

하상계수가 큰 하천의 수리적, 지형학적 특성에 따른 유효유량 분석

Analysis of Effective Discharge for Hydraulic, Geomorphological Characteristics to Rivers with High Coefficients of River Regime

장은경*, 권용성**, 김남일***, 지운****

Eun Kyung Jang, Yong Sung Kwon, Nam Il Kim, Un Ji

요 지

유효유량이란 수년에 걸쳐 연 유사량의 대부분을 이동시키는 유량으로 정의되며 유량-빈도분포곡선과 유사량 곡선을 이용하여 산정된다. 유효유량은 하도를 설계하거나 기존 하도의 안정성을 평가하는데 있어 기준유량이 될 수 있는 필수적인 요소이지만, 현재 국내의 경우 이에 대한 분석이 충분히 수행되지 않아 특정한 패턴을 도출하기 힘든 실정이다. 특히 우리나라의 하천은 연강수량의 약 70%가 여름철에 집중되는 기후적 특성의 영향으로 하상계수가 미국과 유럽에 비해 10에서 25배 크게 나타나 외국사례를 국내에 적용하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 구하도복원이 계획 또는 진행되어 유효유량 산정이 필수적이며 하상계수가 매우 큰 만경강, 청미천, 함평천을 대상하천으로 선정하여 유효유량을 산정하고 수리적, 지형학적 특성과의 연관성을 분석하고자 한다.

유효유량을 계산하는 데 있어 가장 큰 영향을 미치는 요소는 유량빈도 간격 수와 유량빈도 간격의 설정이다. 따라서 본 연구에서는 유효유량 산정을 위한 유량 간격으로 산술등간격(Arithmetic Bin)과 로그간격(Logarithmic Bin)을 모두 사용하였으며 각각 간격수가 25개, 50개, 100개인 경우에 대해 유효유량을 계산하여 비교하였다. 산술등간격과 로그간격을 사용한 유효유량 산정결과 중 최대, 최소값을 제외한 나머지의 평균값을 각 대상하천의 유효유량으로 선정하였다. 수리적, 지형학적 특성에 따른 대상하천 분석 결과 하상계수가 클수록 유효유량이 크게 산정되는 것으로 나타났으며 하상경사, 하상도의 중앙입경 크기와 비례하는 것으로 나타났다. 반면에 수심-하폭비와 사행도의 경우 유효유량과 반비례하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 유효유량, 지형학적 특성, 하상계수, 만경강, 청미천, 함평천

1. 서 론

하도를 설계하는데 있어 흐름과 하도형성과의 관계를 나타내는 하도형성유량 산정은 반드시 필요하며 산정된 하도형성유량은 하도를 설계하거나 기존 하도의 안정성을 평가하는데 있어 기준유량이 될 수 있는 필수적인 요소이다. 하도형성유량 중 유효유량은 수년에 걸쳐 연 유사량의 대부분을 이동시키는 유량으로 정의되며 유효유량 산정을 위해서는 유량-빈도분포곡선과 유사량 곡선이 이용된다. 현재 국내의 경우 하상계수가 큰 국내 하천특성과 하도형성유량간의 연관성에 대한 많은 연구가 수행되지 않아 특정 패턴을 도출하기가 어려운 실정이다.

외국의 경우 Doyle 등(2007) 과 Niezgodna 등(2007)은 하천복원설계 구간에 대해 하도형성유량을

* 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : jamla24@nate.com
** 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : kys4341@naver.com
*** 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : namiry0720@gmail.com
**** 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 연구교수 · 공학박사 · E-mail : jiuncivil@gmail.com

산정하는 연구를 수행하였으며 Goodwin(2004)은 하천복원이 실시된 규모가 다른 두 하천에 대해 연구를 수행한 결과 하천복원에 있어 유효유량이 지배적인 매개변수라고 제시하였다. Hey(2004)는 하상재료가 다른 하천의 하도를 설계하는데 필요한 특정재현기간별 유량과 만제유량에 대한 관계를 연구하였다. Schlindwein(2004)는 모래-자갈 하도에서의 유효유량과 유사이송에 관한 분석을 수행하였다. 국내 연구로 지운 등(2009)이 청미천 구하도 복원 구간에 대해 하도형성유량을 산정하였으며 구하도 복원 하도의 설계를 위한 하도형성유량으로 만제유량을 선택하였다. 이 연구결과는 본 논문의 분석자료로 활용하였다. 손민우 등(2006)은 하도형성유량에 관한 연구결과로 1.01년 빈도 유량이 만제유량에 근접하다는 결론을 제시하였으며, 임창수 등(2006)은 대상구간의 만제유량, 특정 재현기간유량, 유효유량을 산정하여 지배유량을 산정한 후 하천환경정비를 위한 기초자료로 활용할 것을 제시하였고 이회철과 이은태 (2003)은 섬강과 홍천강을 대상으로 만제유량과 유효유량을 산정하여 수리기하특성에 관해 연구하였다. 우리나라의 경우는 국토의 대부분이 산지 지형으로 구성되어 급경사를 이루고 있으며 연강수량의 약 70%가 여름철에 집중되는 기후적 특성이 있어 이에 대한 연관성을 분석할 필요가 있다. 세계 주요하천에 대해 최대 유량과 최소 유량의 비율을 나타내는 하상계수를 비교하면 유럽의 템즈강이 8, 라인강은 18, 세느강이 34인 반면에 국내하천의 경우 한강 390, 낙동강 260, 섬진강 270으로 유럽에 10에서 25배에 달한다(우효섭, 2001). 세계 주요 하천들의 하상계수는 보통 십 단위에 머물고 있으나, 한반도 하천들의 경우 백 단위로서 약 10배 이상 차이가 난다. 본 연구에서는 구하도 복원 사업이 진행 및 계획되고 있는 만경강, 청미천, 함평천을 대상하천으로 수리적, 지형학적 특성에 따른 유효유량을 분석하고자 한다.

2. 적용대상 하천 및 입력자료

2.1 적용대상 하천의 개요 및 하천 특성

본 연구는 하상계수가 큰 국내의 하천 중에서도 구하도 복원 사업이 진행 또는 계획되어 하도형성유량 산정이 반드시 필요한 만경강과 청미천, 함평천을 대상으로 하였다. 국가수자원관리 종합정보 시스템의 유량자료를 이용한 대상하천의 2007년부터 2009년까지의 하상계수 분석 결과, 만경강의 경우 1,177, 청미천의 경우 893, 함평천의 경우 940으로 나타나 세 하천 모두 하상계수가 매우 큰 것으로 나타났다.

대상하천 중 만경강의 유역면적은 1,504.35 km², 유로연장은 80.86 km이며 서해로 유입되는 하천이다. 만경강의 하상경사는 만경강 하류부 30 km 구간이 1/3,800, 중류부 50 km까지가 1/540, 상류부 구간이 1/120이며 본류 하류구간을 제외한 대부분의 구간이 경사가 비교적 급하다. 만경강 유역의 적용구간은 구하도 복원이 예정된 4.25 km 구간으로 선정하였다. 청미천은 한강의 제 1지류로 유역 폭은 약 39 km이며 유로연장, 60.8 km, 유역면적은 595.7 km²이다. 적용구간은 청미천의 구하도 복원이 실시되는 구간인 2.12 km이다. 함평천은 영산강 권역의 영산강 수계에 속하며, 영산강의 제1지류이다. 유로연장, 하천연장, 유역면적은 각각 28.8 km, 13.91 km, 198.15 km²이다. 적용구간은 구하도 복원이 수행된 중류부의 3.1 km 구간이다.

2.2 하도형성유량 계산을 위한 입력자료

본 연구에서는 GeoTool 프로그램을 이용하여 유효유량을 산정하여 수리적, 지형학적 특성과 비

교 및 분석을 하였다. GeoTool 프로그램은 콜로라도주립대학교에서 Excel 응용프로그램의 Visual Basic을 기반으로 개발한 프로그램으로 엔지니어로 하여금 유역을 관리하는데 있어 합리적인 계획 결정에 영향을 주는 프로그램이다. 기존모델에 비해 잠재적인 수문효과를 평가하고 하도 안정과 흐름의 영향을 통계적으로 예측함으로써 하천설계에 실질적으로 반영할 수 있다. GeoTool 프로그램은 궁극적으로 유역의 하천형태를 평가하기 위한 실질적인 도구이며 시간에 따른 유사이송을 특정기간에 대한 흐름변화 해석에 이용할 수 있다. GeoTool 프로그램에 입력되는 유효입경과 유량자료 및 유사이송식과 동수반경 관계식은 표 1.과 같다. 만경강의 유량자료는 봉동의 T/M 자료를 활용하였으며 청미천의 경우 원부교의 T/M 자료를 활용하였고 함평천은 함평 T/M 자료를 활용하였다. 본 연구에서는 대상하천의 유량자료와 유사량 실측자료를 활용한 유량-유사량 관계곡선식을 이용하여 유효유량 계산에 활용하였다. 함평천의 경우 유사량에 관한 실측이 이루어지지 않아 총유사량 예측이 가능한 Brownlie(1981) 공식을 이용하여 산정하였다.

표 1. GeoTool Input Data of Study Reaches

		Mangyeong River	Cheongmi Stream	Hampyeong Stream
Effective Grain Size (ϕ_0)		36 mm	1.15 mm	3.8 mm
Discharge Data	T/M (Unit Map Code)	Bongdong Station (330105)	Cheongmi Station (100706)	Hampyeong Station (500602)
	Period	From 2005.01.01 to 2010.12.31	From 1996.01.01 to 2010.12.31	From 2006.01.01 to 2010.12.31
Sediment Transport Formula		$Q_s = 1.77 \times 10^{-6} Q^{2.42}$	$Q_s = 0.669 Q^{1.154}$	Brownlie Formula (No Measurement Data)
Hydraulic Radius Formula		$R = 0.0026 Q^{0.7265}$	$R = 0.0106 Q^{0.6452}$	$R = 0.0346 Q^{0.5629}$

3. 유효유량 산정결과

유효유량(Effective Discharge, Q_{eff})은 수년에 걸쳐 연 유사량의 대부분을 이동시키는 유량으로 정의되며 Andrews(1980)와 Wolman and Miller(1960)가 제시한 하도형성유량 또는 지배유량은 유사이송의 크기와 발생빈도의 함수라는 기본 원리와 일치한다. 유효유량 값은 계산시 유량자료의 간격을 어떠한 형태로 했는지 얼마나 많은 수의 간격으로 자료를 활용하였는지에 따라 그 값의 차이가 크게 나타나기 때문에 유효유량 산정을 위한 유량 간격 설정을 산술등간격(Arithmetic Bin)과 로그간격(Logarithmic Bin) 모두 사용하였으며 각각 간격수가 25개, 50개, 100개인 경우에 대해 유효유량을 계산하였다. 유효유량 값의 결정은 국내하천과 같이 평수 및 갈수 빈도는 높고 이에 해당되는 유량은 적은 반면 홍수 빈도는 높지 않으나 홍수량은 평수 및 갈수량에 비해 매우 큰 특성을 갖는 하천일 경우, 최대 홍수량 값에서 일정기간 이동되는 유사량 값이 최대인 것으로 산정된다. 따라서 최대값을 제외하고 그 다음의 침두 값을 유효유량으로 선정하였다. 유량 간격 수에 따라 최대, 최소값을 제외하면 만경강의 유효유량은 $155 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서 $308 \text{ m}^3/\text{s}$ 로 나타났고 청미천의 경우 $250 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서 $613 \text{ m}^3/\text{s}$, 함평천 $126 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서 $136 \text{ m}^3/\text{s}$ 인 것으로 나타났다.

4. 수리적, 지형학적 특성에 따른 비교 및 분석

유효유량과 하상계수의 연관성 분석을 위해 표 2와 같이 각각의 대상하천에 대한 결과 값을 하상계수 및 하도특성과 함께 나타내었다. 본 연구의 대상하천의 경우, 하도특성에 따른 하상계수와 의 상호 비교결과 만재하폭, 수심과 하폭비, 유역면적은 특정 패턴을 나타내지 않았으며 만재수심 및 만곡간 거리와 직선거리의 비를 나타내는 사행도의 경우 그 값이 적을수록 하상계수가 큰 특성을 나타냈다. 또한 하천경사가 급할수록, 하상도 중앙입경이 클수록 하상계수가 큰 것으로 나타났다.

표 2. Effective Discharge Evaluation

	Mangyeong River	Cheongmi Stream	Hampyeong Stream
Effective Discharge	197 /s	403 m ³ /s	131 m ³ /s
River Regime Coefficients	1177	893	940
Bankfull Width	156.49 m	158.6 m	61.43 m
Bankfull Depth	1.34 m	3.44 m	2.74 m
Slope	0.0023	0.000726	0.00125
Width/Depth Ratio	119	46	22
Sinuosity	1.01	1.12	1.06
Median Particle Size	36 mm (Cobble)	1.15 mm (Sand)	3.8 mm (Gravel)
Watershed Area	1,504.35 km ²	595.7 km ²	198.15 km ²

5. 결론

본 연구에서는 하상계수가 큰 하천인 국내의 만경강, 청미천, 함평천을 대상으로 하여 유효유량을 산정하였으며 수리적, 지형학적 특성에 따른 상호관계를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

대상하천들은 하천경사가 클수록 하상재료의 중앙입경이 크며 높은 하상계수를 보이는 특성이 있어 결과적으로 하천경사와 하상계수에 대해서도 같은 양상을 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 하상계수가 큰 국내 하천의 유효유량을 산정하는데 있어 하상재료와 하천경사에 대한 영향을 하상계수와 함께 반드시 고려해야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 손민우, 이두한, 김창완, 김명환 (2006) 국내 하천 강터유량시의 홍수빈도 추정. 2006년도 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 1107-1111.
- 우효섭 (2001) 하천수리학. 청문각.
- 이희철, 이은태 (2003) 충적하천의 하도형성유량 산정과 수리기하 특성에 관한 연구. 한국수자원

- 학회논문집, 한국수자원학회, Vol. 36, No. 5, pp. 823-838.
- 임창수, 이준호, 김태희, 이재철, 윤세의 (2006) 하도특성량 조사를 위한 지배유량의 산정. 2006년
도 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 66-71.
- 지운, 강준구, 여운광, 한승원 (2009) 청미천 구하도 복원 설계를 위한 하도형성유량 산정. 한국수
자원학회 논문집, Vol. 42, No. 12, pp. 1113-1124.
- Andrews, E.D. (1980) Effective and bankfull discharges of streams in the yampa River Basin,
Colorado and Wyomin. *J. of Hydr. Engrg., ASCE*, Vol. 46, No. 3-4, pp. 311-333.
- Brownlie, W.R. (1981) *Prediction of flow depth and sediment discharge in open channels*.
Report No. KH-R-43A, W.M. Keck Laboratory, California Institute of Technology,
Pasadena, CA.
- Doyle, M.W., Shields. D., Boyd. K.F., Skidmore. P.B., and Dominick. D. (2007) Channel-forming
discharge selection in river restoration design. *J. of Hydr, Engrg., ASCE*, Vol. 133, No.
7, pp. 831-837.
- Goodwin, P. (2004) Analytical solutions for estimating effective discharge. *J. of Hydr. Engrg.,
ASCE*, Vol. 130, No. 8, pp. 729-738.
- Hey, R.D. (2004) Frequency and duration of bankfull flow and application for natural channel
design. *Proc. 2004, ASCE*, pp. 989-994
- Niezgoda, S.L., and West, T.S. (2007) Stream restoration design discharge for snowment
dominated stream. *Proc. World Environmental and Water Resources Congress 2007,
ASCE*, pp. 1-10
- Schlindwein, P.A. (2004) Using effective discharge nalysis methods and a sediment transport
reference reach in the design of an urbanizing sand-gravel channel. *Proc. World Water
Congress 2004, ASCE*, pp. 1-10.
- Wolman, M.G., and Miller, J.P. (1960) Magnitude and frequency of forces in geomorphic
processes. *J. Geol*, pp. 68:54-74.