

국내 하천 강터유량시의 홍수빈도 추정

Assessment of Flood Frequency of Bankfull Discharge in Korea Rivers

손민우*, 이두한**, 김창완***, 김명환****

Minwoo Son, Du Han Lee, Chang Wan Kim, Myoung Hwan Kim

Abstract

Channel form discharge which determines shape and character of a channel is named as dominant discharge. Assuming that fixed discharge flows in the fluvial plain for a long time, it is channel form discharge of a certain channel if it changes the fluvial plain into shape of the channel. Channel form discharge can be demonstrated by concept of bankfull or effective discharge.

1.01, 1.58, 2, 2.33 and 5 year flood discharge were used in order to determine channel form discharge. Each frequency discharge was determined by 80 year flood discharge by a research result conducted by Kim and Won.

1.01 year frequency discharge was selected as the most similar discharge to bankfull discharge. 1.58 year frequency discharge habitually used in Korea exceeded bankfull discharge.

Key words : Channel Form Discharge, Dominant Discharge, Bankfull Discharge, Frequency Flood Discharge

요 지

하도 형성 유량은 현재 하도의 형태와 특성을 결정하는 유량을 말하는 것으로 지배유량라고도 불린다. 지배유량과 동일한 개념에서 총적하천에서 장기간에 걸쳐 동일한 규모의 유량이 하도에 적용된다고 가정할 때, 현재의 하천과 같은 형상을 나타내게 만드는 유량이 하도 형성 유량이며, 이것은 크게 강터유량과 유효유량의 개념으로 설명된다. 금회 연구에서는 국내에서 많이 이용되는 1.58년 빈도의 홍수량을 포함하여 각종 빈도의 홍수량을 결정하고, 이를 1차원 부등류 해석 프로그램에서 모의하여 수위 및 유량을 결정하였다.

하도 형성 유량 산정을 위해 이용된 홍수의 빈도는 1.01년, 1.58년, 2년, 2.33년, 5년이다. 각 빈도별 홍수량은 해당하천의 하천정비 기본계획에서 제시된 80년 빈도 홍수량과 무차원성장곡선을 이용하여 산정하였다.

오차분석 결과 조사된 전체 하천에서 1.01년 빈도의 홍수량이 강터에 가장 근접하는 결과를 나타내었으며, 국내에서 관행적으로 이용하던 국내에서 관행적으로 이용되는 1.58년 빈도 홍수량은 강터유량의 개념에서 하도 형성 유량에 접근할 때는 과대하게 평가되는 점을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 하도 형성 유량, 지배유량, 강터유량, 빈도별 홍수량, 1차원 부등류 해석

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 · E-mail : minwooson@gmail.com
** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 · E-mail : dhlee@kict.re.kr
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 · E-mail : cwkim@kict.re.kr
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 · E-mail : narrowgate@kict.re.kr

1. 서론 및 이론적 배경

하도 형성 유량(Channel-forming Discharge)은 현재 하도의 형태와 특성을 결정할 유량을 말하는 것으로 지배유량(Dominant Discharge)이라고도 불린다. 충적하천에서 장기간에 걸쳐 동일한 규모의 유량이 하도에 적용된다고 가정할 때, 현재의 하천과 같은 형상을 나타내게 만드는 유량이 하도 형성 유량이며(Inglis, 1941), 이것은 크게 강터유량(Bankfull Discharge)과 유효유량(Effective Discharge)의 개념으로 설명된다.

Inglis(1947)은 하도 형성 유량이 일반적으로 강터수위에 도달하였을 때의 유량으로 생각하였고, 이 관점에서의 연구가 Nixon(1959), Simons와 Albertson(1960), Kellerhals(1967), Hey와 Thorne(1986) 등에 의해서 이루어졌다. 하지만 이들 연구는 현상을 개념적으로 설명하였을 뿐, 강터유량이 하도의 형상을 결정하는 이유에 대해서는 결론내지 못하였다.

일정한 유량에 따라 하천의 형상이 변화하는 현상을 설명하기 위해서 유사의 이동이 제시되었다. 일정한 유량이 발생시키는 유사에 어느 구간에서 침식보다 퇴적현상에 크게 기여할 경우는 하상이 상승하고 하폭이 축소되며, 침식현상이 보다 주요하게 발생하면 반대의 현상이 발생한다는 개념이다. 그리고 이 개념에 따라 일정한 규모의 홍수량이 하천에서 가장 대규모의 유사이동을 발생시킬 때 이 유량을 유효유량(Andrews, 1980)이라고 정의하였다. 물론 홍수량이 클수록 유사의 이동이 활발해지지만, 이 경우에 퇴적에 의해 하천을 변화하게 만드는 유사에 대해서는 고려할 수 없고, 발생 기간이 짧기 때문에, 그 홍수량에서 이동된 유사의 총량이 큰 것은 아니다. 이와 관련된 내용은 Wolman과 Miller(1960)의 연구에서 나타난다. 이 연구에서 홍수량과 지속기간이 짧은 홍수사상은 유사의 이동을 발생시키기가 어렵고, 반면 극한 홍수는 발생빈도가 지나치게 낮아서 하천의 형태변화에 큰 영향을 미치지 못한다고 지적하였다.

국내에서 어느 하천에 대한 하도 형성 유량을 산정하는 연구가 본격적으로 진행된 경우는 없다. 단지, 강터유량과 유효유량 중 어느 한 유량을 하도 형성 유량이라고 가정하고 이에 대한 빈도 등을 결정하는 연구는 진행되었다.

이희철과 이은태(2002)는 섬강과 홍천강에서 강터유량 개념에서의 하도 형성 유량의 빈도를 결정하는 연구를 수행하였다. 유효유량의 개념에서의 연구는 국내의 자료 부족 등의 이유로 특이할 결론을 내지 못하였지만, 국내의 강터유량의 재현기간으로 1.5~1.8년이 적합할 것으로 사료된다는 결론을 제시하였다. 이 외에 이종태와 김태화(2001)는 밤섬에서의 하도 형성 유량 산정을 위해 RMA-2 모형으로 유속을 모의하고 소류력과 하상재료의 상관성이 가장 높은 유량을 하도 형성 유량으로 제시하였다. 하지만 이들 연구는 실측치 자료의 부족, 하천지형 변화에 대한 측정 부재 등으로 국내 하천에서의 하도 형성 유량의 빈도를 제시하는 구체적인 결과에까지는 접근하지 못하였다. 이러한 연구 결과의 불충분은 국내 뿐 아니라 국외의 연구사례에도 해당되는 내용으로, 모형실험의 부적절, 장기간의 사상 발생 기간 등으로 각 하천의 정확한 하도 형성 유량을 산정해 내는 것에는 어려운 점이 많다.

2. 대상하천 및 연구방법

2.1 대상하천

본 연구의 대상이 되는 하천은 한강, 낙동강, 금강의 유역특성을 대표한다고 판단되는 조종천, 전천, 내성천, 미호천이다. 조종천은 북한강의 제1지류로 유역면적 260.59 km², 전천은 한강의 제2

지류로 유역면적 169.98 km², 내성천은 낙동강의 제1지류로 유역면적 1,806.7 km², 미호천은 금강의 제1지류로 유역면적 1,852.8 km²이다. 각 하천은 모두 2000년 이후에 하천정비기본계획이 수립되어 비교적 최신의 하천측량자료와 홍수량자료의 수집이 가능하다.

각 유역의 하천 중 이상의 4가지 하천이 선정된 이유는 저수로와 고수부의 구분이 명확하여 강턱이 명확히 나타나는 하천에 해당하기 때문이다. 그리고 조종천, 전천과 같이 자갈하천과 미호천, 내성천과 같이 모래가 주하상재료를 이루는 하천을 모두 포함할 수 있도록 선정하였다.

2.2 연구방법

현장조사와 하천의 횡단측량자료를 이용하여 강턱을 결정하고, 강턱에 해당하는 수위와 흐름단면적을 산정하였다. 이후에는 각 빈도별 홍수량을 적용하여 1차원 부등류계산을 수행하고, 그 결과 나타난 빈도별 수위와 흐름단면적을 강턱수위 및 흐름단면적과 비교하는 과정을 통해 수행되었다.

현재 국내에서 관행적으로 이용하는 하도 형성 유량은 1.58년 빈도의 홍수량이다. 이 빈도의 홍수량은 Bury(1973)에 의해 제안된 하도 형성 유량으로 실제 하도 설계의 실무에서 하천 형상결정의 참고용으로 많이 이용하고 있다. 금회 연구에서는 국내에서 많이 이용되는 1.58년 빈도의 홍수량을 포함하여 각종 빈도의 홍수량을 결정하고, 이를 1차원 부정류 해석 프로그램에서 모의하여 수위 및 유량을 결정하였다. 결정된 값은 현장 측량 자료와 현장 조사를 통해 결정된 강턱 수위 및 유량과 비교되었다.

미호천, 전천, 조종천, 내성천에서 이에 대한 연구를 수행하였고, 실제 강턱유량과의 오차를 해석하기 위해서는 잔차제곱합(Sum of Squared Residuals), 잔차 절대치의 합(Sum of Absolute Errors), 평균제곱오차(Root Mean Square Error), 추정치 감소오차(Reduced Error Estimate), 추정치 비례오차(Proportional Error of Estimate), 추정치 표준오차(Standard Error of Estimate)가 이용되었다.

강턱유량 산정을 위해 이용된 홍수의 빈도는 1년, 1.58년, 2년, 2.33년, 5년이다. 각 빈도의 홍수량은 해당하천의 하천정비기본계획에서 제시된 80년 빈도 홍수량과 김남원과 원유승(2004)에 의해 제시된 유역별 무차원성장곡선을 이용하여 산정하였다. 이용된 유역별 무차원성장곡선은 국내의 유역을 크게 한강, 낙동강, 금강, 영산/섬진강으로 나누고, 각 유역에서의 재현기간별 홍수량의 분위수를 추정하는 것이다. 그림 1과 표 1은 각각 유역별 빈도별 분위수를 나타낸다. 홍수량 계산을 위해서는 80년 빈도 홍수량에 표 1의 분위수를 이용하였다. 이를 통해 계산된 대상하천의 빈도별 홍수량은 표 2와 같다.

3. 국내 하천 강턱유량과 빈도별 홍수량 비교

각 빈도별 유량에서의 강턱유량과의 오차는 표 3과 같다. 4개 하천 모두에서 1.01년 빈도 홍수량에 강턱유량에 가장 가까운 결과를 나타내었다. 이 결과를 통해 조종천, 전천, 미호천, 내성천의 경우, 1.01년 빈도 홍수량이 강턱유량 개념에서 지배유량에 근사한다는 알 수 있다. 그리고 이 결과는 한강, 낙동강, 금강 등 국내의 일반적인 유역과 하천의 상황을 대표한다고 생각되며, 국내 하천에서는 기존에 관행적으로 사용되던 1.58년 빈도 홍수량보다 1.01년 빈도 홍수량이 지배유량에 더 가까운 것으로 판단된다.

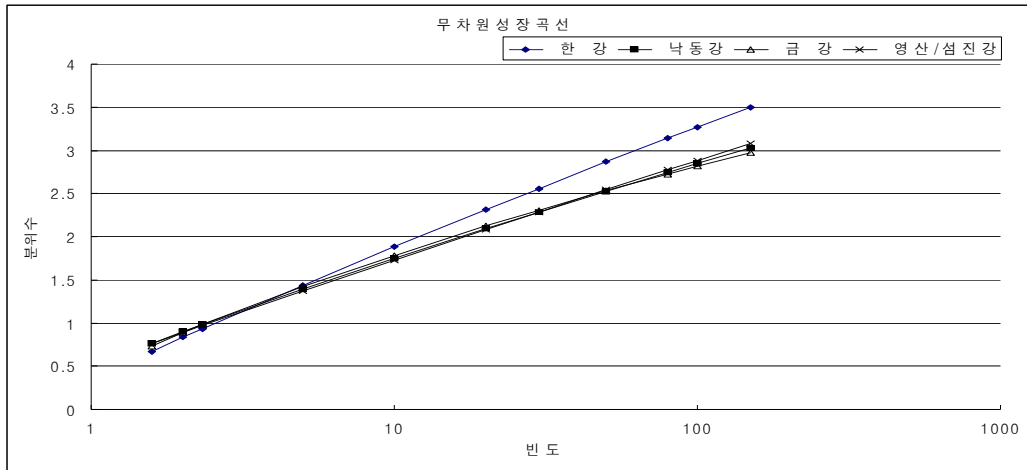


그림 1. 유역별 빈도별 홍수량 분위(김남원, 2004)

표 1. 유역별 빈도별 홍수량 분위(김남원, 2004)

유역 \ 빈도	1년 빈도	1.58년 빈도	2년 빈도	2.33년 빈도	5년 빈도	80년 빈도
한 강	0.360	0.670	0.833	0.936	1.438	3.139
낙 동 강	0.514	0.760	0.902	0.987	1.391	2.746
금 강	0.464	0.736	0.895	0.989	1.422	2.726
영산/섬진강	0.523	0.761	0.895	0.977	1.374	2.772

표 2. 대상하천의 빈도별 홍수량

(m ³ /s)	1년 빈도	1.58년 빈도	2년 빈도	2.33년 빈도	5년 빈도
미 호 천	1765.387	1776.552	2160.345	2387.241	3432.414
전 천	175.701	364.989	453.785	509.895	783.364
조 중 천	211.875	394.871	490.937	551.641	847.500
내 성 천	808.310	1195.630	1419.024	1552.746	2188.318

표 3. 각 빈도별 홍수량에서의 강터유량과의 오차

하천	계산오차	1년 빈도		1.58년 빈도		2년 빈도		2.33년 빈도		5년 빈도	
		수위	단면적	수위	단면적	수위	단면적	수위	단면적	수위	단면적
미 호 천	잔차제곱합	619	46,743,341	627	47,431,836	929	77,513,408	1,140	100,808,891	2,116	217,651,596
	잔차 절대치의 합	290	78,984	292	79,638	370	105,818	418	122,504	597	189,814
	평균제곱오차	1.77	486	1.78	489	2.17	626	2.40	714	2.27	1048
	추정치 감소오차	0.25	1.63	0.25	1.64	0.31	2.10	0.34	2.39	0.46	3.51
	추정치 비례오차	0.09	1.93	0.087	1.94	0.106	2.33	0.117	2.56	0.157	3.48
전 천	잔차제곱합	124	1,567,044	230	1,622,285	324	2,222,355	400	2,818,829	733	5,038,492
	잔차 절대치의 합	87	6,738	151	10,892	184	13,503	206	15,359	287	22,128
	평균제곱오차	1.02	115	1.39	117	1.65	137	1.93	154	2.48	206
	추정치 감소오차	0.07	2.59	0.10	2.64	0.12	3.09	0.13	3.48	0.17	4.65
	추정치 비례오차	0.01	1.71	0.011	2.56	0.013	3.03	0.015	3.35	0.020	4.65
조 중 천	잔차제곱합	24	181,313	48	350,636	76	529,247	102	724,594	201	1,310,582
	잔차 절대치의 합	24	1,640	39	2,528	51	3,348	60	3,966	94	6,418
	평균제곱오차	0.67	58	0.95	81	1.19	99	1.37	116	1.93	156
	추정치 감소오차	0.00	0.48	0.01	0.67	0.01	0.82	0.01	0.96	0.01	1.30
	추정치 비례오차	0.02	1.04	0.02	1.84	0.02	2.25	0.03	2.51	0.03	3.76
내 성 천	잔차제곱합	11	758,456	31	2,262,811	48	3,741,397	61	4,823,641	137	11,758,640
	잔차 절대치의 합	16	4,438	31	8,612	41	11,610	47	13,434	73	21,934
	평균제곱오차	0.50	130	0.82	224	1.04	288	1.16	327	1.75	511
	추정치 감소오차	0.01	0.29	0.01	0.50	0.02	0.64	0.02	0.73	0.03	1.14
	추정치 비례오차	0.01	0.60	0.01	0.98	0.05	1.18	0.02	1.28	0.03	1.84
추정치 표준오차	0.31	81	0.51	139	0.64	179	0.72	203	1.08	317	

4. 결론

금회 연구를 통해 조종천, 전천, 미호천, 내성천에서 1.01년, 1.58년, 2년, 2.33년, 5년 빈도 홍수량 중 1.01년 빈도 홍수량이 강터유량에 가장 근접함을 확인할 수 있었다. 금회 연구의 대상이었던 4개 하천이 각각 한강, 금강, 낙동강 유역의 하천을 대표하고, 자갈하상, 모래하상의 특성을 나타낸다고 생각할 때 국내 하천의 일반적인 경향이 1.01년 빈도 홍수량에서 강터유량에 근접한다는 사실을 유추할 수 있다. 국내의 실무에서 관행적으로 강터유량 또는 지배유량의 개념으로 이용하고 있는 1.58년 빈도 홍수량이 강터유량에 비해 과대한 값을 가짐을 확인할 수 있었다.

해외의 일반적인 연구사례에 비해서 국내의 강터유량이 낮은 빈도의 홍수량을 가지는 이유로는 갈수시와 풍수시의 유량 차이가 큰 강우특성과 하천이 제방에 의해 보호되는 저수로의 특성을 생각할 수 있다. 국내는 연중 수차례의 홍수가 발생하고 이들에 의해 하천의 형태가 큰 영향을 받는 것으로 생각된다. 따라서 1년 빈도 내외의 평균 연최대 유량 개념의 홍수가 하천의 형태에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 국내의 하천은 대부분 제방에 의해 보호되어 홍수터 개념의 넓은 고수부가 존재하지 않는다. 따라서 하천의 형태변화가 넓은 영역에 걸쳐서 일어나지 않으며, 작은 규모의 잦은 홍수에 의해 발생하는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 이종태, 김태화(2001). "밤섬의 지형과 지배유량 산정에 관한 연구", 대한토목학회 2001년 학술발표회, 대한토목학회.
2. 이희철, 이은태(2002). "안정하도 계획을 위한 지배유량 산정에 관한 연구", 대한토목학회 2002년 학술발표회, 대한토목학회.
3. Andrews, E.D.(1980). "Effective and Bankfull Discharge of Streams in the Yampa Basin, Western Wyoming", *Journal of Hydrology* 46, pp. 311-330.
4. Bury, G.H.(1973). "Magnitude-frequency Analysis and Channel Morphology", *Fluvial Geomorphology : A Proceedings Volume of the Fourth Annual Geomorphology Symposia Series*, New York, pp. 91-121.
5. Hey, R.D. and Thorne, C.R.(1986). "Stable Channels with Mobile Gravel Beds", *Journal of Hydraulic Engineering* 112(8), pp. 671-689.
6. Inglis, C.C.(1947). *Meandering of Rivers*, Central Board of Irrigation (India) Publication 24, pp. 98-99.
7. Kellerhals, R.(1967). "Stable Channels with Gravel-paved Beds", *Journal of the Waterways and Harbours Division, Proceedings of the ASCE* 93, pp. 63-84.
8. Nixon, M.(1959). "A Study of Bankfull Discharges of Rivers in England and Wales", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 12, pp. 157-175.
9. Simons, D.B. and Albertson, M.L.(1960). "Uniform Water Conveyance Channels in Alluvial Material", *Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of th ASCE* 96(HY5), pp. 33-71.
10. Wolman, M.G. and Miller, J.P.(1960). "Magnitude and Frequency of Forces in Geomorphic Processes", *Journal of Geology* 68, pp. 54-74.