기보다 둔치에 가깝고 갈대가 무성하게 서식하고 있으며, 제방은 자생 풀들로 피복되어 있다.

쌍치 수위관측소는 TM수위계를 기본으로, 부수적으로 수위 탐에 목자판 수위표를 부착해 놓고 병행하여 운영하고 있다. 홍수시 유속측정과 동시에 목자판 수위를 목측으로 관측하고 있다. 유속측정 방법은 평·갈수기에는 프로펠러식 유속계를 이용하여 측정하고 홍수기에는 봉부지를 사용하고 있다.

3. 지배효과 분석

수위-유량관계곡선에 영향을 미치는 요소는 외적인 것과 내적인 것으로 구별해 볼 수 있다. 합류로 인한 배수 영향, 교각에 의한 대규모 와류의 발생, 식생변동, 측량오차, 하상변동 등은 전자에 속하고, 부정류효과, 측정오차, 무작위오차 등은 후자에 속한다고 할 수 있다. 본 장에서는 수위-유량관계곡선의 전이 경향을 분석하는 목적에 맞게 외적요소들의 지배 정도를 간이법으로 파악하는데 치중하였다. 지배효과를

분석하기 위한 모의 유량으로는 하천정비기본계획에 고시된 유황자료와 빈도별 계획홍수량을 이용하였다. 효과분석 계산 방법으로는 HEC-RAS를 사용하였다.

3.1 합류 효과

쌍치 수위관측소를 출구로 하는 유역의 면적은 126.3 km², 관측소 하류에 유입하는 양산천 지류 유역면적은 10.3 km²로 본 유역의 약 8%에 해당한다. 하류단인 표석 3을 배수계산 시점으로 취하여 배수계산을 실시하였다. 지류의 지배효과는 300 m³/s에서부터 나타나기 시작했으며 유량이 커질수록 그 효과도 커져서 최대 1120 m³/s에서 0.08 m의 수위차를 보였다.

3.2 식생 효과

본 하천 구간의 조도계수로 하천정비기본계획에서는 0.035를 채택하였다. 본 관측구간의 조도는 하천중심, 양안의 둔치, 제방법면이 현격히 다르다. 본 연구에서는 한국건설기술연구원(2000)에서 제시한 조도계수 값을 토대로 하여 수로 중심부 0.020, 둔치, 0.045, 제방 법면 0.038등을 부여하여 부등류 계산을 실시하였다. 0.035로 균일하게 채택하여 계산한 경우와 40 m³/s에서부터 차이가 발생하여 최대유량 1120 m³/s에서는 0.32 m의 차이를 보였다.

3.3 교량 효과

본 관측소는 교각 직하류 구간만 직선부를 확보할 수 있다. 교량으로부터 100여m 지점에 위치한 합류부로 인해 교량에서 투하한 부지의 유적선이 양 제방을 따라 평행하게 유지될 수 없다. 교량 직하류에 상단 측선을 설정하는 경우에는 교각에 의해서 형성된 와류의 영향을 크게 받기 때문에 적절한 구간확보가 문제시된다. 현장 여건상 10 m 하류에 상단 측선이 설정되어 측정을 실시해 오고 있다. 가상으로 교각에 의한 단면 축소의 영향이 없는 경우와 현재 상황을 비교해 보기위해서 부등류 계산을 실행하였다. 교각에 의한 단면 축소 영향은 저유량에서 부터 발생하기 시작하여 유량이 증가할수록 커졌으며 1120 m³/s에서 0.14 m의 차이를 보였다.

3.4 하상변화

본 관측소지점 측선들의 횡단측량 자료들을 비교분석한 결과 측량오차에 의한 단면의 불일치가 빈번했으며, 외적인 변동요인의 큰 부분을 차지하고 있다. 수위표 영점표고와 횡단면을 보정하며 모의를 실시하였다. 즉, 매년 측선위치의 횡단 자료들을 법면과 기슭을 기준으로 조정하였다. 하상이 갈대 등의 식생에 의해 퇴적되기도 하고 하상이 정비되기도 하여 그 변동을 정확하게 파악할 수는 없지만 단면 중첩과정에 의해서 홍수 전후기의 단면을 기준으로 하여 비교해 보았다. 앞의 두 경우와는 달리 저유량 에서부터 고유량에 걸쳐서 상당한 폭의 차이를 보였으며 최소 0.14 m, 최대 0.46 m의 차이를 보였는데, 오히려 고유량 부분에서는 0.30 m로 좁아졌다.

이상을 종합해 보면 교량에 대해서는 측선 설정의 영향을 고려하여 적절한 이격을 두어야하나 현장 여건상 최적의 거

리를 확보할 수 없고, 합류효과는 상대적으로 적다고 할 수 있으므로, 결국, 조도와 하상 변화를 포함한 측량오차가 가장 크게 수위-유량관계곡선에 영향을 미쳤다고 할 수 있다.

4. 측정 성과 분석

1993년부터 2004년까지 쌍치 수위관측소를 운영해오면서 매년 유량측정을 실시하고 있다. 주목해야할 점은 어떻게 하면 수위-유량관계곡선을 안정화시킬 수 있겠느냐 하는 것이다. 10여 년간의 측정 성과를 점검해 보고 그 가능성을 타진해 보고자 하는 것이 본 장의 목적이다. 측정오차와 무작위오차는 수위-유량관계곡선식의 5% 변동범위 이내의 자료만을 신뢰성 있는 자료로 채택함으로써 최소화 하였다.

4.1 측정성과

1993년부터 2004년 까지 총 421개의 수위-유량 자료가 확보되었으며 연평균 35회의 유량이 측정되었다. 홍수수문곡선의 상승부나 하강부, 또는 침두부를 식별해 놓지는 않았다. 2002년에 만제 수위의 71%인 3.38 m의 최대 홍수위와 541.390 m³/s의 홍수량을 측정하였다. 여기서 만제 수위란 교량 빔 하단 표고를 말한다. 1995년에 1.60 m의 수위와 128.170 m³/s의 홍수량을 측정하여 분석기간 중에서 제일 적은 홍수측정성과이다. 평 · 갈수의 경우는 2004년에 0.06 m, 0.230 m³/s로 최소이고, 2002년에 0.21 m, 0.706 m³/s로 최대 측정치이다.

4.2 수위-유량곡선의 전이

수위-유량관계곡선들이 해마다 변하는 이유는 하상변동 등을 포함한 측정환경의 물리적인 변화가 주된 원인이며, 본 연구에서도 가장 큰 원인으로 분석된 측량오차를 보정하여 일관성 있는 단면자료를 생성하는 과정이 선행되었다. 보정된 수위-유량관계곡선 전이의 원인을 찾기 위해서는 곡선식의 물리적 환경에 의한 영향정도를 파악할 필요가 있다. 본 연구에서는 각 측정값들에 대한 수치모의를 하였다. 모의의 목적은 수위-유량관계곡선에 내재해 있는 단면변화나 조도계수 변화를 분석하여 측정유량에 상응하는 값을 알아내기 위한 목적과, 적은 측정횟수로 작성된 수위-유량관계곡선의 낮

은 신뢰성을 보완하기 위한 목적을 포함하고 있다.

상류의 보에서 하류 양산천 합류점까지 종단 간격 10 m~20 m의 조밀한 간격으로 횡단측량을 실시하여 1차원모형의 단면자료를 생성하고 이를 기반으로 모의를 실시하였다. 그 절차로는 측량오차로 인한 단면 보정과 식생으로 인한 단면형상 변화를 고려하여 실측선과 나란히 한 다음(그림 2의 1→2) 조도를 조정하여 그 선에 일치시켰다(그림 2의 2→3).

$$Q = C(H - e)^N \quad (1)$$

수위-유량곡선을 식 (1)의 영유량을 고려한 지수식의 형태로 적용할 때, C값의 경우 2.439~220.721, N값의 경우 0.762~4.182, e값의 경우 0.073~0.927로 변동 폭이 매우 크다.

이상을 종합하여 보면 본 연구대상 지점은 개수된 하천으로서 둔치 상부의 단면이 고정되어 있고 그 하단만 약간 변하므로 제 상수들의 변화 폭이 줄어들 수 있을 것으로 판단 된다.

4.3 모의 곡선의 해석

하천은 개수된 준 평형하상이고 갈대의 서식정도로 보아 수위-유량관계곡선의 상수는 소폭으로 변동할 것으로 예상된다. 그리고 횡단면의 전체적인 형상(그림 1)은 상 · 하류 단면간의 큰 변화는 없는 것으로 나타났다. 그러나 관측기간의 수위-유량관계곡선을 정리해 놓고 보면 만제 수위의 90%인 4.30 m에서 최고 유량이 최저 유량의 약 두 배에 달하며 0.20 m수위에서는 최고유량이 최저 유량의 40배를 넘는다(그림 3). 이러한 차이는 제 상수들에 포함되어 있는 물리적인 상황평가에 문제가 있었던 것으로 드러났다(김성문, 2004).

영점표고, 종 · 횡단측량 등의 교정을 통해 수위-유량관계곡선을 모의 하더라도 영유량수위(G.Z.F.)와 영점표고(S.O.H.)를 일치시키기는 어렵다. 하지만 두 값이 약 1 m의 차이를 보이고 있는 현실은 홍수시라 하더라도 물리적인 한계를 벗어난다. 이를 확인하기 위해서 2004년 봄 상류 보를 보수하고, 이 보에서 작은 홍수 때 엄밀하게 유량 측정을 실시하여 수위표지점의 관측수위와 비교할 참조유량을 측정했다. 또한 홍

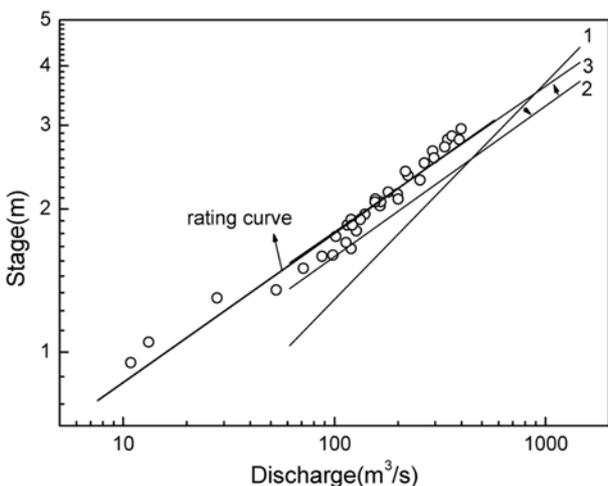


그림 2. 수위-유량관계곡선의 동정

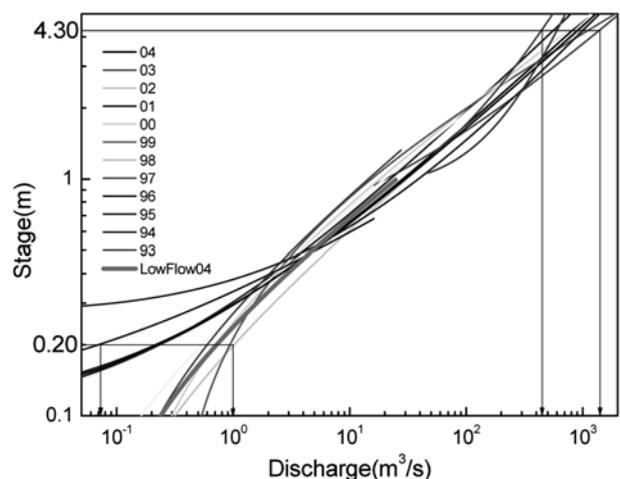


그림 3. 연도별 수위-유량곡선의 모의

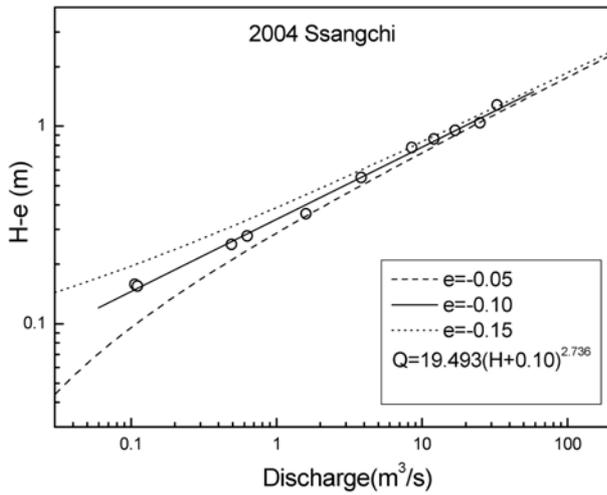


그림 4. 2004년 저수위 수위-유량곡선

수가 지난 다음 중단 측량을 실시하여 수위표지점의 물리적인 영유량수위가 -0.1 m임을 확인하였다. 참조유량에 의해 작성된 수위-유량관계곡선의 영점표고 -0.1 m가 측량성파로 얻어진 영유량수위 -0.1 m와 일치함을 볼 수 있다(그림 4).

5. 전이 해석

수위-유량관계곡선의 상수들의 변화 폭이 비현실적이므로 이를 바로잡기 위해서 기준 유량을 설정하고 이에 합당한 수면 경사를 모의한다. 그 결과를 이용해서 상·하단측선의 수위를 산정하여 수위-유량관계곡선을 재평가하며 그 전이의 폭이 줄어드는 지를 고찰해 본다.

5.1 기준 수위-유량곡선

부지를 이용한 유량측정에는 상·하단 측선에 보조 수위표가 필요하나 쌓치 수위관측소는 이러한 시설이 없다. 때문에 상·하단 측선에서의 수위관측을 실시하지 않고 수위표 수위 값으로 대신하여 유량을 산정해왔다. 앞에서 제시한 바와 같이 몇 가지 보정 작업들을 통해서도 만족할만한 상수값들을 얻지 못하였다. 따라서 본장에서는 기준 수위-유량관계곡선으로 수면경사를 모의하고 그 결과를 이용해서 제 상수들을 재평가 하였다. 고수위에 대하여는 Roh 등(2005)이 제안한 방법을 택하여 표면 유속의 보정 값으로 유량을 산정하였다. 즉, 2005년 홍수기에 검증된 전자과 유속계에 의하여 표면 유속을 관측하고 보정하여 유량을 산정하고 보에서 얻은 값과 비교해 본 결과 현장 적용성을 확인하였다(그림 5 하단). 그림 5에서 점선은 저수위 구간에 보에서 측정한 유량을 이용한 곡선식이고, 1점 쇄선은 전자과유속계로 측정하여 산정한 유량의 보정 전 곡선식, 실선은 보정후의 값을 이용한 수위-유량관계곡선이다. 식 (2)는 저수위 수위-유량관계곡선이며, 식 (3)은 고수위 수위-유량관계곡선이다 (Jansen *et al.*, 1979).

$$Q_w = 19.493(H+0.10)^{2.736} \quad (-0.10 \text{ m} < H < 1.2 \text{ m}) \quad (2)$$

$$Q_e = 29.771(H-0.022)^{2.107} \quad (1.2 \text{ m} \leq H < 2.90 \text{ m}) \quad (3)$$

여기서, H 는 관측 수위이며, Q_w 는 같은 수위에 대해서 보

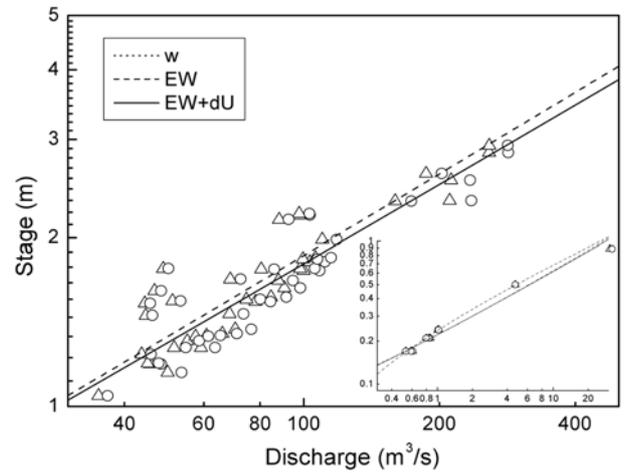


그림 5. 2005년 고수위 수위-유량곡선

에서 측정한 유량 값이고, Q_e 는 관측 표면 유속을 보정하여 산정한 유량 값이다. 2.90 m 이상에 대해서는 식 (3)에 의해서 평가한 직선을 연장하여 이용했다. 이 때 식 (2)의 표준편차는 0.024이고 상관계수는 0.998이다. 또 식 (3)의 표준편차는 20.610이고 상관계수는 0.955이다. 그림 5에서 Roh 등(2005)이 제시한 모형이 기존방식에 의해서 산정한 유량보다 크다. 저수위에서는 G.Z.F.가 -0.10 m인데 반해서 고수위에서는 S.O.H.가 0.022 m였다. 이는 고수시 식생상태변화, 침식 또는 퇴적 등의 영향임을 의미한다. 본 연구에서는 식 (2)와 식 (3)을 기준 수위-유량관계곡선으로 하여 수면곡선을 모의하였다.

5.2 수면 경사

수위관측소 수위를 독취하여 갈대 서식지의 평균 수심을 산정하고 봉부자로 유속을 측정한 다음, Manning식에 의해 조도계수를 산정하여(Chow, 1959) 평균수심에 대한 갈대 평균고 1.56 m의 상대 수심을 도시하였다. 이렇게 구한 조도계수를 한국건설기술연구원(2000)의 연구 성과인 조도계수와 상대수심에 따른 갈대의 상태를 도시한 그림에 중첩시킨 결과(그림 6) 다음과 같은 판단을 할 수 있었다.

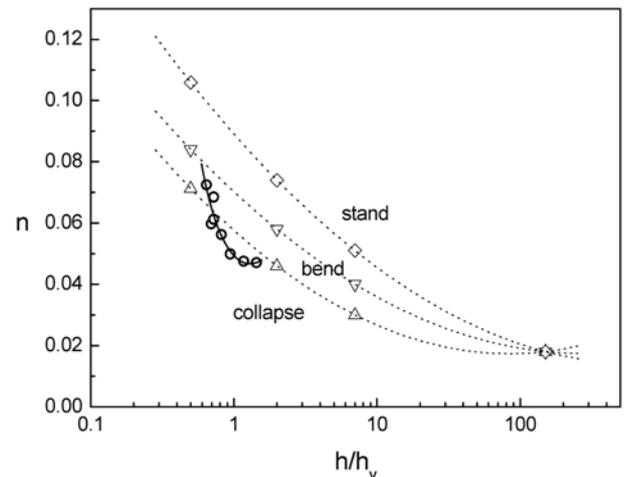
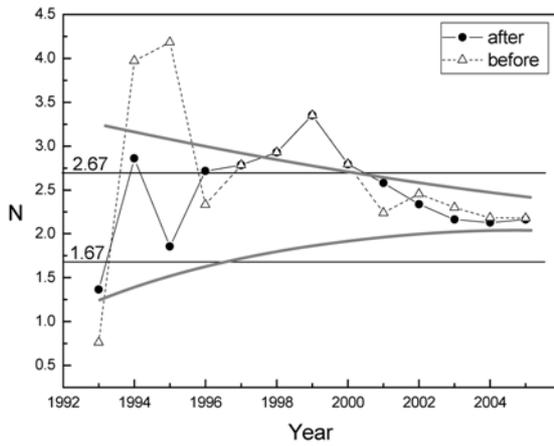
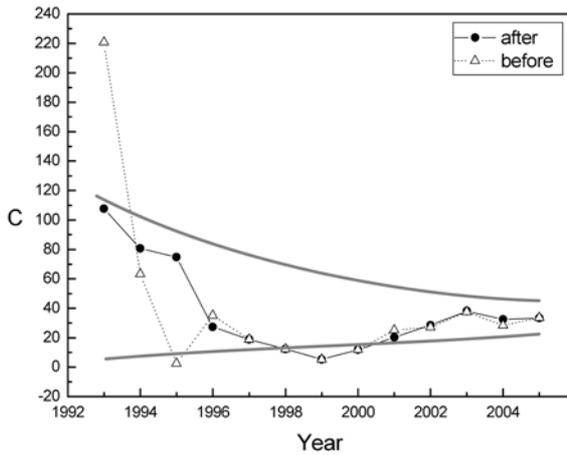


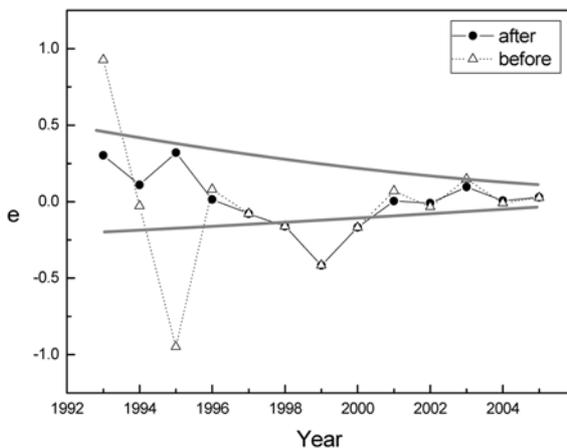
그림 6. 상대수심과 갈대상태에 따른 하천의 조도계수(한국건설기술연구원, 2000)



(a) N 값의 변화추이



(b) C 값의 변화추이



(c) e 값의 변화추이

그림 7. 수위-유량곡선 제 상수들의 변화추이

직립 $H \leq 1.3$ m (4)

휨 $1.3 \text{ m} \leq 1.8$ m

도복 $1.8 \text{ m} < H$

여기서, H 는 쌓치 수위관측소의 수위이며, 그림 6에서 h 는 갈대 서식지의 평균수심, h_s 는 갈대 높이, m 은 조도계수이다.

RMA2 모형을 이용하여 수위표 측선과 하단 측선 사이의 수면경사를 모의하였다. 기준 수위-유량관계곡선과 앞에서 산정한 조도계수를 이용하여 모형을 구성하였으며, 그 결과는 식 (5), 식 (6)과 같다.

$$S = 7.44 \times 10^{-4} H^{0.879} \quad (H \geq 1.2 \text{ m}) \quad (5)$$

$$S = 5.77 \times 10^{-4} H^{1.744} \quad (H < 1.2 \text{ m}) \quad (6)$$

여기서 S 는 수면경사, H 는 쌓치 수위관측소 수위이다.

저수위와 고수위의 절편과 경사가 다른 이유는 저수위 때는 보에서 관측한 시기가 봄 홍수 때라 갈대가 자라지 않았고 고수위 때는 침식 또는 퇴적작용과 무성한 갈대로 인한 중형단 지배가 발생했기 때문으로 해석된다.

5.3 상수 분석

93년부터 2005년까지 자료 중 측정 아장이 없거나 측정방법이 달라 보정하기가 어려운 4년 동안의 자료를 제외하고 나머지 봉부자에 의한 측정결과를 앞 절에서 산정한 수면경사에 의해 구해진 상·하단 측선의 평균단면에 적용하여 유량을 재 산정하였다. 재 산정된 유량자료를 이용하여 도출한 수위-유량관계곡선의 계수 C , 지수 N , 영점표고 e 를 그림 7에 도시하였다.

유량측정 개시년도에는 많은 차이를 보였으나 해가 갈수록 차이가 줄어들어 측정의 정도가 높아지고 있음을 보여준다. 또한, 수면경사의 모의를 통해 재 산정한 유량의 적용으로 변동의 폭이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 지수 N 값의 경우 1.366~2.860, C 값의 경우 28.44~107.67, e 값의 경우 0.003~0.303등으로 변동 폭이 크게 줄었다. 93년에서 2005년까지의 포락선을 보면 자연하천의 포물선형 단면의 경우에 Mosley와 Mckerchar(1992)가 제시한 지수 값 2.17에 수렴해 가는 것으로 보아 본 개수 하천의 하상 변동은 크지 않음을 알 수 있다.

6. 결 론

쌓치 수위관측소는 측정환경이 준 평형하상으로 볼 수 있는 개수하천임에도 불구하고 연도별 수위-유량관계곡선의 제 상수들이 큰 폭으로 변화하는 양상을 보인다. 본 연구에서는 이러한 변동의 원인을 분석하기 위해 영점표고의 확인, 측정 단면의 재검토, 전이의 원인분석, 간이측정의 보완 등을 통해 곡선식 변동의 외적 요인들에 의한 전이를 분석하여 보정하였다. 또한 상류 보에서의 유량관측 값을 저수위 구간에 대한 참조유량으로, 전지과유속계에 의한 유량관측 값을 고수위 구간에 대한 참조유량으로 이용하여 산정된 2005년도 수위-유량관계곡선을 기준 수위-유량관계곡선으로 정하고, 조밀한 간격의 측량성과를 이용한 RMA2 모형을 구성하여 기준 수위-유량곡선과 갈대에 의한 조도계수의 변화를 고려한 측정구간의 수면경사를 모의하였다. 봉부자에 의한 유량관측 성과를 수면경사를 고려하여 재 산정하였으며, 이를 이용하여 연도별 수위-유량관계곡선을 재작성 하였다. 그 결과 쌓치 수위관측소 지점 수위-유량관계곡선의 영점표고 e 는 0.0~0.028 부근에서, 상수 C 는 20.0~30.0 부근에서, 지수 N 은 2.16~2.34 부근에서 안정될 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

김성문(2004) 쌓치 수위표지점의 고수위-유량관계곡선 전이분석, 석사학위논문, 전북대학교

- 김양수(1995) 유량관측 개선 방안 연구 조사, 43000-58720-57-9504, 한국건설기술연구원.
- 김 원, 김치영, 김동구, 이친주, 황석환(2005) 수치모형을 이용한 수위-유량관계 개발, 한국수자원학회 05년 춘계학술발표회는 문집, 한국수자원학회, pp. 1-5.
- 윤남희(2005) 쌍치 관측소의 저수위 전이 분석, 석사학위논문, 전북대학교.
- 장기환, 이재형(2005) 하천 수위-유량곡선식 개선 및 모형개발, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제38권, 제4호, pp. 271-280.
- 한국건설기술연구원(2000) 하도 특성과 식생의 상관관계 분석, 건기연 2000-094, 한국건설기술연구원.
- 한국수자원공사(1993-2004) 섬진강댐 일원 수문조사 보고서, 한국수자원공사 섬진강댐관리단.
- 한국수자원공사(2002) 유량측정 성과 평가(Ⅰ) 및 2001년 수위 유량관계식 수정, 한국수자원공사 조사기획처
- VEN TE CHOW (1959) *Open-Channel Hydraulics*, Mcgraw-hill.
- P. Ph. Jansen, L. van Bendegom, J. van den Berg, M. de Vries, A. Zanen (1979) *Principles of River Engineering*, Pitman.
- Paul Mosley, M. and Alistair I. Mckerchar (1992) *Stream Flow - Handbook of Hydrology*, Edited by David R. Maidment, Mcgraw-hill.
- RANTZ, S.E. and others (1983) *Measurement and Computation of Streamflow Vol. 2. Computation of Discharge*, Geological survey water-supply paper 2175, USGS.
- ROH, YOUNG SIN, YOON, BYUNGMAN, YU, KWON KYU (2005) Estimation of Depth-Averaged Velocity from Surface Velocity in the Open Channel Flow, *Proceedings of 31th IAHR CONGRESS*, IAHR, pp. 466-474.
- (접수일: 2009.10.12/심사일: 2009.11.24/심사완료일: 2009.11.26)