

중소하천(요천)에서 지배유량 연구

임창수^{1*} · 이준호²

¹경기대학교 토목공학과 부교수, ²영산강홍수통제소 시설연구사

A study on the dominant discharge in small and medium-sized stream (Yo-Stream)

Chang-Soo Rim^{1*}, Joon-Ho Lee²

¹Dept. of Civil Engineering, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea

²Yeongsan River Flood Control Office, Gwangju, 502-811, Korea

Received on 3 March 2011, revised on 21 March 2011, accepted on 20 June 2011

Abstract : The purpose of this study is to select the dominant discharge which mostly affects the formation of the channel shape in Yo-Stream. So far, three different discharge conditions such as bankfull discharge, discharge of a specific recurrence interval, and effective discharge have been considered as an indicator of dominant discharge. Therefore, three different discharge conditions were studied and based on the study results, dominant discharge was selected for Yo-Stream. When comparing bankfull discharge and effective discharge at Beonam stream gaging station, it has turned out that effective discharge was 10 m³/sec, which is 6 times greater than bankfull discharge of 58.83 m³/sec. Furthermore, when comparing bankfull discharge and discharge of a specific recurrence interval, bankfull discharge was quite similar to discharge with recurrence interval of 1.52 years. Previous study results also indicate that dominant discharge occurs with recurrence interval of similar duration. Therefore, discharge of 58.83 m³/sec was considered as a dominant discharge, which corresponds to discharge with recurrence interval of 1.52 years.

Key words : Dominant discharge, Bankfull discharge, Effective discharge

I. 서론

하도 지형 체계에서의 지형 변화를 주도하는 독립변수는 유량이지만, 평수시에 하천수는 단지 이미 형성되어 있는 하도 내를 흐를 뿐이며 지형을 변화시키지 못한다(Richards, 1982). 현재의 하도형태를 형성하며 지형 변화를 주도하는 유량은 지배유량(dominant discharge)이라고 한다. 지배유량 또는 하도형성유량은 가상적인 유량으로서, 이 유량이 장기간 일정하게 축적하천에서 유지된다면 장기간 자연상태의 유출수문곡선에 의해 형성되는 것과 같은 하도 형태를 형성할 수 있는 유량을 말한다. Wolman과 Miller(1960)는 하도형태가 하나의 유량보다는 유량의 변동에 의해서 주로 영향을 받는다고 가정하였다. 연구자들은 지배유량을 나타내기 위하여 다양한 유량 값을 이용해 왔다. 가장 일반

적인 유량 값은 자연적으로 형성되는 강턱을 만배하여 흐르는 유량인 강턱유량(bankfull discharge)과 연 최고 또는 부분 기간치 빈도곡선에서의 특정 재현기간 유량 그리고 유효유량(effective discharge) 등이다. 이러한 세 가지 방법 모두 상당한 불확실성을 가지고 있다. 따라서 미세측 지역의 지배유량은 하나의 방법보다는 되도록 일관된 추정치를 찾을 수 있는 여러 방법에 의하여 평가되어야 한다.

하천에서 강턱(bank)을 가득 채우고 흐르는 강턱유량은 지배 유량과 거의 동일하게 취급되는데, 이는 강턱을 넘쳐 흐를 때에는 유수에 의한 토사의 퇴적 양상이 변화되는 등 하도형성작용이 뚜렷하게 달라지기 때문이다. 현장에서의 강턱유량이나 수위의 구별이 어려운 관계로 하도형성유량으로 특정재현기간 유량을 적용하며, 특정재현기간 유량은 계측지점의 유출자료를 이용하여 빈도분석을 함으로써 산정될 수 있다. Leopold(1994)는 강턱유량의 재현기간이 1~2.5년의 범위에 있으며 많은 하천들에서 1.5년이 대표

*Corresponding author: Tel: +82-31-249-9740

E-mail address: csrim@kgu.ac.kr

적인 평균치라고 정의하였다. 기타 여러 연구자들도 이와 비슷한 재현기간을 하도형성유량으로 결정하였으나 Williams(1978)는 미국 하천들을 대상으로 조사한 결과 강터유량이 1~32년의 재현기간을 갖는다고 하였다. 또한 Pickup과 Warner(1976)는 강터유량의 재현기간이 4~10년 범위에 있다는 결론을 제시하였다. 유효유량은 수년에 걸쳐 연 유사량의 대부분을 이동시키는 유량의 평균값으로 정의되며(Andrew, 1980), 적어도 일 년에 한번이나 두 번 또는 대부분의 경우 매년 여러 번 발생하는 적당한 빈도의 유량규모에 의해 연 유사량의 대부분을 이동시키는 유량이다. 일반적으로 지배유량 개념에서는 강터유량과 유효유량을 대등한 유량으로 사용하지만 Pickup과 Warner(1976), Webb과 Walling(1982), Nolan 등(1987), Lyon 등(1992)은 유효유량이 항상 하도형성유량을 표시하는 것은 아니라고 하였다.

국내에서도 이들 세 가지 기준, 즉 강터유량과 특정 재현기간 유량 그리고 유효유량 등의 비교연구를 통하여 하도형성에 영향을 미치는 적정 지배유량을 산정하려는 연구가 수행된 바 있다(Lee와 Lee, 2002; Son 등; Ji 등, 2009). 본 연구에서는 연구대상 하천인 요천에 대해서 지배유량을 결정하기 위하여 적용되는 세 가지 다른 지표인 강터유량, 특정 재현기간 유량, 유효유량을 산정하고, 세 가지 다른 지표들 사이의 상관관계를 분석하였다.

II. 연구자료 및 방법

1. 요천개요

요천은 전북 장수군 장수읍 대성리의 마령사(EL. 800 m) 기슭에서 발원하여 동향으로 유하하다가 좌안측에서 교동천, 용림천, 백운천을 차례로 합류시킨 후 유향을 잠시 남쪽으로 바꾼 후 다시 장수군 번암면 대론리 지점에서 남서류로 유향을 바꾼 후 19번 국도를 따라 유하하면서 남원시의 외곽지역을 관류하고, 국가하천 시점인 전북 남원시 월락동, 신촌동, 이백면의 경계에 위치한 이백교를 지나 유하한 후 좌안측으로 원천천, 주촌천을 합류시킨다. 그리고 잠시 유하한 후 우안측으로 옥물천, 대곡천을 차례로 합류시키고 계속 남서류 방향으로 유하하다가 좌안측으로 송내천이 합류하여 유향을 다시 남쪽으로 변경하여 전라북도 남원시 송동면 세전리 지점에서 섬진강본류의 좌안측으로 유입된다(Fig. 1). 본 연구의 공간적 범위는 수리량 측정의



Fig. 1. Hydro-meteorologic observation stations in Yo-Stream watershed.

경우 요천 번암수위표를 중심으로 상·하류 2 km 구간에 대해서 조사를 수행하였다.

2. 연구 자료조사

가. 하천단면 측량

본 연구에서는 요천의 하천단면 측량을 위하여 종단측량에는 번암수위표를 기점으로 상, 하류로 100~200 m간격으로 1,000 m 구간에 대하여 3차에 걸쳐서 측량을 실시하였다. 1차 측량은 2003년 11월 7일부터 2003년 11월 11일까지 수행되었고, 2차 측량은 2004년 6월 22일부터 2004년 6월 24일까지 수행되었으며, 3차 측량은 2004년 9월 21일부터 2004년 9월 24일까지 수행되었다.

나. 유사량 조사

유사량 측정은 계절별 유사 발생 양상 등을 파악하기 위하여 계절별로 시행되어야 한다. 아울러 유사는 홍수기에 대부분 발생되므로 홍수발생시 측정되어야 한다. 본 연구 대상하천인 요천의 경우는 홍수기가 아닌 평수기에는 유사 발생이 거의 발생되지 않아 평수기의 유사 측정은 의미가 없는 것으로 판단되어 유사측정은 홍수기에 실시되었다. 요천 번암수위표 지점에서 2004년 7월 4일부터 6일까지 3일간 유량측정을 11회 실시하였다. 당시 강우기간 동안에 침투수위는 2004년 7월 4일 15시에 발생하였고 수위는 1.5 m이었으며, 최저수위는 7월 6일 18시에 1.0 m이었다. 유사량

의 경우 당시 유량측정과 동시에 변암 수위표지점에서 3개의 단면에서 부유사를 채취하였으나 분석결과 그 양이 너무 미미하여 분석이 불가능하였다. 요천의 변암 수위 상하류 2km 구간에 걸쳐서 호박돌이 하상을 덮고 있어 부유사의 양이 미미하였다. 또한 요천 변암수위표지점에서 태풍 메기가 발생한 기간인 2004년 8월 18일~19일까지 2일간 유량측정을 3회 실시하였으며 당시 강우기간 동안에 침두 수위는 2004년 8월 18일 21시 42분에 발생하였고 수위는 1.92 m이었으며, 최저수위는 8월 18일 18시에 1.64 m이었다.

유사량은 부유사량과 소류사량을 동시에 측정하여야 하나 소류사량은 일반적으로 측정하기 어려워 부유사량을 측정하고, 그 결과로부터 소류사량을 공식에 의하여 추정한다. 본 연구에서도 측정대상은 부유사량으로 한정하였다. 부유사를 측정함에 있어 부유사를 채취하는 방법은 수심적분하는 방법과 점적분하여 채취하는 방법이 있는데, 수심이 4.6 m이하인 일반 하천에서는 수심적분하는 방법을 주로 사용하고 있다. 본 연구에서도 대상지점의 수심이 위험수위인 5.0 m 이하인 경우로 수심적분하는 방법을 사용하여 부유사를 채취하였다. 연직 측선수를 선정하는 방법은 단일측선법(하천 최심선법), 3개 측선법, 등간격법 및 등유량법 등이 있다. 본 연구 대상 지점은 하천의 흐름이 2개의 큰 흐름으로 형성되어 있다. 즉, 2개의 최심선을 가지고 있어 연직측선 선정을 단일측선법으로 하되 하천의 최심선법으로 적용하여 2개의 연직측선에서 유사를 채취하였다. 수심이 낮은 경우에는 1개의 측선에서 유사를 측정하고 수심이 1.0 m 이상이 될 경우에 2개 측선에서 유사를 채취하였다. 유사를 채취하며 동시에 유량을 측정하여 유사량과 유량의 관계를 분석할 수 있도록 하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 강터수심 조사

강터수심을 결정하는 방법은 현장지표를 이용하는 방법과 수면폭/수심이 최소가 되는 표고를 이용하는 방법이 있다. 현장지표를 이용하는 방법에는 제방을 중심으로 제내지와 제외지의 지반고를 비교하여 서로 비슷한 표고를 가지면 제외지의 홍수터 표고를 강터수심으로 결정하는 방법, 제외지의 홍수터가 여러 개의 계단형태를 이루고 있을 경우 중간터(middle bench)를 강터로 하는 방법, 나무와

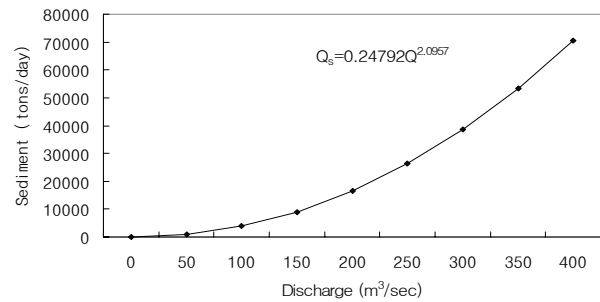


Fig. 2. The deepest bed level and bankfull stage for each study section of Yo-Stream.

같은 영구식생이 있을 경우 그 하한계의 높이를 강터으로 하는 방법, 다년생 초본류나 관목류 군락 또는 논이나 밭으로 사용되는 곳의 턱을 강터으로 결정하는 방법 및 사주 등이 형성되어 있을 경우 식생이 도입된 곳의 높이를 강터수심으로 결정하는 방법 등이 있다.

본 연구에서는 현장조사를 통하여 상기 방법들을 종합적으로 고려하여, 수위표지점과 100 m 간격의 측점에 대하여 제외지의 홍수터 표고를 강터수심으로 결정하였고, 홍수터가 여러 계단형태를 이루고 있는 경우는 중간터를 이용하여 결정하였으며, 그 외에 홍수터를 이용하여 결정하기 어려운 경우는 나무와 영구식생 조건을 고려하여 그 하한계 높이를 강터으로 결정하였다(Fig. 2). 강터수심을 결정 후 본 연구의 분석 대상 지점인 수위표지점에 대하여만 수위-유량관계 곡선을 이용하여 강터유량을 산정하였다.

2. 강터 유량산정

강터수심에 대한 유량은 미육군공병단에서 개발된 1차원 수리해석 모형인 HEC-RAS(U.S. Army Corps of Engineers, 2001)로 배수위 계산을 통한 반복계산법에 의해 강터수심의 유량을 산정하였다. HEC-RAS 모형의 주요 입력자료는 하도와 좌우안 홍수터의 조도계수, 하천 횡단면 좌표 및 하도구간별 거리이며, 횡단면 좌표와 하도구간별 거리는 이번 연구 수행 중에 실시된 하천측량자료를 이용하였다. 강터수심에 해당하는 강터유량의 계산은 HEC-RAS 모형의 입력변수들을 고정시킨 후 정상류 조건으로 유량을 계속 변경시켜가며 반복모의를 수행하였으며, 이러한 반복모의를 통해 선정된 요천 대상지점별 강터유량은 Table 1과 같다.

Table 1. Hydraulic characteristics and bankfull discharge at each study section of Yo-Stream.

Section	Cross sectional area (m ²)	Stream width (m)	Water depth (m)	Bankfull discharge (m ³ /sec)
0	33.7	60.42	0.72	55.13
1	33.29	65.57	0.79	62.67
3	28.46	68.36	0.77	57.59
4	48.55	85.77	1.04	70.7
5	35.15	37.93	1.99	66.62
6	27.86	72.35	1.13	53.92
8	31.72	47.4	1.04	63.97
9	26.26	71.02	1.23	56.35
10 (Beonam station)	66.98	92.26	1.29	58.8
11	39.77	45	1.72	57.59
12	28.56	35.5	1.08	56.35
13	37.02	112.11	1.4	66.62
14	34.89	62.28	1.56	55.13
15	34.08	78.56	1.22	66.62
16	28.67	42.72	0.98	73.48
17	34.93	49.07	1.24	55.13
18	32.25	66.3	0.98	70.07
19	33.59	37.58	1.24	69.33
20	23.53	38.52	1.06	57.59

3. 특정재현기간 유량 산정

본 연구의 대상인 요천 변암관측소에 대하여는 17년간 (1986~2002)의 수위자료를 이용하여 유도된 수위-유량 관계 곡선을 이용하여 연도별 최대 유출량을 산정하고, 산정된 최대 유출량 자료를 활용하여 특정재현기간 유량을 산정하였다. 유도된 수위-유량관계 곡선식(상관계수 = 0.998)은 다음 Eq. (1)과 같다. Eq. (1)로부터 산정된 유출량 자료를 이용하여 홍수빈도해석을 실시하였다. K-S 적합도 검정결과에 따라 최적의 분포형인 2변수 대수정규분포를 적용한 재현기간별 확률홍수량은 다음 표와 같다. 강턱유량에 대한 특정 재현기간을 추정된 결과 대상구간에서 강턱유량의 재현기간은 1.52년 정도로 외국의 많은 하천들에서 추정된 강턱유량의 재현기간과 유사한 결과를 보이고 있다.

$$Q = 28.7750(h - 0.3956)^{2.5858} \quad (0.6 \leq h \leq 1.10) \quad (1)$$

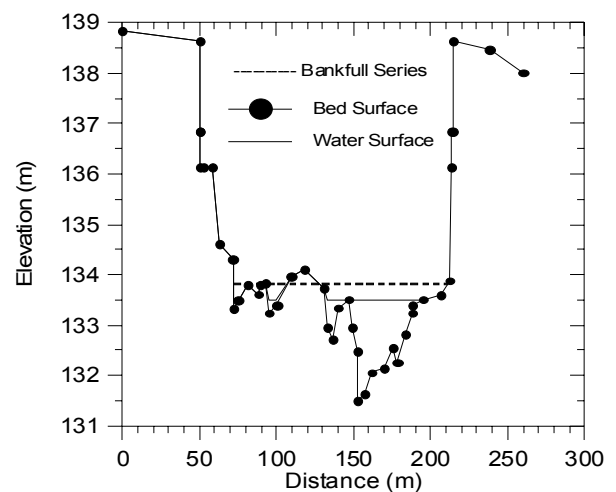
Table 2. Frequency-based flood for each recurrence interval.

Recurrence interval (years)	Frequency-based flood (m ³ /sec)	Remark
1.1	28.3	
1.5	57.5	
1.52	58.8	Bankfull discharge
2	80.5	
3	112.4	
4	136.4	
5	155.2	
10	219.2	

4. 유효유량 산정

유황곡선 자료를 이용하여 유량-빈도 분포를 계산하기 위해서는 우선 유황곡선의 최대유량에서 최소유량을 뺀 유량범위를 결정한 후 등간격의 유량구간 크기를 계산하여야 한다. 유량구간의 크기는 적절한 구간수를 선택하는 것이 중요하며 본 연구에서는 유량구간의 크기를 10 m³/sec로 하여 40개의 구간으로 나누어 계산하였다. 각 유량 구간별로 그 발생횟수를 산정하여 총 발생횟수에 대한 비로 환산한 후 각 유량구간의 중간 값에 대해 발생빈도를 도시하면 Fig. 3과 같다.

대부분의 증적하천에서 하도지형은 하상토 유사량에 의해 생성되므로 하상토 유사량을 이용하여 유효유량을 계산한다. 관측지점에 대해 실측 유사량 자료가 있는 경우에는 이 자료를 사용하여 하며 유사량 자료가 없는 지점에 대해서는 적절한 유사량 산정공식을 이용하여 하상토 유사량


Fig. 3. The cross section of Beonam stage station.

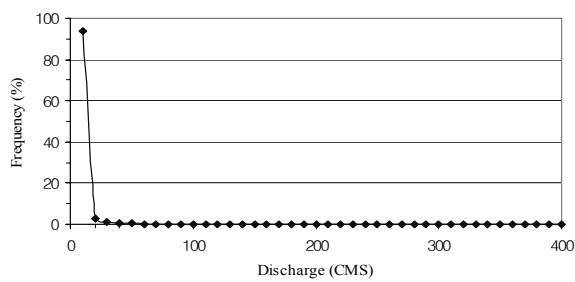


Fig. 4. Discharge frequency curve at Beonam stage station.

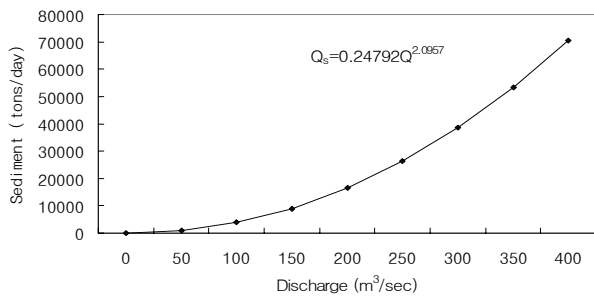
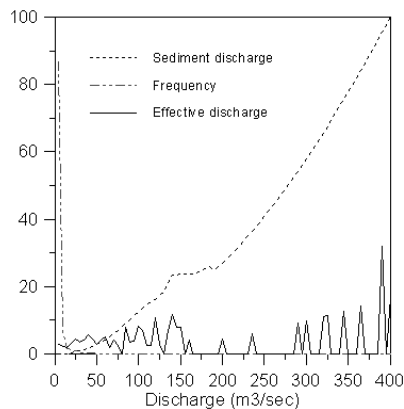


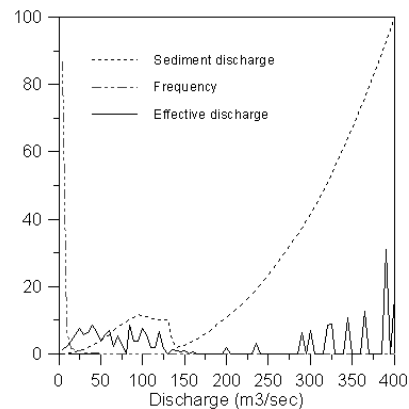
Fig. 5. Discharge sediment rating curve at Beonam stage station.

을 추정한다. Fig. 4는 수정아인쉬타인 공식을 이용한 유량-유사량 곡선을 보여준다.

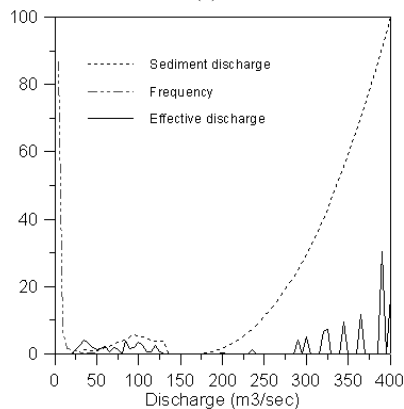
변암 수위관측소에서 관측된 유량-빈도곡선과 하천유사량 산정공식을 통해 계산된 유사량을 이용하여 유효유량을 추정하였다. 유효유량 곡선은 유량증분 발생빈도(days)와 유량증분에 의한 유사 이송량(ton/day)을 곱한 값이다. 가장 큰 누적 유량의 증분이 유효유량이 된다. 본 연구에서는 유사량산정을 위하여 수정아인쉬타인공식, Toffaleti식, Yang공식 그리고 van Rijn공식을 적용하였고, 이를 이용하여 유효유량을 각기 산정하였다. 본 연구에서 작성된 유효유량곡선은 다음 Fig. 5와 같으며 유효유량은 수정아인쉬타인 공식을 사용하여 $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ 간격으로 유량-유사량 분석을 실시한 경우에 $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ 의 유효유량을 보였으며, 그 이외의 유사량 공식을 적용한 경우는 유효유량으로써 $390 \text{ m}^3/\text{sec}$ 를 보였다. 변암 수위관측소 지점의 강터 유량과 유효유량을 비교한 결과 유효유량은 $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 강터유량 $58.83 \text{ m}^3/\text{sec}$ 에 비해 6배 정도 작은 것을 알 수 있다.



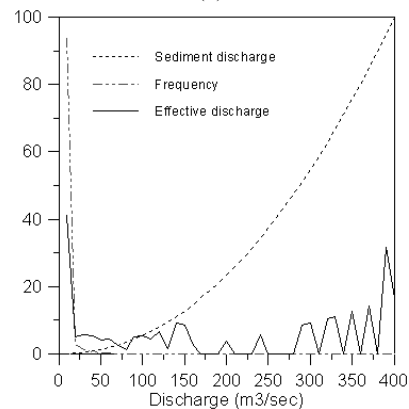
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 6. Effective discharge curves at Beonam stage station (a) Toffaleti Eq., (b) Yang Eq., (c) van Rijn Eq., and (d) Modified Einstein Eq.

5. 지배유량 현장지표 산정

요천 변암관측소에 대한 지배유량을 산정하기 위하여 산출된 강터유량은 $58.83 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이었고, 이 값은 특정재현기간 1.52년에 해당하는 유량이다. 또한 유효유량을 분석한 결과 요천 변암수위표지점의 유효유량은 $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 나타났다. 지배유량을 산정하기 위하여 강터유량과 특정재현기간유량 그리고 유효유량을 분석한 결과, 강터유량과 빈도 1.52년의 특정재현기간유량이 유사하게 나타났고, 유효유량은 이들 값보다 다소 작게 산정되었다. 또한 특정재현기간유량에서 빈도 1.52년은 기존 연구자들이 발표한 지배유량의 재현기간과 유사한 결과를 나타내고 있다. 따라서 재현기간 1.52년에 해당하는 강터유량 $58.83 \text{ m}^3/\text{sec}$ 를 요천 변암수위표 지점의 지배유량으로 결정하는 것이 타당하리라 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 연구대상 하천인 요천에 대해서 지배유량을 결정하기 위하여 적용되는 세 가지 다른 지표인 강터유량, 특정 재현기간 유량, 유효유량을 산정하고, 이들 세 가지 다른 지표들간의 상관관계를 분석하였다. 연구결과에 의하면 변암 수위관측소 지점의 강터유량과 유효유량을 비교한 결과 유효유량은 $10 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 강터유량 $58.83 \text{ m}^3/\text{sec}$ 에 비해 6배 정도 작은 것을 알 수 있다. 요천의 대상 하천구간에서 지배유량을 산정하기 위하여 강터유량과 특정재현기간유량을 비교 분석한 결과, 강터유량과 빈도 1.52년의 특정재현기간유량이 유사하게 나타나 이 유량을 요천의 변암수위관측소 지점의 지배유량으로 결정하는 것이 타당하리라 판단된다. 특정재현기간유량에서 빈도 1.52년은 기존 연구자들이 발표한 지배유량의 재현기간과 유사한 결과를 나타내고 있다.

감사의 글

본 논문은 2003년 건설교통부 한국수자원공사에서 지원받아 수행된 섬진강·영산강 유역조사 연구결과의 일부로서 연구지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Andrews ED. 1980. Effective and bankfull discharge of streams in the Yampa river basin, Colorado and Wyoming. *Journal of Hydrology* 46: 311-330.
- Ji U, Kang JG, Yeo WK, Han SW. 2009. Evaluation of channel-forming discharge for the abandoned channel restoration design of Cheongmi Stream. *Journal of Korean Water Resources Association* 42: 1113-1124. [in Korean]
- Lee HC, Lee ET. 2003. A study on the channel forming discharge estimation and the hydraulic geometry characteristics of the alluvial stream. *Journal of Korean Water Resources Association* 36: 823-838. [in Korean]
- Leopold LB. 1994. *A View of the River*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Lyon JG, Lunetta RS, Williams DC. 1992. Airborne multispectral scanner data for evaluating bottom sediment types an water depths of the St. Mary's River, Michigan. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 58: 951-956.
- Nolan KM, Lisle TE, Kelsey HM. 1987. Bankfull discharge and sediment transport in northwestern California. *Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim (Proceedings of the Corvallis Symposium, August 1987)*. International Association of Hydrological Sciences Pub. 165: 439-449.
- Pickup G, Warner RF. 1976. Effects of hydrologic regime on magnitude and frequency of dominant discharge. *Journal of Hydrology* 29: 51-75.
- Richards KS. 1982. *River: Form and Process in Alluvial Channels*. Methuen, London.
- Son MW, Lee DH, Kim CW. 2006. Assessment of flood frequency of bankfull discharge in Korea rivers. *Proceedings of Korean Water Resources Association* 1107-1111. [in Korean]
- U.S. Army Corps of Engineers 2001. HEC-RAS, River Analysis System User's Manual. Davis, CA.
- Webb BW, Walling DE. 1980. Stream solute studies and geomorphological research: some examples from the Exe Basin, Devon, U.K. *z. Geomorphol. N.F. Suppl. Band*. 36: 245-263.
- Williams GW. 1978. Bankfull discharge of rivers, *Water Resources Research* 14: 1141-1154.
- Wolman MG, Miller JP. 1960. Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. *Journal of Geology* 68: 54-74.